

골프코스를 조성할 폐염전 매립지의 지하수위에 따른 토양산도 및 전기전도도 변화

이동익¹ · 김기동² · 주영규^{2*}

¹블랙스톤골프장, ²연세대학교 과학기술대학 생명과학기술학부 생물자원공학전공

Changes of Salt Concentration by the Height of Ground Water Table on Disused Saltpan for Golf Course Construction Site

Dong-Ik Lee¹, Ki-Dong Kim² and Young-Kyoo Joo^{2*}

¹Black Stone Golf Course, Icheon,

²Division of Biological Sci. and Tech., Yonsei University, Wonju 220-710, Korea

ABSTRACT

High salt concentration is one of the most important limit factor on plant growth at a disused saltpan for golf course construction site. The control of salt in soil is definitely required and the monitoring of salt concentration in soil and ground water also required to amend soil physiochemical properties. This research was carried out to monitor the pH and salt concentration changes by the height of ground water. By the physiochemical analysis test, the soil contains a high salt concentration and classified as a slight alkaline clay soil. The height of ground water table changed to 1.3m, 3.3m and 2.8m at dry season(mid-late June, 2005), monsoon season(early-mid July) and after monsoon(late July), respectively. Compare to the average ground level of 2.9m, the ground water was over flooded about 0.4m at monsoon season. The electrical conductivity(ECe) was measured above $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ over all areas and however, some areas showed over $20\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. During a monsoon season, ECe was lowered to $1.2\sim 15.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, compared with those of the dry season. Therefore, the interception of the capillary connection between planting layer and ground water which contains high salt concentration should be adapted when golf courses are constructed on disused saltpan. The phytotoxicity caused by salt damage may be controled by the interception of capillary fringe of salt flow to the topsoil profile at the upper layer of the ground water table.

Key words : capillary fringe, conductivity, disused saltpan, electrical phytotoxicity, golf course, ground water table

*Corresponding author. Tel : +82-33-760-2250

E-mail : ykjoo@yonsei.ac.kr

Received : Apr. 2, 2009, Revised : May. 1, 2009, Accepted : Jun. 1, 2009

서론

우리나라의 경우 임해 매립지의 이용은 주로 논으로 이용되어 왔으며 토양의 물리적 특성에 따라 일부는 밭과 그 밖의 농토 이외의 목적으로 이용되어 왔다. 임해 매립지의 이용에 있어서 제염은 중요한 요소이며 염류도 관리의 핵심은 토양과 관개수의 염류도 조절에 있다(류, 2005). 염류성 토양(salt-affected soils 또는 halomorphic soils)은 식물생육을 저해할 수 있는 높은 농도의 가용성염류(NaCl , NaHCO_3 , Na_2CO_3 등)를 포함하고 있기 때문에 식물의 성장 전반이 저해되어 작물의 생산성이 크게 저해된다(Sahi C., 2006). 일반적으로 명료한 건기가 있는 지역이나 건조지대에 점재하는 일종의 간대성 토양으로 엄밀히 말해서 염류토(saline soil), 알칼리토(alkali soil), 알칼리성-염류토(saline-alkali soil)로 대별된다. 따라서 폐 염전 지역의 활용에 있어서 토양과 관개수의 전기전도도는 작물에 대한 염류장애를 판단하는데 매우 중요한 화학적 지표이다. 토양 포화침출용액의 전기전도도(ECe)가 $0\sim 2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 일 경우, 식물생육에 대한 염류의 영향은 거의 무시할 수 있어 비염류 토양(non-saline)으로 분류한다. ECe가 $4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 을 작물의 생육에 염류가 영향을 미칠 수 있는 임계값으로 보고 있으며, ECe가 $4\sim 8\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 인 경우 대부분의 작물 수량이 현저히 줄어들게 된다(류 등, 2002). 골프코스의 주 활용 식물인 잔디의 경우도 염류농도에 따라 다양한 적응성을 가지는 것으로 보고된바 있다(김 등, 2008).

토양 중에 가용성 염이 과다하면 식물의 생육이 해로운 주된 이유는 토양 수분에 염류이온의 농도가 높아 물의 삼투 포텐셜이 매우 낮은 값을 갖게 되어 식물의 수분이용 효율이 저하되고 토양 용액의 이온평형을 교란시키기

때문이다(Munns와 Termaat, 1986). 또한, 제염기간이 토성에 따라 다르며, 같은 토양이라 하더라도 지형 특성상 지하수위 고저에 따라 상당히 달라지는 문제점이 있기 때문이다(류, 2005).

염류성 토양의 생성은 해수성 석호(潟湖) 밑에 있었던 퇴적암이 용기되어 지표면을 이루었을 때, 계속적인 관개와 증발산의 결과로 관개용수에 함유된 염류가 집적되었을 때 생성된다. 또한, 근권 내로 함유수(brackish water)나 바닷물의 지하수가 상승 하였거나 해안지역에서 해수에 침수 되었을 때, 염류를 함유한 공기나 염류성 풍적물(aeolian deposit)이 퇴적되었을 때도 생성된다. 특히 간척지의 이용에 있어서 관개용수의 수질 문제와 지하수위 상승의 문제는 식물생육에 있어서 중요한 요인으로 작용하며(최 등, 2003), 지하수위의 상승은 강우와 관계가 있는 것으로 나타난다(양과 안, 2008).

골프코스의 조성 시 물의 수직 배수가 유리한 토양구성과 지하배수 및 표면배수가 유리한 지리적 조건을 충족하여야 한다(USGA, 1993). 그러나 투수계수가 높은 모래토양으로 구성되더라도 국내 여름철 집중호우의 특성을 고려해볼 때 폐 염전 지역의 활용에 있어 지하수위의 상승으로 인한 염해의 피해가 우려된다. 이에 본 실험은 각 측정지에서 지하수위와 지하수위에 따른 pH 및 염류농도(전기전도도, EC)의 변화를 측정하여 염류지도 작성의 기초자료로 이용하고자 하였다. 또한, 폐 염전 지역을 이용한 골프코스 건설에 있어서 지하수위 상승에 따른 염류의 상승을 파악하고 염해의 감소방안을 제시하고자 실시하였다.

재료 및 방법

본 연구를 위한 측정부지는 골프코스 조성 예정지의 폐 염전 지역으로, 건설부지내의 30 곳을 염류지도 작성을 위한 측정지로 선정하였다(Fig. 1). 선정된 측정지는 2005년 6월 16일 굴삭기(excavator)를 이용하여 지하 약 4.3m의 깊이로 굴착하였으며, 토양채취는 A(0~10cm), B(10~50cm), C(400cm)에서 채취하였다. 수위측정에 사용된 표고 기준은 당진 무수리 사업예정지형지적도(2005년 5월 23일) 표점 높이를 참고하였다.

측정일자는 환경지질연구정보센터 도면정보

서비스 자료를 참조하여 측정부지의 기후여건을 기준으로 갈수기(6월 21일), 장마기(7월 5일), 장마종료기(7월 29일, 장마직후)로 구분하여 측정하였다(Table 1).

조사항목으로는 당진 관측소의 기록 자료를 이용한 측정부지의 연간 지하수 변화정도를 조사하였다. 토양 물리적 특성으로 토성(Stokes 법칙), 화학적 특성으로 깊이별 pH 및 E_{Ce}(dS · m⁻¹)를 측정하였다. 측정부지별로 여름철 집중 강우 시 지하수의 지표상승이 이루어지는 지역을 조사하였으며, pH, EC(dS · m⁻¹)를 측정하여 지하수위의 변화에 따른 pH와 염 농도의 변화양상을 측정하였다. 토양

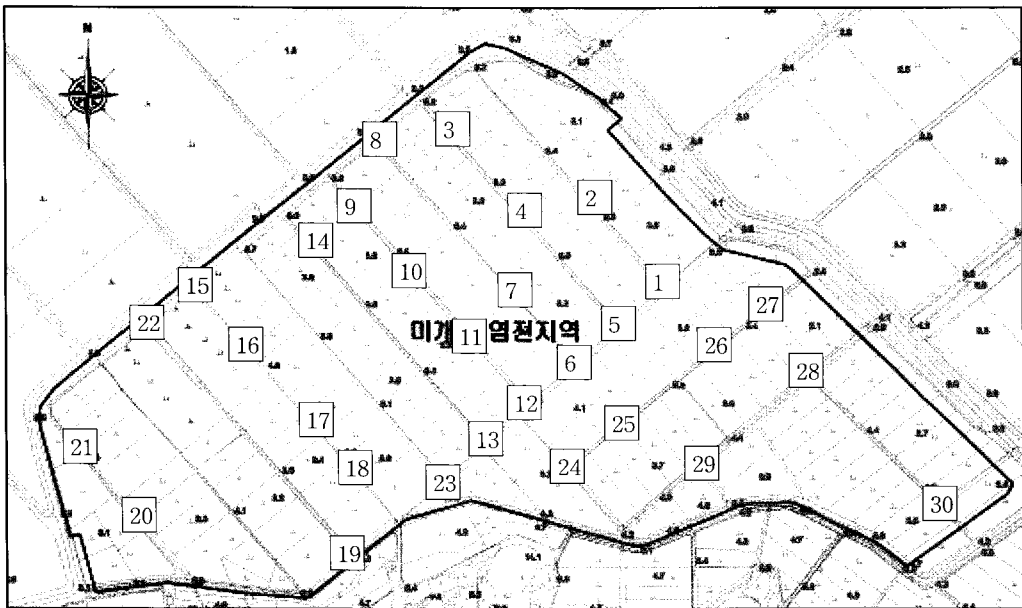


Fig. 1. 염류지도 작성을 위한 폐 염전 지역 내 측정지 선정(1번에서 30번 지역).

Table 1. 염류지도 작성을 위한 조사기간, 측정지역의 시료채취 깊이, 측정시기 및 조사항목

| 항 목 | 내 용 | | |
|---------|-------------------------|------------|-----------------|
| 측정지역 | 폐 염전 지역 내 30곳 선정 | | |
| 조사기간 | 2005년 5월~2005년 9월까지 5개월 | | |
| 시료채취 깊이 | 0~10cm(A) | 10~50cm(B) | 400cm(C) |
| 측정시기 | 6월 21일(갈수기) | 7월 5일(장마기) | 7월 29일(장마종료기) |
| 조사항목 | 지반의 토성 및 pH, 전기전도도 | | 지하수의 pH 및 전기전도도 |

의 염류는 토양수 중에 녹아 이온상태로 되어 전기의 전도를 용이하게 해주는데 전기전도도를 측정함으로써 염류의 농도를 간접적으로 알 수 있다.

염류지도의 작성은 측정된 지하수의 전기전도도값을 기준으로 Auto Cade를 이용하여 염류농도 수준에 따른 등고지도를 작성하였다.

결과 및 고찰

측정부지의 연간 지하수위 변화도

측정부지 근교 당진관측소의 2001년 1월 1일~동년 12월 31일까지의 측정 자료에 따르면 이 지역에서의 최저 지하수위를 보인 것은 4월 중순~6월 중순이었다. 이후 장마기가 시작되면서 지하수위는 7월 말경 최고치를 기록하였다(Fig. 2).

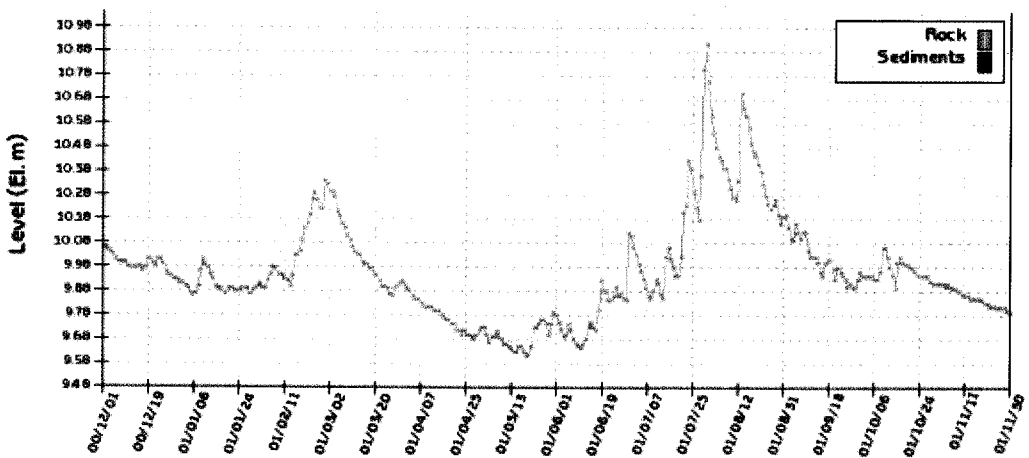


Fig. 2. 당진관측소에서 측정된 연간 지하수위 변화 양상(관측소 표고 ; 암반층 12.555m, 2001년 1월 1일부터 동년 12월 31일까지).

Table 2. 토양 깊이별 토성 분석(측정지 8번)

| 토양 깊이(cm) | 모래(%) | 미사(%) | 점토(%) | 토성 |
|-----------|-------|-------|-------|------|
| 0~10 (A) | 56 | 2 | 40 | 사질식토 |
| 10~50 (B) | 38 | 8 | 54 | 식토 |
| 400cm (C) | 26 | 10 | 64 | 식토 |

토성(soil texture)의 분석

현장의 토양은 깊이별로 다양한 구성을 이루고 있었다. 측정 부지의 동쪽과 서쪽을 중심으로 갯별토양이 주로 분포하고 있으며, 남쪽을 중심으로 심토부에 산토층이 관찰되었다. 측정지역 8번의 토층별 토성을 분석한 결과 A(0~10cm), B(10~50cm), C(400cm)의 토양은 각각 사질식토(Sandy Clay), 식토(Clay), 식토(Clay)로 나타났다(Table 2). 점토성분의 함량이 높게 나타난 것은 내답압 능력이 약한 지반을 이루고 있는 것으로 보이며 건조가 반복되면 경도가 강해지고 투수성이 저하되는 등 토양 물리적 특성이 악화될 것으로 사료된다.

토양산도(pH) 및 전기전도도(ECe)의 분석

19번 지역을 제외한 대부분의 토양에서 pH 7.0 이상의 약 알칼리성 토양으로 나타났으며, 측정지 30곳의 토양 깊이별 평균 pH는 표토

A, 표토 B, 심토에서 각각 7.18, 7.55 및 7.59로 나타났다(Table 3). 이는 토양 깊이가 증가할수록 pH의 상승이 나타나고 있는 것으로 보이나, 그와 반대로 깊이가 깊어질수록 pH가 낮아지는 지역도 나타났다(11, 12, 18번 지역). 우리나라의 토양 pH가 일반적으로 5.0~6.5 사이의 약산성 토양이고 잔디식물의 적정 pH가 5.5~6.5임을 감안해볼 때 폐염전 지역의 활용을 위해서는 식재지역의 염성분의 조절이 중요한 관건이라고 사료된다.

측정된 전기전도도($dS \cdot m^{-1}$)의 값은 토양수를 물과 1:5로 추출하여 측정되었다. 따라서 토양의 포화수분함량이 50%로 가정한다면 예상되는 포화침출토양용액의 전기전도도(CEc)의 값은 EC 값의 약 10배로 계산된다. 토양 깊이별 평균 ECc의 값은 A(0~10cm), B(10~50cm), C(400cm)에서 각각 1.50, 1.71 및 $2.67 dS \cdot m^{-1}$ 로 측정되었다(Table 3). 이 결과는 A(0~10cm)의 EC는 약 $15dS \cdot m^{-1}$ 정도로 예측되며 토양 내에 식물생육을 저해할 만큼의 충분한 염을 함유하고 있음을 의미한다. 특히 강수량보다 증발량이 큰 건조한 시기에 있어서는 심토로부터 더 많은 염이 공급될 수 있는 잠재성이 있음을 시사한다. 폐염전 지역의 활용에 있어 식재기반의 높은 염류농

도는 잔디식물 생육의 주요 저해요인으로 작용할 것으로 보이며 이를 해결하는 문제는 중요하다.

지하수위 변화

폐염전 지역을 활용한 골프코스 조성 시 식재지반을 조성함에 있어 염 농도에 따른 식물 생육의 제한이 있을 것으로 사료된다(Table 3). 토양 내 염성분의 이동은 토양 수분의 모세관 현상에 의한 이동기작으로서 염류성 토양 위에 식재지반을 조성하기 위해서는 지하수의 이동의 원인인 토양 내 모세관 현상을 차단하기 위하여 차단층(자갈층)의 조성은 필수적이다. 그러나 차단층 조성 시 연간 최고 지하수위 보다 높은 곳에 조성되어야 항시적으로 염 성분을 포함한 지하수의 식재지반으로의 유입을 막을 수 있다. 따라서 폐염전 지역을 활용한 골프코스 식재지반의 조성에 있어서 부지내의 연간 최고 지하수위 자료는 필수적인 사항이다(Fig. 3). 평균 지면높이, 06월 21일 갈수기, 07월 05일 장마철 및 07월 29일 장마철 직후의 지하수 수위는 각각 해발 2.9, 1.3, 3.3, 및 2.8 m로, 장마 중인 07월 05일 지하수 수위는 지면에 비해 평균 0.4 m 높은 것으로 측정되었다. 특히 장마기

Table 3. 토양 깊이별 토양산도(pH) 및 전기전도도(ECc) 측정(14, 15, 19, 26번 지역)

| 측정지 번호 | 지리적 위치 | 토양 깊이(cm) | pH | EC($dS \cdot m^{-1}$) |
|--------|--------|-----------|-----|-------------------------|
| 14 | 북쪽 | 0~10 | 7.0 | 2.6 |
| | | 10~50 | 7.6 | 2.8 |
| | | 400 | 7.7 | 3.5 |
| 15 | 서쪽 | 0~10 | 7.4 | 1.5 |
| | | 10~50 | 7.7 | 1.5 |
| | | 400 | 7.8 | 3.5 |
| 19 | 남쪽 | 0~10 | 4.8 | 0.4 |
| | | 10~50 | 4.0 | 1.2 |
| | | 400 | 5.9 | 0.3 |
| 26 | 동쪽 | 0~10 | 7.6 | 1.3 |
| | | 10~50 | 7.5 | 1.2 |
| | | 400 | 7.8 | 3.5 |

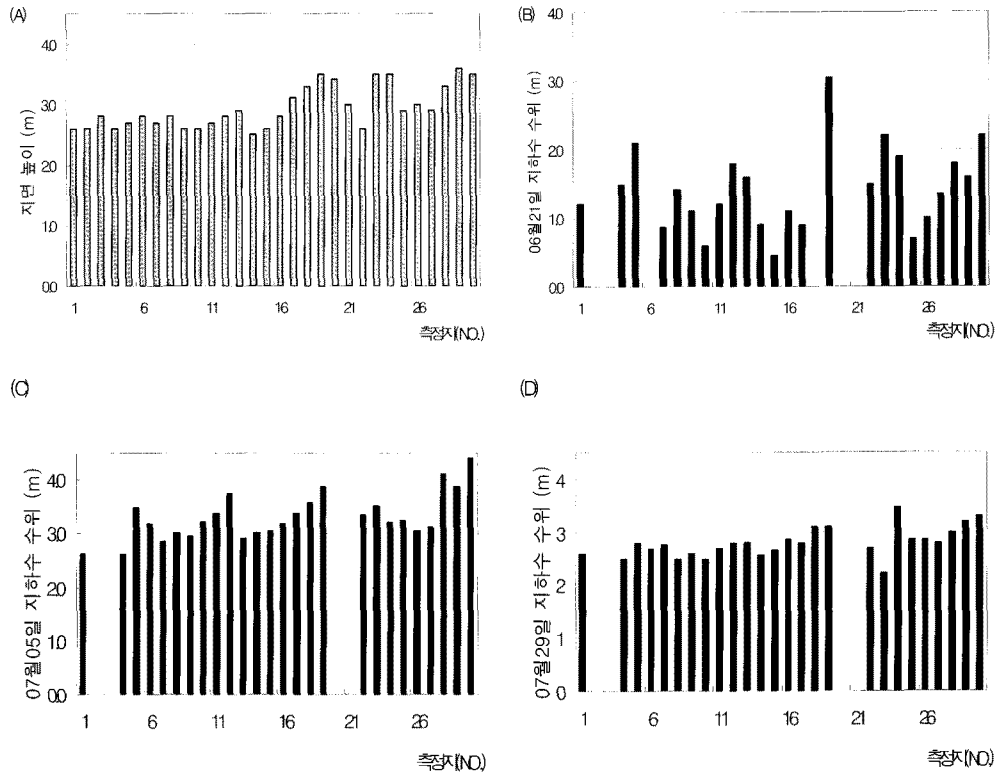


Fig. 3. 폐 염전 지역 내의 측정지역별 지면높이(A), 갈수기의 지하수위(B), 장마철의 지하수위(C), 장마 직후의 지하수위(D)

간 중에는 대부분의 측정지역에서 지면 보다 높이가 나타났으며, 이러한 지역은 지반조성 및 차단층 조성 시 지하수위변화와 관련하여 각별한 주의를 요하는 지역으로 분류된다(Table 4).

지하수의 전기전도도의 변화

갈수기(6월 21일)때 지하수의 전기전도도를 측정된 결과 19번 지역과 23번 지역을 제외한 모든 측정 지역에서 내염성이 약한 식물종의

Table 4. 측정지역별 장마기 지면위로 상승된 지하수의 높이

| 측정지 | 지면 위 수위(m) | 측정지 | 지면 위 수위(m) | 측정지 | 지면 위 수위(m) |
|-----|------------|-----|------------|-----|------------|
| 1 | 0 | 11 | 0.7 | 21 | - |
| 2 | - | 12 | 0.9 | 22 | 0.7 |
| 3 | - | 13 | 0 | 23 | 0 |
| 4 | 0 | 14 | 0.5 | 24 | 0.3 |
| 5 | 0.8 | 15 | 0.5 | 25 | 0.3 |
| 6 | 0 | 16 | 0.4 | 26 | 0 |
| 7 | 0.1 | 17 | 0.3 | 27 | 0.2 |
| 8 | 0.2 | 18 | 0.3 | 28 | 0.8 |
| 9 | 0.3 | 19 | 0.4 | 29 | 0.3 |
| 10 | 0.6 | 20 | - | 30 | 0.9 |

경우 염해가 우려되는 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 를 넘었다. 특히, 북서부 지역의 경우 $20\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 를 넘는 고염도 지역이 밀집되어 있었으며 14번 지역의 경우 $42.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 최고치를 기록하였다. 장마철(7월 29일)의 경우 측정지 전 지역에서 전기전도도의 감소가 나타났으며 측정치의 범위는 $1.2\sim 15.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 사이를 기록하였다. 상대적으로 높은 전기전도도를 보인 곳은 7($15.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)번, 25($10.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)번 및 27($10.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)지역을 포함하여 간헐적인 분포를 보였다(Fig. 4 (A)). 장마 직 후인 7월 29일 측정치의 범위는 $1.2\sim 20.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 최저치는 19번 및 23번 지역에서 관측되었고 최고치는 27번 지역에서 관측되었다. 갈수기간의 측정치에 비하여 전기전도도의 값은 조금 낮아 졌으나, 18번 지역과 27번 지역을 중심으로 북서부 지역에서 높은 염 농도가 나타났다(Fig. 4 (B)).

요 약

폐 염전 매립지를 활용한 골프코스 조성에 있어서 중요한 것은 고농도의 염이 식물 생육의 제한 요인으로 작용한다는 것이다. 높은 농

도의 염류를 조절하는 것이 필수적이며, 건설 부지의 토양을 개량하기 위해서는 토양 및 지하수 내 염 농도에 대한 체계적인 지표가 필요로 한다. 이에 본 연구는 지하수위에 따른 pH 및 염 농도의 변화를 조사하였다. 이는 골프코스 조성 시 지반공사를 위한 기초자료가 될 뿐만 아니라 공사 후 식재지반의 효율적이고 합리적인 관리에도 유익한 자료가 될 것으로 사료된다.

대상지역의 토양 물리 화학성 분석 결과, 건설부지 내 토양의 대부분은 염분 함량이 높고 약 알칼리성의 식토(clay soil)로 분류되었다. 지하수 수위변화는 갈수기(6월 중·하순), 장마기(2005년 7월 초·중순), 장마후기(7월 말)로 측정 시기를 구분한 결과 1.3m, 3.3m 및 2.8m로 장마기 지하수위는 평균 지면높이 2.9m에 비해 약 0.4m 높은 것으로 측정되었다.

전기전도도의 변화를 측정한 결과 갈수기에는 전체 측정지역에서 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상으로 측정되었고, 지역에 따라서 $20\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상으로 나타났다. 장마기 ECe 측정값은 $1.2\sim 15.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 갈수기에 비해 상대적으로 낮은 EC값을 나타냈다.

따라서 폐 염전 매립지를 이용한 골프코스 조성에 있어 고농도의 염을 함유한 지하수와

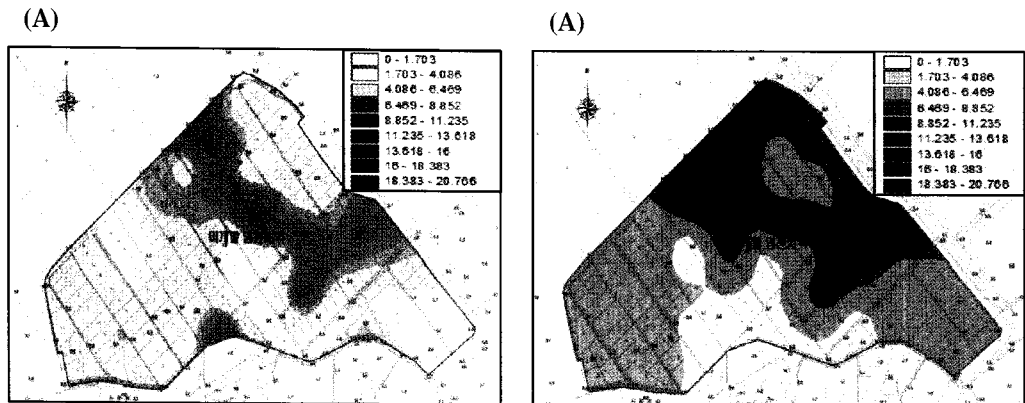


Fig. 4. 장마기(A)와 장마 직 후(B) 염농도 분포에 따른 염지도

식재지반과의 모세관 연결을 차단시키는 것이 중요하다. 이를 실현하기 위하여는 최고 지하수위 보다 높은 지점에 차단층(자갈층)을 포설한 후 식재층을 포설하여 토양 내 모세관 작용을 차단함으로써 염성분의 식재지반으로 이동을 차단한다면 염해에 의한 식물생육의 장애를 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 골프코스, 모세관현상, 전기전도도, 지하수위, 토양산도, 폐염전

참고문헌

1. 권병선, 백선영, 신정식, 임준택, 신동영, 김학진, 현규환. 2003. 간척지의 염분농도 차이가 토양의 화학적 조성과의 생산성에 미치는 영향. 한국식물연구학회. 16(3) 181~186
2. 김준범, 양근모, 최준수. 2008. 염해지에서 크리핑벤트그래스 10개 품종의 생육 비교. 한국잔디학회지. 22(2):149~160. 2008
3. 류순호 등. 2002. 토양사전. pp. 302
4. 류철현. 2005. 간척지 토양 조사와 토양 관리. 2005 한국토양비료학회 춘계학술발표회 논문초록집 435-466
5. 양정석, 안태연. 2008. 한국 남부지방의 강수량 이동평균과 지하수위의 상관관계. 지질공학회. Vol. 18, No.4, December, pp 393-403
6. 정영상, 주진호, 윤세영. 2002. 간척지에서 토양과 관개수의 염류도와 염류도 관리
7. 최원영, 이규성, 고종철, 최승열, 최돈향. 2003. 간척지 벼 재배 시 토양 및 관개수 염의 안전한계 농도. 한국작물학회. 48(3): 238~242
8. Munns, R, and A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13: 143~160
9. Sahi, C., A. Singh, K. Kumar, E. Blumwald and A. Grover. 2006. Salt stress response in rice: genetics, molecular biology, and comparative genomics. *Functn. Integr. Genomics*. 6, 263-284
10. USGA Green Section Staff. 1993. USGA recommendation for a method of putting green construction. USGA Green Section Record March/April : 1-3