한국환경과학회지 제8권(제6호), 691~697, 1999
J. of the Korean Environmental Sciences Society

영산강하류의 계절 변화에 따른 수질특성과 유기인산염의 분해율에 관한 연구 I
- 부영양화를 중심으로 -

조 기 안 · 안 병 권 · 홍 순 강 · 정 동 옥*
초당대학교 환경공학과, *조리과학과
(*1999*년 *7*월 *14*일 접수)

A study on characteristics of water quality and degradation rates of organic phosphates in Young-San river

Ki-An Cho, Pyong-Kwon Ahn, Soon-Gang Hong, and Dong-Ok Chung*
*Dept. of Environ. Engineering, *Calinary arts Chodang Univ., #419. Songnam-Ri Muan-Kun Chonnam 534-800 Korea*
(Manuscript received 14 July, 1999)

The work on the eutropication of Youngsan river was conducted from Jul. 1997 to Jun. 1998. The value of water temperature in the study area varied from 4 ℃ to 32 ℃ with an annual mean of 17.5 ℃. DO varied from 4.0 ㎎/ℓ to 13.5 ㎎/ℓ with an annual mean 10.2 ㎎/ℓ. BOD varied from 0.8 ㎎/ℓ to 6.4 ㎎/ℓ with an annual mean 3.1 ㎎/ℓ. COD varied from 4.6 ㎎/ℓ to 9.0 ㎎/ℓ with an annual mean 6.38 ㎎/ℓ. Nitrate varied from 1.58 ㎎/ℓ to 6.77 ㎎/ℓ with an annual mean of 3.475 ㎎/ℓ. Total-nitrogen varied from 2.14 ㎎/ℓ to 8.38 ㎎/ℓ with an annual mean of 5.083 ㎎/ℓ. Total-phosphate varied from 0.035 ㎎/ℓ to 0.588 ㎎/ℓ with an annual mean of 0.128㎎/ℓ. Chl.a varied from 1.8 ㎍/ℓ to 75.0 ㎍/ℓ with an annual mean of 19.55 ㎍/ℓ. The euthrophic state index of Carlson[16] were showed 61.8(TP) and 71(SD) value

Key words : eutropication, degradation rate

1. 서 론

최근 산업구조의 변천에 따라 농업사회에서 산업사회로 바뀌게 되고, 생활환경 역시 매우 급속한 변화를 가져왔는데, 그로 말미암아 다양한 환경문제가 발생되었다. 이러한 환경문제에는 여러 가지가 있으나, 호소에서 오염문제를 유발하는 것에는 몇 가지의 원인을 생각할 수 있다. 호소 상류의 인근지역에 존재하는 공장에서 흘러들어오는 산업용 폐수와 그 생활 주거지에서 흘러나오는 생활하수 그리고 농업용수 등으로 나눌 수 있는데, 여기에는 미량의 중금속과 다량의 영양염류를 들 수 있다. 전자의 중금속에 의한 호소내의 생물에 미치는 영향은 생축적에 따른 관계로 쉽게 빨리 나타나지 않으나, 한번 나타나면 커다란 영향을 주게 되고, 후자의 영양염류는 쉽게 나타나며, 여러 가지 부수적인 영향을 주게된다.[18] 예를 들면, 과도한 조류의 성장으로 용존산소가 고갈된다든지, 맛과 냄새에 영향을 준다든지, 이 호소를 수원으로 할 때 정화장치에 영향을 주는 것 등 여러 가지 문제를 수반한다.[3,4]

그래서 본 연구지역인 영산강은 상류에는 130만 인구가 생활하는 광주광역시가 위치하고, 중류에는 인구 15만의 나주시의 소도시가 위치하고 있으며, 하류는 축조된 지 약 16년이 지나 이제는 자연호로서 특성을 나타내고, 내부적으로 안정화되는 단계에 접어든 유역면적 34.6km^{2}의 매우 큰 인공담수호가 위치하고 있다. 그 상류주변지역에는 급변한 산업활동에 따른 인구증가와 주거지역의 확장 등으로 생활하수의 급등과 농업경작방식에서 변화가 영산호의 생물상에 커다란 영향을 주게됨으로 부영양화를 유발할 것으로 기대되는데, 이러한 변화에도 불구하고 지금까지 연구는 오와 이,[7] 그리고 김 등[2]의 수질오염을 중심으로 한 연구가 중점적으로 수행되었으며, 김 등,[2] 최,[11] 최와 정[12] 그리고 유등[8]의 생태학적 연구가 있었으나, 영양염의 증가에 따른 부영화에 대한 연구는 극히 미약하다.

따라서 본 연구는 영산강하류 즉 영산호에서의 부영화에 대한 연구를 일년 동안 조사를 통하여 규명하고, 향후 영산강 상류의 인구증가와 그에 따른 수질오염의 영향을 연구하고자 한다.

2. 조사방법

조사는 1997년 7월부터 1998년 6월까지 매월 1회씩

영산호의 3개정점에서 현장조사를 실시하였다.

수온과 전도도는 현장에서 S-C-Tmeter(Y.S.I Model 33, Yellow Springs Ions)를 이용 측정하였으며, pH는 현장에서 pHmeter(CG728, Hydro-Bios)를 이용 측정하였다. COD는 과망간산칼륨법에 따라 분석하였으며, NH_4-N, NO_3-N, PO_4-P, T-N, T-P는 수질오염공정시험법[13]에 따라 발색시킨 후 분광계를 이용 410, 540, 545, 640, 880nm 에서 측정, 정량 하였다.

Chl.a는 시료 1ℓ를 직경 47mm(구경 0.45㎛) milliphore membrane filter(Type MA)를 이용 여과한 후, 10㎖ 아세톤 (90%)으로 18시간 냉암실에서 추출하여, 분광분광계를 이용 측정하였고, UNESCO Method에 따라 계산 정량 하였다.[19]

부영양화도 지수(TSI)는 Carlson[16]이 제시한 지수(TSI)를 사용하여 계산하였다.

각 지수의 계산 공식은 다음과 같다.

TSI(S.D) = 10(6-ln(SD)/ln2)

TSI(Chl. a) = 10(6-(2.04-0.68ln(Chl. a)/ln2)

S.D : Secchi Disk Transparency(m)

Chl. a : 엽록소 a 농도(㎎/㎥)

3. 결과 및 고찰

3.1. 이화학적인 특징

영산호의 연중 수온변화는 4~32℃로서 하계인 8월에 가장 높은 수온을 나타냈으며, 반면에 동계인 12월과 2월에 가장 낮은 수온을 나타냈다. 특히 1월에 약간 높은 수온의 특징을 나타낸 점은 일시적인 겨울 강우로 인하여 발생된 것으로 생각된다. 정점에 따른 수온변화는 조사된 모두에서 유사한 특징을 나타냈으며, 정점별 수온변화는 상류정점인 정점2와 3에서 가장 커다란 변화를 나타내어, 약 28℃의 수온차이로서 정점1의 26℃(4~30℃) 비하여 높은 수온 연변화를 나타냈다. 이러한 원인은 정점1은 하류에 위치한 정점으로서 수심이 깊고 유역면적이 넓어서 주변의 대기기온 및 유입하천수의 영향을 적게 받기 때문으로 생각된다.

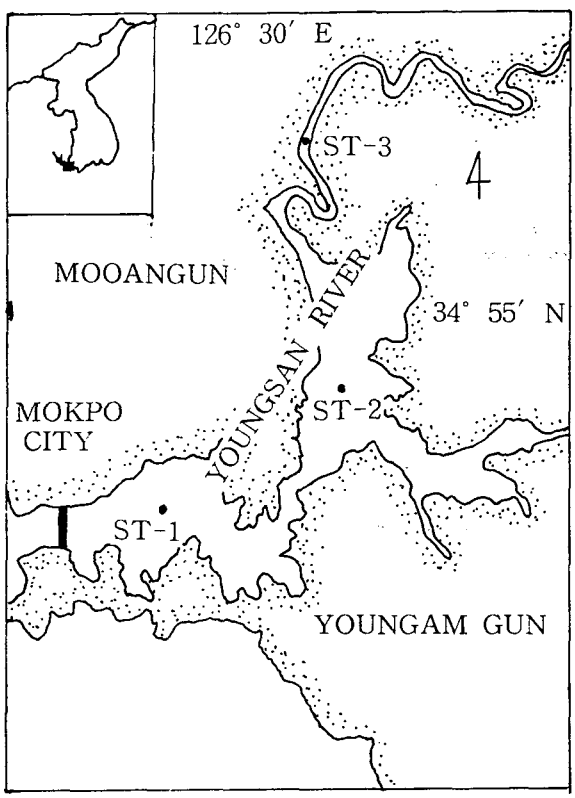

Fig. 1. The study area of YOUNGSAN RIVER.

pH의 연변화는 6.7~8.5로서 갈수기인 12월에 낮은 pH를 나타냈으며, 하계인 8월과 9월에 연중 높은 pH를 나타냈다. 정점에 따른 pH의 변화를 보면, 정점1에서는 6.8~8.9로서 6월에 가장 낮은 pH를 나타냈으며, 3월에 가장 높은 pH를 나타냈다. 정점2에서는 6.8~8.6(평균 7.57)로서 12월에 가장 낮았으며, 역시 3월에 가장 높았으며, 정점3에서는 6.7~8.5(평균 7.73)로서 12월에 가장 낮았다. 이처럼 동계인 12월에 약간 낮고, 3월에 약간 높은 pH를 나타낸 점은 엽록소a의 변화와 유사한 패턴을 보이는데, 이것은 식물플랑크톤의 광합성 활동으로 인하여 발생된 현상으로 생각된다. 특히 12월에 낮은 pH는 식물플랑크톤의 개체수 감소와 유수량감소가 유수량이 줄어들면서 상대적으로 오폐수 농도가 높아진 것으로 생각된다. 영산호의 과거 조사를 보면, 전남도의 보고[9]에서 3월부터 5월까지는 약알칼리를 나타내나 동계에는 약산성을 나타낸 것으로 보고하였다. 이러한 특성은 농진공 보고[5]와 유사하게 나타났다.

용존산소량(DO)의 연변화는 4.0~13.5㎎/ℓ로서 비교적 하계에 속하는 7월에 가장 낮은 용존산소량(DO)를 나타냈으며, 수온이 가장 낮은 2월에 가장 높은 DO를 나타냈으며, 9월에는 상류정점을 중심으로 높은 값을 나타냈다. 이처럼 하계인 7월에 연중 가장 낮은 DO를 나타내고, 수온이 가장 낮은 2월에 높은 DO를 나타낸 이유는 하계에는 많은 강우로 인하여, 다량의 유기물이 주변하천에서 유입되면서 분해과정에서 산소가 소비되어 낮은 용존산소량을 나타낸 것으로 생각되며, 2월에 높은 산소량은 수중에 식물플랑크톤인 규조류가 다량 증식되면서 광합성작용에 의한 용존산소량이 높았던 것으로 생각된다. 정점에 따른 DO의 변화를 보면, 하류정점인 정점1에서는 4.9~13.2 ㎎/ℓ(평균 9.8 ㎎/ℓ)로서 7월에 가장 낮은 DO를 나타냈으며, 2월에 가장 높은 DO를 나타냈다. 상류정점인 정점3에서는 4.0~13.5 ㎎/ℓ(평균 10.18 ㎎/ℓ)로서 7월에 가장 낮고, 8월에 가장 높았다. 이처럼 짧은 기간에 높은 변이를 나타낸 것은 7월에 계절성 강우 즉 장마로 인한 다량의 유기물이 유입되면서 유기물분해로 인하여 DO의 감소가 일어난 것으로 생각되며, 8월에는 높은 일조량으로 조류 대량증식에 의한 현상으로 생각되며(Fig. 2), 이러한 현상은 인하여 9월에서 상류정점인 정점2와 3에서 좀더 높은 용존산소량을 나타냈다. 본 조사에서 DO의 변화는 동계에 높고 하계에 낮은 점은 전남도[9]에 의한 1995년 조사에서는 본 연구와 유사한 특징을 보였는

데, 즉 가장 높은 DO는 동계인 2월에 13.1로 나타났으며, 가장 낮은 DO는 하계인 8월과 10월에 각각 5.8 ㎎/ℓ, 5.7 ㎎/ℓ로 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 영산강에서 DO의 변화는 하계에는 주변하천에서 유기물부하에 의한 영향을 받으나, 유기물 부하가 적은 동계에는 높은 DO 량을 나타낸 것으로 생각된다.

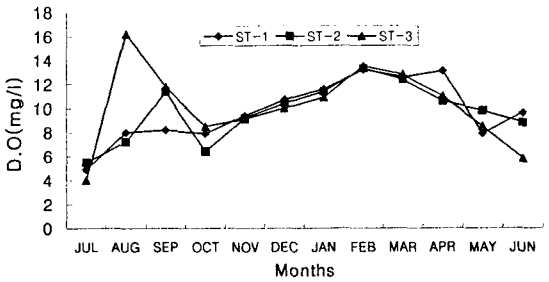

Fig. 2. The temporal variations of DO in study area.

BOD는 0.8~6.4 ㎎/ℓ로서 동계인 1월에 정점3에서 가장 낮은 BOD를 보였으며, 하계인 8월에 역시 정점3에서 가장 높은 BOD를 나타냈다. 이처럼 상류정점인 정점3에서 높은 변화율을 나타낸 점은 하계에 강우로 인하여 상류로부터 많은 유기물이 유입되면서 일어난 현상으로 생각된다. 전남도 보고[9]에 의하면, BOD의 영산강수계 총오염부하량은 하루에 188,108㎏을 기여한 것으로 보고하였다. 이러한 높은 BOD는 호기성 미생물의 과다한 증식을 요구하게 된다.[22] 정점에 따른 BOD의 변화를 보면, 정점1에서는 1.0~5.9 ㎎/ℓ(평균 2.0 ㎎/ℓ)로서 1월에 가장 낮은 BOD를 나타냈으며, 4월에 가장 높은 BOD를 나타냈다. 정점2에서는 0.9~4.8 ㎎/ℓ(평균 2.2 ㎎/ℓ)로서 11월에 가장 낮았으며, 역시 4월에 가장 높았다. 반면에 정점3에서는 0.8~6.4 ㎎/ℓ(평균 3.1 ㎎/ℓ)로서 1월에 가장 낮고, 8월에 가장 높았다(Fig. 3). 이처럼 하류 정점들은 춘계 강우의 영향을 높게 받으나 상류정점인 정점3은 춘계강우의 영향보다는 하계의 집중강우의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각된다. 따라서 하류정점보다는 상류인 정점 3에서 연변화의 변이 폭이 크게 나타났다.

COD는 4.6~9.0 ㎎/ℓ으로 추계인 11월에 정점2에서 가장 낮은 COD를 보였으며, 하계인 7월에 정점1에서 가장 높은 COD를 나타냈다. 정점에 따른 COD의 년변화를 보면, 정점1에서는 5.1~9.0 ㎎/ℓ으로 하계 장마로 인하여 다량의 강우가 유입되면서 COD의 농도는 9월에 가장 낮아 졌으며, 강수량이 많은 6월과 7월에 가장 높았는데, 이러한 점은 COD의 농도를 약화시킨 것으로 생각된다. 정점2에서는 11월에 가장 낮은 COD를 나타냈으며, 역시 6월과 7월에 가장 높은 COD를 나타냈다. 정점3에서는 동계인 1월에 가장 낮은 4.9 ㎎/ℓ를 그리고 7월에 9.0으로 가장 높은 COD를 나타냈다(Fig. 4). 호소환경 수질기준을 토대로 평가한다면, 공업용수1급수에서 2급수에 해당하는 것으로 생각된다. 상수원수기준으로는 3급수에 해당된다.

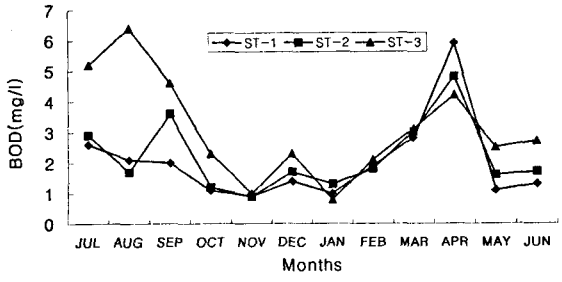

Fig. 3. Eutrophic index(Chl. a) of the study area.

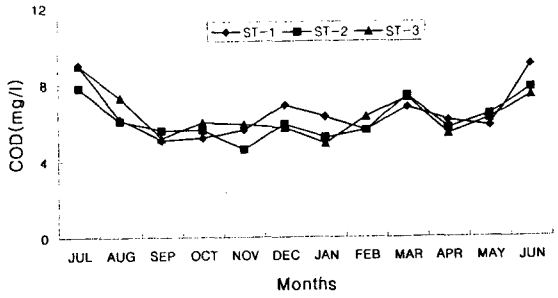

Fig. 4. The temporal variations of COD in study area.

부유물질의 량은 수생물의 변화나 강우에 의한 하천오폐수의 유입으로 영향을 받게 되는데, 전남도 보고[9]에 의하면, 영산강수계에서 오염총부하량은203,517㎏/d의 SS를 유발한 것으로 알려졌으며, 이러한 오폐수에 포함된 부유물질이 분해되는 과정에서 산소를 소모하고 BOD의 변화를 유발하기도 한다. 본 조사에서 부유물질의 양 변화는 4.5~55.0 ㎎/ℓ으로 춘계인 5월에 하류정점인 정점1에서 가장 낮은 부유물질 양을 보였으며, 강우가 시작되는 하계인 7월에 상류정점인 정점3에서 가장 높은 부유물질 양을 나타냈다. 정점에 따른 부유물질 양을 보면은 정점1에서는 4.5~26.5 ㎎/ℓ로서 5월에 가장 낮고, 하계 강우가 시작되는 6월에 가장 높은 부유물질 양을 나타냈다. 정점2에서는 9월에 가장 낮은 부유물질 양을 나타냈으며, 역시 7월에 가장 높은 부유물질 양을 나타냈다. 정점3에서는 하계인 9월에 가장 낮은 9.0 ㎎/ℓ를 나타냈으며, 그리고 7월에 55.0 ㎎/ℓ으로 가장 높은 부유물질 양을 나타냈다.

투명도는 0.2~1.5 m로서 장마성 강우의 영향으로 많은 하천 오폐수가 강에 유입되면서 호소의 탁도가 증가하면서 투명도에 영향을 주어 7월에 호소 상류정점 3에서 가장 낮은 투명도를 나타냈으며, 반면에 장마가 끝나면서 탁도가 낮아지는 9월에 정점2에서 가장 높은 투명도를 나타냈다. 정점에 따른 투명도의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 0.6~1.5 m로서 하계인 6월과 7월에 가장 낮은 투명도를 나타냈으며, 9월에 가장 높은 투명도를 나타냈다. 정점2에서는 0.4~1.4 m 로서 7월에 가장 낮았으며, 12월에 가장 높은 투명도를 나타냈다. 정점3에서의

투명도는 0.2~1.3 m으로 7월에 가장 낮은 투명도를 나타냈으며, 12월과 5월에 가장 높은 투명도를 나타냈다. 이러한 점으로 보아 영산호의 투명도는 갈수기에 높은 투명도를 나타낸 것으로 생각된다. 농진공의 보고[5]에 의하면 영산호의 상류나 하류에서 모두 춘계에 가장 높게 나타나, 상류에서는 2.0 m을 하류에서는 3.35 m를 보고하였는데, 이러한 차이점은 본 조사기간 동안에는 강우가 9월까지 지속됨으로서 장마가 끝나는 하계에 높은 투명도를 나타냈으며, 농진공 조사기간인 1997년에는 5월부터 강우가 시작되었기 때문으로 생각된다.

전도도의 변화는 180~1,100 umhors/cm 로서 강수량이 많은 하계인 7월에 가장 낮은 전도도를 나타냈으며, 갈수기인 2월에 가장 높게 나타냈다. 정점에 따른 전도도의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 240~1100 umhors/cm으로 8월에 가장 낮은 전도도를 나타냈으며, 2월에 가장 높은 값을 나타냈다. 정점2에서는 180~1000 umhors/cm으로 7월에 가장 낮았으며, 역시 11월과 3월에 가장 높은 전도도를 나타냈다. 정점3에서는 190~1000 umhors/cm으로 하계인 7월에 가장 낮게 나타냈으며, 그리고 3월에 가장 높았다.

3.2. 영양염 변화의 특징

영양염류로서 암모니아성 질소(NH_4^+-N)는 0.037~0.971 ㎎/ℓ으로 하계인 8월에 정점1에서 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 동계인 2월에 정점3에서 가장 높은 값을 나타냈다. 정점에 따른 암모니아성 질소의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 0.037~0.887 ㎎/ℓ로서 하계인 8월에 가장 낮은 암모니아성 질소 농도를 나타냈으며, 2월에 가장 높은 암모니아성질소를 나타냈다. 정점2에서는 0.057~0.715 ㎎/ℓ으로 9월에 가장 낮은 암모니아성질소를 나타냈으며, 2월에 가장 높은 암모니아성질소를 나타냈다. 정점3에서는 0.040~0.971 ㎎/ℓ으로 하계인 9월에 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 그리고 2월에 가장 높은 암모니아성질소를 나타냈다. 이처럼 하계에는 많은 강우 영향으로 낮은 암모니아성질소를 나타냈으며, 동계에는 높은 암모니아성 질소를 나타낸 것으로 생각된다. 특히 이러한 높은 암모니아성질소 농도는 동계 식물플랑크톤의 대량발생으로 연결된 것으로 생각된다.[8] 전라남도의 보고[9]에 의하면, 1996년 조사에서 하계는 0.241 ㎎/ℓ의 농도였으나, 동계인 2월에는 가장 높아 1.221 ㎎/ℓ을 보고하였다.

질산성질소(NO_3^--N)는 1.575~6.774 ㎎/ℓ으로 9월에 정점1에서 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 6월에 정점1에서 가장 높은 값을 나타냈다. 정점에 따른 질산성질소의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 1.575~6.774 ㎎/ℓ로서 하계인 9월에 가장 낮은 질산성질소 농도를 나타냈으며, 6월에 가장 높은 질산성질소를 나타냈다. 정점2에서는 1.646~5.074 ㎎/ℓ으로 7월에 가장 낮은 질산성질소를 나타냈으며, 7월에 가장 높은 질산성질소를 나타냈다. 정점3에서는 2.466~4.209 ㎎/ℓ으로 하계인 9월에 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 그리고 7월에 가장 높은 질산성질소를 나타냈다(Fig. 5). Hutchinson[17]에 따르면, 질산염의 농도는 생물화학적인 생성과 분해의 평형에 의존하게 되며, 일반적으로 표층수의 변화는 겨울부터 4월 중순까지 질산염농도는 증가하고 그리고 봄동안의 최고치 이루며, 이후 감소되는 변화는 식물 플랑크톤에 의한 질산염 동화로 기인되고, 여름동안 질산염의 낮은 농도는 겨울에 이르기까지 계속 낮은 값을 지속한다고 하는데 이와 같은 현상은 본 조사와 아주 일치하였다. 특히 본 조사 지역은 강 하류로서 상류에는 광주시(130만 인구)의 많은 생활하수가 영산호로 유입되고 있으며, 영산강 주변에는 나주평야를 중심으로 많은 농경지가 형성되어 있어서 이러한 농경작지로부터 농업폐수가 유입되고 있으며, 특히 하계에는 많은 강우로 인하여 농업폐수 유입량은 더욱 더 많아 하계에는 질산성질소의 농도가 높은 것으로 생각된다. 전라남도의 보고[9]에 의하면, 총질소의 77.6%가 농경지에서 발생되어 하루에 6.0톤의 가량 유입되고 있는 것으로 보고되어서 이처럼 경작이 이루어지는 하계의 영산호 질산성질소의 영향은 매우 큰 것으로 생각된다. 최[12]에 의하면 평균 1.79 ㎎/ℓ(0.31~5.15 ㎎/ℓ)를 보고하였는데, 이점은 암모니아성 질소와같이 상류의 영향을 받고 있는 것으로 생각된다. 식물플랑크톤 성장은 질산성 질소가 0.20 ㎎/ℓ이상에서 부영양화가 일어나는 것으로,[14] 알려졌는데, 이점을 생각하면 영산호는 높은 부영양화가 진행중임을 알 수 있다.

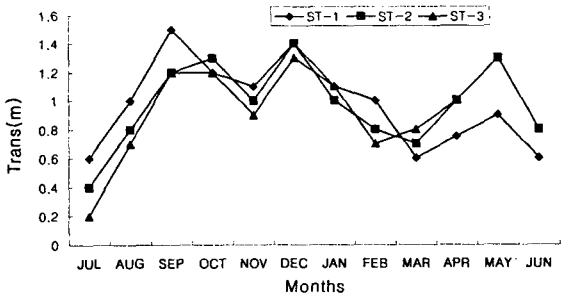

Fig. 5. The temporal variations of Transparence in study area.

총질소의 변화는 2.1~7.99 ㎎/ℓ로서 전선성 강우가 시작되는 하계인 6월에 상류정점인 정점3에서 가장 높은 총질소의 량을 나타냈으며, 장마가 끝나는 8월부터 10월까지 감소하나 11월이후 증가하기 시작하게 되는데, 따라서 가장 낮은 총질소량은 9월에 정점1에서 나타났다. 정점에 따른 총질소의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 2.141~7.600 ㎎/ℓ으로 9월에 가장 낮은 총질소량을 나타냈으며, 강우가 시작되는 6월에 가장 높은 총질소를 나타냈다. 정점2에서는 2.280~7.694 ㎎/ℓ으로 역시 9월에 가장 낮은 총질소를 나타냈으며, 6월에 가장 높은 총질소를 나타냈다. 정점3에서는 3.300~7.989 ㎎/ℓ으로 하계인 9월에 가장 낮은 총질소를 나타냈으며, 그리고 6월에 가장 높은 총질소를 나타냈다. 이러한 점으로 보아 영산호 총질소의 변화는 하계에 수도작 경작에 따른 많은 화학비료의 시비와 동시에 장마성 강우로 인하여 그

에 따른 유출로 영산호로 유입이 이루어지고 있는 것으로 생각된다.

총인산염은 0.035~0.588 ㎎/ℓ으로 4월에 정점1에서 가장 낮은 값을 나타냈으며, 역시 1월에 정점1에서 가장 높은 값을 나타냈다. 정점에 따른 총인산염의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 0.035~0.588 ㎎/ℓ로서 하계인 4월에 가장 낮은 총인산염의 농도를 나타냈으며, 1월에 가장 높은 총 인산염의 농도를 나타냈다. 정점2에서는 0.040~0.380 ㎎/ℓ으로 11월에 가장 낮은 총 인산염 농도를 나타냈으며, 1월에 가장 높은 총 인산염을 나타냈다. 정점3에서는 0.068~0.339 ㎎/ℓ으로 하계인 5월에 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 그리고 1월에 가장 높은 농도를 나타냈다(Fig. 6). 이것은 갈수기인 가을에 접어들면서 상류에서 줄어든 용수량에 비하여 일정한 양의 생활하수 영향으로 생각된다. 하구언이 완성된 이후 최에 의하면 평균 0.26 ㎎/ℓ(0.15~1.23 ㎎/ℓ) 로서, 역시 본 조사보다 약간 높게 나타났으며, 전남도의 보고[9]에 의하면, 총인의 농도 역시 상류보다는 하류에서 약10배 이상 높은 농도를 보고하였으며, 연변화에서는 4월과 6월에 가장 낮은 최저치로서 하구언 가까운 하류정점에서 각각 0.094 ㎎/ℓ, 0.096 ㎎/ℓ을 보고하였으며, 2월에 같은 정점에서 0.371 ㎎/ℓ로서 가장 높은 총인 농도를 나타냈다. 반면에 상류정점에서는 동계보다는 하계인 8월에 가장 높은 총인을 나타냈다. 하계에 상류에서 높았던 점은 상류의 유역하천으로부터 강우와 함께 오수가 유입되었기 때문으로 생각되나, 또한 생활하수의 영향도 생각되나 좀 더 계속적인 연구가 사료된다. 농진공 보고[5]에 의하면, 영산호에 유입되는 총질소와 총인은 주로 축산폐수나 생활하수 그리고 농경지에서 질소나 인산질비료의 사용에 따른 오염 부하량의 증가가 제일 큰 비중을 차지하고있는 것으로 알려졌으며, 전남도 보고[9]에 의하면 영산강수계에서의 총인부하량은 하루에 5,303kg인 것으로 보고하였다. 또한 호소내의 바닥에 침전되어 저질토에 흡착되었다가 서서히 용출되어 수질을 악화시켜 부영양호로 진행되고 있는 것으로 보고하였다. 저질토내의 총질소는 480~2,740 mg/kg을 나타내 영산호의 수질환경에 퇴적층으로부터 분해되어 나오는 총질소는 하류에서 710~845 mg/kg으로, 1995년 농진공조사[5]에 의하면, 시화호 퇴적물의 총질소는 1200~1400 mg/kg, 총인의 농도는 300~500 mg/kg 였으며, 이때 수질의 총질소 농도는 5.170 ㎎/ℓ, 총인 농도는 0.434 ㎎/ℓ의 농도를 나타냈다. 따라서 영산호의 저질토로부터 인산염의 분해는 수중에 유기물 분해로 인하여 저산소가 형성되어 혐기환경이 형성된다면, 인산염 분해율은 가속화되어 수중에 인의 농도는 높아질 것으로 생각된다. U.S.EPA[20]의 부영양화 단계기준에 비교하면 0.02 ㎎/ℓ이상에 속하므로, 본 조사지역은 인산성인(PO_4^{+}-P)에 있어서도 부영양화는 진행되고 있다고 생각된다.

또한 Redfield Ratio에서의 변화는 4월과 6월에는 매우 높은 값을 나타냈으나, 8월과 10월에는 조금 더 낮아졌는데(Fig. 7), 이러한 이유는 수계수량의 감소가 결국 생활하수의 상대비율을 높여서 나타난 이유라 생각되며

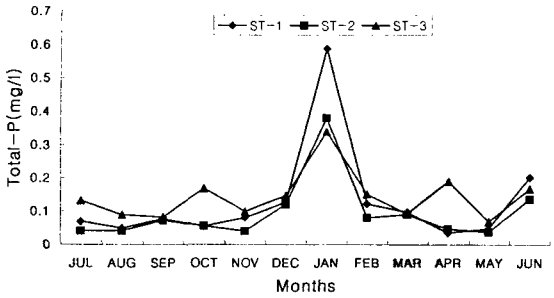

Fig. 6. The temporal variations of T-Phosphate in study area.

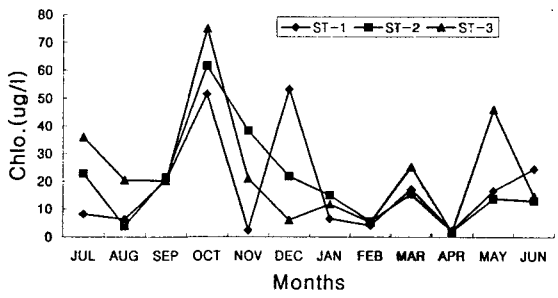

Fig. 7. The temporal variations of Chlo.a in study area.

인의 농도가 더욱 높아지게 되면 본 조사지역의 부영양화는 더욱 더 가중되어 일어날 것으로 생각된다.

엽록소 a의 변화는 1.8~77.0 ㎍/ℓ로서 동계인 12월에 상류정점인 정점3에서 가장 낮은 엽록소 a의 량을 나타냈으며, 춘계 강우와 함께 대량발생이 형성되는 3월에 가장 높은 엽록소 a량이 정점3에서 나타났다. 정점에 따른 총질소의 특성을 살펴보면, 정점1에서는 2.31~53.3 ㎍/ℓ으로 12월에 가장 낮은 엽록소 a량을 나타냈으며, 강우가 시작되는 6월에 가장 높은 엽록소 a량을 나타냈다. 정점2에서는 1.90~61.60 ㎍/ℓ으로 역시 12월에 가장 낮은 엽록소 a를 나타냈으며, 3월에 가장 높은 엽록소 a를 나타냈다.

정점3에서는 1.80~75.0 ㎍/ℓ으로 동계인 12월에 가장 낮은 엽록소 a를 나타냈으며, 그리고 3월에 가장 높은 엽록소 a를 나타냈다. 이러한 점으로 보아 영산호의 엽록소 a 변화는 춘계에 식물플랑크톤의 대량발생이 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 동계에 가장 낮은 값을 나타내나, 동계의 낮은 수온 기간동안에서도 12월에 가장 낮은 엽록소 a를 나타낸 것으로 생각된다. Vollen Weider[21]에 따르면 Chl.a을 기준으로 호소의 상태를 나누었는데 다음과 같다.

평균 1.7 ㎍/ℓ (0.3-4.5 ㎍/ℓ)이면 Oligothrophic,
4.7 ㎍/ℓ (8 -11 ㎍/ℓ)이면 Mesothrophic,
14.3 ㎍/ℓ (3 -78 ㎍/ℓ)이면 Euthrophic,

그 이상이면 Hyperthrophic으로 분류했는데, 역시 본

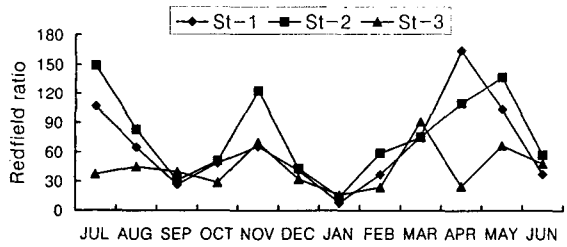

Fig. 8. Redfield Ratio of the study area.

조사지역인 영산호는 부영양화 상태로 변이과정에 있다고 생각 될 수 있다. 또한 U. S. EPA[20]의 부영화 단계기준에서도 엽록소. a는 Mesotrophic에서 Eutrophic단계에 포함되며, Forsbery와 Ryding에 의한 평가기준에서도 역시 Eutrophic단계에 포함된다.

Carlson은 부영양화 단계를 수치에 의한 표현으로 인자들 사이에 값의 차이를 0~100까지 표현되는 지수로서 나타냈는데, 40은 Mesotrophic, 50은 Mesoeutrophic, 60은 Eutrophic으로 분류했는데, 본 조사지역에서 정점1, 2, 그리고 3이 각각 투명도를 기준으로할 때 년평균 모두 60였으며, 엽록소량을 기준으로 할 때도 각각 68, 69, 71로서 대체로 부영양화 단계를 지났다고 할 수 있다. 연변화를 볼 때, 엽록소와 투명도는 모두 하계에는 높은 값을 나타내나, 수온이 낮은 동계에는 낮은 부영화지수를 나타냈다(Fig.9).

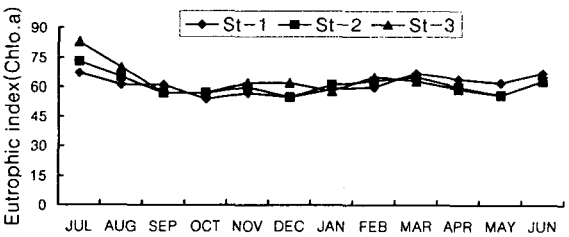

Fig. 9. Eutrophic index(Chlo.a) of the study area.

그러나 앞으로 계속적인 조사가 요구된다. 박등[6]에 따르면, 안동호에서는 전체적으로 균일하게 TSI를 50정도 보고한 바 있어 영산호가 안동호에 비해서 약간 높은 영양상태에 있는 것으로 나타났으며, 정과 김[10]에 의하면, 낙동강 하류부의 영양상태는 TSI(TP)는 61.8을 TSI(SD)는 71을 보고한 바 있어, 본 조사지역은 낙동강 하류지역 보다도 약간 높은 영양상태를 나타내고 있다.

4. 결 론

영산강 수계의 인산염 분해율에 관한 연구가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 영산강의 BOD는 동계에는 수질1등급에 가까운 1 ㎎/ℓ의 수질을 나타냈으며, 춘계 강우와 함께 하천 유량의 증가로 하천주변 오폐수 유입으로 조사정점 모두에서 4월에 4~7 ㎎/ℓ으로 3등급이하 낮은 수질을 나타냈다.

2) 영양염류로서 암모니아성질소의 특성을 보면, 특히 2월에 높아서 0.7~1.0 ㎎/ℓ의 높은 농도를 나타냈는데, 이러한 특성으로 인하여 동계에 식물플랑크톤의 대량발생을 유도하는 것으로 생각된다.

3) 영산강의 총인과 총질소 농도의 흐름으로 보아 저층의 퇴적물에서 분해된 여양염류의 영향을 강하게 받는 것으로 생각된다.

4) 영산호의 부영양상태는 부영양지수 60에 가까워 부영양상태를 지나 과영양상태에 이른 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 학술연구조성비(지역개발연구과제)에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1) 김철수, 송태곤, 1984, 영산호의 수계에 대한 생태학적 연구. 연안생물연구, 1(1): 1~5.
2) 김철수, 송태곤, 박경양, 1987, 영산호 수질의 이화학적 특성, 연안생물연구(4).
3) 김범철, 조규송, 하우명, 김동섭, 1989, 소양호 부영양화의 연변화 추이, 육수지, 22(3) 151~158.
4) 김범철, 안태석, 조규송, 1988, 한강수계 인공호의 부영양화에 관한연구, 육수지 21(3) 151~164.
5) 농어촌진흥공사, 1997, 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구(I).
6) 박영규, 서유덕, 김미호, 1988, 안동호의 영양상태에 관한 연구, 수질보전 제4권 제2호.
7) 오석차, 이건형, 1986, 영산호 하류의 수리 및 수질 자연보전 연구보고서, 8:5-13.
8) 유일광, 이지영, 김병환, 강영식, 1981, 영산강의 수질오염에 관한 연구, 광주보건대 논문집, 6:21-36.
9) 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구.
10) 정장표, 김좌관, 1989, 낙동강 하류부에 영양상태 판정에 관한 연구, 경성대학교 논문집 제10집 2권.
11) 최청일, 1985, 영산호의 부유성 고형유기물질에 관한 생태학적 연구, 서울대학교 박사학위논문.
12) 최청일, 정영호, 1985, 영산호의 육수학적연구(Ⅲ), 육수지, 18(3-4): 85~93.
13) 전국환경관리인연합회, 1991, 수질오염공정시험방법, 환경처 고시 제 91-85호.
14) 杉木昭典 1974. 水質 汚濁 현상과 防止 대책, p.56.
15) APMA. AWWA, WPCF, 1985, 16th. standard methods for the examination of water waste water.
16) Carlson, R. E, 1977, A tropic state index for lakes. Limnol. Oceanogr, 22, 361~369.
17) Hutchinson, 1957, A treatise on limnology. - Volume Geography, Physics and Chemistry, John Wiley, New York.
18) Krenkel, P. A. and V. Novotny, 1980, Water quality management, ACADEMIC press New York.
19) Unesco paris, 1966, A guide to the measurement of

marine primary production under some special conditions.
20) U. S. Environmental protection Agency, Proceedings of an EPA Sponsored Symposium, EPA 600(3-76-079), 185.
21) Vollen Weider, R. A., 1979, Advances in defining critical leading ievsels for phosphorus in late eutrophication, Mem. Ist. Ital. Idrobiol 33: 53-83.
22) Wetzel, R. G., 1975, Limnology, Second edition. Saunders College Pub.