

소규모 농업용 저수지의 통관 방류량 및 수질 측정

Monitoring of Outlet Discharge and Water Quality from a Small Agricultural Reservoir

최진규* 손재권* 구자웅* 윤광식** 김영주***

*전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소)

전남대학교 농과대학, *전북대학교 대학원

Choi, Jin-Kyu* Son, Jae-Gwon* Koo, Ja-Woong* Yoon, Kwang-Sik** Kim, Young-Ju***

*College of Agriculture (Agri. Science & Tech. Institute), Chonbuk National University

**College of Agriculture, Chonnam National University

***Graduate Student, Chonbuk National University

ABSTRACT

This study was carried out to measure the amount of outlet discharge and analyse the water quality from an agricultural reservoir. Joongpyong reservoir was selected as the monitoring site. Daily discharge was determined by measured water level data of delivery canal and the stage-discharge relation curve. The measured water discharge through culvert outlet of Joongpyong reservoir was 593,200m³ which was equivalent to irrigation depth 1,186mm during irrigation period in 1999. And water samples were taken from the surface water of reservoir and delivery canal, periodically. Temporal variation of water quality constituents such as water temperature, pH, EC, total nitrogen, total phosphorus were investigated. The result showed that pH was ranged 6.9 7.8, total nitrogen 1.39 4.11mg/L, total phosphorus 0.007 0.036 mg/L, respectively.

I. 서론

우리나라 수리시설을 수원공별로 보면 관개용 저수지는 18,095개소, 양배수장은 6,040개소, 취입보는 18,342개소, 기타 19,077개소이며, 그중 저수지가 전체 수리담면적 889

천ha의 56.8%인 505천ha에 관개를 하고 있다(농림부,농어촌진흥공사,1977). 논에 대한 관개는 지역별, 시기별로 차이가 있으나, 일반적으로 4월 중순부터 못자리용수를 공급하기 시작하여 9월 말에 종료하게 된다. 관개량은 작물의 생육 단계에 따라 시기별 변화를 많이 보이고 있으며, 5월 중·하

순의 이양기에 상대적으로 많은 양의 물을 관개하게 되므로, 이 시기의 관개량이 용수시설의 규모결정에 이용되기도 한다. 농업용수는 저수지, 양수장 등에 의해 취수된 물이 수로를 통하여 관개지구에 공급되는 양으로, 우리나라 농업용수는 전체 수자원 이용량의 약 55%인 150억 m^3 에 해당하는 많은 양을 차지하고 있다.(한국수자원공사,1992) 저수지 등의 수원공으로부터 취수되는 농업용수 공급량은 실제 저수지 방류량이나 양수량에 대한 자료가 거의 없으므로 이로부터 직접적인 사용량 조사는 어려운 실정이며, 따라서, 수원공 운영자료와 작물의 필요수량을 고려하여 간접적인 방법으로 산정하는 것이 일반적이다. 우리나라에서 농업용수를 공급하고 있는 농업용 수원공으로부터의 실제 관개량에 관한 조사로는 1997년 낙동강 수계 (한국건설기술연구원,1977)와 1998년 한강 수계(서울대학교농업개발연구소,1998)에서의 저수지와 양수장을 대상으로 시험지구에 대하여 시행된 것이 체계적인 광역 수계의 농업용수 사용량에 관한 조사로 볼 수 있다.(강민구 등,1999; 임상준 등,2000) 또한, 우리나라에서 저수지 수질을 보전하고 환경수질기준을 유지하는데 있어 여러 가지 비점오염원에 대한 조사와 저수지로 유입되는 물의 수질, 그리고 농경지로 공급되는 관개수의 수질평가도 중요하다.(안열,1996; 이광식 등,1996; 서승덕,1997; 장정렬 등,1997)

본 연구에서는 시험저수지 지구를 대상으로 수문관측시설을 설치하고 시험지구의 수문 모니터링을 통해 방류량을 측정하여, 이로부터 관개기간 동안 통관 방류량을 산정하고 계산된 필요수량과 비교하며, 저수지로부터 농업용수로 공급되고 있는 관개수에 대한 수질분석을 실시하여 농업유역에서 관개기간 동안 하천 또는 농경지로 유입되는 오염원의 적정관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

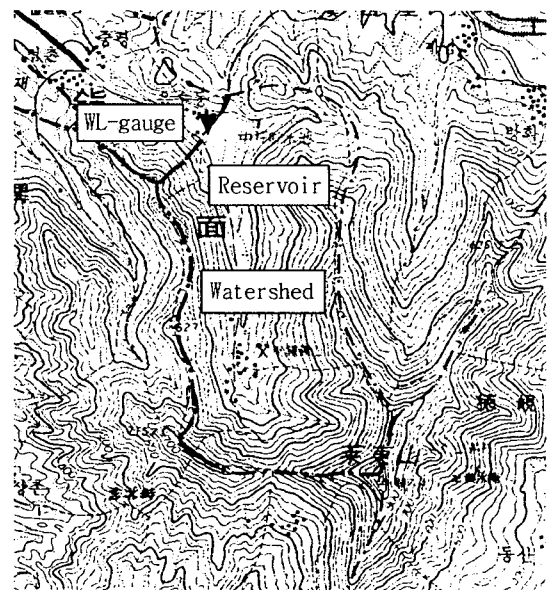
II. 재료 및 방법

1. 시험지구

농업용수로 공급되는 저수지의 방류량과 수질조사를 위하여 전라북도 진안군 성수면 도통리에 위치 한 중평저수지를 시험지구로 선정하였으며, <Fig. 1>은 중평저수지의 위치를 나타내고 있다. 중평저수지는 유역면적 312.5ha, 관개면적 50.0ha의 소규모 농업용 저수지로서 전주농지개발조합에서

관리 운영해 왔다. 중평저수지의 저수량은 167.5천 m^3 이고, 제당의 높이는 13.6m, 길이는 210.0m 이며, 용수간선은 1개조의 콘크리트 라이닝 수로로 이루어져 있다.

저수지 유역의 지형적 특성으로는 하천연장 3.25km, 기복량비 0.165, 형상계수는 0.296이며, 토지이용을 보면 임야 275.9ha(88.3%), 논 20.2ha(6.5%), 밭 12.9ha(4.1%), 기타 3.5ha(1.1%)로서, 저수지 상류측에 농경지가 하천을 따라 주변에 분포되어 있다.



<Fig. 1> Location map of Joongpyong reservoir

2. 강우량 자료

조사기간중 관개기의 강우량 자료는 시험지구와 인접해 있고 한국수자원공사가 관리하고 있는 진안군 성수 우량관측소의 자료를 이용하였다. <Table 1>은 관개기간을 포함한 월별 강수량을 나타낸 것이다. 1999년 강수량은 1,429mm로서 1997년 1,464mm 및 1998년 1,586mm 보다는 작지만 태풍과 집중된 호우로 인하여 우리나라 년평균 강수량 1,274mm 보다도 약간 많은 편이었으며, 관개기간인 5월~9월까지의 1,093mm를 나타내었다. 한편, 일일 최대 우량은 9월 23일의 117mm 이었으며, 다음으로 7월 30일의 82mm, 8월 3일의 81mm 순이었다.

<Table 1> Monthly Precipitation (1999)

(unit : mm)

Station	Month												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sungsoo	16	27	72	84	114	153	297	246	283	116	17	4	1,429

3. 수위관측 및 유량 측정

저수지로부터 공급되는 관개수량을 조사하기 위하여 중평 저수지의 통관 출구지점에 수위표와 자기수위계 1조를 설치하고 4월 25일부터 9월 30일까지 시간별 수위 자료를 수집하였다. 측정점은 저수지 사통의 취수공에서 유입된 물이 직경 80cm의 통관을 지나 출구에서는 폭 0.9m 높이 1.6m의 구형 콘크리트 개거구간으로 되어있는 지점을 선정하였으며, 시간별 수위자료는 Global Water사의 압력변환형 수위계인 WL-14 데이터로거를 사용하여 매 10분 간격으로 수위가 측정되도록 하였다. 유량산정을 위하여 유속은 Valeport사의 BFM002 유속계를 사용하였고, 유량계산은 평균단면법을 이용하였으며 그 결과를 가지고 수위-유량관계식을 유도하였다. 여기서 구해진 수위-유량관계식으로 시간별 수위자료를 유량으로 변환하고, 일별 유출량을 산정하여 저수지 통관 방류량으로 정의하였다.

4. 수질 조사

수질은 1999년 5월부터 9월까지 저수지 표층수와 수위 및 유량측정이 이루어진 통관 출구지점에서 매월 2~4회 물시료를 폴리에틸렌용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. pH와 EC는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 전질소와 암모니아태질소는 수질시료 500mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로, 총인은 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 중금속(Zn, Cu)은 수질시료 500mL에 진한 질산 5mL를 넣고 분해한 다음 50mL로 농축하여 원자흡수분광광도계(Perkin Elmer 2380)를 이용하여 분석하였다. 음이온(NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻)

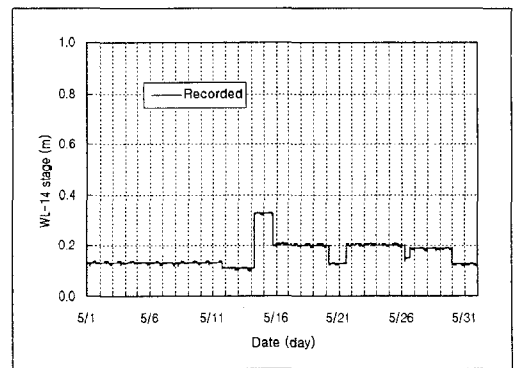
은 0.45µm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

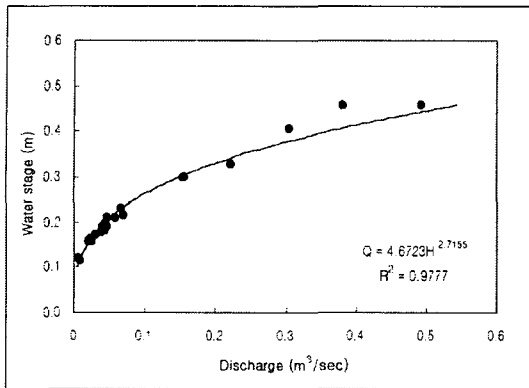
1. 저수지의 통관 방류량

가. 수위 - 유량 관계식

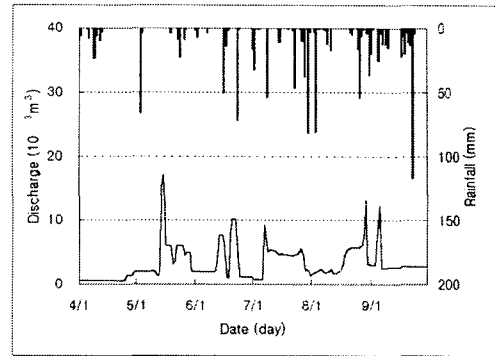
시험 저수지는 평상시에는 1일 단위로 취수시키며, 용수의 수요가 많은 시기에는 4~5일 또는 그 이상 연속적으로 공급하는 양상을 보였다. <Fig. 2>는 1999년 통관 출구지점에서 WL-14 수위데이터로거로 측정된 5월의 시간별 수위곡선을 나타낸 것이다. 여기서 저수지 취수공을 열어 통관을 통하여 농업용수가 공급되고 있는 동안 수위 계측점으로부터 측정된 시간별 수위와 현장 유량측정 자료로부터 <Fig. 3>에 나타낸 바와 같이 $Q=4.6723h^{2.7155}$ ($R^2=0.9777$)의 수위-유량관계식을 유도하였다. 식에서 Q는 유량(m³/s), h는 수심(m)이다.



<Fig. 2> Measured water level in delivery canal



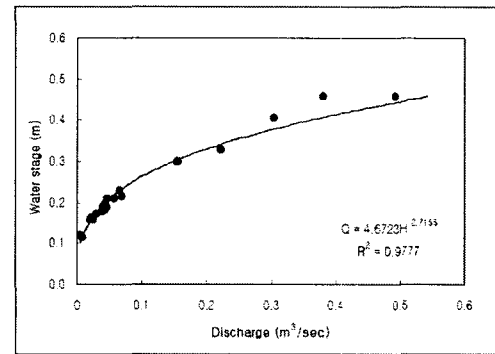
<Fig. 3> Rating curve of outlet discharge



<Fig. 4> Daily discharge volume

나. 측정 통관 방류량

저수지 통관을 통하여 하류 관개구역으로 공급되는 관개 용수량 조사를 위하여 통관 출구지점에서 유도된 관계식과 시간별 수위자료를 변환시킨 유량을 일별 방류량으로 산정하였으며, 일일 최대 평균유량은 0.2m³/s로서 용적으로 계산된 방류량은 17,350m³ 이었다. <Fig. 4>는 일별 방류용적을 강우량과 함께 도시한 것이며, 4월 중순부터 9월까지 월별 방류량과 이를 관개면적으로 나눈 유출심을 보면 <Table 2>와 같다. <Table 2>는 7월 27일 8월 3일까지 215mm 및 9월 17일 24일까지 194mm의 집중호우에 따른 홍수조절을 위하여 예비 방류된 8월 1일 5일 및 9월 17일 30일까지의 200.8m³ 및 160.5m³의 홍수조절 방류량을 제외한 자료이다. 조사기간 동안 저수지로부터 통관을 통하여 방류된 전체 유출량은 593.2천m³으로 측정되었으며, 월별로는 묘대기와 이양기가 시작되는 5월이 전체의 22.9%를 차지하여 가장 많은 용수가 방류된 것으로 조사되었다. 또한 관개면적 50ha에 대한 단위면적당 방류량으로 계산해 보면 1,186mm의 농업용수에 해당하는 것으로 나타났다. 한편,



<Fig. 5> Relationship between rainfall and discharge in ten-days

<Fig. 5>는 순별 강우량과 통관에서의 방류량을 관개구역의 사용량으로 보고 나타낸 것이다.

다. 필요수량과 비교

<Fig. 4>와 <Table 2>, <Fig. 5>에서 나타낸 바와 같이 시험저수지에 대한 일별 방류량과 순별 월별 방류량에서 단위면적당으로 계산된 연간 유출심은 1,186mm 이었다. 한

<Table 2> Monthly discharge

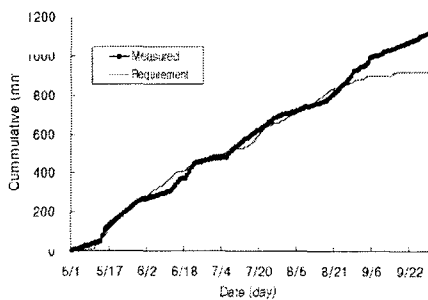
Discharge	Month						Total
	4	5	6	7	8	9	
Volume	14.9	135.9	108.6	119.9	118.7	95.2	593.2
(103m3)	(2.5)	(22.9)	(18.3)	(20.2)	(20.0)	(16.1)	(100%)
Depth(mm)	30	272	217	240	237	190	1,186

<Table 3> Crop coefficients for modified Penman equation

District	May			June			July			August			September		
	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late
Southern	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32	-

(Ref.) Ministry of Agriculture and Forestry, Rural Development Corporation (1997) Design Criteria of Agricultural Land and Water Development Planning (Irrigation).

편, 시험지구 관개구역의 필요수량과 관개수량으로 사용되어진 방류량을 비교하기 위하여 1999년 논벼의 생육기간동안 Penman 방법으로 증발산을 추정하고 일침투량과 유효수량을 고려하여 필요수량을 계산하는 모의모형 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model, 1988 김현영)을 적용하였다. 여기서 필요수량 계산을 위한 유효수량은 논에서의 물꼬높이와 관리 담수심 조건에 따라 강우량과 비교하여 결정되는데, 본 연구에서는 일침투량 4.0mm/일, 물꼬높이 60mm, 최저 관리 담수심 10mm를 적용하였으며, 작물계수는 <Table 3>의 자료를 사용하였다. 그 결과 이로부터 계산된 필요수량은 942mm로서 추정된 필요수량보다 26%가 더 방류된 것으로 조사되었다. 이는 관개면적에 대하여 수로손실과 관리손실을 포함한 손실수량을 더 보내주었기 때문으로 사료된다. <Fig. 6>은 중평저수지의 측정된 방류량과 프로그램으로부터 계산된 필요수량의 일별 누가량을 표시한 것으로 6월 중순과 7월 중순의 작은 차이를 제외하고는 전반적으로 비슷한 양상을 나타내었으나, 편차가 큰 9월에는 초순과 중순에 강우가 많고 상대적으로 결실기에 접어든 벼의 필요수량은 적은 반면 일부 누수와 저수지의 수위 조절을 위하여 부분적으로 방류하는데 기인하는 것으로 판단된다.



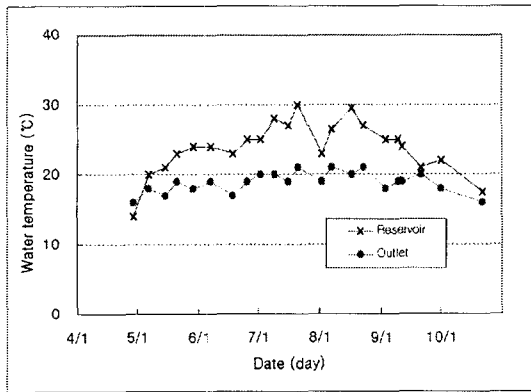
<Fig. 6> Relationship between simulated water requirement and measured discharge

2. 수질분석 결과

소규모 농업용 저수지인 중평저수지로부터 통관을 통해 방류되어 농업용수로 사용되고 있는 방류수의 수질분석을 위하여 저수지 표층수와 통관 출구지점에서 월 2-4회 정도 물시료를 채수하여 수온, pH, EC, T-N, T-P 등의 항목을 분석하고 두 지점의 결과를 비교 고찰하였으며 그 결과는 다음과 같다.

가. 수온

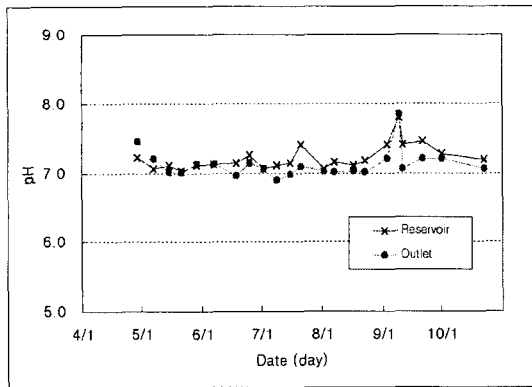
<Fig. 7>은 저수지 표층수와 통관 방류수의 시기별 수온의 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 측정을 시작한 5월 말부터 7월까지 서서히 상승하여 일정하게 유지하다가 8월 중순 이후 내려가는 양상을 나타냈다. 관개용수의 적정 온도는 작물의 종류·품종·생육시기 등에 따라 다르나 낮에 30-34℃, 밤에는 25-30℃로 보는데(이기춘외,1990), 중평저수지의 표층수는 14-30℃의 범위로 기온과 비슷한 변화를 보인 반면, 통관에서 관개수로 공급되고 있는 방류수는 16-21℃로서 비교적 수온의 변화가 적었으며 적정온도에 비하여 상당히 낮은 수치를 나타내었다. 조사결과로 보면 4월말과 5월초순 사이에 표층수의 수온이 심층수의 수온보다 높아졌다가 10월말과 11월 초순 사이에 다시 낮아지는 현상이 매년 반복될 것으로 추정된다. 또한 5월 이후 시간이 지날수록 표층수와 방류수의 수온차이는 점점 커져서 8월 17일의 경우에는 최대 10℃의 차이가 있었는데, 이는 본 유역이 산간 지역에 위치하고 있어 상대적으로 낮은 수온의 하천수가 유입되고, 특히 사통의 취수공이 1개로서 저수지 바닥에 인접하여 차가운 심층수가 공급되기 때문으로 냉해방지를 위하여 취수시설에 대한 보완이 절실히 요구된다.



<Fig. 7> Temporal variation of water temperature

나. pH

<Fig. 8>은 저수지 표층수와 통관 방류수의 시기별 pH의 변화를 나타낸 것이다. 조사기간중 저수지 표층수와 방류수의 pH는 전체적으로 6.9 7.8의 범위를 나타냈으며, 하천과 호소의 농업용수 수질기준인 6.0 8.5의 범위내에 드는 것으로 조사되었다. 한편, 5월 이전과 9월 9일을 제외하고는 비교적 계절별로 큰 변화를 보이지 않았으나, 5월부터는 표층수의 pH가 방류수보다 약간 높은 것으로 나타났다.

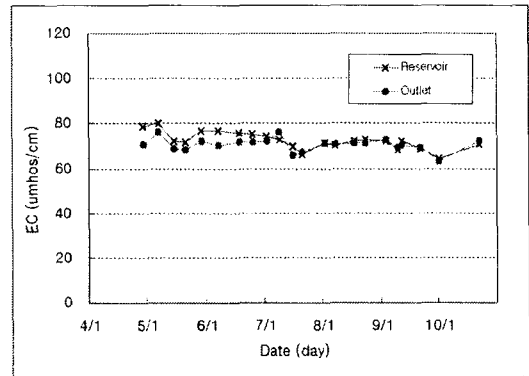


<Fig. 8> Temporal variation of pH

다. 전기전도도(EC)

<Fig. 9>는 저수지 표층수와 통관 방류수의 시기별 EC의 변화를 나타낸 것이다. 저수지 표층수와 방류수의 EC는 63 80µmhos/cm의 범위로서 계절별로 거의 일정하였으며, 7월

중순까지는 표층수의 EC값이 약간 크지만 그 이후 두 지점 간 차이는 거의 동일한 값을 보여 주었다. 이는 중평저수지 상류유역의 유입수가 저수지 EC 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 보여지고 방류되고 있는 심층수도 EC의 변화가 적음을 나타낸 것이다.



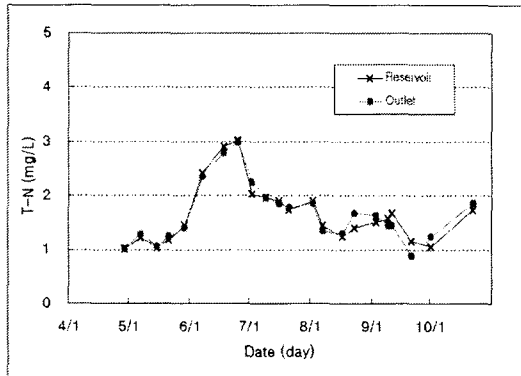
<Fig. 9> Temporal variation of EC

라. 질소원

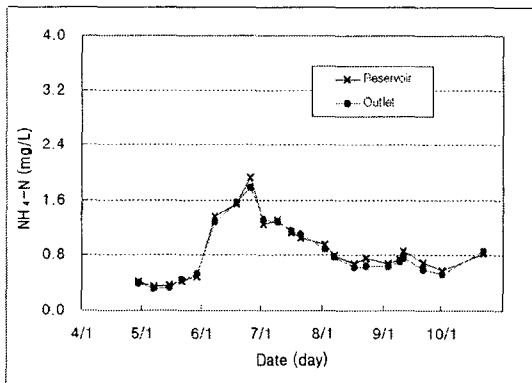
저수지 표층수와 출구지점의 방류수에 대한 총질소(T-N, Total nitrogen)는 TKN + NO₃-N으로부터 산정되었고 그 결과 1.39 4.11 mg/L의 범위를 나타냈으며, 5월 중순부터 증가하여 6월 하순에 최대치를 나타내었고, 7월초부터 서서히 낮아지는 양상을 보여 주었다. 우리나라 호소 수질환경기준에는 4등급인 농업용수의 T-N 기준이 1.0mg/L 이하로 정해져 있는데 본 조사에서는 이 기준치를 모두 초과하고 있는 것으로 나타났다. 시기별로는 5월 중순 이전에는 2.0mg/L 이하였으나 못자리 및 이양용수 등 많은 농업용수가 공급되는 5월 중·하순이 되면 2배이상 급격히 높아졌으며, 6월말 이후 생육기간동안 완만한 하락을 보이다가 7월 이후부터 일정한 값을 유지하는 양상을 나타내었다. 이는 시비후 질소성분이 저수지 상류유역 농경지로부터 하천으로 유출되고 다시 저수지로 유입되기 때문으로 보여진다.

암모니아성질소(NH₄-N)는 0.32 1.78mg/L의 범위를 나타냈으며, 질산성질소(NO₃-N)는 0.40 1.32mg/L의 범위를 나타냈으며 6월 초순까지는 질산성질소가 암모니아성질소보다 약간 큰값을 나타냈으나, 6월 중순 이후로는 암모니아성질소가 질산성질소보다 약간 큰 값을 나타내었다. 전반적

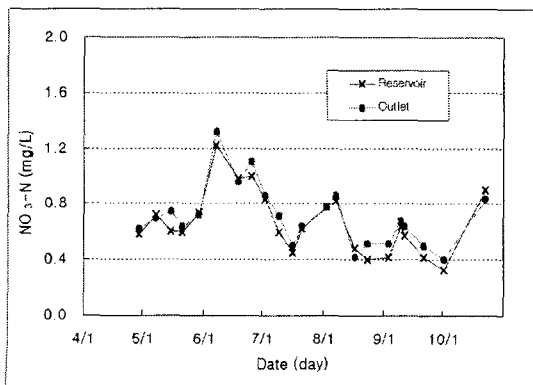
으로는 표층수와 방류수의 시기별 변화는 비슷한 양상을 보여 주었다. <Fig. 10>에서 <Fig. 12>까지는 저수지의 표층수와 통관 지점 방류수의 시기별 총질소, 암모니아태질소, 질산태질소의 변화를 나타낸 것이다.



<Fig. 10> Temporal variation of T-N



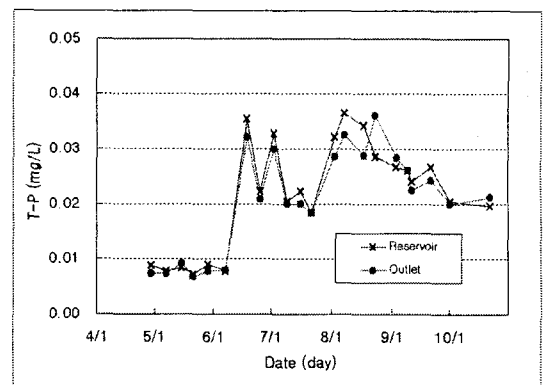
<Fig. 11> Temporal variation of NH₄-N



<Fig. 12> Temporal variation of NO₃-N

마. 총인(T-P)

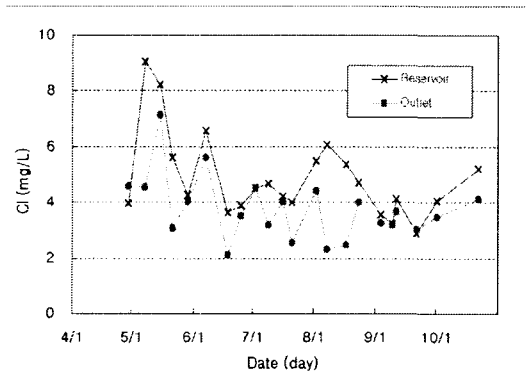
<Fig. 13>은 표층수와 방류수에 대한 시기별 총인(T-P)에 대한 변화를 도시한 것이다. 인산은 수질악화의 원인이 되는 부영양화를 일으키는 대표적인 영양염류중의 하나이다. 조사결과 인산의 함량은 두 지점 모두 0.007~0.036 mg/L의 범위로서 호소의 수질환경기준인 0.1mg/L 보다 낮은 수치를 나타내었고, 두 지점간의 차이는 크지 않았으며 시기별로는 비슷한 경향을 보여주었다. 그러나, 표층수와 출구 지점의 방류수에 대한 총인(T-P)은 두 지점 모두 관계가 시작되는 6월 초에 급격히 증가하는 양상을 보여주었는데, 이는 저수지 상류유역 농경지로부터 하천으로 유출되고 다시 저수지로 유입되기 때문으로 보여진다.



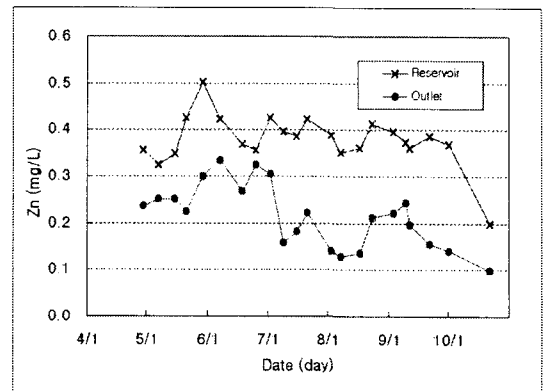
<Fig. 13> Temporal variation of T-P

바. 염소이온(Cl) 및 황산이온(SO₄)

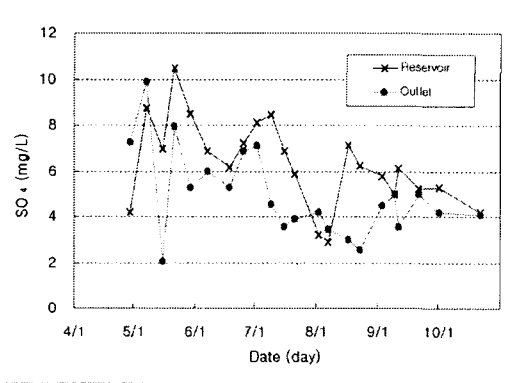
조사 지점의 염소이온(Cl) 및 황산이온(SO₄)에 대한 시기별 변화는 각각 <Fig. 14> 및 <Fig. 15>와 같다. 식물체의 광합성 저해 및 환원상태에서 아연과 반응하여 난용성 ZnS를 만들어 아연결핍을 초래하는 염소이온과 황산이온의 함량변화를 조사한 결과 시기별, 조사지점별로 일정한 경향을 나타내지 않았다. 염소이온은 2.1~9.0mg/L의 범위이며, 황산이온은 2.0~10.5mg/L의 수치를 나타내었고, 모두 비슷한 양상을 보여주었다. 다만, 저수지 표층수와 방류수에 대한 Cl과 SO₄를 결과를 보면 불규칙하기는 하지만 5월 중순부터 점차 감소하는 경향을 보인 것으로 볼 수 있으며, 전반적으로는 표층수가 방류수보다 약간 높은 것으로 나타났다.



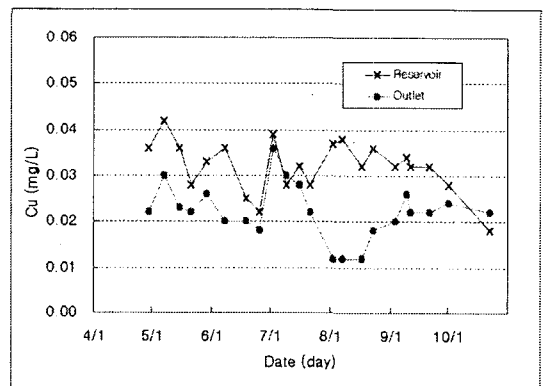
<Fig. 14> Temporal variation of Cl



<Fig. 16> Temporal variation of Zn



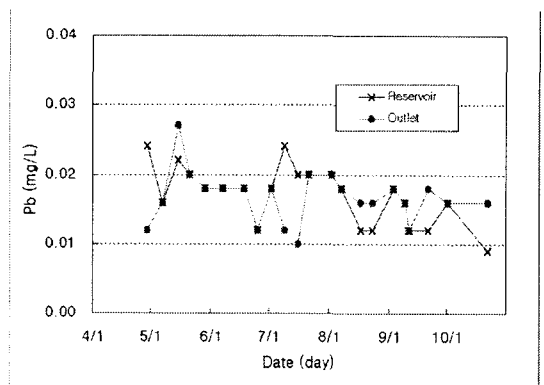
<Fig. 15> Temporal variation of SO₄



<Fig. 17> Temporal variation of Cu

사. 중금속 함유량

<Fig. 16>에서 <Fig. 18>까지는 표층수와 방류수에 대한 시기별 아연(Zn), 구리(Cu) 및 납(Pb)에 대한 함유량 변화를 도시한 것이다. 중금속 함유량에 대한 조사결과 아연(Zn)은 0.13 0.50mg/L, 구리(Cu)는 0.012 0.038mg/L, 납(Pb)은 0.01 0.027mg/L의 범위를 나타내었으며, 전반적으로 저수지의 표층수가 심층수보다 높은 것으로 조사되었다. 일본의 수도재배용 농업용수중 중금속 함유량의 제한기준은 아연 0.5mg/L, 구리 0.02mg/L로 되어 있는데 본 조사에서는 아연의 함유량이 이보다 훨씬 낮게 나타나 자연함유량 수준이었으며, 구리는 이보다 약간 높은 것으로 조사되었다.



<Fig. 18> Temporal variation of Pb

IV. 요약 및 결론

관개용 저수지와 양수장으로부터 농업용수의 공급량을 조사하기 위하여 중평저수지를 시험지구로 선정하여 1999년 4월말부터 9월 30일까지 관개기간 동안 수문모니터링을 실시하였다. 여기서 측정된 수위와 유량 측정자료로부터 저수지의 방류량을 산정하였고, 또한 저수지의 표층수와 공급된 관개수에 대한 수질분석을 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중평저수지에서 농업용수로 공급하기 위하여 통관을 통해 방류된 관개수량은 593.2천 m^3 으로 관개면적 50ha에 대한 단위면적당 사용량은 1,186mm 이었으며, 그중 5월이 전체의 22.9%를 차지하여 묘대기와 이앙기에 가장 많은 농업용수가 공급되는 것으로 조사되었다.
2. 저수지 통관 방류수의 수온은 16 21 $^{\circ}C$ 의 범위로서 벼 생육의 적정온도에 비하여 상당히 낮은 반면 표층수는 21 30 $^{\circ}C$ 를 나타내었다. 방류된 관개수의 pH는 6.9 7.8의 범위로서 하천과 호소의 농업용수 기준인 6.0 8.5의 범위내에 드는 것으로 조사되었으며, 방류수에 대한 EC는 63 80 $\mu mhos/cm$ 의 범위였으며 시기별로는 거의 일정하였다.
3. 저수지에 저류된 내측의 표층수와 출구지점의 방류수에 대한 총질소(T-N)는 1.39 4.11mg/L의 범위로서 시기별로 비슷한 양상을 보였으며, 총인(T-P)은 0.007 0.036 mg/L로서 관개가 시작되는 6월 초에 급격히 상승하는 변화를 나타내었지만 호소의 농업용수 수질환경기준인 0.1mg/L 보다는 낮은 것으로 조사되었다.
4. 저수지에 저류된 내측의 표층수와 출구지점의 방류수에 대한 중금속 함량에 대한 조사결과 아연(Zn)은 0.13 0.50mg/L, 구리(Cu)는 0.012 0.038mg/L, 납(Pb)은 0.01 0.027mg/L의 범위를 나타내었다.

參考文獻

1. 강민구, 박승우, 임상준(1999) 관개용 저수지의 일별 사용량 조사 분석, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.247-252.
2. 김현영(1988) 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
3. 농림부(1998) 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편), 1998, pp.98.
4. 농림부, 농어촌진흥공사(1977) 농업생산기반정비사업 통계연보, 1997.
5. 박근조, 안열(1996) 일본에서의 저수지 수질관리, 농공기술, 53, pp.130-141.
6. 서승덕(1997) 21C 농업용수 관리 및 수질보전, '97 국제심포지엄 보고서, 농지개량조합연합회, pp.205-267.
7. 서울대학교 농업개발연구소(1998) 한강유역 농업용수 실제 사용량 및 회귀를 조사, 1998.12.
8. 이광식, 백청오(1996) 농업용수 수질오염 현황과 보전 대책, 농공기술 50, pp.144-156.
9. 이기춘외(1990) 농업수리학, 향문사, pp.50-57.
10. 임상준, 박승우, 김상민, 김현준(2000) 한강수계의 관개용수 일별 양수량 조사, 한국농공학회지, 42(1), pp.57-65.
11. 장정렬, 조국현(1997) 우리나라 농업용수원 수질실태 조사 연구(기술정보), 농공기술 57, pp.132-142
12. 한국건설기술연구원(1997) 수자원 계획의 최적화 연구(I), 1997.
13. 한국수자원공사(1992) 숫자로 본 수자원, 1992.