

의암호 유역에서 발생하는 자체생산 유기물 저감방안에 관한 연구

허인량[†] · 이건호 · 함광준 · 최지용 · 정의호

강원도 보건환경연구원

The Study on Decline Plan of Primary Production Organic Matter of Uiam Lake Basin

In-Ryang Huh[†] · Gun-Ho Lee · Kwang-Jun Ham · Ji-Yong Choi · Ui-Ho Jeong

Institute of Health and Environment, Kangwon-Do

(Received January 17, 2004; Accepted March 17, 2004)

ABSTRACT

The present study was designed to evaluate primary production organic matter in basin of lake around by execution of total maximum daily loading. BOD influent loading of Uiam lake was 2,819 kg/day, which was less than 28.3 percent, total effluent loading as 3,619 kg/day, in comparison with BOD, total nitrogen influent loading was 4,681 kg/day, which was less than 10.0 percent, total effluent loading as 5,150 kg/day. But in case of total phosphorus influent loading was 73.3 kg/day, which was more than 34.2 percent, total run off loading as 48.3 kg/day. The result of survey reduction plan of primary production organic matter in basin of lake around which objectives of abstract is as follows. First plan was reduction of primary production organic matter by moving the outlet of municipal wastewater treatment center from present place to lake downstream. Secondary plan was improvement by diffusion type of outlet municipal wastewater treatment center. The third plan was reduction of environmental impact by passing and storing of municipal wastewater. Finally plan was decline water surface level which was present hydraulic retention time was reduction from 7.6 day to 6.0 day per meter.

Keywords: BOD, Uiam lake, Decline Plan

I. 서 론

하천유역의 수질관리 근본은 유역으로 부터의 오염물질 배출량 관리이며, 오염이 심하여 수질환경기준을 초과하거나 이수목적상 부적정한 수역에 대하여 최후의 수단으로 오염물질 총량규제를 실시하도록 되어있다. 그러나 총량규제를 실시하기 이전에 이에 대응하기 위해서는 유역 또는 수역에서의 수질오염이 더 이상 가속되지 않으면서 지속 가능한 개발을 할 수 있는 유역의 지정능력이 포함된 환경용량을 알아야 각 오염원에서 삭감해야 될 오염물질량을 배분할 수 있기 때문에 총량규제 실시 이전에 대상유역에서 오염물질을 받아들일 수 있는 능력 즉 환경용량을 먼저

파악하여야 한다고 판단된다. 건교부에서 춘천시 전역에 대한 그린벨트 해제 발표와 더불어 지역개발에 대한 욕구가 더욱 팽배해 지리라는 판단 하에 춘천시 일원의 지속 가능한 개발을 위한 오염원 관리를 위해서 환경보전 측면에서 환경정책을 새로이 수립하여야 할 것으로 생각되는 바 추후 오염총량관리제 실시에 따른 지역 환경에 미칠 영향을 사전에 평가하여 환경보전에 입각한 효율적인 지역개발을 강구해 나가야 할 것으로 생각된다.

수질오염총량관리제는 공공수역의 수질을 지정목적에 적합한 수준으로 개선하기 위해 해당 수역으로 유입되는 대상오염물질의 부하를 총량에 근거하여 제한하는 수질관리제도이다. 총량관리제는 이미 육상 및 연안수역에 대해 각각 수질환경보전법과 해양오염방지법에 그 시행을 위한 근거규정이 있었으나 강력한 규제를 받아들일 수 있는 사회·경제적인 여건의 미비와 정량적인 부하량 산정, 수질예측, 이행을 담보할 수 있

[†]Corresponding author : Institute of Health and Environment, Kangwon-Do

Tel: 82-33-255-1123, Fax: 82-33-253-2718

E-mail : huhsys@provin.kangwon.kr

는 모니터링 등의 기술적인 문제로 인해 그 도입이 미루어져 왔다. 그러나 최근 수질개선을 위한 다각적이고 지속적인 노력에도 불구하고 팔당호를 포함한 주요 수역의 수질이 개선되지 않자 기존의 사후처리 위주의 농도규제 만으로는 지역개발에 따른 오염부하량의 증가를 억제하는데 한계가 있으며, 획기적인 수질개선을 위해서는 총량관리제의 도입이 불가피하다는 인식이 광범위한 공감대를 얻고 있다. 또한 부하량 산정방법, 수질모델을 이용한 부하량과 수질 관계에 대한 정량적인 예측, 모니터링을 위한 기술 및 장비의 발전 등 총량관리를 지원하기위한 기술적인 문제들도 점차 해결되고 있으며 최근 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1,2)}

본 연구는 앞으로 지역개발 및 환경보전을 위하여 시행 불가피하게 될 오염총량 관리제가 실시되기에 앞서 호수로 둘러싸인 춘천권을 유역으로 하고 있는 북한강 상류 수계에서 발생하는 오염물질의 총량 및 삭감 가능량을 평가하였으며 호수권 유역에 있어서 오염총량 관리제를 실시함에 있어서 매우 중요한 요소가 되는 호수내 1차생산 유기물이 춘천권 오염총량에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 연구내용

호수권 유역으로 특정 지어지는 춘천권의 오염총량제 실시에 대응한 수질관리방안에 관한 연구에 있어서 우선 총량 관리목표 설정을 위한 수질환경을 평가하였다. 조사 결과에 있어서 구체적으로 대상하천에 대하여 수질분석 및 유역내 수질청정도를 평가하고 수질기준 달성율을 조사하고 수질 분석 평가와 더불어 오염물질 배출량을 산정하였다. 또한 오염총량제 실시에 있어서 호수권 유역은 하천권유역에 비하여 상당부분을 차지하는 내부생산유기물에 대하여 아래와 같이 평가하였다.

의암호의 주요 오염물질 유입원은 상류에 위치한 춘천댐과 소양댐, 그리고 춘천시 하수종말처리장 방류수에 의하여 유입되는 것이며 그밖에 의암호 주변의 공지천 등 소규모 하천에서 적은 양의 오염물질이 유입되고 있는 것으로 조사되었다. 일반적으로 수질 관리에 있어서 지금까지는 외부로부터 유입되는 유기물을 줄이는 방법에 많은 관심과 연구가 수행되어져 왔으며, 이를 통하여 수질을 개선하려는 노력을 끊임없이 기울여 왔다. 춘천시에서도 지금까지 이러한 개념에 따라 2002년 현재 일일 처리용량 10만톤 규모의 하수종말처리장을 796억원의 예산을 투자하여 건설하고, 연간 36

억원의 운전비를 투입하여 운영하고 있으며, 2003년 6월까지 일일 처리용량 15만톤 규모로 증설 공사를 진행 중에 있다. 그러나 이러한 외부유입 유기물의 제거에 막대한 예산과 인력을 투입하는 노력에도 불구하고 의암호의 수질 개선 효과는 크게 나타나지 않고 있다. 이렇듯 하천이나 호소의 수질개선을 위하여 막대한 예산과 인력을 투입하여 외부유입 유기물을 제거하여도 수계의 유기물 총량이 크게 줄어들지 않는 가장 큰 원인은 수생태계 내에서 생성되는 자체생산 유기물의 증가에 의한 것으로 사료된다. 의암호는 한강 본류 수계와는 달리 수체의 흐름이 매우 느린 정체수역으로써 조류의 성장에 따른 자체생산 유기물이 수질악화의 가장 큰 원인이 되고 있는 것으로 판단된다. ‘낙동강수계 오염총량관리시행 연구조사보고서(이하 낙동강보고서)’에서도 조류 성장에 따른 내부생산 유기물이 수질악화의 주요원인으로 지목하였다.⁴⁾

따라서 유역 내에서 유입되는 외부유입 유기물과 자체생산 유기물의 평가를 통하여 오염총량제 실시에 있어서 자체생산 유기물에 따른 오염물질 증가분을 반드시 반영하여 배출허용총량의 추가적인 할당량을 확보하는 것이 반드시 필요하며 이에 따른 수질관리의 방향을 제시하고자 한다.

III. 결과 및 고찰

1. 춘천권의 수질환경

춘천권에 위치하고 있는 유역은 크게 북으로는 소양호와 춘천댐 하류로부터 의암댐 하류의 경강에 다다르며 춘천권 중에서 수질측정망으로 지정되어 매월 정기적으로 모니터링을 하고 있는 지점은 본류로서 춘천댐 앞, 소양댐 앞, 의암댐 앞과 각각의 댐의 방류수 그리고 의암댐 하류인 춘성교지점을 측정하고 있다. 수질의 대표치를 선정하는 방법은 산술평균값, 중간값, 최빈값등이 있다. 산술평균치로 수질을 평가할 경우 특정월에 두드러지게 높거나 낮은값은 전체의 수질에 상당한 영향을 주는면이 있으며 최빈치의 경우 각각의 항목별 수질결과치 중에서 동일한 계급값이 수질을 대표하기에는 매우 부족하다는 것이다. 특히 이러한 현상은 소수점아래 3자리수까지 평가하게 되어있는 영양염류인 질소와 인에서 더욱 두드러지게 나타나곤 한다. 결국 이러한 이유로 해서 상대적으로 한 모집단내의 특정자료에 의해 큰 영향을 받지 않고 수질을 대표할 수 있는 중간값을 수질의 대표치로 선정하여 평가하였다.

춘천권유역 중에서 의암호에 직접적인 영향을 주고 있는 지점중에서 춘천댐 월류후의 경우 '85년부터의 연

도별 BOD 중간값의 분포는 0.8~1.2 mg/l로 나타났으며 '92년도에 0.7로 가장 청정한 수질상태를 유지하고 있었으며 '94년, '96년에 각각 1.1 mg/l, 1.2 mg/l인 것을 제외하고는 모두 I 등급 이하로 나타났다. 특히 수질의 산포도를 나타내주는 표준편차를 '85년부터 3년씩 각 36개 자료에 대하여 평가해 본 결과 94~'96년이 0.47로 가장 높게 나타나 수질이 악화된 기간에는 수질의 편차도 높게 나타났다. 또한 춘천댐월류후 지점의 표준편차는 85~'87년 0.2, 88~'90년 0.22로 안정적인 수질상태를 보여주었으며 '91년부터 '96년 0.38, 0.47로 편차는 높게 나타나다가 최근 3년간인 2000~2002년 0.31로 안정세를 유지하는 것으로 조사되었다. 그리고 본지점의 18년간 수질분석 자료 중에서 BOD I 등급 점유율은 77%를 차지하고 있으며 나머지 23%는 2.2 mg/l를 이하를 보이고 있다. 이 밖에 총질소의 경우 '89년 0.668 mg/l에서 '94년 1.649 mg/l의 분포를 나타내고 있으며 총인의 경우 '86년 0.005 mg/l에서 '92년 0.036 mg/l를 나타냈다.

소양강의 청정한 수계로부터 유출되는 소양댐월류후 지점의 연도별 BOD 중간값의 분포는 0.5~0.9 mg/l로 지난 15년간 한번도 I 등급을 초과한 적이 없었으며 18년간 매월 수질분석 자료 중에서 BOD I 등급 점유율은 84%로 매우 청정한 수준을 유지하고 있었다. 총인의 경우 47%가 0.010 mg/l 이하를 유지하고 있었으며 총질소는 29%가 1.0 mg/l 이하를 나타내고 있었다. 소양호방류수의 총인 농도는 소양호에서의 경우와 같이 최근들어 상당히 청정한 상태로 회복되었다. '92년 0.047 mg/l로 부영양상태를 보일 때도 있었으나 최근 2000~2002년의 총인 농도는 0.008 mg/l, 0.007 mg/l, 0.007 mg/l로 매우 청정한 상태를 유지하고 있다. 수질의 분산정도를 나타내 주는 각각의 3년간 표준편차는 85~'87년 0.29이었으며 88~'96년까지의 표준편차는 0.3~0.45로 증가하였으나 최근 97~'99년 0.22로 안정화된 수질상태를 보여주었다. 춘천시의 도심을 관류하여 의암호로 유입되는 공지천의 경우 '86년부터 '89년까지 연도별 중간값은 4.9~9.8 mg/l이었으며 86~'89년간 48개 자료의 중간값은 5.8 mg/l로 매우 오염된 수질로 나타났다. '89년 말 춘천시 도시하수처리장이 완공되어 운전을 시작하면서 공지천으로 유입되는 생활하수는 대부분 차집 처리되기 시작되었다. 이후 공지천의 수질은 다소 개선되기 시작하여 최근 2000~2002년의 3년간 중간값은 4.3 mg/l로 조사되었다. 특히 수질의 안정화도를 평가할 수 있는 표준편차의 경우 '85년에서 '87년 4.42로 매우 높은 편차를 보여주었다. 이 기간의 48개 수질자료 중에서 BOD 등외등급인 10 mg/l 이상을 유

지하고 있는 기간도 8회로서 17%가 등외등급 점유율로 나타났다. 이에 비해 88~'96년까지의 표준편차는 2.51~2.93으로 전년도에 비해서 낮게 나타났으며 최근 97~'99년 1.88로 과거에 비해서는 안정된 수질상태를 유지하고 있었다. 이는 최근들어 실시한 공지천 상류의 생태 복원화와 상류의 생활오수가 처리되어 유입되는 결과로 보여진다. 그러나 최근 상류의 수질은 개선되었으나 도심을 경유하는 유역에서는 일부 생활하수가 유입되어 수질개선이 어려운 실정이다. 공지천 수질개선을 위해서는 우선 유역특성상 가장 큰 오염원인 생활오수를 완전히 차집해야 할 것이고 우수에 의해 관로의 막힘현상을 제거하기 위하여 주기적으로 관로의 퇴적물을 제거해 준다면 공지천의 수질은 지금보다 훨씬 더 개선될 것이고 I 등급의 수질도 가능할 것이라고 판단된다. 공지천은 도심을 관류하는 유역의 특성상 의암호에서 수용하는 오염물질의 삭감 차원도 있지만은 도심의 환경을 한층더 개선하여 시민의 여가공간을 제공하여주는 심미적인 차원에서도 반드시 가능한 노력을 경주해야 할 것이다. 다음으로 춘천시의 오염부하를 모두 수용하고 있는 의암호의 경우 월류후의 85~'99년 BOD의 중간값 분포는 0.9~1.2 mg/l로 I 등급과 II 등급을 오르내리고 있다. 18년간 총수질자료 중에서 I 등급을 나타낸 횟수는 114회로 53%이며 최근 3년간의 BOD 중간값은 1.2~1.4 mg/l를 보이고 있어 I 등급을 초과하고 있다. 또한 3년을 주기로 평가한 수질의 표준편차는 85~'87년 0.27에서 94~'96년 0.52로 계속해서 증가하는 경향을 보여주다가 최근 0.4로 조사되었다. 북한강중류의 마지막 지점인 경기도와 강원도의 경계점인 춘성교 지점은 '94년부터 수질조사를 하고 있다. 연도별 중간값의 분포는 1.2~1.7 mg/l로 I 등급을 상회하는 것으로 나타났으며 전체 66개 수질자료의 중간값은 1.5 mg/l이며 I 등급 점유율은 11%로 조사되었다.

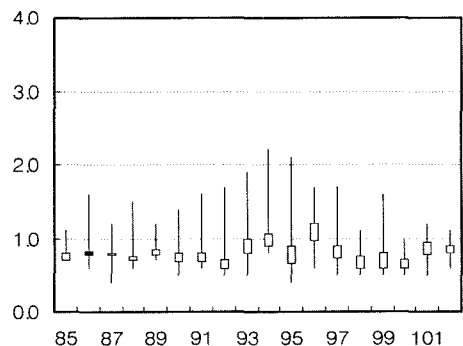


Fig. 1. Annual water quality distribution of Chuncheon dam outlet.

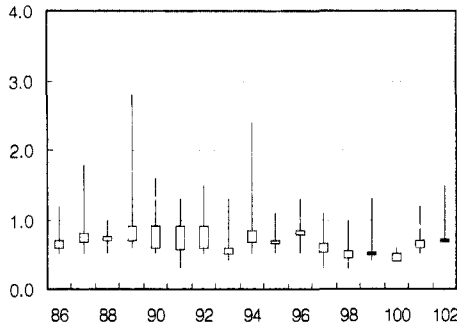


Fig. 2. Annual water quality distribution of outlet Soyang dam.

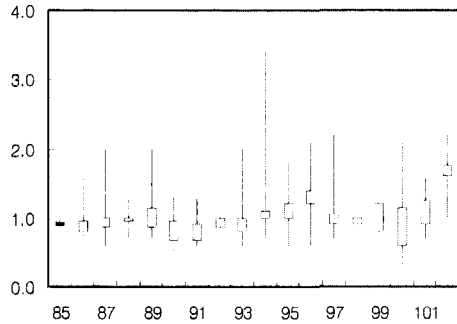


Fig. 3. Annual water quality distribution of Uiam dam outlet.

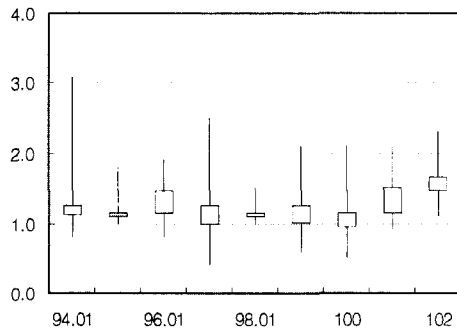


Fig. 4. Annual water quality distribution of Chunsung bridge site.

2. 호수권으로 부터의 오염물질 유입 유출량

1) 의암호로 유입되는 오염물질량

의암호로 유입되는 외부유입 유기물은 상류의 춘천댐과 소양댐, 그리고 춘천시 하수종말처리장 방류수에 포함되어 유입되는 유기물이 외부유입 유기물의 주된 유입원이며, 그밖에 의암호 주변의 소하천에서 일부 유입되고 있는 것으로 조사되었다. 오염물질의 유입 유출량은 유량과 농도의 곱으로 계산하였다. 본류 수계는 한국수력원자력(주)의 춘천댐과 의암댐의 방류량 및 한국수자원공사 소양강댐 방류수 자료를 사용하였으며 소규모 하천은 우리연구원의 실측자료를 사용하였다. 또한 수질 및 수량에 있어서 홍수기 때의 일시적으로 유입되는 오염물질에 의한 영향을 배제하고자 유량은 평수기 유량을 사용하였으며 수질은 연중간값을 이용하였다.

갈수기인 5, 6월의 수질 중 BOD 농도는 춘천, 소양, 의암댐 방류수가 각각 1.0 mg/l, 0.8 mg/l, 1.6 mg/l로 조사되었으며, 홍수기에는 각각 1.2 mg/l, 1.2 mg/l, 1.4 mg/l로 조사되어 춘천댐 방류수와 소양댐의 방류수는 홍수기에 BOD 농도가 더 높으나 의암댐 방류수는 갈수기의 BOD 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 의암호의 경우 봄철 갈수기에 조류의 증식에 의한 내부생성 유기물량이 매우 많다는 것을 나타내는 것으로 판단된다.

본류 및 지류의 유량 및 수질분석결과를 Table 1에 각각 제시하였으며 각각의 유역에서 발생 유출되는 부하량은 Table 2에 제시하였다.

2) 춘천호에서 유입되는 오염물질량

춘천호에서 의암호로 유입되는 오염물질량은 우리연구원에서 매월 측정하는 수질측정망 운영 자료와 한국전력(주)의 춘천댐 운영현황 중 평수량 유량으로 계산하였다. 춘천댐 방류수에 포함되어 의암호로 유입되는 오염물질량은 BOD의 경우 일평균 959 kg/일이 유입되었으며, 총질소는 1,310 kg/일, 총인은 8.1 kg/일인 것으로 조사되었다. 이들이 의암호로 유입되는 오염물질

Table 1. The amount of flowing water and water quality (2001 year)

월별	춘천댐 방류수				소양댐 방류수				하수종말처리장 방류수				공지천				의암댐 방류수			
	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P
평균	70.2	0.9	1.253	0.010	49.5	0.7	1.671	0.021	0.94	13.4	17.75	1.283	3.97	4.0	5.538	0.128	118.9	1.3	2.078	0.023
최대	286.4	1.2	1.614	0.033	64.4	1.2	2.675	0.080	1.03	18.4	23.00	2.000	6.2	6.2	7.097	0.216	347.0	1.6	4.021	0.049
최소	21.2	0.5	0.987	0.005	33.6	0.5	1.240	0.003	0.87	10.7	8.00	0.600	2.4	2.4	4.224	0.063	68.3	0.7	1.503	0.011
중앙	33.2	1.0	1.298	0.008	50.2	0.7	1.492	0.007	0.93	12.3	18.50	1.050	3.6	3.6	5.621	0.111	81.6	1.4	1.922	0.018

Table 2. Effluent contamination loading of Uiam lake basin (kg/day, 2001 year)

구분	춘천댐	소양댐	하수처리장	공지천	기타	유입합계	의암댐유출	자체 생성 유출증가량
BOD	6194	3256	1078	204	135	10866	13289	2422.3
TN	8570	7228	1433	305	278	17814	20389	2575.4
TP	109	99	104	7	8	327	272	-54.9
BOD[%]	57.0	30.0	9.9	1.9	1.2	100.0	122.3	22.3
TN[%]	48.1	40.6	8.0	1.7	1.6	100.0	114.5	14.5
TP[%]	33.5	30.1	31.8	2.1	2.4	100.0	83.2	-16.8

총량에서 차지하는 비율은 BOD 33.9%, 총질소 28.0%, 총인은 11.0%를 차지하고 있었다.

3) 소양호에서 유입되는 오염물질량

소양호에서 유입되는 오염물질량은 우리연구원에서 매월 측정하는 수질측정망 운영 자료와 2001년 한국수자원공사 소양강 다목적댐 방류수의 평수량 유량으로 계산하였다. 소양댐 방류수에 포함되어 의암호로 유입되는 오염물질량은 BOD는 일평균 1,132 kg이 유입되었으며, 총질소는 2,271 kg/일, 총인은 12.9 kg/일로 조사되었다. 이들이 의암호로 유입되는 오염물질 총량에서 차지하는 비율은 BOD 40.1%, 총질소 48.5%, 총인은 17.6%를 차지하고 있었다.

4) 춘천시 하수종말처리장에서 유입되는 오염물질량

하수종말처리장 방류수에 포함되어 의암호로 유입되는 오염물질량은 2001년 하수종말처리장 방류수의 연중간값의 수질과 유량으로 계산하였다. 의암호로 유입되는 오염물질량은 BOD의 경우 일평균 390 kg/일이 유입되고 있다. 이것을 C량으로 환산하기 위하여 C/O_2 의 질량비인 12/32를 곱해주어 계산하면 146 kg/일로 연간 52.3 tC/년 정도 되는 것으로 나타났다. 총질소는 517 kg/일, 총인은 37.4 kg/일로 조사되었다. 하수종말처리장 방류수에 포함되어 의암호로 유입되는 오염물질 총량에서 차지하는 비율은 BOD 13.7%, 총질소 11.0%, 총인은 51.0%를 차지하고 있는 것으로 조사되어 춘천시 하수처리장 방류수가 의암호에 미치는 오염물질 중 BOD와 총질소의 기여도는 13.7%, 11.0%로 낮으나 총인의 기여도는 51%로 매우 큰 영향을 끼치고 있는 것으로 조사되었다.

5) 의암호 주변의 소규모 지천에서 유입되는 오염물질량

의암호 주변의 소규모 지류 하천 중 공지천은 1998년부터 우리 연구원에서 조사사업으로 실시한 공지천 수질 현황과 유량을 적용하였다. 기타 소규모 하천은 공지천 유역면적과 유량에 따른 각 지천의 유역면적의 비율로 평균 유량을 산정 하였으며, “강원환경의 효율

적 보전방안에 관한 연구”²⁾에 제시된 각 지천의 '98, '99년 평균 수질로 유출량을 계산하였다. 각 지천이 의암호와 북한강 수계에 미치는 오염물질 부하기여도는 모두 1~2% 내외로 매우 미미한 영향을 주고 있는 것으로 조사되었다.

우선 의암호권 유역내 지류하천 중에서 가장 유출량이 큰 공지천에서 의암호로 유입되는 오염물질 중 BOD는 일평균 204.2 kg/일이 유입되었으며 이는 의암호 총 유입 BOD의 1.9%를 차지하는 것으로 조사되었다. 총질소는 305.1 kg/일이 유입되어 의암호 총 유입량의 1.7%를 차지하였고, 총인은 7.0 kg/일이 유입되어 1.3%를 차지하는 것으로 조사되었다. 현재 공지천 수계는 모두 하수처리구역으로 구성되어 있으나 우수합류식 하수관거로 설치되어 있다. 따라서 발생 하수가 모두 하수처리장으로 유입되지 않고 하천으로 유출되는 경우가 있어 지속적으로 주기적인 하수관거의 정비를 통하여 유출 부하량을 줄일 수 있을 것이며 공지천의 수질도 더욱 개선될 것으로 판단된다.

지내천, 울문천, 만천천, 월송천, 한계천, 방동천, 금산천, 덕두원천 등 기타 지류하천의 BOD 유입량은 134.5 kg/일로 의암호 유입 총량의 1.2%를 차지하고 있으며, 총질소는 277.9 kg/일로 1.6%, 총인은 7.9 kg/일로 2.4%를 차지하고 있는 것으로 조사되어 의암호에 미치는 영향이 매우 미미한 것으로 조사되었다. 만천천의 경우 현재 유역내에 식품접객업소등이 지속적으로 증가하여 오염물질 배출량이 증가하고 있으나 하수처리구역이 아니어서 유출 부하량이 다른 하천에 비하여 매우 높은 것으로 나타나고 있다. 따라서 만천천 유역의 하수 차집관거의 설치가 시급한 것으로 사료된다.

그 외의 지류하천은 대부분 하수처리구역 외에 있으나 현재로서는 오염물질 다량배출 오염원이 없어 대체로 청정한 수질을 유지하고 있다.

6) 의암호에서 유출되는 오염물질량

2001년의 평수량과 중간값으로 계산된 의암호에서 유출되는 오염물질 중 BOD는 일평균 3,619 kg/일로 총

유입량 2,820 kg/일 보다 799 kg/일 많아 유입량 대비 128.3%가 유출되고 있었으며, 총질소는 5,151 kg/일이 유출되고 있어 총 유입량 4,682 kg/일 보다 469 kg/일 많은 110%가 유출되고 있는 것으로 조사되었다. 이는 1차 생산력에 의한 유기물 생산량 중 일부분으로 총생산량은 이보다 더 많은 것으로 조사되었다. 그러나 총인의 경우는 의암호 유입총량이 73.3 kg/일인데 비하여 유출되는 총량은 48.3 kg/일로 73.2% 만이 유출되고 25 kg/일인 26.8%가 잔류하여 계속적으로 축적되고

는 것으로 조사되었다.

Figs. 5~7에서 보는 것과 같이 BOD와 총질소는 본류와 지류 등에서 유입되는 양보다 더 많은 양의 오염물질이 의암댐을 통하여 유출되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 의암호의 수체 내 식물플랑크톤의 1차 생산에 의하여 유기물이 확대 재생산된 결과이다. 의암호의 자체생성에 의한 유기물 증가량은 다음 절의 의암호의 1차 생산력 조사결과에서 자세히 설명하였다. 그러나 자연계에서 확대 재생산되지 않는 인의 거동특성에 따라 유입되는 총인의 일부는 유출되지 않고 의암호의 수체 내에 계속적으로 축적되고 있다. 이것이 피드백 작용을 하여 의암호 내 조류의 일차생산력을 증가시키고 부영양화를 가속화시키고 있는 것으로 판단된다. 따라서 의암호에 부하되는 총인 부하량 중 매우 높은 비율을 차지하고 있으며 조절 가능한 유입원인 춘천시 하수종말처리장 방류수의 총인 배출량을 줄이는 것이 의암호의 수질을 개선하는 관건이 되는 것으로 판단된다.

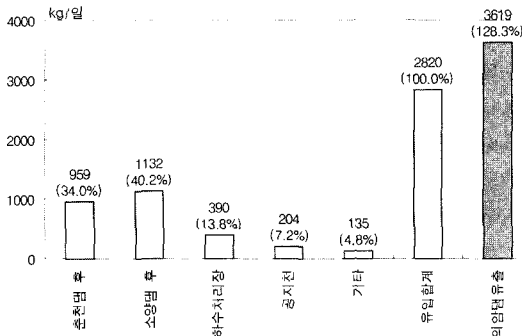


Fig. 5. BOD runoff loading mass balance of Uiam lake.

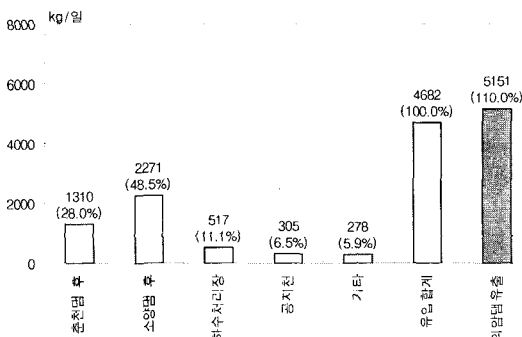


Fig. 6. T-N runoff loading mass balance of Uiam lake.

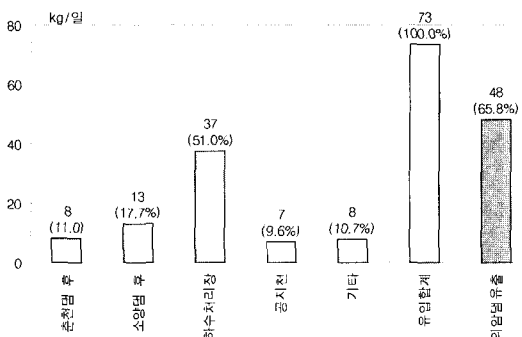


Fig. 7. T-P runoff loading mass balance of Uiam lake.

3. 내부생성오염물질 저감방안

호소의 일차생산력은 일반적으로 광량, 수온, 영양염류 농도, 수체의 체류시간, 식물플랑크톤의 특성 등에 따라 크게 달라진다.^{5,6)} 봄철 갈수기나 장마철 이후에 호소의 녹조현상이 나타나는 것은 일사량과 수온이 증가하고 수체의 영양염류 농도가 높아진 것에 기인한다. 일사량과 수온의 증가는 자연현상에 의한 것으로 제어하기 어려운 실정이지만 영양염류 농도의 증가나 수체의 체류시간 등은 어느정도 인위적으로 조절이 가능한 것으로 사료된다. 이러한 관점에서 의암호의 자체생산 유기물량을 줄이는 방안으로서 유역내 가장 큰 오염원인 하수처리장으로부터 유입되는 오염물질의 양을 줄이는 것이 관건이며 이와 더불어 의암호 주변의 하수미처리 구역으로부터 배출되는 오염물질은 단계적으로 모두 차집하도록 하며 차집이 불가능한 지역에서는 효율적인 소규모 개별처리를 통하여 의암호 주변으로부터 오염물질의 유입을 차단하여야 할 것이다. 이와 관련하여 의암호의 오염을 줄일 수 있는 방안에 대하여는 아래와 같이 여섯 가지 정도로 제시할 수 있다.

1) 춘천시 하수종말처리장 방류구를 의암댐 하류로 이전

첫번째 방안으로 춘천시 하수종말처리장 방류수를 의암댐 하류로 방류시켜 의암호의 내부생성유기물질을 저감시키는 방안을 제시할 수 있다. 이 방법은 의암호 내로 유입되는 총인 부하량의 31.8%를 완전히 제거시켜 자체생산 유기물량을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단

된다. 이렇게 할 경우 현재 춘천댐 방류수와 소양댐 방류수가 모두 I 등급의 청정한 수질을 유지하고 있기 때문에 의암호와 혼합시킬 경우 빠른 시일 내에 I 등급 수질로 개선 될 것으로 예측된다. 이럴 경우 오염총량 관리를 적극적 수용하여 의암호 수면과 주변의 중도, 봉어섬 개발 등을 호반 관광단지로 개발하여 호반의 도시 춘천의 이미지를 살린 개발이 가능할 것으로 판단된다.

의암댐으로 유입되는 춘천댐의 연평균 방류량은 70 CMS, BOD 농도는 0.9 mg/l, 소양댐의 연평균 방류량은 50 CMS, BOD 농도는 0.7 mg/l이며 하수종말처리장의 방류량은 0.9 CMS, BOD 13.4 mg/l이다. 이 자료를 단순 혼합식에 대입하면 하수처리장 방류수를 의암댐 하류로 방류할 때의 의암호의 BOD 농도는 0.9 mg/l 정도의 수질을 유지할 수 있는 것으로 계산된다.

위의 추정 방법은 수체의 물리화학적 작용에 의한 단순 혼합만을 고려한 대략적인 방법으로 하수처리장 방류수를 의암댐 하류로 이전 방류할 경우의 수질예측 모델링 등을 통한 검증 및 경제성 검토 등 보다 정밀한 조사 연구가 필요한 것으로 사료된다.

2) 춘천시 하수종말처리장 방류구를 확산 방류식으로 개선

두번째 방안으로는 첫번째 방안의 시행이 어려울 경우 차선책으로써 춘천시 하수종말처리장 방류구를 호수내 유속이 있는 위치로 이전하여 확산 방류식으로 개선하는 방법이다. 현재 춘천시 하수종말처리장의 방류수가 의암호 수체의 이동 수류가 매우 적은 지점으로 방류되고 있다. 이에 따라 방류구 주변의 부분적인 수질오염을 심화시키고 있으며 수체의 정체현상에 따른 확산과 풍향 등에 의한 역류 현상으로 수체 전체의 오염이 가중되고 식물성 플랑크톤에 의한 생산력이 높아지는 결과를 초래하고 있다. 본 조사 결과 현재의 방류구로부터 호수 중앙부 방향으로 약 300 m 지점에 유속이 있는 것으로 관측되었다. 이 지점에 하수종말처리장 방류구를 확산 방류식으로 이전 설치한다면 하수처리장 방류수의 신속한 배출로 오염물질의 확산과 현상태 보다는 빠른 의암댐 하류로의 배출로 식물플랑크톤에 의한 1차 생산력이 크게 줄어들 것으로 예측된다. 그러나 이 방법은 첫번째의 방법보다 효과가 크지 않은 것으로 예측되며 이 방법의 적용 또한 수질예측 모델링 등을 통한 타당성 및 경제성 검토를 통하여 보다 정밀한 조사 연구가 필요한 것으로 사료된다.

3) 환경친화적 생태공간의 조성

오수나 분뇨처리장 방류수는 활성슬러지법 등 환경공학적인 처리방법등으로 유입수에 비하여 80~90% 이상

오염물질이 처리된다고는 하나 하천수계에 직접 방류될 경우 하천수질에 큰 충격부하를 유발할 수 있으며, 영양염류 유입에 의한 하천내에서의 1차 생산을 고려할 때 하천수질 개선효과는 기대보다 매우 낮으리라 판단된다. 실제로 춘천시와 원주시가 설치운영중인 하수처리장이 북한강 또는 섬강의 수질개선에는 기대만큼 효과를 나타내지 못하고 있다. 이러한 것을 보완하기 위해 분뇨 및 오수처리장 인근에 우수지를 확보하여 방류수를 우수지로 경유시키므로써 공공수계에 주는 충격이나 하천내의 1차생산성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4) 춘천시 하수종말처리장 방류수의 고도처리 후 방류
세번째 방안은 총량규제 항목에 인이 추가되었을 때 첫번째와 두번째 방법과 병행하여 시행해야 할 방법이다. 호소에서 1차 생산력은 수체의 영양염류 농도에 따라 크게 달라진다. 특히 총인의 농도가 제한영양염류가 된다는 사실은 교과서적인 내용으로 모르는 사람이 없을 정도이다. 일반적으로 질소와 인은 화학적 또는 생물학적 공정으로 처리하게 된다. 현재 우리나라의 하수처리장 설계에 적용하고 있는 질소와 인의 처리 효율은 조건에 따라 다소 차이가 있지만 질소의 경우 20%~75%, 인의 경우 20%~95%의 범위이다. 인의 경우 화학적 처리공정에 의해 처리가 잘 되지만, 질소의 경우 생물학적 처리 이외에 경제성 있는 처리 대안이 거의 없는 실정이다. 그리고 우리나라 토양 환경 및 기후의 특성에 따라 하천수 중에 존재하는 질소의 농도가 매우 높은 것으로 조사되고 있다. 이것은 식물성 플랑크톤의 증식에 있어서 질소 성분은 이미 제한요소의 기능을 할 수 없는 상태으로써 질소의 처리에 많은 비용을 들여 애써 제거할 필요성이 없다는 것을 시사한다. 따라서 점오염원을 대상으로 하는 처리과정의 경우 질소보다 인을 목표로 하는 것이 효과적이며, 이미 영양염류 처리를 하고 있는 북유럽 국가의 경우도 질소보다 화학적 처리로 확실히 제거가 가능한 인에 대한 규제(0.3 mg/l)를 먼저 강화한 바 있다.

앞서 제시한 바와 같이 북한강 상류 수계 의암호의 총인 유입 부하량은 총량이 326.9 kg/일로 이중 춘천호에서 유입되는 양이 109.4 kg/일로 33.5%, 하수처리장 방류수로 유입되는 양이 104.1 kg/일로 31.8%, 소양호에서 유입되는 양이 98.6 kg/일로 30.1%이다. 이중 인위적인 오염물질이며 조절 가능한 오염원인 춘천시 하수종말처리장의 인 배출 부하량을 얼마나 줄일 수 있는냐에 따라 의암호의 내부생성 유기물량의 감소가 결정될 것이다.

그러나 고도처리 후 현재의 방류구 위치에 그대로 방

류한다면 막대한 예산과 인력을 소비하고도 시행 결과는 수질개선이 크게 이루어지지 못하는 실망스러운 결과로 나타날 것으로 사료된다. 따라서 이 방법을 적용하더라도 첫번째의 방법과 병행하여야 할 것으로 판단된다.

또 한가지 중요한 것은 현재 춘천시 하수종말처리장 방류수의 고도처리 시설을 설계 중에 있는데 이에 따르면 춘천시에서는 현재 하수종말처리장 처리용량 증설사업과 병행하여 고도처리에 의한 총인의 배출 농도를 수질환경보전법에 정한 하수종말처리장 방류수 수질기준에 따라 2 mg/l 이하로 처리될 수 있도록 설계하여 공사를 진행 중에 있다. 그러나 이는 2001년 현재 배출수 중의 총인 농도가 1.3 mg/l인 것을 감안하면 고도처리 공법 적용에 따른 설치 및 운전비용이나 실효성이 의심되는 방법이라 하겠다. 이미 영양염류 처리를 하고 있는 북유럽 국가의 경우 인에 대한 규제치를 0.3 mg/l 이하로 엄격히 강화한 것을 고려한다면 현재의 계획 및 투자는 재고해 보아야 할 것이다.

5) 의암댐의 수위 하향 조정하여 1차 생산력 감축

의암댐의 현재 수위는 해발 71.5 m로 총담수량은 $80.0 \times 10^6 \text{ m}^3$, 유효 담수량은 $57.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, 수리학적 체류시간은 약 7.6일 평균수심 약 4.7 m로 조사되었다. 수위를 현재보다 1 m 정도 낮추어 유지할 경우 담수량은 현재의 담수량의 79% 정도인 $63.1 \times 10^6 \text{ m}^3$, 수리학적 체류시간은 6.0일로 감소하며, 2 m 정도 낮추어 운영할 경우 담수량은 현재 담수량의 58% 정도인 $46.2 \times 10^6 \text{ m}^3$, 수리학적 체류 시간은 4.4일로 현재의 절반 정도로 감소할 것으로 예측된다. 이 경우 의암호의 식물성 플랑크톤에 의한 자체생산 유기물량이 체류시간의 감소에 의하여 크게 줄어들 것으로 판단된다. 오염총량 관리제를 적극적으로 수용하는 방법으로써 이 방법을 선택할 경우 호안의 개발 용지를 더 많이 확보할 수 있을 것이며 붕어섬, 삼악산, 중도, 위도를 연계하는 관광 위락단지 조성 사업에 유리한 조건을 부여할 것으로 사료된다. 이 방법 또한 수질예측 모델링 등을 통한 타당성 및 경제성 검토를 통하여 보다 정밀한 조사 연구가 선행되어야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 호수권 유역에 있어서 오염총량 관리제를 실시함에 있어서 매우 중요한 요소가 되는 호수내 1차 생산 유기물이 춘천권 오염총량에 미치는 영향을 평가하였다. 평가에 필요한 수질 및 유량자료는 홍수기 충격부하의 영향을 배제 하고자 각각 중간값과 평수량자

료를 이용하였다. 의암호에서 유출되는 오염물질 중 BOD는 일평균 3,619 kg/일로 총 유입량 2,819 kg/일 보다 799 kg/일 많아 유입량 대비 129.3%가 유출되고 있었으며, 총질소는 5,151 kg/일이 유출되고 있어 총 유입량 4,682 kg/일 보다 469 kg/일 많은 110%가 유출되고 있는 것으로 조사되었다. 이는 1차 생산력에 의한 유기물 생산량 중 일부분으로 총생산량은 이보다 더 많은 것으로 조사되었다. 그러나 총인의 경우는 의암호 유입총량이 73.3 kg/일인데 비하여 유출되는 총량은 48.3 kg/일로 73.2% 만이 유출되고 25 kg/일인 26.8%가 잔류하여 계속적으로 축적되고 있는 것으로 조사되었다. BOD와 총질소는 분류와 지류 등에서 유입되는 양보다 더 많은 양의 오염물질이 의암댐을 통하여 유출되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 의암호의 수체 내 식물플랑크톤의 1차 생산에 의하여 유기물이 확대 재생산된 결과이다. 의암호의 자체생산 유기물량을 줄이는 방안을 아래와 같이 제시할 수 있다.

첫번째 하수종말처리장 방류수를 의암댐 하류로 방류시켜 의암호의 내부생성유기물질을 저감시키는 방안을 제시할 수 있으며 의암호 내로 유입되는 총인 부하량의 31.8%를 완전히 제거시켜 자체생산 유기물량을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

두번째 방안으로는 하수종말처리장 방류구를 확산 방류식으로 이전 설치하다면 하수처리장 방류수의 신속한 배출로 오염물질의 확산과 현상태 보다 빠른 의암댐 하류로의 배출로 식물플랑크톤에 의한 1차 생산력이 크게 줄어들 것으로 예측된다.

세 번째 방안으로 오수나 분뇨처리장 방류수는 인근에 우수지를 확보하여 방류수를 우수지로 경유시키므로 공공수계에 주는 충격이나 하천내의 1차생산성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

네번째 의암댐의 수위 하향 조정하여 1차 생산력 감축시키는 방안으로서 의암댐의 현재 수리학적 체류시간은 약 7.6일 평균수심 약 4.7 m로 조사되었다. 수위를 현재보다 1 m 정도 낮추어 유지할 경우 체류시간은 6.0일로 감소하며, 2 m 정도 낮추어 운영할 경우 체류 시간은 4.4일로 현재의 절반정도로 감소할 것으로 예측된다. 이 경우 의암호의 식물성 플랑크톤에 의한 자체생산 유기물량이 체류시간의 감소에 의하여 크게 줄어들 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 오염총량관리제에 따른 정책대응방안에 관한 연구. 강원도, 2000. 8.

2. 한강수계 오염총량관리제 시행방안에 관한 연구. 환경부, 2000. 1.
3. 낙동강 수계 오염총량관리제 시행방안 연구. 국립환경연구원, 2001. 11.
4. 낙동강수계 오염총량관리시행 연구조사보고서. 낙동강물이용조사단, 2001. 1.
5. Robert G. Wetzel, Genev E. Likens, *Limnological Analyses, Second Edition*.
6. 소양호의 1차생산력과 부영양화에 관한 연구. 1996. 8. 황길순, 이학박사학위논문.