

흙水路에서 滲透損失에 關한 研究

A Study on the Seepage Loss from Earth Canal

朴 商 鉉* · 金 始 源**
Sang Hyun Park, Shi Won Kim

Summary

This study was carried out to investigate the relation between seepage losses and flow section area in earth canals.

Totally 77 seepage measurement was gained by ponded method and the tested canals belong to the irrigation area of Farmland Improvement Association in each province, Korea.

The results obtained from this study may be used as a reasonable criteria for the estimation of canal seepage losses in the design of irrigation systems.

Obtained results are summarized as follows:

1. Average seepage rates in each Soils is 14cm/day in ML, 6.3cm/day in CL and 24.9cm/day in SM.

2. Water depth and water surface width in eath canals have little influenced on the seepage rate, while the seepage losses was increased in proportion as the water surface width lengthens.

3. A formula of $S=C \cdot A^n$ defining a relationship between seepage losses and flow section was derived as follows.

$$\text{ML: } S=0.35 \sqrt{A}^{1.20} \text{ (m}^3\text{/day/m)}$$

$$\text{CL: } S=0.13 \sqrt{A}^{0.84}$$

$$\text{SM: } S=0.67 \sqrt{A}^{1.56}$$

4. The average seepage loss rates per 1km of canal are as followings.

Measured Time	ML	CL	SM
0-4 hrs	2.2%	0.6%	4.5%
4-24 hrs	1.0%	0.15%	2.0%

In above table we may obtain the following results. The first row is suitable for the canal having short delivery time of irrigation, while the second row for the canal having long delivery time.

* 農業振興公社

** 建國大學校 農科大學

I. 緒 論

는 農事를 中心으로 하여 使用하고 있는 農業用水는 우리나라 물 資源의 利用面에서 실로 큰 比重을 차지하고 있다. 더우기 近年에 와서 急激한 他種 產業의 發展과 人口의 增加로 물 需要量은 날로 增加하는 實情임을 勘案할 때, 물의 合理的인 利用이 時急하게 되었다.

우리나라와 같이 거의 全部가 흙水路를 通하여 送水하는 경우, 水路에서 滲透되는 損失水量은 莫大하여 少要水量 確保에 있어 重要な 問題點으로 擡頭되고 있다. 그러나 아직까지 이에 對한 論證할만한 資料도 미비한 程度로 通水量의 10~20%가 損失될 것이라고 하여 使用하고 있는 實情에 있다.

水路損失에 對한 研究動向을 살펴보면 美國, 印度, 蘇聯 等地에서는 地域別 特性을 考慮한 經驗公式이 使用되고 있으며, 滲透損失量의 分析方法도 從來의 流入 流出量法, 貯溜法, Seepage meter法과 아울러 電氣抵抗 Analog法 等이 修正과 發展을 거듭하고 있는 趨勢이다.

이와 같은 時點에서 本研究는 水路設計에서 適用되어 오던 水路滲透損失率을 糾明하고, 새로운 用水計劃에 參考될 수 있는 滲透量 算定式을 마련코저 試圖되었다. 또한 滲透量에 影響을 미치는 因子는 여러가지가 있으나, 土質別로 通水斷面의 諸元에 따라 概略的인 滲透量을 推定할 수 있다.

그러므로 本研究는 이러한 目的을 갖는 既設 및 新設水路計劃設計와 調查分析에 參考되었으면 한다.

II. 研究史

H. Darcy¹⁾ (1856)가 “透水性 材料에 對한 流體의 흐름에 關한 實驗研究”에서 浸透率은 地下水面 기울기에 比例한다고 한 이래 L. G. Carpenter²⁾ (1898)는 “水路의 滲透損失分析”에서 單位滲透率의 概念을 樹立하였고, Hopson³⁾ (1913)은 “用水計劃에 對한 滲透 및 其他 損失의 經濟的 研究”에서 水路損失은 40~50%라 했다.

J. Kozeny⁴⁾ (1931)는 “均質의 土壤에 있어서 地下水位와 滲透量에 關한 研究”에서 처음으로 Laplace 방정식을 導入하였으며, Robinson A. R²²⁾ (1957) 등은 “水路의 滲透量 測定研究에서 美國 西部地方의 水路損失은 40%가 된다고 했으며, H. Bouwer⁵⁾

(1965)는 “開水路의 理論的 滲透量 推定”에서 電氣抵抗法에 依한 分析結果, 地下水位가 滲透에 影響을 주는 區間은 水路바닥 深이의 10倍의 距離라고 하였다.

V. Vedernikov²³⁾ (1937)는 透水係數와 水路斷面의 크기는 滲透量에 比例한다고 했으며,

Tahal Consulting Engineering LTD⁶⁾ (1969)는 “水路工設計基準”에서 Vedernikov式을 應用한 Pavlovsky公式을 추천하면서 一般的인 흙水路에서의 損失率은 全體 通水量의 1/3 程度라 했다.

農林部²¹⁾ (1969)는 “土地改良事業 設計基準 灌溉編에서 水路中の 損失은 10~20%라고 했으며, 閔¹⁸⁾ (1973) 등은 浸透上 有利한 斷面은 水理上 有利한 斷面보다 水路幅이 2倍된 경우라고 하였으며, 金¹⁹⁾ (1972) 등은 “흙水路內에서의 用水損失에 關한 研究”에서 幹線水路 1km의 水路損失率은 9.64%라고 했으며, 鄭²⁰⁾ (1973) 등은 “흙水路에 對한 滲透損失量 測定에 關한 實驗的 研究”에서 水路內 滲透量은 時間과 水深에 따라 變化率이 다르다고 했다. 한편 農林部, 農業振興公社⁹⁾ (1972)는 “農業用水開發必要水量 基準”에서 水路內 損失을 15%, 20%의 두 경우로 나누어 單位用水量 算定法을 圖表化하였으며 이는 現在까지 우리나라 農業用水 計劃用水量의 算定基準으로 널리 利用되고 있다.

A. Abiodun⁴⁾ (1973)은 “地下水와 滲透量의 比較分析”에서 水路內 비탈면이 急할수록 單位水路幅當 滲透量은 增加함을 圖表化하였으며, H.D. Sharma²⁴⁾ (1979) 등은 “一定 滲透層에서의 滲透量에 關한 研究”에서 滲透量은 水路底幅과 透水層의 깊이에 比例하여 增加한다고 하였다.

K. Subramanya²⁵⁾ (1973) 등은 “흙水路의 局部 Lining에 依한 滲透量 研究”에서 水路底幅과 水深의 比가 9程度의 얇은 水路는 바닥 Lining이 50%의 滲透量을 減少시켰으나 水深이 깊어질수록 비탈면 Lining이 더욱 效果的으로 滲透를 防止하였다고 했다.

또한 辛¹⁰⁾ (1979) 등은 水路損失이 10%에서 25%로 增加할 때 貯水池 內容積은 16.6%가 增加되어 야한다고 했으며, 李¹¹⁾ (1979)는 “農業用水의 合理的 물 管理로 用水節約”이란 報告書에서 農業用水 事業費와 維持管理費의 年次的인 增加에 對하여 合理的인 給水體系와 水路의 Lining 等을 施行하도록 提議하였다.

이와 아울러 農業振興公社¹²⁾ (1979)는 “農業水利施設 調査事業 綜合報告書에서 流入流出量法과 貯溜法에 의한 水路損失量을 測定하여 全國의 水路損失量은 $1.86 \times 10^{-6} \sim 7.36 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{sec}$ 라고 報告하였으며, “발灌設計 便覽”¹⁷⁾ (1980)에 의하면 日本의 愛知用水幹線의 경우 60km區間에서 45.5%의 管理損失量이 생긴다고 하였다.

Ⅲ. 材料 및 方法

1. 調査材料

가. 調査分析期間; 1979. 9~1980. 10

나. 調査範圍; 全國 123個 農地改良組合의 既設

Table-1. Number of Seepage Tests

Provinces Group of soils	gyeong	gang	chung	chung	Jeon	Jeon	Gyeong	Gyeong	Total	Types of Canal		
	-gi	-weon	-bug	-nam	-bug	-nam	-bug	-nam		Mains	second-aries	Terti-aries
Sub total	14	4	5	8	15	12	9	10	77	43	31	3
ML	7	4	2	1	6	2	3	—	25	14	8	3
CL	7	—	—	—	9	—	—	—	17	3	14	—
SM	—	—	3	7	—	9	6	10	35	26	9	—

用水路中 77個所를 Table-1과 같이 規模別로 選定 調査하였다.

(ML), (CL), (SM)로 나누어 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있었다.

다. 調査 內容; 總 77個所의 滲透損失 測定値는

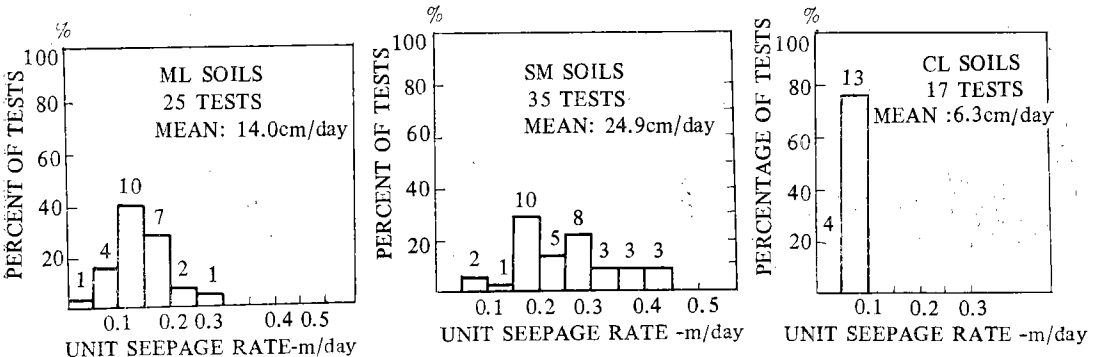


Fig. 1. Histograms of ponded seepage test

2. 調査分析方法

가. 滲透量 測定; 水路의 滲透量은 貯溜法에 依하여 測定하였다. 이는 調査計劃水路의 減水深을 測定하기 爲하여 Fig. 2와 같이 水路區間 10~60m를 上下流 兩端에 Staff gage를 設置하여 水深의 降下量을 時間 別로 24時間동안 測定하고 이와 같은 方法으로 3回 反復 實施하였다.

나. 滲透率 算定; 1日 單位潤邊當 滲透率은 다음 式에 의거하여 算定하였다.

$$S = W \times (h_1 - h_2) \times L / (P \times L) \dots (1)$$

여기서

S: 區間 L에 있어서 單位潤邊當 平均滲透量 ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$)

W: 貯溜區間的 平均水面幅(m)

h_1 : 測定開始의 水深

h_2 : 24時間 後의 水深

P: 平均 潤邊

L: 水路遮斷 區間(m)

Ⅳ. 結果 및 考察

1. 土質別 滲透率

水位 降下量과 水路의 土質 分析結果에 따른 滲透率은 다음과 같다.

Table-2에서와 같이 本 試驗 結果의 土質別 滲透率은 Moritz式¹⁹⁾이나 Idaho²⁰⁾의 分析值보다 작은

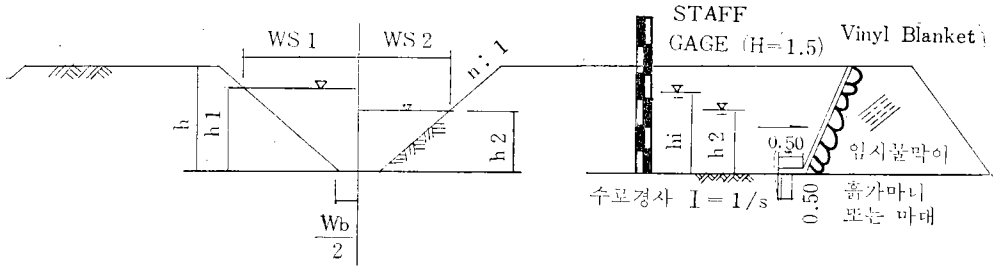


Fig. 2. Section for the Seepage Measurement By Pond Method

Table-2.

土質別 (Group of Soils)	滲透率 (Seepage rates)			
	本試驗 平均値	Moritz C valve	Idaho (pond)	Idaho (Seepage Meter)
ML	14.0cm/day	20.70cm/day	24cm/day	17cm/day
LC	6.30cm/day	10.40cm/day	7cm/day	20cm/day
SM	24.90cm/day	36.60cm/day	29cm/day	26cm/day

값을 나타내고 있다. 이는 본貯溜法이水路흐름에 따른 滲透損失量과 4% 程度로 豫상되는 蒸發損失, 管理損失 및 기타 損失量이 고려되지 않은 까닭이다.

2. 水面幅 水深과 滲透量

가. 水面幅과 滲透量

水面幅(ws)은 Fig. 3,4,5에서와 같이 滲透率(seepage rate)이 증가함에 비례하여 滲透量(canal loss)을 增加시키고 있으며, 이는 R. Worstell²⁾(1976)이 "滲透損失量의 推定"에서 만든 圖表와 類似한 값을 나타내었다.

나. 水深과 滲透量

水路의 水深(H¹)과 滲透率과의 關係에서는 Fig.

6에서와 같이 일정한 關係를 찾아 낼 수 없었다. 閔¹⁸⁾(1972) 等に 의하면 水深이 增加함에 따

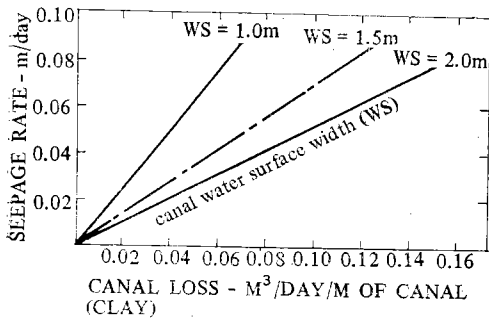


Fig. 3. Chart to aid in estimating flow loss (Seepage rate and canal dimensions known)

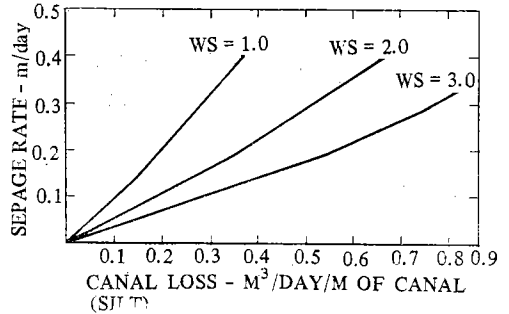


Fig. 4. Chart to aid in estimating flow loss (Seepage rate and canal dimensions known)

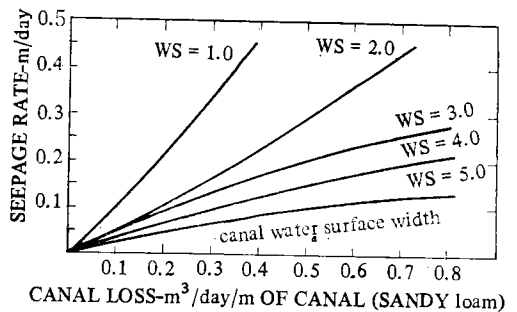


Fig. 5. Chart to aid in estimating flow loss (Seepage rate and canal dimensions known)

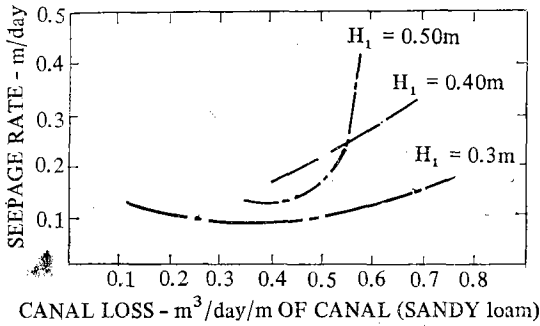


Fig. 6. Relation between seepage rate and depth of water in canal

라 滲透量은 그 제곱근에 比例한다고 했으며, 鄭³(1972) 등에 依해서 水深의 增加함에 따라 滲透量도 增加한다고 했으나 이는 수리모형내의 同一한 條件에서 分析된 것 같으며 各水路別 地下水位와 透水係數가 相異할 때 變化率은 一定치 않은 것으로 思料되었다.

다. $(2B+H)$ 와 滲透量

水路內 滲透는 水路幅과 水深에 對하여 試算式에 의거, pavlovsky式과 比較한 결과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 $(B+2H)$ 는 Q 에 複合的으로 比例하여 增加하며 다음과 같이 나타났다.

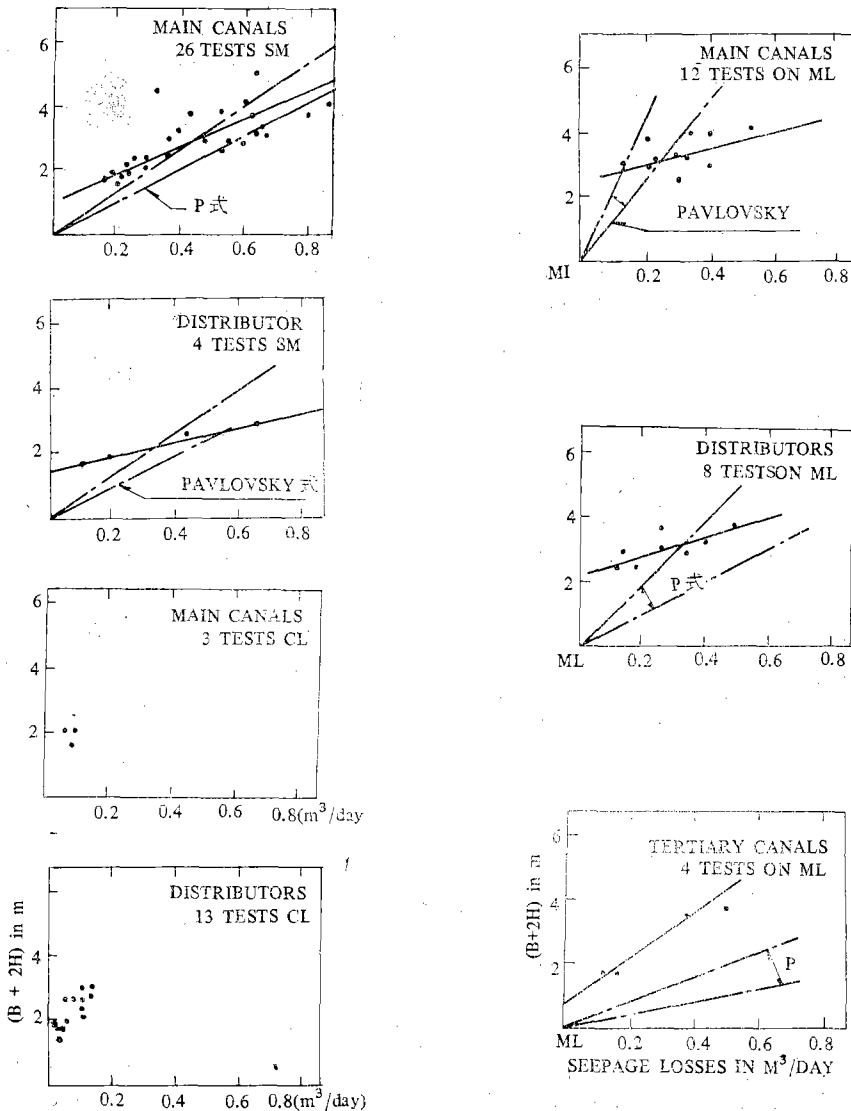


Fig. 7. Relationship between seepage and $(B+2H)$

$$Q = K \times (B + 2H) - C \dots (2)$$

여기서

Q : 滲透 損失量 (cm²/day/m)

K : 土質別 常數

B : 水路 初期 水面幅 (m)

H : 水路 初期 水深 (m)

Table-3. Corelationship between Q and S Pavlovsky formula

Group of Soil	Main Canal	Distributory	Tertiary Canal
ML	$Q = 4(B + 2H) - 9.6$ $Q' = (0.05 \sim 0.08) \times (B + 2H)$	$Q = 0.33(B + 2H) - 0.7$ $Q' = (0.1 \sim 0.2) \times (B + 2H)$	$Q = 0.14(B + 2H) - 0.11$ $Q' = (0.25 \sim 0.45) \times (B + 2H)$
SM	$Q = 0.22(B + 2H) - 0.22$ $Q' = (0.15 \sim 0.20) \times (B + 2H)$	$Q = 0.40(B + 2H) - 0.56$ $Q' = (0.35 \sim 0.45) \times (B + 2H)$	— $Q' = (0.7 \sim 1.0) \times (B + 2H)$

Q : 本 研究 結果에 의한 式

Q' : Pavlovsky 公式

한편 Pavlovsky는 式(2)과 類似한 그의 公式를 算出하였는데 이를 Fig. 7에서 本 研究와 比較한바, 砂質土(SM soil)의 幹線水路에서 거의 同一한 結果를 보여주고 있다.

그러나 기타 土質의 水路에서는 本 研究 結果는 약간 작은 값을 나타내고 있는데 이는 Pavlovsky의 K값이 實測된 滲透係數에 根據하고 있으며, 本貯溜法이 여러가지 滲透損失의 因子를 除外하고 있기 때문인 것으로 思料된다.

3. 通水斷面과 滲透量

測定 初期의 水路 通水斷面과 24時間後의 滲透量과의 關係는 Fig. 8에 나타났으며, 이에 대한 土質別 滲透量과의 通水斷面은 다음의 式으로 導出되었다.

$$ML : S = 0.35 \sqrt{A}^{1.20}$$

$$CL : S = 0.13 \sqrt{A}^{0.84}$$

$$SM : S = 0.67 \sqrt{A}^{1.59}$$

여기서 S = 滲透損失量 (m³/day/m)

A : 通水斷面積 (m²)

이에 대하여 Moritz¹⁹⁾는 水路內 滲透損失量을 流量과 流速關係에 依하여 算出하는 公式를 發表하였으며 이를 本 研究 結果와 Fig. 8에서 比較分析한 結果 Moritz公式이 30~50% 정도의 큰 滲透量을 나타내었다.

이는 Moritz式이 水路의 土質을 7가지로 細分하고 있으나 本 研究는 3가지로 間略하게 分類하였으며 水路 通過流速에 依한 損失量 등이 本 研究에서 考慮되지 못했기 때문인 것으로 思料된다.

4. 1km當 滲透損失量

시간별 감수심 측정결과 本 分析은 測定 初期의

포물선형으로 迅速한 減水를 나타내는 경우와 4時間 後의 比較的 完만한 직선형의 滲透率을 갖는 경

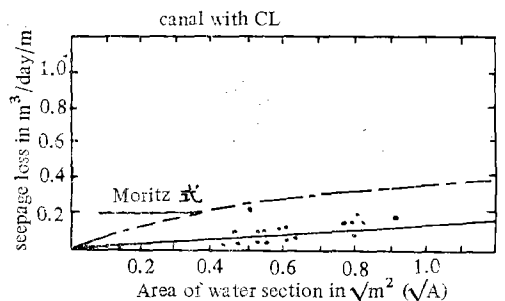
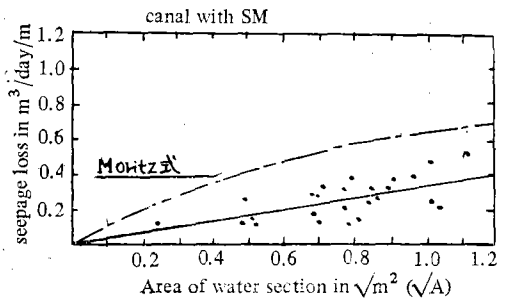
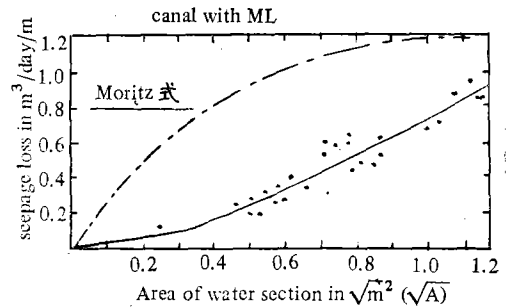


Fig. 8. Relationship between seepage loss and flow section area

우의 두가지로 分析되었다.

測定初期에 水路의 時間別 減水深 測定結果 一定 區間別 滲透損失量은 Table-3에 依據 Fig. 9, 10과 같이 나타난다.

여기서 1km當 水路損失率은 ML의 경우 2.2%/km 이며 CL의 경우 0.6%/km이며 SM의 경우 4.5%/km程度로서 流量이 增加할수록 ML과 CL은 損失率이 減小하였으나 SM은 이와 反對로 增加하였다.

이에 對하여 Tahal⁵⁾은 Moritz式을 應用하여 土質別 滲透率과 流量의 關係를 分析하였으며 流量이 0.2~0.7m³/sec인 경우는 本 研究結果와 유사하였다.

또한 流量이 增加할수록 Tahal의 損失率은 減小하였으나 本 研究結果는 ML과 CL의 경우 약간의 變動이 있을 뿐 SM의 경우는 오히려 損失率이 增加하였다.

이는 本 研究에서 土質을 3가지로 簡略히 分類하였으며 小形의 水路斷面에 局限하여 測定 分析하였기 때문인 것으로 思料된다.

또한 狩野⁴⁾는 流量이 0.7m³/sec 以下の 경우 水路損失率은 2.48%/km라 하였으며, 이와 比較한

結果 本 研究에서 ML의 경우와 유사한 값이며, 그의 分析에서 土質別 流透損失量을 平均한 것으로 思料된다.

또한 滲透率이 比較的 一定해지는 測定開始 4時間後의 分析結果 Table.-3에 依據 Fig. 9, 10에 土質別로 다음과 같이 나타난다. 즉 통수시간과 수로 종단기울기 畷變등을 조사하여 manning 공식에 의한 유속을 산출한 결과로서 ML의 경우는 1km當 1%, CL의 경우 0.15%, SM의 경우 2% 程度였다. 이를 Tahal⁵⁾과 比較한 結果 ML, SM은 流量이 1~2m³/sec의 경우 유사한 값을 나타내었으나 流量이 增加할수록 Tahal의 값은 比較的 減小되었다.

이는 減小初期의 比較分析結果와 같은 이유 및 實際 適用에 따른 安全率과 管理損失等이 包含된 것으로 思料된다.

이와같이 Fig. 9는 流量이 0.2~0.7m³/sec程度에서 短時間에 給水를 計劃할 때 適合하고 Fig. 10은 流量이 0.7~2.0m³/sec程度에서 長時間 給水할 때 適合한 것으로 思料된다.

Table-3. Calculation for seepage loss

Group of Soil	Time		A=0.20m ²			A=0.43m ²			A=0.60m ²			A=1.14m ²			RM.
	Hr	% of s.rate	Wb	H	n	Wb	H	n	Wb	H	n	Wb	H	n	
			0.30	0.3	1.2	0.6	0.4	1.2	1.0	0.4	1.2	1.0	0.6	1.5	
			ΔH	ΔA	ΔA/A	ΔH	ΔA	ΔA/A	ΔH	ΔA	ΔA/A	ΔH	ΔA	ΔA/A	
		%	m	m ²		m	m ²		m	m ²		m	m ²		
ML	0.43	5.5	0.005	0.005	0.025	0.006	0.009	0.021	0.006	0.012	0.020	0.008	0.022	0.019	1km.
	4	27.9	0.024	0.024	0.120	0.031	0.047	0.110	0.033	0.063	0.105	0.044	0.120	0.105	
	8	46.2	0.040	0.039	0.200	0.052	0.078	0.181	0.055	0.104	0.173	0.072	0.194	0.170	
	12	61.9	0.053	0.051	0.260	0.069	0.102	0.237	0.074	0.138	0.230	0.097	0.257	0.225	
	16	76.3	0.066	0.062	0.310	0.085	0.124	0.288	0.092	0.170	0.283	0.119	0.312	0.274	
	24	100.0	0.087	0.080	0.400	0.112	0.160	0.372	0.120	0.220	0.367	0.156	0.400	0.351	
CL	0.31	4.1	0.001	0.001	0.005	0.002	0.002	0.006	0.002	0.003	0.006	0.002	0.007	0.006	1km.
	4	27.0	0.008	0.008	0.040	0.011	0.017	0.040	0.011	0.021	0.035	0.016	0.044	0.039	
	8	44.0	0.014	0.014	0.068	0.018	0.028	0.065	0.018	0.035	0.056	0.026	0.072	0.063	
	12	59.0	0.018	0.018	0.090	0.024	0.037	0.086	0.025	0.058	0.097	0.035	0.096	0.084	
	16	72.0	0.022	0.022	0.110	0.029	0.044	0.100	0.030	0.058	0.097	0.042	0.115	0.131	
	24	100.0	0.031	0.030	0.150	0.040	0.060	0.140	0.042	0.080	0.133	0.059	0.160	0.140	
SM	0.62	6.5	0.006	0.006	0.028	0.009	0.013	0.030	0.011	0.021	0.035	0.021	0.057	0.050	1km.
	4	26.0	0.022	0.022	0.110	0.035	0.053	0.123	0.044	0.084	0.140	0.083	0.222	0.195	
	8	44.0	0.038	0.037	0.185	0.060	0.089	0.207	0.075	0.140	0.233	0.140	0.363	0.318	
	12	60.0	0.052	0.050	0.250	0.081	0.118	0.274	0.102	0.187	0.312	0.190	0.478	0.419	
	16	76.3	0.066	0.062	0.310	0.106	0.156	0.343	0.123	0.233	0.383	0.221	0.583	0.500	
	24	100.0	0.087	0.080	0.400	0.136	0.190	0.442	0.170	0.300	0.500	0.319	0.740	0.640	

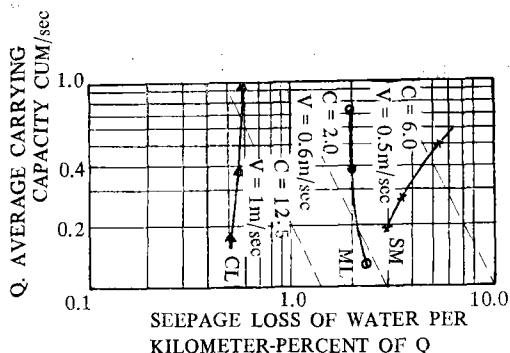


Fig. 9. Canal seepage losses in early times (0~4hrs)

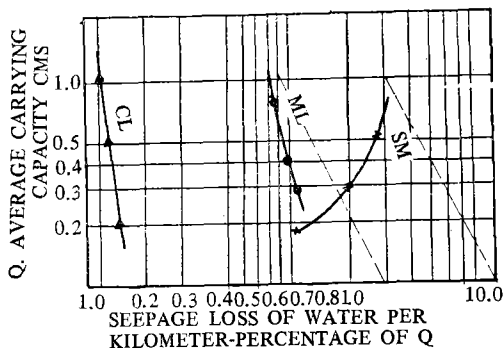


Fig. 10. Canal Seepage losses in late times (4~12hrs)

參考文獻

1. W. Moody, Theory of Ground Water flow. Ground Water Manual, USBR 1977 : pp 19
2. R. Worstell, Estimating Seepage Losses from Canal System. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE vol. 102, 1976. 3 : pp 141
3. 鄭夏禹, 劉漢烈, 홍수로에 대한 滲流損失量 測定에 關한 實驗의 研究. 農工學會誌 제15-1호 1973. 3 : pp 3.
4. A. Abiodum, Analysis of seepage into Ground Water System. Journal of Hydraulics Division ASCE Vol. 99, 1973. 6 : pp 1203
5. Tahal Consulting Engineering LTD, Losses in Open channels Design Criteria Recommendations for Cannals and related Structure M 6261~1.
6. H. Bouwer, Theoretical Aspects of seepage from open Channels. Journal of the Hydraulics Division ASCE Vol. 191, No. Hy3 1965. 5 : pp 38~51

7. 農業振興公社, Lining의 必要性. 水路라이닝의 設計와 施工. 1979. 10 : pp 41
8. 金哲會, 鄭夏禹, 劉漢烈, 홍수로내에서의 用水 損失에 關한 研究. 農工學會誌 제 14-3호 : pp 39
9. 農林部, 農業振興公社, 各 地方 單位用水量(10年 頻度) 農業用水開發必要水量基準. 1972: pp 85~106
10. 辛逸善, 金始源, 金在坤, 貯水地 內容積 減小가 必要水量에 미치는 영향. 農工學會誌 제 21~1호 1979. 3 : pp 53
11. 李海水, 農業用水의 合理的인 물 管理로 用水 節約. 農工學會誌 제 21-3호 1979. 9 : pp 47
12. 農業振興公社, 貯溜法에 의한 水路滲流損失 測定 農組水利施設調査事業綜合報告書. 1979 : pp 301
13. R. Taylor and C.B. Brown, Darcy flow solution with a free surface. Journal of Hydraulic Divi ASCE Vol. 93, No. Hy2 1967. 3 : pp 25
14. 水路內 損失. 狩野徳大郎, 灌溉排水學 養賢堂 1964 : pp 106
15. S. Garg, Seepage from Trapezoidal Channels. Journal of Hydraulic Divi ASCE Vol. 96 Hy-6
16. USBR Seepage Investigation. Lining fo Irrigation Canals 1963 : pp 15
17. 물관리손실 발관개설계편람, 농업진흥공사 1980 : pp 101
18. 閔丙燮의 5人, 漏水를 最小로 하는 斷面形. 農業 水利學 郷文社 1973 : pp 239
19. USBR Canal and laterals. Canal and related structures Design Standards. Chapt 1
20. H. Bouwer. Infiltration into Increasingly Permeable Soils. Journal of Irrigation and Drainage Divi ASCE Vol. 102, No. IRR 1976. 3
21. 農林部, 水路의 損失. 土地改良事業計劃設計 (灌溉編) 1969. 12 : pp 99
22. Robinson and Rohwer measurement of Canal Seepage Trans of ASCE Vol. 122 paper, No. 2865 1975 : pp 347
23. Harr "Graund water and Seepage" Mcgraw Hill Book Company : pp 231~248
24. H. Sharma, Canal Seepage with Boundary at Finite Depth Journal of Hydraulic Divi ASCE Vol. 105, No. Hy7 1976. 6
25. K Subramanya. studies on Seepage from Canals with partial linings. Journal of Hydraulics Divi ASCE Vol. 99, No. Hy12 1973. 12