

資 料

低濕畝의 地下排水 (Ⅲ)

地下排水의 設計 (Ⅲ)

金 在 坤* · 具 閔 瑞*

2. 排水路 間隔(space of drains)

前號에서 說明한 暫定基準을 適用하여 各 試驗 圃의 平均 排水路 間隔을 定流條件의 Hooghoudt equation 을 使用하여 算定하면 다음 表 1과 같다.

表 1. 暫定基準에 依한 各試驗圃의 排水路 間隔

地區名	上層部透水	下層部透水	不透水層	平均間隔
	係數(K ₁)	係數(K ₂)	의 깊이(D)	
	(m/day)	(m/day)	(m)	(m)
晉 城	4,935 × 10 ⁻¹	2,993 × 10 ⁻¹	2.70	30
扶 餘	5.69 × 10 ⁻²	4,995 × 10 ⁻²	1.60	10
玉 亭	1,169 × 10 ⁻¹	1,125 × 10 ⁻¹	1.30	16

* 不透水層의 깊이는 排水深 以下の 깊이임.

같은 基準을 適用하여 前號에서 紹介한 各種 排水式을 使用한 경우의 排水路 間隔을 比較하고 그 差異를 살펴보면 우선 排水方程式 사이에는 아래 表 2와 같은 상당한 差異가 있음을 알 수가 있다.

表 2. 各種 排水方程式別 排水路 間隔

地區名	Hooghoudt	Kirkham	Glover-Dumm
晉 城	30	11.2	34
扶 餘	10	3.4	16
玉 亭	16	6.7	19

위 표에서 Kirkham의 equation에 의한 排水路 間隔은 Kirkham-Toksöz의 Nomograph를 使用하 였음을 밝혀 둔다.

上記 表에서 各 排水方程式間에 計算된 間隔에서 相當한 差異가 發生하고 있는 理由는 첫째, Glover-dumm과 Hooghoudt間에는 Hooghoudt가 排水管에 流入되는 流入低抗에 따른 水頭손실을 排水管에서 不透水層까지의 깊이 D를 等價層의 깊이(Equivalent depth) d로 補完한에 反하여 Glover-Dumm은 이 를 補完하지 않은에서 오는 것이다. 그 差異는 그 령게 크지 않다.

둘째, Hooghoudt와 Kirkham과의 상이점은 J. Wessling이 指摘한 것과 같이 兩者의 理論的 差異에서 유래된 것이다. 이제 Kirkham과 Hooghoudt의 排水方程式의 實際 使用에 따른 差異點을 찾아 보면 아래와 같다.

1) 排水路 上部의 水流量 無視한다면

Hooghoudt와 Kirkham에 의해 算出한 排水路 間隔 사이에는 5% 이상의 差異點이 있으며 實用上 별다른 差異가 없다. 이는

$$h = \frac{qL}{K} F_K \left(\frac{h}{L}, \frac{2r}{L} \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$h = \frac{qL}{K} F_H \left(\frac{h}{L}, \frac{2r}{L} \right) \dots\dots\dots(2)$$

로 表示 될 수 있는 兩者의 排水方程式에서

$$F_K = \frac{1}{\pi} \left[\ln \frac{1}{\pi r} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\cos h \frac{2n\pi r}{L} - \cos \pi \right) \left(\cot h \frac{2n\pi D}{L} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots(3)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{r \sqrt{2}} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{\sin \left(\frac{1}{2} \pi D/L \sqrt{2} \right) \left\{ \cos h(4\pi h/L) - \cos \pi h/L \sqrt{2} \right\}^2}{\pi^2 L \sinh(2\pi D/L)} + \frac{(1-h/L\sqrt{2})^2}{8D/L} \dots\dots\dots(4)$$

※ F_K 및 F_H의 K와 H는 Kirkham과 Hooghoudt의 表示임.

위의 식 (3)과 (4)를 計算하여 比較하면 아래 表 3과 같고 이 F_K에 對한 %로 表示된 F_K-F_H值가 5%를 넘지 않기 때문이다.

(2) 排水路 上部의 水流量 考慮에 넣는다면

排水管에서 不透水層까지의 깊이 D에 比하여 排水管 中央部의 地下水位 h가 작고 上層部의 透水係數 K₁이 下層部의 透水係數 K₂에 比하여 작거나 같을 경우에는 排水管 間隔의 차이는 크지 않다.

그러나 h가 크고 K₁이 K₂보다 큰 경우에는 Hooghoudt에 의한 排水管 間隔은 Kirkham에 의

* 農 業 振 興 公 社

表 3. F_R-H_H 의 값(F_R 에 對한 %)

D/L	$2r/L$							
	0.00100	0.00125	0.00250	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
0.01	0.53	0.62	0.63	0.64	1.36	1.72	3.64	8.64
0.02	1.07	1.09	1.17	1.18	1.33	1.75	2.44	4.67
0.04	1.70	1.74	1.83	1.97	2.13	2.46	2.85	3.31
0.08	2.28	2.34	2.54	2.78	3.07	3.54	3.86	4.26
0.16	2.36	2.43	2.70	3.04	3.49	4.15	4.60	5.00
0.32	1.78	1.85	2.07	2.36	2.75	3.29	3.71	4.09
0.64	0.82	1.01	1.14	1.29	1.51	1.77	2.04	2.27
1.00	2.44	2.57	2.95	3.38	3.85	4.62	5.17	5.80

한 排水路 間隔보다 크게 되며 이 경우 Hooghoudt에 의한 排水管 間隔이 實際와 더 잘 符合한다. 즉, Hooghoudt의 排水方程式

$$L^2 = \frac{8K_2 dh + 4K_1 h^2}{q} \text{에서}$$

右邊의 둘째項 $\frac{4K_1 h^2}{q}$ 이 排水管 上部의 水平 水流를 나타내고 있는데 反해 Kirkham은 排水管 上部의 손실水頭를 앞의 式 (1)에다 $(1 - \frac{q}{K_1})^{-1}$ 를 乘하여 求하고 있으며 이는 二層位인 경우

$$h = \frac{qL}{K_2} \left(1 - \frac{q}{K_1}\right)^{-1} F\left(\frac{D}{L}, \frac{2r}{L}\right)$$

로 表示되고 이것은 排水管 上部의 垂直流만을 나타내고 있다.

따라서 Hooghoudt와 Kirkham 式에 따른 排水管 間隔에 있어서 排水管 上層部의 透水帶의 두께가 下層部의 透水帶의 두께에 비하여 比較的 크거나 下層部의 透水係數에 비하여 上層部의 透水係數가 큰 경우에는 實際의 間隔이 Hooghoudt 式에 의한 間隔計算이 더 實際와 符合되는 것이다.

參考로 Hooghoudt와 Kirkham의 排水管 計算

이 K_1 과 K_2 , 그리고 排水管 中央部의 地下水位 h 및 流出量 q 에 따른 差異의 比較를 위해 아래 表 4에 兩者의 式을 利用한 計算例를 보여준다.

本 事業의 試驗地區에서 實施한 調査에 依해 算出된 各 地區의 排水管 上下部의 透水係數 및 不透水層까지의 깊이를 보면(表 1 參照) 玉亭, 扶餘 地區에서는 上下層의 透水係數가 거의 비슷하나 D 가 h 의 약 2배 정도 밖에 되지 않으며 普城地區에서는 上層部 透水係數가 下層部보다 甚히 크기 때문에 3個 試驗圃가 다같이 排水管 上部의 水平水頭 손실을 無視할 수 없다. 따라서 本 事業에서는 Kirkham의 式보다는 Hooghoudt의 式을 使用하는 것이 더 妥當한 것으로 보인다.

라. 水稻作에 對한 排水基準

水稻作에 對한 排水基準은 田作의 基準이 適正地 下水位의 維持라는 前提와는 그 概念自體를 달리 하고 있다고 할 수 있다. 即, 水稻作에서는 地下水位의 問題가 아니고 水稻根域의 還元狀態의 阻止와 酸素의 供給에 따른 水稻根活力의 增大라는 면에서 土

表 4. Hooghoudt와 Kirkham의 排水管 例

$K_2 \downarrow$	$K_1 \rightarrow$	0.05		0.1		0.5	
		Hh	Kirk	Hh	Kirk	Hh	Kirk
0.05	($h=0.8$) ($q=0.004$)	10	7	11.5	7	20	7
	($h=0.2$) ($q=0.001$)	8	7	8.5	7	16	7
0.1	($h=0.8$) ($q=0.004$)	15	12	16	12	24	12
	($h=0.2$) ($q=0.001$)	14	12	14	12	16	12
0.5	($h=0.8$) ($q=0.004$)	39	39	40	39	42	39
	($h=0.2$) ($q=0.001$)	38	39	39	39	40	39

低濕畝의 地下排水(Ⅱ)

壤中の 持히 作土内の 滲透量의 適正化인 것이다. 水稻는 그 生育期의 大部分을 湛水條件下에서 生育하기 때문에 生態組織上 通氣組織이 特別히 發達되어 있다고 하더라도 土壤의 還元에 따른 各種 有害還元生成物質에 依하여 被害를 받을 可能性이 크며 이로 인해 根活力의 減退와 根活力의 減退에 따른 養分의 吸收障害가 일어나기 쉽다. 따라서 地下排水는 根域의 還元狀態를 酸素供給을 促進시켜 이를 酸化狀態로 만들거나 또는 根域外로 土壤水分을 排除함으로써 有害生成物質을 除去하는 役割을 하는 것이다. 이러한 役割은 反對로 土壤中에서 窒素의 脫窒現象을 誘發할 可能性도 同時에 있다. 即, 畝土壤에 施用한 窒素質肥料는 土壤이 還元狀態에 있는 限 安定된 還元態(암모니아態)로 存在하게 되나 土壤이 酸化狀態로 바뀌면 還元態의 窒素가 酸化되어 窒素態로 바뀌면서 窒素가스로 되어 土壤中에서 脫出하게 된다. 그러므로 畝土壤에서의 適正 滲透量은 土壤의 還元狀態, 還元에 따른 有害生成物의 生成量 및 種類 또한 有害產物을 완충화시킬 수 있는 酸化鐵이나 酸化망간 等の 存在에 따라 달라진다고 할 수 있다.

한마디로 한다면 畝이 老朽化한 경우에는 排水를 통한 滲透量이 커야 하고 그렇지 않은 경우에는 작아야 한다고 할 수 있다. 日本에서는 土壤下部 滲透를 畝面 減水深으로 表示하여 日 20—30 mm 가 水稻의 多收穫을 위해 필요한 條件으로 認定하며 甚한 경우에는 日 50 mm/day 를 地下排水의 基準으로 삼는 경우도 있다고 한다. 그러나 이러한 基準은 一律적으로 우리 나라에 適用할 수는 없다. 日本의 畝는 火山灰土를 母材로 한 有機物의 含量이 큰 土壤이 大部分이어서 還元에 따른 水稻의 被害가 一般的으로 우리보다 크다고 할 수 있기 때문이다.

本事業에서는 地下排水가 水稻作의 增收에 미치는 直接的 效果測定과 同時에 適正 滲透量의 究明에 따른 畝土壤의 排水基準을 樹立하는 것 역시 그 重要한 調查項目의 하나이다.

우선 湛水時의 畝面 減水深을 理論적으로 살펴보면 Kirkham은 湛水下의 地下排水管 流出量을 다음 式으로 表示하고 있다.

$$Q = 4\pi kq$$

$$q = (t+d-r)/f$$

$$f = 2l_n \frac{\tan \pi(2d-r)}{4h} \frac{\tan \frac{\pi r}{4h}}$$

$$+ 2 \sum_{m=1}^{\infty} l_n \left[\frac{\cos h \frac{\pi ma}{2h} + \cos \frac{\pi r}{2h}}{\cos h \frac{\pi ma}{2h} - \cos \frac{\pi r}{2h}} \right. \\ \left. \frac{\cos h \frac{\pi ma}{2h} - \cos \frac{\pi(2d-r)}{2h}}{\cos h \frac{\pi ma}{2h} + \cos \frac{\pi(2d-r)}{2h}} \right]$$

t = 湛水深(m)

d = 地表에서 排水管 中心까지의 깊이(m)

r = 排水管의 半徑(m)

h = 地表에서 不透水까지의 깊이(m)

a = 1/2 排水管 間隔(m)

여기서

排水路의 깊이(d) = 地表下 1 m

排水管의 半徑(r) = 0.04 m

不透水層의 깊이(D) = 排水管下 4 m

地下排水量(q) = 0.005 m/day

排水管 中央의 地下水位(m) = 0.6 m

인 경우의 透水係數와 Hooghoudt 式에 의한 排水管 間隔 및 이 때의 湛水下에서의 排水管 流出量(Q)과 平均 滲透量을 計算해 보면 다음 表 5와 같다.

表 5. 湛水條件下的 排水路 間隔別 平均滲透量

透水係數 (m/day)	間 隔 (m)	排水量(a) (3°/day/m)	平均滲透量 (mm/day)
0.1	10	0.18	18
0.2	20	0.36	18
0.3	25	0.54	22
0.4	30	0.72	24
0.5	35	0.91	26
0.7	40	1.27	32
1.0	50	1.81	36

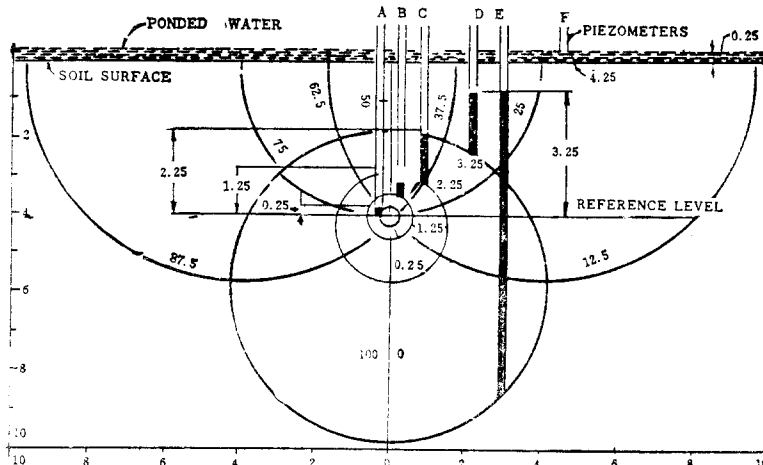
表 5와 같이 理論적으로는 本事業地區인 扶餘, 玉亭의 標準間隔區(12 m區)는 약 18 mm/day 晋城地區의 標準間隔(30 m區)는 약 24 mm/day의 平均 滲透量의 增加가 期待되며 水稻栽培期間의 平均 蒸發散量을 약 6 mm/day 深部 滲透量을 약 3 mm/day 라고 본다면 扶餘, 玉亭地區는 27 mm/day 晋城地區는 33 mm/day의 理論적인 平均 減水深이 發生할 것이 豫想되는 것이다. 現場의 實際 減水深은 앞으로의 測定 結果 調査가 可能할 것이나 우선 理論적인 滲透量으로 본다면 畝裏作期の 地下水位 下降을 前提로 한 本事業의 暫定設計 基準이 畝作을 爲한 必要하고 充分한 基準임을 보이고 있는 것이다.

그러나 湛水下의 平均 滲透量이 增加된다 하더라도

도 이 平均 滲透量을 이루는 地下 排水量의 流線의 分布를 分析하여 본다면 水稻作에 對한 地下排水의 効果는 두 排水管 사이의 位置에 따라 크게 다르게 나타날 것이 豫想된다. 湛水下의 Kirkham의 理論에 依하면 아래 그림 1과 같이 排水管 周圍에 設置한 相異한 피조메타의 等水位에 의해 나타나는 等水位(等壓) 曲線(Equi-potential)에 直角으로 흐르는 流線의 分布는 다음 式과 같이 나타난다.

$$\phi_a = 2q_a \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n (\tan^{-1} \{ \tan h(\pi y - 2nh) / a [\cot(\pi x/a)] \} - \tan^{-1} \{ \tanh(\pi y - 2d - 2nh/a) \cdot \cot(\pi x/a) \})$$

그림 1. 湛水下 排水管의 等壓 및 流線曲線



위 式에서 x 가 0에서 $\frac{a}{2}$ 까지를 代入하며 各 位置別 滲透量을 計算하면 排水管을 中心한 部分에 流線이 集中되어 있음을 알 수 있다. 아래 表는 平均 滲透量을 計算한 위와 같은 條件일 때의 排水路 間隔 30 m의 경우의 排水管에서의 位置別 滲透量을 計算한 表이다.

表 6에 의하면 全滲透量의 50%가 排水管 上部에서 1 m 以內의 좁은 범위내에서 滲透되고 있으며 3 m 以內에서 약 80%가 滲透되고 있다.

이 結論에 따르면 水稻作에서 豫想되는 排水改善의 効果는 湛水時의 增加된 滲透量만을 가지고 論議한다면 排水管에서 3 m 以內에 集中될 것이며 이는 排水方程式에 의한 排水管 間隔 計算 등의 複雜性을 떠나 排水管 깊이에 別 拘碍됨이 없이 排水路 間隔을 약 6 m 內외로 하는 것이 가장 좋다는 結

表 6. 排水管에서의 位置別 滲透量 分布 (間隔 30 m의 경우)

排水路에서의 거리(x) m	全體滲透量에 對한 %	間 隔 m	滲 透 量 mm/day/m ²
0.1	6.5	0-0.1	360
1	51.1	0.1-1	230
2	72.5	1-2	97
3	82.4	2-3	45
4	88.0	3-4	25
5	91.5	4-5	16
6	93.9	5-6	11
7	95.6	6-7	8
8	96.8	7-8	6
9	97.7	8-9	4
10	98.4	9-10	2.9
11	98.9	10-11	2.2
12	99.3	11-12	1.7
13	99.5	12-13	1.3
14	99.8	13-14	1.1
15	100.0	14-15	1.0

論에 到達하지 않음과 생각 된다. 單純히 排水路의 間隔은 總滲透量 또는 平均 滲透量의 크기에 따라 決定하면 좋을 것이다. 그러나 이 경우 畜裹作用을 爲한 地下水位는 全然 考慮되지 않고 있음은 勿論이다.

마. 두더지 暗渠(mole Drain)의 設計基準

두더지 暗渠는 土壤中 粘土 含量이 커서 높은 地下水位에도 不拘하고 暗渠의 耐久性이 保障되는 경우에 低廉한 工事費를 前提로 主로 施工되고 있는 地下排水의 한 方法이다. 두더지 暗渠의 前提條件이 되는 重粘質土壤은 一般적으로 透水係數가 작기 때문에 正常的인 排水方程式에 의하여 間隔計算을 했을 경우 間隔이 너무나 좁게 나오기 때문에 그 經濟性이 問題가 되고 또한 두더지 暗渠의 施工自體가 作土中에 龜裂을 만들어 주기 때문에 이러한 施工을 되풀이했을 경우 土壤의 破碎效果를 期待할 수 있고 透水性을 改良하는 效果를 가져올 수 있는 것이다.

따라서 近來 各國에서 施工되고 있는 두더지 暗渠는 地下水位의 下降을 目的으로 하기보다는 地表水의 滲透를 增大시키는 役割을 위해서 施工하는 경우가 많으며 두더지 暗渠 굴착기 自體에서 적절한 傾斜를 부여할 수 없기 때문에 地表 自體가 1~2%

低濕畝의 地下排水(Ⅱ)

表 7. 各國의 두더지 暗渠 施工 基準

國 名	深 度(m)	間 隔(m)	暗渠直徑(mm)	施 工 條 件
英 國	0.50—0.70	2.5—3	75—100	{경사 1~3% {최저 0.5%
아 일 랜 드	0.40—0.50	1.4—1.8	75—100	
오 스트 라 리 아	0.55—0.65	2	100—110	
오 스트 리 아	0.50—0.60	2—4	100	
서 독	0.50—0.80	2—3 (최고 5)	80—100	{地表傾斜 1—3% {粘土含量 > 25% {粘性係數 > 20—22% {粘土 > 30% 容극량 < 45% {地表傾斜 > 2%
황 가 리	0.65—0.70	—	70	
유 고 스 라 비 아	0.60—0.70	2—4	100—120	

의 自然 傾斜가 있는 條件下에서 鋪設 施工되고 있는 實情이다.

아래 表 7은 各國에서 施工되고 있는 두더지 暗渠의 基準을 F.A.O가 調査한 資料를 表로 묘사한 것이다.

本 事業에서는 두더지 暗渠의 地下排水에 對한 可能性 및 그 耐久性을 調査하기 위하여 扶餘地區에 두더지 暗渠區를 設置하였다. 이 두더지 暗渠區에 適用한 基準은 두더지 暗渠의 깊이 0.5 m 暗渠의 間隔 5 m, 두더지 暗渠의 直徑 50 mm, 이며, 暗渠 末

端部에 길이 2 m의 口徑 50 mm의 P.V.C 管을 接屬시켰다.

後記 以上으로 간단하게 국제연합 한국배수개선 사업기구가 그 동안 活動한 地下排水에 對한 調査設計에 對한 內容을 간단히 資料로써 報告하였다. 앞으로 各 試驗圃에서 調査分析된 資料는 UNDP, F.A.O 및 政府의 方針에 따라 널리 公開되리라 믿으며 다시금 本誌에 紹介드릴 機會가 있으리라 確信한다. —끝—



祝

工 學 博 士

高 學 均

當學會 正會員인 高學均會員은 오랜 研究生活 끝에 博士學位를 받는데 對하여 全 會員과 더불어 祝賀드리는 바입니다.

勤 務 處: 서울大學校 農科大學 農工學科

生 年 月 日: 1939年 12月 6日

學 位 受 與: Kansas State University 大學院

學 位 取 得 日: 1977年 8月 30日

學 位 論 文: Study on the use of Solar Energy for the Regenreation of Silica Gel used for Grain Drying