

# 벼의 냉수피해 감소를 위한 관개수온 조사와 대책수립

## Measurement of Irrigation Water Temperature and Preventive Measures against Cold Water Damage to Paddy Rice

정 상 옥\* · 오 창 준\*\*  
Chung, Sang Ok · Oh, Chang Jun

### Abstract

Paddy rice is a semi-tropical crop and requires warm irrigation water. If mean water temperature at the water source during the growing period is below 18°C, some kinds of water warming mechanisms should be taken. In this study irrigation water temperature is measured and preventive measures to cold water damage on paddy rice are suggested. Field observations were performed at 100ha field area downstream of the Unmoon reservoir during the growing season of 1997. Land use, canal system, water temperature at irrigation canals, reservoir, and paddy fields were observed. In addition, growth and yield of the rice at selected plots were observed.

According to the record, cold water damage occurred in this area due to the cold irrigation water supply in 1996. It did not occur because of the effective irrigation water management practice in 1997.

However, several preventive measures such as pontoon intake system, using existing weir and constructing a new warming pond, are suggested to prevent cold water damage in the future. If a new warming pond is constructed to raise irrigation water temperature by 2°C, a pond area of 2.94ha is required.

### I. 서 론

관개수온은 벼의 생육과 수확량에 큰 영향을 미치며, 저온의 용수가 공급되면 벼는 냉수피해를 받게 된다. 벼의 생육기간중 논 수온의 적온은 30~34°C이며, 대략 20°C 이하의 관개용수가 공급되면 피해를 입을 수 있다. 따라서 최적의 생육과 수확

량을 확보하기 위하여는 냉수공급을 피하여야 하며 수원의 수온이 낮을 때에는 수온을 높일 수 있는 여러 가지 대책을 강구하여야 한다. 특히 수원의 평균수온이 18°C 이하인 경우에는 온수시설계획이 필요하다(농수산부, 1983).

냉수피해를 저감시킬 수 있는 일반적인 온수대책은 수원에서의 대책, 도수 중의 대책 및 논안에

\*경북대학교 농과대학

\*\*경북대학교 대학원

키워드 : 냉수피해, 저수지, 보, 수온, 온수지

서의 대책으로 나눌 수 있다. 수원에서의 대책은 저수지에서 수온이 높은 표층수 취수가 있으며, 도수 중의 대책으로는 온수지, 온수로 및 우회수로가 있으며, 논안에서의 대책으로는 객토나 밀다짐공을 통한 침투량 감소, 간단관개와 이른 새벽에 관개하는 등 관개방법의 개량, 물꼬에 분산판을 설치하는 등의 방법이 있다.

우리 나라에서 벼의 냉수피해에 관련한 연구는 황 등(1972)이 용수의 수온상승과 벼의 생육에 대하여 시험포장 관측연구를 한 것과, 한(1971, 1974)이 지하수 관개시의 수도 냉해와 그 대책에 대하여 발표한 것이 시초로 보이며, 연과 최(1977)가 소양강댐 하류 우두 온수지의 수온상승 효과에 대한 연구를 하였다. 그 후에 충주댐이나 주암 조절지댐 하류의 냉수피해 대책으로서 온수지가 설치된 정도이며, 이 분야에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 일본에서는 1930~1960년대에 이 분야에 대한 연구가 많이 수행되었다. 일본의 참고문헌은 황 등(1972), 한(1974), 및 연과 최(1977)에 100여편이 소개되어 있다.

본 연구의 대상지역은 경북 청도군 운문면에 소재한 운문댐 하류지역 100여 ha의 농경지로서, 댐

준공 이후 취수탑에서 공급하는 낮은 온도의 관개용수로 인하여 1996년도에 4.6ha의 논에서 냉수피해가 발생하였다. 이 댐은 생공용수 전용댐이지만, 이 지역이 댐 건설 이전의 기존 수리권 지역으로서 농업용수도 공급하고 있어 이 지역의 저수지 관개수온과 논 수온을 관측하고, 벼의 생육장애의 발생여부와 냉수피해 방지대책을 수립하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

본 연구는 1997년 생육기간동안 대상지역의 토지이용, 수로조직, 기상 등 현황조사와 수온조사 및 생육조사로 이루어지며, 수집된 자료분석을 통하여 냉수피해의 발생여부와 발생원인을 조사하고 냉수피해 방지대책을 제시하기 위하여 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 토지이용 및 용배수 조직 현황

대상지역은 운문댐 바로 하류에 소재하고 있으며, 북쪽은 20번 국도와 인접하고 있으며 남쪽은 동창천 제방을 경계로 하고 있다. 토지이용현황은 국립지리원 발행 1:5,000 축척 지형도를 기초로

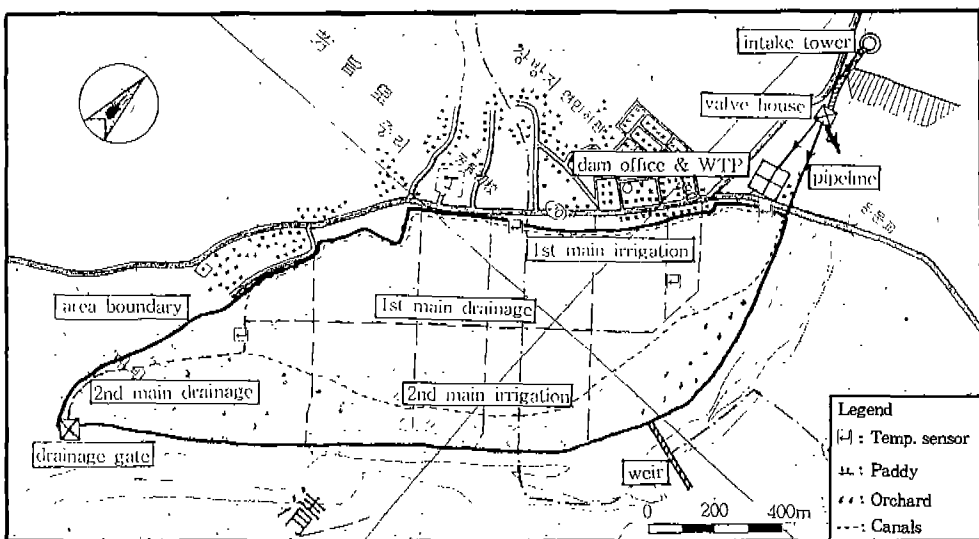


Fig. 1. Land use and canal system of the study area

하여 직접 각 필지를 답사하여 조사하였다. 대상 지역 전체면적은 111ha이며 토지이용과 수로조직 현황 및 주요 관측지점은 Fig. 1과 같다. 대상지역의 동쪽경계에 접한 동창천에는 청도군에서 유선 위락을 위하여 높이 1.5m, 폭 83m의 콘크리트 보를 설치하므로써 길이 730m, 면적 6.1ha의 소규모 저수역을 형성하고 있다.

대상지역은 논, 밭, 과수원 및 온실로 구성되어 있으며 토지이용현황은 Table 1과 같다. 대상지역의 62%인 70.2ha가 논으로 되어 있으며, 제 2 배수간선 하부지역은 복숭아밭이고 포도, 사과 및 배 과수원, 이모작 밭, 및 온실 등은 논 지역에 불균칙적으로 산재하고 있다.

운문댐 취수탑에서 취수되는 물은 농업용뿐만 아니라 하천유지용수 및 청도군 지역의 상수원수로도 이용된다. Fig. 1에서와 같이 취수탑에서 취수된 물은 체수변실에서 하류 유지용수 관로(1,200mm φ), 청도지구 상수원수 관로(700mm φ) 및 농업용수 관로(500mm φ)로 나누어 진다. 청도

지구 상수원수는 운문댐사무소 구내의 상수처리장에서 처리된다.

대상지역의 용배수로계통은 용배수로가 비교적 잘 분리되어 있다. 또한 대부분의 수로가 토공수로 되어 있으며 일부 지역에서만 콘크리트 암거로 되어 있다. 용배수로 조직은 2개의 간선용수로, 2개의 간선배수로 및 다수의 용배수지거로 구성되어 있다. 용배수로 조직현황은 Table 2와 같다.

## 2. 수온조사

수온조사는 저수지 수심별 수온, 용배수로 수온 및 논 수온에 대하여 실시하였다. 저수지 수심별 수온은 운문댐 사무소의 관측자료를 이용하였으며, 수로수온과 논 수온은 Hugrun사의 Seamon mini 수온센서 및 자기기록장치를 이용한 장기 자동관측과 디지털식 수온계를 이용한 현장방문관측으로 조사하였다. 장기 자동관측의 경우에는 1997년 관개기간인 5~9월에 걸쳐 1시간 간격으로 측정하였고 매일 말에 Notebook PC를 이용하여 자

Table 1. Land use of the study area

(unit: ha)

Canal	Paddy				Orchard			Upland	Greenhouse	Total
	Direct seeding	Trans-planting	Double cropping	Sub-total	Grape	Apple, pear, peach	Sub-total			
1st main irrigation	17.8	33.1	3.2	54.1	9.3	7.0	54.1	1.5	1.6	73.5
2nd main irrigation	4.7	8.6	0.0	13.3	1.3	13.0	13.3	0.0	0.4	28.0
2nd main Drainage	1.0	1.8	0.0	2.8	0.8	5.6	2.8	0.3	0.0	9.5
Total	23.5	43.5	3.2	70.2	11.4	25.6	70.2	1.8	2.0	111.0

Table 2. Canal system of the study area

(unit:m)

Canal	Earth	Concrete culvert	Total
1st main irrigation	1,676.1	303.6	1,979.7
2nd main irrigation	1,982.0	-	1,982.0
1st main Drainage	1,342.1	-	1,342.1
2nd main Drainage	686.7	-	686.7
Laterals	6,349.7	142.9	6,492.6
Total	12,036.6	446.5	12,483.1

료를 전송받았다. 수온센서는 수로의 상·중·하류 각 1 개소씩과 논의 상류지역 대표답 1개소에 설치하였으며 설치위치는 Fig. 1에 나타나 있다.

현장방문 관측은 매주 2회씩 실시하였으며 수로는 10개 지점에서 관측하였고 논은 상·중류의 대표답 3개소에서 실시하였다. 각 논에서의 물꼬지점과 물꼬에서 가장 멀리 떨어진 지점에서 관측하였다. 또한 매회 관측시 오전(10~11시경)과 오후(14~15시경)로 나누어 2회씩 관측하였다.

### 3. 벼 생육 및 수확량 조사

생육조사는 일반적으로 작물의 초장, 간장, 엽수, 지엽의 장폭비, 중량, 엽면적 지수 등을 조사하는데 본 조사에서는 가장 대표적인 항목인 초장과 분얼수를 평균 10일 간격으로 조사하였다.

수확량은 냉수피해 여부의 판단기준으로 생육상태와 함께 중요한 지표이므로 최종적인 작물의 생육 및 수확량 조사를 위해 대표답에서의 벼 간장, 줄기당 이삭수, 이삭줄기수, 주당 이삭수, 천립중, 1m<sup>2</sup> 당 포기수 등을 조사하였다. 벼 생육 및 수확량 조사는 수온관측과 마찬가지로 대표답에서 불꼬지점과 물꼬에서 가장 먼 지점에서 관측하였다.

### 4. 온수지 수온상승 이론

온수지 수온상승 이론은 농수산부 (1983)에 자세히 설명되어 있다. 온수지의 온도 상승효과는 (식 1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\theta_w - \theta_o = (\theta_\infty - \theta_o) \left[ 1 - \exp \left\{ \frac{-h(1+2\phi)}{c\rho \cdot H} t \right\} \right] \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $\theta_w$ 는 온수지에서 나가는 물의 온도(°C),  $\theta_o$ 는 온수지로 유입되는 물의 온도(°C),  $\theta_\infty$ 는 평형수온(°C),  $h$ 는 현열전달계수(cal/°C/m<sup>2</sup>),  $\phi$ 는 포화수증기압력-온도 관계곡선의 기울기(mmHg/°C),  $c\rho$ 는 물의 체적열용량(cal/°C/m<sup>3</sup>),  $H$ 는 온수지 수심(m),  $t$ 는 체류시간( $\frac{AH}{Q}$ )(s),  $A$ 는 온수지 표면적(m<sup>2</sup>),  $Q$ 는 유입량(m<sup>3</sup>/s)이다.

단위 유량당 온수지 소요면적은 식 (1)을 정리하여 구할 수 있다. 즉,

$$\frac{A}{Q} = \frac{-c\rho \ln(1-\phi)}{h(1+2\phi)} \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $\phi$ 는 온도상승률로  $\frac{\theta_w - \theta_o}{\theta_\infty - \theta_o}$  이다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 수로 및 논 수온

1997년도 관개기간 동안에 운문댐 취수탑 부근의 수심은 15내지 25m로 변화하였다. 이 기간동안 저수지의 수심별 수온변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 표층에서 5m깊이까지의 수온변화는 5월 하순까지와 9월 중순이후에는 1°C에 불과하였다. 6월 초순부터 8월 중순까지에는 표층과 깊이 2.5m 사이에서는 수온차이가 1°C에 내외이었으나, 수심 5m에서의 수온 저하가 6~7°C정도로 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 저수지의 변수층은 2.5~5m 깊이에 있는 것으로 추정되며, 취수구 깊이와 수위가 잘 맞지 않을 경우에도 변수층 이하의 냉수를 취수하지 않기 위하여는 취수구 간격을 3m 정도로 하는 것이 적당하다고 사료된다.

Fig. 3은 Seamon mini로 관측한 1997년 5월부터 9월 하순까지의 용수간선 시점 수온의 변화를 보여주고 있다. 6월 하순과 7월 초순에는 많은 강우로 인해 용수공급이 중단되므로서 수로의 수온이 강우의 수온인 17°C와 비슷하게 되어 수온저하가 나타났다. 8월 중순에도 같은 사유로 수로의 수온이 저하되었다. 관개기간인 5월 상순부터 9월 하순까지 평균수온은 20.7°C로 나타났다. 이는 수

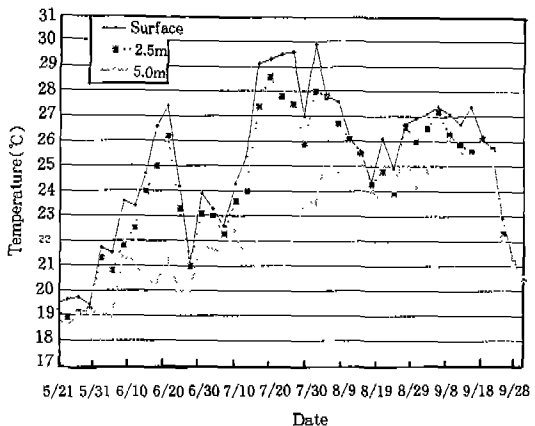


Fig. 2. Water temperature of Unmoon reservoir with respect to depth in 1997

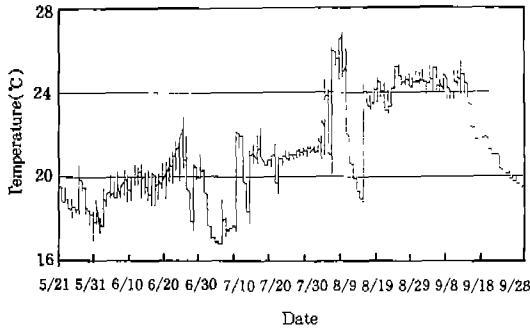


Fig. 3. Water temperature at the beginning of the main irrigation canal during the growing period in 1997

Table 3. Maximum, minimum, and mean water temperature at the beginning of the main irrigation canal in each 10-day period in 1997. (unit: °C)

Month	10-day	Maximum	Minimum	Mean
May	F	19.0	13.7	16.8
	M	19.8	16.9	18.1
	L	20.5	17.0	18.7
June	F	20.3	17.3	19.2
	M	20.8	16.6	19.7
	L	22.8	17.5	20.2
July	F	22.1	16.8	17.9
	M	22.3	17.8	20.7
	L	21.5	19.1	20.9
August	F	26.8	20.1	23.3
	M	24.6	18.8	22.0
	L	25.3	23.0	24.3
September	F	25.2	23.6	24.3
	M	25.5	21.2	22.8
	L	21.2	19.4	20.2

온상승계획이 필요한 18°C 보다 2.7°C가 높으므로 1997년의 관측수온에 기준하면 수온상승시설이 필요하지 않다고 하겠다. Table 3은 용수간선 시점에서의 순별 최저, 최고, 평균수온을 보여주고 있다.

논 수온 조사는 주로 현장답사시 디지털 수온계로 직접 관측하였고 상류측 논 1개소의 물꼬에는 수온센서를 설치하였다. Table 4는 논에서 디지털

수온계로 방문 관측한 수온자료를 보여주고 있다. 한 필지의 논에서 물꼬에서의 수온이 물꼬 반대쪽의 수온보다 일반적으로 낮은 것을 알 수 있었으며, 그 값의 차이는 오후 2~3시경에 가장 크게 나타났다.

## 2. 취수부 수온과 포장 수온과의 관계

취수탑에서 취수된 물은 약 700m를 흘러 용수간선 시점까지 오는 동안에 수온보다 낮은 콘크리트 터널과 관로를 지나는 동안에 주위에 열을 빼앗겨 약간의 수온 저하가 발생하였다. 1997년 7월과 8월의 용수간선 시점에서의 수온과 상류 한 필지의 물꼬부근 논에서 관측한 순별 평균수온의 비교는 Table 5와 같다. 7월에는 물꼬부근의 수온이 관개수로 시점의 수온보다 2.1~5.0°C 높았으나 8월에는 비슷하였다. 논에서의 수온은 취수온보다는 물관리 방식에 따라 더 크게 영향을 받는다고 생각된다. 그리고 본 연구에서는 논 전체에 대한 수온조사를 하지 못하였기 때문에 수원의 수온과 논 안에서의 수온을 정량적으로 분석하는 것은 불가능하였다.

## 3. 벼 생육 및 수확량

냉수피해의 한 판단기준으로 생육단계별 생육상태와 수확량을 조사하였다. 생육상태와 수확량은 대상지역의 상·중·하류 지역에서 각각 3개소씩 대표답을 선정하여 각 필지의 물꼬 부근과 물꼬에서 가장 먼 지점에서 조사하였다. 대표답의 전체 면적에 대한 조사는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 하지 못하였다.

벼의 생육기별 초장과 분얼수를 조사한 결과 일반적으로 물꼬에서의 생육상태가 물꼬에서 멀리 떨어진 곳의 상태보다 좋지 못하였다. 육안 관찰에 의하면 물꼬에서 2m 이내의 지역에서만 생육상태가 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

수확량 관측치의 평균값은 Table 6과 같다. 일반적으로 물꼬 부근의 주당 이삭수가 물꼬에서 멀리 떨어진 곳보다 적은 것을 알 수 있다. 그러나

벼의 냉수피해 감소를 위한 관개수온 조사와 대책수립

육안으로 관측한 결과 물꼬에서 2m 이상 떨어진 곳에서는 수확량의 차이를 발견할 수가 없었다. 그러나 관측답의 전 면적에 대한 수온조사와 생육 및 수확량 조사는 하지 않았기 때문에 이들에 대한 정량적 분석을 통한 비교나 분포도는 그릴 수 없었다.

Table 5. Comparison of 10-day average water temperatures at the beginning of main irrigation canal and inlet of a paddy plot.

(unit: °C)

Location	July			August		
	F	M	L	F	M	L
Canal	17.9	20.7	20.9	23.3	22.0	24.3
Inlet	22.9	22.8	23.0	23.9	22.8	24.3
Difference	5.0	2.1	2.1	0.6	0.8	0.0

Table 4. Observed water temperature in paddy field and canal

(unit: °C)

Date	Paddy field				Beginning of main irrigation canal	Remark
	Upper plot		Middle plot			
	Entrance	Exit	Entrance	Exit		
6. 19	31.4	34.7	31.2	34.4	20.0	observed at 2~3 p.m.
6. 30	27.4	32.7	30.9	32.8	20.1	
7. 03	29.1	29.2	30.5	31.8	19.4	
7. 14	29.1	31.3	30.7	32.8	21.2	
7. 24	32.2	33.6	31.3	33.1	21.0	
8. 08	27.7	28.3	25.5	28.0	24.8	
8. 18	25.0	26.7	24.5	26.0	24.3	
8. 28	26.2	27.0	28.0	28.5	24.9	
9. 06	26.1	24.7	23.0	23.2	24.6	
9. 21	20.7	19.8	19.0	19.1	20.8	

Table 6. Growth and yield of the rice

Item	Upper plot		Middle plot		Lower plot	
	Entrance	Exit	Entrance	Exit	Entrance	Exit
Height (cm)	75.4	73.4	73.5	72.8	68.3	68.2
No. of grains per stem(ea)	87.4	102.7	90.4	92.1	93.8	99.5
No. of stems per plant(ea)	16.7	17.2	17.3	20.1	17.5	16.4
No. of grains per plant(ea)	1,459	1,794	1,571	1,853	1,646	1,631
Weight of 1,000 grains(g)	26.5	27.3	27.2	26.2	26.2	26.4
No. of plants in 1m <sup>2</sup>	28.0	24.0	28.5	29.0	26.5	25.5

IV. 냉수피해 대책수립

1996년도 취수탑 조작일지와 저수지 수심별 수온 자료를 분석한 바, 생활용수 공급과 농업용수 공급을 같은 관로를 이용함으로써, 농업용수로 낮은 온도의 물이 공급되어 1호용수간선의 상류 및 중류에 인접한 논 4.6ha에서 냉수피해가 발생하였다.

그러나 본 연구의 조사기간인 1997년도에는 수온과 벼 생육 및 수확량 조사를 바탕으로 분석한 결과 냉수피해가 발생하지 않았다. 이는 표층수 취수노력과 농업용수의 적절한 관리로 효과적인 물 관리가 이루어졌기 때문인 것으로 사료된다.

앞으로 발생 가능한 냉수피해를 방지하기 위한 대책으로는 서론에서 제시한 일반적인 방법과 다음과 같은 것이 있다.

1. 기존 보를 온수지로 활용

대상지역에 인접한 동창천에 청도군이 건설한 위탁용 보가 있어서 수심 1.5m 면적 6ha 정도의 소규모 저수지형태를 이루고 있는 바, 양수장과 800m 길이의 관로 시설을 하면 이 보를 온수지로 이용하여 관개용수의 수온을 상승시킬 수 있다.

이를 온수지로 이용할 때 온도 상승효과는 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있으며, Table 7은 순별 수온상승 효과를 보여준다. 여기서 순별 평형수온  $\theta_{\infty}$ 은 영천측후소 관측 값을 이용하여 계산하였고, 온수지로 유입되는 물의 온도  $\theta_0$ 는 1997년도에 관측한 용수간선 시점에서의 평균수온 값을 이용하였다. 유량 Q는 농업용수 용수량 조사에서 얻어진 0.4m<sup>3</sup>/s를 사용하였다. 계산순서는 농수산부 (1983)과 한국수자원공사(1994)에 자세히 설명되어 있다. 수온 상승은 9월 상순에 최고 1.8°C, 7월 하순에 최고 5.8°C로 계산되었다.

2. 온수지 신설

대상지역에 적당한 온수지를 신설하여 수온을 상승시킨 후 관개하면 냉수피해를 줄일 수 있을 것이다. 온수지의 설치 위치는 중력에 의하여 농

경지에 용수공급이 가능한 운문댐 하류 우안이나 좌안의 산쪽에 선정하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

순별 온수지 소요면적은 식 (2)를 사용하여 계산할 수 있다. 앞에서와 같은 자료를 이용하여 용수간선 시점에서의 순별 평균수온을 2°C 높이는 데 필요한 온수지 소요면적은 Table 8과 같다.

계산 결과 온수지 소요면적은 6월에서 8월까지 1.8ha면 충분하나, 9월 상순에는 최대 2.94ha로 나타났다. 여기서 희망온도를 더 크게 취하면 온수지 소요면적은 증가하게 될 것이다. 온수지의 수심은 1.5m 정도가 적정하다고 하겠다.

V. 결 론

1997년 운문댐 하류의 논의 냉수피해에 대해 조사 분석하였다. 1996년에는 지온의 관개용수 공급으로 인해 조사지역의 4.6ha에서 냉수피해가 발생하였으나, 1997년도에는 냉수피해가 발생하지 않았다. 이는 효과적인 물 관리에 의한 결과로 생각된다.

그러나 이런 냉수피해의 조사분석은 특정 년도 1년간 조사관측에 의한 것으로 다른 해에 적용시

Table 7. Effect of water temperature increase by using the existing weir

Items	May	June			July			August			Sept.	
	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M
$\theta_{\infty}$ (°C)	35.3	34.1	33.4	32.3	39.2	37.7	38.7	37.9	36.6	35.4	32.3	31.0
$\theta_0$ (°C)	18.7	19.2	19.7	20.2	17.9	20.7	20.9	23.3	22.0	24.3	24.3	22.8
$\theta_{\infty} - \theta_0$ (°C)	16.6	14.9	13.7	12.1	21.3	17.0	17.8	14.6	14.6	11.1	8.0	8.2
$h(1+2\phi)$	2.035	2.195	2.135	2.054	2.086	2.058	2.290	2.086	1.806	1.947	1.700	1.729
$\theta_w - \theta_0$ (°C)	4.41	4.22	3.79	3.25	5.76	4.55	5.23	3.95	3.49	2.83	1.82	1.89

Table 8. Required area of warming pond to increase water temperature by 2°C

Item	May	June			July			August			September	
	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M
$\phi$	0.120	0.134	0.146	0.165	21.3	0.118	0.112	0.137	0.137	0.181	0.250	0.243
$-c\rho \ln(1-\phi)$	55.665	62.582	68.542	78.262	42.872	54.482	51.685	64.191	63.989	86.610	124.823	121.134
$h(1+2\rho)$	2.035	2.195	2.135	2.054	2.086	2.058	2.290	2.086	1.806	1.947	1.700	1.729
A/Q (s/m)	27,355	28,514	32,106	38,096	20,549	26,475	22,574	30,768	35,435	44,486	73,447	70,080
A (ha)	1.09	1.14	1.28	1.52	0.82	1.06	0.90	1.23	1.42	1.78	2.94	2.80

키는 것은 무리이며, 이는 수문기상환경, 영농조건 및 물관리 조건에 따라 변화될 수 있기 때문이다. 따라서 보다 일반적인 냉수피해 원인과 그 대책에 대하여 수년간에 걸친 장기적인 연구가 필요하다고 하겠다.

향후 만약 발생할 수도 있는 냉수피해에 대한 대책으로는 효율적인 물 관리, 저수지 표면수 취수 부선설치, 인근 동창천의 기존 보 이용, 및 온수지 신설 등을 고려할 수 있겠다.

동창천의 기존 보를 온수지로 이용할 때 온도 상승효과는 9월 상순에 최저 1.8°C, 7월 하순에 최고 5.8°C로 계산되었다. 온수지를 신설하여 용수간선 시점에서 평균수온을 2°C 높이려면 온수지 소요면적은 2.94ha로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 김시원, 김철기, 이기춘, 1986, 신고농업수리학, 향문사, pp363.
2. 농수산부, 1983, 농지개량사업 계획설계기준 (관개편), pp.783.
3. 연구석, 최예환, 1977, 온수지에 의한 관개용수의 수온상승 효과에 관한 연구, 한국농공학회지 19(1):4323-4337.
4. 정기진, 1975, 소양강 우두보용수대체시설(온수지) 공사보고, 한국수문학회지, 8(1):51-58.
5. 정상욱, 1997, 운문댐 하류 냉해방지 대책 용역보고서, 한국수자원공사, pp.208.
6. 한국농공학회, 1993, 농업토목핸드북, pp.1964.
7. 한국수자원공사, 1994, 주암 조절지댐 하류 냉해방지 대책보고서, pp.168.
8. 한옥동, 1971, 지하수 관개에 따른 수도냉해 관한 시험, 농공이용연구소 연구보고서.
9. 한옥동, 1974, 지하수 관개에 따른 수도의 감수양상과 그 방지책에 관한 연구, 한국농공학회지, 6(1):1-43.
10. 황은, 김철규, 이상범, 1972, 농업용수의 수온상승에 관한 연구, 한국수문학회지, 5(2):17-29.