간척답의 관개용수량 산정을 위한 제염시험연구

Experimental Study for Irrigation Water Requirements in the Reclaimed Paddy Field

손 재 권 · 구 자 웅 · 최 진 규 · 송 재 도*(전북대)
Son, Jae Gwon · Koo, Ja Woong · Choi, Jin Kyu, Song, Jae Do

Abstract

In order to make the reasonable irrigation plan in the reclaimed paddy fields, the estimation of irrigation water requirements by soil textures and water management methods for the normal growth of crops is very important. This study was carried out to determine leaching water requirements before cultivating crops. For the purpose of this study, the physical and chemical properties of soil samples used in the desalinization experiments were analyzed, and changes of salinity by supplying water and leaching water were investigated in the experimental field with lysimeters.

Ⅰ. 서 론

다가올 21세기의 경제사회의 변동 등을 감안한다면 식량의 안정적 공급을 위한 최소한의 우량농지 및 농경지의 확보와 이에 대한 효과적 활용대책의 수립이 우리가 해결해야 할 가장 큰 과제중의 하나라고 볼 수 있다.

이에 대한 대책의 일환으로 천혜의 개발 잠재력을 지닌 서남해안의 간척자원을 대상으로 새만금지구를 비롯한 많은 간척사업이 진행 중에 있다. 이러한 간척지를 효율적으로 활용하기 위해서는 개발초기의 고염도 간척지 토양에 대한 제염이 선행되어야 한다.

간척지토양의 제염방법에는 물관리, 토양관리, 배수시설에 의한 방법 및 생물학적, 화학적 방법 등이 있는데, 제염용수량을 충분히 확보할 수 있다면 개발초기의 고염도 간척지에서는 물관리에 의한 제염방법이 초기의 간척영농을 위한 가장 효율적인 방법이라고 볼 수 있다.

물관리에 의하여 고염도 간척지토양을 효율적으로 제염시켜서 농업생산성이 높은 간척농지로 활용하기 위해서는 개발초기의 간척답에서 작물생육을 원활하게 할 수 있는 적절한 관개용수량을 산정하기 위한 기준이 정립되어야 한다. 이러한 기준을 정립한다는 것은 개발초기 간척답의 효율적인 관개계획을 수립하기 위해서 반드시 선행되어야 할 중요한 일이라고 할 수 있다.

그러나 아직까지 개발초기 간척답에서 제염용수량, 생육시기별 소비수량 및 작물생육기간중 재염화방지용수량 등을 고려하여 관개용수량을 산정하기 위한 체계적이고 합리적인 시험은 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 개발초기의 고염도 간척답에서 벼의 정상생육을 위한 토성별·물관리 방법별 제염용수량을 산정하여 간척답의 관개용수량 산정을 위한 기초자료를 제공하고자 시험포장에 Lysimeter를 설치하여 작물재배전 제염실험을 실시하였다.

1999년도 한국농공학회 학술발표대회 논문집 (1999년도 10월 16일)

II. 재료 및 방법

1. 공시토양

가. 공시토양의 선정

현지답사와 예비조사 등을 통하여 간척지토양으로서 대표성이 있다고 볼 수 있는 전북 부안군 새만금지구의 배수양호토양(S1)과 전북 고창군 부창지구의 배수불량토양(S2)을 공시토양으로 선정하였고, 대비구의 토양(SC)은 전북 익산시 화산면에서 채취하였다.

나. 공시토양의 이화학적 특성

공시토양의 이화학적 특성을 파악하기 위하여 작물재배 및 제염작업 실시전에 간척지 토양 및 대비구 토양에 대한 물리·화학적 성분분석을 실시하였다. 입도분석은 비중계 및 체분석법, 수소이온농도(pH)는 초자전극법, 염분농도(EC)는 전기전도도 측정법, 주요양이온중 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)은 EDTA적정법, 칼륨(K)과 나트륨(Na)은 F.E.S법, 양이온치환용량(C.E.C)은 AOAC-ASTM방법을 이용하였다.

2. 시험포장

가. 시험포장의 설치

본 시험을 위해 관리가 용이하고, 시험구의 설치여건이 양호한 전북대학교 농과대학 실험실습포장내에 9.5×33.0m 규모의 비가림시설(비닐하우스) 시험포장 1동을 설치하고, 1998년 1월~2월에 걸쳐 장비(백호 및 덤프)를 이용 간척지 토양을 운반한 뒤 벼 재배전에 정상생육이 가능한 염분농도에 이르기까지 필요한 제염작업을 1998년 2월 20일부터 5월 6일까지 75일간 실시하였다.

나. 처리구의 배치

시험포장의 처리구는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 토양특성별(S1, S2, SC), 암거설치별(C, N), 물관리방법별, 제염배수방법별(W1~W4)로 암거구 24조(배수양호 12조, 배수불량 12조), 무암거구 24조(배수양호 12조, 배수불량 12조) 등 간척지토양 처리구 48조와 일반토양인 대비구 6조(암거구 3조, 무암거구 3조) 등 총 54조를 배치하였다.

각 처리구는 직경 1.0m×깊이 1.0m 원통단면 규모의 Lysimeter로서 암거구는 지표에서 60cm 깊이에 직경 50mm의 유공주름관에 필터를 씌운 암거를 설치하였고, 지표면에 직경 50mm PVC 배수구를 설치하였다. 무암거구는 지표면과 지표에서 60cm깊이에 배출구만을 설치하였다.

Fig.1 에서 S1C는 배수양호토양으로서 암거설치시험구, S1N은 배수양호토양으로서 무암거시험구, S2C는 배수불량토양으로서 암거설치시험구, S2N은 배수불량토양으로서 무암거시험구, S1C~S2N뒤의 첨자 W1~W4는 물관리방법별 처리구를 나타내는 것으로서 W1은 제염용수량 480~720mm, W2는 800~1,040mm. W3는 1,120~1,360mm, W4는 1,440~1,680mm를 나타낸 것이며 맨 뒤의 첨자 1,2,3은 3반복을 나타낸 것이다. 또한 SCC는 일반토양중 암거설치시험구, SNC는 일반토양중 무암거시험구이다.

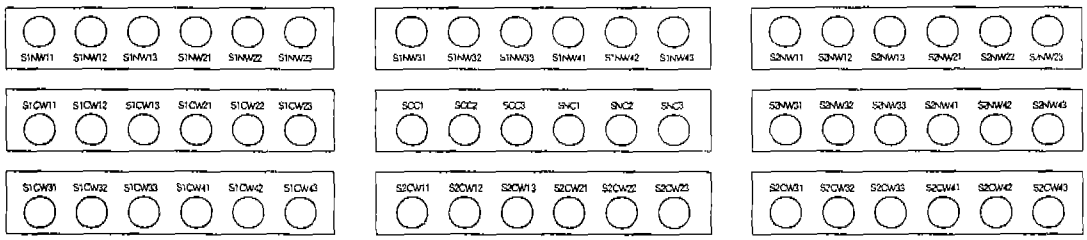

Fig. 1. Layout of the experimental field treatment pots.

3. 작물재배전 토성별 제염용수량

가. 제염과정중 토양의 전기전도도 및 수소이온농도의 측정

작물의 정상생육이 가능한 염분농도에 이르기까지 필요한 제염용수량(용탈용수량)을 결정하기 위하여 이앙전에 토성별 · 물관리방법별로 제염작업을 실시하고, 제염기간동안 총 792점의 토양시료를 채취하여 토양의 전기전도도(EC) 및 수소이온농도(pH)를 측정하였다.

나. 작물재배전 토성별 제염용수량

작물재배전 토성별 제염용수량을 결정하기 위하여 토성과 암거설치 유무에 따라 4가지 시험구(S1C, S1N, S2C, S2N)로 나누고 각 시험구마다 침출수량 및 공급수량을 달리하는 4가지 처리(W1, W2, W3, W4)로 구분하여 침출법과 수세법을 병행해서 제염작업을 실시하였다.

각 처리구에서 제염을 위해 토성별 · 물관리방법별로, S1C, S1N, S2C, S2N 시험구의 W1처리구에서 480~720mm, W2처리구에서 800~1,040mm, W3처리구에서 1,120~1,360mm, W4처리구에서 1,440~1,680mm의 수량을 각각 공급하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양특성

가. 물리적 특성

공시토양으로 선정된 시험포장 토양에 대한 물리적 특성을 조사 분석한 결과 Table 1에 나타난 바와 같이 S1토양은 비교적 배수가 양호할 것으로 판단되는 미사질양토(SiL), S2토양은 배수가 잘되지 않을 것으로 판단되는 미사토(Si), 일반토양을 사용한 대비구인 SC는 S1토양과 S2토양의 중간정도라 할 수 있는 모래의 함유량이 21.8%인 미사질양토(SiL)로 분류되었다. 가비중은 1.31~1.35, 진비중은 2.51~2.54, 공극율은 46.2~48.4%, 포화도는 47.3~57.0% 정도로 나타나 우리 나라 간척지 및 간석지 토양의 이화학적 특성의 범위로 나타났다.

Table 1. Physical properties of the experimental field soils.

Soil sample	Bulk density	Particle density	Porosity (%)	Saturation percentage (%)	Mechanical composition(%)			Soil texture
					Sand	Silt	Clay	
S1	1.35	2.64	46.4	48.9	40.9	51.9	7.2	Silt loam(SiL)
S2	1.35	2.63	46.2	48.7	3.4	85.1	11.5	Silt(Si)
Sc	1.31	2.66	48.4	49.5	21.8	70.8	7.4	Silt loam(SiL)

나. 화학적 특성

공시토양으로 선정된 시험포장 토양에 대한 화학적 특성을 조사 분석한 결과 Table 2에 나타난 바와 같이 배수양호토양인 S1토양은 제염전 초기 염분농도가 25.3mmhos/cm, 수소이온농도 pH 7.7 나트륨함량이 4.2meq/100g으로 나타났고, 배수불량토양인 S2토양은 초기염분농도 24.8mmhos/cm, pH 7.6, Na가 4.7mg/100g으로 조사되어 개발초기 간척지 토양의 특성 범위내에 있는 것으로 나타났다. 한편, 일반토양인 대비구토양(SC)은 ECe 0.2mmhos/cm, pH 7.3, Na 0.3mg/100g 등으로 분석되었다.

Table 2. Chemical properties of the experimental field soil

Soil sample	pHe	ECe (mmhos/cm)	CEC (meq/100g)	Exchangeable cation(meq/100g)				ESP(%)
				Ca	Mg	Na	K	
S1	7.7	25.3	10.4	1.4	2.3	4.2	1.1	40.4
S2	7.6	24.8	11.0	4.3	2.5	4.7	1.2	42.7
SC	7.3	0.2	12.5	4.7	3.8	0.3	0.8	2.4

2. 작물재배전 토성별 · 물관리 방법별 제염용수량

작물의 정상생육이 가능한 염분농도이하가 될 때까지 필요한 제염용수량을 결정하기 위하여 Table 3에서 보는 바와 같이 6회에 걸쳐 총 792점의 토양시료를 채취하여 제염과정중 토양의 전기전도도(EC) 및 수소이온농도(pH)를 측정하였다.

Table 3. Sample numbers for EC and pH analysis in experimental field soils during desalinization period

Item	Sample number	Treatment pots
· EC, pH	48	S1CW41~S2CW43 (24), S1NW41~S2NW43 (24)
	168	S1CW21~S2CW43 (72), S1NW11~S2NW43 (96)
	192	S1CW11~S2CW43 (96), S1NW11~S2NW43 (96)
	96	S1CW11~S2CW43 (48), S1NW11~S2NW43 (48)
	192	S1CW11~S2CW43 (96), S1NW11~S2NW43 (96)
	96	S1CW11~S2CW43 (48), S1NW11~S2NW43 (48)
Total	792	

작물재배전 토성별 제염용수량 결정을 하기 위하여 물관리 처리별로 4~11회의 제염작업을 실시하고, 제염작업기간중 매회 근역(0~40cm)토양의 포화추출액으로부터 측정한 평균 염분농도(ECe)의 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다.

Table 4에 나타난 바와 같이 제염전 토양의 초기 염분농도는 S1 토양의 경우 25.3mmhos/cm이고, S2 토양의 경우는 24.8mmhos/cm이었다.

모든 처리구의 제염시험에서 제염초기에는 지하배수 · 침출법에 의하여 어느 정도 침출이 가능할 때까지 제염작업을 수행하였으며, 침출속도가 상당히 떨어져서 침출효과를 기대할 수 없게 되면 지표배수 · 수세법에 의해 계속해서 제염작업을 실시하였다.

제염시험진행중 침출수량을 포함한 공급수량의 증가에 따른 근역토양 염분농도의 감소경향을 토양 및 암거 처리구별로 비교해 보면 Fig.2 에서와 같이, 비교적 배수가 양호한 투수성 토양(S1)의 토양의 경우에 배수가 불량한 불투수성 토양(S2)의 경우보다 제염효과가 크게 나타났다. 또한 배수양호토양에 있어서는 암거를 설치한 처리구(S1CW)에서 암거를 설치하지 않은 처리구(S1NW)에서 보다 토양염분농도의 감소경향이 더욱 크게 나타났으며, 배수불량토양에 있어서도 역시 암거무처리구(S2NW)에서보다 암거처리구(S2CW)에서 제염효과가 더 크게 나타나는 경향을 보여주고 있다.

Table 4. Changes of salinity in soils on increase of supplying water and leaching water. unit : mmhos/cm

Treatment pots			Early value (Before desalini-zation)	Leaching water and supplying water(mm)											Total(mm)
Soil texture		Code		Leaching method		Rinsing method									
				S1(80) S2(40)	80	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	
Fine drainage	Culvert pot	S1CW1	25.3	15.1	11.3	8.5	6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	480
		S1CW2	"	16.0	11.5	8.9	7.0	5.7	4.7	-	-	-	-	-	-	800
		S1CW3	"	14.7	11.7	8.9	6.6	5.5	4.3	3.2	2.6	-	-	-	-	1,120
		S1CW4	"	14.5	11.1	8.3	6.4	5.1	4.0	3.0	2.1	1.5	1.1	-	-	1,440
	Non-culvert pot	S1NW1	"	14.9	-	12.1	10.2	8.7	7.7	-	-	-	-	-	-	720
		S1NW2	"	15.3	-	12.4	10.7	8.9	7.8	6.7	5.8	-	-	-	-	1,040
		S1NW3	"	16.2	-	13.0	11.0	9.3	8.0	6.5	5.5	4.7	4.0	-	-	1,360
		S1NW4	"	16.0	-	12.8	10.8	9.2	7.6	6.3	5.4	4.6	3.9	3.4	3.0	1,680
Coarse drainage	Culvert pot	S2CW1	24.8	18.7	-	14.9	11.6	9.4	-	-	-	-	-	-	-	520
		S2CW2	"	18.4	-	14.6	11.5	9.7	8.5	7.8	-	-	-	-	-	840
		S2CW3	"	18.1	-	14.2	11.3	9.8	8.7	7.9	7.3	6.7	-	-	-	1,160
		S2CW4	"	18.2	-	14.4	11.5	10.0	9.0	8.1	7.4	6.9	6.4	6.0	-	1,480
	Non-culvert pot	S2NW1	"	20.3	-	16.5	14.3	13.1	12.3	-	-	-	-	-	-	680
		S2NW2	"	20.0	-	16.2	13.9	12.6	11.8	11.1	10.5	-	-	-	-	1,000
		S2NW3	"	20.5	-	17.0	14.3	13.1	12.2	11.3	10.5	9.8	9.3	-	-	1,320
		S2NW4	"	20.3	-	17.1	14.5	13.0	12.1	11.3	10.6	9.9	9.3	8.8	8.4	1,640

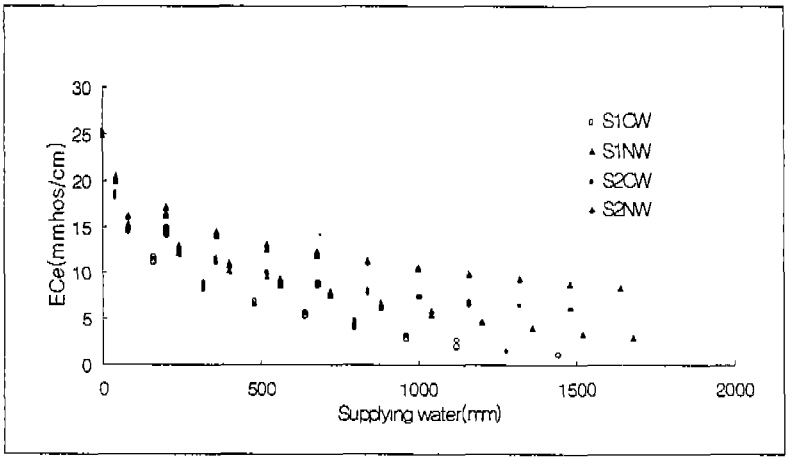

Fig. 2. Changes of salinity in soils on increase of supplying water by soil texture and culvert treatment

각 처리구에서 제염초기 지하배수에 의한 침출법으로 제염작업을 실시하는 경우는 제염이 진행됨에 따라 토양의 염분농도가 급격히 감소하였으나, 지표배수에 의한 수세법으로 제염작업을 실시할 경우는 제염효과가 점점 저하되었다. 한편 배수양호토양의 암거를 설치한 처리구(S1CW)에서는 지하침출수가 160mm 정도로 될 때까지 침출이 가능하였으나, 배수양호토양의 무암거처리구(S1NW)에서는 40mm 정도의 침출수가 생겼을 때 침출속도가 매우 느려졌으며, 배수불량토양의 모든 처리구(S2CW, S2NW)에서는 40mm 정도의 침출수가 생기기 전에 침출이 거의 불가능하게 되었다.

배수양호토양과 배수불량토양에서 암거설치 유무에 따라 제염진행중 제염을 위해 공급하는 수량을 달리하는 물관리방법별로 제염효과를 살펴보면 Fig.3~Fig.6에서 보는 바와 같다.

제염전 초기염분농도가 25.3 mmhos/cm 인 배수양호토양의 경우 암거처리구(S1CW)에서 침출수량을 포함한 제염용수량을 480 mm (S1CW1), 800 mm (S1CW2), 1,120 mm (S1CW3), 1,440mm (S1CW4) 까지 공급했을 때, 근역토양의 염분농도는 각각 6.4mmhos/cm(S1CW1), 4.7mmhos/cm (S1CW2), 2.6mmhos/cm(S1CW3), 1.1mmhos/cm(S1CW4)로 감소하였다. (Fig.3 참조)

본 시험결과를 토대로 판단해 보면, 벼수확량에 영향을 미치지 않는 한계염분농도인 3.0mm hos/cm이하로 되는 것은 S1CW3 처리구 및 S1CW4 처리구이다. 여기에서 관개용수량, 제염기간, 경제성 등을 감안하면 배수양호토양에서 암거를 설치하는 경우의 제염용수량은 S1CW3 처리구의 약 1,100 mm 로 추정된다. 또한 배수양호토양의 경우 암거무처리구(S1NW)에서 침출수량을 포함한 제염용수량을 720mm(S1NW1), 1,040 mm (S1NW2), 1,360 mm (S1NW3), 1,680mm(S1NW4)까지 까지 공급했을 때, 근역토양의 염분농도는 각각 7.7mmhos/cm(S1NW1), 5.8mmhos/cm(S1NW2), 4.0mmhos/cm(S1NW3), 3.0mmhos/cm(S1NW4)로 감소하였다. (Fig.4 참조) 이 경우에 벼 수확량에 영향을 미치지 않는 한계염분농도 이하로 되는 것은 S1NW4 처리구이며, 배수양호토양에서 암거를 설치하지 않는 경우의 제염용수량은 S1NW4 처리구의 약 1,700 mm 로 추정된다.

한편 제염전 초기염분농도가 24.8 mmhos/cm 인 배수불량토양의 경우 암거를 설치한 처리구 (S2CW)에서 초기 침출수량을 포함한 제염용수량이 520 mm (S2CW1), 840 mm (S2CW2), 1,160 mm (S2CW3), 1,480 mm (S2CW4)로 될 때까지 공급하여 제염작업을 실시했을 때의 염분농도는 각각 9.4 mmhos/cm (S2CW1), 7.8 mmhos/cm (S2CW2), 6.7 mmhos/cm (S2CW3), 6.0 mmhos/cm (S2CW4)로 감소하였으며, 암거를 설치하지 않은 처리구(S2NW)에서 제염용수량을 680 mm (S2NW1), 1,000 mm (S2NW2), 1,320 mm (S2NW3), 1,640 mm (S2NW4)까지 공급하였을 때의 토양염분농도는 각각 12.3 mmhos/cm (S2NW1), 10.5 mmhos/cm (S2NW2), 9.3 mmhos/cm (S2NW3), 8.4 mmhos/cm (S2CW4)로 떨어졌다. 그러나 이 경우는 벼수확량에 영향을 미치지 않는 한계염분농도 이하로 감소되지는 않았다. 이것은 불투성토양의 특성으로 투수성토양에 비하여 제염초기에 지하침출이 어려웠고 염분농도의 감소율이 낮았기 때문이라고 판단된다.

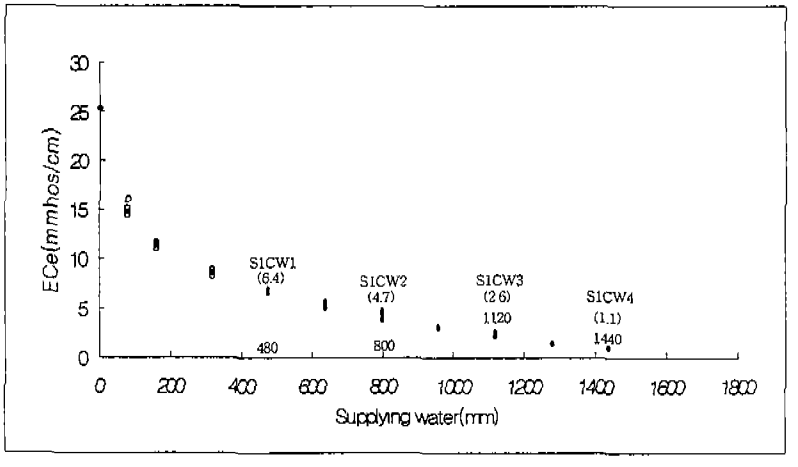

Fig. 3. Changes of salinity in soils(S1CW)

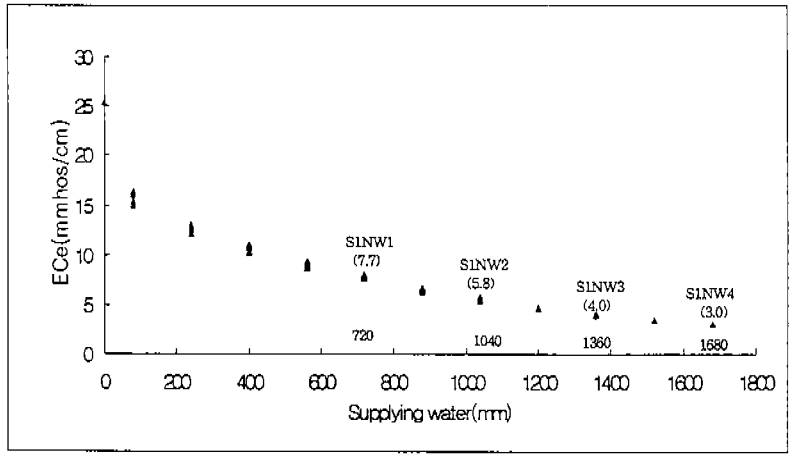

Fig. 4. Changes of salinity in soils(S1NW)

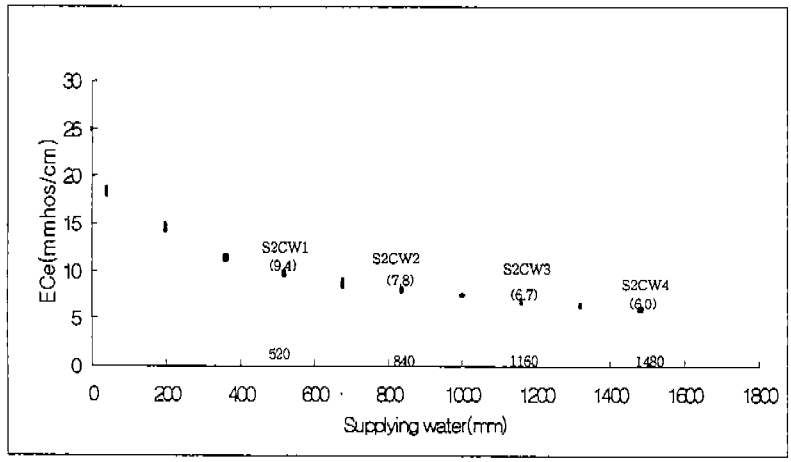

Fig. 5. Changes of salinity in soils(S2CW)

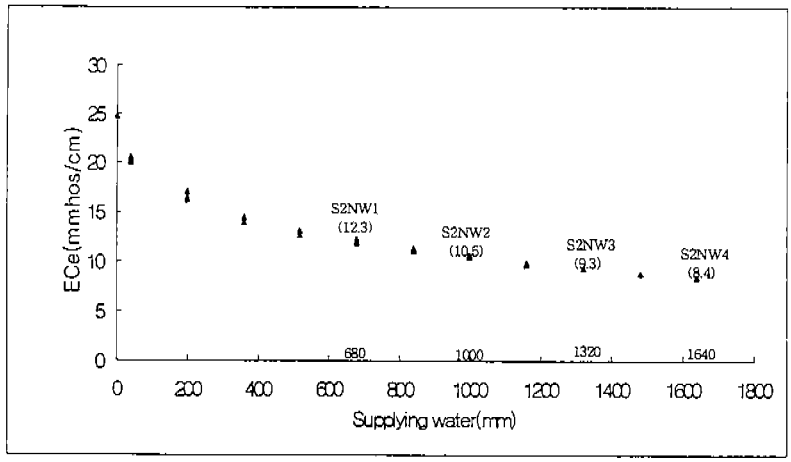

Fig. 6. Changes of salinity in soils(S2NW)

Ⅳ. 요약

개발초기의 고염도 간척답에서 벼의 정상생육을 위한 토성별·물관리방법별 제염용수량을 결정하여 간척답의 관개용수량 산정을 위한 기초자료를 제공하고자 작물생육전에 실시한 제염시험결과는 다음과 같다.

1. 물관리 방법별 공급수량의 변화에 따른 토양염분농도는 암거를 설치한 배수양호토양(S1CW)의 경우 벼수확량에 영향을 미치지 않는 한계염분농도(3.0mmhos/cm)이하로 나타난 처리구는 1,120mm를 공급한 S1CW3 처리구의 2.6mmhos/cm와 1,440mm를 공급한 S1CW4 처리구의 1.1mmhos/cm로 나타났다.

2. 암거를 설치하지 않은 배수양호토양(S1NW)에서 수확량에 영향을 미치지 않는 한계염분농도이하로 나타난 처리구는 1,648mm를 공급한 S1NW4 처리구로서 3.0mmhos/cm로 나타났다.

3. 배수불량토양에서는 암거를 설치한 처리구(S2CW3)의 경우 공급수량에 따라 9.4~6.0mmhos/cm의 범위, 암거를 설치하지 않은 처리구(S2NW)에서는 12.3~8.4mmhos/cm의 범위로 나타나 암거 설치 유무에 관계없이 한계염분농도(3.0mmhos/cm)이하로 나타난 처리구가 없는 것으로 나타났다. 이는 불투수성 토양의 특성으로 제염초기 침출이 어렵고, 염분농도의 감소율이 낮았기 때문인 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 강예묵외 5인(1998) 신제 간척공학, 향문사.
2. 구자웅, 최진규, 손재권(1998) 우리 나라 서해안 간척지 및 간석지 토양의 이화학적 특성, 한국농토양비료학회지, Vol. 31(2), pp.120~127.
3. 농업진흥공사(1983) 염분토양의 제염배수, 농업진흥공사.
4. 농업진흥공사(1983) 제염배수연구, 농업진흥공사.
5. 농어촌진흥공사(1992) 신간척지 토양개량과 작부체계에 관한 연구.
6. 농어촌진흥공사(1996) 한국의 간척, 농어촌진흥공사.
7. Lambert K. Smedema(1986) Land Drainage.
8. M.E. Jensen(1983) Design and Operation of Farm Irrigation Systems, pp142-185.