

새만금 간척지 토양특성과 친환경 활용 방안

Construction of Environmental-friendly Infrastructure in Saemangeum Reclaimed Land

서동욱¹⁾, Dong-Uk Seo, 전건영²⁾, Geon-Yeong Jeon, 김현태³⁾, Hyun-Tae Kim, 송재도⁴⁾, Jae-Do Song

¹⁾ 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원, Staff Researcher, Rural Research Institute, KRC

²⁾ 한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원, Senior Researcher, Rural Research Institute, KRC

³⁾ 한국농어촌공사 달성지사 지사장, Direct-General, Dalseong District Office, KRC

⁴⁾ 한국농어촌공사 농어촌연구원 연구원, Researcher, Rural Research Institute

SYNOPSIS : Saemangeum reclaimed area is needed to construct much green zone to make high-quality multi-functional land such as tide embankment, lake dike, industrial complex, environmental spaces, etc. However, growth of plants is somewhat difficult because a salinity of Saemangeum soil is very high and a soil fertility, water content of soil are low. Therefore, it is essential to initial desalination of soil and continuous management for planting base. It is recommended that a group of grassland to raise the efficiency of covering should be made in the first stage and a forest by improvement of vegetation should be made in the mid and long term stage. It is recommended that the construction of vegetation base should be made with a regular thickness of soil of good quality in multi-functional area such as a shrub and wood. In case of construction of a windbreak forest, it is necessary to make a wood base of suitable depth using soil brought from another place or filling of soil. Also, it is necessary to keep a maintenance of woods in early stage. Saemangeum reclaimed land will be brand-named worldwide tourist attractions due to construction of much green zone having high quality multi-functional facilities.

Keywords : Saemangeum, soil characteristic, environment-friendly, dredged soil

1. 서 론

새만금 방조제와 방수제를 비롯하여 내부 개발을 위해 조성되는 매립지는 명품 복합단지로 만들기 위해 녹지대 설치가 많이 필요하다. 그러나 새만금 간척지 준설해사는 초기 염도가 높고, 수분함량과 비옥도가 낮아 식생이 불리하다. 새만금 간척지의 토질은 통일분류법상으로 실트질 모래(SM) 또는 실트(ML)로 준설해사를 매립재로 사용할 경우, 공학적으로는 취약할 수 있는 성토체의 침식, 세굴, 지지력, 액상화 등의 문제는 구조적으로 보강 또는 개량 대책을 세울 수 있지만, 식물의 생육에 있어서는 흙입자의 투수성과 통기성이 나쁘고 지내력이 약해 식생에 불리한 특성이 있다.

따라서, 친환경 녹화에 성공하기 위해서는 매립 초기에 제염을 실시한 후 적절한 수분과 염도 관리가 이루어져야 하며, 녹화가 가능하기 위해 필요한 제염기간과 제염 용수량은 예측하여야 한다. 또한, 녹화 시공은 초기, 중장기적으로 어떻게 조성을 해야 하며, 초지류에 비해 더 두꺼운 기반을 필요로 하는 수목 식재기반을 어떻게 조성하여야 녹지대를 성공적으로 만들 수 있는지에 대해 개략적으로 살펴보고자 한다.

2. 새만금 간척지 토양 특성

2.1 일반 특성

2.1.1 토성

동진강 수역의 토성은 사질양토가 약 58.3%, 양질사토가 38.2%, 사토가 약 3.5%로 사질양토와 양질사토가 대부분을 차지하고 있으며 만경강 수역의 토성은 미사토가 53.4%로 가장 높고 사질양토가 18.4%, 사토가 17.2%, 양질사토와 양토가 각각 7.3%와 3.7%로 나타났다. 노출지에서 조사된 토성은 김제, 부안 및 군산지역 모두 사질양토로 비슷하고, 타지역에 비하여 상대적으로 실트 분포가 많은 편이다.

(Table 1) Distribution of surface soil characteristics in agricultural land

지역	입도 분포(%)			통일분류법
	Sand	Silt	Clay	
Gimje	52.0~72.2	24.0~47.2	1.7~5.1	SM, ML
Buan	56.4~71.6	25.0~40.4	1.0~4.0	SM, ML
Gunsan	55.4~69.4	29.6~42.0	1.0~4.0	SM, ML

2.1.2 화학적 특성

간척지 흙이 노출될 경우 매우 빠른 속도로 산화되어 유기물 함량의 감소가 예상되고 흙의 물리화학적 제반특성을 결정짓는 중요한 변수가 유기물 함량이다. 이와 함께 작물의 생육에 필요한 유효영양성분인 암모니아태질소, 칼리, 칼슘, 마그네슘 등의 보유량은 양이온교환용량(CEC)이 클수록 많다고 볼 때 비옥한 토양일수록 양이온교환용량이 크다고 할 수 있다.

염분농도는 작물의 내염성에 따라 다르기는 하나, U.S.Salinity Laboratory(1954)에서는 전기전도도 4ds/m, 교환성나트륨백분율 15%, 포화토양의 pH 8.5를 기준으로 이 기준값을 넘어설 경우 식물의 생육이 어려운 염해 토양으로 정의하고 있다.

(Table 2) Chemical properties of soil in agricultural land

지역	전기전도도(ds/m)		양이온교환용량(cmol/kg)		유기물함량(%)	
	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.
Gimje	18.3~36.2	27.1	10.97~13.80	12.40	0.60~1.90	1.40
Buan	27.7~46.6	40.5	8.04~11.73	9.14	0.78~1.93	1.37
Gunsan	21.4~37.1	28.7	8.91~13.47	10.49	0.93~2.63	1.75

노출지 흙의 화학적특성은 김제와 군산지역이 비교적 염분농도가 낮게 나타나고 있으나, 대체적으로 유기물함유량은 낮은 편이다.

2.2 제염 특성

2.2.1 개요

새만금은 방조제 명소화사업, 명품 산업단지 조성, 다기능 방수제, 고소득 농업단지 조성 등 친환경적인 공간으로 만들기 위해서는 많은 녹화지대가 필요하다. 그러나, 새만금지구는 방조제가 준공된 지 채 1년이 지나지 않았으며, 아직도 해수가 유통되는 등 완전한 담수화가 이뤄지지 않아 대부분의 간척지 흙은 염분이 높은 편이다. 따라서, 조기에 녹화기반을 조성하기 위해서는 초기 제염작업이 필수적이다.

예로부터 간척지는 주로 논농사가 이루어져 왔는데, 논농사는 알맞은 관개수를 계속 담수하면서 제염이 이루어지지만, 밭이나 녹지대의 경우 초기 담수 제염 작업 후 지속적인 관개수를 공급하지 않는다면,

식물이 물을 증산하고, 염을 토양에 남기게 되고, 그 염은 식물의 발아를 저해하고, 생육을 억제한다. 염생식물을 제외한 일반적으로 작물이 자랄 수 있을 토양의 염도는 (Table 3)과 같이 전기전도도(EC)의 값이 2dS/m 이하가 되어야 한다.

(Table 3) Salt soil classification by crops cultivation standard

토 양	EC(dS/m)	작 물 재 배 가 능 성
비염류성	< 2	대부분 작물 재배 가능
약염류성	2 ~ 4	내염성 약한 작물 수량 감소, 과수작물 재배 제한
중염류성	4 ~ 8	많은 작물 수량 감소, 채소작물 재배 제한
강염류성	8 ~ 16	내염성 작물 수량 유지, 곡물작물 재배 제한
극염류성	> 16	대부분 작물 생육 한계, 내염성 작물 재배 제한

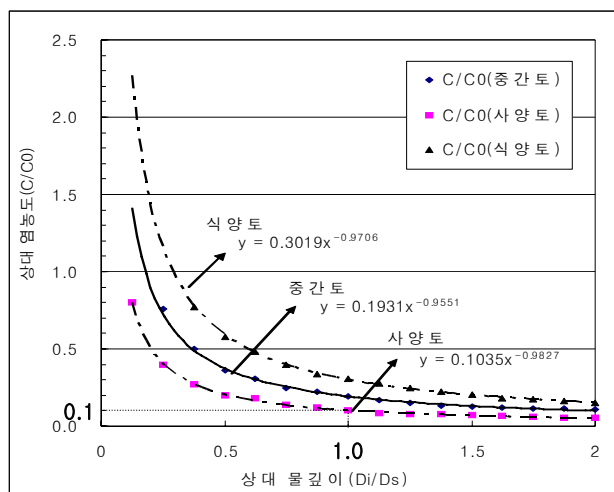
흙의 제염현상은 관개수의 염도, 원 토양의 염도, 용탈속도 등의 관계가 있으며, 용탈 속도는 흙의 투수성과 밀접한 관계가 있으므로 흙의 성질에 따라 다르다. 용탈은 관개수에 의하여 흙의 염을 배제하는 주요 수단이며, 장기적으로 용탈에 의한 염분 제거량이 공급된 물에서 유입되는 염의 양과 같거나 이보다 많아야 흙속의 염을 제거하고 염의 재염화를 막을 수 있다. 물이 흙속으로 공급되는 침투량이 증발량보다 큰 조건의 흙은 그렇지 않은 경우보다 제염이 빠르게 진행된다.

새만금과 같은 간척지는 사질토(사양토) 또는 실트질 지반으로 강우나 담수의 침투속도가 빨라 제염이 상대적으로 쉬우나, 영산강, 화옹지구과 같이 점성토(미사질 식양토) 지반이 대부분인 경우에는 침투속도가 느려 제염이 어려운 조건이다.

2.2.2 제염 용수량 및 제염기간

간척지에서 가장 적용이 쉬운 제염수단은 용탈방법으로, 간척지에 담수를 토양속으로 침투시켜 토양속의 염분을 녹여내는 방법이다.

Hoffman(1980)은 세계 각지로부터 얻은 포장 실험 자료를 기초로 하여 1차원적 용탈하의 염류이동 효율에 대한 경험식을 제시하였다. <Fig. 1>과 같이, 침투수가 전 단면적에 균등하게 침투한다고 가정하였을 때, 토양의 종류별로 목표 도달 깊이에 대한 침투수의 깊이의 비와 초기 토양 염도에 대한 상대 토양 염도비의 관계를 통해 필요 침투수량을 개략적으로 구할 수 있다. 예를 들어, 사질토(사양토)의 경우 목표 상대염농도를 0.1(초기염도 20dS/m ⇒ 목표 염도 2dS/m)로 본다면, 이는 초기 염농도 대비 10%이하로 제염하는 것으로, 이때 상대 물깊이의 비는 1.0이 된다. 즉, 토양 60cm깊이까지 초기 염도대비 10%이하로 제염시키고자 한다면, 60cm 이상의 담수가 침투되어야 한다. 이를 토양의 종류별로 토양심도별 10%이하로 제염하는데 필요한 침투수량을 구해보면 다음(Table 4)와 같다.



<Fig. 1> Relationship of relative salinity by relative water depth

(Table 4) Water requirement of seepage for 90%(C/C0=0.1) desalinization by soil depth

제염 목표 토양심도(cm)	필요 침투수량(cm)		
	사질토(사양토)	실트(중간토)	점성토(식양토)
10	10	20	30
30	30	60	90
60	60	120	180
80	80	160	240
100	100	200	300
150	150	300	450
200	200	400	600

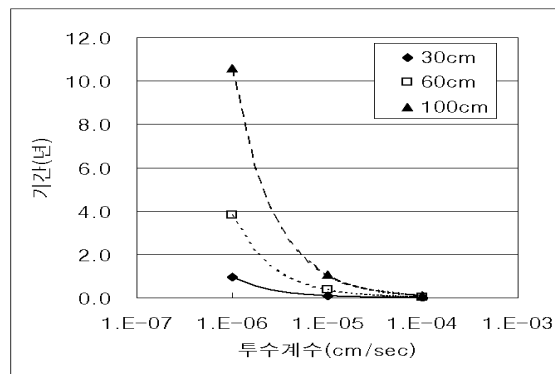
제염은 필요 침투수량을 빨리 침투시키는 것으로 흙의 투수속도가 클수록 제염 속도가 빨라진다. 따라서 제염에 걸리는 시간은 침투속도에 크게 좌우되며, 흙의 투수계수가 클수록 침투속도는 빨라진다. 따라서 상기 (Table 4-4)를 참조하여 상시 담수조건일 때, 토양의 투수계수별 제염에 걸리는 시간을 예측하면 다음과 같다.

$$t = \frac{Z}{v} = \frac{Z^2}{k \cdot \Delta h} \quad (1)$$

여기서, t : 제염에 걸리는 시간, Z : 토양심도
 v : 투수속도, k : 토양의 투수계수,
 h : 담수위

(Table 5) Prediction of desalinization duration by coefficient of permeabilty in soil

제염목표 토양심도 (cm)	투수계수별 제염예측 기간(년)		
	사질토(k=1×10 ⁻⁴ cm/sec)	실트(k=1×10 ⁻⁵ cm/sec)	점성토(k=1×10 ⁻⁶ cm/sec)
30	0.01	0.1	1.0
60	0.04	0.4	3.8
100	0.11	1.1	10.6
150	0.24	2.4	23.8



<Fig. 2> Prediction of desalinization duration by coefficient of permeabilty in soil

새만금지구 흙의 일반적인 투수계수는 4×10⁻³~6×10⁻⁶cm/sec의 값을 보이고 있어, 흙심도 60cm 까지 제염하는데 걸리는 시간은 상시담수 시 흙의 특성에 따라 1개월 ~ 2년 정도면 가능할 것으로 보이나, 화옹지구의 경우 흙의 투수계수는 일반적으로 5×10⁻⁶~1×10⁻⁷cm/sec 로 토성에 따라 짧게는 1년에서 길게는 10년보다 더 오랜 시간이 걸릴 것으로 예측된다.

3. 친환경 활용 방안

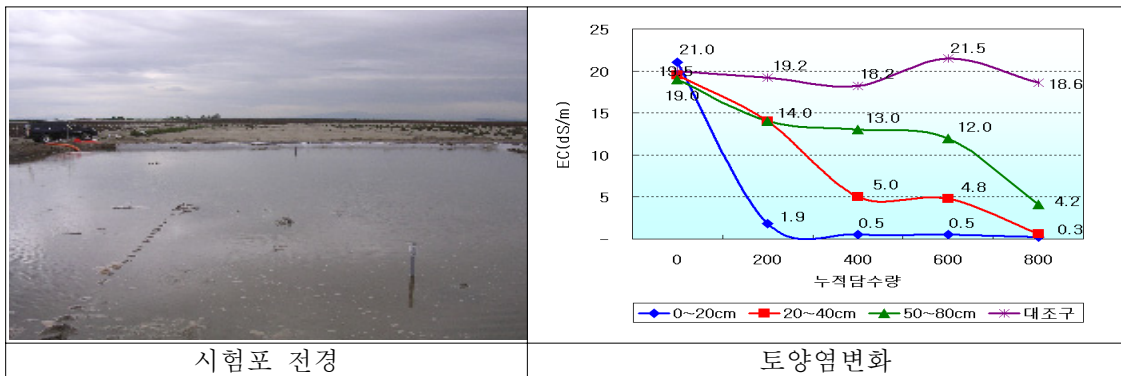
3.1 현장 제염 실시

흙 심도 60cm 깊이까지 목표염도를 초기염도 대비 10% 이하로 제염하고자 할 때 필요한 침투수량은 사양토의 경우 60cm, 식양토의 경우 180cm로 검토되었으므로, 현장 담수 시험을 통하여 제염효과를 확인, 검증하기로 한다.

발기반 조성을 위한 현장 시험포에 흙의 염도변화를 측정하였다. 시험포 조건은 크게 새만금 지구의 사질토와 화옹지구의 점성토로 구분하였다. 제염방법은 담수제염법을 적용하여, 인공담수시험과 자연강우담수시험으로 나누어 수행하였다.

3.1.1 인공담수시험

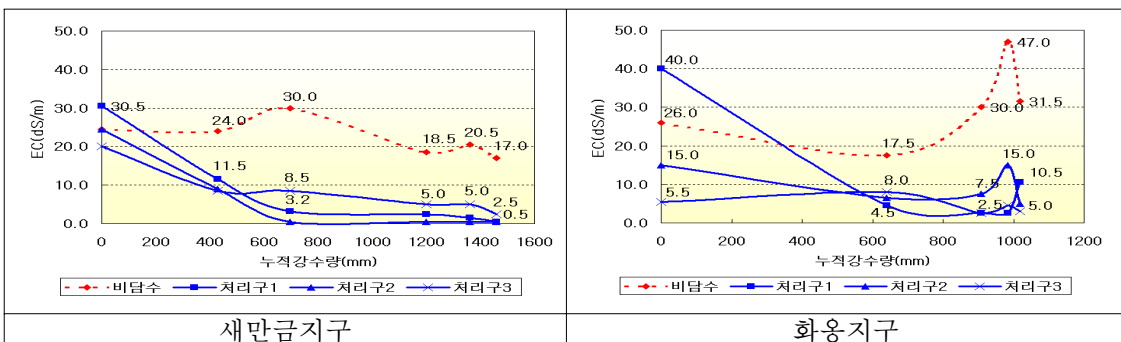
새만금지구에 <Fig 3>과 같은 인공담수 시험포를 조성하여 시험한 결과, 토양 깊이 20cm까지는 1회 (200mm) 담수만으로도 사료작물 가능 염농도(4-8dS/m)이하로 제염이 되고, 60cm 깊이까지는 800mm 담수로 제염이 되는 것을 확인할 수 있다. 이를 확인하고자 담수후 보리를 생육한 결과, 담수제염을 하지 않은 곳보다 보리가 정상적인 생육을 하고 있음을 확인할 수 있었다.



<Fig. 3> 인공담수시험 결과(새만금지구)

3.1.2 자연강우 담수시험

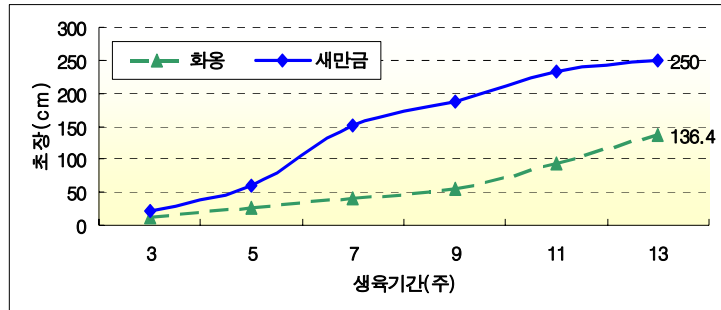
자연강우 담수시험의 경우 <Fig 4>와 같이, 새만금지구는 약 700mm의 강우가 담수되었을 경우 비담수구에 비해 세 곳의 처리구에서 염농도가 대부분 10 dS/m이하로 크게 떨어졌으며, 연간 강우의 약 1,200mm 담수되었을 때 사료작물 가능 염농도(4-8dS/m)이하로 제염이 되는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 화옹지구는 1,000mm의 강우가 담수되어도 작물 가능 염농도 이하로 유지되지 않았다. 따라서, 사질 성분이 많은 토양에서는 자연강우 담수만으로도 제염이 가능하다는 것을 알 수 있었다.



<Fig. 4> 자연강우 담수시험 결과 (새만금, 화옹지구)

3.1.3 발작물 재배시험

제염효과를 확인하기 위하여 녹비, 채소, 화훼 작물 등 다양한 발작물을 재배하였다. <Fig 5>는 녹비 및 채소작물 재배결과를 나타내며, 전반적으로 화옹지구에 비하여 새만금지구의 생육이 좋고, 수확량도 일반밭의 50% 이상으로 나타나 재배가능성을 입증하였다.



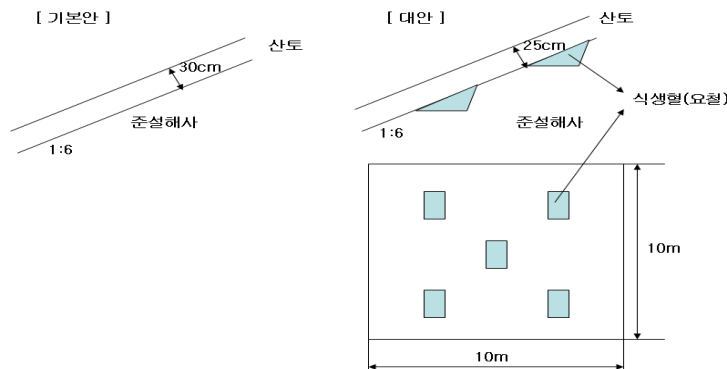
<Fig. 5> 시험포 녹비작물 및 채소작물 재배 결과

3.1.4 토양성숙 시험

녹비작물 재배 후 토양환원을 통한 토양성숙시험을 수행하였다. 녹비작물후 표토의 토양 화학성을 발작물 적정수준(농진청, 2006)과 비교해 보면 pH는 6.33으로서 적정수준(6.5~7.0)까지 감소하였으나 유기물 함량(5.07 g/kg)은 적정수준(20~30 g/kg)의 1/4 수준이고 P2O5 함량(58.05 mg/kg)은 적정수준(150~250 mg/kg)의 1/3 수준이며 Ca 함량(1.49 cmolc/kg)은 적정수준(6.0~7.0 cmolc/kg) 1/4 수준이었다. 따라서 신간척지에 사료작물 등의 발작물을 도입하기 위해서는 유기물, 인산, 칼슘의 함량을 적정수준으로 끌어 올릴 필요가 있으며 녹비작물환원 방법을 이용할 때 이에 소요되는 기간은 유기물의 경우 12.4 년, 인산의 경우 5.3 년, 칼슘의 경우 12.7 년으로 추정된다.

3.2 녹화사면 조성 방안

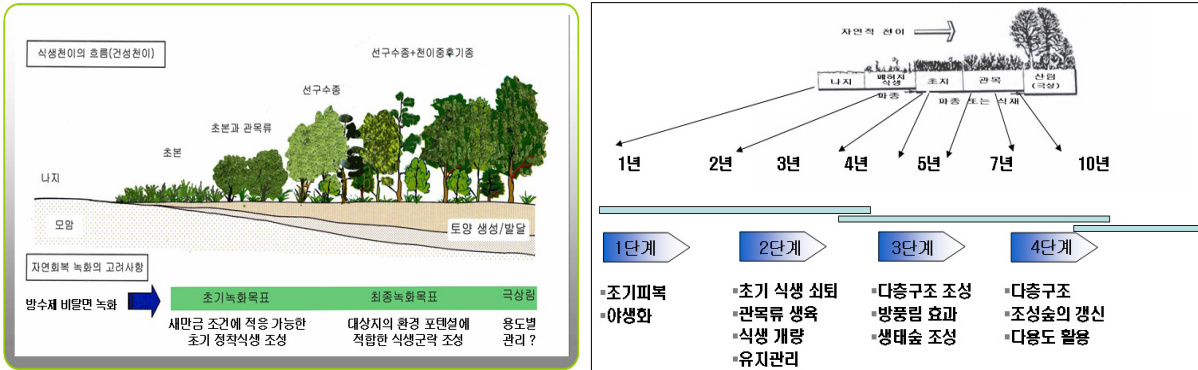
방조제나 방수제의 녹화사면을 조성할 경우에는 다기능 방수제와 같이 생태적 및 경관적 중요지점으로 관목형이나 수림형을 목표로 하는 곳에서는 일정두께 이상의 산토를 피복하는 것이 바람직할 것이나, 다기능 방수제로 구분되지 않는 일반 구간의 방수제나 평지에는 준설해사 위에 식생을 직접 정착하는 방법이 경제적인 것이다.



<Fig. 6> 녹화사면 식생기반 조성(안)

새만금 방조제, 방수제, 또는 산단 등 녹화를 위한 식생으로는 교목류 중에서는 해송, 관목으로는 해당화, 눈섬개야광, 둥근소나무 등의 적용이 가능하고, 초본류중 에서는 양잔디류 외에 다양한 야생화류

의 적용이 가능할 것이다. 사면녹화 계획으로 단계별 시간적인 개념으로는 시공초기에는 초지군락을 조성하여 피복효과를 높이고, 중장기적으로는 식생 개량에 의한 숲의 조성이 바람직할 것이다. 공간적 개념으로는 방조제나 방수제의 구조물과 같은 사면부에는 침식방지를 고려한 매트형 공법이나 침식방지 및 경제성을 고려한 네트형 공법이 필요할 것이며, 완만한 경사지나 평지에는 다양한 파종공법 및 때붙임 방법이 적합할 것이다. 이와 함께 파종에 의한 녹화공법 적용시에는 조성해주는 식생기반이 적정두께를 가지면서, 내침식성을 갖도록 하는 것이 바람직하다.



<Fig. 7> 새만금 방수제 녹화를 위한 단계별 시공방안

(Table 6) 다기능 방수제의 위치별 조성목표

구분	경 관	녹화 조성
관광레저구 간	수변레포츠, 수변광장, 수변주거단지	○ 계절별로 변화 되는 화려한 경관 제공
생태환경구 간	생태공원, 생태녹지	○ 자연스러운 수변경관 및 현장체험 공간의 조 화
신재생에너 지구간	풍력발전, 태양광발전, 바이오단지	○ 개방되고 단순한 경 관 조성
농촌체험구 간	전원휴양, 다목적전시장	○ 심미적으로 안정된 경관 제공
일반구간	생태환경지역, 일반지역	○ 단조롭지 않은 경관 조성

산업단지나 방수제 등에 방풍림을 조성할 경우에는 객토법이나 성토법을 사용하여 적정 깊이의 생육기반을 확보해주는 것이 필요하며, 식재 초기에 적절한 유지관리를 시행하도록 하여야 한다. (Table 7)은 방풍림의 조성 기준을 제시하였다.

(Table 7) 방풍림 조성 기준

항 목	검 토 내 용	
식생	목본 (식재)	해송, 소나무, 녹나무, 섬향나무, 노간주나무, 보리장나무, 순비기나무, 사시나무, 졸참나무, 상수리나무, 느티나무, 팽나무, 모감주나무, 동백, 해당화
	초본 (사초심기)	갯 개고리풀, 새, 솔새, 보리사초, 통보리사초, 갯쪽부쟁이, 갯씀바위, 갯메꽃, 갯질경, 큰개미자리 등
식재기반	- 객토피복법(두께 20~30cm) - 단목객토피법(깊이 40~100cm) - 성토피법(높이 30~100cm)	
토양개량	- 부식토 식혈당 1~3리터 - 완전 부숙된 퇴비 1kg/주	
멀칭	- 벗짚 멀칭 300g/주	
안정	- 지주목(삼각) - 퇴사울(높이 1.0m) - 정사울(높이 0.4~0.6m, 5m×5m 간격)	
기타	- 염분차단층(자갈층, 잡석슬래그층 T=40cm, 필요조건은 아님)	
유지관리	- 식재이후 자생력을 갖기 이전인 1~3년간 집중관리 필요 - 여름철 무장우 일수가 15일 정도 지속될 경우 관수조치 - 태풍 등으로 바닷물에 수목이 젖었을 때 세척 실시 - 식재이후 유기질 또는 화학비료를 부분적 시비 - 식재 후 1~3년간 목표군락 유지를 위한 제초작업 및 밀도관리	

4. 결 론

새만금 방조제와 방수제를 비롯하여 내부 개발을 위해 조성되는 매립지는 명품 복합단지로 만들기 위해 녹지대 설치가 많이 필요하므로, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1) 친환경 녹화에 성공하기 위해서는 매립 초기에 제염을 실시한 후 적절한 수분과 염도 관리가 이루어져야 한다. 토양의 염도를 초기 염도 대비 10%(초기염도 20dS/m ⇒ 목표 염도 2dS/m)이하로 제염하고자 할 때, 필요한 소요 침투수량은 토양의 종류에 따라 다르며, 60cm 깊이의 토양을 제염하기 위해서는 사질토는 60cm정도, 점성토는 180cm이상의 침투수량이 필요한 것으로 검토되었다. 새만금지구에서 자연강우 담수제염을 실시한 결과, 약 1,200mm 강우 담수 시 작물재배 가능 수준 이하로 제염이 되었으며, 자연강우 담수만으로 제염이 가능하다는 결과를 얻었다.

2) 녹화시공은 초기에는 초지군락을 조성하여 피복효과를 높이고, 중장기적으로는 식생 개량에 의한 숲을 조성하는 것이 바람직하고, 준설해사 위에 식생을 직접 정착하는 방법이 경제적인 것이나, 생태적 및 경관적 중요지점에는 관목형이나 수림형 조성을 위해 일정두께 이상의 산토를 피복하는 것이 필요할 수 있다. 방풍림을 조성할 경우에는 객토피법이나 성토피법을 사용하여 적정 깊이의 생육기반을 확보해주는 것이 필요하며, 식재 초기에 적절한 유지관리를 시행하도록 한다.

3) 밭이나 녹지대는 논과 달리 건조 상태일 때, 모관수 상승으로 인한 재염화가 발생하므로, 앞으로 재염화 방지 기술과 토양성숙 방안, 식생기반에 대한 연구를 계속할 계획이다.

Reference

1. 농식품부(2001), "간척지 제염예측기법 개발", 전북대.
2. 농식품부(2002), "간척지에서 토양과 관개수의 염류도와 염류토 관리", 강원대 농업공학연구소.
3. 농식품부(2007), "간척지 다각적 활용 방안 연구", 농어촌연구원.
4. 김현태, 서동욱(2008), "간척지 밭조성을 위한 자연강우 제염 방안", 농어촌과 환경지, No.100, pp.144~152.
5. 농식품부(2008), "새만금 농업지역 개발방안 연구", 농어촌연구원.
6. Hoffman, G. J.(1980), "Guidelines for the reclamation of salt affected soils", G. A. O'Conner, ed. 2nd Inter-american Conf. on Salinity and Water Management Technology, Juarez, Mexico. 11-12 Dec. 1980:49-64.