

# 干拓地 밭작물의 灌溉用水量 推定을 위한 土壤鹽分豫測模型 開發

## Soil Salt Prediction Modeling for the Estimation of Irrigation Water Requirements for Dry Field Crops in Reclaimed Tidelands

孫 在 權\* · 具 滋 雄\* · 崔 珍 奎\*  
Son, Jae Gwon · Koo, Ja Woong · Choi, Jin Kyu

### Summary

The purpose of this study is to develop soil salt prediction model for the estimation of irrigation water requirements for dry field crops in reclaimed tidelands. The simulation model based on water balance equation, salt balance equation, and salt storage equation was developed for daily prediction of salt concentration in root zone.

The data obtained from field measurement during the growing period of tomato were used to evaluate the applicability of this model.

The results of this study are summarized as follows :

1. The optimum irrigation point which maximizes the crop yield in reclaimed tidelands of silt loam soil while maintaining the salt concentration within the tolerance level, was found to be pF 1.6, and total irrigation requirement after transplanting was 602mm(6.7 mm/day) for tomato.
2. When the irrigation point was pF 1.6, the deviation between predicted and measured salt concentration was less than 4% at the significance level of 1%.
3. Since the deviations between predicted and measured values data decrease as the amount of irrigation water increases, the proposed model appear to be more suitable for use in reclaimed tidelands.
4. The amount of irrigation water estimated by the simulation model was 7.2mm/day in the average for cultivating tomato at the optimum irrigation point of pF 1.6.

\* 全北大學校 農科大學

키워드 : 干拓地, 밭작물, 除鹽用水量,  
灌溉用水量, 鹽分濃度, 灌水點,  
灌溉計劃, 土壤鹽分豫測模型

The simulation model proposed in this study can be generalized by applying it to other crops. This model, also, could be further improved and extended to estimate desalinization effects in reclaimed tidelands by including meteorological effect, capillary phenomenon, and infiltration.

## I. 緒 論

最近 우리나라의 농업은 農産物輸入開放 등으로 농업의 경제적 지위가 상대적으로 낮아지고 있는 실정이다. 또한, 經濟發展과 國民所得水準의 향상으로 生活環境의 변화와 食生活의 多樣化로 菜蔬類, 果樹類 등 밭작물의 수요가 크게 늘어나고 있다. 이러한 시대적 요구에 副應하고 밭작물의 수요증가에 대비한 生産基盤을 造成함에 있어 干拓地를 효율적으로 활용할 수 있는 대책을 수립하는 것은 農家所得增進을 위해 매우 효과적인 한가지 방법이라 생각한다.

干拓地에서 밭작물의 재배를 위해서는 보통 밭에서 실시 되는 것과는 다른 灌溉方法을 講究해야 된다. 즉 開發初期 高鹽度干拓地 토양의 鹽分濃度を 작물의 正常生育이 가능한 정도까지 저하시키기 위한 除鹽用水量을 산정하고, 生育기간중 毛細管現象으로 인한 鹽分上昇을 억제하여 작물생육을 저해하는 限界鹽分濃度 이하로 유지시키기 위한 鹽分上昇防止用水量(再鹽化防止用水量) 및 작물생육에 필요한 消費水量 등을 고려한 灌溉用水量을 추정하여 이에 따른 적절한 灌溉計劃을 세워야 한다고 본다.

지금까지 밭작물의 灌溉計劃樹立을 위한 灌溉用水量 결정방법 및 干拓地의 除鹽用水量 산정에 관하여 수행되어온 주요 연구내용을 살펴보면 다음과 같다.

Maidment 등<sup>12)</sup>, Dyer 등<sup>10)</sup>, Shayya 등<sup>17)</sup>은 灌溉計劃模型에 대하여 연구하였으며, 金과 高<sup>28,29)</sup>는 밭작물의 灌溉用水量과 灌溉時期를 결정하기 위한 土壤水分含量의 推定模型 및 灌溉計劃模型을 개발한 바 있고, 鄭<sup>34)</sup>은 대표적

밭작물에 대해 氣象과 土壤特性에 따른 물收支 관계를 고찰하였으며, 朴<sup>33)</sup>은 물收支 理論을 적용하여 根域別 土壤水分變化量을 일별로 예측할 수 있는 土壤水分收支模型을 개발하고 배추의 生育試驗을 통해 적용성을 검토하였다.

干拓土地壤에서의 鹽分收支는 Scofield<sup>16)</sup>에 의해서 “灌溉用水와 함께 灌溉地域內로 공급되는 鹽分量과 排水에 의해 灌溉地域 밖으로 除去되는 鹽分量과의 관계”라고 정의되었다. Van der Molen<sup>19)</sup>은 土壤內의 鹽分變化量을 추정할 수 있는 鹽分貯溜方程式을 誘導하였고, 土壤內에 함유되어 있는 염분이 除鹽進行中 溶脫되는 과정을 해석하기 위한 이론적인 模型을 개발하였으며, U.S. Salinity Laboratory<sup>18)</sup>, Boumans<sup>5)</sup>, Ayers and Westcott<sup>1)</sup>는 干拓土地壤 또는 高鹽度土壤의 鹽分濃度を 작물생육이 가능한 값 이하로 감소시키기 위해 필요한 溶脫用水量 및 灌溉用水量을 산출하기 위한 除鹽理論式을 도출하였다. Bresler 등<sup>7,8)</sup>은 鹽分濃度調節에 대한 正常狀態의 溶脫理論과 기존의 일반 除鹽理論 및 實驗結果를 기초로 하여 灌溉用水量과 작물의 耐鹽性에 관한 理論模型을 일반화시켰다.

Ayers 등<sup>1)</sup>은 Bernstein<sup>2,3)</sup>과 Mass and Hoffman<sup>13)</sup>의 實驗資料를 인용하여 여러가지 밭작물의 耐鹽性을 작물의 收穫量 減少率로 표시하여 발표하였으며, 長堀<sup>21)</sup>은 菜蔬類와 飼料作物에 대한 耐鹽性을 검토하고, 石膏를 사용할 경우의 土壤改良用水量, 除鹽用水量, 鹽分上昇防止用水量 등의 산출 방법을 제시하였다. 農業振興公社<sup>30-32)</sup>, 權 등<sup>26)</sup>, 具 등<sup>22-25)</sup>은 除鹽用水量, 물관리방법 및 除鹽效果分析을 위한 除鹽實驗을 수행한 바 있다.

이와 같이 일반 밭작물의 灌溉計劃樹立을 위한 灌溉用水量 推定 및 干拓地の 除鹽用水量 산정에 관한 연구는 국내외에서 많이 수행되어 왔지만, 干拓地에서 밭작물의 정상적인 생육에 필요한 灌溉用水量 추정에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 干拓地 밭작물의 正常生育을 위한 灌溉用水量 산정에 적용하고 灌溉計劃樹立에 활용하기 위하여, 물收支式, 鹽分收支式 및 鹽分貯溜方程式을 基礎로 하여 根域內 鹽分濃度の 변화를 일별로 추정할 수 있는 土壤鹽分豫測模型(SSPM)을 개발하고, 模型의 模擬發生資料와 干拓地 圃場試驗의 實測資料를 比較檢討해서 模型의 適用妥當性을 검증하였다.

## II. 模型의 基本理論 및 構成

干拓地에서 작물을 정상적으로 생육시키기 위해서는 根域의 鹽分濃度가 작물생육에 지장이 없는 限界鹽分濃度 이하로 유지되도록 해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기본자료로 활용하고자, 干拓地 밭작물의 재배기간중 灌溉用水 공급에 따른 土壤鹽分濃度の 변화를 예측할 수 있는 모형을 개발하였으며, 여기에 적용된 基本理論과 模型의 構成은 다음과 같다.

### 1. 基本理論

#### 가. 물收支式

作物生育期間中 根域의 土壤水分變化에 대한 물收支 관계는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$IR + PC - ET - SR - DP + CR \pm \Delta SM = 0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, IR : 灌溉水量(mm)

PC : 降雨量(mm)

ET : 蒸發散量(mm)

SR : 地表流出量(mm)

DP : 深層浸透量(mm)

CR : 毛管上昇量(mm)

$\Delta SM$  : 土壤水分變化量(mm)

(1)식에서 灌溉期間中 1일 毛管上昇量(CR)은 미소하므로 이를 무시하고 연속된 灌溉期間의 日單位를 첨자 n, n-1로 표기하여 변형하면, 근역의 일별 토양수분변화량을 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$SM_n - SM_{n-1} = IR_n + PC_n - (ET_n + SR_n + DP_n) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $SM_n$  : n일의 土壤水分含量(mm)

$SM_{n-1}$  : n-1일의 土壤水分含量(mm)

根域의 土壤水分變化량을 산정하기 위해, 根域의 깊이를 40cm, 灌溉後 土壤水分의 유지범위를 圃場容水量( $F_c$ )으로 부터 萎凋點( $W_p$ )까지의 有效水分으로 보았다. 土壤水分含量과 灌溉水量은 圃場試驗의 실측값을 이용하였고, 深層浸透量은 浸透試驗 및 暗渠排水試驗을 통하여 구성하였으며, 蒸發散量은 修正 Penman 방법에 의하여 潛在蒸發散량을 구하고, 여기에 Doorenbos and Pruitt<sup>9)</sup>는 氣象條件에 따라 작물의 종류 및 생육시기별로 제시한 作物係數를 곱하여 實際蒸發散량을 산정하였다. 降雨量과 地表流出量도 토양수분함량의 변화에 큰 영향을 끼치므로 고려하여야 하겠지만, 본 연구에서는 降雨量과 地表流出量이 없는 것으로 간주하였다. 그러나 실제로 모형을 실용화할 경우는 강우량과 地表流出量을 고려할 수 있도록 하였다.

#### 나. 鹽分收支式

灌溉水 또는 다른 원인에 의하여 根域內로 공급되는 鹽分量과 排出水 또는 다른 원인에 의하여 根域밖으로 제거되는 鹽分量과의 관계를 나타내는 식으로, 기타 根域內의 鹽分變化량을 고려하여 표시하면 식(3)과 같다.

$$IR \cdot C_{ir} + PC \cdot C_{pc} + CR \cdot C_{cr} + S_m + S_f = D_p \cdot C_{dp} + S_p + S_c \pm \Delta S_s \pm \Delta X_c \dots\dots\dots (3)$$

여기서, IR : 灌溉水量

PC : 降雨量

CR : 毛管上昇量

DP : 深層浸透量

$C_{ir}, C_{pc}, C_{cr}, C_{dp}$  : 각각 IR, PC, CR, DP의 鹽分濃度

$S_m$  : 風化土壤에 의하여 根域內로 공급되는 鹽分量

$S_f$  : 肥料나 土壤改良劑등에 의하여 根域內로 공급되는 鹽分量

$S_p$  : 土壤溶液 속으로 침전되는 鹽分量

$S_c$  : 작물에 의하여 根域으로부터 제거되는 鹽分量

$\Delta S_s$  : 根域內 可溶性鹽類에 의한 鹽分變化量

$\Delta X_c$  : 根域內 置換性 陽이온에 의한 鹽分變化量

根域內 鹽分變化量( $\Delta Z$ )은 식(4)로 표시할 수 있으며, 식(3)에서 강우에 의한 鹽分供給量( $PC \cdot C_{pc}$ )을 무시하면 鹽分收支式은 식(5)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\Delta Z = S_p + S_c - S_m - S_f \pm \Delta S_s \pm \Delta X_c \dots\dots\dots (4)$$

$$IR \cdot C_{ir} + CR \cdot C_{cr} = DP \cdot C_{dp} + \Delta Z \dots\dots\dots (5)$$

다. 溶脫效率係數

溶脫效率係數(Coefficient of leaching efficiency)는 土性, 土壤構造 및 根域의 土深에 관계되는 經驗係數로서, 한 토층에서 배출되는 浸出水的 鹽分濃도와 그 토층 土壤溶液의 鹽分濃도와 의 비율을 말한다. 일반적으로 溶脫效率係數( $f$ )는 土性에 따라 다른 값이 사용되는데<sup>19)</sup> 본 연구에서는 試驗圃場의 土性이 微砂質壤土이므로  $f=0.5$ 로 가정하였다.

根域 아래로 배출되는 深層浸透水の 鹽分濃도는 灌溉水가 토층을 통과하는 방법에 따라

Van der Molen<sup>19)</sup>의 이론적 모델에 의하여 다음과 같이 3가지의 式으로 가정할 수 있다.

$$C_{dp} = C_{fc} \dots\dots\dots (6)$$

$$C_{dp} = f \cdot C_{fc} \dots\dots\dots (7)$$

$$C_{dp} = f \cdot C_{fc} + (1-f) \cdot C_{ir} \dots\dots\dots (8)$$

여기서,  $C_{dp}$  : 深層浸透水의 鹽分濃度

$C_{fc}$  : 圃場容水量狀態에서 土壤溶液의 鹽分濃度

$C_{ir}$  : 灌溉水의 鹽分濃度

$f$  : 溶脫效率係數( $0 < f < 1$ )

위 식에서 식(6)은 灌溉水가 土壤溶液과 완전히 혼합하여 배출되는 경우로 실제로는 존재하기 어렵고, 식(7)과 (8)은 灌溉水의 일부만이 土壤溶液과 혼합되어 배출되는 경우로 식(7)은 灌溉水의 鹽分濃도를 무시한 식이며, 식(8)은 灌溉水의 鹽分濃도를 고려한 식이다.

라. 溶脫用水量 및 灌溉用水量

1) 溶脫用水量

溶脫用水量(Leaching requirement)은 根域의 鹽分濃도를 어느 일정한 값 이하로 유지하고 작물의 收穫量減少를 방지하기 위하여 根域을 통해 침출시켜야 하는 最少用水量을 의미하는데, Boumans<sup>5)</sup>와 Van der Molen<sup>5)</sup>등이 물收支式과 鹽分收支式을 근거로 하여 다음과 같은 溶脫用水量(LR) 算定式을 도출하였다.

$$LR = (ET - PC) \cdot \frac{C_{ir}}{f \cdot C_{fc} - C_{ir}} \dots\dots\dots (9)$$

(by J. H. Boumans)<sup>5)</sup>

$$LR = (ET - PC) \cdot \frac{C_{ir}}{f \cdot (C_{fc} - C_{ir})} \dots\dots\dots (10)$$

(by W. H. Van der Molen)<sup>19)</sup>

식(9)와 식(10)의 鹽分濃도를 電氣傳導度의 단위로 나타내면 식(11) 및 식(12)와 같다.

$$LR = (ET - PC) \cdot \frac{EC_{ir}}{2f \cdot ECe - EC_{ir}} \dots\dots\dots (11)$$

$$LR = (ET - PC) \cdot \frac{EC_{ir}}{f \cdot (2ECe - EC_{ir})} \dots\dots\dots (12)$$

여기서, ECe : 飽和抽出液의 電氣傳導度  
(mmhos/cm)

EC<sub>ir</sub> : 灌溉水の 電氣傳導度  
(mmhos/cm)

2) 灌溉用水量

干拓地土壤에서 灌溉用水量은 작물생육을 위한 消費水量과 토양의 鹽分濃度를 작물생육이 가능한 일정한 값 이하로 유지하기 위해 공급해야 하는 溶脫用水量의 합으로 정의 된다. 물收支式인 식(1)에서 地表流出量이 없는 것으로 가정하고(SR=0), 장기간인 경우 土壤水分變化量을 무시하면(ΔSM=0), 식(1)은 식(13)과 같이 정리된다. 물收支式 및 鹽分收支式을 근거로 한 식(11)과 식(12)의 溶脫用水量(LR)을 식(13)의 (DP-CR)에 代入하여 灌溉用水量(IR)에 관해 정리하면 식(14) 및 식(15)와 같은 灌溉用水量 算定式을 구할 수 있다.

$$IR + PC = ET + DP - CR \dots\dots\dots (13)$$

$$IR = (ET - PC) \cdot \left[ 1 + \frac{EC_{ir}}{2f \cdot ECe - EC_{ir}} \right] \dots\dots\dots (14)$$

$$IR = (ET - PC) \cdot \left[ 1 + \frac{EC_{ir}}{f \cdot (2ECe - EC_{ir})} \right] \dots\dots\dots (15)$$

마. 鹽分貯溜方程式

Van der Molen은 根域의 鹽分變化量(ΔZ)을 산정할 수 있는 鹽分貯溜方程式(Salt storage equation)을 다음과 같이 유도하였다. 鹽分收支式인 식(5)에서 장기간인 경우 C<sub>cr</sub>=C<sub>dp</sub>라 가정하면 식(5)는 식(16)과 같이 정리되며, 식(8)과 식(16)을 이용하여 식(17)을 구할 수 있다.

$$IR \cdot C_{ir} = (DP - CR) \cdot C_{dp} + \Delta Z \dots\dots\dots (16)$$

$$\Delta Z = IR \cdot C_{ir} - (1-f) \cdot (DP - CR) \cdot C_{ir} - f \cdot (DP - CR) \cdot C_{fc} \dots\dots\dots (17)$$

식(17)에서 純浸透水量(DP-CR)을 溶脫用水量 LR로 표시하면 식(18)과 같이 된다.

$$\Delta Z = IR \cdot C_{ir} - (1-f) \cdot LR \cdot C_{ir} - f \cdot LR \cdot C_{fc} \dots\dots\dots (18)$$

根域内の 鹽分變化量 ΔZ와 圃場容水量狀態에서 土壤溶液의 鹽分濃度 C<sub>fc</sub>는 식(19) 및 식(20)과 같이 쓸 수 있으며, 觀測期間中 圃場容數量 狀態에서 土壤溶液의 平均鹽分濃度  $\bar{C}_{fc}$ 는 식(21)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta Z = Z_{n+1} - Z_n \dots\dots\dots (19)$$

$$C_{fc} = \frac{Z}{SM_{fc}} \dots\dots\dots (20)$$

$$\bar{C}_{fc} = \frac{Z_n + Z_{n+1}}{2SM_{fc}} = \frac{Z_n}{SM_{fc}} + \frac{\Delta Z}{2SM_{fc}} \dots\dots\dots (21)$$

여기서, Z : 根域의 염분량(n, n+1은 연속된 관측기간의 단위)

SM<sub>fc</sub> : 圃場容水量狀態의 土壤水分含量

일정한 관측기간중 灌溉水の 鹽分濃度는 일정하다고 볼 수 있지만, 일반적으로 土壤溶液의 鹽分濃度는 일정하다고 볼 수 없으므로 식(18)의 C<sub>fc</sub>대신 식(21)의  $\bar{C}_{fc}$ 를 적용하고, 灌溉水の 鹽分濃度(C<sub>ir</sub>)를 電氣傳導度の 단위(EC<sub>ir</sub>)로 표시하여 정리하면, 鹽分貯溜方程式을 식(22)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Z = \frac{IR \cdot EC_{ir} - (1-f) \cdot LR \cdot EC_{ir} - \frac{f \cdot LR \cdot Z_n}{SM_{fc}}}{1 + \frac{f \cdot LR}{2SM_{fc}}} \dots\dots\dots (22)$$

2. 模型의 構成

가. 鹽分變化量計算

根域內的 鹽分變化量  $\Delta Z$ 는 본 연구의 圃場 試驗에서 灌溉水の 鹽分濃度  $EC_{ir}=0$ 이라는 조건아래 식(22)로부터 구한 식(23)에 의하여 산출하였다.

$$\Delta Z = \frac{-\frac{f \cdot LR \cdot Z_n}{SM_{fc}}}{1 + \frac{f \cdot LR}{2SM_{fc}}} = -\frac{2f \cdot LR \cdot Z_n}{2SM_{fc} + f \cdot LR} \dots\dots\dots (23)$$

식(23)에서 溶脫效率係數  $f$ 는 본 試驗圃場의 土性이 微砂質壤土이므로 0.5를 적용하였고, 기타 다른 변수의 값들은 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$SM_{fc} = SMR_{fc} \cdot RLD \dots\dots\dots (24)$$

$$Z_n = EC_n \cdot SM_n \dots\dots\dots (25)$$

$$LR = IR - AET - (SM_{fc} - SM_n) \dots\dots\dots (26)$$

여기서,  $SM_{fc}$ : 圃場容水量 상태의 土壤水分含量(mm)

$SMR_{fc}$ : 圃場容水量 상태의 含水比

$RLD$ : 根域의 토층 깊이(mm)

$Z_n$ :  $n$ 일 觀測時 根域의 鹽分量 (EC · mm)

$EC_n$ :  $n$ 일 觀測時 根域의 鹽分濃度 (mmhos/cm)

$SM_n$ :  $n$ 일 觀測時 土壤水分含量 (mm)

$LR$ : 溶脫用水量으로 이용되는 浸透水量(mm)

$IR$ : 灌溉水量(mm)

$AET$ : 實際蒸發散量(mm)

나. 鹽分濃度計算

根域의 鹽分濃度는 土壤溶液의 鹽分濃度

( $EC_w$ )와 飽和抽出液의 鹽分濃度( $EC_e$ )로 구분하여 다음과 같은 식(27)과 식(28)에 의해 계산하였다.

$$(EC_w)_{n+1} = \frac{Z_n + \Delta Z}{SM_{n+1}} \dots\dots\dots (27)$$

$$(EC_e)_{n+1} = \frac{Z_n + \Delta Z}{SM_{fc}} \dots\dots\dots (28)$$

여기서,

( $EC_w$ ) $n+1$ :  $n+1$ 일 觀測時 根域의 土壤溶液 鹽分濃度

(mmhos/cm)로서, 根域內 鹽分量의 變化가 있을 때는 물론 鹽分量의 變化가 없어도 土壤水分含量이 變함에 따라 變하는 값

( $EC_e$ ) $n+1$ :  $n+1$ 일 觀測時 根域의 飽和抽出液 鹽分濃度

(mmhos/cm)로서, 根域內 鹽分量의 變化가 있을 때는 變化되지만 鹽分量의 變化가 없으면 土壤水分含量의 變化에 關係없이 일정한 값

다. 프로그램의 構成

作物生育期間中 根域의 土壤水分變化에 대한 물收支關係의 연계시켜 干拓地 밭작물의 正常生育을 위한 灌溉用水量을 산정하는데 적용하고자, 灌溉用水 공급에 따른 根域의 鹽分貯溜量의 變化 및 鹽分濃度의 變化를 예측할 수 있는 土壤鹽分豫測模型을 개발하고, 이를 SSPM(Soil Salt Prediction Model)이라고 하였다. 본 모형에 필요한 人力資料는 크게 一般情報資料(試驗圃場 位置·作物名 등), 土壤과 作物生育資料, 氣象資料, 灌溉水量資料 등으로 이루어졌으며, 出力資料로는 一般基本資料(生育段階·生育期間·土性·作物名 등)와 日別로 계산한 溶脫用水量, 根域의 鹽分量, 鹽分變化量 및 鹽分濃度

등 模擬發生資料를 나타내도록 하였다.

### III. 模型의 適用

#### 1. 圃場試驗

干拓地에서 발작물의 생육기간중 根域内 土壤水分含量과 鹽分濃度の 변화를 실측하여, 본 연구에서 개발한 土壤鹽分豫測模型의 적용타당성을 검토하고 適正灌溉用水量을 산정하기 위한 基本資料로 활용하고자, Table 1과 같이 16개 試驗區를 4가지 灌水點 처리별로 나누어 圃場試驗을 수행하였다. 본 시험은 1992년 5월 12일부터 8월 9일 까지 90일간에 걸쳐, 土性, 鹽分濃度, 氣象條件, 기타 지역적 특성 등이 우리나라 개발초기의 高鹽度干拓地를 대표한다고 볼 수 있는 全北 扶安郡 鎭西面 鎭西里에 降雨遮斷施設(Green house)을 한 試驗圃場에서 비교적 耐鹽性이 강한 토마토를 供試作物로 하여 작물생육시험을 실시하였고, 生育段階는 편의상 4段階로 나누었으며, 1段階 20일간(5. 12~5. 21), 2段階 25일간(6. 1~6. 25), 3段階 25일간(6. 26~7. 20), 4段階 20일간(7. 21~8. 9)

Table-1. Irrigation point by treatment

Treatment	Irrigation point	Experimental plots
Tmt.1	pF 2.2	AN <sub>1</sub> , AG <sub>1</sub> , BN <sub>1</sub> , BG <sub>1</sub>
Tmt.2	pF 2.0	AN <sub>2</sub> , AG <sub>2</sub> , BN <sub>2</sub> , BG <sub>2</sub>
Tmt.3	pF 1.8	AN <sub>3</sub> , AG <sub>3</sub> , BN <sub>3</sub> , BG <sub>3</sub>
Tmt.4	pF 1.6	AN <sub>4</sub> , AG <sub>4</sub> , BN <sub>4</sub> , BG <sub>4</sub>

Table-2. Initial soil moisture content and salt concentration by treatment

Treatment(pF)	Initial soil moisture		Initial salt concentration	
	Volumetric rate(%)	Depth(mm)	EC <sub>w</sub> (mmhos/cm)	E <sub>Ce</sub> (mmhos/cm)
Tmt.1 (2.2)	26.1	104.4	10.3	7.5
Tmt.2 (2.0)	29.7	118.8	9.0	7.5
Tmt.3 (1.8)	33.6	134.4	8.0	7.5
Tmt.4 (1.6)	36.3	145.2	7.4	7.5

으로 정하였다. 氣象資料는 試驗圃場에서 약 20 km 떨어진 扶安測候所(No. 243)에서 관측된 자료를 이용하였다.

試驗圃場 토양의 物理的 성질은 假比重과 眞比重이 각각 1.31~1.35, 2.57~2.62이고 실트질을 80% 이상 함유하고 있는 微砂質壤土이었다. 化學的 성질은 置換性나트륨白分率(ESP) 46.6~57.6%, 飽和抽出液의 電氣傳導度(ECe) 23.0~35.3mmhos/cm, pH 7.1~7.4를 나타내어 USDA Salinity Lab<sup>18)</sup>의 鹽害土壤分類法에 따르면 鹽類알카리土壤에 속하였다.

試驗圃場에 작물을 재배하기에 앞서 除鹽作業을 실시한 후 灌水點 처리별로 시험조건에 맞게 조절한 작물생육시험구의 初期土壤水分含量과 初期鹽分濃度는 Table 2에서 보는 바와 같았고, 根域의 圃場容水量은 142.8mm, 萎凋點은 71.0mm, 飽和含水量은 193.8mm로 나타났다.

#### 2. 土壤鹽分濃度の 變化

干拓地 발작물의 재배기간중 根域의 日別 鹽分濃度變化를 예측할 수 있도록 개발한 土壤鹽分豫測模型의 실용화를 위한 適用妥當性을 검토하고, 정상적인 생육에 필요한 灌溉用水量을 산정하기 위한 基本資料로 사용하고, 模型을 적용하여 根域의 土壤水分含量을 일정하게 유지하기 위한 灌溉用水量을 공급할 경우의 鹽分濃度 및 圃場試驗時 灌溉用水量을 공급할 경우 鹽分濃度の 변화를 살펴보면 다음과 같다.

가. 土壤水分含量이 일정한 경우의 鹽分濃度 灌水點 처리별로 根域의 土壤水分含量을 일

정하게 유지하기 위한 灌溉用水量(模擬發生值)을 공급할 경우, 모형에 의해서 계산된 根域內 鹽分濃度(EC<sub>w</sub> 및 EC<sub>e</sub>)를 생육단계별로 정리

하면 Table 3과 같고, 日別 鹽分濃度(EC<sub>w</sub> 및 EC<sub>e</sub>)의 변화를 그래프로 나타내면 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다.

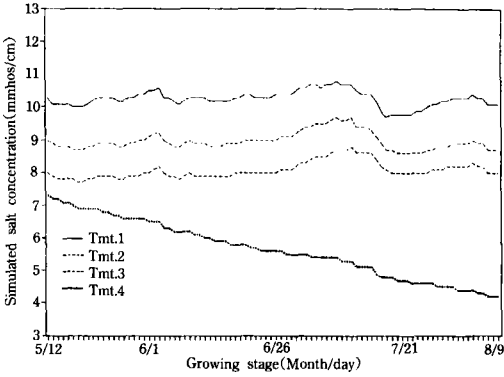


Fig. 1. Simulated salt concentration of soil extract(EC<sub>w</sub>) in case of constant soil moisture content by treatment

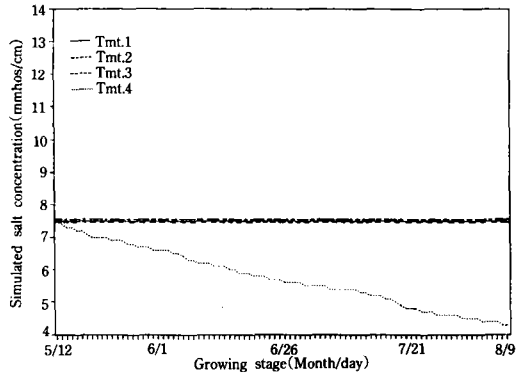


Fig. 2. Simulated salt concentration of saturation extract(EC<sub>e</sub>) in case of constant soil moisture content by treatment

Table-3. Simulated salt concentration by the constant soil moisture content in root zone

Treatment	Soil moisture content (mm)	Initial salt concentration (mmhos/cm)		Growing stage	Simulated irrigation requirement (mm/day)	Simulated salt concentration			
		EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>			EC <sub>w</sub> (mmhos/cm)		EC <sub>e</sub> (mmhos/cm)	
						Range	Mean	Range	Mean
Tmt.1	104.4	10.3	7.5	I	3.4	10.0-10.4	10.2	7.5	7.5
				II	4.5	10.1-10.6	10.3	7.5	7.5
				III	5.2	9.7-10.8	10.4	7.5	7.5
				IV	4.4	9.8-10.4	10.1	7.5	7.5
				Mean	(4.4)	(9.7-10.8)	(10.3)	(7.5)	(7.5)
Tmt.2	118.8	9.0	7.5	I	4.2	8.7-9.0	8.9	7.5	7.5
				II	5.5	8.8-9.2	8.9	7.5	7.5
				III	6.3	8.6-9.7	9.3	7.5	7.5
				IV	5.4	8.6-9.0	8.8	7.5	7.5
				Mean	(5.4)	(8.6-9.7)	(9.0)	(7.5)	(7.5)
Tmt.3	134.4	8.0	7.5	I	4.2	7.7-8.0	7.9	7.5	7.5
				II	5.5	7.8-8.2	8.0	7.5	7.5
				III	6.4	8.0-8.8	8.4	7.5	7.5
				IV	5.4	8.0-8.3	8.1	7.5	7.5
				Mean	(5.4)	(7.7-8.8)	(8.1)	(7.5)	(7.5)
Tmt.4	145.2	7.4	7.5	I	5.9	6.6-7.3	6.9	6.6-7.5	7.0
				II	7.3	5.6-6.5	6.0	5.7-6.6	6.1
				III	8.2	4.7-5.6	5.3	4.8-5.6	5.3
				IV	7.2	4.2-4.7	4.5	4.3-4.8	4.5
				Mean	(7.2)	(4.2-7.3)	(5.6)	(4.3-7.5)	(5.7)



土壤溶液의 鹽分濃度(ECw)는 灌水點 처리별로 灌溉用水量을 공급함에 따라 Tmt.1~Tmt.3에서는 생육기간중 鹽分濃도가 初期의 鹽分濃도와 비슷하였지만, 根域의 土壤水分含量이 어느 정도 이상이 되도록 灌溉用水量을 공급한 Tmt.4에서는 생육기간중 鹽分濃도가 初期값에 비하여 점점 감소하는 경향을 보였다. 飽和抽出液의 鹽分濃度(ECe)는 Tmt.1~Tmt.3에서는 灌溉水量에 관계없이 전생육기간중 7.5mmhos/cm로 변화가 없었으며, Tmt.4에서는 전생육기간중 4.3~7.5mmhos/cm 범위내에서 감소하였다. 이 경우도 土壤溶液의 鹽分濃도와 마찬가지로 어느 정도(일평균 7.2mm/day)이상의 灌溉用水量을 공급하면 생육기간중 鹽分濃도가 初期값에 비하여 점점 감소하는 경향을 보였다.

나. 圃場試驗時 공급된 灌溉水量에 따른 鹽分濃度

圃場試驗時 灌水點 처리별로 실제 灌溉水量을 공급할 경우, 根域內 土壤溶液 鹽分濃度(ECw)와 飽和抽出液 鹽分濃度(ECe)의 模擬發生值를 灌水點 처리에 따른 생육단계별로 정리하면 Table 4와 같고, 日別 鹽分濃度(ECw 및 ECe)의 변화를 圖示하면 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. 根域內 土壤溶液의 鹽分濃度(ECw)는 Tmt.1과 Tmt.2에서는 생육기간중 鹽分濃도가 初期의 鹽分濃도에 비하여 대체적으로 증가하였고, Tmt.3과 Tmt.4에서는 감소하였으며, 특히 일평균 6.7 mm/day의 灌溉水量을 공급한 Tmt.4에서는 생육단계별로 鹽分濃도가 점점 감소하였다. 飽和抽出液의 鹽分濃度(ECe)는 Tmt.1과 Tmt.2에서

Table-4. Simulated salt concentration by the irrigation water supplied in field experiment

Treatment	Initial salt concentration (mmhos/cm)		Growing stage	Simulated irrigation water (mm/day)	Simulated salt concentration			
	EC <sub>w</sub>	ECe			EC <sub>w</sub> (mmhos/cm)		ECe(mmhos/cm)	
					Range	Mean	Range	Mean
Tmt.1	10.3	7.5	I	2.9	10.1-10.9	10.6	7.5	7.5
			II	3.1	11.0-11.7	11.4	7.5	7.5
			III	3.0	11.6-12.3	12.0	7.5	7.5
			IV	3.0	11.5-12.1	11.8	7.5	7.5
			Mean	(3.0)	(10.1-12.3)	(11.5)	(7.5)	(7.5)
Tmt.2	9.0	7.5	I	4.0	8.8-9.3	9.1	7.5	7.5
			II	4.2	9.3-10.4	10.0	7.5	7.5
			III	4.2	10.5-11.4	11.0	7.5	7.5
			IV	4.0	10.6-11.2	10.9	7.5	7.5
			Mean	(4.1)	(8.8-11.4)	(10.3)	(7.5)	(7.5)
Tmt.3	8.0	7.5	I	5.8	6.8-7.9	7.3	6.9-7.5	7.3
			II	5.6	6.8-7.1	6.9	6.8-6.9	6.9
			III	5.7	6.8-7.8	7.4	6.8	6.8
			IV	5.5	7.6-8.0	7.8	6.8	6.8
			Mean	(5.7)	(6.8-8.0)	(7.3)	(6.8-7.5)	(6.9)
Tmt.4	7.4	7.5	I	7.1	6.0-7.4	6.6	6.2-7.5	6.8
			II	6.6	5.5-6.0	5.8	5.5-6.1	5.8
			III	6.6	5.3-5.6	5.5	5.4-5.5	5.5
			IV	6.5	4.9-5.5	5.2	5.0-5.4	5.2
			Mean	(6.7)	(4.9-7.4)	(5.8)	(5.0-7.5)	(5.8)

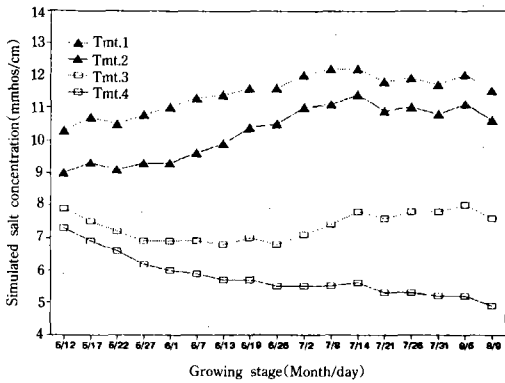


Fig. 3. Simulated salt concentration of soil extract( $EC_w$ ) by the irrigation water supplied in field experiment by treatment

는 灌溉水量에 관계없이 전생육기간중 일정하였으며, Tmt.3과 Tmt.4에서는 감소하는 경향이 있었다. 이 경우 역시 土壤溶液의 鹽分濃도와 같이 어느 정도 이상의 灌溉水量을 공급할 때 생육기간중 鹽分濃도가 初期값에 비하여 감소하는 경향을 보였으며, Tmt.4에서 감소경향이 더욱 크게 나타났다.

#### IV. 模型의 檢定

模型의 妥當성을 검토하기 위해 灌水點 처리별로 작물생육기간중 根域의 鹽分濃度 변화에 대한 모형의 模擬發生値와 圃場試驗實測値 사이의 RMS 誤差分析 및 相關分析을 통하여 RMS誤差와 相關係數를 산출하고 模型의 檢定을 실시하였다.

작물생육기간중 根域內 土壤溶液 鹽分濃度 ( $EC_w$ )와 飽和抽出液 鹽分濃度( $EC_e$ )의 변화에 대한 灌水點 처리별 模擬發生値와 圃場試驗實測値를 생육단계별로 비교하면 Table 5와 같고, 이들 관계를 비교하여 그래프로 나타내면 Fig. 5~Fig. 8 및 Fig. 9~Fig. 12와 같다.

灌水點 처리별로 日別 土壤溶液 鹽分濃度의 模擬發生値와 實測値를 비교해보면 Tmt.1에서

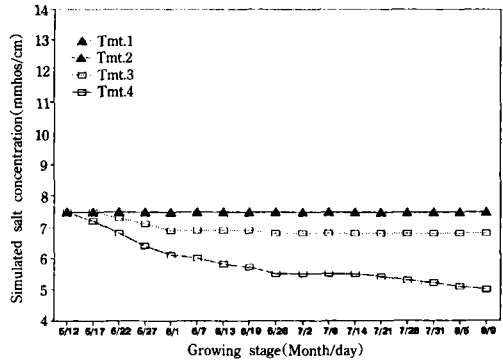


Fig. 4. Simulated salt concentration of saturation extract( $EC_e$ ) by the irrigation water supplied in field experiment by treatment

는 模擬發生値가 實測値에 비하여 전생육기간중 평균적으로 3% 정도 작게 나타났고, Tmt.2와 Tmt.3에서는 각각 11% 및 4% 정도 컸으며, Tmt.4에서는 거의 같은 값을 나타냈다. 생육 단계별로 살펴보면 Tmt.1과 Tmt.2에서는 생육 초기의 鹽分濃도에 비하여 대체적으로 증가하였고, Tmt.3에서는 약간 감소 하였지만 일관성이 없었다. 그러나 Tmt.4에서는 생육단계별로 감소 경향이 뚜렷하게 나타났다.

日別 飽和抽出液의 鹽分濃度は 模擬發生値가 實測値에 비하여 Tmt.1과 Tmt.2에서는 전생육기간중 평균적으로 각각 6% 및 3% 정도 작게 나타났고, Tmt.3에서는 5% 정도 컸으며, Tmt.4에서는 2% 정도 작게 나타났다. 생육단계별로 살펴보면 작물생육초기의 鹽分濃도에 비하여 Tmt.1과 Tmt.2에서는 비슷하거나 약간 증가하였고, Tmt.3에서는 감소하였지만 土壤溶液 鹽分濃度의 경우와 같이 그 경향은 일관성이 없었으며, Tmt.4에서는 감소 경향이 뚜렷하게 나타났다.

이상에서 나타난 바와 같이 Tmt.4에 비하여 Tmt.1~Tmt.3에서 模擬發生値와 實測値 사이의 오차가 비교적 크고 그 변화 양상에 일관성이 없는 것은 灌溉水量이 적은 경우에는 氣象條件

이나 毛細管現象 등의 영향으로 土壤水分 이동이 일정하지 않고 불안정 상태에 있기 때문에 蒸發散量 및 浸透量의 계산에 큰 영향을 끼치는 것으로 생각된다. 생육기간중 總 602mm(일평균 6.7mm/day)의 灌溉水量을 공급한 灌水點이 pF 1.6인 Tmt.4의 경우는 土壤溶液 鹽分濃度 및 飽和抽出液 鹽分濃度의 模擬發生値와 實測値가 잘 일치하고 있을 뿐 아니라 鹽分濃度가 현저하게 감소하는 경향을 보였다. 따라서 Tmt.4의 경우 干拓地 鹽分濃度의 豫測에 본 모형을 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 생각하며, 또한 干拓地에서 鹽害를 받지 않고 작물(토마토)을 정상적으로 생육 시키기 위해서는 Tmt.4의 방법이 적합한 것으로 판단된다.

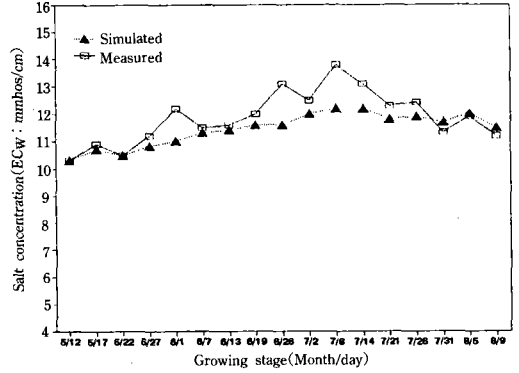


Fig. 5. Comparison of simulated with measured salt concentration of soil extract(EC<sub>w</sub>) in treatment 1

Table-5. Comparison of simulated and measured salt concentrations by the irrigation water supplied in field experiment

Treatment	Initial salt concentration (mmhos/cm)		Growing stage	Simulated salt concentration (mmhos/cm)		Measured salt concentration (mmhos/cm)		Ratio of simulated to measured value	
	EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>		EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>
Tmt.1	10.3	7.5	I	10.6	7.5	10.7	7.6	0.99	0.99
			II	11.4	7.5	11.8	8.1	0.97	0.93
			III	12.0	7.5	13.1	8.4	0.92	0.89
			IV	11.8	7.5	11.8	8.1	1.00	0.93
			Mean	(11.5)	(7.5)	(11.9)	(8.0)	(0.97)	(0.94)
Tmt.2	9.0	7.5	I	9.1	7.5	8.6	7.3	1.06	1.03
			II	10.0	7.5	8.8	7.7	1.14	0.97
			III	11.0	7.5	9.8	7.9	1.12	0.95
			IV	10.9	7.5	9.9	7.7	1.10	0.97
			Mean	(10.3)	(7.5)	(9.3)	(7.7)	(1.11)	(0.97)
Tmt.3	8.0	7.5	I	7.3	7.3	7.3	7.0	1.00	1.04
			II	6.9	6.9	6.9	6.6	1.00	1.05
			III	7.4	6.8	7.1	6.5	1.04	1.05
			IV	7.8	6.8	7.3	6.9	1.07	0.99
			Mean	(7.3)	(6.9)	(7.0)	(6.6)	(1.04)	(1.05)
Tmt.4	7.4	7.5	I	6.6	6.8	6.7	6.8	0.99	1.00
			II	5.8	5.8	5.8	5.9	1.00	0.98
			III	5.5	5.5	5.6	5.6	0.98	0.98
			IV	5.2	5.2	5.3	5.4	0.98	0.96
			Mean	(5.8)	(5.8)	(5.8)	(5.9)	(1.00)	(0.98)

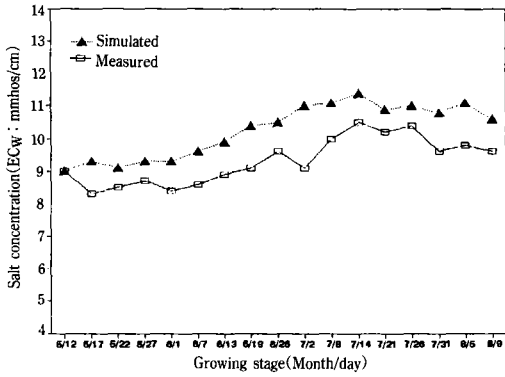


Fig. 6. Comparison of simulated with measured salt concentration of soil extract( $EC_w$ ) in treatment 2

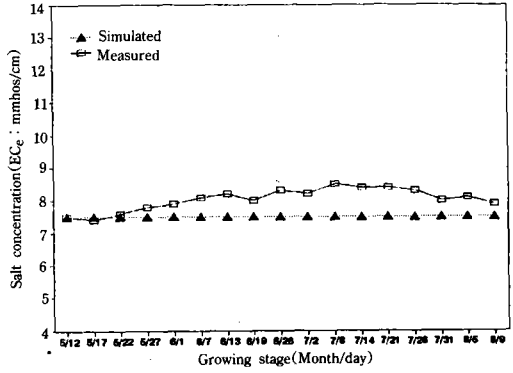


Fig. 9. Comparison of simulated with measured salt concentration of saturation extract( $EC_e$ ) in treatment 1

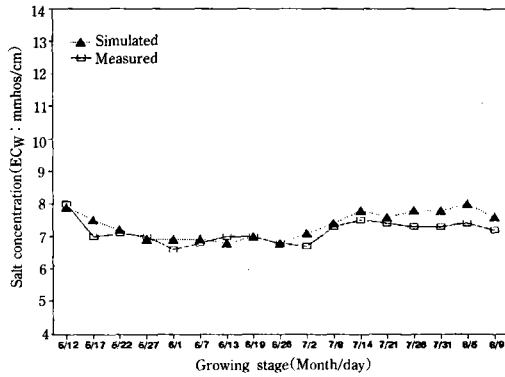


Fig. 7. Comparison of simulated with measured salt concentration of soil extract( $EC_w$ ) in treatment 3

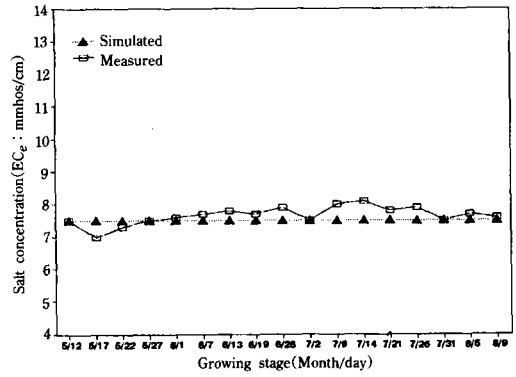


Fig. 10. Comparison of simulated with measured salt concentration of saturation extract( $EC_e$ ) in treatment 2

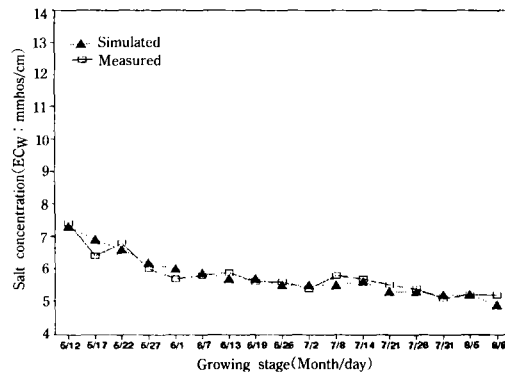


Fig. 8. Comparison of simulated with measured salt concentration of soil extract( $EC_w$ ) in treatment 4

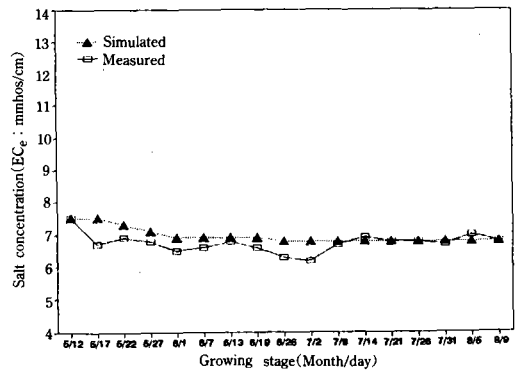


Fig. 11. Comparison of simulated with measured salt concentration of saturation extract( $EC_e$ ) in treatment 3

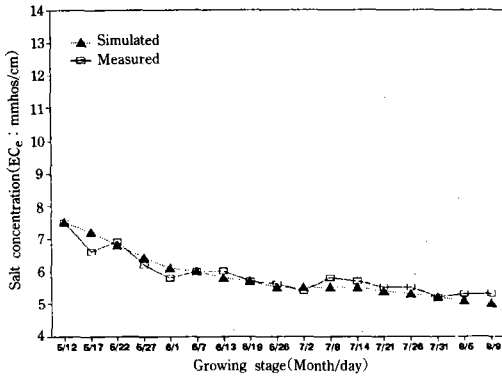


Fig. 12. Comparison of simulated with measured salt concentration of saturation extract (ECe) in treatment 4

灌水點 처리별로 작물생육기간중 根域内 鹽分濃度の 模擬發生値와 實測値에 대한 RMS 誤差 分析 및 相關分析 結果는 Table 6과 같다. 土壤溶液 鹽分濃度の 경우 Tmt.1~Tmt.4 에서 각각 0.71, 1.02, 0.32, 0.21mmhos/cm로서, 相對誤差는 6.0, 11.0, 4.6, 3.6% 정도로 계산되었고, 飽和抽出液 鹽分濃度の 경우는 RMS 誤차가 각각 0.60, 0.35, 0.34, 0.23mmhos/cm 로서, 相對誤差는 7.5, 4.5, 5.2, 3.9% 정도로 산출되었다. 또한, 土壤溶液 鹽分濃度の 模擬發生値와 實測値 사이의 相關係數는 Tmt.1~Tmt.4의 경우 각각 0.8158, 0.8745, 0.8144, 0.9416으로 t檢定 結果 어느 경우나 有意水準 1%의 有意性이 인정되었다. RMS 誤差分析 및 相關分析 結果도 어느 정도 이상의 灌溉水量을 공급하는 Tmt.4의 경우에 본 模型을 效果적으로 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 이상의 結果를

종합해보면, 灌溉水量이 日平均 7mm/day 정도인 경우는 4% 이하의 오차를 나타내어, 灌溉水量이 많은 경우에 더욱 效果적인 활용이 기대된다.

### V. 結 論

본 연구에서는 干拓地 밭작물의 정상생육을 위한 灌溉用水量 산정에 적용하고 灌溉計劃樹立에 활용하기 위하여, 물收支式, 鹽分收支式 및 鹽分貯溜方程式을 기초로 하여 작물생육기간중 根域内 鹽分濃度の 변화를 日別로 추정할 수 있도록 土壤鹽分豫測模型(SSPM)을 개발하고, 干拓地 試驗圃場의 實測資料와 模型의 模擬發生資料를 비교·분석 하므로써, 模型의 適用性을 검토하였다. 이상의 연구 結果를 요약하면 다음과 같다.

1. 微砂質壤土인 干拓地에서 토마토 재배시에 根域의 鹽分濃度を 生育沮害 限界値 이하로 유지하고, 收穫量을 最大로 하기 위한 適正灌水點은 pF 1.6 정도이며, 定植後 生育기간중 總灌溉用水量은 602mm로 日平均 6.7mm/day인 것으로 나타났다.
2. 灌水點이 pF 1.6인 경우 試驗圃場의 實測値에 비하여 본 模型(SSPM)에 의한 鹽分濃度の 模擬發生値는 4% 이하의 오차를 나타냈으며 有意水準 1%의 有意性이 인정되었다.
3. 鹽分濃度の 模擬發生値와 實測値 사이의 오차는 灌溉水量이 비교적 많은 7.0mm/day 정도인 경우가 灌溉水量이 적은 경우에 비하여 작게 산출하였다. 따라서 일반적으로 보통 받

Table-6. RMS error and correlation coefficient for verification of SSPM

Treatment	Frequency	RMS error(mmhos/cm)		Relative error(%)		Correlation coefficient(EC <sub>W</sub> )	t-value (EC <sub>W</sub> )
		EC <sub>W</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>W</sub>	EC <sub>e</sub>		
Tmt.1	17	0.71	0.60	6.0	7.5	0.8158	5.463**
Tmt.2	17	1.02	0.35	11.0	4.5	0.8745	6.983**
Tmt.3	17	0.32	0.34	4.6	5.2	0.8144	5.435**
Tmt.4	17	0.21	0.23	3.6	3.9	0.9416	10.830**

에서 보다 더 많은 灌溉用水量이 필요한 干拓地에서 그 활용성이 높은 것으로 기대된다.

4. 토마토 재배에 있어서 適正灌水點을 pF 1.6으로 하여 모형에 의해 산정한 灌溉用水量은 日平均 7.2mm/day 이었으며, 이 경우 根域의 鹽分濃度는 初期값에 비하여 현저하게 감소되는 것으로 나타났다.

본 연구에서 개발한 土壤鹽分豫測模型은 토마토 이외의 耐鹽性 작물에 대한 圃場試驗을 통해 더욱 보편타당성 있는 모형으로 보정할 수 있을 것이며, 氣象因子, 毛細管現象, 浸透現象 등을 고려한 연구가 지속적으로 수행된다면 干拓地 밭작물의 灌溉用水量 산정 뿐 아니라 干拓地の 除鹽推定에도 활용할 수 있는 새로운 모형을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

### 參 考 文 獻

1. Ayers, R. S. and D. W. Westcott. 1976. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. pp. 15-52.
2. Bernstein, L. 1964. Effects of salinity on mineral composition and growth of plants. Proc. 4th Intern. Colloquium Plant Anal. and Fert. Problems(Brussels) 4 : 25-45.
3. Bernstein, L. 1965. Salt tolerance of fruit crops. USDA Inform. Bull. 292, 8p.
4. Beyce, O. 1973. Experience in the reclamation of saline and alkali soils and irrigation water qualities in Turkey. FAO Irrigation and Drainage Paper 16, Drainage of Salty Soils. pp. 63-82.
5. Boumans, J. H. 1963. Some principles governing the drainage and irrigation of saline soils. In P. J. Dieleman(ed.) "Reclamation of Salt Affected Soils in Iraq". Chapt. 7. ILRI. Pub. 11 : 83-116.
6. Bower, C. A., J. R. Spencer, and L. O. Weeks. 1969. Salt and water balance. Coachella Valley, California. Amer. Soc. Civil Eng., Proc. 95(IR1) : 55-64.
7. Bresler, E. 1987. Application of a conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. Soil Soc. Am. J. 51 : 788-793.
8. Bresler, E. and G. J. Hoffman. 1986. Irrigation management for soil salinity control : Theories and tests. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 : 1552-1560.
9. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. paper No. 24. 143p.
10. Dyer, J. A. and A. R. Mack. 1984. The versatile soil moisture budget version. Research Branch Agriculture Canada.
11. Jensen, M. E., D. C. N. Bobb, and C. E. Franzoy, 1970. Scheduling irrigation using climate-crops-soil data. J. of Irrig. and Drain. Div., Proc. of ASCE. IR(1) : 25-38.
12. Maidment, D. R. and P. D. Hutchinson. 1983. Modeling water demands of irrigation projects. ASCE. Vol. 109(IR4) : 405-418.
13. Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-Current assessment. Proc. of ASCE, J. of Irrig. and Drain. Div. 103(IR2) : 115-134.
14. Penman, H. L. 1956. Estimating evaporation. Trans. American Geophysical Union, Vol. 37, No. 1, pp. 43-50.
15. Rhoades, J. D., J. D. Oster, R. D. Ingvalson, J. M. Tucker, and M. Clark. 1974. Minimizing the salt burdens of irrigation drainage waters. J. Environ. Qual. 3 : 311-316.
16. Scofield, C. S. 1940. Salt balance in irrigated areas. Agr. Res. 61 : 17-30.
17. Shayya, W. H. et. al. 1988. A general irriga-

- tion scheduling package for microsoftware. Paper No. 88-2501, ASAE Meeting Presentation.
18. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60. 160p.
  19. Van der Molen, W. H. 1979. Salt balance and leaching requirement. ILRI Pub. 16 Vol. 2, Drainage Principles and Applications, 2nd ed., pp.59-100.
  20. Wilcox, L. V. and W. F. Resch. 1963. Salt balance and leaching requirement in irrigated lands. USDA, Tech. Bull. No. 1290. 23p.
  21. 長堀金造. 1985. 農作物의 正常生育을 基準にした 除鹽用水量의 決定에 關する 實證的研究. 日本 岡山大學 研究成果報告書. No. 57480066. 57p.
  22. 具滋雄, 殷鍾浩. 1988. 干拓地 土壤의 除鹽過程中 水理傳導度의 變化. 韓國農工學會誌 30(4) : 85-93.
  23. 具滋雄, 韓康完, 殷鍾浩. 1989a. 干拓地土壤의 除鹽用水量 算定에 關한 實驗研究. 韓國農工學會誌 31(1) : 96-105.
  24. 具滋雄, 韓康完, 殷鍾浩. 1989b. 새萬金地區 干瀉地土壤의 鹽分學動解析 및 除鹽效果分析을 위한 實驗的 研究. 韓國農工學會誌 31(2) : 57-68.
  25. 具滋雄, 韓康完, 孫在權, 李東郁. 1992. 干拓地 밭作物의 正常生育을 위한 灌溉用水量 및 물管理方法의 決定. 韓國農工學會誌 34(4) : 80-96.
  26. 權純國, 鄭斗浩, 韓旭東. 1980. 暗渠間隔이 排水 및 干拓地 除鹽에 미치는 影響. 農事試驗研究報告書.(農機. 農加. 農經) 22 : 1-9.
  27. 金始源, 李康熙, 都德鉉. 1984. 田作物 水分消費量 調查研究(I). 韓國農工學會誌 26(2) : 47-58.
  28. 金哲會, 高在君. 1977. 土壤水分含量 豫測 및 計劃灌溉 模擬模型 開發에 關한 研究(I). 韓國農工學會誌 19(1) : 4279-4295.
  29. 金哲會, 高在君. 1977. 土壤水分含量 豫測 및 計劃灌溉 模擬模型 開發에 關한 研究(II). 韓國農工學會誌 19(2) : 4367-4376.
  30. 農業振興公社. 1983. 鹽分土壤의 除鹽排水. 技術資料 25集. 416p.
  31. 農業振興公社. 農工試驗所. 1977. 米面干拓地 除鹽排水試驗 報告書 96p.
  32. 農業振興公社. 農業土木試驗研究所. 1986. 除鹽排水 및 土壤成熟에 關한 研究. 研究報告書. 86-05-11. 201p.
  33. 朴商鉉. 1990. 배추根群域의 土壤水分收支 및 最適灌溉模型開發. 서울大學校 博士學位論文 144p.
  34. 鄭夏禹 外 7人. 1987-1990. 밭作物의 消費用水量 算定方法定立 研究(I-IV). 서울대 農大 農業開發研究所. 202p., 201p., 228p., 272p.