

點滴灌溉에서 灌溉率이 Sandy Loam土壤의 濕潤樣相에 미치는 影響

Effects of the Irrigation Rate on Wetted Patterns in Sandy Loam Soil Under Trickle Irrigation Condition

金 鐵 洙* · 李 根 厚**
Kim Chul Soo · Lee, Keun Hoo

Summary

In an effort to clarify the wetted patterns of sandy loam soil under trickle irrigation conditions, the distance of wetted zone, infiltration capacity and soil wetted patterns, etc. were measured by gypsum block as soil moisture sensor located every 5 cm vertically and horizontally in the soil bin under the such conditions as a). irrigation rates set to 2, 4, 6, 8 liters per hour b). total amount of water applied fixed to 14.62 liters per soil bin c) the bearing force of soil measured by plate penetrometer ranging from 1.04 to 1.22kg/cm²

The results can be summarized as follows ;

1. The wetted distance in horizontal direction(H), the wetted distance in vertical direction(D), the horizontal infiltration capacity (i_H) and the vertical infiltration capacity(i_V) could be explained as a function of time t.

2. The horizontal wetted distance (H) is explained by an exponential function $H = a \cdot t^b$ where b was found ranging from 0.21 to 0.26 under surface trickle irrigation, which was considered a lot lower than the classical value of 0.5 and these measurements were indifferent to the increasing irrigation rates.

3. As for the surface trickle irrigation where horizontal infiltration capacity(i_H) is explained as $i_H = A \cdot t^{(1-b)}$, the coefficient A increases with respect to irrigation rates within the limits of 0.89~1.34.

4. In terms of surface trickle irrigation of the ratio of Dm Which is maximum vertical wetted distance to Hm, which is maximum horizontal wetted distance, found to be within range of 1.0 to 1.21. It was also noted that the value of Dm decreases when irrigation rates increases while the value of Hm changes the opposite direction.

5. The optimum location of sensors from emitter for surface trickle irrigation should be inside of hemisphere whose lateral radius is 28~30cm long and vertical radius is 10~12cm long. The

* 尚州農業專門大學

** 慶尚大學校 農科大學

distance between emitters should be within 60cm long.

6. In the study of vertical wetted distance(D) where $D=a \cdot t^b$, the exponential coefficient b ranged from 0.61 to 0.75 in surface trickle irrigation, and from 0.49 to 0.68 for subsurface trickle irrigation. These measurements showed an increasing tendency to with respect to irrigation rates.

7. In case of vertical infiltration capacity(i_v), where $i_v=A \cdot t^{1-b}$, the coefficient A for surface trickle irrigation found to be within range of 0.16 to 0.19 and did not show any relationships with varying degree of irrigation rates. However, the coefficient was varying from 0.09 to 0.22 and showed a tendency to increase vis-a-vis irrigation rates for subsurface trickle irrigation, in contrast.

8. In the observation of subsurface trickle irrigation, it was found that D_m/H_m ratio was within 1.52 to 1.91 and showed a decreasing tendency with respect to increasing rates of irrigation.

9. The location of sensors for subsurface trickle irrigation follows same pattern as above, with vertical distance from emitter being 10~17 cm long and horizontal 22~25cm long. The location of emitter should be 50 cm.

10. The relationship between VS which is the volume of wetted soil and Q which is the total amount of water when soil is reached field capacity could be explained as $VS=2.914Q^{0.91}$ and the irrigation rates showed no impacts on the above relationship.

I. 緒 論

經濟의 高度 成長에 따라 菜蔬類 등 經濟作物의 需要가 急增하고 있으며 이들의 集約栽培에는 計劃的인 農業生産이 可能해야하므로 이를 위해서는 무엇 보다도 灌溉施設의 設備가 先行되어야 한다.

밭작물 栽培에서 단순히 生産增加를 목적으로 濕潤灌溉를 주로 하였던 慣行灌溉方法에 比하여 點滴灌溉는 (1) 灌溉用水의 節約 (2) 勞動力 節減 (3) 雜草發生 抑制 (4) 病蟲害 發生 抑制 (5) 施肥의 自動化 등의 利點이 있기 때문에 施設園藝作物의 集約栽培에는 點滴灌溉方法이 우수하다고 認識되고 있다.

이러한 點滴灌溉施設의 運用을 自動化하는 System은 土地 生産性的의 增大 뿐만 아니라 農業 省力化에 따른 勞動 生産性的의 增大를 가져 오기 때문에 營農上의 複合的인 效果와 農業의 現代적인 經營에 중요한 역할을 하게 된다.

點滴灌溉 自動化 System에서는 土壤水分, Plant water 蒸發散量의 推定值 등의 制御 媒體中에서 어느 것을 선택하는가 하는 것이 문제이나 土壤水分을 制御媒體로 이용하는 것이

보편적인 방법이다.

土壤水分을 制御媒體로 이용하는 點滴灌溉의 自動化 System에서는 灌溉率에 따른 土壤水分의 侵入能, 濕潤境界面의 水平 및 鉛直距離, 總 灌水量에 따른 濕潤體積의 變化 등의 土壤 濕潤樣相을 통하여 Emitter의 간격, Sensor의 埋設範圍 및 適定灌水量을 효과적으로 決定할 수 있다. 農業先進國에서는 이 分野에 대한 研究가 활발히 進行되고 있으나 우리나라에서는 대단히 未洽한 實情이다.

本 研究에서는 우리나라의 밭 作物栽培, 특히 施設園藝部分에 點滴灌溉의 自動化 System을 導入하기 위한 基礎研究로써 灌溉率과 Emitter의 埋設깊이에 따른 Sandy loam 土壤의 濕潤樣相을 究明하고자 하였다.

II. 研究史

1. 濕潤境界面의 進行速度와 進行距離

Kostiakov(1932)는 濕潤境界面의 進行速度와 進行距離에 관하여 다음과 같은 經驗式을 發表 하였다.

$$i = a \cdot k \cdot t^{-1} \quad z = k \cdot t^{\dots\dots} \quad (1)$$

여기서 i: 濕潤境界面の 進行速度

a, k: 係數

1) 식은 지금까지 發表된 여러가지의 經驗式 중에서 式的 單純性 때문에 가장 많이 이용되고 있다.

Philip(1957)은 Recharad의 방정식을 기초로 하여 다음 식을 발표 하였다.

$$i = 1/2 \cdot Kt^{-1/2} + C \quad z = kt^{1/2} + ct^{\dots\dots} \quad (2)$$

여기에서 k, c: 常數

z: 濕潤境界面の 進行距離

그리고 Longenecker & DeTar(1980)는 다음 식에 의하여 濕潤境界面の 鉛直距離를 구할 수 있다고 하였다.

$$z = (2kh/n)^{0.5} \cdot t^{0.5} + k/n \cdot t^{\dots\dots} \quad (3)$$

2. 土壤의 濕潤樣相

Brandt(1971)는 濕潤帶(Wetted zone)의 전체 모양은 點滴流量에 따라서 달라진다고 하였다. 즉 點滴流量이 감소하면 濕潤帶의 鉛直成分이 커지고 水平成分은 적어 진다는 것이다.

Goldberg(1976)는 Point source에서 土壤水分의 水平移動에 있어서

Hatzerim (medium loess) soil의 경우

$$H = (0.11q + 7.2) Q^{0.5} + 35^{\dots\dots} \quad (4)$$

kfar Hayarok (heavy) soil의 경우

$$H = (0.21q + 2.54) Q^{0.5} + 28.6^{\dots\dots} \quad (5)$$

여기에서 H: 水平濕潤距離

q: 單位時間當 供給流量

Q: 總 灌溉量

의 關係가 있음을 밝혔다.

Hachum & Alfaro(1976)는 鉛直浸透와 水平浸透로써 생기는 二次元的 濕潤樣相이 반타원형 이라고 밝혔다. 또한 經過時間에 따른 鉛直濕潤距離를 對數用紙에 plot 한 結果, Silt loam에서는 평균 기울기가 0.5이므로 濕潤境界面の 鉛直進行은 $t^{0.5}$ 의 函數이며 重力作用이 거의 없다고 하였다. 그러나 Loamy sand에서의 평균 기울기는 0.57이었으며 Silt loam보다 모래함량이 많은 土壤에서는 重力作用 때문에 평균기울기가 다소 높아진다고 하였다.

Bresler(1977)는 Gilat (loam) soil과 Nahal Sinai (sand) soil을 대상으로 點滴灌溉를 한 결과, 供給流量이 增加되고 飽和水利傳導度가 낮은 조건에서는 濕潤境界面の 水平成分이 커지고 鉛直成分은 감소 한다고 하였다.

Roth(1982)는 Superstition fine sand에 點滴灌溉를 한 결과, 總灌溉量 (Q)과 總 濕潤體積 (VS) 사이에는 다음과 같은 關係가 있음을 밝혔다.

$$VS = 7.83 \cdot Q^{0.994}^{\dots\dots} \quad (6)$$

또한 最大水平濕潤距離(H_m)와 最大鉛直濕潤距離(V_m)와의 사이에는

$$H_m = 2.90 \cdot V_m^{0.652} \dots\dots \quad (7)$$

의 關係가 있었다고 報告 하였다.

III. 材料 및 方法

1. 土壤水分 測定用 土壤槽

Fig. 1과 같이 18 * 18 * 0.9m크기의 土壤槽를 合板으로 만들었다. 壁體에는 過剩水分의 影響을 막기 위하여 Filter用 土木纖維를 布設 하였고 바닥에는 有孔 PVC 管을 埋設하여 排水하였다.

Beckman社 製品の Gypsum block을 土壤水分測定用 Sensor 로 使用 하였으며 다짐率이 均一하다는 假定下에 한쪽 方向으로 水平間隔 10

Table-1. Some physical properties of the soil used.

mean particles density	dry bulk density	Particles(%)				pH	texture (USDA)
		sand	silt	clay	gravel		
2.70	1.22	72.0	13.5	6.5	8.0	5.9	Sandy loam

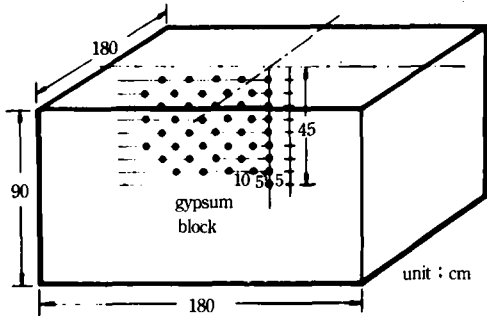


Fig. 1. Layout of the gypsum block installed in the soil bin.

cm, 鉛直間隔 5cm마다 Sensor를 埋設하였다.

2. 供試土壤 및 흙의 다짐

가. 供試 土壤

供試土壤의 物理的 性質은 table-1과 같으며 USDA의 土性三角圖에 의한 土性은 砂質壤土 (Sandy loam)이다. 그리고 供試土壤의 水分특성곡선은 Fig. 2와 같다.

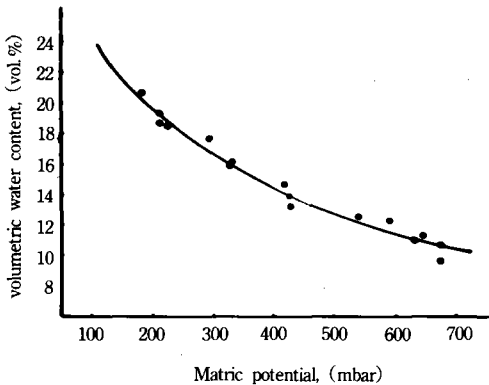


Fig. 2. Soil moisture characteristic curve of the tested soil.

나. 供試 土壤의 다짐

土壤槽內에서 供試土壤을 5cm두께로 펴고 Fig. 3과 같은 Plate Penetrometer와 Fig. 4의 補正曲線을 利用하여 支持力(kg/cm²)이 1.04~1.21이 되도록 均一하게 다졌다. 그리고 供試土壤의 初期水分含量은 10.7~11.1%가 維持되도록 하였다.

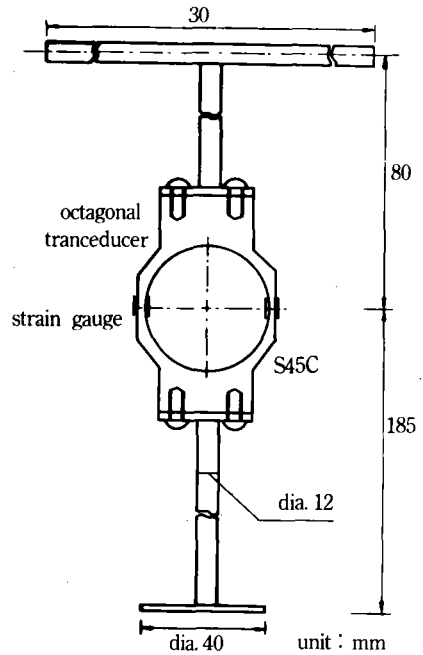


Fig. 3. Schematic diagram of the plate penetrometer.

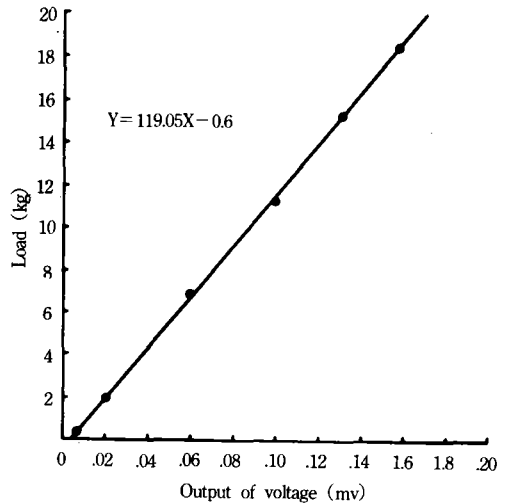


Fig. 4. Calibration curve of the plate penetrometer used in the experiment.

3. 灌溉 方法

용량이 180리터인 水槽를 土壤槽에서 3m높이 에 設置하고 直徑 5mm인 軟質 PVC管에 附着한 Multi-Outlet emitter를 통하여 點滴 灌溉하였다.

總 灌溉量은 14.62ℓ로 하였고 灌溉率은 2, 4, 6, 8 ℓ/hr.로 變化시켰다.

灌溉方法은 表面點滴灌溉와 地下點滴灌溉로 하였다. 表面點滴灌溉는 Emitter를 供試土壤 表面에 설치하였고 地下點滴灌溉는 Emitter를 表面에서 20cm깊이에 설치하고 點滴灌溉를 하였다.

4. 濕潤境界面(Wetting front)의 測定

灌溉後 供試土壤의 有效水分率이 100%에 도달하는 시간을 測定하여 水平 및 鉛直방향 濕潤樣相을 觀測하였으며 有效水分率이 100% 되는 點들을 연결하여 濕潤境界面으로 定하였다.

IV. 結果 및 考察

가. 濕潤境界面の 進行樣相

1) 水平方向

表面點滴灌溉에서 灌溉率을 2, 4, 6, 8 ℓ/hr.로 變化시켰을 때 經過時間에 따른 水平方向의 濕潤樣相을 Fig. 5에 나타내었다. 灌溉率이 4, 6, 8 ℓ/hr.인 경우에는 水平距離가 비슷한 경향으로 커졌으나 2 ℓ/hr.인 경우에는 120분 경과 후 부터 完滿하게 進行 되었다. 이러한 結果는 灌溉率이 커지면 물의 移動速度가 빨라 진다는 사실을 보여준 것이라고 思料된다.

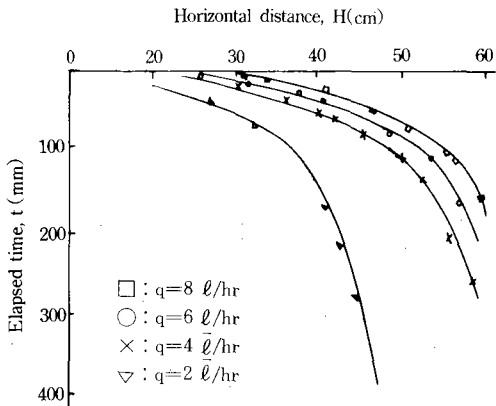


Fig. 5. Horizontal distance to wetted front vs elapsed time at surface trickle irrigation for various irrigated amounts.

2. 鉛直方向

表面點滴灌溉에서 經過時間에 따른 濕潤境界面の 鉛直方向 進行은 Fig. 6과 같다. 灌溉率이 6, 8 ℓ/hr.의 경우에는 經過時間에 따라서 濕潤境界面이 같은 경향으로 進行 하였으나 4 ℓ/hr.인 경우에는 100분이 경과한 후 부터, 2 ℓ/hr.의 경우에는 50분후부터 進行距離가 점차 둔화되었다. 地下點滴灌溉에서 경과시간에 따른 濕潤境界面の 鉛直方向進行은 Fig. 7과 같다. 灌溉率이 4, 6, 8 ℓ/hr.인 경우에는 經過時間에 따라서

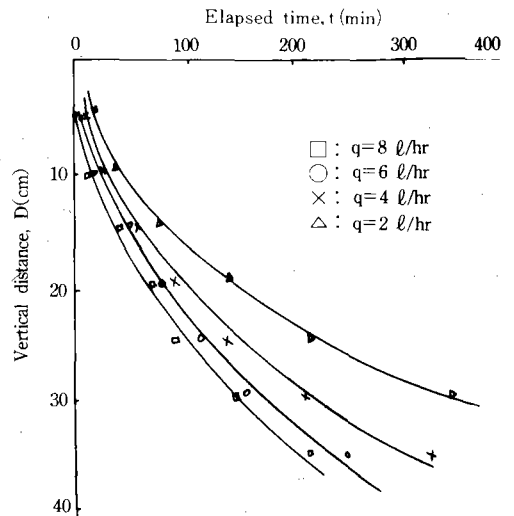


Fig. 6. Vertical advancement of wetted front vs elapsed time in surface trickle irrigation for various irrigated amounts.

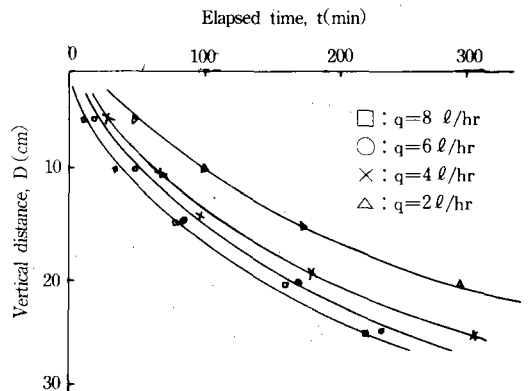


Fig. 7. Vertical distance to wetted front vs elapsed time at subsurface trickle irrigation for various irrigated amounts.

灌溉境界面이 거의 같은 경향으로 진행되었으나 2 l/hr.의 경우에는 濕潤境界面の 진행이 다소 떨어졌다. 灌溉率이 2, 4, 6, 8 l/hr.로 變化하였을 경우에 濕潤境界面の 鉛直進行距離는 經過時間 100분을 기준으로 할 때 表面點滴灌溉에서는 각각 17.5, 20.5, 22.0, 25.0cm로 나타났으나 地下點滴灌溉時에는 10.4, 13.6, 15.0, 16.8cm로써 平均 7.3 cm가 적었다.

이러한 結果는 毛管上昇作用 때문에 鉛直方向 進行이 장애를 받았기 때문이라고 判斷된다.

3. 濕潤領域의 變化 樣相

總 灌溉量 14.62 Liters를 2, 4, 6, 8 l/hr.의 灌

溉率로 表面點滴灌溉를 하였을 때 有效水分率 100%에 도달한 濕潤樣相은 Fig. 8과 같았다. 灌溉率이 2 l/hr.인 경우의 濕潤樣相은 最大水平距離가 28.0cm, 最大鉛直距離는 34.5cm인 半球形이었으며 Hachum & Alfaro⁷⁾의 研究結果와 잘 一致하였다. 灌溉率에 따라 水平濕潤距離에 대한 鉛直濕潤距離의 比를 比較하였던 바 2 l/hr. . 4 l/hr. . 6 l/hr. . 8 l/hr. 인 경우는 각각 1.21, 1.10, 1.05, 1.00으로서 灌溉率이 적으면 水平濕潤보다 鉛直濕潤領域이 컸으나 灌溉率이 커지면 점차적으로 鉛直濕潤領域은 적어 지고 水平領域이 커졌으며 이러한 結果는 Brandt¹⁾의 研究內容과 같았다.

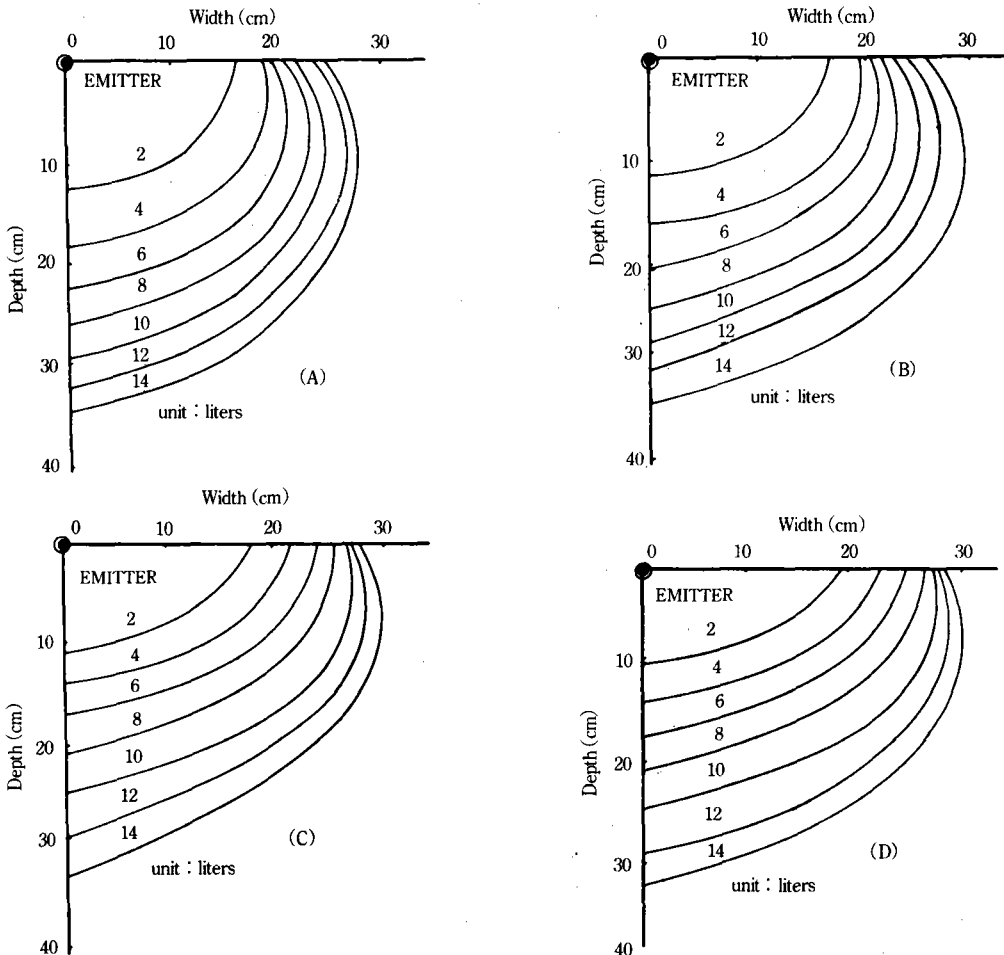


Fig. 8. Wetted patterns in surface trickle irrigation by $Q=14.62$ liters, (a) $q=2$ l/hr. (b) $q=4$ l/hr. (c) $q=6$ l/hr. (d) $q=8$ l/hr.

Roth(1974)는 砂質土에 대한 實驗에서 水平 濕潤距離는 50cm, 鉛直 濕潤距離는 80cm로 나타났으며 그 비가 1.6이었다고 보고 하였다. 따라서 本 研究의 結果值보다 값이 높았으나 이러한 차이는 供試土壤보다 砂質土에서는 重力 Potential이 크게 작용 하였기 때문이라고 判斷된다.

Tsutomu¹⁶⁾은 殖壤土에 表面點滴灌溉를 한 결과 鉛直方向 보다 水平 濕潤領域이 컸는데 이는 灌溉強度가 컸기 때문이라고 밝혔다. 또한 Bresler²⁾는 Gilat(loam)土壤에서 灌溉率이 8 l/hr.인 경우에 水平 濕潤距離가 32cm, 鉛直 濕潤距離가 20cm이던 것이 20l/hr.로 灌溉率을 크게 하였더니 水平 濕潤距離가 54cm로 增加한 反面에 鉛

直 濕潤距離는 15cm로 減少하였다고 本 研究의 結果와 일치하는 報告를 하였다.

灌溉率이 2 l/hr., 4 l/hr., 6 l/hr., 8 l/hr로 변화하였을 때 地表面의 濕潤境界面의 크기는 26~28cm이었다. Goldberg⁷⁾의 經驗式에 의하면 31.7~33cm로 나타났으나 이러한 結果는 土壤의 종류 때문인 것으로 思料된다.

따라서 深根性作物을 대상으로 點滴灌溉를 할 때에는 灌溉率을 적게 하고 淺根性作物에 대해서는 灌溉率을 크게 하는 것이 用水節約面에서 유리하다고 推定된다. Sensor는 灌溉率의 변화에 따라 약간의 차이가 있으나 表面點滴灌溉에서는 Emitter를 中心으로 水平距離는 28~30cm, 鉛直

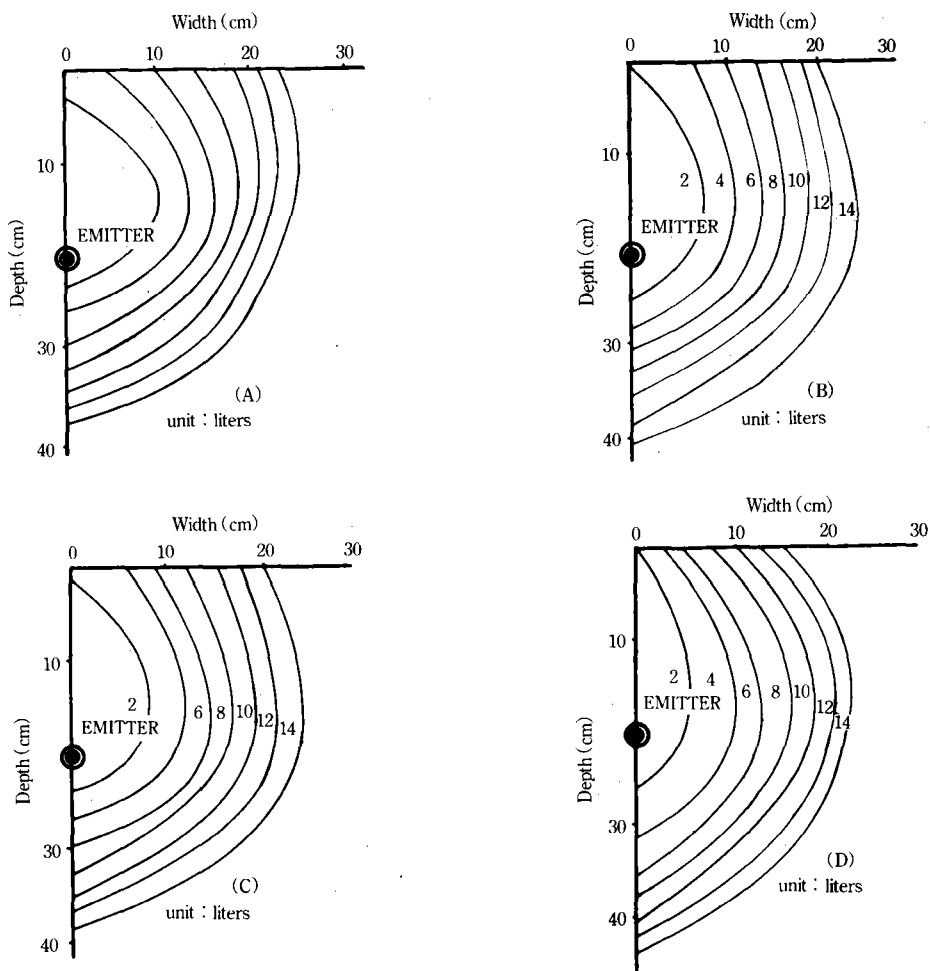


Fig. 9. Wetted patterns in subsurface trickle irrigation by $Q=14.62$ liters, (A) $q=2$ l/hr. (B) $q=4$ l/hr. (C) $q=6$ l/hr. (D) $q=8$ l/hr.

距離는 最大水平距離가 나타나는 10~20cm 위치에 埋設하는 것이 適當하며 Emitter의 水平間隔은 60cm로 하는 것이 濕潤體積의 증침을 피할 수 있는 最大 間隔이라고 사료된다.

總 灌溉量 14.62 Liters를 2, 4, 6, 8 l/hr.의 灌溉率로 地下點滴灌溉을 하였을 때 有效水分率 100%에 도달한 濕潤領域은 Fig. 9와 같다. 灌溉率에 따라 水平濕潤距離에 대한 鉛直濕潤距離의 比를 비교 하였던 바 2 l/hr. 4 l/hr. 6 l/hr. 8 l/hr.인 경우에는 각각 1.91, 1.64, 1.54, 1.52로써 灌溉率이 커질수록 最大水平濕潤距離에는 변화가 없었으나 地表面의 水平濕潤距離가 커졌으며 鉛直濕潤距離는 반대로 줄었다. 그리고 表面點滴灌溉과 비교해 볼 때 鉛直濕潤距離는 반대로 줄었다. 그리고 表面點滴灌溉과 비교해 볼 때 鉛直濕潤距離는 6~9cm로 커졌으며 水平濕潤距離는 4.5~9cm 줄었다.

따라서 Sensor는 灌溉率에 따라 약간의 差異가 있으나 地下點滴 灌溉에서는 Emitter를 중심으로 水平距離는 22~25cm, 鉛直距離는 最大水平距離가 나타나는 10~17cm 위치에 埋設하는 것이 適當하며 Emitter의 水平間隔은 50cm로 하는 것이 濕潤體積의 증침을 피할 수 있는 最大 간격이라고 사료된다.

4. 灌溉量과 濕潤體積과의 關係

總 14.62 Liters를 點滴灌溉 하였을 때 有效水分率이 100%되는 濕潤體積은 灌溉率에 따라 濕潤樣相(Wetted pattern)은 달랐으나 總 濕潤體積에는 큰 차이가 없었다.

Fig. 10은 總 灌溉量에 대한 總 濕潤體積과의 關係를 나타낸 것이다. 指數가 1에 가까운 것은 濕潤體積이 灌溉率과는 無關하다는 事實을 보여준 것으로 判斷된다.

Roth(1982)는 Superstition fine sand를 대상으로 點滴灌溉을 하였을 때 灌溉率의 變化에 따른 濕潤體積(VS)과 總 灌溉量(Q)과의 關係가 $VS = 7.83 Q^{0.91}$ 였다고 밝혔으며 本 研究의 結果와 잘 일치 하였다.

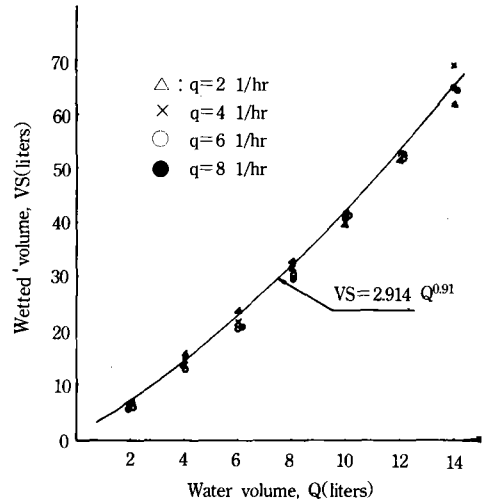


Fig. 10 Regression results for wetted soil volume (VS) and total water(Q).

5. 濕潤樣相의 模型化

가. 模型의 選定

1) 濕潤境界面의 進行距離

Kostiakov(1932)의 經驗式을 基本模型으로 選定하였다. 이식은 模型의 單純性 때문에 현재 가장 널리 사용되고 있는 것이기도 하다.

$$D = A * t^b$$

여기서 D: 濕潤境界面의 水平(또는 鉛直方向) 濕潤距離

A, b: 係數

2) 濕潤境界面의 進行速度

濕潤境界面의 進行速度 i는 總 灌溉時間동안의 累加侵入量 z를 時間 t에 대하여 微分한 것으로 나타낼 수 있다. 즉

$$i = dz/dt$$

여기에서 z: 累加侵入量

累加侵入量 z는 濕潤거리에 土壤水分 未恰量을 補한 것, 즉

$$Z = D \cdot \Delta\theta$$

$$\text{단 } \Delta\theta = \theta_s - \theta_i$$

여기에서 θ_s : 土壤의 飽化 水分量

θ_i : 土壤의 初期 水分量

이 된다. 따라서

$$\begin{aligned}
 i &= dz/dt \\
 &= d(D \cdot \Delta\theta)/dt \\
 &= \Delta\theta \cdot d(A \cdot t^b)/dt \\
 &= \Delta\theta \cdot A \cdot b \cdot t^{b-1} \\
 &= A \cdot t^b
 \end{aligned}$$

가 된다.

3) 最大 水平濕潤距離와 最大 鉛直濕潤距離와의 關係

$$Hm = a \cdot (Dm)^b$$

여기에서 Hm : 最大 水平濕潤距離

Dm : 最大 鉛直濕潤距離

a, b : 係數

로 나타내어 模型化 하였다.

나. 媒介變數의 推定

1) 濕潤境界面の 進行距離

Green & Ampt⁸⁾, Philip¹³⁾, 그리고 Longenecker¹¹⁾는 浸透距離가 $t^{0.5}$ 에 比例한다고 밝혔다. 그러나 本 實驗에서는 濕潤境界面の 水平濕潤距離(H)를 經過時間 t의 函數, 즉 $H = A \cdot t^b$ 로 나타내었을 때 b의 값은 Table-2와 같이 $0.22 < b < 0.26$ 이었다. Philip¹³⁾등은 Soil column내에서 一次元的인 解析을 하였으나 點滴灌溉는 三次元으로 일어나기 때문에 이러한 差異가 발생한 것으로 推定된다.

濕潤境界面の 鉛直進行距離(D)를 經過時間 t의 函數, 즉 $D = A \cdot t^b$ 로 나타내었을 때 媒介變數 b의 값은 Table-3과 같이 表面點滴灌溉에서는 $0.61 < b < 0.75$, 地下點滴灌溉에서는 $0.49 < b < 0.68$ 이었다. 이러한 結果는 Philip¹³⁾등이 밝힌 값보다는 약간 높으나 silt loam 土壤보다 모래함량이 많은 土壤에서는 重力作用때문에 b의 값이

Table-2. Estimated model parameters for predicting the horizontal advancement of wetted front.

Irrigated method	Emitter flow rate (ℓ/hr)	A	b	r	r(p=0.05)
Surface trickle irrigation	2	13.19	0.219	0.984	0.950
	4	13.66	0.264	0.989	0.811
	6	16.46	0.252	0.992	0.754
	8	20.12	0.216	0.998	0.811

* $H = A \cdot t^b$
 H : horizontal distance (cm)
 t : elapsed time (min)

Table-3. Estimated model parameters for predicting vertical advancement of wetting front.

Irrigated method	Emitter flow rate (ℓ/hr)	A	b	r	r(p=0.05)
Surface trickle irrigation	2	0.932	0.612	0.981	0.811
	4	0.929	0.655	0.973	0.754
	6	0.802	0.712	0.979	0.754
	8	0.724	0.748	0.978	0.754
Subsurface trickle irrigation	2	0.410	0.680	0.999	0.950
	4	1.240	0.489	0.993	0.878
	6	0.960	0.586	0.996	0.878
	8	1.410	0.511	0.994	0.878

* $D = A \cdot t^b$
 D : Vertical distance(cm)
 t : Elapsed time(min)
 A, b : Coefficients

다소 높았다고 밝힌 Hachum등⁹⁾의 研究內容과 잘 일치 하였다.

2) 濕潤境界面の 進行速度

濕潤境界面の 水平方向 進行速度에 대한 模型의 媒介變數를 推定한 結果는 Table-4.와 같다. 그리고 濕潤境界面の 鉛直方向 進行速度를 經過時間 t에 관한 函數로써 灌溉率에 따라 模型化 結果는 Table-5와 같다.

3) 最大水平濕潤距離와 鉛直濕潤距離와의 關係

水平濕潤距離 (Hm)와 鉛直濕潤距離 (Dm)의 關係를 模型化 하였을 때 灌溉率에 따른 媒介變數 a, b의 값은 Table-6.과 같이 $14.1 < a < 22.1$, $0.29 < b < 0.40$ 이었다.

Roth(1982)는 Superstition fine sand에서 水平濕潤距離(Hm)와 鉛直濕潤距離(Dm)사이에는 $Hm = 2.90 \cdot Dm^{0.652}$ 의 關係가 있다고 하였다. 따라서 b 값이 本 研究의 結果值보다 큰 이유는 砂質土이므로 重力作用을 받았기 때문이라고 判斷된다.

Table-4. Evaluated model for predicting the velocity of horizontal wetting front.

Irrigated method	Emitter flow rate (ℓ/hr)	Evaluated equation
surface	2	$i_H = 0.887 t^{-0.781}$
irrigation	4	$i_H = 1.107 t^{-0.736}$
	6	$i_H = 1.287 t^{-0.732}$
	8	$i_H = 1.335 t^{-0.753}$

Table-5. Evaluated model for predicting the velocity of vertical wetting front.

Irrigated method	Emitter flow rate (ℓ/hr)	Evaluated equation	
Surface trickle	2	$i_D = 0.175 t^{-0.388}$	
	irrigation	4	$i_D = 0.187 t^{-0.345}$
		6	$i_D = 0.175 t^{-0.288}$
		8	$i_D = 0.166 t^{-0.252}$
Subsurface trickle	2	$i_D = 0.086 t^{-0.320}$	
	irrigation	4	$i_D = 0.186 t^{-0.511}$
		6	$i_D = 0.173 t^{-0.414}$
		8	$i_D = 0.221 t^{-0.489}$

Table-6. Estimated model parameters for predicting the maximum horizontal advancement and maximum vertical advancement of wetted front.

Irrigated method	Emitter flow rate (ℓ/hr)	a	b	r	
Surface trickle	2	14.286	0.342	0.998**	
	irrigation	4	14.072	0.403	0.999**
		6	17.857	0.353	0.999**
		8	22.087	0.289	0.999**

* $Hm = a \cdot Dm^2$

Hm = maximum horizontal advancement of wetted front

Dm = maximum vertical advancement of wetted front

** : significant at p=.001

V. 結 論

點滴灌溉時 土壤의 濕潤樣相을 究明하기 위하여 砂質壤土(sandy loam)을 支持力이 1.04~1.22 kg/cm²가 되도록 다진 土壤槽內에서 總 灌溉量을 14.62liter로 定하고 表面點滴과 地下點滴으로 灌溉하되 灌溉率을 2, 4, 6, 8ℓ/hr.로 하였다. 그

리고 Gypsum block을 利用하여 濕潤境界面の 移動거리, 侵入能 및 土壤濕潤樣相 등을 調査한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 濕潤境界面の 水平濕潤距離(H), 鉛直濕潤距離(D), 水平方向(i_H) 및 鉛直方向(i_D)의 侵入能은 모두 時間 t의 函數로 나타낼 수 있었다.
2. 表面點滴灌溉時 $H = a \cdot t^b$ 에서 b의 값은 0.

21~0.26이었고, 灌溉率에 따라 큰 差異가 없었다.

3. 表面點滴灌溉時 $i_H = A \cdot t^{(1-b)}$ 의 A 값은 灌溉率이 커질수록 增加하는 傾向이었으며 그 範圍는 0.89~1.34이었다.

4. 表面點滴灌溉時 最大水平濕潤距離 (Hm)에 對한 最大鉛直濕潤距離(Dm)의 比는 1.0~1.21 이었으며 灌溉率이 커질수록 Dm은 減少하고 Hm은 增加하는 경향이었다.

5. 表面點滴灌溉에서 Sensor는 灌溉率에 따라 약간의 차이가 있으나 Emitter를 중심으로 水平距離 28~30cm, 鉛直距離는 10~12cm되는 위치에 埋設하는것이 적합하며 Emitter의 最大水平 間격은 60cm이었다.

6. 鉛直濕潤距離(D)의 경우, $D = a \cdot t^b$ 에서 b의 값은 灌溉率에 따라 약간씩 差異가 있었다. 表面點滴의 경우는 0.61~0.75, 地下點滴의 경우는 0.49~0.68의 範圍이었다.

7. 鉛直方向 浸入能 (i_D)의 경우, $i_D = A \cdot t^{(1+b)}$ 에서 A의 값이 表面點滴灌溉時에는 0.16~0.19이었고 地下點滴灌溉時는 0.09~0.22 범위로서 表面點滴灌溉에서는 灌溉率에 따라 큰 차이가 없었으나 地下點滴灌溉에서는 灌溉率이 커질수록 A값도 增加하는 傾向이었다.

8. 地下點滴灌溉時 D_m/H_m 은 1.52~1.91 이었으며 灌溉率이 커질수록 그 比率은 減少하는 傾向이었다.

9. 地下點滴灌溉에서 Sensor는 灌溉率에 따라 약간의 차이는 있으나 Emitter를 중심으로 水平距離는 22~25 cm, 鉛直距離는 10~17 cm되는 위치에 埋設하는것이 적합하며 Emitter의 最大 水平 間격은 50 cm이었다.

10. 土壤水分 條件이 圃場용수량에 到達된 土壤 濕潤體積 (VS)와 總 灌溉量(Q)과의 關係는 $VS = 2.914Q^{0.91}$ 로써 灌溉率과는 無關하였다.

參 考 文 獻

1. Bresler, G. M., E. Bresler, N. Diner, I. Ben-Asher, J. Heller, D. Goldberg. 1971. Infiltration from a trickle source. I. Mathematical models.

Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35 : 675-682.

2. Bresler, E. 1975. Two-dimensional transport of solutes during non-steady infiltration from a trickle source. Soil Science Society of America Proceedings. 39 : 604-613.

3. _____. 1977. Trickle-drip irrigation : Principles and application to soil-water management. Advance in Agronomy. 29 : 343-393.

4. Bresler, E., J. Heller, N. Diner, I. Ben-Asher, A. Brant, and D. Goldberg. 1971. Infiltration from a trickle source : II. Experimental data and theoretical prediction. Soil Science America Proceedings. 35 : 683-689.

5. Collis-George, N. 1977. Infiltration equation for simple soil system. Water Resources Research. 13 (2) : 395-403.

6. Ghanim, B. S., M. N. Nimah and F. Kamand. 1985. A model to predict emitter spacing from basic soil data. Proceedings of the Third International Drip/Trickle Congress. ASAE : 724-729.

7. Goldberg, D., B. Gornat, and R. Rimon. 1976. Drip irrigation : Principles design and agricultural practices. Drip Irrigation Scientific Publication. Kfar Shmaryahu, Israel.

8. Green, W. H. and G. A. Ampt. 1911. Studies on soil physics. I. The flow of air and water through soils. Journal of Agric. Science 4 : 1-24.

9. Hachum, A. Y., J. F. Alfaro and L. S. Willadson. 1976. Water movement in soil from trickle source. ASCE Proceedings of Irrigation and Drainage Division, June : 179-193.

10. Kostiakov, A. N. 1932. On the dynamic of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration Tran. 6th Com. Inter. Soc. Soil Science. Pussian Rart A : 17-21.

11. Longenecker, G. W and W. R. DeTar. 1980. New techniques for scheduling trickle irriga-

- tion. ASAE Technical Paper No. 80-2061 : 1-14.
12. Nakayama, F. S. and D. A. Ducks. 1986. Trickle irrigation for crop production. Elsevier. New York : 94-116.
13. Philip, J. K. 1957a. The theory of infiltration I. The infiltration equation and its solution. Soil Science 83 : 345-357.
14. Roth, R. L. 1974. Soil moisture distribution and wetting pattern from a point source. In : Proceedings of Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, California : 246-257.
15. Roth, R. L. 1982. Moisture movement from a point source. Ph. D Thesis. The University of Arizona.
16. Tsutomo, N. 1974. The performance test of moisture meter with strain gauge pressure transducers. Trans. of JSIDRE 54 : 11-16.
17. Uri Shani. 1985. Selecting dripper discharge and location to control root distribution. Proceedings of the Third International Drip/Trickle Congress. ASAE. : 718-723.
18. Vermeiren, I and G. A. Jobling. 1980. Localized irrigation design, installation operation, evaluation. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Rome : 9-159.