

옥정호의 효율적인 수질관리방안 A Scheme of Effective Water Quality Management on Lake Okjeong

이 요 상* / 김 우 구**
Lee, Yo Sang · Kim, Woo Gu

Abstract

Investigated data on Lake Okjeong were used for the simulation of water quality. According to the simulation result, the effective scheme of water quality management on reservoir has been proposed. It has been recognized that the water quality of Lake Okjeong is under eutrophic and mesotrophic condition even though there are seasonal variation. The water quality of lake is mainly affected by the inflow of pollutant load from watershed. Therefore, to estimate and quantify the accurate amounts of pollutants flowing into reservoir is absolutely necessary for the effective management of water quality on Lake Okjeong. When the pollutant load measured during 7 different rainy periods in 1999 was compared with total pollutant load in 1999, TN and TP measured during 7 different rainy periods showed almost 50% of total pollutant load. In case of SS, it was 72.8%. On the other hand, the rainfall amount measured during the 7 different rainy periods was about 17.5% of total rainfall amount in 1999. Release rate of TP shows 11.92 mg/L at fish farm site and 0.2~1.9 mg/L at monitoring station of water quality on Lake Okjeong, and which is considered to be less than that of other foreign reservoirs under the circumstances of anoxic condition. For the effective management of water quality on Lake Okjeong, WASP5 water quality simulation model has been applied and verified, and the verified model was used to propose the effective scheme of water quality management. In this case, 6 different scenarios were applied, by changing the amount of inflow of pollutant load in each subbasin. The most effective scheme has turned out that pollutant load generated from Imsil and Gwanchon subbasin should be reduced, and the best way to improve the water quality is to reduce the pollutant load at every subbasin. According to the simulation result, wastewater treatment facility should be located at every subbasin.

Keywords : water quality management, Lake Okjeong, pollutant load

요 지

옥정호에 대한 수질변화 조사 자료를 토대로 수질모의를 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 효율적인 댐저수지 수질관리 방안을 제시하였다. 옥정호의 수질은 계절에 따라 중영양상태와 부영양상태를 나타내는 것으로 평가되었

* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

Senior Researcher, Water Resources Research Institute, KOWACO, Taejeon 305-730, Korea. (E-mail: yslce@kowaco.or.kr)

** 한국수자원공사 수자원연구소 소장

President, Water Resources Research Institute, KOWACO, Taejeon 305-730, Korea. (E-mail: wgkim@kowaco.or.kr)

으며 이러한 수질상태는 외부로부터 유입되는 오염원에 많은 영향을 받게 되므로 우선 유역으로부터 유입되는 오염부하의 정확한 산정이 필요한 것으로 평가되었다. 1999년에 조사한 7차례의 강우기간 중 총 부하와 일년간 발생한 총 부하를 비교하면 강우량은 17.5%인데 비해 SS는 72.8%, TN과 TP는 약 50%가 강우기에 유입되는 것으로 조사되었다. 또한 퇴적물의 용출율은 TP의 경우 가두리 양식장이 운영되던 지점에서는 11.92 mg/L, 정기수질 조사지점에서 0.2~1.9 mg/L로 국내·외 자료와 비교하여 용출율이 작은 것으로 나타났다. 댐저수지 수질관리 방안 수립을 위하여 WASP5 모형을 적용하였으며 검증된 결과를 이용하여 각 소유역에서 오염부하 삭감에 따른 6가지 방안에 대한 수질모의를 실시하였고 각각에 대한 수질개선 효과를 제시하였다. 가장 효율적인 방안은 임실천 유역과 관촌교 유역의 오염부하를 제어하는 방안으로 평가되었으며, 가장 수질개선효과가 좋은 것은 대표 세우역의 오염부하를 제어하는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 수질개선을 위한 하·폐수처리장의 건설 적지를 제시하였다.

핵심용어 : 수질관리, 옥정호, 오염부하

1. 서 론

1997년 현재 국내에는 18,797개의 호소가 존재하고 있으며 이들의 대부분은 수자원의 확보를 위해 인공적으로 조성한 것이다. 순수한 의미의 자연호소는 경포호 등 주로 동해안 지방에 존재하는 기수호 5~6개소에 불과하며 전체호수의 99%이상이 용수확보를 위해 인공적으로 조성한 것이다(대한환경공학회, 1999). 그 중 농업용수 확보를 위해 조성한 저수지는 18,754개소이며 나머지는 다목적용, 발전용, 상수도 목적으로 조성된 인공호수들이 있다. 이러한 수자원의 확보문제와 아울러 80년대에 들어서면서 확보된 물의 적정한 이용을 위한 수질 유지 문제가 새로운 과제로 대두되었다. 90년대 초반부터는 국민들이 오염된 물에 대한 관심이 높아졌으며 심한 경우에는 먹는물에 대한 불신현상까지 빚어지고 있는 상황이다. 결국 적정한 수질이 보장되지 않는 물은 그 사용가치가 저감되므로 적극적인 수질보전 대책이 뒷받침되어야 한다.

1965년 댐 건설 이래 댐 수질보전을 위한 연구 실적이 전무한 형편인 옥정호(섬진강 다목적 댐)는 1994년 이후 수질악화로 인해 수돗물에서 이취미가 발생되고 댐저수지에 조류가 대량 발생하는 등 수질문제가 야기되고 있어 수질향상을 위한 대책마련이 시급한 실정이다(수자원연구소, 2000). 따라서 옥정호의 수질개선을 위한 방안으로 유입오염원 현황, 오염물질의 유입특성 및 호수내 오염물질의 축적상태 등을 종합적으로 연구 검토하여 호소수질 개선을 위한 관리방안 도출을 실시하였다. 본 연구를 통하여 제시된 방안을 효과적으로 실시할 경우 궁극적으로 저수지 수질을 회복시켜 양질의 취수원수 확보가 가능해 지게 되므로 이러한 연구결과는 옥정호 내외의 오염원대책 등 장·단기 수질개선 계획에 활용되어야 할 것이다.

2. 수질 조사

전라북도의 광활한 평야에 농업용수를 공급하던 등진강의 유량이 적어 인접한 섬진강 물을 이용하고자 섬진강 다목적 댐이 건설되게 되었다. 옥정호 유역은 전북 진안, 순창, 정읍 등 1개시, 3개군에 속해 있으며 유역면적이 763km²이고 총저수용량은 4.66×10⁶m³이며 상수민수위 면적은 26.5km²이다. 거주하는 인구의 주 경제 활동은 농·축산업으로 대부분의 토지가 임야(74.8%)와 농경지(15.3%)로 이용되고 있으며, 중소규모의 산업시설이 임실군에 소수 집중되어 있으나 옥정호로 유입되는 수질오염원은 주로 생활하수와 농·축산폐수이다.

2.1 오염원 조사

옥정호 상류 소유역으로는 관촌 유역과 추령천 유역으로 대표되며 기타 소유역은 유역면적이 작고 유하거리도 짧아 소유역으로 구분하여 조사하기에 적절치 못하므로 본 연구에서는 상기한 대표 두 유역을 중심으로 오염원조사를 실시하였다.

관촌 유역은 임실군과 진안군을 포함하는 옥정호 본류지역으로 가장 많은 인구밀집과 이에 따른 가장 많은 오염원 배출지역으로 상징되는 지역이다. 대표적인 지역으로는 도봉리의 집단적인 젓소사육 지역이며, 여기서 발생하는 축산폐수가 대부분 무단 방류되고 있다. 인구밀집지역으로는 임실읍과 관촌면이 있으며 진안군에 소규모의 인구밀집지역이 산재하고 있다(한국수자원공사, 1999). 추령천 유역은 상대적으로 오염원도 적고 수질도 양호한 편이나 호텔이나 콘도 등과 같은 위락시설이 계속 건설됨에 따라 수질오염이 우려된다.

2.2 오염물질의 유입특성 및 저수지 수질변화

옥정호와 유입하천의 수질변화 특성을 분석하기 위하여 매월 댐저수지와 유입하천에 대한 수질조사를 실시하였으며, 수질변화에 가장 큰 영향을 미치는 강우시 상류하천의 수질변화는 집중조사를 통하여 수질변화 특성을 분석해 보았다. 옥정호로 유입되는 하천은 그림 1과 같이 호소 우측에 조원천과 좌측에 추령천이 있으며 수질조사는 주요 유입하천에서 6지점(관촌, 용산교, 성수산, 쌍치, 덕암교, 배죽교)을 조사지점으로 하였다. 성수산지점은 최상류하천 지점으로 산속깊이 위치하여 오염이 되지 않은 지점이므로 대조지점으로 운영하고 관촌과 용산, 덕암교 지점은 조원천의 오염부하산정을 위하여 조사지점으로 선정하였으며, 쌍치와 배죽교지점은 추령천의 부하산정을 위하여 조사지점으로 선정하였다.

2.2.1 상류하천 수질변화 특성

유입 오염부하는 하천 유량에 따라 큰 차이를 나타

내므로 강우기와 비강우기로 나누어 조사하였다. 비강우기시에 조사된 유입하천의 각 조사 지점별 수질항목별 농도를 살펴보면 모든 지점이 지난 3년간 매월 큰 변화를 나타내었다. 특히 용산교 지점(임실천)의 수질농도는 다른 지점에 비해 오염도가 높으면서 변화폭도 큰 것을 볼 수 있다. 이런 결과로 판단할 때 비강우기시에 유입하천의 수질은 점오염원에 큰 영향을 받는 것으로 평가된다(한국수자원학회지, 2000).

비강우기에 측정된 저수지내로 유입되는 각 지점별 유입하천의 '98년부터 2000까지 BOD 평균 농도는 표 1에 나타난 바와 같이 용산교 지점이 가장 심하게 오염된 것을 알 수 있다. 또한 관촌교 지점과 용산교 지점의 년 평균 BOD 농도를 보면 해마다 조금씩 농도가 증가하였다. 이는 관촌교 지점과 용산교 지점의 경우 점오염원에 의한 오염물질의 유입이 계속 증가되고 있다는 보여주는 것이다. 이외의 성수산, 덕암교, 쌍치, 배죽교 지점은 큰 변화는 없었다.

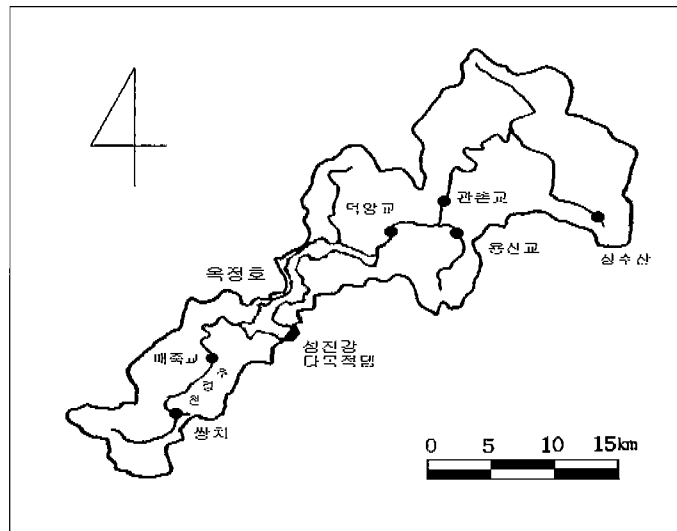


그림 1. 수질조사 지점 위치도

표 1. 상류하천 각 조사지점별 년평균 BOD 농도

단위 : mg / L

년도별 \ 지점별	성수산	관촌교	용산교	덕암교	쌍치	배죽교
1998	0.69	1.32	2.37	1.55	0.97	1.20
1999	0.65	1.62	3.22	1.58	0.88	0.83
2000	0.67	2.60	4.15	1.98	1.30	0.89
평균	0.67	1.47	2.79	1.56	0.93	1.01

강우기에 하천수질조사는 상류의 3지점(관촌교, 용산교, 쌍치지점)에서 실시하였으며 강우 발생후 유출이 시작되면 연속적으로 4시간 간격으로 유출 완료시까지 수질조사를 실시하였다. 강우기 유입부하는 매번 조사시기에 따라 다르게 나타나며 강우량과 강우강도 그리고 선행강우상태 등에 따라서도 다르게 나타난다 (Lee Steppacher 등, 1999 : Patricia Lohgabucco 등, 1998 : 오종민 등 1999). 조사된 자료로부터 수질변화를 살펴보면 조사기간 중 측정된 평균 수질농도는 비강우기에 배월 측정된 평균 수질농도에 비해 BOD는 약 1.2~1.4배, COD는 1.2~1.7배, SS는 2.6~5.4배, TN은 2.3~3.0배, TP는 2.4~7.5배 증가하는 것으로 조사되었다. 1998년과 1999년에 산정한 월별 오염부하를 살펴보면 1999년에는 하절기인 6~9월 사이에 부하되는 양이 BOD는 63.7%, COD는 75.5%, SS는 90.7%, TN은 78.4%, TP는 81.0%로 나타났으며 1998년에는 BOD는 68.2%, COD는 78.5% , SS는 85.5%, TN은 66.7%, TP는 69.2%를 나타냈다. 따라서 유입수량과 유입부하는 상당한 상관성이 있는 것으로 보여지며 유입초기에는 유입농도가 급격히 증가하다 유입량이 줄어드는 기간에는 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 이로부터 총부하중 하절기 유입부하가 매우 많은 부분을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 1999년 7차례의 강우기간 중 산정된 총부하량과 일년간 발생한 총 부하를 비교하면 강우량은 17.5 %인데 비해 BOD는 28.5%, COD는 28.3%, SS는 72.8%, TN은 49.3% 그리고 TP는 49.9%가 강우기에 배출되는 것으로 조사되어 강우기에 유입되는 오염부하가 총 부하에서 차지하는 비율이 매우 높은 것으로 나타나 효율적인 수질관리를 위해서는 이에 대한 조사가 매우 필요한 것으로 나타났다.

2.2.2 댐저수지 수질변화 특성

수온은 매년 유사한 양상을 나타내는데 1월에서 3월까지는 전층의 수온이 거의 일정하며 4월부터 수온성층이 생성되기 시작하여 하절기인 7, 8, 9월에 가장 뚜렷하게 형성되었다. 수심에 따라 차이를 나타내긴 하지만 11월에 들어가면서 수심이 낮은 지역부터 성층이 서서히 사라지는 것으로 나타났으며 수심이 깊은 댐앞 지점은 1월이 되어야 완전한 전도현상이 일어나는 것으로 나타났다. 수심에 따른 변화를 살펴보면 모든 지점에서 수심에 따른 수온변화는 거의 동일한 것으로 나타났다.

pH의 변화는 4월부터 수층간에 차이를 나타내며

상층의 pH가 높아지는 것으로 나타났다. 주로 하절기에는 상층의 pH가 더욱 높아져 알칼리성을 나타내는데 이것은 조류의 급격한 성장으로 낮동안 광합성에 의해 수중의 CO₂가 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 저수지 각지점에서 중·하층 pH 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

용존산소 변화를 보면 댐앞에서는 매년 1월경에 심층의 용존산소 농도가 급격히 상승하는 것을 볼 수 있는 반면 수심이 조금 낮은 지점은 매년 12월경에 DO 상승이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이로 미루어 볼 때 옥정호의 전도현상은 상류부터 시작되어 수심이 가장 깊은 댐 앞에서 1월경에 완전히 이루어졌으며 반면 4월부터 시작된 성층으로 인하여 6월부터 심수층의 용존산소 농도가 낮아지기 시작하여 9월경에 최저를 나타냈다. 반면 조류의 활동이 가장 활발한 하절기에 표층수의 DO농도는 과포화를 나타내며 그로 인하여 조류가 많은 하절기에 상층과 중·하층과의 DO 차이가 크게 나타났다.

댐 저수지내 각 지점의 수심별 BOD는 하절기에 상층이 중·하층에 비해 높은 BOD값을 나타냈다. 이러한 현상은 하절기에 상층에 존재하는 식물플랑크톤에 의해서 나타난 현상으로 평가된다. 반면 전도현상이 발생하는 등절기에는 중·하층의 BOD 농도가 상층보다 더 높게 나타나는데 이는 하절기에 발생된 입자성 물질들이 침강하는 과정과 저수지 전도현상시에 하층의 퇴적물이 부유하는 현상에 의해 나타나는 것으로 사료된다. 각 조사 년도별로 저수지내 BOD평균 농도에는 큰 변화가 없었으며, 유입하천과 가장 가까운 입석지점의 경우만 '98년 2.32 mg/L, '99년 4.13 mg/L, 2000년 1.57 mg/L로 변화를 나타내었다.

댐저수지내 각 지점별 COD 농도 변화를 살펴보면 '98년부터 2000년까지 평균농도가 조금씩 낮아진 것으로 나타났으나 수심별 COD 농도는 상수원수 III등급에 해당하는 것으로 나타나 지속적인 수질관리가 필요한 것으로 판단된다.

각 조사지점의 SS 변화는 상류하천 유입수가 저수지내 측정지점까지의 유흠거리가 짧은 지점이 다른 지점에 비해 상대적으로 높은 수치를 나타내었다. 강우에 대하여 다른 수질변수에 비해 민감하게 반응하는 SS는 하절기에는 상층에 비하여 중·하층의 농도가 높게 나타났다. 이는 강우시 유입수가 밀도류를 형성하여 중·하층으로 유입되기 때문인 것으로 판단된다.

댐 저수지의 TN 농도가 전 지점에서 1.5 mg/L 이상

을 나타내 질소에 대한 편리가 절실히 요구된다. COD 농도가 해마다 약간씩 줄어든 것에 비해 TN은 각 지점 별 년별의 변화가 거의 없었다. 또한 수심별 TN의 농도에도 차이가 없는 것으로 나타나 저수지내 전체가 오염된 것을 알 수 있다.

TP 농도는 상대적으로 수심이 얇고 유하거리가 짧아 오염원 유입의 영향을 많이 받는 지점이 높은 수치를 나타내었으며, 하절기에 수치가 높아지는 것으로 나타났다는데 이는 장마철 강우에 의한 비점오염원의 유입에 기인한 것으로 판단되었다. 또한 월별 상·중·하층의 농도에도 차이를 나타내는데 이는 유입수의 밀도류 형성에 따른 영향으로 판단된다. 그리고 옥정호와 상류 하천의 N : P 비가 모두 16이상을 나타내고 있어 부영양화의 제한인자가 P임을 알 수 있다.

2.2.3 퇴적물의 용출특성

생태학적으로 퇴적물은 저서생물이 부착하거나 생활

할 수 있는 공간을 제공하는 수생태계의 중요한 요소로 수체와 유기적으로 연결되어 있다. 침강된 오염물질은 일단 수중으로부터 제거되어 퇴적물 속에 축적되었다가 확산, 재부유, 생물교란 등의 생물·물리·화학적 과정에 의해 다시 수중으로 용출되어 수질 및 수생태계에 직·간접적인 영향을 미친다(대한환경영향평가학회지, 2000 : Jacoby J.M. 등, 1982).

퇴적물로부터 용출이 많이 발생할 것으로 예상되는 지역인 과거 가두리 양식장 운영지점과 수질조사 지점을 대상으로 용출실험을 실시하였다. 연도별 용출량은 '98년에 비해 '99년이 상당히 감소한 것으로 나타났으며 2000년 용출 결과에서는 양식장 지점에서의 용출량이 '98년에 비하여 조금씩 줄어드는 것으로 나타났다. 2000년 용출실험 결과에서 수질조사지점 3곳의 용출율은 양식장 지점에 비하여 용출율이 적게 나타나는 것을 표 2 로 부터 알 수 있다. 특히 수질오염의 주요 인으로 평가되는 인은 양식장 지점의 용출율에 비해

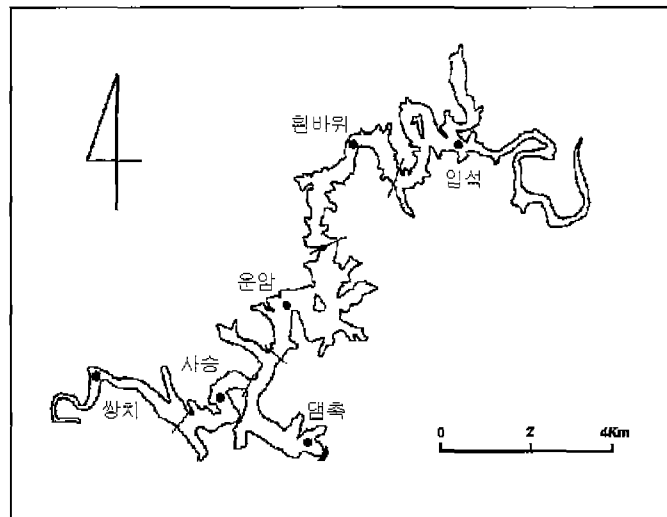


그림 2. 수질모의를 위한 옥정호 분할도 및 수질조사 지점도

표 2. 옥정호 퇴적물의 용출특성 (1998년~2000년)

단위 : mg/m ² ·day				
년 도	구 분	T-N	T-P	PO4-P
1998년	양식장 지점	68~79	17~18	10~11
1999년	양식장 지점	25~32	10~14	3~5
2000년	양식장 지점	25.74	11.92	8.220
	정기수질조사지점	10~19	0.2~1.9	0~0.563
	대조 지점	7.30	0	0

자연퇴적물의 용출율이 10 %이하로 적게 나타나 인위적인 오염물질이 자연적인 오염에 비해 그 부하가 매우 큰 것임을 알 수 있다.

3. 저수지 수질모의 모형의 적용

본 연구에서는 옥정호 수체를 일정한 수질특성을 갖는 공간으로 분할하여 입석부터 사송지점 까지 6개의 구간으로 구분(그림 2)하였으며 수체는 상하층으로 분

리하였다. 또한 저니층을 다른 하나의 층으로 구분하여 WASP5모형을 적용하여 수질모의를 실시하였으며 각 Segment별 물리적인 특성은 표 3과 같다.

WASP5 모형은 수질 및 수리를 모의 할 수 있는 모델로 미국 환경청에서 개발되었으며 특히 호소의 수질모의에 널리 이용되고 있으며 국내에서도 매우 활발하게 활용되고 있다(박영기, 2000 : James Zhou, 1998). 본 연구에서는 EUTRO5 모형에 의한 수질모

표 3. 각segment별 물리적 특성

Segment No.	Surface area ($\times 10^5 \text{ m}^2$)	Average depth (m)	Volume ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
1	6.86	5	13.5
2	7.77	10	30.8
3	18.5	15	11.8
4	9.16	20	18.7
5	2.66	15	189
6	1.33	5	94.7
7	19.6	3	1.39
8	25.3	5	2.65
9	50.2	8	9.20
10	1.75	15	7.21
11	14.2	8	7.33
12	7.1	4	3.67

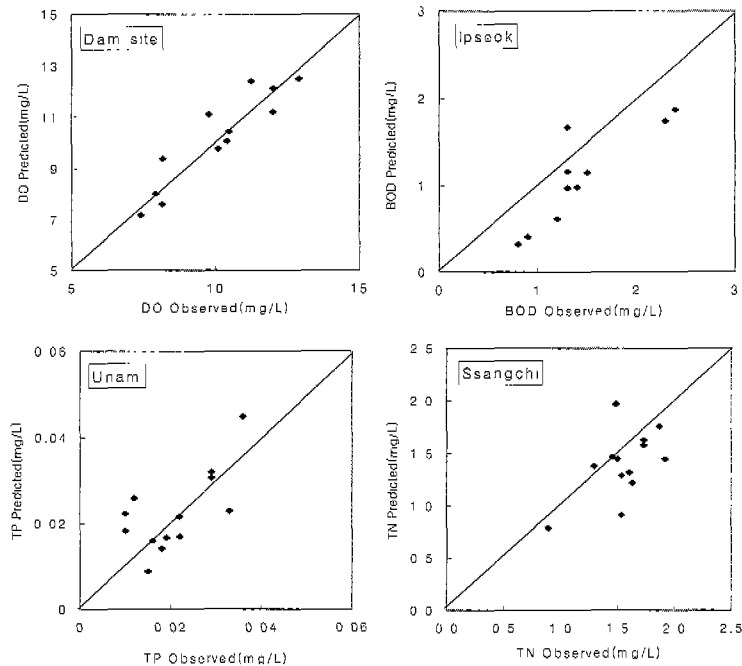


그림 3. 옥정호 수질모의 검증

표 4. 소유역별 오염원현황

소유역	인구	한우	젓소	돼지	발생량 (m ³ /day)
임실천	7,972	1,781	1,354	5,721	2,208
관촌교	10,818	2,945	2,408	21,242	3,147
추령천	6,842	3,272	-	202	1,828
합계	18,790	4,726	3,762	26,963	5,358

※ 배출 원단위는 환경부고시제 1999 109호 참조

의를 수행하였으며 복잡도는 4단계에서 실시하였다. 모형의 보정은 1998년도에 매월 조사한 수질자료를 이용하여 실시하였다. 1998년도에 조사된 수질자료에서 상류하천의 유입부는 하천 유입수의 성상에 따라 수질변화가 크게 나타난 반면 그 하류부는 거리가 멀어짐에 따라 조금씩 영향이 적어짐을 알 수 있었다. 모형의 검증은 1999년 옥정호 수질 자료를 사용하여 수행하였으며 검증결과는 그림 3과 같다. 모의치와 실측치간에 상관분석을 실시한 결과 DO와 BOD는 상관계수가 각각 0.921과 0.899로 1 %유의수준 상관계수 0.6885보다 커 고도로 유의한 상관관계를 나타냈으며 TN과 TP는 상관계수가 각각 0.5602와 0.6543으로 5 % 유의수준 상관계수인 0.5529보다 큰 것으로 나타나 유의한 상관관계를 확인할 수 있었다.

4. 수질보전 방안 수립

저수지 수질보전 방안은 크게 호내대책과 유역대책으로 구분할 수 있다. 호소수질관리를 위한 일반적인 수질보전 방안 적용 사례를 보면 먼저 유역으로부터 유입되는 오염부하에 대한 조치를 강구한 후에 호내 대책을 적용하는 것이 가장 효율적인 방법이다(C. Demunck 등, 1997). 특히 우리나라와 같이 댐저수지의 역사가 길지 않은 경우에는 호내에서 획기적인 대책의 적용이 어려운 것이 사실이다. 따라서 저수지 수질 보

전을 위해 가장 시급히 추진되어야 할 방안은 상류 유역으로부터 유입되는 점오염원의 차단이라 할 수 있다. 특히 옥정호 유역처럼 하·폐수 처리시설이 없는 경우에는 무엇보다도 유역오염원 대책이 우선적으로 적용되어야 한다. 따라서 본 절에서는 상류유입오염원 삭감에 따른 수질개선효과를 분석하였다. 대상유역은 상기한 바와 같이 관촌유역과 추령천유역을 대상으로 하였으며 관촌유역은 다시 관촌교유역과 임실천유역으로 구분하였다.

4.1 소유역별 삭감부하량 선정

먼저 오염원 현황과 배출원단위에 따른 소유역별 발생 하·폐수량 산정을 실시하였으며(표 4) 이로부터 삭감오염부하를 결정하였다. 옥정호 수질개선을 위하여 표 5 와 같이 여러 가지 시나리오에 따른 수질모의를 실시하였다. 각 시나리오는 우선 각 소유역별 오염부하를 완전히 삭감하는 것을 조사 소유역에 적용하였다. 삭감비율을 선정함에 있어서는 오염부하 제거를 위하여 하·폐수 처리장을 완벽하게 건설할 경우의 처리 비율은 90 %로 하였고 완벽한 하·폐수 처리장 건설이 어려운 현실을 감안하여 두 개의 소유역에서 오염부하 50% 제거에 따른 수질모의를 실시하였다.

표 5. 오염부하 삭감안

소유역	삭감 비율 (%)					
	제 1 안	제 2 안	제 3 안	제 4 안	제 5 안	제 6 안
관촌교	인구 (90) 가축 (90)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (50) 가축 (50)	인구 (50) 가축 (50)
임실천	인구 (0) 가축 (0)	인구 (90) 가축 (90)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (90) 가축 (90)	인구 (90) 가축 (90)	인구 (90) 가축 (90)
추령천	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (90) 가축 (90)	인구 (50) 가축 (50)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (50) 가축 (50)
기타유역	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)	인구 (0) 가축 (0)

표 6. 오염부하 삭감에 의한 수질변화

단위 : mg / L

구분	정상값	제 1 안	제 2 안	제 3 안	제 4 안	제 5 안	제 6 안	
운암지점	DO	9.45	9.46	9.46	9.46	9.46	9.46	9.47
	BOD	0.590	0.580	0.586	0.586	0.584	0.580	0.579
	T-N	1.015	0.960	0.996	0.998	0.984	0.961	0.951
	NO ₃ -N	0.831	0.784	0.815	0.817	0.805	0.784	0.776
	T-P	0.022	0.021	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021
	PO ₄ -P	0.0113	0.0106	0.0111	0.0112	0.0110	0.0106	0.0106
뎀앞지점	DO	9.70	9.71	9.70	9.70	9.71	9.71	9.71
	BOD	0.277	0.272	0.275	0.275	0.274	0.273	0.272
	T-N	0.642	0.612	0.632	0.634	0.626	0.612	0.608
	NO ₃ -N	0.525	0.497	0.515	0.518	0.511	0.498	0.494
	T-P	0.016	0.015	0.015	0.016	0.015	0.015	0.015
	PO ₄ -P	0.0077	0.0073	0.0075	0.0076	0.0075	0.0073	0.0072
사송지점	DO	9.99	10.0	9.99	10.0	10.0	10.0	10.0
	BOD	0.182	0.180	0.181	0.176	0.178	0.180	0.178
	T-N	1.286	1.247	1.273	1.233	1.241	1.247	1.218
	NO ₃ -N	1.195	1.158	1.183	1.147	1.154	1.158	1.131
	T-P	0.029	0.028	0.029	0.029	0.029	0.028	0.028
	PO ₄ -P	0.0220	0.0214	0.0218	0.0218	0.0216	0.0214	0.0213

4.2 오염부하 삭감에 따른 장래 수질예측

각각의 삭감 계획안에 따른 수질 모의결과는 수질항목 DO, BOD, TN, NO₃-N, TP, PO₄-P에 대하여 표 6 에 년평균 수질농도를 뎀저수지의 대표지점인 운암, 뎀앞, 사송지점에 대하여 제시하였고 그림 4 에 항목별 일년간 수질모의 결과를 일별로 제시하였다. 오염부하 삭감에 따른 수질 변화를 살펴보면, 표 5 에 나타난 바와 같이 대폭적인 오염물질의 농도 하락으로 나타나는 않았지만 모두 조금씩은 수질개선 효과를 나타냈다. 검정을 실시한 1999년 자료를 이용하여 실시한 수질모의 결과에서 수질개선 폭이 크지 않은 것은 당연한 결과로 보여지나 이러한 오염부하 삭감이 수년간 계속 이루어진다면 육정호 수질은 뚜렷이 개선될 것으로 예상된다.

각각의 오염부하 삭감안을 비교해보면, 각 소유역의 오염부하를 완전히 삭감하는 제1안부터 제3안까지에서 가장 효과적인 것은 유역면적이 가장 넓으면서 오염부하가 가장 많은 관촌 유역의 오염부하를 삭감했을 경우인 제1안이 가장 큰 수질개선 효과를 나타내었으며 유역면적은 작지만 오염원이 밀집되어 있는 임실천 유역

의 수질개선 효과가 그 다음으로 좋은 수질개선 효과를 나타내었다. 그리고 각 소유역에서 하·폐수 처리장 건설이 용이한 주거밀집 지역에만 처리장을 건설할 경우로 가정된 오염부하 50 % 제거안을 적용할 경우에는 대표 세 유역에 모두 처리장을 건설하는 제 6안이 가장 효율이 좋은 것으로 나타났으나, 관촌 유역과 임실천 유역에만 적용한 제5안이 경제성 등 여러 가지 면에서 가장 효율적인 방안으로 검토되었다. 따라서 향후 하·폐수처리장을 건설할 경우에는 임실천 유역에 대한 투자를 우선적으로 실시한 후 관촌 유역으로 확대해 나가는 것이 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 기타 오염원 조사에서 언급한 바와 같이 인실근 폐기물 처리장이나 호텔, 콘도미니엄, 위락시설 등의 건설이 계속 된다면 이에 따른 적절한 방안을 수립하고, 강력하게 수질관리 방안을 적용해 나가야만 육정호 에서 가시적인 수질개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 처리장 건설 적지 선정

하·폐수처리장 건설 시에 위치의 선정은 발생된 오염원의 수월한 수집과 수량의 확보라는 면에서 어느 것보다도 중요한 조건이라 할 수 있다. 따라서 최적지 선

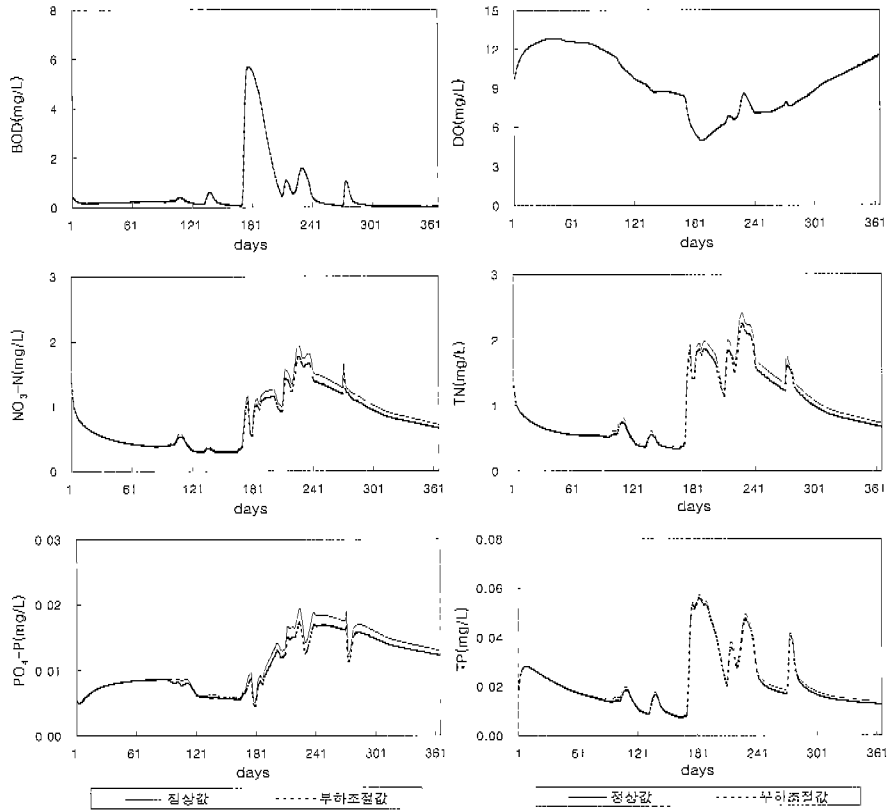


그림 4. 제 6안의 오염부하삭감 계획에 따른 수질모의 결과 (운암)

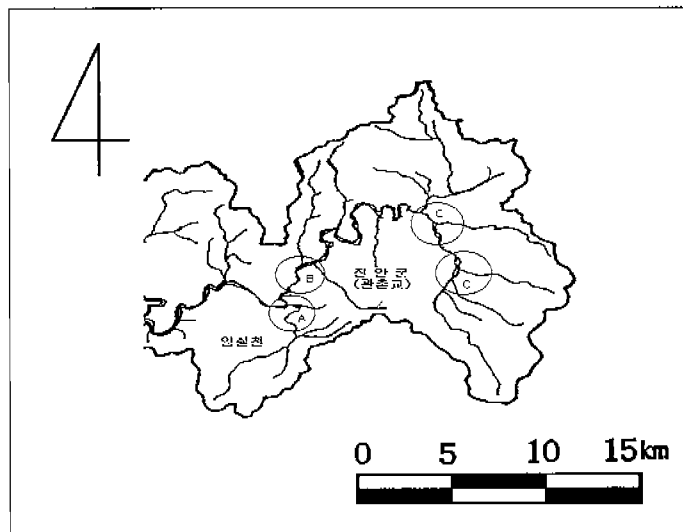


그림 5. 저수지 상류유역 처리장 건설 적지도

정을 위하여 다양한 기법과 많은 현장조사 및 자료조사가 필요하나 본 절에서는 현장조사 경험을 토대로 몇 군데의 적지를 제시하고자 한다. 따라서 실제 적용 시에 본 내용이 좋은 참조가 될 수 있기를 기대한다. 제 1의 적지로는 임실천이 본류와 만나는 용산리 지점(그림 5의 A지점)으로 약 2,000 m³/일 규모의 처리장 건설이 필요한 것으로 평가된다. 이 지점은 임실읍에 거주하는 약 8,000명의 생활하수를 쉽게 수거할 수 있는 지점이며 도봉리에 밀집하여 있는 축산시설로부터 배출되는 축산폐수를 처리할 수 있는 최적의 위치이며 하수관거 설치에도 효율적인 것으로 평가되는 옥정호 상류유역에서 가장 시급한 처리장 건설지로 판단된다.

다음으로 판촌교 유역은 면적이 넓어 지역에 따라 몇 개의 처리장이 건설되어야 할 것으로 평가된다. 우선 판촌면에 밀집된 약 6,000여명의 주민으로부터 배출되는 생활하수를 처리할 수 있는 약 630 m³/일 규모의 처리장 건설이 필요하며(그림 4의 B지점), 마령면 송내, 평지리 그리고 진안군 운계리, 백암면 등의 소규모 인구 밀집지역에 각각 550 m³/일, 400 m³/일 규모의 마을하수처리장의 설치가 필요한 것으로 평가된다(그림 4의 C지점). 추령천 유역에서는 대규모 인구밀집 지역은 없으나 북흥면이나 쌍치면에 각각 500 m³/일, 450 m³/일 규모의 마을 하수처리장을 설치해야 될 것으로 판단된다. 그 이외에 덕전리에 운영중인 폐기물처리장이나 북흥면에 현재 건설되고 있는 호텔, 상송리에 건설계획중인 콘도, 용선리 등의 김치공장 등과 같은 점오염원으로부터 배출되는 폐수에 대해서는 철저하며 지속적인 관리가 이루어져야 처리장 건설에 따른 수질 개선 효과를 확인할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 옥정호에서 2년간(1998년과 1999년) 유역과 댐저수지 수질변화를 면밀히 조사한 자료를 토대로 저수지 수질모의를 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 효율적인 댐저수지 수질관리 방안을 제시하였다.

1. 효율적인 호소 수질관리를 위해서는 우선 유역으로부터 유입되는 오염부하의 정확한 산정이 필요하다. 1999년에 조사한 7차례의 강우 기간중 산정된 총 부하와 일년간 발생한 총 부하를 비교하면 강우량은 17.5%인데 비해 BOD는 28.5%, COD는 28.3%, SS는 72.8%, TN은 49.3% 그리고 TP는 49.9%가 강우기에 발생되는 것으로 조사되어 강우기에 유입되는 오염부하

가 총 부하에서 차지하는 비율이 매우 높은 것으로 나타났다.

2. 댐저수지 내부에서 수질에 영향을 미치는 인자로는 퇴적물의 용출을 들 수 있다. 옥정호 퇴적물의 용출율은 2000년에 TP의 경우 양식장지점에서 11.92 mg/L, 정기수질조사지점에서 0.2~1.9 mg/L로 국내·외 자료와 비교한 결과 용출율이 작은 것으로 나타났으며, 가두리 양식장 철거로 인하여 용출에 따른 영양염의 부하는 매년 급격히 감소하는 것으로 나타났다.
3. 댐저수지 수질관리에 적용하기 위하여 WASP5 모형을 적용하였으며 선충된 결과를 이용하여 각 소유역에서 오염부하 삭감에 따른 6가지 방안에 대한 수질모의를 실시하여 각각에 의한 수질개선 효과를 제시하였다. 가장 효율적인 방안은 제 5안인 것으로 평가되었으며, 가장 수질개선효과가 좋은 것은 제 6안으로 나타났다.
4. 수질개선을 위한 하·폐수처리장의 건설 적지를 대표 소유역(임실천유역, 판촌교유역, 추령천유역)에 대하여 제시하였으며, 향후 옥정호 유역내에 건설되는 전오염원에 대하여 철저하며 지속적인 관리가 이루어져야 처리장 건설에 따른 수질개선 효과를 확인할 수 있을 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

- 대한환경공학회(1999). 호수의 수질관리, pp186.
- 수자원연구소(2000). 섬진강 나뭇적댐 수질관리 기법 연구(3차년도).
- 오종민, 신동엽, 진현호, 주영득, 손요환, 정덕영(1999). “경안천 상류부 소유역의 강우시 유출 부하량 평가”, Korean J. Limnol, 32(3), pp. 245~252.
- 이요상, 강병수(2000). “댐저수지 유역의 오염부하 유출특성-섬진강댐 저수지를 중심으로”, 한국수자원학회지, 제 33권, 제 6호, pp. 757~764.
- 이요상, 이경식(2000). “대청댐 저수지 퇴적물의 용출특성과 수질에 미치는 영향에 관한 연구”, 환경영향평가학회지, 제 9권, 제 2호, pp.99~107.
- 한국수자원공사(1999). 섬진강다목적댐 관리년보.
- C. Demuyne, W. Bauwens, N. De Pauw, I. Dobbelaere and E. Poleman(1997). “Evaluation of Pollution Reduction Scenarios in a River Basin: Application of Long Term Water Quality

- Simulations.”, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No. 9, pp. 65~75.
- Jacoby, J. M., Lynch D. D., Welch E. B. and Perkins M. A (1982). “Internal Phosphorus Loading in a Shallow Eutrophic Lake”, *Wat. Res.* 16, pp. 911~919.
- James Zhou (1998). “Water Quality Modeling of Reservoir Using WASP”, *Proceeding of the International Water Resources Engineering Conference*, pp. 1458~1474.
- Lee Steppacher and Eric Perkins (1999), “Watershed Management at a Crossroads : Lessons Learned and New Challenges Following Seven Years of Cooperation Through the Lake Champlain Basin Program”, *Lake Champlain in Transition : From Research Toward Restoration, Water Science and Application Volume 1, American Geophysical Union*, pp. 419~433.
- Patricia Lohgabucco and Michael R. Rafferty (1998). “Analysis of Material Loading to Cannonsville Reservoir: Advantages of Event-Based Sampling”, *Journal of Lake and Reservoir Management*, 14(2-3), pp. 197~212.

(논문번호:01-023/접수:2001.03.13/심사완료:2001.07.24)