

양수장의 농업용수 공급량 및 수질 모니터링

Monitoring of Irrigation Water Supply and Water Quality from a Pumping Station

최진규*, 손재권*, 구자웅*, 윤광식**, 김영주***
Choi, Jin-kyu, Son, Jae-gwon, Koo, Ja-woong, Yoon, Kwang-sik, Kim, Young-ju

Abstract

The irrigation water supply and water quality from a pumping station were surveyed. Guiseok pumping station was selected as a monitoring site. Water level in irrigation canal was monitored continuously and water samples were taken and analyzed, periodically. Equation of rating curve was derived from the relationship between the measured water level and discharge data. The measured irrigation water supply from Guiseok pumping station was 1,209mm during the irrigation period of 1999. Variation of irrigated water quality constituents such as water temperature, pH, EC, total nitrogen, total phosphorus was also examined. The results showed pH 6.9 ~ 8.1, total nitrogen 0.45 ~ 4.5mg/L, total phosphorus 0.008 ~ 0.013mg/L, respectively.

1. 서론

우리 나라 남한의 국토면적은 9,941천ha이고 그 중에서 경지가 1,910천ha로 전체 면적의 19.2%이며, 이 중 논이 1,157ha로 11.6%를 차지하고 있으며, 논외의 76.1%인 수리답 881천ha를 저수지, 양수장, 보 등으로부터 농업용수를 공급하거나, 관정 및 집수암거 등으로부터 지하수를 채수하여 활용하고 있다(농림부, 농어촌진흥공사, 농업생산기반정비사업통계연보, 1999). 수원공으로부터 취수하여 공급되는 수량은 작물이 필요로 하는 증발산량과 침투량 중에서 유효수량을 제외한 순용수량과

수로손실량 및 관리손실량을 고려하여 결정하게 되는데, 주로 기상조건 및 작물의 생육단계에 따라 좌우되기도 하지만, 경지의 토양 특성, 지하수위, 관개방법 등에 의해서도 영향을 받는다. 농업용수는 저수지, 양수장 등에 의해 취수된 물이 수로를 통하여 관개지구에 공급되는 양으로, 우리 나라 농업용수는 전체 수자원 이용량의 약 55%인 150억m³에 해당하는 많은 양을 차지하고 있으며(한국수자원공사, 1992), 수자원의 관리와 수계 단위의 용수수요 해석에 있어서 매우 중요한 요소이다. 저수지, 양수장 등의 수원공으로부터 공급되는 농업용수는 실제 저수지 방류량이나 양수량에 대한

* 전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소)
** 전남대학교 농과대학
*** 전북대학교 대학원

키워드: 양수장, 농업용수, 수질, 모니터링

자료가 거의 없으므로 이로부터 직접적인 조사는 어려운 실정이며, 지금까지 1997년에 시행된 낙동강 수계 농업용수 사용량 조사(한국건설기술연구원, 1977)와 1998년에 시행된 한강 수계에서의 농업용수 사용량 조사(서울대학교 농업개발연구소, 1998)에서 저수지와 양수장을 대상으로 시험지구의 농업용수 사용량에 관한 연구사업이 이루어진 바 있으며, 이근후 등(1999), 임상준 등(2000)은 양수장 지구 논구획에서의 물 수지와 일별 양수량을 조사하고 이를 분석하였다.

한편, 농업용수에 대한 정확한 공급량과 관개수의 물질순환과정을 정량적으로 분석하고 주요 오염원을 파악하며, 이를 효과적으로 조절하기 위해서는 농경지로 공급되는 관개수의 수질평가도 중요하다. 논에서의 수질에 관한 연구로서 김복영 등(1995), 김진수 등(1998), 박승우 등(1997), 정상옥(1996), 조재영 등(2000)이 단일 필지 또는 광역 논에서의 영양염류와 오염 부하량을 측정하고 이를 분석하였으며, 주로 유출수의 오염 부하량에 중점을 두고 있다.

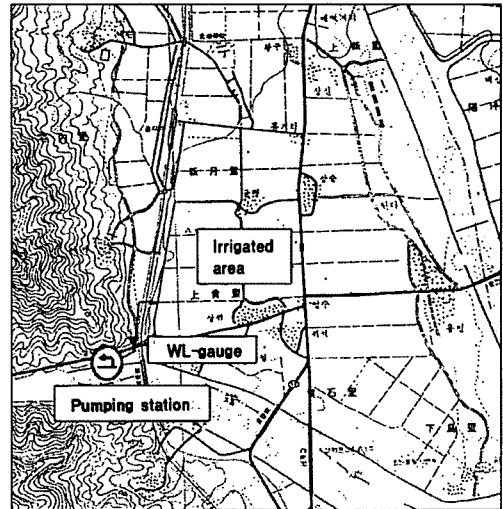
본 연구에서는 양수장 지구를 시험대상으로 지구 내 용수간선수로 지점에 수문관측시설을 설치하여 수문 모니터링을 통해 수위와 양수량을 측정하고, 이를 기존 양수 운영자료로부터 산정된 공급량과 비교하였으며, 또한 양수장으로부터 농업용수로 공급되고 있는 관개수에 대한 수질분석을 실시하여 관개기간 동안 논에서 발생하는 오염물질의 유출입 수지와 오염원의 적정관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험지구

양수장으로부터 공급되는 농업용수와 수질

조사를 위한 시험 대상지구는 위치, 관개면적, 운영자료, 접근성 등을 고려하여 선정하였으며, <Fig. 1>은 시험지구인 귀석양수장의 위치를 나타낸 것이다. 귀석양수장은 전라북도 남원시 금지면 상귀리에 위치하며 섬진강 중류의 본류에서 취수하여 남원시 금지면 신월리, 상귀리 및 귀석리에 걸친 금풍지구에 농업용수를 공급하는 중규모 양수장으로 양수량은 $0.8260\text{m}^3/\text{s}$ 이고, 관개면적은 241ha, 펌프의 구경은 450mm이며, 전동기의 마력은 100hp로 총 2대가 가동되고 있다.



<Fig. 1> Location map of study area

2. 기상자료

관개기간의 기상 자료는 시험지구와 인접한 남원 기상관측소의 자료를 이용하였다. <Table 1>은 관개기간을 포함하여 남원 관측소의 1999년 강수량과 증발량을 월별로 정리한 것이다. 1999년 강수량은 1,450.3mm로서 태풍과 집중된 호우로 인하여 1994~1998년의 5개년 평균치인 1,220.5mm와 우리 나라 연평균 강수량 1,274mm 보다도 약간 많은 편이었으며, 관개기간인 5월~9월까지의 1,064.7mm를 나타내었

(Table 1) Monthly precipitation and evaporation(1999) (unit : mm)

Item	Month												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Precipitation	31.7	41.4	86.2	71.0	130.5	154.0	280.5	242.7	257.0	123.0	21.5	10.8	1,450.3
Evaporation	46.9	53.0	77.6	125.3	154.1	144.4	123.6	118.4	94.3	60.0	46.0	37.2	1,080.8

다. 한편, 1999년의 증발산량은 1,080.8mm 로서 1994~1998년의 5개년 평균치인 1,161.8mm 보다 약간 적은 편이었다.

3. 수위 및 유량측정

양수장으로부터 공급되는 관개용수량을 조사하기 위하여 귀석양수장의 배출구에서 약 100m 정도 떨어진 간선 용수로 지점에 수위표와 자기수위계를 설치하고 묘대기 용수를 공급하기 시작하는 4월 하순부터 9월 30일까지 운영하였다. 수위-유량 측정은 취수된 물이 흘러나가는 용수간선 중 폭 1.2m, 높이 1.7m의 구형 콘크리트 개거구간으로 단면이 일정한 지점을 선정하였으며, 시간별 수위자료는 Global Water사의 압력변환형 수위계인 WL-14 데이터로거를 사용하여 매 10분 간격으로 수위가 측정되도록 하였다. 유량산정에서 수위 계측지점의 유수단면적을 구하고 유속은 Valeport사의 BFM002 유속계를 사용하여 측정하였으며 그 결과를 이용하여 수위-유량관계식을 유도하였다.

4. 수질조사

수질은 1999년 5월부터 9월까지 양수장이 가동되어 수위 및 유량측정이 이루어진 지점에서 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 환원중류-킬달법과 중화적정법으로, 총인은 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 Ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 음이온(NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-})은 0.45 μm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다.

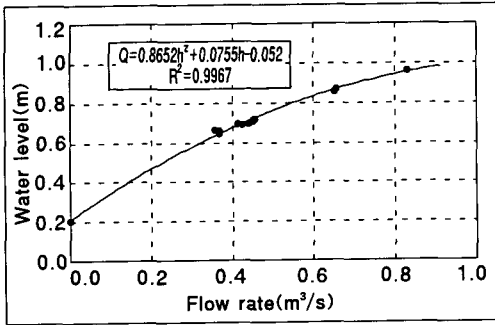
III. 결과 및 고찰

1. 농업용수 공급량

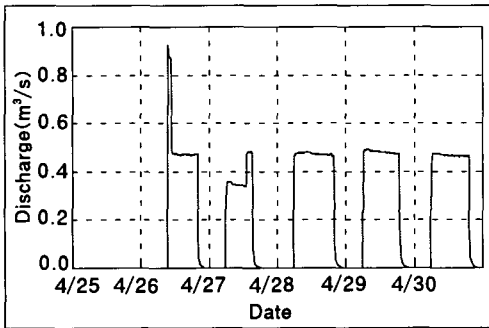
가. 수위-유량 관계식

시험양수장은 평상시에는 1일 단위로 6~24시간 내외로 가동시키며, 용수의 수요가 많은 이앙기 등에는 2~5일 연속적으로 양수하는 경향을 보였다. 여기서는 양수장이 가동되어 농업용수가 공급되고 있는 동안 수위 계측점으로부터 측정된 시간별 수위와 현장 유량측정 자료로부터 <Fig. 2>에 나타낸 바와 같이 $Q = 0.8652h^2 + 0.0755h - 0.052$ ($R^2 = 0.9967$)의 수위-유량관계식을 유도하였으며, 이를 이용하여 양수장으로부터 공급된 농업용수를 산정하였다. 식에서 Q = 유량(m^3/s), h = 수심(m)이다. 본 조사결과 양수기 1대가 가동되는 경우 유량은 0.35~0.48 m^3/s , 2대가 동시에 가동되는 경우에는 0.83~0.88 m^3/s 범위로 용수로

를 통해 관개구역으로 공급되는 것으로 조사되었다. <Fig. 3>은 1999년 4월 26일~30일까지 5일간 양수장에서 취수된 시간별 양수량 수문곡선을 나타낸 것이다.



<Fig. 2> Rating curve at main irrigation canal

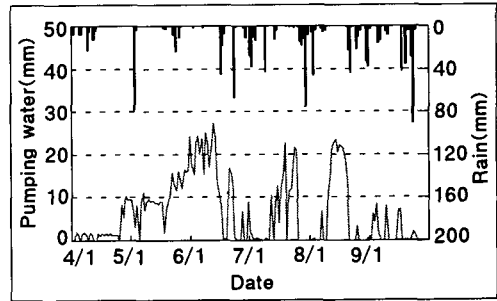


<Fig. 3> Measured hydrograph of pumping water

나. 측정 양수량

용수간선의 수위 계측점에서 유도된 $Q = 0.8652h^2 + 0.0755h - 0.052$ 의 수위-유량관계식을 이용하여 시간별 수위자료를 유량으로 변환하고 이를 양수장의 관개용수 공급량으로 산정하였다. 본 지구에서 관개기간인 4월부터 9월 30일까지 금풍지구의 주수원공인 귀석양수장 용수간선 지점에서 측정한 일별 양수량을 강우량과 같이 나타내면 <Fig. 4>와 같으며, 일일 최대 양수량은 65,288m³으로 관개심 27.1mm에 해당된다. <Table 2>는 양수장에 의한 농업용수 공급량을 순별로 정리한 것으로 전체 농업

용수 공급량은 2,913천m³이었으며, 월별로는 5월이 전체의 26.6%, 6월이 30.8%를 차지하였고, 순별로는 5월 하순에 13.9%와 6월 초순에 16.9%로서 묘대기와 이앙기에 가장 많은 농업용수가 공급되는 것으로 조사되었다. <Fig. 5>는 귀석양수장의 순별 농업용수 공급량과 강우량의 관계를 나타낸 것으로 <Fig. 4>와 <Fig. 5>에서 보면 강우량이 적은 경우 양수장의 공급량이 증가하는 밀접한 관계를 알 수 있다. 한편, 농업용수 공급량을 관개면적 241.0ha에 대한 단위면적당 총 관개심으로 계산하면 1,209mm로 조사되었다.

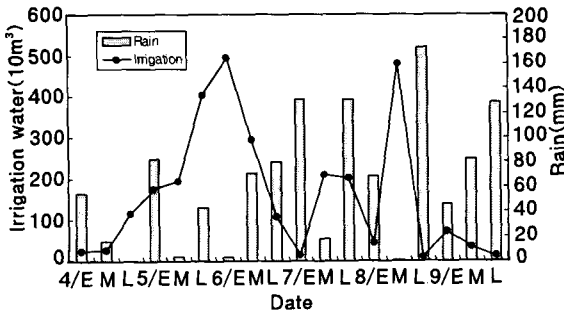


<Fig. 4> Daily irrigation water

<Table 2> Irrigation water in ten days

Period		Pumping water		
		Volume (10³m³)	Depth (mm)	Cum.depth (mm)
4	E	23.9	9.9	9.9
	M	27.3	11.3	21.2
	L	115.9	48.1	69.3
5	E	175.7	72.9	142.2
	M	194.0	80.5	222.7
	L	404.4	167.8	390.5
6	E	493.2	204.6	595.1
	M	295.0	122.4	717.5
	L	108.5	45.0	762.5
7	E	13.8	5.7	768.2
	M	208.6	86.6	854.8
	L	201.7	83.7	938.5
8	E	44.5	18.5	957.0
	M	480.2	199.3	1,156.3
	L	9.6	4.0	1,160.3
9	E	70.2	29.1	1,189.4
	M	35.2	14.6	1,204.0
	L	11.6	4.8	1,208.8
Total		2,913.3	1,208.8	1,208.8

(Note) E = Early, M = Middle, L = Late



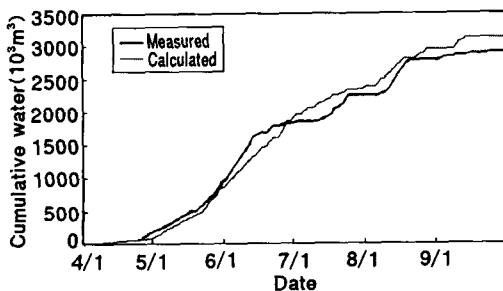
<Fig. 5> Irrigation water in ten days

다. 운영자료를 이용한 양수량 산정

시험지구의 농업용수 조사결과에 대한 정확도를 검토하기 위하여 실제 측정된 용수량과 양수장 운영자료로부터 계산한 용수량을 비교하였다. 이를 위하여 농지개량조합에서 기록하고 있는 양수장 운영자료의 일일 가동시간과 단위양수량을 적용하여 $\text{양수량}(\text{m}^3) = \text{가동시간} \times \text{가동대수} \times \text{단위양수용량}(\text{m}^3/\text{s})$ 으로 일별 양수량을 산정하였다. 그 결과 시험양수장에서 실측한 관개량과 양수장 운영자료로부터 계산된 용수량은 <Table 3>에 정리한 바와 같이 7.8%의 상대오차를 나타내었으며, 이는 펌프의 효율, 양수시간, 측정오차 등에 기인한 것으로 판단된다. 한편, <Fig. 6>은 실측 용수량

<Table 3> Comparison of measured and calculated irrigation water

Pumping station	Irrigated area(ha)	Measured		Calculated		Relative error(%)
		(10 ³ m ³)	(mm)	(10 ³ m ³)	(mm)	
Guiseok	241	2,913.3	1,209	3,141.9	1,304	7.8



<Fig. 6> Cumulative curve of irrigation water

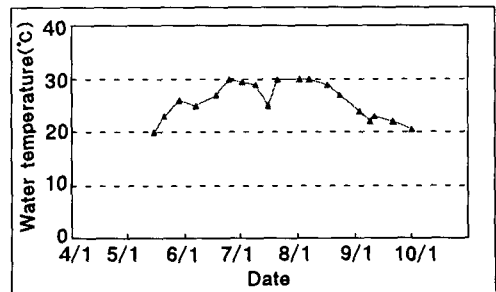
과 양수장 운영자료로부터 계산된 용수량의 일별 누가량을 표시한 것으로 6월 중순과 7월 중순의 편차를 제외하고는 전반적으로 비슷한 양상을 나타내었다

2. 수질분석 결과

양수장에서부터 섬진강 하천수를 양수하여 농업용수로 공급되고 있는 관개수의 수질분석을 위하여 수위 및 유속측정이 이루어진 용수간선 지점에서 월 2~4회 물시료를 채취하여 이를 분석하고 그 결과를 고찰하였다.

가. 수온

용수간선 지점의 시기별 수온의 변화는 <Fig. 7>과 같으며, 전체적으로 영농기가 시작되는 5월부터 7월 초까지 서서히 상승하여 30℃ 정도로 일정하게 유지하다가 8월 중순 이후 내려가는 양상을 보여주었다. 관개용수의 적정 온도는 작물의 종류·품종·생육시기 등에 따라 다르나 낮에는 30~34℃, 밤에는 25~30℃로 보는데(이기춘외, 1990), 섬진강 하천수를 양수하는 귀석양수장의 경우는 5월부터 상승하여 7~8월까지 평균 20~30℃의 범위이며, 8월 하순 이후로는 점차 낮아지는 전형적인 양상을 보여 주었다. 모내기 이후 성장기인 8월까지만 보면 관개수의 수온이 25~30℃로서 비교적 적정온도에 근접하였으며, 하천수의

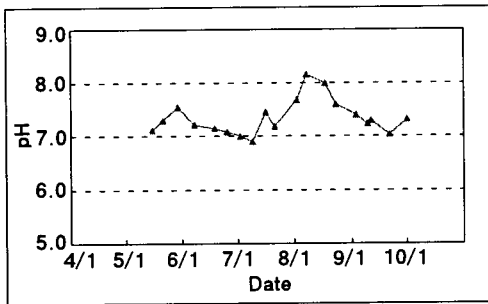


<Fig. 7> Variations of water temperature

수온이 대기의 온도에 따라 변화하는 것을 나타내 주는 것이다.

나. pH

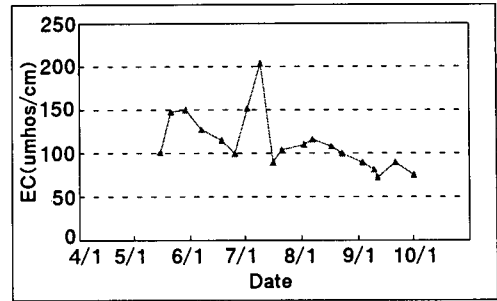
조사기간 중 측정 지점의 pH는 전체 6.9~8.1의 범위로서 하천과 호소의 농업용수 수질 환경기준인 6.0~8.5의 범위에 드는 것으로 조사되었다. 한편, 영농기인 5월 말과 6월 초 사이에 약간, 그리고 8월 초와 9월 초에 크게 상승하는 변화를 보였으며, 평균 pH는 7.28로 조사되었다. <Fig. 8>은 관개수의 시기별 pH의 변화를 나타낸 것이다.



<Fig. 8> Variations of pH

다. 전기전도도(EC)

하천으로부터 양수된 관개수의 전기전도도는 72~204 μ mhos/cm의 범위로서 5월 말에 약간 상승한 후 7월 초의 크고 심한 변화를 제외하고는 서서히 낮아지는 경향을 나타내었는데, 이는 강우에 의한 상류유역의 유입수가 섬진강의 하천수질에 영향을 주고 있는 것으로 보여진다. <Fig. 9>는 귀석양수장에서 양수되어 공급되는 관개수에 대한 시기별 EC의 변화를 나타낸 것이다.



<Fig. 9> Variations of EC

타났으며, 5월 하순에 증가하다가 7월 초부터 서서히 낮아지는 양상을 보였다.

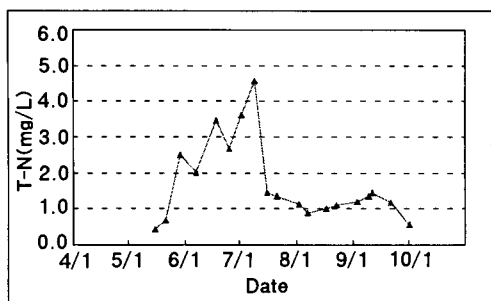
관개용수 중 질소는 그 형태에 따라서 수도생육에 미치는 영향이 다르지만 어느 것이든 과잉으로 공급되면 질소과잉 장애가 나타난다. 특히 과잉의 유기태질소는 토양에 축적되어 토양질소 증가의 원인이 되며 비정상적인 토양환원과 질소과잉의 피해를 벼의 생육에 나타내게 된다. 우리나라 호소 수질환경기준에는 4등급인 농업용수의 T-N 기준이 1.0mg/L 이하로 정해져 있는데 본 조사에서는 이 기준치를 초과하고 있는 것으로 나타났다. 시기별로는 영농기 이전인 5월까지의 1.0mg/L 정도에서 못자리 및 이앙용수 등 많은 농업용수가 공급되는 5월 중·하순이 되면 2배 이상 급격히 높아져 생육기간동안 완만한 하락을 보이다가 7월 중순 이후부터 일정한 값을 유지하는 양상을 나타내었다. 질소원의 화학적 형태별 함량을 비교한 결과 6월부터 7월 중순까지는 암모니아태질소가 질산태질소보다 높게 나타났으며, 7월 하순부터는 비슷한 경향을 보여주었다. <Fig. 10>~<Fig. 12>는 귀석양수장에서 농업용수로 공급되는 관개수의 시기별 총질소, 암모니아태질소, 질산태질소의 변화를 나타낸 것이다.

라. 질소원

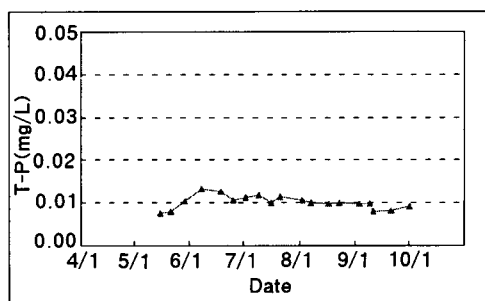
관개수에 대한 총질소(T-N)는 측정된 TKN+NO₃-N로부터 산정되었으며 결과를 보면 0.45~4.56mg/L의 범위 및 1.75mg/L의 평균값을 나타내었다.

마. 총-인(T-P)

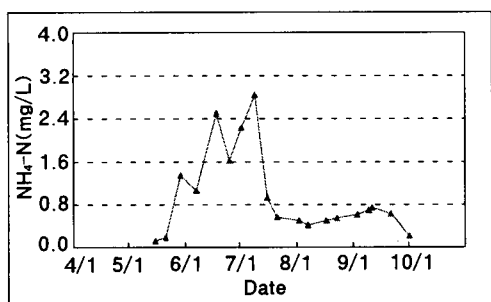
수질악화의 원인이 되는 부영양화를 일으키



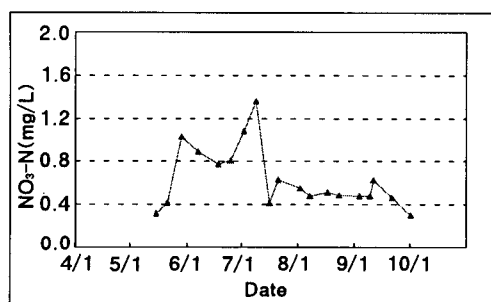
〈Fig. 10〉 Variations of T-N



〈Fig. 13〉 Variations of T-P



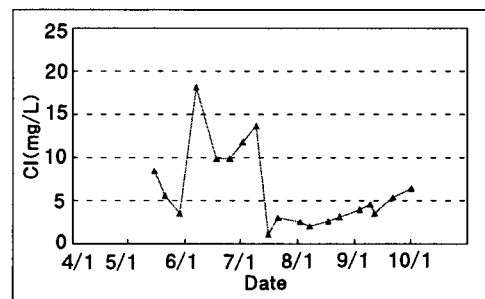
〈Fig. 11〉 Variations of NH₄-N



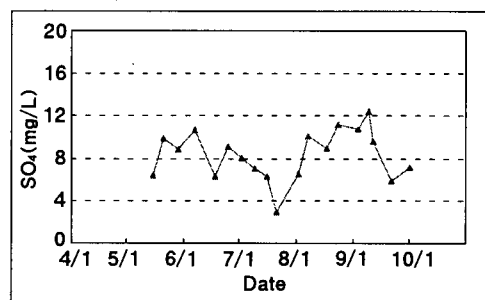
〈Fig. 12〉 Variations of NO₃-N

바. Cl, SO₄

식물체의 광합성 저해 및 환원상태에서 아연과 반응하여 난용성 ZnS를 만들어 아연결핍을 초래하는 염소이온과 황산이온의 함량 변화를 조사한 결과 각각 1.2~18.1mg/L 및 3.0~12.4mg/L의 범위였으며 시기별로 일정한 경향을 나타내지 않았다. 〈Fig. 14〉 및 〈Fig. 15〉는 조사 지점의 염소이온(Cl) 및 황산이온(SO₄)에 대한 시기별 변화를 나타낸 것이다.



〈Fig. 14〉 Variations of Cl



〈Fig. 15〉 Variations of SO₄

고 식물성 플랑크톤의 과다발생을 일으켜 이취미와 수색변동을 일으키는 영양염류 중 대표적인 인산의 함량은 5월 말 영농기가 시작되면서 점차 증가하는 양상을 나타내다가 평균치인 0.01mg/L로 비교적 일정하였다. 전체적으로 관개용수에 대한 총인(T-P)은 0.008~0.013mg/L의 범위로서 호소의 수질환경기준인 0.1mg/L 보다 낮은 수치를 나타내었으며, 〈Fig. 13〉은 공급수에 대한 시기별 총인(T-P)에 대한 변화를 도시한 것이다.

IV. 요약 및 결론

양수장으로부터 농업용수 공급량을 조사하기 위하여 시험지구를 선정하여 관개기간 동안 수문 모니터링을 실시하였으며, 측정된 수위와 유량 측정자료로부터 용수량을 산정하고 관개수의 수질분석을 실시하였다. 관개기간 동안 귀석양수장에서 농업용수로 공급되는 용수량은 2,913천 m^3 으로 관개면적 241ha에 대한 단위면적당 관개심은 1,209mm였으며, 월별로는 5월이 전체의 26.6%, 6월이 30.8%를 차지하여 묘대기와 이앙기에 가장 많은 농업용수가 공급되는 것으로 조사되었다.

농업용수의 수온은 벼생육의 적정온도에 비하여 약간 낮은 20~30 $^{\circ}C$ 를 나타내었으며, 관개수의 pH는 6.9~8.1의 범위로서 하천과 호소의 농업용수 기준인 6.0~8.5의 범위 내에 드는 것으로 조사되었다. EC는 72~204 $\mu mhos/cm$ 의 범위로서 시기별로 불규칙한 변화를 보여 주었다. 총질소는 0.45~4.56mg/L로서 6~7월에 높았고, 총인은 0.008~0.013mg/L의 범위로서 비교적 일정하였으며 호소의 수질환경기준인 0.1mg/L 보다는 낮은 수치를 나타내었다.

pp.19~27.

5. 서울대학교 농업개발연구소, 1998. 한강유역 농업용수 실제 사용량 및 회귀율 조사.
6. 이근후, 정운태, 이인형, 1999. 양수장 용수공급 논 지대의 물수지, 한국관개배수, 6(2), pp.11~18.
7. 이기춘 외, 1990. 농업수리학, 향문사, pp.50~57.
8. 임상준, 박승우, 김상민, 김현준, 2000. 한강수계의 관개용수 일별 양수량 조사, 한국농공학회지, 42(1), pp.57~65.
9. 정상옥, 1996. 농업배수가 수질에 미치는 영향과 오염저감 대책, 한국관개배수, 3(2), pp.20~35.
10. 조재영, 한강완, 최진규, 구자용, 손재권, 2000. 비영농기간 단일필지 논으로부터 영양물질의 유출부하량, 한국농공학회지, 42(2), pp.63~70.
11. 한국수자원공사, 1992. 숫자로 본 수자원.

참고문헌

1. 김복영, 조재규, 1995. 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실, 한국관개배수, 2(2), pp.20~26.
2. 김진수, 오승영, 김규성, 1998. 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회지, 41(4), pp.47~56.
3. 농림부, 농어촌진흥공사, 1997. 농업생산기반정비사업통계연보.
4. 박승우, 윤광식, 진영민, 이변우, 1997. 논에 물질순환 모니터링, 서울대 농학연구지, 22(1),