

새만금 간척지에서 36종 조경수의 양묘 가능성 검증과 내염성 분류

이경준¹ · 송재도^{2*} · 이규화¹

¹서울대학교 식물병원, ²한국농어촌공사 농어촌연구원

Possibility of establishment of a tree nursery at Saemangeum Reclaimed Land and Classification of 36 Landscape Trees Based on Salt Tolerance

Kyung Joon Lee¹, Jae Do Song^{2*} and Kyu Hwa Lee¹

¹University Plant Clinic, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
²Rural Research Institute, Ansan 15634, Korea (former affiliation)

요약: 본 연구는 새만금간척지에서 원지반에 묘포장을 조성할 수 있는지를 검증하고, 내염성수종을 선별하기 위해 실시하였다. 2010년 조성한 군산시 옥구지역 간척지 원지반토에 2012년 2.0 ha의 묘포장을 조성하고 암거배수를 설치했다. 토양 염도는 토심 60 cm 이내에서 2010년 4월 평균 35.2 dS/m이었으나, 2013년도에는 강우제염지역에서 5.13 dS/m, 미제염지역에서 8.20 dS/m로 줄었다. 2013년 4월초 1~4년생에 해당하는 36종(22종 교목과 14종 관목)의 조경수 총 3,943본을 이식하였다. 36종 수목의 첫해 가을 생존율은 평균 71.3%로서 간척지에서 양묘가 가능했다. 봄부터 가을까지 주기적으로 조사한 항목 중에서 묘고, 근원경, 잎 길이, 수관폭, 엽록소함량은 내염성을 판정하는 데 활용하지 못했다. 대신 다양한 수종에 공통된 기준으로 성장상태와 내염성을 상호 비교할 수 있는 항목은 신초 성장량, 생존율, 수세(엽량, 가지 고사와 수관 형성 상태) 뿐이었다. 생존율과 수세를 근거로 하여 수종별로 내염성을 최종적으로 판단하였는데, 생존율이 90% 이상이면 수세가 매우 양호한 3종(위성류, 꾸지뽕나무, 낙상홍)은 “내염성수종”으로 분류하였다. 생존율이 80~89%이면서 수세가 양호한 5종(곰솔, 자귀나무, 쥐똥나무, 해당화, 난쟁이조릿대)은 “간척지 권장수종”으로 분류하였다. 생존율이 70~79%이면서 수세가 보통수준인 9종(느티나무, 무궁화, 보리수나무, 팔배나무, 회화나무, 메타세쿼이아, 상수리나무, 참느릅나무, 아까시나무)는 “간척지 식재가능수종”으로 분류하였다. 원지반에 원지반토, 준설토, 산림토로 50 cm, 혹은 100 cm 정도를 실시한 시험에서는 원지반토(9.95 dS/m)에서 곰솔의 생존율이 50%로 가장 낮고, 준설토(8.45 dS/m)에서 89%, 산림토(0.9 dS/m)에서 95%로 가장 높았다. 김제 광활지역 간척지에서 3~4년간 양묘한 7개 수종을 옥구지역 원지반토에 이식하였는데, 평균 98.2%의 생존율과 양호한 수세를 보여 이미 간척지 환경에 적응한 개체는 내염성을 가지게 됨을 확인하였다.

Abstract: The objectives of this study were to investigate the possibility of establishing a tree nursery at Saemangeum reclaimed land and to classify landscape trees based on the salt tolerance. A tree nursery (2.0 ha) was made in Gunsan Okgu area in 2012 with underground drain lines on the reclaimed land established in 2010. Salt content of the nursery soil within the 60 cm depth in 2013 was 5.13 dS/m and 8.20 dS/m for the pre-desalinated and non-desalinated lands, respectively. Thirty-six woody plant species (22 tree species and 14 shrub species at ages of 1 to 4) with a total of 3,943 individuals were planted in early April, 2013 and their growth performance was monitored until September of the same year. The average survival rate of the transplanted plants was 71.4% in late September, suggesting the high possibility of establishing a tree nursery at the reclaimed land. Based on the survival rate and tree vigor (amount of healthy leaves and crown development), the following 17 species with some salt tolerance were classified into three groups: “salt tolerant group” (3 species, *Tamarix chinensis*, *Cudrania tricuspidata*, *Ilex serrata*), “recommended group” (5 species, *Pinus thunbergii*, *Albizia julibrissin*, *Ligustrum obtusifolium*, *Rosa rugosa*, *Pleioblatus pygmaeus*), “plantable group” (9 species, *Zelkova serrata*, *Hibiscus syriacus*, *Elaeagnus umbellata*, *Sorbus alnifolia*, *Sophora japonica*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Quercus acutissima*, *Ulmus*

*Corresponding author
E-mail: song352@naver.com

parvifolia, *Robinia pseudoacacia*). Seven tree species that had been adapted to the reclaimed land for three to four years before being transplanted to new reclaimed land in Gunsan Okgu area showed average survival rate of 98%, suggesting that pre-conditioned trees would survive well in the reclaimed land.

Key words: *desalination, soil salinity, survival rate, tree vigor, dredged soil, Tamarix chinensis, Cudrania tricuspidata, Ilex serrata*

서론

우리나라의 간척지 면적은 현재 135,000 ha에 달한다. 역사적으로 고려 고종 22년(1235년) 최초의 간척지를 개발한 이래 최근 새만금 간척사업으로 그 면적이 크게 늘어났다. 간척지가 농업용으로 활용되기 위해서는 토양의 염도가 낮아져야 한다. 일반 밭 토양에서 정상적으로 영농을 하려면 염도가 0.05%(포화추출액으로 계산한 경우로서 전기전도도 0.78 dS/m에 해당함) 이하를 유지해야 한다. 곡물류는 염도가 0.1%(1.56 dS/m)로 상승하면 수확량이 평균 84%로 줄어들지만, 염도 0.4%까지 영농이 가능하다(National Institute of Crop Science Home page).

수목의 내염성에 관한 연구는 전 세계적으로 많이 진행되고 있는데, 연구자별로 서로 다른 연구결과를 발표하는 경우가 대부분이며, 국가별로 수종이 달라서 외국의 연구 자료를 그대로 국내에 적용하기가 힘들다. 캐나다 Alberta 주에서의 연구는 미국산딸나무, 미국느릅나무, 조팝나무류가 내염성이 가장 강하였다(Agriculture and Rural Development Department, 2001). 미국 Morton 수목원은 향나무, 라일락, 개나리, 해당화의 내염성이 우수하다고 밝혔다(Morton Arboretum, 2015). Miyamoto et al.(2004)는 미국주엽나무와 아까시나무의 내염성이 가장 크다고 보고하였다. 국내에서 Park(2007)은 온실 시험을 통해서 물푸레나무, 이팝나무의 내염성이 가장 크다고 발표하였다. Lee and Lee(2013)는 국내 문헌조사를 통해서 곶술, 향나무, 보리수, 아까시나무, 해당화 등을 내염성 수종으로 나열하고 있다.

새만금 간척지를 대상으로 한 내염성 연구 결과를 문헌에서 발견할 수 있는데, 대부분 새만금 간척지와 만경강 주변의 토양 염도 변화에 따른 자생수종의 분포를 조사하였다. Honam Agricultural Research Institute(2006)는 버드나무류, 조팝나무, 인동이 자연적으로 분포하여 내염성 후보목이라고 했다. Kim(2010a)은 남해안 방풍림 수종을, 그리고 Kim(2010b)과 Choi(2003)는 서해안 수종을 대상으로, Baek(2012)은 순천만 자생수종을, 그리고 Kim(2014)은 전남 해남군을 조사하여 내염성 수종을 나열하였다. 이 명단에 공통으로 나열되는 곶술, 꾸지뽕나무, 해당화, 보리수나무, 순비기나무는 내염성 수종일 가능성이 높지만, 나머지 일반적인 조경수(예; 느티나무, 산벚나무, 은행나

무)들은 진정한 내염성 수종이라고 하기 어렵다.

위와 같은 국내 연구는 모두 실내 시험이거나 자생하는 수종을 근거로 하여 내염성을 추정한 것으로 판단되며, 실제로 간척지에 수목을 직접 식재하여 조사한 경우는 거의 없다. 반면 Kwon and Han(2009)은 인천 해안매립지에 식재한 조경수의 현황을 조사하여 곶술, 느티나무, 이팝나무, 소나무, 단풍나무, 상수리나무, 주목의 생육이 양호하다고 했다. Choe et al.(2002)은 임해매립지 조경수의 건강을 근거로 하여 곶술, 섬잣나무, 향나무, 아왜나무, 동백나무, 후박나무의 피해가 적다고 하였다. 또한 수목에 피해를 주는 토양 염도인 0.03% 이하를 유지하기 위해 최소 1.7 m의 성토가 필요하다고 하였다. 일반적으로 임해매립지에서 염분 피해를 방지할 수 있는 최소한의 복토는 1.5 m로 간주된다(Byun, 2004).

본 연구는 새만금 간척지 묘포장에 다양한 수종의 조경수를 식재한 후 수종별로 토양 염도 변화에 따른 성장 반응을 조사하여 내염성 수종을 발굴하고, 군산시 옥구지역 묘포장에서 자체적으로 필요한 조경수를 직접 재배할 수 있는지를 검증하기 위해 수행했다.

재료 및 방법

1. 새만금 간척지와 옥구 시험묘포장 현황

새만금 간척사업은 전북 만경강을 사이에 두고 북쪽 전북 군산시 비응도동과 남쪽 부안군 변산면 대항리를 연결하는 총 길이 33.9 km 방조제를 건설하는 사업이며, 세계



Figure 1. Location of Gimjae Gwanghwal and Gunsan Okgu area in Saemangeum reclaimed land.

Table 1. Meteorological data from April to November, 2013 in Okgu reclaimed land area (measured by AWS instrument at a meteorological station of 4th Construction Site 2 km away from the experimental nursery) and 30-year average data measured in Gunsan Meteorological Station.

Item		Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Mean
Monthly Mean Temp. (°C)	Okgu	8.9	16.4	22.0	26.1	27.2	21.4	15.9	8.1	18.2
	Gunsan	11.4	16.8	21.2	24.9	25.9	21.3	15.2	8.4	18.1
Precip. (mm)	Okgu	57.8	95.2	62.8	242.6	109.8	41.2	12.2	58.6	680.2
	Gunsan	78.2	81.8	154.8	241.2	263.1	127.3	54.2	58.5	1,059
Days of rainfall	Okgu	11	13	10	16	9	12	5	14	90
Wind speed (m/s)	Okgu	3.3	2.3	1.8	2.8	1.3	1.5	2.1	2.8	2.2
	Gunsan	4.2	4.0	3.6	3.4	3.5	3.5	3.5	3.7	3.7

에서 가장 긴 방조제로 기네스북에 등재되었다. 1991년 착공하여 2006년 물막이 공사를 완료하고, 2010년 이후 완공함으로써 401 km²의 간척지를 확보했다(Figure 1). 군산기상대에서 관측한 평년기준(1981~2010)으로 이 지역의 연평균기온은 12.8°C, 연평균강우량은 1,202 mm, 평균 풍속은 3.8 m/s이다.

본시험이 실시된 군산 옥구지역 시험묘포장의 기상상태는 Table 1과 같이 묘포장에서 약 2 km 떨어져 있는 만경4공구 기상관측소의 측정자료(AWS 장비)와 흡사하다고 가정하였다. 묘목을 식재한 2013년 4월부터 같은 해 11월까지 평균기온은 18.2°C, 강수량은 680.2 mm, 그리고 평균 풍속은 2.2 m/s로서 평년(지난 30년간의 군산기상대 관측치)보다 강수량이 현저하게 적었으며, 풍속도 낮은 편이었다(KMA, 2015). 강우는 장마철인 7월에 집중되었으며, 7월과 8월에 생육기간(4월~10월) 동안 강우량의 56%

를 기록했다.

옥구지역과 옥구시험묘포장 토양의 염도는 토양분석에서 일반적으로 사용하는 염도분석법을 사용하였다. 현장에서 토양을 20 cm, 40 cm, 60 cm 깊이별로 채취하여 실험실로 운반한 후 완전히 건조시켰다. 건조 토양의 일정량을 계량하여 토양 중량 대비 5배의 증류수를 붓고 진탕하고 1시간 방치한 후 전기전도도 측정장비(NIAST 2000)를 이용해서 염도를 dS/m 단위로 조사하였다. 최종전기전도도는 다음 공식으로 계산하였다.

전기전도도(EC, 염도 단위: dS/m)=증류수(ml)/토양 무게 X 측정치.

2. 시험묘포장 조성

수목의 내염성에 관한 예비시험은 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 2009년 전북 김제의 광활지역(만경강 남

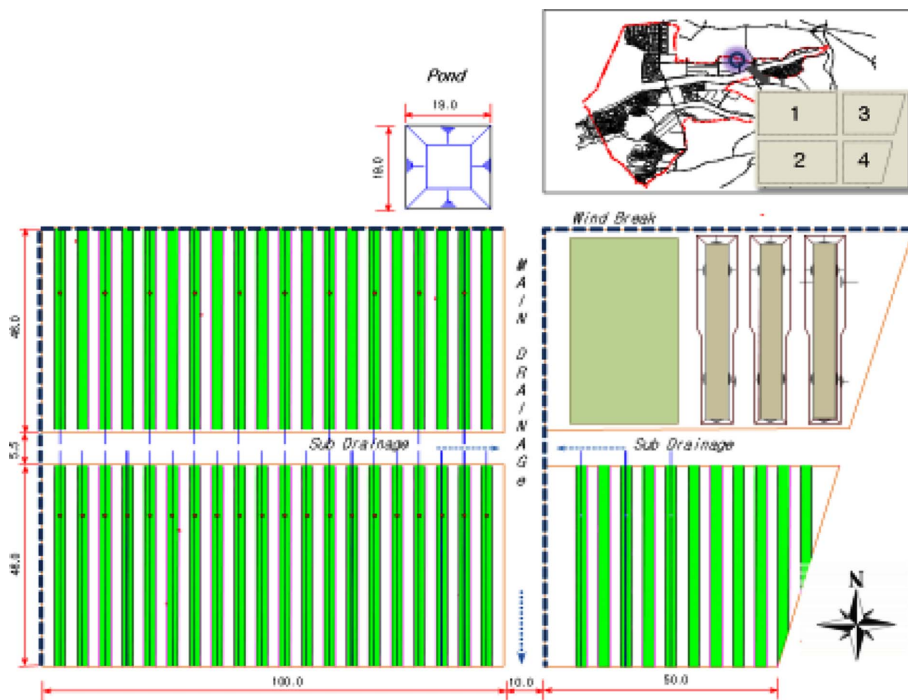


Figure 2. Diagram of the experimental nursery and windbreak screens at Gunsan Okgu experimental nursery. Windbreak screens are shown in bold dotted lines.

Table 2. A list of 36 woody plants used for testing salt tolerance in Okgu nursery, Saemangeum reclaimed land showing the criteria for selection of the species.

Item	Species based on an experiment in Gwanghwal (2010-2012)	Species based on an experiment in Okgu (2012)	Native plant species growing in Saemangeum area	Promising landscape trees	Promising timber species	Recommended in foreign literature
Species name	<i>Zelkova serrata</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Thuja orientalis</i> , <i>Pyracantha angustifolia</i> , <i>Rosa rugosa</i>	<i>Forsythia koreana</i> , <i>Pinus thunbergii</i> , <i>Illex serrata</i> , <i>Quercus palustris</i> , <i>Hibiscus syriacus</i> , <i>Euonymus japonica</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Tamarix chinensis</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Chionanthus retusa</i> , <i>Ligustrum obtusifolium</i> , <i>Ulmus parvifolia</i> , <i>Celtis sinensis</i> , <i>Sophora japonica</i>	<i>Stephanandra incisa</i> , <i>Cudrania tricuspidata</i> , <i>Viburnum erosum</i> , <i>Sorbus commixta</i> , <i>Elaeagnus umbellata</i> , <i>Lindera obtusiloba</i> , <i>kalopanax pictus</i> , <i>Albizia julibrissin</i> , <i>Spiraea prunifolia</i> for <i>simpliciflora</i>	<i>Juniperus chinensis</i> , <i>Pleioblatus pygmaeus</i> , <i>Syringa dilatata</i> , <i>Sorbus alifolia</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i> , <i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	<i>Cedrus deodara</i>
No. of species	5	15	9	4	2	1

쪽)에서 시작되었는데, 이 지역은 본시험을 실시한 군산 옥구지역보다 토양 투수가 양호하며, 광활지역에서 2010년부터 2012년까지 예비시험을 통해서 내염성이 있는 일부 수종을 선발했다(Table 2).

본시험이 실시된 군산 옥구지역(만경강 북쪽) 시험묘포장은 2010년 1차적으로 부지를 조성하여 천연적인 제염을 시작하였고, 2012년 배수로를 파고 2.0 ha를 조성했으며, 2013년 0.5 ha를 추가로 조성하였다. 외곽배수로는 폭 8m, 깊이 1.5m로, 그리고 내부 배수로는 폭 4m, 깊이 1.1m로 조성했다. 방풍막은 3.0m 높이로 4mm 매쉬의 나일론 격자형 망을 북쪽과 서쪽 방향에 설치하여 북서계절풍에 대비했다(Figure 2).

3. 시험대상 조경수 선정

내염성 시험대상 수종은 Table 2에 나열한 대로 6개의 기준에 따라서 총 36종(교목 22종, 관목 14종)을 선정하여 식재하였다. 이들은 2010년부터 2012년까지 김제 광활 지역에서 예비시험을 통해 내염성이 어느 정도 있는 수종 5종, 군산 옥구지역에서 2012년 예비시험을 통해 선정한 15종, 새만금 간척지 주변에서 자생하고 있는 수종 9종, 유망 조경수종 4종, 산림청 용재수 권장수종 2종, 외국문헌 권장수종 1종으로 구성되어 있다. 개잎갈나무는 외국에서 내염성이 있는 것으로 기록되어 있다(Wu와 Dodge, 2005). 난쟁이조릿대(*Pleioblastus pygmaeus*)는 일본산으로서 국내산 조릿대보다 키가 매우 작다. 필요한 대부분의 묘목은 시중 양묘업자로부터 1년 혹은 2년생 실생묘 혹은 삼목묘를 구매하거나 일부 묘목을 한국도로공사 전주수목원에서 확보하였으며, 2013년 4월 3일까지 군산시 옥구지역 묘포장과 전

주수목원에 1~4년생 36종 총 3,943본의 수목을 이식하였다.

4. 원지반 토양 식재시험(1단지와 2단지 시험)과 수세 판단 기준

간척지 원지반에 시험묘포장을 조성하여 노지(露地)양묘를 통한 식재시험을 실시했다. 묘포장은 폭 46m, 길이 100m의 시험포를 2개 나란히 배치하였다. 이랑 폭은 2.0m, 높이는 0.5~0.6m, 고랑 폭은 0.5m이다. 1단지(46m x 100m)는 강우제염지역으로써 암거배수를 10m 간격으로 설치했으며, 2단지(46m x 100m)는 미제염지역으로써 5m 간격으로 암거배수를 설치했다. 원지반 토양의 이랑 표면에는 검은 비닐로 멀칭하여 모세관 현상에 의한 염분 상승과 잡초 발생을 최대한으로 방지하였으며, 직경 30cm 구멍을 뚫고 묘목을 식재했다. 묘목 주변의 열린 구멍은 우드칩으로 멀칭 처리하였다. 묘목의 식재간격은 교목의 경우 1.5m, 관목의 경우 1.0m이었다. 점적 관수시설을 설치하여 식재 초기에 관개를 실시하였고, 가뭄피해와 재염화방지를 위해 주기적으로 관수를 실시하였다. 1단지와 2단지의 총 식재 본수는 2,370본이었다. 수종 당 식재본수는 제일 많은 개나리의 87본에서부터 제일 적은 조팝나무의 54본이었다. 5월부터 9월말까지 매달 묘고, 근원경, 신초길이, 잎 길이, 엽록소함량, 수관 폭, 엽량, 수관의 생존비율, 수세를 조사하였다. 수세(樹勢)는 다음 기준으로 6등급으로 나누어 점수를 부여했다.

0점: 나무 전체가 완전히 말라서 고사함.

1점. 잎이 대부분 탈락하고 붙어 있는 잎은 변색되어 있고 대신 맹아로 연명하면서 겨우 살아 있으며 수관 형성

이 되어 있지 않음.

2점. 잎이 일부 붙어 있으나 변색되어 있고, 수관을 엉성하게 겨우 형성하고 있음.

3점. 잎이 상당히 많이 살아 있으나 변색된 잎이 있으며, 수관이 어느 정도 형성됨.

4점. 잎이 대부분 살아 있고 수관이 비교적 잘 형성되어 있음.

5점. 잎이 모두 살아 있으면서 녹색을 띠고 수관을 뻗뻗하게 형성하면서 건강하게 자람.

5. 내륙 토양 비교시험

염분이 있는 간척지 토양과 염분이 없는 내륙토양에서 생장 효과를 비교하기 위해 8개 수종(개나리, 곶술, 대왕참나무, 사철나무, 이까시나무, 이팝나무, 쥐똥나무, 참느릅나무)을 선정하여 군산 옥구지역과 내륙지역인 전주시 한국도로공사 수목원(전주시 덕진구 반월동 소재)의 묘포장에 식재하였다. 두 지역에 식재한 동일한 수종 간의 생장 추이를 서로 비교하였다. 수종 당 30본씩 총240본을 식재하여 가을에 생존율을 조사하였다.

6. 성토효과시험(3단지 시험)

간척지 원지반토의 염분 상승문제를 해결하기 위해서 성토의 효과를 비교하는 시험이다. Table 8과 같이 원지반토, 준설토, 산림토를 각각 50 cm와 100 cm 높이로 성토한 후, 김제 광활 지역에서 양묘를 통해 3~4년간 이미 적응한 곶술과 메타세쿼이아 묘목을 3월 말에 1.5 m 간격으로 식재하였다. 이 시험을 수행한 3단지에는 비닐멀칭을 실시하지 않았다. 식재본수는 성토 토양 당 각각 18본씩 총 108본이었다. 활착율과 수세를 같은 해 가을에 조사하였다.

7. 김제 광활지역 양묘 수목의 군산 옥구 지역 적응 시험(4단지 시험)

김제 광활 묘포장에서 3~4년간 양묘하여 간척지에 이미 적응한 묘목 중에서 Table 9와 같이 곶술(수고 1 m), 느티나무, 메타세쿼이아(수고 2 m), 상수리나무, 측백나무(수고 1.5 m), 피라칸다, 해당화 7개 수종을 원지반토를 이용하여 높이 50 cm, 폭 2 m로 마운딩하여 조성한 이랑에 식재하고 적응능력과 생존율을 조사하였다. 토양을 검은 비닐로 멀칭한 후 2012년 11월에 총 505본의 나무를 이식하였으며, 이듬 해 가을에 생존율을 조사하였다.

8. 내염성 수종의 분류

식재 수목의 내염성에 따른 최종 분류는 생육기간 중에 측정한 각종 생장 관련 자료를 종합하여 판단하였다. 묘고, 근원경, 잎 길이, 신초 길이, 수관 폭, 엽록소 함량, 수

세, 생존율 등의 항목을 활용하였다. 위의 항목 중에서 36개 수종에 모두 적용할 수 있는 지표를 물색하였는데, 개체 간 식재 당시 크기가 서로 다르고, 수종 간 형태적 차이가 존재하며, 계절별로 생장량과 생장 패턴이 매우 다양하여 일정한 경향을 가진 공통적인 지표를 찾는 데 어려움이 있었다. 그러나 이 중에서 생존율과 수세(樹勢)는 모든 수종의 활착 정도와 건강도를 가장 잘 대표하는 지표로 판단되어 이 두 가지 지표를 기본으로 해서 각 수종의 최종적인 내염성을 5단계로 나누어 분류하였다.

결 과

1. 옥구지역 토양의 연도별 염도 변화와 특성

2010년 봄 군산 옥구 지역이 시험묘포장 예정지로 선정된 이후 2011년 말까지 강우제염을 실시했는데, 이 기간 동안의 총 강우량은 2,705 mm였다. 2010년 4월 9일 3개 토심의 평균 염도는 35.2 dS/m이었으며, 11월 20일 20.0 dS/m로 감소하였고, 2011년에는 평균 4.4 dS/m로 상당히 내려갔다(Table 3). 그러나 2012년 시험포 조성과정에서 토층의 교란으로 인해 2012년에는 1단지(강우제염 실시지역)의 경우 7.1 dS/m로 상승하였다. 한편, 강우제염을 실시하지 않은 2 단지의 토양염분농도는 2011년 12.2 dS/m, 2012년에는 10.5 dS/m를 보여 제염을 실시한 1단지보다 높았다.

이 옥구지역 중에서 2013년 2.0 ha 시험묘포장을 조성한 곳의 토양 염도 변화를 Table 4에 표시했다. 2011년부터 2013년까지 꾸준히 그리고 조금씩 염분의 농도가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 2년간 사전 강우로 제염을 실시한 “1단지”는 2013년 평균 5.1 dS/m의 염도를 나타냈으며, 사전에 제염을 실시하지 않은 “2단지”는 평균 8.2 dS/m

Table 3. Yearly changes in soil salinity (unit: dS/m) at Gunsan Okgu area in Saemangeum reclaimed land from 2010 to 2013.

Year	Date	Soil depth			Mean
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	
2010	Apr. 9	21.0	36.4	48.2	35.2
	Jul. 15	25.7	26.1	27.9	26.6
	Nov. 25	16.3	20.4	23.3	20.0
2011	Mar. 18	9.6	9.9	10.5	10.0
	Jun. 19	4.4	4.0	6.7	5.0
	Nov. 17	5.6	5.8	7.0	6.1
2012	Jun. 28	2.1	3.9	4.4	3.5
	Sep. 28	3.0	3.8	5.9	4.2
	Nov. 27	1.5	3.4	4.9	3.3
2013	May 15	0.6	2.2	3.4	2.1
	Aug. 28	1.3	2.4	3.2	2.3
	Nov. 27	1.5	2.5	3.2	2.4

Table 4. Changes in soil salinity (unit: dS/m) at three soil depths in an experimental nursery with (Area 1) or without (Area 2) prior desalination treatment at Gunsan Okgu area from 2011 to 2013. The numbers in 2011 and 2012 are also means of 4 measurements at 4 different periods.

Period	Desalinated area for 2 years (Area 1)				Non-desalinated area (Area 2)			
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	Mean	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	Mean
2011 mean	2.3	4.9	6.1	4.4	12.9	12.4	11.2	12.2
2012 mean	6.7	6.5	8.0	7.1	7.0	11.3	13.2	10.5
May 2013	7.8	6.2	6.3	6.8	8.8	9.4	10.8	9.7
Aug. 2013	5.0	8.7	8.9	7.5	7.2	16.8	18.4	14.1
Oct. 2013	0.7	2.0	5.6	2.8	1.5	2.7	7.8	4.0
Nov. 2013	2.0	3.6	4.8	3.5	1.9	4.6	8.3	4.9
2013 mean	3.9	5.1	6.4	5.1	4.9	8.4	11.3	8.2

Table 5. Physical and chemical properties of an experimental nursery at Gunsan Okgu area measured in the spring of 2013.

Soil depth	Soil texture	pH	Avail. P (ppm)	Cat. Exch. Cap. (cmol/kg)	Total N (mg/kg)	Exch. cation (cmol/kg)			
						K	Na	Ca	Mg
0~20 cm	Silty loam (23:66:11)	7.1	29.4	9.5	402.0	0.50	2.14	0.81	1.33
20~40 cm	Silty loam (23:65:12)	7.1	33.8	9.5	413.2	0.69	2.24	0.81	1.37
40~60 cm	Silty loam (18:69:13)	7.1	29.2	9.8	425.3	0.68	2.94	1.00	1.57
Mean	silty loam	7.1	30.8	9.6	413.5	0.62	2.44	0.87	1.42

의 염도를 보였다. 두 지역 모두 아직도 수목이 정상으로 자라기 어려울 만큼 많은 양의 염분이 토양 속에 남아있음을 시사하고 있다.

Table 5에 옥구지역 묘포장 토양의 물리적 및 화학적 성질을 표시했다. 토성은 미사질양토이었는데, 모래가 23%로 매우 적어서 통기성이 나쁘고 배수가 불량했다. 산도는 7.1로서 중성이며, 유효인산의 함량은 30.8 ppm으로서 수목 생장에 부족했다. 양이온치환능력은 9.6 cmol/kg로서 보통 수준이었으며, 총질소의 함량은 413 ppm으로서 부족한 편이었다.

2. 원지반 토양 식재시험

본 시험은 원지반토에 검은 색 비닐 멀칭을 실시한 후 2013년 봄에 식재하고, 9월 말에 개체별로 신초 성장량, 생존율, 수세를 측정했다(Table 6). 4월부터 9월까지 신초의 길이가 가장 길게 자란 수종은 위성류로서 152 cm이었으며, 다음으로 아까시나무(68 cm), 꾸지뽕나무(65 cm), 조팝나무(65 cm), 개나리(53 cm), 참느릅나무(47cm) 순이었다. 신초의 길이가 가장 짧게 자란 수종은 사철나무(2.0 cm, 고라니 피해 심함), 음나무(2.4 cm), 이팝나무(3.4 cm), 둥근향(4.5 cm), 측백나무(5.1 cm), 생강나무(5.6 cm) 순이었다. 일반적으로 속성수로 분류되는 수종 중에서 신초의 생장이 불량한 수종은 팽나무(6.6 cm), 은행나무(7.5 cm), 백합나무(9.3 cm), 히말라야시다(9.8 cm), 느티나무(12.2 cm), 메타세콰이아(18.2 cm)이었는데, 신초

가 말라죽고 옆에서 새순이 돌아 다시 자라면서 신초의 총 성장량이 작았다.

신초의 길이 이외에 수고, 근원경, 수관 폭, 잎 길이, 엽록소 함량도 주기적으로 측정하였는데, 위의 수치는 초기 묘목의 크기에 따라서 영향을 받거나 수종 고유의 크기(잎 길이)와 고유의 함량(엽록소)에 의해서 차이가 많기 때문에 내염성 판단을 위해서 수종간의 비교 기준으로 사용하기 적절하지 않았다. 반면 신초의 길이는 수종별 고유의 성장 속도가 알려져 있기 때문에 토양 염분에 의해서 영향을 받았는지 판단할 수 있었다.

묘목 생존율은 수종 간 매우 다양한 결과를 보여 주었다. 36종의 조경수 중에서 꾸지뽕나무는 100%의 생존율을 보인 유일한 수종이었다. 쥐뽕나무, 회화나무, 자귀나무, 위성류, 낙상홍, 팔배나무, 보리수, 무궁화, 느티나무는 95% 이상의 생존율을 보였다. 해당화와 곰솔을 포함해 총 12종이 90% 이상의 생존율을 기록하여 양호한 상태라고 할 수 있다. 생존율이 80~89% 범위로 약간 불량한 수종은 7종이었으며, 70~79% 범위를 보인 수종은 3종이었다. 반면 생존율이 50~69%로서 불량한 수종은 6종이었다. 생존율이 50% 미만으로서 매우 불량한 수종은 8종이었는데, 대왕참나무가 47%, 사철나무가 40%(고라니 피해 심함), 측백나무가 36%, 자작나무가 29%, 국수나무가 28%를 보였다. 그 밖에 생강나무는 14%, 피라칸다는 13%, 그리고 백합나무는 6%의 생존율을 보여 염분에 매우 예민한 수종으로 분류되었다.

Table 6의 원지반 토양 식재시험은 사전 강우 제염효과 조사도 포함되어 있다. 사전 강우 제염을 실시한 “1단지”의 평균 염도는 5.13 dS/m 였는데(Table 4), 36종 모든 수종 묘목의 생존율은 74.6%였다. 미제염지역인 “2단지”의 평균염도는 8.20 dS/m 이었는데, 묘목의 생존율은 68.1%였다. 두 단지 간에 염도의 차이가 약 3 dS/m 정도였는데, 실제로 두 지역 간 묘목의 생존율은 6.5%의 차이를 보였다. 즉 제염지역과 미제염지역 모두 토양 염분의 함량이 높아서 수목 생존에 영향을 미쳤지만, 사전 강우 제염 자체는 수목 생존율을 높이는데 크게 기여하지 못했음을 시사하고 있다.



Figure 3. Experimental nursery at Gunsan Okgu reclaimed land area in May 2013 with new leaves, a month after the spring planting.

Table 6. Shoot growth, survival rate, and tree vigor of 1- or 2-year-old transplanted trees at the end of the first growing season in a Gunsan Okgu experimental nursery with (Area 1) or without (Area 2) prior desalination treatment. The total number of trees involved in this experiment was 2,370 trees and the salinity changes of the Area 1 and Area 2 were shown in Table 4. Tree vigor was measured with six levels of crown development and amount of healthy leaves, with higher numbers having more vigor.

Species	Shoot growth(cm)			Survival rate(%)			Tree vigor		
	Area 1	Area 2	Mean	Area 1	Area 2	Mean	Area 1	Area 2	Mean
<i>Forsythia koreana</i>	60.0	48.1	52.9	61.9	57.8	59.8	2.8	3.4	3.1
<i>Pinus thunbergii</i>	13.4	16.8	15.2	91.7	90.9	91.3	4.1	4.0	4.1
<i>Stephanandra incisa</i>	20.5	5.0	17.9	38.1	18.2	27.9	0.8	0.1	0.5
<i>Cudrania tricuspidata</i>	71.7	58.8	65.3	100	100	100	4.7	4.8	4.8
<i>Ilex serrata</i>	8.0	7.9	8.0	95.2	97.7	96.5	4.8	4.3	4.6
<i>Zelkova serrata</i>	15.0	9.1	12.2	100	89.3	94.6	3.1	2.9	3.0
<i>Quercus palustris</i>	4.9	10.3	7.6	53.6	41.4	47.4	2.1	2.1	2.1
<i>Viburnum erosum</i>	17.2	3.5	14.4	70.7	43.2	56.5	2.5	0.2	1.4
<i>Juniperus chinensis</i>	4.3	4.9	4.5	85.7	57.1	71.4	3.6	2.1	2.9
<i>Sorbus commixta</i>	7.7	11.7	9.7	56.7	55.2	55.9	2.0	1.9	2.0
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	18.9	17.4	18.2	90.6	85.7	88.3	4.1	1.9	3.0
<i>Hibiscus syriacus</i>	59.6	8.3	32.6	90.0	100	95.2	4.3	3.4	3.9
<i>Liriodendron tulipifera</i>	-	9.3	9.3	0.0	11.1	5.5	0.0	1.1	0.6
<i>Elaeagnus umbellata</i>	52.7	29.5	40.5	92.6	96.6	94.6	3.8	3.9	3.9
<i>Pleioblatus pygmaeus</i>	-	-	-	85.7	93.0	89.4	4.8	4.6	4.7
<i>Euonymus japonica</i>	2.9	0.5	2.0	41.9	38.5	40.4	1.1	0.3	0.7
<i>Quercus acutissima</i>	11.6	13.1	12.4	81.5	96.4	89.1	3.2	4.2	3.7
<i>Lindera obtusiloba</i>	5.6	-	5.6	24.4	4.7	14.3	0.4	0.0	0.2
<i>Syringa dilatata</i>	9.4	4.0	6.9	66.7	68.2	67.4	2.2	1.7	2.0
<i>Robinia pseudoacacia</i>	75.4	59.7	68.1	78.6	65.5	71.9	3.5	2.7	3.1
<i>Kalopanax pictus</i>	2.8	1.6	2.4	71.4	53.6	62.5	1.9	1.2	1.6
<i>Tamarix chinensis</i>	159.1	144.2	151.7	93.1	100	96.6	5.0	5.0	5.0
<i>Ginkgo biloba</i>	7.6	7.3	7.5	85.2	90.0	87.7	2.3	1.3	1.8
<i>Chionanthus retusa</i>	1.8	4.9	3.4	92.6	75.9	83.9	1.4	2.0	1.7
<i>Albizia julibrissin</i>	52.6	25.0	38.8	96.3	100	98.2	4.7	3.5	4.1
<i>Betula platyphylla var. japonica</i>	28.2	25.0	27.7	37.0	20.7	28.6	0.7	0.1	0.4
<i>Spiraea prunifolia for. simpliciflora</i>	83.2	56.4	64.8	96.3	66.7	81.5	3.4	2.3	2.9
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	27.2	39.1	33.2	100	97.7	98.8	4.1	4.2	4.2
<i>Ulmus parvifolia</i>	55.6	38.6	46.5	77.8	80.0	78.9	3.0	3.5	3.3
<i>Thuja orientalis</i>	4.9	5.3	5.1	25.0	46.4	35.7	0.5	1.3	0.9
<i>Sorbus alifolia</i>	23.3	15.2	19.5	96.3	96.6	96.4	3.9	3.7	3.8
<i>Celtis sinensis</i>	7.4	5.2	6.6	80.6	44.8	63.3	2.0	1.1	1.5
<i>Pyracantha angustifolia</i>	10.1	-	10.1	25.9	0.0	13.0	1.4	0	0.7
<i>Rosa rugosa</i>	30.6	30.7	30.6	97.5	89.3	94.1	3.9	4.0	4.0
<i>Sophora japonica</i>	40.7	36.7	38.7	100	97.7	98.8	4.0	4.6	4.3
<i>Cedrus deodara</i>	11.6	6.7	9.8	96.8	65.5	81.7	2.8	1.9	2.4
Mean				74.6	68.1	71.3	2.8	2.4	2.6

수세(樹勢)도 생존율처럼 수종 간 다양한 결과를 보였다. 36종 중에서 가장 왕성한 수세를 보인 수종은 위성류로서 5.0의 만점을 기록하여 짙은 잎과 뻗뻗한 수관을 유지했다. 실제로 위성류는 신초의 생장에서도 152 cm를 기록하여 가장 왕성하게 자란 수종이었으며, 이 시험에서 96.6%의 생존율을 보였다. 여기에 자료를 수록하지 않았지만, 본 시험에서 방풍막 인근에 심은 위성류는 매우 왕성하게 자라서 간척지에 가장 잘 적응하면서 방풍림으로 가장 적합한 수종으로 판단된다.

두 번째로 수세가 좋았던 수종은 꾸지뽕나무로서 4.8을 기록하여 매우 건강한 수관을 유지했다. 꾸지뽕나무는 신초의 생장에서도 세 번째(65 cm)로 왕성했으며, 100%의 생존율을 보여서 간척지 토양에 잘 적응하는 수종으로 판단된다. 그 밖에 난쟁이조릿대(일본산)의 수세는 4.7, 낙상홍은 4.6을 기록하여 건강한 생장을 보여 주었다. 수세가 매우 불량한 수종으로는 생강나무(0.2), 자작나무 (0.4), 국수나무(0.5), 백합나무 (0.6), 사철나무 (0.7)로서 간척지에 잘 적응하지 못하는 수종으로 판단된다.

3. 내륙토양 비교 시험

간척지 토양에 심은 수목의 생존율이 염분이 없는 내륙 토양에 심은 수목의 생존율과 비교하여 얼마나 차이가 있는지를 검증하기 위해 개나리를 포함한 8종의 조경수를 대상으로 시험을 실시하였으며, 그 결과를 Table 7에 표시하였다. 같은 시험대상 수종들이 옥구지역에서 71.6%의 생존율을 보인 반면, 내륙토양에서는 81.3%의 생존율을 나타내서 내륙 토양의 생존율이 10% 포인트 가량 높았다.

수종별로는 내염성이 약한 사철나무를 제외한 7개 수종의 생존율은 차이가 크지 않았는데, 이는 토양 염도가 해당 수종의 내염성 범위 내에 있을 경우에는 염분이 수목고사에 기여하는 정도가 크지 않다는 것을 의미한다. 또한 본 시험에서 토양환경이 적절한 내륙토양에 묘목을 식재했을 때 평균 생존율이 81.3%로서, 봄 가뭄 혹은 이식 스트레스 등의 다른 요인에 의해서 묘포에서 첫해 고사율이 18.7%에 해당하고 있음을 보여준다. 이 81.3%의 생존율 수치는 일반 양묘에서 첫해 90% 이상의 생존율을 보이는 것에 비해 약간 낮은 생존율이라고 할 수 있다.

4. 성토 효과 시험

간척지 원지반에서 염분이 상승하는 것을 방지하기 위한 성토 효과를 검증하는 시험을 3단지에서 실시했다. 옥구지역 묘포장(3단지)에서 원지반토 위에 원지반토를 굴착하거나 준설토 혹은 산림토(산흙)를 반입하여 50 cm와 100 cm 높이로 성토한 후 김제 광활지역 간척지 묘포장에서 3년간 양묘를 통해서 염분에 어느 정도 적응한 곰솔과 메타세쿼이아를 식재하였다. Table 8에서 보듯 원지반토를 이용하여 각각 50 cm 혹은 100 cm를 성토한 경우 염도가 각각 11.0 dS/m와 8.9 dS/m로서 산림토 성토의 0.5~1.3 dS/m보다 훨씬 더 높았다. 곰솔의 생존율은 원지반토 성토에서 44~56%로서 산림토 성토의 89~100%보다 낮았다. 준설토 성토에서의 염분 함량과 생존율은 원지반토 성토와 산림토 성토의 중간 수준을 나타내어 준설토 성토는 원지반토 성토보다 수목 생장에 더 유리함을 보여 주었다.

Table 7. Comparison of Survival rate (unit: %) of eight species between reclaimed land (Gunsan Okgu area) and in-land (Korea Expressway Corporation Arboretum).

Kind of soil	Species name								Mean
	<i>Forsythia koreana</i>	<i>Pinus thunbergii</i>	<i>Quercus palustris</i>	<i>Euonymus japonica</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Chionanthus retusa</i>	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	<i>Ulmus parvifolia</i>	
Reclaimed land	59.8	91.3	47.4	40.4	71.9	83.9	98.8	78.9	71.6
In-land	56.7	90.0	50.0	80.0	86.7	90.0	100	96.7	81.3

Table 8. Survival rate(%) and tree vigor at three kinds of soil of *Pinus thunbergii* and *Metasequoia glyptostroboides* previously grown for three years at reclaimed land in Gwanghwal area.

Kinds of soil	Depth of filled soil (cm)	Salinity(dS/m)				<i>Pinus thunbergii</i>		<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	
		-20 cm	-40 cm	-60 cm	Mean	Survival rate (%)	Tree vigor	Survival rate (%)	Tree vigor
Original ground soil	50	12.8	12.3	7.9	11.0	44	2.7	78	1.0
	100	7.8	9.4	9.5	8.9	56	3.0	89	1.7
Dredged soil	50	1.9	4.0	4.8	3.6	89	4.7	89	1.0
	100	14.7	14.3	11.0	13.3	89	3.7	100	2.0
Forest soil	50	1.2	1.2	1.6	1.3	100	4.7	100	4.7
	100	0.5	0.5	0.5	0.5	89	5.0	100	4.3

Table 9. Survival rate (Unit: %) of seven species (mean height of 1~2 m), previously grown for 3 to 4 years at Gwanghwal area, planted in original ground soil in Okgu area, and measured in the autumn of the following year of the planting. The mean salinity from May to November, 2013 was 5.7 dS/m, while salinity at different soil depth was as follow: 0~20 cm (3.3 dS/m), 20~40 cm (6.0 dS/m), 40~60 cm (8.6 dS/m)

Species name	<i>Pinus thunbergii</i>	<i>Zelkova serrata</i>	<i>Metasequoia glytostroboides</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Thuja orientalis</i>	<i>Pyracantha angustifolia</i>	<i>Rosa rugosa</i>	Total or Mean
No. of planted trees	48	112	61	112	112	30	30	505
Survival rate(%)	100	94.6	100	98.2	99.1	100	100	98.2%
Tree vigor	5.0	5.0	3.6	4.2	4.2	4.0	4.4	4.3

메타세콰리아도 곰솔과 비슷한 경향을 나타내어 원지 반토 성토의 생존율이 준설토나 산림토 성토보다 낮았다. 수관의 울폐 정도로 조사한 수세(樹勢)도 생존율과 비슷한 결과를 보였는데, 두 수종 모두에서 원지반토 성토의 수세가 제일 나쁘고, 산림토 성토에서 제일 좋았다. 모든 처리에서 메타세콰리아의 수세는 곰솔보다 나쁜 편이어서 곰솔이 해풍에 강한 반면 메타세콰리아는 약함을 보여주었다.

5. 광활지역 양묘 수목의 옥구지역 적응시험

이 시험은 김제 광활지역 묘포장에서 3년 혹은 4년간 적응한 7개 수종의 묘목(평균 수고 1~2 m, 총 505본)을 군산 옥구지역 묘포장 (4단지)의 원지반에 2012년 가을에 이식하여 2013년 가을에 생존율을 조사한 경우이다. 이 지역 원지반의 염도는 5월부터 11월까지 평균 5.7 dS/m였다. Table 9에서 보듯 7개 수종의 평균 생존율은 98.2%였으며, 곰솔, 메타세콰리아, 피라칸다, 해당화는 100%의 생존율을 보였다. 특히 이 지역의 토심 40~60 cm 깊이에서 8.6 dS/m의 염분이 관찰되었다는 점을 감안하면 염도가 높지 않은 간척지에서 3~4년간 적응한 개체는 어느 정도 내염성을 가지게 된다고 판단할 수 있다. 7개 수종의 수세에서는 곰솔과 느티나무가 5.0 만점으로 매우 건강하게 살아 있었으며, 메타세콰리아는 3.6으로서 일부 잎의 변색과 수관 축소가 관찰되었다.

6. 내염성 분류

2013년 봄 군산 옥구지역 묘포장 1단계와 2단계에 총 36종 2,370본의 1~2년생 조경수 묘목을 노지양묘하여 내염성 판정을 위해 묘고, 근원경, 신초 길이, 잎 길이, 수관 폭, 엽록소 함량, 엽량, 수관의 생존 비율, 수세, 생존율을 매달 조사하였다. 그러나 수종에 따라서 매우 다양한 성장 형태, 성장 주기, 성장 량과 성장패턴으로 인해서 위의 조사항목들은 수종 간에 큰 차이를 보여 주었고, 동종 내에서 개체 간에도 변이 폭이 커서 36개 수종을 모두 포함시킬 수 있는 공통 지표로 사용할 수 없었다. 따라서 가을철(9월말 측정) 생존율과 수세(기준은 재료 및 방법의 4항에 명기)의 두 항목을 기준으로 36개 수종의 노지에서의



Figure 4. Growth of *Thuja orientalis* planted in Okgu reclaimed land area after three years of growth at Gwanghwal reclaimed land area.

내염성을 최종적으로 판정하였다(Table 10).

36개 수종 중에서 90% 이상의 매우 양호한 생존율과 4.5 이상의 매우 양호한 수세를 나타낸 위성류, 꾸지뽕나무, 낙상홍의 3개 수종은 “내염성 수종”이라고 판단하였다. 80~89%의 생존율과 4.0~4.4의 양호한 수세를 보인 곰솔, 자귀나무, 쥐똥나무, 해당화, 회화나무, 난쟁이조릿대의 6개 수종 중에서 회화나무는 조풍에 의해서 지상부가 죽고 새순이 발생하여 수세를 회복하는 경향이 있어서 이를 제외시키고 나머지 5개 수종을 “간척지 권장수종”으로 판단하였다. 70% 혹은 90% 이상의 생존율을 보였으나 3.0~3.9의 보통 수준의 수세를 보인 느티나무, 무궁화, 보리수나무, 팔배나무, 메타세콰리아, 상수리나무, 참느릅나무, 아까시나무의 8개 수종과 회화나무를 포함한 9개 수종은 “간척지 식재가능수종”으로 판정하였다.

50% 이상 혹은 89%미만의 생존율을 보였으나 3.0 미만의 불량한 수세를 보인 11개 수종(조팝나무, 희말라야시다, 은행나무, 이팝나무, 둥근향나무, 수수꽃다리, 마가목, 덜꿩나무, 음나무, 팽나무, 개나리)은 “염분예민수종”으로 분류했다. 끝으로 50% 미만의 매우 불량한 생존율과 3.0 미만의 매우 불량한 수세를 가진 8개 수종(대왕참나무, 측백나무, 사철나무, 피라칸다, 백합나무, 국수나무, 자작나무, 생강나무)은 “간척지 식재기피수종”으로 판정하였다.

Table 10. Classification of 36 tree species for salt tolerance based on survival rate and tree vigor at the end of the first growing season after transplanting in Okgu area.

Survival rate class(%)	Tree vigor			
	Excellent (over 4.5)	Good (4.0-4.4)	Average (3.0-3.9)	Poor(below 3.0)
Excellent (over 90%)	<i>Tamarix chinensis</i> (5.0), <i>Cudrania tricuspidata</i> (4.8), <i>Ilex serrata</i> (4.6)	<i>Pinus thunbergii</i> (4.1), <i>Albizia julibrissin</i> (4.1), <i>Ligustrum obtusifolium</i> (4.2), <i>Rosa rugosa</i> (4.0), <i>Sophora japonica</i> (4.3)	<i>Zelkova serrata</i> (3.0), <i>Hibiscus syriacus</i> (3.9), <i>Elaeagnus umbellata</i> (3.9), <i>Sorbus alnifolia</i> (3.8),	
Good (80-89%)	<i>Pleioblatius pygmaeus</i> (4.7)		<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (3.0), <i>Quercus acutissima</i> (3.7)	<i>Spiraea prunifolia for. simpliciflora</i> (2.9), <i>Cedrus deodara</i> (2.4), <i>Ginkgo biloba</i> (1.8), <i>Chionanthus retusa</i> (1.7),
Average (70-79%)			<i>Ulmus parvifolia</i> (3.3), <i>Robinia pseudoacacia</i> (3.1)	<i>Juniperus chinensis</i> (2.9)
Poor (50-69%)			<i>Forsythia koreana</i> (3.1)	<i>Syringa dilatata</i> (2.0), <i>Sorbus commixta</i> (2.0), <i>Viburnum erosum</i> (1.4), <i>Kalopanax pictus</i> (1.6), <i>Celtis sinensis</i> (1.5),
Very poor (below 50%)				<i>Quercus palustris</i> (2.1), <i>Thuja orientalis</i> (0.9), <i>Euonymus japonica</i> (0.7), <i>Pyracantha angustifolia</i> (0.7), <i>Liriodendron tulipifera</i> (0.6), <i>Stephanandra incisa</i> (0.5), <i>Betula platyphylla var. japonica</i> (0.4), <i>Lindera obtusiloba</i> (0.2)



Figure 5. Salt tolerant *Tamarix chinensis* in Okgu reclaimed land nursery.



Figure 6. Salt tolerant *Cudrania tricuspidata* in Okgu reclaimed land nursery.

고찰

1. 간척지 염분 변화와 무기양분 함량

간척지의 염분함량은 세월이 경과하면서 자연 강우에 의해서 감소하는 것으로 알려져 있다(Hanson et al., 1993). 미사질양토로 되어 있는 세만금 간척지도 같은 양상을 나타내는 것으로 보인다. 2010년 군산 옥구지역 시험묘포장

부지를 조성한 후 2010년 4월 첫 번째 토양 염분을 조사하였는데, 20 cm, 40 cm, 60 cm 토심에서 평균 35.2 dS/m의 높은 염도를 보였다(Table 3). 2010년 11월 이 숫자는 20 dS/m로 감소하였으며, 2011년 11월 6.1 dS/m로, 그리고 2012년 11월 3.3 dS/m로 감소하였다. 그러나 묘포장을 조성한 지역 토양의 경우에는 조성과정에서 지표의 교란



Figure 7. Salt tolerant *Ilex serrata* in Okgu reclaimed land nursery.



Figure 8. *Pleioblatus pygmaeus* in Okgu reclaimed land nursery classified as recommended species.

으로 인해서 토양염도가 상승하였다. Table 4와 같이 강우 제염지역(1단지)의 염분농도는 5.13 dS/m 이었으며, 미제염지역(2단지)은 8.20 dS/m 로서 여전히 수목이 성장하기 부적절한 수준이었다. 그러나 이런 추세로 염분이 자연 강우에 의해서 제거된다면 앞으로 5~6년이 경과하면 이 지역에도 내염성 수목이 살아갈 수 있는 토양 환경이 조성 될 것으로 판단된다. 실제로 김제 광활지역과 군산 옥구 지역 묘포장 근처에서 이 실험이 진행되고 있는 4년 동안 에도 갈대가 점점 무성하게 침입하고 있음을 볼 수 있었다. 옥구지역 시험묘포장을 2012년 조성할 당시 이 지역 에는 갈대가 이미 자라고 있었다.

새만금 간척지 토양은 모래가 적은 미사질양토로서 배수가 원활하지 않은 상태이다. 더구나 Table 5와 같이 무기양분 중에서 특히 인산과 총질소의 함량이 각각 30.8 ppm

과 413 ppm으로써 낮은 것으로 나타났다. 한국 산림토양에서 인산의 함량은 평균 20~30 ppm 정도로 매우 낮은 편이다. 그러나 국내에서 인산과 유기물의 함량이 각각 50~100 ppm과 2% 이상이 되어야 조경수를 제대로 재배할 수 있다는 기준이 있다(Lee, 2015). 이런 점을 고려하면 옥구지역에서 30.8 ppm의 인산함량과 0.041%의 질소 함량은 매우 낮은 수치로서 수목 생장에 부족한 편이다.

2. 간척지 토양과 내륙 토양의 비교

본 시험은 간척지 내에서는 염분이 없는 토양을 대조구로 사용할 수 없는 문제점이 있었다. 이 문제점을 극복하기 위해 한국도로공사가 소유하고 있는 전주수목원의 내륙 토양과 옥구지역의 간척지 토양을 서로 비교하는 시험을 포함시켰다. Table 7과 같이 8개 수종의 실험결과를 보면 노지양묘의 경우 내륙토양의 생존율이 81.3%로서 간척지 노지양묘의 71.6%보다 생존율이 9.7% 포인트 정도로 조금 높게 나타났다. 그러나 간척지의 환경이 양묘에 절대적으로 부적합하지 않다는 결론을 얻을 수 있었다.

간척지에서 71.6%의 생존율은 일반 묘포장의 90% 이상의 생존율보다 낮다고 할 수 있는데, 그 이유가 간척지의 염분보다는 해풍 때문일 가능성이 있음을 시사하고 있다. 바닷가에서 육지와 바다 간의 온도차가 벌어지는 오후에는 예외 없이 해풍이 바닷가에서 불어온다. 해풍은 오후 내내 불어 수목에 수분스트레스를 유도하여 이식목을 말라죽게 한다. 더불어 해풍은 소금을 함유하고 있어 잎에 묻으면 피해를 주기도 한다. 즉, 옥구지역 묘포장의 경우 토양 염분보다 해풍에 의한 피해로 인해 생존율이 낮아졌을 가능성이 있음을 시사하고 있다.

3. 수종별 생존율과 내염성 분류

본 시험에서 Table 6에서 보듯 1단지(제염지역, 2013년 평균 염도 5.1 dS/m)의 평균 생존율은 74.6%였으며, 2단지(미제염지역, 평균 염도 8.2 dS/m)의 평균 생존율은 68.1%였으며, 두 지역의 평균 생존율은 71.3%였다. 이 시험묘포장 토양의 염도가 2013년도에 5-8 dS/m로서 상당히 높다는 사실을 감안하면 71.3%의 생존율은 매우 좋은 편이라고 할 수 있다. 그러나 지상부의 대부분이 죽어 있는 상태에서 잎이 몇 개라도 살아있으면 생존해 있는 것으로 간주했기 때문에 생존율의 절대적인 숫자에 큰 의미를 부여하기 힘들고, 대신 수관의 발달 정도를 나타내는 수세가 더 중요한 내염성 지표로 사용될 수 있다.

본 시험에서 묘목의 성장과 생존율은 수종 간에 매우 다양한 결과를 보여 주었다. 36종의 시험 대상 수종 중에서 성적이 가장 우수하여 “내염성 수종”으로 분류한 것은 위성류이다(Table 10). 위성류(*Tamarix chinensis* Lour.)는 위성류과에 속하며, 바늘잎의 형태를 하고 있는 낙엽소교목

으로서 키가 5 m까지 자라는 피자식물이다. 꽃이 1년에 두 번 피는 독특한 수목으로서 염분 토양과 해풍에 매우 강해서 새만금 간척지 근처에서 자생하고 있다(Ministry of Environment, 2010). 호주에서도 위성류류는 내염성이 있다고 보고되었다(The State of Queensland, 2011). 본 시험에서도 위성류는 96.6%의 생존율과 대량의 푸른 잎을 항상 유지하여 가장 왕성한 수세(평균 5.0 만점)를 보여서 간척지 방풍림으로 가장 적합한 수종으로 판단된다. 그러나 잎이 바늘형이면서 낙엽성이라서 방풍림을 조성할 경우 좁은 간격으로 넓은 폭에 걸쳐 식재할 필요가 있다.

두 번째 내염성 수종은 꾸지뽕나무였다. 꾸지뽕나무(*Cudrania tricuspidata* Bureau)는 낙엽소교목으로서 새만금 간척지 주변에서 자생하며(Honam Agricultural Research Institute, 2006), 전남 순천만(Baek, 2012)과 남해안지역에서 발견된다(Kim, 2010a). 100%의 생존율과 대량의 푸른 잎으로 왕성한 수세를 보여 주었다. 세 번째 내염성 수종은 낙상홍(*Ilex serrata*)이다. 낙상홍은 낙엽소교목으로서 가을에 예쁜 열매를 생산하는데, 새만금 근처 자생수종이 아니면서 우수한 결과를 보여준 예외적인 경우이다.

그 밖에 Table 10에 표시한대로 곶술, 자귀나무, 쥐똥나무, 해당화, 난쟁이조릿대가 내염성이 있는 것으로 판단되어 “권장수종”으로 분류하였는데, 곶술과 조릿대를 제외한 나머지 수종은 낙엽성 수종이라서 방풍림으로는 적합하지 않다. 곶술은 남쪽 바닷가에서 4 km 이내에 자생하는 상록수로서 조풍에 잘 견디는 수종으로 널리 알려져 있으며, 국내에서 바닷가의 방풍림으로 가장 많이 심겨지고 있다. 곶술이 내조성이 있지만, 소금이 잎에 직접 묻을 경우에는 소금 피해를 받을 수 있다. 그 좋은 예가 2012년 8월 28일에 있었던 태풍 “볼라벤”을 들 수 있다. 이 태풍은 비를 적게 동반한 상태에서 강풍이 불어서 소금이 대량으로 비산하여 제주도과 서해안 일대(인천공항 포함) 곶술에 막대한 피해를 주었다.

느티나무와 메타세쿼이아는 국내에서 선호하는 조경수다. 속성수로서 엽량이 많고 아름다운 수형을 가지고 있어 녹음수로서 으뜸이다. 느티나무는 94.6%의 높은 생존율을 보여 상당히 내염성이 있으나 수세는 3.0으로서 우수한 편이 아니었다. 즉 해풍에 강하지 않다는 해석이다. 메타세쿼이아는 88.3%의 생존율과 3.0의 수세를 보여 느티나무에 준하는 결과를 얻었다. 위의 두 수종과 무궁화, 보리수나무, 팔배나무, 상수리나무, 참느릅나무, 아까시나무, 회화나무는 “간척지 식재가능수종”으로 분류하였다. 특히 무궁화, 보리수나무, 팔배나무는 생존율이 90% 이상되며 수세도 보통 수준(3.8~3.9)을 유지했다. 회화나무는 조풍에 약하여 겨울에 줄기가 죽고 이듬해 근맹아가 발생하면서 회복하는 경향이 있어 자귀나무나 쥐똥나무보다

내염성이 약하다고 할 수 있다. 아까시나무는 2013년에는 생장이 저조했으나, 2014년과 2015년에는 왕성한 성장상태를 보여 간척지에서 빠르게 적응함을 알 수 있었다.

본 시험에서 가장 불량한 성적을 보인 수종으로 생강나무, 자작나무, 국수나무, 백합나무, 사철나무, 측백나무를 들 수 있다. 이 수종들은 생존율이 50% 미만으로 매우 불량하면서 수세도 1.0 이하의 낮은 수치를 보여 겨우 살아남아 있었다. 이 수종들과 대왕참나무, 피라칸다 8개 수종은 “식재기피수종”으로 분류하였으며, 수세가 불량하여 해풍에 예민한 것으로 보인다. 한 가지 특기할 것은 사철나무의 생존율과 수세가 본 시험에서 매우 나쁘게 나타났는데, 이는 겨울철에 잎을 달고 있는 상록수인 사철나무가 이 지역에 출현하는 고라니의 섭식으로 잎이 모두 없어졌기 때문이다. 사철나무는 미국의 경우 내염성이 상당히 있는 것으로 보고되고 있어서(Miyamoto et al., 2004) 추가적인 확인이 필요하다.

위의 연구결과는 외국 혹은 국내에서 발표된 관련 논문과 비교할 때 서로 다른 결론을 내린 경우도 있다. Honam Agricultural Research Institute(2006)는 조팝나무가 간척지 인근에서 자생한다고 기술했는데, 본 시험에서는 염분에 민수종으로 분류되었다. 미국 Morton 수목원은 향나무, 라일락, 개나리를 내염성수종으로 분류하였으나, 본 시험에서는 둥근향나무와 수수꽃다리, 개나리가 염분에민수종으로 분류되었다. 그러나 해당화는 미국과 본 시험에서도 내염성이 증명되었으며, 아까시나무는 Miyamoto et al.(2004)에 의해서 미국에서 내염성 수종으로 분류된 반면, 본 시험에서는 간척지 식재가능수종으로 분류되어 비슷한 결과를 얻었다. 곶술은 외국과 국내에서 모두 내염성이 있는 수종으로 분류되고 있으며, 본 시험에서도 어느 정도 내염성이 증명되었다. 위성류, 꾸지뽕나무, 낙상홍은 본 시험에서 내염성이 가장 큰 수종으로 분류되었는데, 꾸지뽕나무와 낙상홍은 외국 문헌에서 이를 확인할 수 없었다.

지구상에서 자라는 수종 중에서 진정한 내염성 수목은 매우 희귀하며, 그나마 모두 열대성 수목이다. 망그로브는 바닷물 속에 뿌리를 내리고 자라는 수종이므로 내염성이 가장 강한 수종이라고 할 수 있으며, 그 다음으로 코코넛과 열대성 바다무궁화를 예로 들 수 있다. 이 두 수종은 내염성이 매우 커서 빈번한 태풍과 쓰나미를 극복하면서 바닷가에서 살고 있다(Lee et al., 2008). 국내에서 자생하고 있는 수종들 중에서 바닷가에서 발견되는 곶술, 순비기나무, 해당화, 위성류, 꾸지뽕나무는 해풍에 강하지만, 바닷물이 육지로 유입될 때에는 내염성을 보여주지 못한다. 그러나 간척지에서 세월이 경과하면서 토양 염도가 어느 정도 감소하면 제일 먼저 식재할 수 있는 수종이라고 할 수 있다.

결 론

새만금 간척지의 토양은 2010년 방조제공사가 마무리 된 후 서서히 토양 염도가 감소하고 있으며, 군산시 옥구 지역 시험묘포장의 경우 3년 후 염도가 토심에 따라서 2~8 dS/m 수준으로 감소하였다. 간척지 토양은 수 년 간의 자연 강우만으로도 염도가 빠른 속도로 감소함을 알 수 있었다. 원지반토에 배수(암거 및 명거) 시설을 갖추고 36개 수종의 1~2년생 묘목을 노지묘포에서 양묘할 경우 첫 해 가을에 평균 71.3%의 생존율을 보여 양묘가 가능함을 입증했다. 원지반토, 준설토, 산림토를 각각 50 cm와 100 cm 높이로 성토한 후 곰솔과 메타세콰리아를 식재하였는데, 원지반토로 성토한 경우 활착율과 수세가 제일 불량했으며, 준설토는 원지반토보다 생장이 우수했지만, 정상적으로 수목이 자란 산림토보다는 불량하였다. 김제 광활 지역에서 3~4년간 양묘를 통해 간척지 토양과 환경에 적응한 7개 수종을 옥구지역의 원지반토로 이식한 경우 둘째 해 가을에 98.2%의 활착율을 보임으로서 간척지에서 수년간 적응한 개체는 지속적으로 생존이 가능함을 보여 주었다. 36종의 시험대상 조경수 중에서 위성류, 꾸지뽕나무, 낙상홍을 “내염성 수종”으로 분류했으며, 곰솔, 자귀나무, 쥐똥나무, 해당화, 난쟁이조릿대(일본산)는 “권장 수종”으로 분류했다. 그 밖의 수종은 생존율과 수세에 따라서 식재가능수종, 염분예민수종, 식재기피수종으로 분류하였다. 특히 자작나무, 백합나무, 생강나무, 국수나무, 측백나무는 생존율이 50% 이하이면서 수세가 불량하여 간척지에 식재기피수종으로 분류하였다.

감사의 글

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 후원으로 이뤄졌다. 농어촌연구원 팀은 연구과제를 도출하여 간척지와 묘포장을 조성하고, 조경수를 식재하여 관리하고, 토양 염분 모니터링을 수행했다. 서울대학교 팀은 문헌조사, 실험 및 묘포장 설계, 조경수 선정, 성적조사, 내염성 판정 등을 담당했다. 이 연구를 4년간 후원해 주신 농어촌연구원에 감사의 뜻을 표한다.

References

- Agriculture and Rural Development Department. 2001. Salt Tolerance of Plants. Agriculture and Rural Development Department, Alberta, Canada. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptcods.nsf/all/agdex3303](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptcods.nsf/all/agdex3303).
- Baek, S.J. 2012. Soil salinity and salt spray drift tolerance of native trees for ecological planting: In the case of Suncheon Bay, Jeollanam-do. Suncheon National University Ph.D. thesis, Dept. of Landscape Architecture, Korea. Dec. 2012. pp. 69.
- Byun, J.K. 2004. Soil environmental change and growth of transplanted trees by soil covering depths in coastal reclaimed land. Konkuk University Ph. D. thesis, Dec. 2004. Korea. pp. 183.
- Choe, I.H., Hwang, K.H., and Lee, K.J. 2002. Injuries of landscape trees and causes in the reclaimed seaside areas. Korea Journal of Environmental Ecology 16: 10-21.
- Choi, M.B. 2003. Selection of tolerant tree species to salt and sea wind: With special reference to the south of western sea areas of Korea. Journal of Korea Institute of Forest Recreation Welfare 7(3): 57-66.
- Hanson, B., Grattan, S.R., and Fulton, A. 1993. Agricultural salinity and drainage. A handbook for water managers. University of California, Davis, California, USA.
- Honam Agricultural Research Institute. 2006. Native Plants in Saemangeum Watershed. Honam Agricultural Research Institute. pp. 156.
- Kim, D.G. 2010a. Soil salinity and salt spray drift tolerance of native trees on the coastal windbreaks in the South Sea, Korea. Korea Journal of Environmental Ecology. 24: 14-25.
- Kim, D.G. 2010b. Native tree species of tolerance to saline soil and salt spray drift at the coastal forests in the West Sea, Korea. Korea Journal of Environmental Ecology 24: 209-221.
- Kim, K.N. 2014. A study on ecological tree planting model in the coastal reclaimed land: Focused on the native plants selection in a southern coastal area facing the western sea. Sangji University Ph.D. Thesis, Dept of Applied Plant Sciences. Dec. 2014. Korea. pp. 118.
- KMA(Korea Meteorological Administration). 2015. <http://www.kma.go.kr/weather/observation/currentweather.jsp>.
- Kwon, J.O. and Han, I.C. 2009. Selection of the appropriate species on the Incheon reclaimed land. Incheon Development Institute Report 2009-42, Korea. pp. 88.
- Lee, K.J. 2015. Arbormedicine. Seoul National University Press. pp. 446.
- Lee, K.J. and Lee, S.J. 2013. Landscape Tree Management Technique. 2nd edition. Seoul National University Press, Korea. pp. 459.
- Lee, K.J., Yoo, S.H., Park, S.W., Lee, S.J., Suriyapananont, V., and Namuco, L.O. 2008. Effects of 2004-Tsunami on the changes from 2005 to 2006 in salinity of soil profiles and groundwater wells and on mortality of garden fruit trees in Maldives. Forest Science and Technology 4: 14-27.
- Ministry of Environment. 2010. A study on the ecological network establishment in Saemangeum. Ministry of Environment. pp. 231.
- Miyamoto, S., Martinez, I., Padilla, M., and Portillo, A. 2004. Landscape Plant Lists for Salt Tolerance Assessment. Texas

- A & M University Agricultural Research and Extension Center at El Paso, and Texas Agricultural Experiment Station. David Ornelas, El Paso Water Utilities. http://plantanswers.com/Landscape_Plants_List_for_salt_Tolerance_Assessment.pdf.
- Morton Arboritum. 2015. <http://www.mortonarb.org/tree-plant-advice/article/845/salt-tolerant-trees-and-shrubs.html>
- National Institute of Crop Science. 2015. home page. <http://www.nics.go.kr>
- Park, P.S. 2007. A consultation Report on tree planting and species selection for Taeon Industrial City construction. Dept. of Forest Sciences, Seoul National University, Korea. pp. 45.
- The State of Queensland. 2011. Salinity management handbook. Second edition. Department of Environment and Resource Management, The State of Queensland, Brisbane, Australia. pp. 172.
- Wu, L. and Dodge, L. 2005. Landscape Plant Salt Tolerance Selection Guide for Recycled Water Irrigation. A Special Report for the Elevation J. Slosson Endowment Fund, University of California, Davis; article, pp. 40.

(Received: September 29, 2015; Accepted: November 12, 2015)