

溫水路 및 溫水池에서의 水溫上昇效果에 關한 調查研究

An Observational Study on the Temperature Rising Effects in Water Warming canal and Water Warming Pond

洪 鍾 珀* · 洪 性 範**
Hong, Jong Baek · Hong, Seong Bom

Summary

The power water flowed out from the multipurpose dam influences the ecosystem approximately because of the low water temperature. An appropriate counter measure to the rising water temperature is needed for growing crops especially when the temperature is below 18°C in the source of the irrigation water

This observational study is practiced in Yong-Doo water warming canal and pond in the down stream of Choong-Ju multipurpose dam and is practiced for analyse and compare the rising effects in actual water temperature by actual measurement with the rising effects of planned water temperature by the basic theoretical method and for the help to present the direction in plan establishment through investigate the results afterwards.

The results are as follows.

1. The degree of the rise of the water temperature can be decided by

$$\theta_r = \theta_0 + K \frac{L}{v \cdot h} (T - \theta_0)$$

Then, K values of a factor representing the characteristics of the water warming canal were 0.00002043 for the type I. and 0.0000173 for the type II. respectively.

2. A variation of water temperature which produced by the difference effective temperature and water temperature in the water warming canal was

$$\theta_{r1} = 16.5 + 15.9(1 - e^{-0.000181x}),$$

$$\theta_{r2} = 18.8 + 8.4(1 - e^{-0.000298x})$$

* 農漁村振興公社 美湖川事業所

** 農漁村振興公社 忠南支社

for the type I. and

$$\theta_x = 19.6 + 12.8(1 - e^{-0.00041x})$$

for the type II.

3. It was shown that the effects of the rise of water temperature for the type I. water warming canal were greater than that of type II. as a result of broadening the surface of the canal compared with the depth of water, coloring the surface of water canal and installing the resistance block.

4. In case of the type I. water warming canal, the equation between the air temperature and the degree of the rise of water temperature could be made :

$$Y = 0.4134X + 7.728$$

In addition, in case of the type II. water warming canal, the correlation was very low.

5. A monthly variation of the water temperature in the water warming canal was the highest in August during the irrigation period and the water temperature rose with the air temperature until August. However, it was blunted after then.

6. A rising degree of water temperature of the practical value in the water warming pond was higher than that of the theoretical equation by 69% for the type I. and 57% for the type II. Accordingly, it was possible to acquire the result near the practical value.

$$\theta_w - \theta_0 = \left[1 - \exp\left\{ \frac{-h(1+2\psi)}{C\rho} \cdot \frac{A}{q} \right\} \right] \times (\theta_a - \theta_0) \times C$$

Here, C values are 1.69 for the type I. and 1.57 for the type II.

7. It was shown that the effect of the rise of water temperature was favorable when the thermal absorption was to be good by coloring the surface of the water warming pond and removing the bottom osmosis.

8. By enlarging the surface of water in comparison with the depth, and by having dead area of water in the water warming pond, this structure in the water warming pond is helpful for the rise of water temperature.

I. 緒 論

水稻生育에 必要한 最適水溫은 平均 30~34℃이며 低水溫은 20~15℃, 年平均限界水溫은 23℃ 前後이고 最高限界水溫은 40℃, 最低限界水溫 15℃이며 低水溫의 影響이 가장 현저하게 나타나는 時期는 幼穗形成期이다.

一般的으로 冷水被害가 나타나는 溫度는 水稻의 品種, 生育時期, 環境條件別로 差異는 있

으나 25℃에서 被害가 나타나고 22℃ 以下에서는 현저하다고 보고되었고,⁴⁾ 한편 生育期別로 보면 分얼初期로부터 登熟期까지의 限界低水溫을 早生種의 경우 22.5~25.5℃, 晩生種은 24~26℃, 凶作의 限界水溫은 各各 23.5℃와 24℃라고 하고 收穫皆無의 限界水溫은 18~20℃라고 보고된 바 있다.^{5~10)} 또한 導水溫度가 25℃ 内外이면 冷害를 받는 일이 없으며 用水의 溫度가 20℃ 内外이더라도 間斷灌溉나 非湛水灌溉를 하면

水稻生育에 큰 支障이 없다고 했다.⁷⁾

그러므로 우리나라 農地改良事業計劃設計基準¹⁾에서도 灌溉計劃을 樹立할 때에 水源의 水溫이 18°C以下일때 또는 灌溉期間의 平均水溫이 18°C以上인 곳에서도 灌溉初期나 幼穗形成期等 冷害被害를 받는 경우는 水溫上昇施設을 해야 한다고 하고 있다.

따라서 本 研究는 忠州多目的 댐設置후 發電用水에 의한 冷水被害를 防止키위해 溫水路 및 溫水池를 設置하고 그 施設을 對象으로해서 實地的인 水溫上昇 效果를 實測하고 이 結果와 理論式에 의한 計劃上昇도와의 相互關係를 分析考察하므로써 앞으로 建設될 水溫上昇施設計劃과 構造는 勿論 冷水로 인한 農作物生育에 나쁜 影響을 輕減시키는데 도움을 주고져 遂行하였다.

II. 研究史

本 研究와 關聯된 文獻을 紹介하면 三原^{12,13)} 등은 溫水池의 熱收支에 의한 水溫上昇研究 및 溫水路의 熱收支에 關한 研究에서 昇溫의 熱源으로서는 輻射熱, 水面上氣層과의 熱交換量과 蒸發, 凝結의 潛熱授受, 地中傳導熱의 4要素이며 溫水路熱收支의 一般特性으로는 水路의 單位面積에서 1日間에 550~710 cal의 熱量이 冷水의 水溫上昇을 爲하여 利用되어지고 있고 이 量은 水体가 얻은 純輻射熱량의 1.2~2.3배에 이르는 熱量이라고 한다. 前川^{14,15)} 등은 溫水路의 研究에서 水溫上昇도는 流量, 流速과 水深에 逆比例하고 水面幅 및 氣溫과 水溫의 差異에 比例한다는 實驗式을 提示하였으며 橫田¹⁶⁾은 氣象條件이 다르거나 流量의 大小에 따라 다르나 耕地面積과 水溫上昇施設面積比率는 1.2~4.0% 라고했다. 渡辺⁷⁾ 등은 大野川幹線水路에서 熱收支式에 의해 計劃推定된 水溫上昇도와 實測에 의한 水溫上昇도를 比較하고 推定值가 1.2~3.0°C인데 比하여 實測值는 3.0~5.5°C를 얻었다.

鶴田¹⁸⁾은 3°C의 水溫上昇을 시키기 위하여는 600 m의 流下距離와 10 cm의 水深 및 40分程度의 流下時間이 必要하고 理想的인 流速은 0.2 m/sec이며 水深은 8~10 cm 内外가 要求된다고 했다. 黃¹⁰⁾ 등은 農業用水의 水溫上昇에 關한 研究에서 水溫上昇도는 大体로 氣溫과 日射量에 比例하나 構成物質의 熱吸收度, 大氣의 熱收支, 氣象條件, 地形等에 따라 多少 差異가 생긴다고 했다. 韓⁸⁾은 서울地方에서 灌溉期間의 平衡水溫을 26.2°C로 計算하고 15.5°C의 地下水를 23.5°C로 上昇시키는데 必要한 溫水池의 面積은 559 m²/ha로서 灌溉面積의 5.1%가 要求된다고 報告하였으며 延^{20,21)} 등은 牛頭溫水池에서 水溫上昇效果를 分析한 結果 實測值가 理論值보다 38%가 높게 나타나므로 熱收支式에 의해 算出된 水溫上昇도에 補正係數 C=1.38을 곱하여 期待水溫을 算出하면 그 差를 줄일 수 있다고 밝힌바 있다. 本 研究에서도 忠州多目的댐에 설치된 溫水路와 溫水池를 대상으로 實測水溫과 理論式에 의한 推定水溫과의 相互關係를 究明하여 그 補正係數를 導出하였다.

III. 施設 및 調査方法

本 調査研究에 利用된 施設은 忠北中原郡所在 龍頭溫水路와 溫水池이다. 溫水路의 構造는 Fig. 1과 같으며 滲透 및 水草生成等으로 인한 效率低下要因을 排除코져 全區間 2,950 m를 콘크리트 構造로 하였으며 地形에 알맞도록 始點으로부터 550 m에 對하여는 水面幅 8.0 m, 水深 1.8 m, 流速 0.11 m/sec로하고 末端部 1,080 m는 水面幅 8.0 m, 水深 0.7 m, 流速 0.333 m/sec의 矩形開渠構造로된 Type II 構造로 計劃하고 中央部에 位置하는 1,320 m는 低幅 20.0 m, 水深 0.35 m, 水面幅 21.26 m, 流速 0.228 m/sec, 水面勾配 1/20,000의 Type I 構造로서 材料는 彩色(黑色) 콘크리트로하여 太陽熱吸收效率을 도움도록하였다. 그리고 底面에는 流水停滯地域을

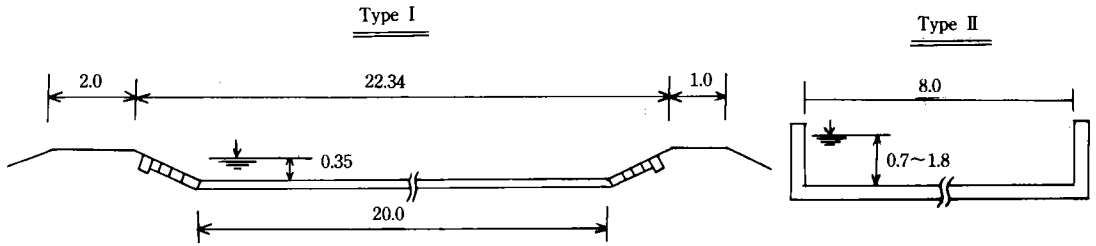


Fig. 1. Cross section of water warming canals.

斷部開渠區間에는 落差 1.0 m와 1.5 m의 落差工을 各各 1個所와 2個所를 設置하였다.

溫水池는 Fig. 2와 같은 構造로서 高地帶에 第1溫水池(水面積 4.7 ha)와 低地帶에 第2溫水池(水面積 1.0 ha)를 設置하였다.

第1溫水池의 構造는 停滯水域을 없도록 하고 水深을 알게하는 한편 流速은 느리고 水面幅이 넓은 迂廻流水型인 導流壁形式으로 計劃하고 Carbon을 混入한 黑色 콘크리트로하고 兩岸비탈面亦是 黑色콘크리트 블록으로 設置하였다.

第2溫水池는 水深이 0.7m가 되는 多少깊은 貯溜型으로 하고 導流壁을 設置하여 越流堰에 依해 表面水만을 越流토록하므로써 水溫上昇效果를 有利하게 하였다.

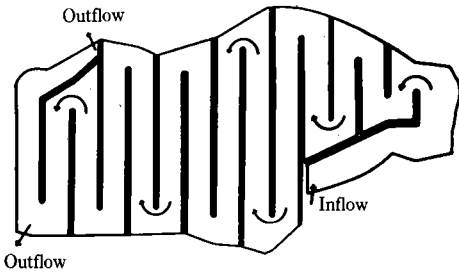
調査期間中の 氣象資料는 施設物位置에 隣接한 淸州側候所 忠州分室에서 測定한 氣溫 相對濕度, 雲量 및 風速等을 利用하였다.

溫水路에서의 水溫測定은 1986年과 1987年의 揚水灌溉日마다 10:00, 13:00, 16:00時에 各各 實施하였으며 流下距離에 따른 水溫變化를 檢討코저 延長 200 m 間隔으로 Type I 溫水路에서 2回, Type II 溫水路에서 1回를 測定하였다.

溫水池에서의 水溫亦是 揚水灌溉日마다 10:00, 13:00, 16:00時에 流入水溫과 流出水溫을 測定하였다.

水溫測定에 使用된 測定器具는 溫水路始點에서는 自己水溫記錄計를 設置하고 溫水路各地點과 溫水池에서는 小型 휴대용 水溫測定計(Technotern 7200) 3個를 利用하였으며 流量測定을 爲하여는 溫水路始點揚水場에 Venturimeter를 設置하고 2個所의 溫水池流入量은 矩形斷面開渠에 水位標를 設置하고 水深別流速을 測定하여 水位-流量圖를 作成하였다.

Type I water warming pond.



Type II water warming pond.

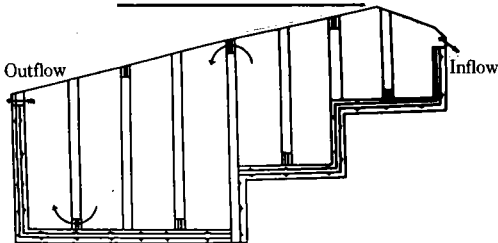


Fig. 2. Outline planning of water warming ponds.

IV. 分析結果 및 考察

溫水路에서 月別로 各地點에서의 水溫은 Fig. 3에서 보는 바와같이 8月중의 水溫이 가장 높았으며 水溫의 上昇幅亦是 높게 나타났다. 이것은 熱收支式중 大氣溫度가 平衡水溫에 미치는

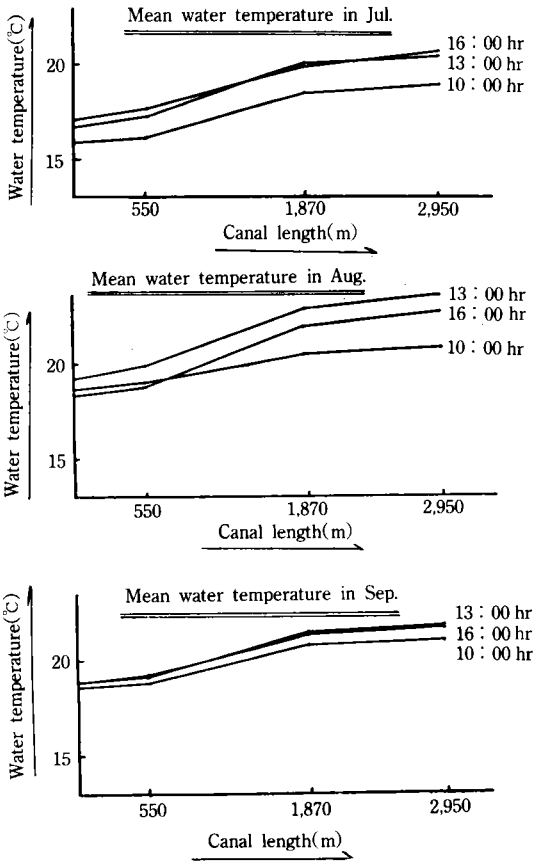


Fig. 3. Monthly variation in water temperature.

影響이 크기 때문인것으로 判斷된다. 이때의 流量은 1.55~1.70 m³/sec이었다. 이에 따라 氣溫과 水溫上昇度와의 關係를 一次方程式으로 誘導한 結果

Type I 溫水路에서

$$Y = 0.4134 X - 7.728 (R : 0.864) \dots\dots\dots(1)$$

Type II 溫水路에서

$$Y = 0.03375 X - 0.2519 (R : 0.381) \dots\dots\dots(2)$$

의 關係式이 成立되었다. 여기에서 Y는 水溫上昇度이고 X는 氣溫이다. 그러나 Type II 溫水路에서는 相關係數(R : 0.381)가 매우 낮게 나타

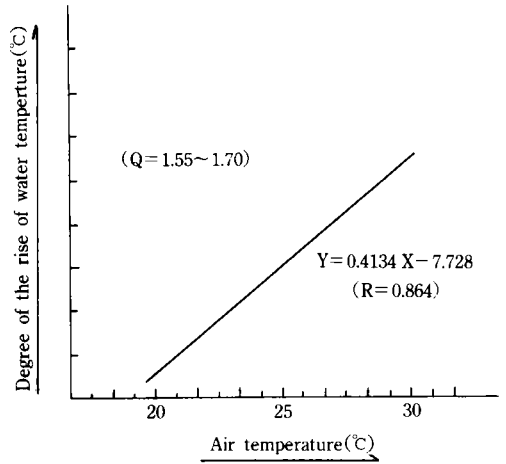


Fig. 4. Correlation between the air temperature and the degree of the rise of water temperature.

나고 있어 信賴度가 不足하다. 이것은 水面積에 比하여 水深이 깊은 構造로서 大氣와 接하는 水面積이 Type I 溫水路에 比하여 적은데 기인된 것으로 判斷된다.

溫水路에서의 水溫變化는 다음 基本理論式^{14,18)}

$$\theta_x = \theta_0 + K \frac{x}{v \cdot h} (T - \theta_0) \dots\dots\dots(3)$$

에 따라 觀測期間中 實測된 氣象條件과 測定水溫에 의하여 溫水路 Type 別로 檢討하였다.

위式에서

θ_x : 流下距離 x에 있어서의 水溫

θ_0 : 取入水溫

K : 水路特性을 나타내는 係數

v : 流速

h : 水深

x : 流下距離

T : 平均氣溫

이다. 이 結果 위式(3) 중 水路特性을 나타내는 係數 K값은 Type I 溫水路에서 0.00002043과 Type II 溫水路에서 0.00001732를 각각 얻었다. 여기에서 水深에 比하여 水面積이 넓은 構造인 Type I 溫水路에서 水溫上昇效果가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

한편 溫水路에서 距離 200 m 間隔으로 測定한 水溫에 의하여 分析한 結果 水溫上昇과 距離의 關係는 반듯이 直線的이 아니며 大體으로 曲線變化를 하고 있음을 알 수 있다. 이는 流水中の 水溫이 變化하는 것은 물이 흐르는 途中 그 外部의 與件과의 사이에 熱交換이 서로 다른 條件을 갖이고 이루어지고 있는 것이라고 볼 수 있다. 이와같은 狀態를 關係式으로 나타내면 Type I 溫水路에서

$$\theta_{x1} = 16.5 + 15.9(1 - e^{-0.000181x}) \dots\dots\dots (4)$$

$$\theta_{x2} = 18.8 + 8.4(1 - e^{-0.000298x}) \dots\dots\dots (5)$$

Type II 溫水路에서

$$\theta_x = 19.6 + 12.8(1 - e^{-0.00041x}) \dots\dots\dots (6)$$

으로 誘導되었으며 實測된 값과 위식에 依한 計算값을 比較하여 圖示하면 各各 Fig. 5~7 流下距離에 對한 水溫上昇圖와 같다.

溫水池에서의 水溫上昇度는 平衡水溫과 溫度上昇率과의 關係에서 觀測期間中の 氣象條件을 熱收支式인^{1.11.17)}

$$\frac{\theta_w - \theta_o}{\theta_\infty - \theta_o} = \left[1 - \exp\left\{ - \frac{h(1+2\psi)}{C\rho} \cdot \frac{A}{q} \right\} \right] \quad (7)$$

에 적용하여 計算된 水溫上昇값과 實測된 水溫

上昇값을 比較檢討하였다.

式중,

θ_w : 期待水溫(°C)

θ_o : 源流水溫(°C)

θ_∞ : 平衡水溫(°C)

h : 顯熱傳達係數(cal/m² · °C · sec)

ψ : 飽和水蒸氣壓의 變化率(mm · Hg/°C)

C : 比熱(kcal/kg · °C)

ρ : 密度(kg/m³)

이다.

위식에 依한 溫水池에서의 理論的水溫上昇度는 第1溫水池에서 1.79°C와 第2溫水池에서 1.17°C의 값을 얻었다. 그 結果를 月別 및 測定時間別로 整理한 값과 各溫水池에서 實測된 水

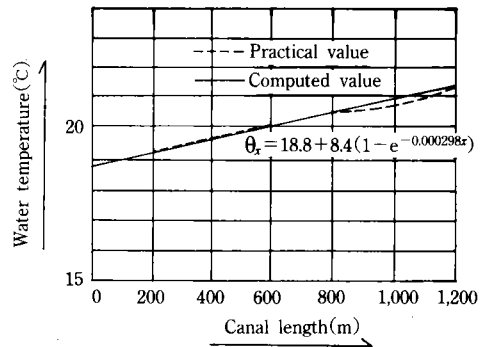


Fig. 6. A variation of water temperature by canal length (formula 5).

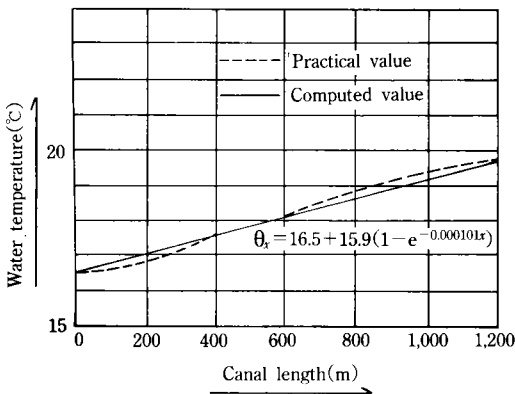


Fig. 5. A variation of water temperature by canal length (formula 4).

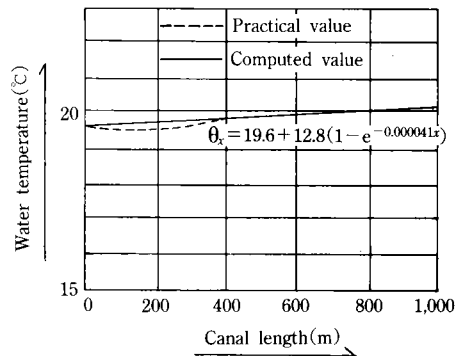


Fig. 7. A variation of water temperature by canal length (formula 6).

Table-1. Comparison by praction value and theoretical equation.

(unit : °C)

Ponds	monthly Hour classification	5			6			7			8			9		
		10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00
		theprical equation	10.54	11.59	11.87	12.61	13.82	14.25	18.12	18.86	19.35	21.54	23.69	24.40	21.43	22.44
praction value	11.00	13.35	13.62	12.82	15.46	16.21	23.40	24.10	23.00	24.00	26.90	27.60	23.57	25.52	25.48	
difference	0.46	1.76	1.75	0.21	1.64	1.96	5.28	5.24	3.65	2.46	3.21	3.20	2.14	3.08	2.86	
theoretical equation	10.21	11.33	11.75	12.24	13.62	13.74	19.26	21.64	21.64	21.65	23.91	23.69	21.87	22.43	22.45	
praction value	12.07	14.50	14.66	12.83	15.14	15.90	21.80	23.80	23.60	24.20	25.80	25.80	23.14	24.64	24.94	
difference	1.86	3.17	2.91	0.59	1.52	2.16	1.94	2.16	1.96	2.55	1.89	2.11	1.27	2.21	2.49	

Type I water warming pond. Type II water warming pond.

溫上昇값과를 比較하면 Table-1 理論式에 의한 期待水溫과 實測값의 比較와 같다.

이 表에서 보는 바와같이 溫水池內에서의 理論式에 의한 期待水溫과 實測水溫과의 平均差異값은 第1溫水池에서 2.59°C 第2溫水池에서 2.05°C를 理論的期待水溫보다 實測된 값이 높게 나타났으며 그 比率은 各各 69%와 57%가 크다는 것을 알 수 있다. 그러므로 溫水池에서의 實際水溫上昇度를 求하기 위하여는 式(7)을 다음과 같이 補正하여 算出할 수 있다.

$$\theta_w - \theta_0 = \left\{ 1 - \exp\left\{ -\frac{h(1+2\psi)}{C\rho} \cdot \frac{A}{q} \right\} \right\} \times (\theta_w - \theta_0) \times C \dots\dots\dots (8)$$

여기에서 C는 補正係數로서 第1溫水池에서 1.69와 第2溫水池에서 1.57이다. 이 값은 延²⁰⁾이 提示한 1.38보다 높은 數值이다.

V. 結果와 摘要

本 調查研究는 對象溫水路 및 溫水池에서 理論式에 의한 水溫上昇度와 實測에 의한 水溫上

昇效果를 比較하여 考察한 것으로서 그 結果를 要略하면 다음과 같다.

1. 溫水路에서의 水溫上昇度는 式(3)에 의하여 推定할 수 있으며 이때 溫水路의 性格을 나타내는 係數로서의 K값은 Type I 및 Type II 溫水路에서 各各 0.00002043 및 0.00001732이었다.

2. 溫水路에서 有効溫度와 水溫과의 差에 따른 水溫變化는 Type I 溫水路에서 式(4) 및 式(5)와 Type II 溫水路에서 式(6)의 結果를 얻었다.

3. Type I 溫水路가 水深에 比하여 水面幅을 넓게하는 한편 水路表面을 着色하고 抵抗 block을 設置한 結果 Type II 溫水路보다 水溫上昇效果가 크게 나타났다.

4. Type I 溫水路에서는 大氣溫度와 水溫上昇度의 關係가 式(1)의 關係式이 成立되고 있었는데 Type II 溫水路에서는 相關係數가 매우 낮게 나타났다.

5. 溫水路에서 水溫의 月變化는 灌溉期間中 8月の 水溫이 가장 높게 나타났고 8月까지는 氣溫과 같이 上昇하였으나 其以後에는 둔화되었다.

6. 溫水池에서의 水溫上昇度는 理論式에 依한 計算값보다 實測값이 第1溫水池와 第2溫水池에

서 各各 69%와 57% 높게 나타났다. 따라서 理論式인 熱收支式을 式(8)과 같이 補正하면 實際값과 接近시킬수 있을 것이다. 이때 補正係數 C값은 各各 1.69와 1.57이다.

7. 溫水池에서는 表面을 着色하여 熱吸收가 좋게하는 한편 底面滲透가 없도록하는 構造에서 水溫上昇效果가 有利하게 나타났다.

8. 溫水池의 構造는 水深에 比하여 水面積을 크게하고 溫水池內에서의 死水域을 없도록하면 水溫上昇度에 도움을 줄 수 있다.

參 考 文 獻

1. 農水産部, 農地改良事業計劃設計基準(計劃, 灌溉編), 1983.
2. 農林水産部, 農業基盤造成事業便纂, 1986.
3. 角田公正松島省三 水稻收量成立とその應用に關する作物學的研究 LIV. 日本作物學會, Vol. 31, 1962.
4. 榎本中衡, 冷水灌溉の 水稻特性に 及ぼお影響 (第3報), 農業及 園芸, 1937.
5. 水管理研究會, 水田の管理と 圃場整備, 日本地球出版社, 1972.
6. 川原琢 磨, 灌溉水溫上昇に 關する 基礎研究(I), 農土研第21卷 第4號, 1953. 枉 豚 豚 枉
7. 松島省三 山口俊三, 岡部俊, 小松辰元, 水稻作にあほ時の日射が大切が收量の成立経過と粒大の 決定機械, 農及園, Val. 28(10), 1953.
8. 韓旭東, 地下水灌溉에 依한 水稻의 減收樣相과 그 防止策에 關한 研究, 農工學會誌 第16卷1號, 1974.
9. 趙炯勇, 水源別灌溉用水의 水溫이 水稻生育과 收量에 미치는 影響에 關한 研究, 한국 농공학회지, 제14권 제2호, 1972.
10. 황은, 김철규, 이상범, 농업용수의 수온상승에 관한연구, 한국수문학회지, 제5권 2호, 1972.
11. 李承弼, 冷水湧出畚의 水稻生育輕減에 關한 研究, 農事試驗研究報告, Vol. 25, (작물편), 1983.
12. 三原義秋 内島善兵衛, 中村千里, 大沼一己, 溫水池の 熱收支あおび水溫上昇の研究, 農業技術研究所 報告A第7號, 1958.
13. 三原義秋 内島善兵衛, 中村千里, 溫水路の 熱收支に 關おす研究, 農業技術研究所報告 A7號, 1958.
14. 前川忠夫 林弘宣 溫水路の研究 (第2報), 農土研第19卷 第4號, 1952.
15. 前川忠夫片岡隆四, 溫水路の 研究 (第3報), 農業土木研究 第21卷 1號 1953.
16. 模田良表次郎, 칸가이收溫上昇施設について(中間報告), 農土研, 第26卷 第7號. 1959.
17. 渡辺二郎 宮腰 金作, 中本 憲治, 石川 尚, 藤田 弘志, 大野川幹線溫水路の設計概要と 水溫上昇度について, 農業土木學會誌 第41卷 第9號, 1973.
18. 鶴田永三, 上の原溫水池の水溫について, 農業土木學會誌, 第34卷 2號, 1966.
19. 韓旭東, 鄭斗浩, 金顯喆, 貯水池의 水深과 水路長이 水溫에 미치는 影響, 農事試驗研究報告, 第6輯 第12卷, 1969.
20. 延圭錫, 崔禮煥 溫水池에 依한 灌溉用水의 水溫上昇效果에 關한 研究, 韓國農工學會誌, 第19卷 1號, 1977.
21. 延圭錫, 崔禮煥 溫水池에서의 水溫分布調査分析, 韓國農工學會誌, 第21卷 第3號, 1979.