講　　座

塩害土壌의 除塩에 관한 基礎理論 (Ⅳ)

具　　滋　　雄*

7. 塩分平衡方程式 및 塩分貯溜方程式의 適用例

가. W.H. van der Molen의 理論式에 의한 計算例[14]

A. 毛細管上昇現象이 일어나지 않는 連續灌漑土壌의 境遇

(1)適用公式

$$R^* = (E-P)\cdot\frac{EC_i}{f(2EC_e-EC_i)} \cdots\cdots (7-1)$$

$$I = (E-P)+R^* = (E-P)\cdot\left\{1+\frac{EC_i}{f(2EC_e-EC_i)}\right\} \cdots\cdots (7-2)$$

$$\Delta Z = \frac{K-LZ_1}{M},\ K = I\cdot EC_i - (1-f)R^*$$

$$EC_i,\ L = fR^*/W_{fc},$$

$$M = 1+0.5L \cdots\cdots (7-3)$$

여기에서

R^* : 溶脫用水量 (mm)
E : 蒸發散量 (mm)
P : 有効雨量 (mm)
EC_i : 灌漑用水의 電氣傳導度 (mmhos/cm)
EC_e : 飽和抽出液의 電氣傳導度 (mmhos/cm)
f : 溶脫効率係數 ($0 < f \leqq 1$)
I : 灌漑用水量 (mm)
ΔZ : 土壌의 塩分貯溜變化量 (EC·mm)
Z_1 : 土壌의 初期塩分貯溜量 (EC·mm)
W_{fc} : 圃場容水量 (mm)

(2)適用條件 및 假定

圃場容水量 : W_{fc} = 300mm
飽和抽出液의 平均電氣傳導度 : EC_e = 6 mmhos/cm
最大許容電氣傳導度 : EC_e max = 8 mmhos/cm
圃場容水量狀態의 電氣傳導度 : $EC_{fc} = 2EC_e$
溶脫効率係數 : f = 0.5

(3)計算過程

灌漑用水의 年平均電氣傳導度 : 加重平均値 適用

$$\overline{EC_i} = \frac{\Sigma EC_i(E-P)}{\Sigma(E-P)} = 3.1\ (\text{mmhos/cm})$$

年間 總溶脫用水量 : (7-1) 塩分 平衡方程式에 의해 計算

$$R^* = 830\times\frac{3.1}{0.5\times(2\times6-3.1)} \fallingdotseq 580\ (\text{mm})$$

年間 總灌漑用水量 : (7-2)式에 의해 計算

I = 830 + 580 = 1410 (mm)

月別 溶脫用水量이 一定한 境遇

①月別 溶脫用水量 : 48~49mm (Line 5)
580÷12 = 48.3 (mm)

②月別 灌漑用水量 : (7-2)式에 의하여 計算하면 Line 6과 같으며 每月 供給되는 灌漑用水量이 蒸發散에 의한 損失水量 (E-P)보다 많으므로 (Line 3과 Line 比較) 土壌內 水分含量의 月變化量 $\Delta W = 0$으로 볼 수 있다.

* 全北大學校 農科大學

Table-7-1. Salt and water balance for a permanently irrigated soil with no capillary rise (by W.H.van der Molen)

Item \ Period	Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
BASIC INFORMATION													
1 E mm	1260	100	80	70	70	70	90	100	120	140	150	140	130
2 P mm	430	50	50	60	70	50	40	30	30	10	10	10	20
3 E-P mm	830	50	30	10	0	20	50	70	90	130	140	130	110
4 EC_i mmhos/cm	3.1	3	3	2	1	2	2	2	3	3	3	4	4
CONSTANT PERCOLATION (R*=48~49mm/month)													
5 R* mm	580	48	49	48	48	48	49	48	48	49	48	48	49
6 I mm	1410	98	79	58	48	68	99	118	138	179	188	178	159
7a Z_1 EC·mm		3000	2983	2906	2748	2560	2448	2399	2395	2540	2786	3045	3403
7b ΔZ EC·mm	+653	−17	−77	−158	−188	112	−49	−4	+145	+246	+259	+358	+250
7c Z_2 EC·mm		2983	2906	2748	2560	2448	2399	2395	2540	2786	3045	3403	3653
8a Z_1 EC·mm		5000	4829	4608	4319	4010	3786	3632	3533	3590	3754	3938	4227
8b ΔZ EC·mm	−588	−171	−221	−289	−309	−224	−154	−99	+57	+164	+184	+289	+185
8c Z_2 EC·mm		4829	4608	4319	4010	3786	3632	3533	3590	3754	3938	4227	4412
9a Z_1 EC·mm		4100	3998	3841	3611	3357	3183	3076	3020	3117	3318	3536	3856
9b ΔZ EC·mm	−30	−102	−157	−230	−254	−174	−107	− 56	+97	+201	+218	+320	+214
9c Z_2 EC·mm		3998	3841	3611	3357	3183	3076	3020	3117	3318	3536	3856	4070
10 EC_e mmhos/cm	5.8	6.8	6.7	6.4	6.0	5.6	5.3	5.1	5.0	5.2	5.5	5.9	6.4
CONSTANT IRRIGATION (I=117~118mm/month)													
11 I mm	1410	117	118	117	118	117	118	117	118	117	118	117	118
12 E-P mm		50	30	10	0	20	50	70	90	130	140	130	110
13 ΔW mm	0	+40	0	0	0	0	0	0	0	−13	−22	−13	+8
14 R* mm	580	27	88	107	118	97	68	47	28	0	0	0	0
15a Z_1 EC·mm		3000	3172	2945	2579	2171	1973	1920	1955	2171	2522	2876	3344
15b ΔZ EC·mm	+816	+172	−227	−366	−408	−198	−53	+35	+216	+351	+354	+468	+472
15c ΔZ EC·mm		3172	2945	2579	2171	1973	1920	1955	2171	2522	2876	3344	3816
16a Z_1 EC·mm		5000	5084	4596	3960	3305	2937	2781	2751	2930	3281	3635	4103
16b ΔZ EC·mm	−425	+84	−488	−636	−655	−368	−156	−30	+179	+351	+354	+468	+472
16c Z_2 EC·mm		5084	4596	3960	3305	2937	2781	2751	2930	3281	3635	4103	4575
17a Z_1 EC·mm		4200	4319	3936	3409	2852	2552	2437	2433	2627	2978	3332	3800
17b ΔZ EC·mm	+72	+119	−383	−527	−557	−300	−115	−4	+194	+351	+354	+468	+472
17c Z_2 EC·mm		4319	3936	3409	2852	2552	2437	2433	2627	2978	3332	3800	4272
18 ECe mmhos/cm	5.4	7.0	7.2	6.6	5.7	4.8	4.3	4.1	4.1	4.4	5.0	5.6	6.3
CONSTANT SALINITY (ECe= 6 mmhos/cm, EC_{ye}=12mmhos/cm)													
19 R* mm	593	33	20	4	0	8	20	28	60	87	93	130	110
20 I mm	1423	83	50	14	0	28	70	98	150	217	233	260	220

③塩分貯溜變化量：生育期間中 飽和抽出液의 平均電氣傳導度 EC_e＝6 mmhos/cm, 圃場容水量 W_{fc}＝300mm이므로 圃場容水量狀態의 電氣傳導度는 EC_{fc}＝2 EC_e＝12mmhos/cm, 塩分貯溜量은 $Z=EC_{fc}\cdot W_{fc}$＝3600EC·mm가 된다.

(a) 10月 初期塩分貯溜量을 Z_1＝3000EC·mm (Line 7 a)로 假定하고 塩分貯溜方程式 (7-3)에 의하여 月別 塩分貯溜變化量을 計算하면 Line 7$_b$와 같다. 10月末의 塩分貯溜量 Z_2＝3000－17＝2983EC·mm (Line 7$_c$)로 되며 이 값은 11月 初期塩分貯溜量 (Z_1＝2983EC·mm, Line 7 a)으로 使用된다. 같은 方法으로 計算을 繼續하면 9月末의 塩分貯溜量 Z_2＝3653 EC·mm (Line 7 c)가 되는데 이 값은 10月 初期塩分貯溜量 Z_1＝3000EC·mm와 一致하지 않으며 Z_1＝3000EC·mm는 너무 적게 假定된 것을 알 수 있다.

(b) 10月 初期塩分貯溜量을 Z_1＝5000EC·mm (Line 8 a)로 假定하고, (a)와 같은 方法으로 計算하면 9月末의 塩分貯溜量 Z_2＝4412EC·mm (Line 8 c)가 되어 Z_1＝5000 EC·mm는 너무 많게 假定된 것을 알 수 있다.

(c) 補間法에 의하여 (3000, 3653)과 (5000, 4412) 두점 사이에서 대략 같은 값을 갖는 점을 구하면 (4100, 4100)점을 얻는다. 10月 初期塩分貯溜量을 Z_1＝4100 EC·mm (Line 9 a)로 假定하고, (a)와 같은 方法으로 計算하면 9月末의 塩分貯溜量 Z_2＝4070EC·mm (Line 9 c)로 거의 같은 값이 되어 實際 目的에 符合된다.

④飽和抽出液의 電氣傳導度：$EC_e=Z/(2W_{fc})$式에 의하여 飽和抽出液의 月別 電氣傳導度를 計算하면 5.0～6.8mmhos/cm (Line 10)로 最大許容値(EC_e max＝8 mmhos/cm) 이하이며, 平均電氣傳導度는 5.8mmhos/cm로 基準値(EC_e＝6 mmhos/cm) 이하이다.

月別 灌漑用水量이 一定한 境遇

①月別 灌漑用水量：117～118mm (Line 11)
1410÷12＝117.5 (mm)

②月別 溶脫用水量：10月～5月中에는 灌漑用水量이 蒸發散에 의한 損失水量 (E－P) 보다 많지만, 6月부터는 灌漑用水量이 (E－P) 보다 적다 (Line 11과 Line 12 比較). 6月中 I－(E－P)＝117－130＝－13mm (Line 13) 가 되어 浸出이 일어나지 않으며 土壤의 水分含量이 減少된다. 6月～8月中 土壤水分含量의 減少量은 48mm가 되며 9月의 I－(E－P) ＝118－110＝8 mm (Line 13)가 되어 6月～9月 사이의 土壤水分含量의 減少量은 40mm로서 이 期間中 溶脫用水量 R^*＝0이다 (Line 14). 10月中 I－(E－P)＝67mm中에서 40mm는 圃場容水量으로 되고 나머지 27mm는 根域으로 浸透되어 溶脫用水量으로 看做된다. 11月～5月 사이의 土壤水分含量은 圃場容水量狀態로 되어 純 浸出水量 즉 溶脫用水量은 R^*＝I－(E－P)에 의해서 計算한다 (Line 14).

③塩分貯溜變化量：月別 溶脫用水量이 一定한 境遇에서와 같이 塩分貯溜方程式을 利用하여 月別 塩分貯溜變化量을 計算한다.

(a) 10月 初期塩分貯溜量을 Z_1＝3000EC·mm (Line 15a)로 假定하면 9月末의 塩分貯溜量 Z_2＝3816EC·mm (Line 15c)가 되어 Z_1＝3000 EC·mm는 너무 적게 假定된 것이다.

(b) 10月 初期塩分貯溜量을 Z_1＝5000EC·mm (Line 16a)로 假定하면 9月末의 塩分貯溜量 Z_2＝4575 EC·mm (Line 16c)가 되어 Z_1＝5000 EC·mm는 너무 많게 假定된 것이다.

(c) 補間法에 의하여 實際 目的에 符合되는 값을 구하면 10月 初期塩分貯溜量 Z_1＝4200 EC·mm (Line 17a)가 되며 이 境遇 9月末의 塩分貯溜量 Z_2＝4272 EC·mm (Line 17c)가 되어 거의 비슷한 값을 갖는다.

④飽和抽出液의 電氣傳導度：$ECe=Z/(2W_{fc})$式에 의하여 飽和抽出液의月別 電氣傳導度를 計算하면 4.1～7.2mmhos/cm (Line18) 로서 溶脫用水量이 一定한 境遇에 비하여 變化가 크지만 最大許容値 이하이며, 平均電氣傳導度 역시 5.4mmhos/cm로서 基準値 이하이다.

月別 電氣傳導度가 一定한 境遇

飽和抽出液의 月別 電氣傳導度를 ECe＝6

mmhos/cm, 또는 圃場容水量狀態의 電氣傳導度를 EC_{fc}=12mmhos/cm로 一定하게 하고 (7-1)式 및 (7-2)式에 의하여 溶脫用水量을 구하면 Line19 및 Line20과 같다.

B. 休閑期의 毛細管上昇現象을 考慮한 季節灌漑土壤의 境遇

(1) 適用公式

毛細管上昇現象이 일어나지 않는 連續灌漑土壤의 境遇 (7-1~3式)와 같음

(2) 適用條件 및 假定

作物生育期 (灌漑期) : 10月~3月

休閑期 (非灌漑期) : 4月~9月

圃場容水量 : W_{fc}=300mm

飽和抽出液의 平均電氣傳導度 : EC_e=4mmhos/cm

圃場容水量狀態의 電氣導傳度 : $EC_{fc}=2EC_e$

休閑期中 水分貯溜變化量 : $\triangle W$=100mm

休閑期中 毛細管上昇量 : 40mm

(3) 計算過程

① 作物生育期間中 灌漑用水의 年平均 電氣傳導度 : 加重平均値 適用

$$\overline{EC}_i=\frac{\Sigma EC_i(E-P)}{\Sigma(E-P)}=2.5\,(\text{mmhos/cm})$$

② 年間 總溶脫用水量 : (7-1)塩分平衡方程式에 의해 計算

$$R^*=210\times\frac{2.5}{0.5\times(2\times4-2.5)}=191\,(\text{mm})$$

③ 年間 總灌漑用水量 : (7-2)式에 의해 計算 I=210+191=401 (mm)

④ 月別 灌漑用水量 : 灌漑計劃에 따라 總灌漑用水量 401mm중에서 10月에 101mm를 供合하

Table-7-2. Salt water balance for a seasonally irrigated soil with capillary rise during the fallow period (by W.H. van der Molen)

Item \ Period	Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.~Sep.
1 E mm	640	55	80	70	70	70	45	250
2 P mm	430	50	50	60	70	50	40	110
3 E-P mm	210	5	30	10	0	20	5	140
4 EC_i mmhos/cm	2.5	3	3	2	1	2	2	
5 f	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
6 I mm	401	101	60	60	60	60	60	0
7 R* mm	191	0	26	50	60	40	55	−100
8 ΔWr mm	0	+96	+4	0	0	0	0	−40
9 ΔWs mm	0	0	+26	+14	0	0	0	−40
10 Dr mm	191	0	0	36	60	40	55	0
11a Z_1 EC·mm		2000	2303	2343	2223	2040	1986	1874
11b ΔZ EC·mm	+142	+303	+40	−120	−183	−54	−112	+268
11c Z_2 EC·mm		2303	2343	2223	2040	1986	1874	2142
12a Z_1 EC·mm		4000	4303	4259	3985	3643	3477	3234
12b ΔZ EC·mm	−304	+303	−44	−274	−351	−157	−243	+462
12c Z_2 EC·mm		4303	4259	3985	3634	3477	3234	3696
13a Z_1 EC·mm		2600	2903	2918	2752	2518	2433	2282
13b ΔZ EC·mm	+8	+303	+15	−166	−234	−85	−151	+326
13c Z_2 EC·mm		2903	2918	2752	2518	2433	2282	2608
14 EC_e mmhos/cm	4.4	4.3	4.8	4.9	4.6	4.2	4.1	3.8

고 11月～3月 사이에 每月 60mm를 供給한다 (Line 6).

⑤根域의 水分貯溜變化量($\triangle W_r$) 및 下層의 水分貯溜變化量($\triangle W_s$) : 10月의 I－(E－P) =96mm는 根域內의 土壤水分貯溜量을 補充하기 위하여 使用된다 ($\triangle W_r$=+96mm, Line8). 11월의 I－(E－P) =30mm중 4mm는 根域內의 土壤水分貯溜量으로 補充되고($\triangle W_r$=+4mm, Line 8), 26mm는 下層土의 水分貯溜量으로 補充된다($\triangle W_s$=+26mm, Line 9).

⑥排水量(Dr) : 12月에 비로서 排水가 시작되며 12月中 排水量은 Dr=I－(E－P)－$\triangle W_s$ =60－10－14=36mm (Line10) 이다.

⑦塩分貯溜變化量 : 10月 初期塩分貯溜量을 Z_1=2000 EC·mm (Line 11a) 및 Z_1=4000 EC·mm (Line12a)라 하고, 塩分貯溜方程式(7－3)에 의하여 4月～9月末까지의 塩分貯溜量을 구하면 각각 Z_2=2142 EC·mm (Line11c)및 Z_2 =3696 EC·mm (Line 12c)가 된다. 補間法에 의하여 實際 目的에 適合한 값을 구하면 10月初期塩分貯溜量 Z_1=2600 EC·mm (Line13a)가 되며 이 境遇 4月～9月末까지의 塩分貯溜量 Z_2 =2608 EC·mm (Line 13c)가 된다.

⑧飽和抽出液의 電氣傳導度 : EC_e=Z/ (2 W_{fc})式에 의하여 飽和抽出液의 月別 電氣傳導度를 구하면 作物生育期間中에는 4.1～4.9mmhos /cm (Line14)이며, 그 平均値는 4.4mm hos /cm로서 基準値보다 약간 높다.

나. J.H. Boumans의 理論式에 의한 計算例[5]

A. 連續耕作(連續灌漑) 土壤의 境遇

(1) 適用公式

$$R^* = (E-P) \cdot \frac{EC_i}{2f \cdot EC_e - EC_i} \quad \cdots\cdots (7-4)$$

$$I = (E-P) + R^* = (E-P)\left\{1 + \frac{EC_i}{2f \cdot EC_e - EC_i}\right\} \quad \cdots\cdots (7-5)$$

$$B_x = B_{x-1} + I \cdot EC_i - R^* \cdot f \cdot EC_{fc} \quad \cdots\cdots (7-6)$$

$$EC_{fc} = \frac{B_x}{T \cdot M_{fc}} \quad \cdots\cdots (7-7)$$

여기에서

R^* : 溶脫用水量 (mm)
E : 蒸發散量 (mm)
P : 有效雨量 (mm)
EC_i : 灌漑用水의 電氣傳導度 (mmhos/cm)
EC_e : 飽和抽出液의 電氣傳導度 (mmhos/cm)
f : 溶脫效率係數 ($0 < f \leq 1$)
I : 灌漑用水量 (mm)
B_x : 土壤의 塩分貯溜量 (x는 月別 表示)
EC_{fc} : 圃場容水量狀態의 電氣傳導度 (mmhos/cm)
T : 根域의 土壤깊이 (mm)
M_{fc} : 圃場容水量狀態의 水分含量 (%)

(2) 適用條件 및 假定

根域의 土壤깊이 : T=600mm
圃場容水量狀態의 水分含量 : M_{fc}=40%
灌漑用水의 電氣傳導度 : EC_i=1.5mmhos/cm
飽和抽出液의 許容電氣傳導度 : EC_e=4mm hos/cm
圃場容水量狀態의 電氣傳導度 : EC_{fc}=2EC_e
溶脫效率係數 : f=0.5

(3) 計算過程

①年間 總溶脫用水量 : (7－4) 塩分平衡方程式에 의해 計算

$$R^* = 1080 \times \frac{1.5}{2 \times 0.5 \times 4 - 1.5} = 648 \text{ (mm)}$$

②年間 總灌漑用水量 : (7－5)式에 의해 計算 I=1080+648=1728 (mm)

③月別 溶脫用水量 : 一定하다고 假定 (Line 2) 648÷12=54 (mm)

④月別 灌漑用水量 : (7－5)式에 의해 計算 (Line3)

⑤I·EC_i값 : Line3의 I값에 適用條件에서주어진 EC_i=1.5mmhos/cm를 곱하여 計算 (Line 4)

⑥$R^* \cdot f \cdot EC_{fc}$값 및 B_x값 : (7－6)式 및 (7－7)式을 使用하여 試行錯誤法으로 實際 目的에 適合한 값을 구함 (Line5및 Line6), Molen式에 의한 計算例 參考

⑦圃場容水量狀態의 電氣傳導度 : (7－7)式에 의해 計算 (Line7)

⑧飽和抽出液의 電氣傳導度 : $EC_e = \frac{1}{2} EC_{fc}$

式에 의해 計算(Line8)

B. 休閑期를 考慮한 季節耕作(季節灌漑) 土壤의 境遇

(1)適用公式

$$R^*=(E-P)\cdot\frac{EC_i}{2f\cdot EC_e-EC_i}+S-D_n\cdots(7-8)$$

$$I=(E-P)\left\{1+\frac{EC_i}{2f\cdot EC_e-EC_i}\right\}\cdots\cdots(7-9)$$

여기에서

S : 下層土에 供給되는 浸透水量(mm)

D_n : 下層土의 自然排水量(mm)

(2)適用條件 및 假定

耕作期(灌漑期) : 11月～3月

休閑期(非灌漑期) : 4月～10月

耕作期間中 蒸發散에 의한 損失水量 : E－P＝425mm

休閑期中 水分貯溜變化量 : △W＝200mm

灌漑用水의 電氣傳導度 : EC_i＝0.6mmhos/cm

飽和抽出液의 許容電氣傳導度 : EC_e＝4mmhos/cm

溶脫効率係數 : f＝0.6

(3)計算例

Case A :

下層土에 供給되는 浸透水量 : S＝0

下層土의 自然排水量 : Dn＝0

休閑期의 蒸發量 : E＝200mm

年間 蒸發散에 의한 總損失水量 : E－P＝425＋200＝625mm

①年間 總溶脫用水量 : (7－8)式에 의해 計算 $R^*=625\times\frac{0.6}{2\times0.6\times4-0.6}=89$(mm)

②年間 總灌漑用水量 : (7－9)式에 의해 計算 $I=625\times\left(1+\frac{0.6}{2\times0.6\times4-0.6}\right)=714$(mm)

Case B :

下層土에 供給되는 浸透水量 : S＝200mm(이중에서 50mm는 休閑期에 浸透)

下層土의 自然排水量 : Dn＝0

休閑期의 蒸發量 : E＝250mm

年間 蒸發散에 의한 總損失水量 : E－P＝425＋250＝675mm

①年間 總溶脫用水量 : (7－8)式에 의해 計算 $R^*=675\times\frac{0.6}{2\times0.6\times4-0.6}+200=296$(mm)

②年間 總灌漑用水量 : (7－9)式에 의해 計算 $I=675\times\left(1+\frac{0.6}{2\times0.6\times4-0.6}\right)=771$(mm)

Case C :

下層土에 供給되는 浸透水量 : S＝0

下層土의 自然排水量 : D_n＝100mm(이중에서 25mm는 休閑期에 排水)

休閑期의 蒸發量 : E＝175mm

年間 蒸發散에 의한 總損失水量 : E－P＝425＋175＝600mm

①年間 總溶脫用水量 : (7－8)式에 의해 計算

Table-7-3. Salt and water balance for permanently cropped soils (by J.H.Boumans)

Item \ Period	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Year
1 E-P mm	130	30	−10	−20	10	70	90	120	140	170	200	150	1080
2 R* mm	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	648
3 I mm	184	84	44	34	64	124	144	174	194	224	254	204	1728
4 $I\cdot EC_i$ ECmm	276	126	66	51	96	186	216	261	291	336	381	306	
5 $R^*\cdot f\cdot EC_{fc}$ ECmm	252	250	238	214	199	188	186	191	196	209	223	246	
6 B_x ECmm	2220	2096	1924	1761	1658	1656	1686	1756	1851	1978	2136	2196	
7 EC_{fc} mmhos/cm	9.3	8.8	8.0	7.4	6.9	6.9	7.0	7.4	7.7	8.2	8.9	9.2	
8 EC_e mmhos/cm	4.6	4.4	4.0	3.7	3.5	3.4	3.5	3.7	3.9	4.1	4.4	4.6	4.0

$$R^*=600\times\frac{0.6}{2\times0.6\times4-0.6}-100=-14\,(mm)$$

따라서 이 경우 實際 溶脫用水量은 0이다.

②年間 總灌漑用水量：(7－9)式에 의해 計算

$$I=600\times\left(1+\frac{0.6}{2\times0.6\times4-0.6}\right)=686\,(mm)$$

다. R. S. Ayers & D. W. Westcot의 理論式에 의한 計算例[1]

(1) 適用公式

$$R^*=\frac{EC_i}{f(5EC_e-EC_i)}\quad\cdots\cdots(7-10)$$

$$I=\frac{E-P}{1-R^*}=\frac{E-P}{1-\frac{EC_i}{f(5EC_e-EC_i)}}\quad\cdots\cdots(7-11)$$

여기에서

R^*：溶脫用水量(比率로 表示)

EC_i：灌漑用水의 電氣傳導度(mmhos/cm)

EC_e：飽和抽出液의 電氣傳導度(mmhos/cm)

f ：溶脫效率係數($0<f\leqq1$)

I ：灌漑用水量(mm)

E ：蒸發散量(mm)

P ：有效雨量(mm)

(2) 適用條件 및 假定

灌漑用水의 電氣傳導度：$EC_i=1$mmhos/cm

飽和抽出液의 許容電氣傳導度：$EC_e=4$mmhos/cm

作物生育期間中 蒸發散에 의한 損失水量：$E-P=400$mm

溶脫效率係數：$f=0.5$

(3) 計　　算

① 作物生育期間中 溶脫用水量：(7－10)式에 의해 計算

$$R^*=\frac{1}{0.5\times(5\times4-1)}=0.11\,(比率로\ 表示)$$

② 作物生育期間中 灌漑用水量：(7－11)式에 의해 計算

$$I=\frac{400}{1-0.11}=450\,(mm)$$

8. 除塩用水量 算定을 위한 圃場實驗의 實例

가. R. C. Reeve의 實驗[6,9,10,12]

R. C. Reeve 등(1955)은 微砂質埴壌土(Silty Clay Loam)인 高塩度 塩類土壌의 境遇 土壌表面에 連續的으로 물을 供給하여 土壌내로 浸透시켜 塩分을 溶脫시킴으로서 塩分濃度를 減少시키기 위한 除塩實驗을 통하여(8－1)式과 같은 實驗式을 얻었으며, 이 式을 電氣傳導度를 使用하여 表示하면 (8－2)式과 같고, (8－2)式을 圖表로 나타내면 Fig. 8－1과 같다.

$$\frac{D_l}{D_s}=\frac{1}{5(C/C_o)}+0.15\quad\cdots\cdots(8-1)$$

$$\frac{D_l}{D_s}=\frac{(EC_e)_i}{5(EC_e)_f}+0.15\quad\cdots\cdots(8-2)$$

여기에서

D_l：土壌斷面을 통한 浸出水深

D_s：除塩을 위한 土壌깊이

C_o：除塩前 土壌의 初期塩分濃度

C ：除塩後 土壌의 塩分濃度

$(EC_e)_i$：除塩前 飽和抽出液의 初期電氣傳導度

$(EC_e)_f$：除塩後 飽和抽出液의 電氣傳導度

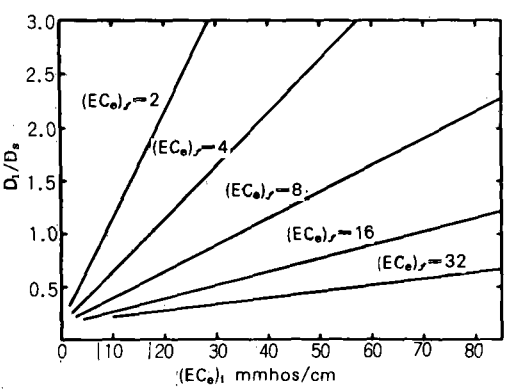

Fig. 8-1. Depth of leaching water per unit depth of soil(D_l/D_s) required to reduce the salt content of a saline soil from an initial value of $(EC_e)_i$ to given final values of $(EC_e)_f=2, 4, 8, 16$, and 32 with ponded leaching

〈計算例〉

除塩前 初期電氣傳導度($EC_e)_i$=40mmhos/cm인 塩類土壤(微砂質埴壤土)을 土壤깊이 D_s=1m까지 除塩시켜 除塩後 最終電氣傳導度 ($EC_e)_f$=4mmhos/cm가 되도록 하려면 溶脫用水量(浸出水探)은 얼마가 必要한가?

(풀이)

(8-2)式에서 $\frac{D_i}{D_s}=\frac{40}{5\times4}+0.15=2.15$ 또는 Fig.8-1에서 $(EC_e)_i$=40일때 $(EC_e)_f$=4에 대한 $\frac{D_i}{D_s}=2.15$이다. 따라서 $D_i=2.15\times1=2.15$(m)

E.J.Doering과 R.C.Reeve(1965)는 高塩水稀釋方法(High-Salt Water Dilution Method)을 利用한 알칼리土壤의 除塩實驗에서 (8-3)式과 같은 除塩에 必要한 單位土壤깊이當 浸出水探의 比를 算出하는 方程式을 導出하였다.

$$\frac{D_i}{D_s}=\frac{\rho\cdot CEC}{F}\cdot\frac{\triangle(ESF)}{\triangle(Ca+Mg)}\cdots\cdots(8-3)$$

여기에서

ρ : 土壤의 부피密度(假比重)

CEC : 陽이온 置換容量

$\triangle$(ESF) : ESF(=ESP/100)의 減少量

ESP : 置換性나트륨百分率

$\triangle$(Ca+Mg) : (Ca+Mg)의 減少量

F : 有效係數

나. O.Beyce의 實驗[2,3]

O.Beyce 등(1972)은 泥炭土(Peat Soil)인 塩類·알칼리土壤의 境遇 連續湛水(Continuous Ponding), 間斷湛水(Intermittent Ponding) 및 間斷撒水(Intermittent Sprinkling) 方法을 利用한 除塩實驗을 통하여 用水管理方法別로 (8-4)式과 같은 實驗式을 구하였다.

$$\left.\begin{aligned}\frac{D_i}{D_s}&=5.53\times e^{-0.038\cdot\frac{C}{C_o}\cdot100}\ (\text{連續湛水})\\ \frac{D_i}{D_s}&=11.80\times e^{-0.049\cdot\frac{C}{C_o}\cdot100}\ (\text{間斷湛水})\\ \frac{D_i}{D_s}&=6.23\times e^{-0.051\cdot\frac{C}{C_o}\cdot100}\ (\text{間斷撒水})\end{aligned}\right\}\cdots(8-4)$$

〈計算例〉

除塩前 初期塩分濃度(飽和抽出液의 電氣傳導度로 表示)가 20mmhos/cm인 塩類·알칼리土壤(泥炭土)을 1m깊이까지 塩分濃度를 4mmhos/cm로 減少시키기 위해서는 溶脫用水量(浸出水探)이 얼마나 必要한가?

(풀이)

連續湛水인 境遇 : $\frac{D_i}{D_s}=5.53\times e^{-0.038\times\frac{4}{20}\times100}=2.59$

$\therefore D_i=2.59\times1=2.59$(m)

間斷湛水인 境遇 : $\frac{D_i}{D_s}=11.80\times e^{-0.049\times\frac{4}{20}\times100}=4.43$

$\therefore D_i=4.43\times1=4.43$(m)

間斷撒水인 境遇 : $\frac{D_i}{D_s}=6.23\times e^{-0.051\times\frac{4}{20}\times100}=2.25$

$\therefore D_i=2.25\times1=2.25$(m)

塩類·알칼리土壤에서 過剩置換性나트륨을 除去하여 置換性나트륨百分率을 一定한 許容値 이하로 減少시키는데 必要한 石膏量을 算出하기 위하여 O.Beyce 등에 의해 提案된 方程式은 (8-5)式과 같다.

$$GR=(860\times10^{-6})\cdot(A_s\times D_s\times A)\cdot\left\{\frac{(ESP)_i-(ESP)_f}{100}\right\}\cdot CEC\cdots\cdots(8-5)$$

여기에서

GR : 石膏所要量

A_s : 土壤의 假比重

D_s : 除塩을 위한 土壤깊이

A : 土壤의 表面積

$(ESP)_i$: 除塩前 初期置換性나트륨百分率

$(ESP)_f$: 除塩後 置換性나트륨百分率

CEC : 土壤의 陽이온置換容量

다. G.J.Hoffman의 實驗[7]

G.J.Hoffman 등(1982)은 比較的 排水가 良好한 塩類土壤의 表面에 물을 供給하여 土壤內로 浸透시켜 塩分을 溶脫시킬 때 土壤에 남아있는 初期塩分濃度의 比率(C/C_o)과 土壤의 單位깊이當 浸出水量(D_i/D_s) 사이에 (8-6)式과 같은 關係가 있음을 밝혔다.

$$\left(\frac{C}{C_o}\right)\cdot\left(\frac{D_i}{D_s}\right)=K\cdots\cdots(8-6)$$

여기에서 K는 土性에 따른 常數로서 方程式(8-6)은 $(\frac{D_f}{D_s})$값이 K値이상일 때 妥當하며, 連續湛水方法에 의한 除塩實驗結果 有機質土壤(Peat)에서 K=0.45, 細粒質土壤(Clay Loam)에서 K=0.3, 粗粒質土壤(Sandy Loam)에서 K=0.1로 나타났고, 間斷湛水方法에 의한 除塩實驗에서는 土性에 關係없이 K=0.1로 나타났다.(Fig.8-2參考).

알칼리土壤에서 置換性나트륨百分率을 許容値이하로 減少시키는데 必要한 石膏量을 算出하기 위해서는 먼저 (8-7)式에 의하여 單位面積當 置換性나트륨含量을 計算하고 이에 해당하는 石膏量을 Fig.8-3에서 구한다. Fig. 8-3은 置換性나트륨百分率을 10%로 減少시키는데 必要한 石膏量을 表示한 것이다.

$$\triangle Na = 10 \cdot P_b \cdot D_s \cdot E_c \cdot (E_{Nai} - E_{Naf}) \cdots (8-7)$$

여기에서

$\triangle Na$: 單位面積當 置換性나트륨含量

P_b : 土壤의 부피密度(假比重)

D_s : 除塩을 위한 土壤깊이

E_c : 土壤의 陽이온置換容量

E_{Nai} : 除塩前 初期置換性나트륨比率

E_{Naf} : 除塩後 置換性나트륨比率

〈計算例〉

ρ_b=1.5Mg/m³, D_s=0.4m, E_c=200mmol/kg of soil, E_{Nai}=0.35인 알칼리土壤에서 置換性나트륨百分率을 10%(E_{Naf}=0.1)로 減少시키기 위해 필요한 石膏量은 얼마인가?

(풀이)

$\triangle Na = 10 \times 1.5 \times 0.4 \times 200 \times (0.35 - 0.1) =$ 300Kmol/ha Fig.8-3에서 非石灰質土壤의 경우 $\triangle Na$=300Kmol/ha에 대한 石膏所要量은 33Mg/ha이다.

라. 其　他

W.A.Jury 등(1979)[8]은 砂壤土 및 埴壤土인 塩類·알칼리土壤에서 라이시미터에 의한 除塩實驗을 통하여 除塩後 土壤에 남아있는 初期塩分濃度의 比率(C/C_o)과 除塩을 위한 供給水의 空隙부피에 대한 比率(PV)사이의 關係

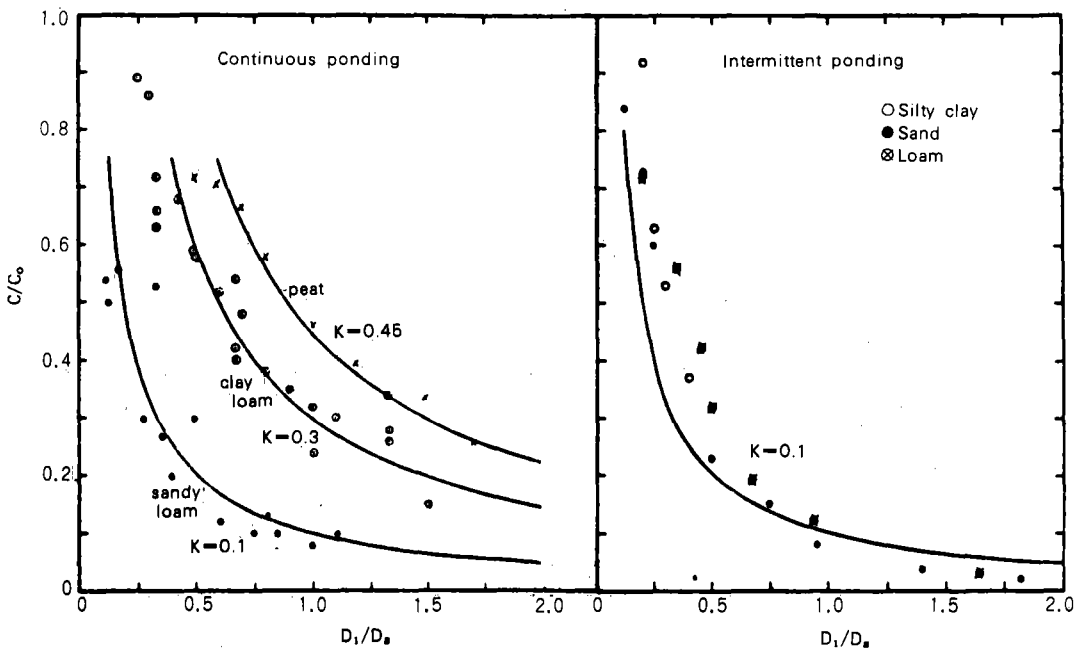

Fig. 8-2. Deth of leaching water per unit depth of soil required to reclaim saline soils by continuous and intermittent ponding

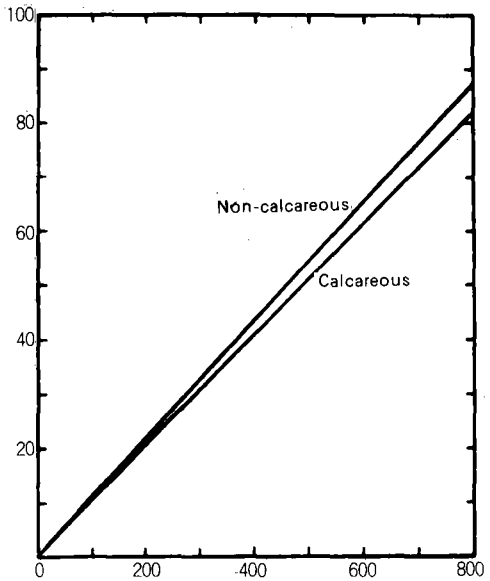

Fig. 8-3. Amount of gypsum required to reduce the exchangeable sodium percentage to 10%($E_{Na,f}$=0.1) for calcareous and non-calcareous sodic soils

를 (8-8)式으로 나타냈다.

$$\frac{C}{C_o} \cdot PV = 0.8 \quad \cdots\cdots (8-8)$$

I.S.Dahiya 등 (1982)[4]은 砂壤土인 塩類·알칼리土壤에서 連續湛水 및 間斷湛水方法에 의한 除塩實驗을 통하여 除塩後 土壤에 남아 있는 初期塩分濃度의 比率(EC/EC_o)과 土壤의 置換性나트륨含量의 比率(ESP/ESP_o)과 土壤의 單位깊이當 浸出水探(D_i/D_s)사이의 關係를 (8-9)式 및 (8-10)式으로 表示하였다.

$$\left.\begin{aligned} \frac{EC}{EC_o} &= \frac{0.065}{D_i/Ds} + 0.040 \quad (\text{連續湛水}) \\ \frac{EC}{EC_o} &= \frac{0.025}{D_i/D_s} + 0.057 \quad (\text{間斷湛水}) \end{aligned}\right\} \cdots (8-9)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{ESP}{ESP_o} &= \frac{0.122}{D_i/D_s} + 0.106 \quad (\text{連續湛水}) \\ \frac{ESP}{ESP_o} &= \frac{0.029}{D_i/Ds} + 0.134 \quad (\text{間斷湛水}) \end{aligned}\right\} \cdots (8-10)$$

參 考 文 獻

1. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1976. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, pp. 15~52.
2. Beyce, O. 1973. Experiences 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.
3. Beyce, O. and D. Elkiran. 1972. A field experiment on the reclamation of salt and boron affected Kayser-Karasaz organic soils to determine the reclamation method, amount of leaching water and duration of reclamation. Central TOPRAKSU Research Institute Research Reports, General No. 12-1.
4. Dahiya, I. S., R. S. Malik and M. Singh. 1982. Reclaiming a saline-sodic, sandy loam soil under rice production. Agric. Water Management. 5, pp. 61~72.
5. Dieleman, P. J. (Ed.). 1963. Reclamation of salt affected soils in Iraq. ILRI Pub. 11, pp. 83~116.
6. Doering, E. J. and R. C. Reeve. 1965. Engineering aspects of the reclamation of sodic soils with high-salt water. ASCE Proc. 91 (IR 4), pp. 59~72.
7. Hoffman, G. J. and J. L. Meyer. 1982. Reclamation of salt-affected soils in California. Int. Symp. on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Proc., pp. 147~159.
8. Jury, W. A., W. M. Jarrell and D. Devitt. 1979. Reclamation of saline-sodic soils by leaching. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, pp. 1100~1106.
9. Reeve, R. C. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. 3rd Cong. Int. Comm. on Irrigation and Drainage Question 10R. 10, pp. 175~187.
10. Reeve, R. C., A. F. Pillsbury and L. V. Wilcox. 1955. Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. Hilgardia 24, pp. 69~91.

(11~14 省略) 〈끝〉