

GOVP1200104384

6349  
L293E

최종  
연구보고서

# 특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술 개발

Restoration and Management of Forest  
in Environmentally Damaged Areas

임업연구원

농림부



## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 「특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술 개발」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 12. 20

주 관 연 구 기 관 명 : 임업연구원  
총괄연구책임자 : 최 경  
연 구 원 : 김 영 곁, 이 천 용  
연 구 원 : 정 진 현, 김 석 권  
연 구 원 : 유 정 환, 변 재 경  
연 구 원 : 김 재 현, 최 명 섭  
연 구 원 : 유 택 규, 성 주 한  
연 구 원 : 조 재 형, 이 충 화  
연 구 원 : 구 교 상, 박 현  
연 구 원 : 김 춘 식, 이 승 우  
연 구 원 : 이 종 학, 이 창 우  
연 구 원 : 안 인 수, 염 규 진  
연 구 원 : 김 기 환, 엽 정 식  
연 구 원 : 김 의 준, 임 채 철  
연 구 원 : 이 동 팔, 변 영 철  
연 구 원 : 유 지 훈, 강 서 병  
연 구 원 : 이 봉 수  
연 구 원 : 이 원 규, 차 순 형

## 최종보고서

2000년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 「특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술 개발」에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부  
2. 최종보고서 디스켓 1매

2000년 12월 20일

주관연구기관 : 임업연구원

총괄연구책임자 : 최 경(인)

주관연구기관장 : 임업연구원장

농림부장관 귀하



# 여 백

# 요 약 문

## I. 제 목

특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 환경오염의 직·간접적인 영향하에 있는 산림생태계의 복원, 유지 및 관리를 위한 임업적 시업기술 개발
2. 임해매립지에 식재되는 수목의 생태적 유지관리를 위하여 식재지반 조성방법, 적절한 복토높이 구명, 비배관리, 내염성 수종선정 및 식재기술을 개발하여 쾌적한 생활환경 조성
3. 폐탄광지의 산림복구 현황(폐탄질토의 이화학적, 복구구조물, 녹화공법 및 식생, 사면침식 상태, 수질오염 상태)등을 조사하고 이 자료를 토대로 적정 녹화수종 선발시험과 복구구조물의 실연시험을 통하여 폐탄광지 복구유형별 복구모델(공법, 녹화식생, 구조물 수량)과 복구공정(표준단비)을 제시
4. 생태적으로 불안정한 지역의 산림생태계 유지·관리기법을 개발하여 쾌적하고 안정된 환경을 제공

### III. 연구개발 내용 및 범위

1. 환경오염지에서 대기오염물질, 식생구조, 오염임지 회복기술, 입지등급별 임분유형구분 등을 수행하여 시업관리 기술개발
2. 임해매립지에서 매립지 실태·식생분포조사, 토양이화학성 분석, 수목식재시험 및 복토높이별 pot시험을 실시하여 식재지반 조성 방법 및 녹화기술 방법의 타당성 구명
3. 폐탄광지의 사면안전공법, 적정 녹화방법과 복구공정(복구단비) 제시

### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 환경오염지의 산림생태계 복원 및 관리기술 개발

대기로부터의 총 수소이온 유입량은 공단지역, 공단주변지역 및 외곽지역에서 각각  $87\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $25\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$  및  $16\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ 으로 외곽지역에 비해 공단지역에서 약 5.5배나 높게 나타났다. 강수 pH를 결정 짓는 산성 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )의 유입총량은 외곽지역( $74\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )에 비해 공단지역( $133\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )에서 약 1.8배 정도 높게 나타났으며, 이온별 부하량은 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )에서 현저히 높았다. 염기성 양이온( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )의 유입총량은 공단지역에 비해 외곽지역에서 다소 높게 나타났다.

권역별 총 출현종수는 공단지역에서 65종, 공단주변지역에서 147종 그리고 외곽지역에서는 101종이었다. 모든 조사구에서 출현빈도가 가장 높았던 수종은 해송과 소나무였다. 그러나 공단지역과 공단주변지역의 경우 해송에 의한 피압으로 인해 소나무의 고사가 관

찰되었다. 또한 공단지역과 공단주변지역 조사구에서는 없었던 참나무류(신갈나무, 굴참나무, 상수리나무) 종들이 전층에 걸쳐 분포하여 천이상 심한 경쟁상태에 있었다. 공단지역과 공단주변지역에서 출현빈도가 가장 컸던 해송은 내공해성 수종이라기 보다는 비교적 오염에 민감한 참나무류의 유입이 지체되었기 때문으로 판단된다.

귀화식물 출현률에 있어서는 조사구대비 공단지역에서 42.8%, 공단주변지역 43.8%, 외곽지역에서 12.5%로 나타났다. 외곽지역에 비해 약 3배나 높았던 공단지역과 공단주변지역의 결과는 사방조림 목적으로 인위적·자연적 고사에 의한 임관소개와 그에 따른 생태적 교란의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

수목생장 조건을 반영하는 침엽수엽내 엽록소 함량을 해송엽을 대상으로 분석한 결과, 외곽지역, 공단주변지역, 공단지역 순으로 높았다. 반면 유황함량은 정 반대의 지역적 경향을 보였다.

임분을 27개 유형으로 구분하였으며, 각 유형별 이용형태와 입지환경을 고려하여 다양한 시업전환 방법을 검토한 결과 4개 유형의 시업기준을 도출하였다.

울산지역의 토양특성을 파악하기 위하여 공단을 중심으로 하여 권역별로 조사한 결과, 토양 pH 분포는 외곽지역에서 오염원으로 갈수록 산성화 정도가 심하였으며, 그에 따라 토양중 염기성 양이온 함량은 외곽지역에 비해 공단지역에서 약 2배 가량 낮게 나타났다. 또한 토양중 중금속함량 역시 공단지역에서 구리와 납함량이 토양오염 우려기준을 초과하고 있어 공단지역의 토양오염 정도가 심한 것으로 나타났다.

오염입지 토양에 소나무 묘목의 생장은 토양 pH나 Al농도의 영향을 받고 있으나, Al에 의한 성장감소 정도는 토양내 Al과 Ca, Mg

등과 같은 식물필수 영양원소와의 균형도에 의해서 크게 좌우되었다. 이는 산성강하물에 의한 토양산성화가 수목에 미치는 영향을 평가할 때 토양내 Al 등과 같은 유해금속 뿐만 아니라 식물필수 영양원소도 고려되어야함을 시사한다. 또한 본 연구에서 얻어진 Al과 식물필수 영양원소와의 몰비는 산림생태계 피해 예측에 대한 산성강하물의 한계부하량의 평가에 있어 중요한 지표의 하나가 될 수 있으며, 오염임지 토양을 개량하기 위하여 수목생장시험을 실시한 결과 Ca 0.3%에서 가장 효과가 유의적으로 증가하여 적정시비량으로 판단된다.

## 2. 임해매립지의 토양관리 및 식재기술 개발

본 연구는 임해매립지에 식재되는 수목의 생태적 유지관리를 위하여 식재지반 조성방법, 적정 복토높이, 비배관리, 내염성 수종 선정 및 식재기술을 개발하는데 목적이 있으며, 이를 위하여 아산국가공단, 군산국가공단 및 시화공단을 대상으로 매립지 실태·식생분포조사, 토양이화학성 분석, 수목식재시험 및 복토높이별 pot시험을 실시하였다.

임해매립지는 매립조성시 중장비 등에 의한 답압으로 토양 고상률은 일반 산림토양에 비해 약 10% 높은 반면 기상률은 약 15% 가량 낮아 토양물리성이 불량한 토양구조를 보였다. 염분함량은 0.02%~0.63% 범위로 일반 지역에 비해 높은 수준이었으며, 양분함량이 매우 적은 척박한 토양이었다.

임해매립지 인근의 연안지역과 내륙지역간 풍속을 비교한 결과 연안지역의 연평균풍속은 3.0m/s로써 내륙지역의 1.8m/s에 비해 1.7배나 높아 수목생육과 토양환경에 나쁜 영향을 미치는 환경적 조건

을 보였다.

수목식재시험에서 복토높이별 수목고사율과 생장량을 조사한 결과 pot시험에서는 복토높이 100cm이하 처리에서 고사율이 복토높이와 부의 상관성을 보였으나, 100cm이상 처리에서는 유의적인 차이가 없었다. 아산국가공단 실연시험에서는 식재수목이 갯벌구에서는 100% 고사율을 보였으나, 복토높이별(0.5, 1.0, 1.5 및 2.0m 복토구) 고사율은 각각 66.7%, 44.4%, 20.8% 및 18.8%로 복토높이가 높을수록 감소하였다. 시화공단에서의 복토높이별(0.9, 1.3, 1.8, 2.2m 복토구) 고사율은 각각 38.9%, 28.9%, 23.9%, 12.8%, 5.0%로 나타나 아산국가공단에서와 같이 복토높이가 높을수록 고사율은 낮아지는 경향이 나타났다. 수고와 근원경 생장량은 모든 수종에서 복토높이 1.5m 이상일 때 최대치를 보여 임해매립지에서의 적정높이로 판명되었다.

식재지반조성방법별 시험에서의 수고와 근원경 생장증가율은 대조구(115%), 석고처리구(117%) 및 석고+맹암거 처리구(120%)에 비해 자갈+모래+부직포+맹암거 처리구(129%)에서 가장 높게 나타났다.

해풍차단효과 시험에서는 대조구에 비해 방풍막설치구에서 평균 44.4%의 풍속저감효과를 얻었다. 군산국가공단의 경우 방풍막설치구에서 고사율이 12.5%로 감소하였으며, 해풍차단효과는 활엽수에 비해 침엽수에서 더 크게 나타났으며 특히 잣나무의 고사율은 대조구와 방풍막설치구에서 각각 86.1%와 36.1%로 해풍차단효과가 크게 나타난 수종이었다.

식재배식방법별 고사율은 대조구(29.6%), 군상식재구(23.8%), 이단식재구(21.7%), 군상혼효식재구(17.5%)에 비해 이단혼효식재구(11.7%)에서 가장 낮게 나타났다.

식재밀도별 고사율은 10,000본/ha 식재구(22.2%)와 40,000본/ha 식재구(18.4%)에 비해 20,000본/ha 식재구(16.4%)에서 가장 낮았다.

멀칭처리효과 시험에서는 비멀칭구와 멀칭구의 평균 수고가 각각 64.6cm와 108.2cm로 처리간 멀칭효과는 168%의 차이를 보였으며, 특히 자귀나무의 경우 269%의 처리효과가 있었다. 또한 비멀칭구와 멀칭구에서의 평균 근원경은 각각 1.75cm와 2.42cm로 138%의 멀칭효과를 보였다.

공단주변과 인근 섬의 해안가에서 인위적인 교란을 받지 않은 지역에서 10×20m의 plot를 구획한 다음 자생하는 교목과 관목의 출현 종수를 조사한 결과 시화공단, 아산국가공단, 군산국가공단에서 각각 86종, 114종, 86종이었다. 이러한 결과를 통하여 교목과 관목에 대해 각각 20종씩의 내염성 수종을 선정하였다.

본 연구를 수행하기 위하여 공시목으로 사용된 32개 수종중에서 고사율이 10%이하인 수종은 때죽나무, 참느릅나무, 중국단풍, 해송, 측백, 자귀나무, 모감주나무, 이팝나무, 회화나무 등으로 나타나 해안가 식생조사 결과와 유사하게 나타났다.

### 3. 폐탄광지의 녹화공법 개발

폐탄광지의 녹화수종으로는 향토수종을 우선하고, 해발고가 높은 지역은 자작나무, 낙엽송 해발고가 낮은 지역은 아까시나무, 까치박달나무 등을 식재한다.

지리적인 조건에 따라 폐탄광지 복구유형을 가시권(타용도활용가능지)과 비가시권(산림환원지)로 구분한다.

복·객토 처리별 수종의 성장량의 차이가 거의 없으므로 경제

성을 고려해 값 비싼 복토보다는 객토 50cm로 하고 객토는 양분함량이 높은 것을 택한다. 하지만, 가시권(타용도활용가능지)은 비가시권(산림환원지)에 비해 시각적인 효과가 고려되어야 하므로 복토를 실시한다.

조림시 보습제보다는 비료제인 아그로폼이 잔존물 및 생장률을 높이는 효과가 있으므로 입지조건에 따라 사용한다.

경사가 급한 지역은 성토 표준경사인 30° 내외로 비탈다듬기를 실시한다.

기본 공작물(돌 · 폐수로공, 집수정, 암거, 들축대벽, 구곡막이, 대공 등)을 입지조건에 따라 설치하며, 경사가 급한 지역은 공작물을 높게 설치한다.

본 연구의 입지조건별 유용수종과 파종식생의 선발, 복·객토 두께 등의 연구결과는 폐탄광 복구기술 수준을 향상시킬 수 있으리라 사료되며, 복구구조물 시험결과는 현재와 같은 과도한 비용에 의한 복구가 아닌 적정비용으로 주변환경에 적합한 복구공법을 표준화함으로써 앞으로의 산림행정 시책의 유용한 자료로 활용되리라 사료된다.



여 백

## SUMMARY

Atmospheric inputs of hydrogen ion were  $87\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ ,  $25\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  and  $16\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  in inner-sites, around-sites and outer-sites of industrial complex, respectively. The soil acidity was higher in the inner-sites than in the outer-sites. Total inputs of acid anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) were about two times more in the inner-sites ( $133\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ ) than in the outer-sites ( $74\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ ) with the highest sulfate ion among the anions. Total inputs of base cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) were slightly higher in the outer-sites than in the inner-sites.

The total tree species of three sites were 65, 147, and 101 in the inner-, around-, and outer-sites, respectively. *Pinus thunbergii* and *P. densiflora* were most frequent in all sites. However, the decline of *P. densiflora* competed by *P. thunbergii* in the inner- and around-sites of industrial complex was observed. Oak trees (*Quercus mongolica*, *Q. variabilis*, and *Q. acutissima*) also were dominant in outer-sites. *P. thunbergii*, the most frequent species, could not be a resistant to environmental pollution but could be due to the entering delay of oaks sensitive to the pollution.

The frequency percent of naturalized vegetation was 42.8%, 43.8%, and 12.5% in the inner, around, and outer-sites. The approximately three times greater in the inner- and around-sites compared to the outer-sites may be a result of forest

canopy open by natural dieback of trees in erosion control areas which could lead to any ecological disturbance.

As an indicator of tree growth condition, chlorophyll content for two-year-old needles of *P. thunbergii* was the highest in the outer-sites, followed by in the around- and inner sites. Sulfur content in the needle, increased from the outer- to the inner-sites.

The forest stands were classified into 27 types, and the forest management criteria of four types could be determined.

The soils in the site were more acidified in inner-sites than in outer-sites. As a result, soil base cation pool was about two times lower in the inner-sites than in the outer-sites. Additionally, the heavy metal (Pb and Cu) content was higher in the inner-sites than in the outer-sites.

According to the experiment of artificial soil acidification, the total dry weight of the pine seedlings decreased by the addition of the  $H_2SO_4$  solution. In addition, there was a strong positive correlation ( $r=0.97$ ,  $p<0.01$ ) between the dry weight of the seedlings and the molar  $(Ca+Mg+K)/Al$  ratio of the soil. The seedlings with the molar  $(Ca+Mg+K)/Al$  ratio of 1.0 resulted from approximately 50% growth reduction compared with the control value. The results suggest that the molar  $(Ca+Mg+K)/Al$  ratio of the soil may be a useful indicator for assessing the critical load of acid deposition.

In order to decide the reasonable amount of amendment for

modifying soil acidity, the amounts of Ca 0%, 0.1, 0.2%, 0.3% and 0.5% were added. Ca content in those soils was 15g, 18g, 19g, 23g and 21g, respectively after the treatment for 24 week. The result suggest that amount of Ca 0.3% could be enough to ameliorate the acidic soil.

To develop tree management techniques by ecological restoration in reclaimed fore shore, three industrial complexes were selected. In all study sites, soil solid phases related to vegetation growth were higher in reclaimed foreshore land compared with forest soil. Air phase was 15% lower than forest soil due to compaction by heavy equipments during reclamation work. The soil salinity ranged 0.02% to 0.63% which was greater than general others. The soils were infertile because of very less nutrient contents. The sites near the reclaimed foreshore land had annual mean wind speed(3.0m/s), which was 1.7 times higher than that of inlands(1.8m/s). This wind speed in the reclaimed foreshore land could affect adversely the establishments of vegetation.

To investigate the effect of soil-covering depth on tree growth, the pot experiment was carried out. The result showed higher pine seedling mortalities in 0cm compared with above 100cm soil-covering depth. However, there was not a significant effect in pine seedling mortality above 100cm soil covering depth. As a example, control(0 cm) in Asan national industrial

complex had 100% mortality but 50cm increment depth increment(0.5, 1.0, 1.5 and 2.0m) provided the decrease of mortality in 66.7%, 44.4%, 20.8% and 18.8%, respectively. Tree height and root collar diameter were greatest in 1.5m covering depth, which could be reasonable for reclaimed foreshore land.

For planting foundation and improvement experiment, increment of the height and root collar diameter was greater in mixture treatment of gravel, sand, textiles and blocking box(129%) than in control(115%), only gypsum(117%), and gypsum and blocking box(120%).

For the study of sea wind blocking effect, blocking wall decreased wind speed about 44.4%. Tree mortality in Kunsan national industrial complex sites decreased about 12.5% due to the effect. Especially, *P. koraiensis* decreased about 50% of mortality.

The tree mortality was lowest in two storied-mixing planting(11.7%), comparing with control(29.6%), group planting (23.8%), only two storied(21.7%), and group mixing(17.5%). Planting density in resulted in the lower mortality 20,000/ha(16.4%) than in 10,000/ha(22.2%) and 40,000/ha(18.4%).

Mean tree height was 64.6cm in mulching treatment and 108.2cm in non-mulching treatment, so that mulching provided the growth enhancement of 168%. In particular, *Albizzia julibrissin* had the most height increment(269.0%). Also mulching effect showed mean root collar diameter

increment(138.0%).

Total appearance of species including trees and shrubs was 86, 114 and 86 in the Sihwa, Asan and Kunsan industrial complex, respectively. Based on the result, forty salt-resistant trees and shrubs were selected. Less than 10% of mortality was found in *Ulmus parvifolia*, *Sorbus commixta*, *Celtis sinensis*, *P. thunbergii*, *Acer buergerianum*, *Sophora japonica*, and *Platanus orientalis*.

The conditions of restoration work and afforestation plant on abandoned coal mine areas were investigated to develop restoration model and to produce optimal cost for restoration work on abandoned coal mine areas.

The used construction techniques were stone masonry on slope, stone small check dam, and stone channel works, terrace-sodding works and stone or concrete retaining wall. Torrent structure like revetment, check dam, ground soil work was also used. However, the cost of torrent structure was so expensive that existing facilities were used. The reasons of structure destruction were ① not enough excavation, ② not enough scale and quantity of structures, and ③ superannuation of structures.

The particle size of waste coal was mostly larger than 2mm, so it was easy to dry. These area's soils were mostly composed of sand and clay. The covering and filling with other soil had

insufficient nutrient and different soil texture due to parent material sources.

The tree species used for afforestation of abandoned coal mine were *Robinia pseudo-acasia*, *P. rigida*, *Alnus* spp., *P. koraiensis*, *Betula platyphylla*, *Larix leptolepis*, *P. thunbergii*, *P. densiflora*, *Thuja orientalis* and *Populus tomentiglandulosa*. *Amorpha fruticosa* and *Lespedeza bicolor* were used as the shrubs.

The height growth and vegetation coverage were higher in *Robinia pseudoacasia*, *Alnus* spp. and *P. rigida* than in other species. The growth with the elapse year was affected by site and management condition. The average vegetation coverage of upper layer vegetation was 45%. Mixed domestic and introduced herbaceous species used for slope greening work, but introduced one was preferred. The domestic grass is *Arundinella* spp. and the introduced ones were Kentucky bluegrass, Orchard grass, Kentucky 31 fescue, Tall fescue and Weeping lovegrass. The average coverage in lower layer vegetation was 29%. This result represented that most areas were not covered with vegetation.

The soil erosion occurred at 1/5 of surveyed area, and was composed of sheet erosion(13%), rill erosion(4%) and gully erosion(3%). From 1990 to 1996, the restoration cost per hectare showed a great difference(13,000,000~280,000,000 won) by restoration area, and the average cost was 36,000,000 won.

As a result of afforestation tree experiment, the remaining

rates of species increased in following order, *B. platyphylla*(92.5%)>*P. koraiensis*(73.0%)>*R. pseudo-acasia*(70.1%)>*P. densiflora*(63.1%)> *A. japonica*(46.9%). In general, the mortality of trees by treatment of covering and filling with other soils increased in following order, 30cm soil covering> 50cm soil covering> 50cm soil dressing> 30cm soil filling> 70cm soil filling. The difference of growth by treatment was not appeared. According to the above results, it seemed that depth of soil did not affect initial growth of plants. However, the difference will be appeared, if the root fixation and thickening growth will be occur. The results of moisturizing material and fertilizer treatment were affected in all tree species.

The growth of plant was poor due to the hot and dry condition of abandoned coal mine and insufficient nutrient. So we suppose that moisturizing material and fertilizer will be very beneficial to increase tree growth at abandoned coal mine and cutting slope.

The degree of destruction and erosion on restoration works which were constructed to two types by restoration patterns was investigated to produce restoration standard model of abandoned coal mine areas. The destruction of restoration works was not appeared, soil erosion rate was lower than 10~15% and vegetation coverage were kept 90% over in all plots. From above results, we suggest that the cost of the restoration standard



model of abandoned coal mine by patterns is reasonable in range of 60,000 ~ 98,000 thousand won per hectare.

## CONTENTS

Chapter I. Introduction.....	23
Section I. Objective .....	23
Chapter II. Development of Restoration and Management techniques for Forest Ecosystems in Polluted Areas.....	27
Section I. Introduction.....	29
Section II. Materials and methods.....	31
Section III. Results and discussion.....	38
References.....	115
Chapter III. Development of Soil Management and Transplanting techniques for Reclaimed Foreshore Land.....	119
Section I. Introduction.....	121
Section II. Materials and methods.....	124
Section III. Results and discussion.....	155
References.....	275
Chapter IV. Development of Restoration Work on Abandoned Coal Mine Area .....	279
Section I. Introduction.....	281
Section II. Materials and methods.....	283
Section III. Results and discussion.....	293
References.....	341

# 목 차

제 1 장 서론	23
제 2 장 환경오염지의 산림생태계 복원 및 관리기술 개발	27
제 1 절 서설	29
제 2 절 재료 및 방법	31
1. 조사지 일반현황	31
2. 조사방법	32
제 3 절 결과 및 고찰	38
1. 산성강하물 유입량 추정	38
2. 식생조사	40
3. 임분유형별 임분전환 시업법	59
4. 토양의 이화학성질 및 독성물질 동태	104
5. 오염입지의 토양 회복시험	106
인용문헌	115
제 3 장 임해매립지의 토양관리 및 식재기술 개발	119
제 1 절 서설	121
제 2 절 재료 및 방법	124
1. 공단별 입지환경특성	124
2. Pot시험	125
3. 실연시험	126

4. 해안 식생조사	151
5. 토양효소검정	151
6. 임해매립지의 수목피해 사례조사	151
제 3 절 결과 및 고찰	155
1. 임해매립지 유형구분	155
2. 공단별 입지환경 특성	157
3. Pot시험	189
4. 실연시험	196
5. 해안식생조사	240
6. 토양효소 검정을 통한 토양동태	255
7. 임해매립지의 수목피해사례조사	257
제 4 절 결론	265
인용문헌	275
제 4 장 폐탄광지의 녹화공법 개발	279
제 1 절 서설	281
제 2 절 재료 및 방법	283
1. 복구지 현황조사	283
2. 폐탄광지 복구공법개발 시험	286
제 3 절 결과 및 고찰	293
1. 폐탄광지 복구현황	293
2. 적정녹화수종 선발시험	321
3. 폐탄광지 복구공법(구조물)시험	330
제 4 절 결론	338
인용문헌	341

여 백

## 제 1 장 서 론

최근 급속한 인구증가와 문명의 발달로 도시화 및 공업화가 진행되어 이로 인한 자연생태계의 훼손 및 파괴가 전국에서 발생하고 있다. 이러한 도시와 공단지역에서는 그곳에 필요한 대규모시설을 건설하는 과정에서 산림의 파괴를 유발하고 있을 뿐만 아니라 그 시설을 운용하는 과정에서 다량의 에너지 사용이 요구되기 때문에 다량의 오염물질이 배출되고 있다. 그 결과 배출된 오염물질은 자연생태계가 가지고 있는 자정능력의 한계를 넘어 그곳의 주변환경이나 생물체에 축적되어 심각한 환경문제를 야기시키고 있다. 이러한 환경문제의 해결방안은 오염물질 배출량을 감소시키거나 자연의 자정능력을 이용하여 오염물질을 흡수하는 고정원을 늘리는 생태계 복원 방안을 생각할 수 있다.

실제로 선진국에서는 공단이나 도시주변에 오염물질의 확산을 억제하거나 그것을 흡수, 제거하여 쾌적한 생활환경을 유지하기 위하여 환경보전림을 다양한 형태로 조성·관리하고 있다.

한편 산업화과정에서 중요한 에너지자원으로 또 다양한 종류의 산업체에서 사용하기 위해 지하자원을 캐낸 광산지역에서는 그 지역의 입지환경을 분석하고 그 결과를 바탕으로 토양개량기술을 개발함과 동시에 그러한 환경에 적합한 식물종을 선발·식재하여 그린을 복원시키고 있다.

우리나라에서도 공단지역과 도시지역을 중심으로 생태적 안정을 도모하기 위하여 환경림조성을 시도한 적이 있지만 토양특성에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않았고 식물종의 선발 및 식재방법도 생태적 특성이 반영되지 않은 관계로 대부분의 사업이 실패로 끝나

고 있다.

지금까지 우리나라의 도시, 공단 등 오염지역 산림생태계의 관리기술에 관한 연구에 있어서는 기술부족과 생태계 유지관리자료 부족 등으로 인하여 성과가 미흡한 실정으로 환경오염의 피해상황에 관한 연구가 주종을 이루고 있다. 주요연구로 공단지역의 녹지조성 및 회복(김 등, 1982), 공단지역의 대기오염에 의한 산림피해평가 및 유지방안(김 등, 1984, 한 등, 1989), 환경오염에 의한 산림쇠퇴 징후(김 등, 1995) 등이 있다.

또한 임해매립지의 경우는 서·남해안에 공단, 항만시설, 공항 및 주거단지 등에 필요한 대단위 면적의 임해매립지가 조성되고 있고 경관조성과 쾌적한 생활환경을 유지 보전하기 위하여 가로수, 녹지대, 공원 등에 각종 수목을 심어 녹화에 많은 예산을 투입하고 있으나 염분, 해풍, 불량한 토양의 이화학적 및 수중선정 오류 등으로 인하여 식재된 수목이 고사하는 등 예산이 낭비되고 있는 실정으로 토양개량방법과 식재기술 개발이 시급하다. 따라서 임해매립지의 경우도 지역특성에 맞는 토양개량과 함께 적합한 식물종을 선발·식재하여 생태적으로 안정된 환경을 조성해야 한다.

이와 관련하여 일본의 경우는 동경만 부근의 임해매립지에 공장, 도시건설 및 대단위 자연공원을 조성하는 등 이미 60년대부터 인공지반의 녹화, 사면녹화, 오염지의 녹화, 답압지의 녹화 및 임해매립지, 저습매립지 등 특수토양의 녹화기술에 관한 연구가 활발히 진행중에 있다.

폐탄광지의 경우도 전국 도처에 상당한 면적이 산재하고 있으나 환경개선 및 조성공법이나 식생복원기술에 생태적인 개념이 전혀 반영되지 못하고 있다.

폐탄광지 녹화기술에 관한 연구는 주로 이상 지질 및 지형의 특성을 고려하여 수행하고 있는데 영일사방지 녹화사방기술과 침식 붕괴 방지기술을 종합적으로 실행하므로써 우리나라 사방기술의 혁신적 계기를 형성하였으나, 국지적인 녹화를 요구하는 폐탄광지 복구기술의 성과는 아직 미흡한 실정이다. 구체적으로 국토 훼손정비(건설부, 1978), 사면의 안전진단 및 보호공법(한국건기원, 1989), 척악지 및 암반의 활용방안(하 등, 1977), 폐석지 폐석사면의 녹화 공법(박 등, 1988), 석탄과 폐석의 활용방안(정, 1993), 화산성 황 폐지의 복구(일본, 1985), 특수토양지 녹화(江本, 1989) 등의 녹화 보전기술을 정립하였으며 임업연구원에서는 채석적지의 복구(이 등, 1989) 녹화기술에 대한 연구를 한 바 있다.

훼손된 생태계의 복원은 적합한 과학적 원리를 이용하여 약화된 기능을 회복시키는 방법(Hobbs 등, 1991), 훼손정도에 따라 자연 생태계의 회복력에 맡기는 방법, 최소한의 생물에너지를 투입하여 회복을 촉진시키는 방법 및 종자의 파종, 묘목의 식재 등 적극적으로 생물에너지를 투입하여 빠른 회복을 유도하는 방법으로 구분할 수 있다(Bradshaw, 1984). 생태계를 복원시키기 위하여 총체적이며, 종합적인 대책을 마련하여야 하기 때문에 여러 가지 과학적인 정보와 생태계를 변화시키는 환경오염 정보를 오염현장에서 수집하여 그 대책을 세워야 한다(Aber and Macmahon, 1987).

따라서 환경오염지는 자연생태계의 자정능력 감소로 인한 토양 오염 및 산림훼손의 심화된 오염토양 개량기술과 산림관리기술을 개발하고, 임해매립지는 적정 복토높이 구멍과 염분을 차단할 수 있는 식재지반 조성방법, 염분이 다량 함유되어 있고 이화학성이 매우 불



량한 토양에 대한 식물생육에 적합한 토양으로의 개량방법, 강한 해풍의 영향으로 인한 수목생육 부진 및 고사방지, 이러한 환경에 적용할 수 있는 수종의 선발 및 식재기술을 개발하며, 폐탄광지역의 산림복구 현황(폐탄질토의 이화학성, 복구구조물, 녹화공법 및 식생, 사면침식 생태, 수질오염 상태) 등을 조사하여 적정 녹화수종 선발시험과 구조물의 실연사업을 통하여 폐탄광지 복구유형별 복구 모델과 복구공정을 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

## 제 2 장 환경오염지의 산림생태계

### 복원 및 관리기술 개발

Development of Restoration and Management  
for Forest Ecosystems in Polluted Areas

김 영 결  
유 정 환  
이 충 화  
김 석 권  
조 재 형  
구 교 상  
이 승 우  
이 동 팔  
차 순 형

여 백

## 제 1 절. 서설

우리 나라는 1960년대부터 도시화·산업화의 발달이 가속화되면서 도시지역에서의 인구과밀화와 대규모의 공단조성은 환경오염의 일차적인 원인으로 대두되었다. 그 구체적인 영향인자로는 화석연료 사용량과 각종 오염물질의 배출량 증가에 의한 대기오염을 들 수 있으며, 이러한 대기오염의 결과는 자연생태계의 파괴로 나타나고 있다. 대기오염에 의한 생태계의 파괴현상은 단시간에 나타나기도 하지만 대부분 장기간 축적되어 서서히 나타나기 때문에 일단 피해가 발생하면 회복이 불가능하거나 많은 시간과 비용이 들게 된다. 따라서 생태계를 지속적으로 관리하기 위해서는 환경오염 방지를 위한 다각적인 연구가 전제되어야 할 것이다.

특히 산성강하물에 의한 토양산성화는 산림쇠퇴의 중요한 원인 중의 하나로 알려져 있으며(Krause 등, 1986), 유럽이나 북미 등 선진국에서 나타나고 있는 산림쇠퇴현상은 토양산성화와 연관이 있는 것으로 보고되고 있다. 우리나라는 아직까지 토양산성화에 의한 산림피해는 보고되지 않고 있으나, 울산 등의 공단 및 대도시지역에서는 pH 4.0 전후의 산성비가 계속 관측되고 있어(임업연구원, 1998 ; 전영신 등, 1994), 산림생태계에 영향을 미칠 가능성이 제기되고 있다(李壽煜과 閔一植, 1989 ; 김태훈 등, 1994).

질소산화물과 황산화물을 함유하는 산성강하물이 토양에 유입되면  $\text{NO}_3^-$ 과  $\text{SO}_4^{2-}$ 와 같은 음이온이 토양중의 Ca, Mg 등 양이온과 결합하여 식물필수 영양원소인 Ca, Mg이 토양으로부터 용탈되며(吉田과 川畑, 1988), 계속해서 토양이 산성화되면 Al 및 Mn과 같은 식물유해금속을 용출시켜(Ulrich 등, 1980 ; 吉田과 川畑, 1988) 식물의

세근발달이나 신장생장을 억제하여 식물의 양분흡수를 저해한다 (Rengel, 1992). 따라서 건·습성 산성강하물에 의해 산성화된 토양에 생육하고 있는 수목은 염기의 용탈로 인한 식물영양상태의 악화나 Al 등과 같은 식물유해금속으로부터 성장저해의 복합적인 영향을 받을 것이 예상된다. 이러한 산성화된 지역의 회복에서 중요한 부분은 산성토양의 개량이다.

최근 유럽을 중심으로 오염물질의 발생량을 규제하기 위한 기초자료와 지침을 마련하기 위하여 산림생태계가 악영향을 받지 않는 산성물질 부하의 허용한계, 즉 한계부하량(Critical load)을 추정하기 위한 연구가 활발히 이루어 지고 있으며(Brodin과 Kuylenstierna, 1992 ; Sverdrup 등, 1994), 임목생장량과 토양용액 중의  $(Ca+Mg+K)/Al$  몰농도비가 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려져 산성강하물의 한계부하량 평가에 대단히 중요한 요인으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 울산공단지역에서 산성강하물질의 유입 특성, 식생, 임분동태, 산림토양의 이화학성 및 독성물질의 동태를 조사하였다. 또한 조사지역의 토양에 수목생장 및 회복실험을 실시하였다.

## 제 2 절. 재 료 및 방 법

### 1. 조사지 일반현황

조사지역은 권역별로 공단지역, 공단인접지역, 외곽지역으로 구분하여 조사를 실시하였다.

조사지역인 울산의 연평균기온은 13.5℃이고, 최고기온은 35.7℃, 최저기온은 -10.4℃이었다.

연평균 기온은 지난 30년간 1℃이상 상승하였고, 연평균 최저기온도 2℃정도 상승하였다. 또한 평균습도는 1966년 70%였던 것이 1996년 현재 60%로 저하되어, 기온상승과 함께 건조화 되어가고 있는 실정이다.

산림면적은 69,964ha로 그 중 입목지가 69,822ha(98.4%), 무입목지가 1,142ha(1.6%)이다. 또한 침엽수림 25,601ha(35.6%), 활엽수림 18,765ha(26.8%), 혼효림 24,408ha(34.9%), 기타 105ha(0.1%)로 구성되어 있다. 소유별 현황은 사유림이 63,311ha로 전체 산림면적의 90.5%를 차지하고 있다.

공단설립은 1962년 특정공업지역으로 지정된 이래 대규모의 석유화학단지, 비철금속단지, 자동차 및 자동차관련 산업체의 공장이 730개소로 증가하면서, 우리나라의 국가경제의 중추적인 역할을 담당하는 산업도시로 발전하였다. 그러나 인구과밀화 및 공장의 급속한 증가로 인해 화석연료 사용량이 매년 20~30% 증가하여 오염물질 배출량이 점차 확산되고 있으며, 그로 인한 인체, 농작물 및 산림의 피해가 발생하고 있다.

## 2. 조사방법

### 가. 산성강하물질 유입량 추정

권역별 산성강하물질 유입량을 파악하기 위하여 울산지역에 20개소를 선정하고 직경 20cm 크기의 폴리에틸렌 채수용기를 이용해서 강우를 채취하였다.

채취한 강수시료는 산도와 전기전도도를 측정하였고, Ion chromatograph를 이용하여 음이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ )과 양이온( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )을 분석하였다.

### 나. 식생조사

#### 1) 식생변화조사

식생조사는 ZM학파의 식물사회학적 방법에 의하여 수행하였다 (Braun-Blanquet, 1964; Muller-Dombois와 Ellenberg, 1974).

조사지점의 선정은 저단위 환경을 결정하는 미지형, 토양 그리고 식생의 상관적 특성이 가능한 균질한 곳을 대상으로 하였으며 조사구 크기는 군락규모와 성립의 위치에 따라  $10\text{m} \times 10\text{m}$  ~  $20\text{m} \times 20\text{m}$ 를 적절히 적용하였다.

#### 2) 오염원으로부터 권역구분

권역은 크게 공단지역, 공단주변지역, 외곽지역으로 구분하였으며 공단지역은 토지이용구분도상에 공단지역으로 표기된 지역을 대상으로 하였으며, 공단지역에서 5km까지를 공단주변지역, 공단주변지역에서 10km까지를 대상으로 하여 외곽지역으로 구분하였다.

#### 3) 조사지역 산림의 생태적 특성

##### 가) 지역별 구성종의 유사성

Sorensen의 유사계수(CC<sub>s</sub>)를 이용하여 지역별 천이단계와 구성

종의 유사성을 분석하였다.

[ 유사계수(CCs)= $2C/(S_1+S_2)$ ;  $S_1, S_2$ 는 각각 군락 1, 2에 나타난 종수, C는 두 군락에 공통으로 나타나는 종수 ]

#### 나) 지역별 구성종의 생태적 영향력

지역별, 산림식생관리단위별, 생육형별 종의 점유정도를 파악하기 위하여 식생조사에 얻은 자료를 토대로 Curtis와 McIntosh(1951)의 방법을 응용하여 중요치(I.V. : Importance Value)를 산출하여 구성종의 생태적 영향력을 평가하였다.

#### 다) 지역별 산림구성종다양성

지역별 산림구성종의 다양성, 우점도, 경쟁을 분석하기 위하여 종다양도지수(Shannon, 1946), 최대종다양도, 균재도, 우점도, 종간 경쟁지수와 종내경쟁지수(Herlbert, 1971)를 분석하였다(Brower and Zar, 1977).

$$\cdot \text{종다양도}(H') = -\sum P_i \ln P_i = -\sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$$

$P_i$  한 조사구내의 특정 종의 개체수와 총개체수의 비

$n_i$  한 조사구내의 특정 종의 개체수

N 총개체수

$$\cdot \text{최대종다양도}(H'_{\max.}) = \ln S; S \text{는 구성종수}$$

$$\cdot \text{균재도}(J' : \text{evenness}) = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$$

$$\cdot \text{우점도}(D) = 1 - J' = 1 - H'/H'_{\max} = 1 - H'/\ln S$$

#### 라) 연륜분석

연륜코어(생장편)는 각 임목당 2개씩 채취하였으며, 수간중 생



장편의 채취위치는 경사지인 경우 압축이상재를 피하기 위해 경사방향의 수직인 위치에서 수행하였다. 채취된 연륜시료는 생장추 직경 정도의 원형판에 보관, 건조시킨 후 U자형 나무막대에 고정시킨 뒤 자동기계사포를 이용하여 연마하여 연륜경계가 잘 나타나도록 하였다.

조제된 연륜시료는 Digital Tree Ring System(신일사이언스)을 이용하여 측정하였으며, 추출된 자료로 총생장량, 연년생장량, 연평균생장량을 구하였다.

#### 4) 엽내 엽록소 및 유황함량

해송 2년엽을 대상으로 하여 생중시료 1g을 조제한 뒤 DMSO(dimethyl sulfoxide)법(Hiscox and Isiraelstam, 1979)으로 추출한 뒤 Simadzu recording spectrophotometer UV-240을 사용하여 측정하였다. 엽록소 a와 b는 아래와 같은 Arnon 공식(Arnon, 1949)에 의해 측정되었다.

$$\text{Chlorophyll a (mg/l)} = 12.7 \times D663 - 2.69 \times D645,$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/l)} = 22.9 \times D645 - 4.68 \times D663$$

위 식에서 D645 와 D663은 645nm와 663nm에서의 흡수수치이다.

#### 다. 임분유형별 임분전환 시업

조사지역내 지형적 특성, 임분의 변화과정, 입지별 임분유형, 임분유형에 따른 적정 옥립시업의 체계화를 위하여 조사지역 전체를 포함하는 지형도(1/50,000)에서 실거리 사방 500m내의 기복량, 사면방위, 경사도 등 입지정보를 자료화하고 임분의 동태조사를 위하여 26개소를 임의 추출하여 현지조사를 실시하였다.

#### 라. 토양의 이화학성질 및 독성물질 동태

조사지역에서 대표적인 50개소를 선정하여 입지환경 및 토양단면조사를 실시하고 각 단면으로부터 층위를 구분한 후 무작위로 3지점을 선정한 후 0.5~1.0kg의 토양이화학성 분석용 시료를 채취하여 실내에서 건조한 후 질소, 인산, 양이온치환용량 등을 분석하였다

토양내 중금속함량은 음건한 토양시료 10g을 0.1N-HCL용액 50mL를 가하여 상온에서 1시간 진탕한후 여과(No.6)하고 그 여액을 유도결합플라즈마 원자발광분광계(ICP)로 아연, 구리, 납, 카드뮴을 측정하였다.

#### 마. 오염입지 토양의 회복기술

##### 1) 오염 정도별 수목의 생장시험

울산광역시 선암동에 위치한 해송임분에서 유기물층을 제거하고 약 0~10cm 깊이에서 채취한 퇴적암모재의 암적갈색산림토양을 공시 토양으로 사용하였다. 1999년 4월 1일 풍건토양 1L에 0(대조구), 0.1, 0.3, 0.6 및 0.9N의  $SO_4^{2-} : NO_3^- : Cl^- = 5 : 3 : 2$ (당량비)인 산성용액 100mL를 첨가하여 잘 혼합하였으며 각 처리구의 토양 1L에 첨가된  $H^+$ 의 양은 각각 0, 10, 30, 60 및 90meq이었다. 각 수준별로 산성용액 처리된 토양을 2000mL의 재배용기에 충전하였으며 2-1소나무(*Pinus densiflora*) 묘목을 이식하여 1999년 4월 17일부터 10월 2일까지 24주간 온실내에서 각 처리당 20개체씩을 생육시켰다.

Table 1. Initial growth of *Pinus densiflora*.

구분	Needle(g)	Stem(g)	Root(g)	Whole-plant(g)
생중량	19.2	13.6	12.0	44.8
건중량	7.3	5.6	5.1	18.0

Table 2. Physicochemical properties of the sampled soil.

토성	pH	O.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	C.E.C (me/100g)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al (mg/kg)
						(me/100g)				
양토	4.2	5.7	0.2	45.4	20.0	0.1	0.2	0.5	0.3	400.0

2) 오염입지 토양의 회복시험

울산광역시 선암동에 위치한 해송임분에서 유기물층(organic layer)을 제거하고 약 0~10cm 깊이에서 채취한 퇴적암모재의 압적 갈색산림토양을 공시토양으로 사용하였다. 99년 4월 1일 Ca처리는 풍건토양에 중량비로 0(대조구), 0.1, 0.2, 0.3, 0.5%가 되도록 CaO를 첨가하여 잘 혼합하였으며, Mg처리는 0(대조구), 0.03, 0.05, 0.1, 0.2%가 되도록 MgO를 잘 혼합하였다. 각 수준별로 처리된 토양을 2,000mL의 재배용기에 충전하였으며 2-1소나무(*Pinus densiflora*) 묘목을 이식하여 1999년 4월 12일부터 9월 27일까지 24주간 온실내에서 각 처리당 15개체씩을 생육시켰다.

Table 3. Initial growth of *Pinus densiflora*.

구분	Needle(g)	Stem(g)	Root(g)	Whole-plant(g)
생중량	18.3	10.4	11.1	39.8
건중량	6.5	4.1	4.3	14.9

Table 4. Physicochemical properties of the sampled soil.

토성	pH	O.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	C.E.C (me/100g)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al (mg/kg)
						(me/100g)				
양토	4.2	5.7	0.2	45.4	20.0	0.1	0.2	0.5	0.3	400.0

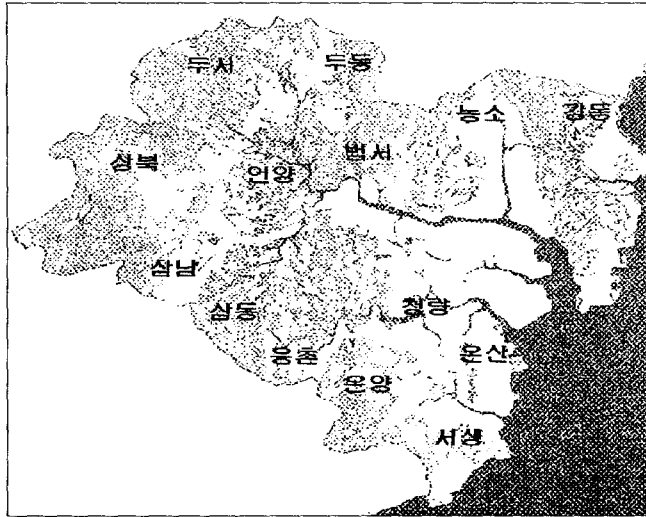


Fig 1. Topography map of Ulsan.

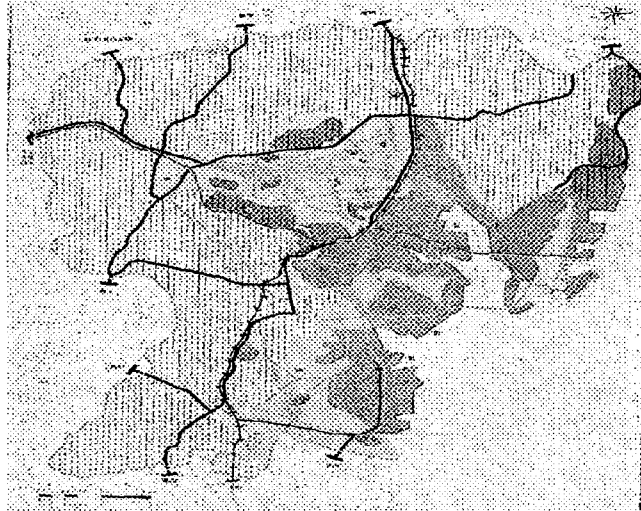


Fig 2. Classification map of land use of Ulsan.

### 제 3 절. 결과 및 고찰

#### 1. 산성강하물 유입량 추정

산림지역내의 산성강하물 유입량이 산림과 토양에 미치는 영향을 조사하기 위하여 울산지역(Fig. 1)에서 99년 4월부터 2000년 3월까지 강수를 채취하여 수소이온량 및 음·양이온량을 측정한 결과는 표 5와 같다.

#### 가. 권역별 수소이온( $H^+$ ) 유입량

공단(Fig. 2 자주색부분)지역의 수소이온유입량은  $87 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ , 공단 주변지역은  $25 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ , 외곽지역은  $16 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 으로서 공단지역이 외곽지역보다 약 5.5배 높았다.

#### 나. 권역별 이온유입량

오염물질인 음이온 총량 [ $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ] 은 공단지역이  $133 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 외곽지역의  $74 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  보다 약 1.8배 높게 나타났으며, 이온별로는  $SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$  순으로 많이 유입되고 있었다(Table 5).

양이온 총량 [ $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ] 은 Table 5와 같이 외곽지역에서 높았으며, 이온별 유입량은  $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > NH_4^+ > Mg^{2+}$  순이었었다. 권역별로는 공단지역에서는 음이온이, 외곽지역에서는 양이온이 많이 유입되고 있었다.

Table 5. Amount of wet deposition at Ulsan industrial complex.

구 분	H <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	음이온 총량
	g · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>		kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>		
공단 지역	86.85	33.92	19.78	79.04	132.75
공단주변지역	25.08	24.40	20.99	58.43	103.81
외곽 지역	15.82	20.09	13.70	39.75	73.53

구 분	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	양이온 총량
	kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>					
공단 지역	24.40	13.37	18.32	3.05	24.80	93.95
공단주변지역	22.39	11.35	16.43	4.10	44.41	98.68
외곽 지역	26.26	11.70	22.95	2.80	44.59	108.30

## 2. 식생조사

### 가. 오염원으로부터의 거리별 숲구조

울산광역시 전지역(공단지역, 주변지역, 외곽지역)에서 상층에 절대우점하고 있는 종은 상록침엽수인 곰솔으로 나타났으며, 기타 소나무와 인공식재수종인 아까시나무, 사방오리나무, 잡재자연수종인 졸참나무 등이 나타나고 있었으나 이들 수종들은 단일종으로 상층이 구성된 단일임분을 형성하지는 못하고 곰솔임분에 산재하였으며, 쇠퇴(피압)와 경쟁(경합) 두가지의 양상을 보이고 있었다

#### 1) 공단지역

지역별 주요 임분의 상층구조를 보면, 공단지역내에는 주로 2가지의 양상으로 나타났다. 첫째, 공단내의 경사와 고도가 높지 않은 완구릉지역들과 같이 상당히 파편화된 형태를 갖고 있으며, 이들 지역은 산림이라기 보다는 고립된 섬이나 동산에 가까울 정도였다. 이러한 곳의 상층에는 주로 곰솔 단일목들이 산재하였고 중층은 거의 존재하지 않았으며, 하층은 주로 양지성 초본종들이 우점하고 있는 상태이었다. 둘째, 곰솔우점에 소나무가 산생은 하나 피압이 진행되었으며, 졸참나무가 상층의 인위적 또는 환경적 간섭에 의해 생긴 임분공간에서 산발적으로 분포하는 임분이 주를 이루고 있었다.

공단지역내 임지는 상관적으로 주로 곰솔림, 소나무림과 사방오리조림지에 곰솔 및 아까시나무가 침입하여 성립된 혼효림으로 구성되어 있으며, 임내 광조건을 지배하는 상층임관목의 수고 및 흉고직경은 각각 8~12m와 8~30cm로 다양하게 나타났다.

계층구조별 주요 출현종을 보면, 상층(교목층)은 곰솔, 소나무, 사방오리나무 등 4종, 아교목층(중층)은 곰솔, 졸참, 사방오리 등

10종, 저목 및 관목층(하층)은 졸참나무, 산철쭉, 청미래덩굴, 때죽나무, 검노린재 등 21종, 초본층은 주름조개풀, 억새, 박주가리, 미국자리공, 닭의 장풀 등 30종이 분포하고 있었다.

상층목(곰솔)의 경급은 일반적으로 사방조림지에서 다양하게 나타났으며 자연적으로 성립된 곰솔림에서는 큰 차이가 없었다. 이는 산불, 개발 등 대규모 교란과 그에 따른 중간경쟁에 의해 결정되는 것으로 판단되었으며, 중층에서는 졸참나무가 잠재우점종으로 출현 빈도가 높게 나타났다. 또한 초본층에는 억새와 같이 1차천이초기단계에 나타나는 종들이 광역분포하고 있었으며, 임관이 소개된 곳과 임연부에서는 미국자리공의 출현빈도가 높았다.

## 2) 공단주변지역

공단주변지역은 상층에서는 곰솔과 소나무의 빈도가 높게 나타났으며 소나무의 생육상황은 공단지역과 같이 피압으로 인해 고사가 진행중에 있었다. 또한 곰솔과 혼재하여 사방오리나무림이 방어진염포산지역에 대규모로 분포하며, 울산지역 전반에 걸쳐 산화적지가 산재하고 있다. 공단지역내의 상층에 존재하지 않았던 갈참나무나 상수리나무와 같은 참나무류들이 출현하여 산생 또는 군생을 하고 있어 상대적인 곰솔의 비율은 낮게 나타났다.

대부분 곰솔림, 소나무림과 곰솔임지에 상수리나무외 참나무류가 침입하여 성립된 혼효림으로 구성되어 있으며 상층임관목의 수고 및 흉고직경은 8~12m, 10~30cm로 나타났다.

계층구조별 주요 출현종을 보면 상층에는 곰솔, 소나무, 사방오리나무, 상수리나무 등 9종, 아교목층(중층)은 곰솔, 졸참나무, 아까시나무, 갈참나무 등 15종, 저목 및 관목층(하층)은 졸참나무, 아



까시나무, 자귀나무, 개웃나무, 진달래, 때죽나무 등 39종, 초본층은 주름조개풀, 억새, 박주가리, 미국자리공, 산겨울 등 84종이 분포하고 있었으며 공단지역과 외곽지역에 비해 미국자리공과 박주가리의 출현빈도가 높았다.

상층목(곰솔)의 경급구성은 공단지역과 비슷하였으나 상수리나무와 아까시나무와 같은 활엽수들의 출현빈도가 상대적으로 높았으며 인위적 간섭 등의 교란이 심한 이유로 하층의 출현종수가 타지역에 비해 상대적으로 풍부했다.

중층의 종구성은 공단지역과 유사하였으며 졸참나무와 아까시나무의 출현빈도가 높았고, 초본층에는 박주가리와 미국자리공과 같은 교란임지에 전형적으로 나타나는 양지성 초본들이 많이 분포하고 있었다.

### 3) 외곽지역

외곽지역에서는 공단과 그 주변지역과는 달리 곰솔과 소나무와 같은 상록침엽수종 이외에 참나무류의 종들이 전층에 걸쳐 고르게 분포하여 천이상 심한 경쟁상태에 있다고 볼 수 있다. 특히 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무의 출현율이 타지역에 비해 높게 나타났다. 또한 소나무가 우점하고 있는 지역은 주로 능선부와 산복상부지역에 국한되어 밀도가 높은 상태로 동일개체간 경쟁이 심한 상태였으며, 그 이외의 입지에서는 주로 중층에 존재하며 곰솔이나 참나무류에 의해 완전피압된 상태로 나타났다.

공단지역의 오염원으로부터 거의 영향을 받지 않는 외곽지역에서는 주로 곰솔림과 소나무림이 대부분이지만 굴피나무, 떡갈나무, 상수리나무 등이 혼효되어 있었으며 상층임관목의 수고 및 흉고직경

은 각각 6-10m와 10-20cm로 나타났다. 그러나 자연갱신되고 있는 임분의 방치로 인해 경쟁이 치열한 상태였다.

계층구조별 주요 출현종을 보면 곰솔, 소나무, 사방오리나무, 상수리나무, 떡갈나무 등 7종, 아교목층(중층)은 곰솔, 졸참나무, 소나무, 상수리나무, 아까시나무, 갈참나무 등 15종, 저목 및 관목층(하층)은 졸참나무, 아까시나무, 자귀나무, 싸리, 진달래 등 33종, 초본층은 새, 주름조개풀, 억새, 박주가리 등 46종이 출현하였으며 공단지역 및 공단주변지역과 비교하여 미국자리공의 출현은 없었다.

상층목(곰솔)의 경급과 종조성은 공단주변지역과 비슷하게 나타났으나 아교목층의 종조성은 다른 두 지역에서 보다 고르게 나타났으며 저목층에서도 졸참나무, 떡갈나무, 개서어나무 등의 교목성 치수가 많이 발생하는 바 이는 천이과정이 비교적 안정적으로 진행되고 있음을 반영하였다. 초본층에서 공단주변지역과 출현하는 주요종은 비슷하였으나 양지성종의 출현은 극히 적었다.

상기의 내용을 종합하면 울산지역의 임지는 주로 곰솔과 소나무가 분포하고 있었으며, 특히 이중 약 70%가 곰솔림으로 구성되어 있었다.

Table 6은 지역별, 계층구조별 출현종수를 나타낸 것으로 지역별 총출현종수를 보면 공단지역에서는 65종, 공단주변지역은 147종, 외곽지역은 101종으로 나타났으며 공단지역의 경우는 빈번하고 누적된 교란요인에 의해 억새와 같은 지표성 식물들로 단순하게 구성된 결과이며, 반면 공단주변지역은 공단지역과 외곽지역의 중간지대에 위치하고 있는 생태적 전이대이기 때문에 상대적으로 종이 풍부하였다.

Table 6. Comparison of the number of species by survey area and crown layer.

	공단지역					공단주변지역										외곽지역																
I	2	1	12	26	27	26	11	8	13	21	23	10	9	18	17	30	3	22	29	6	4	7	5	19	24	25	14	31	16	15	20	
II	1	2	2	1	2	3	4	2	1	2	1	2	2	3	1	1	1	2	1	3	1	3	3	2	3	3	3	3	2	2	1	
III	3	2	6	1	1	3	4	4	6	4	2	3	2	5	1	0	1	4	5	1	3	2	3	8	2	4	6	3	5	2	6	
IV	5	5	9	6	6	8	7	6	8	10	7	9	10	6	8	4	8	4	9	4	8	11	5	9	13	7	13	9	4	10	10	9
V	8	9	6	6	7	18	12	21	11	16	16	17	6	14	17	20	7	25	6	7	6	13	15	10	8	14	9	15	6	8	11	
VI	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	3	2	1	0	4	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
VII	3	1	2	2	1	3	2	6	3	4	4	6	2	2	2	5	1	2	1	4	3	3	3	4	1	5	4	2	4	4	3	

I: 조사지번호, II: 상층목종수, III: 중층목종수,

IV: 저목층종수, V: 초본층종수, VI: 귀화식물종수, VII: 교목성치수량

귀화식물 출현율을 비교해 보면, 공단지역은 조사구대비 42.8%, 공단주변지역은 43.8%, 외곽지역은 12.5%로 나타났다. 공단지역과 공단주변지역이 외곽지역 보다 약 3배정도 높았으며 이는 사방조림 목의 인위적 및 자연적 고사에 의한 임관소개와 그에 따른 생태적 교란의 영향으로 판단된다

특히, 저목층의 교목성 치수발생을 보면 공단지역에서는 평균 2.0종, 공단주변지역은 3.2종, 외곽지역은 3.4종로 생태적 교란이 심한 공단지역이 공단주변지역과 외곽지역에 비해 상대적으로 낮았으며 이에 따른 천이경향을 보면 졸참나무, 갈참나무의 중간 경쟁을 거쳐 궁극적으로 졸참나무 군락이 형성될 것으로 예상된다.

#### 나. 주요 목본성 수종의 출현빈도 변화

공단지역내에서 상층을 우점하고 있는 종은 상록침엽수인 곰솔과 소나무, 그리고 인공식재수종인 아까시나무로 나타났으며 그에 반해 참나무류는 졸참나무를 제외하고는 출현하지 않았다. 졸참나무의 빈도율(25%)은 낮게 나타난 바 이는 졸참나무군락으로 존재하는 것이 아니라 상층의 인위적 또는 환경적 간섭에 의해 생긴 임분공간에서 산발적으로 분포한다는 것을 보여준다. 중층에서도 곰솔과 소나무의 빈도가 높게 나타났으나 졸참나무(50%)와 갈참나무(38%)의 빈도 또한 증가하여 종간의 경쟁이 심하다는 것을 보여준다. 그에 반해 하층에서는 소나무의 출현이 없었으며 곰솔의 출현(25%) 또한 급격히 낮아진 반면 참나무류의 치수, 특히 졸참나무(75%)와 갈참나무(38%)의 빈도가 높게 나타났다.

공단주변지역에서도 상층에서는 곰솔과 소나무의 빈도가 높게 나타났으나 공단지역내의 상층에 존재하지 않았던 갈참나무나 상수리나무와 같은 참나무류들이 출현하였으며, 중층과 하층에서는 소나무와 곰솔의 빈도에 비해 참나무류가 월등히 높게 나타났다. 그러나 신갈나무는 공단내지역과 공단주변지역에서 전층에 걸쳐 출현하지 않았다.

외곽지역에서는 공단과 그 주변지역과는 달리 곰솔과 소나무와 같은 상록침엽수종 이외에 참나무류의 종들이 전층에 걸쳐 고르게 분포하여 천이상 심한 경쟁상태에 있다고 볼 수 있다. 특히 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무의 출현율이 타 지역에 비해 높게 나타났다.

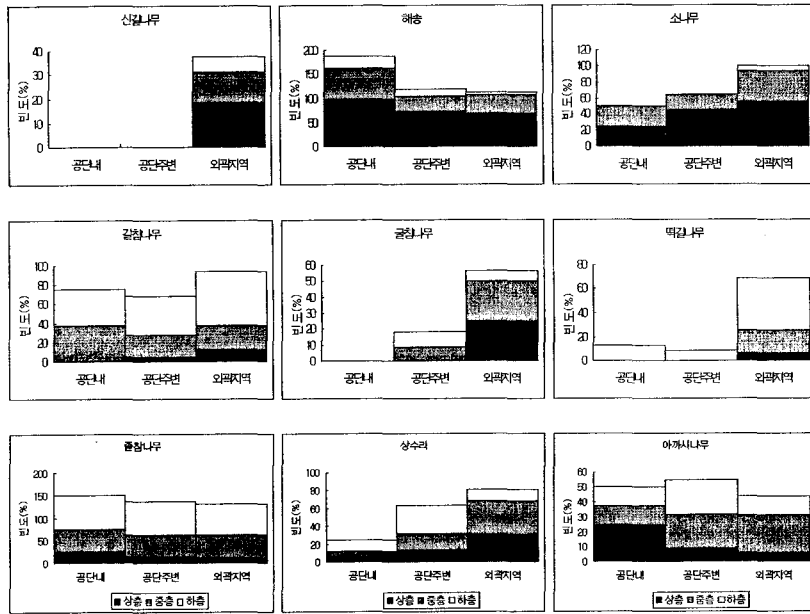


Fig 3. Frequency of the dominant trees by crown layer.

다. 종별, 수관층별, 지역별 상대중요치

Table 7은 지역별, 수관층별, 종별 상대중요치를 나타낸 것으로 공단지역에서는 졸참나무, 검노린재, 청미래덩굴 등을 하층으로하는 곰솔임분이 주로 분포하였으며, 아까시나무와 사방오리나무와 같은 인공식재종이 산발적으로 분포하였으나 그 생장상태는 불량하였으며 특히 사방오리나무는 그 생리적 수명을 다하여 고사목이 많이 발생 되는 상태였다.

공단주변지역은 곰솔과 소나무가 주된 임분을 구성하며 졸참나무, 상수리나무, 갈참나무와 같은 참나무류가 상층에 침입하여 경쟁하는 천이초기단계를 보여주며 중층에서는 상기 상층수종들과 때죽나무가 고른 위치를 잡으며 생육하고 있었다. 특히 하층에서는 참나

무류의 중요치가 곰솔과 소나무보다 높게 나타났으며 이는 내음성과 생육의 차이로 인해 곰솔과 소나무치수들의 고사에 기인된 것으로 사료된다. 또한 하층에 해변싸리, 짚레, 싸리와 같은 관목성 수종들의 중요치가 높은 것은 빈번하게 발생하는 산화적지의 면적이 많기 때문으로 생각된다.

외곽지역은 전 수관층에 걸쳐 비교적 다양한 수종들로 구성되어 있었으며 특히 곰솔과 소나무의 임분에 졸참나무, 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무와 같은 참나무류가 임지를 잡고 군락화되는 경향을 나타냈으며 특히 다른 지역에서 나타나지 않은 신갈나무의 중요치가 높게 나타났다.

또한 상층의 곰솔임분의 성장상태는 양호한 편이나 소나무는 수고 및 직경성장 모두 극히 불량하여 상층으로 자리를 잡은 참나무류 주변에는 고사목들이 많이 발생되고 있으며 인위적인 간섭이 없을 경우에는 빠른 시간에 참나무임분으로 대체될 것으로 사료된다.

상기의 결과를 종합해 볼 때 울산광역시 전역에 걸쳐 아직까지는 곰솔과 소나무임분이 주를 이루고 있으나 소나무는 곰솔과 혼생으로 생육하고 있다. 특히 공단지역과 공단주변지역에 곰솔임분이 많이 존재하는 것은 곰솔이 공해에 대한 저항력이 강하다고는 볼 수 없으며 오염원이 들어서기 전에 형성된 임분이 아직까지는 외해될 정도의 시간과 오염원의 강도가 크지 않기 때문이며, 비교적 오염에 민감한 참나무류의 유입이 지체되고 있기 때문으로 사료된다. 그러나 졸참나무나 갈참나무와 같이 공단주변에 서식지를 확보하고 있는 수종들이 내성종대로 인해 침입하는 것은 시간적인 문제일 것이다.

Table 7. Importance value of plants by the area and layer.

종	지역	공단내				공단주변				외곽			
		U	M	L	H	U	M	L	H	U	M	L	H
		<i>Pinus thunbergii</i>	곰솔	75.2	42.7	14.2	2.26	59.1	18.5	1.82	0.48	34.5	13.0
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	1.1	8.22	43.9	3.91	3.46	22.2	34.3	13.1	1.56	6.67	18.3	8.08
<i>Robinia Pseudoacacia</i>	아까시나무	2.82	2.5	0.07		1.24	9.2	4.54		1.9	7.02	0.61	
<i>Pinus densiflora</i>	소나무	11.3	6.76			26.9	8.31			32.5	9.68	0.02	
<i>Quercus acutissima</i>	상수리나무		0.07	0.07		3.11	3.7	2.53	0.07	8.76	8.27	2.39	2.00
<i>Alnus Firma</i>	사방오리나무	9.58	10.9	1.5		5.05	6.62	0.81		3.4	4.65	3.9	
<i>Castanea crenata</i>	밤나무	0.33			1.85	4.09		3.72		6.42		2.83	
<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무				1.79				0.03	0.53	2.19	1.74	
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무		2.74	1.87	2.08	0.43	6.06	6.56	0.21	4.72	4.93	22.1	2.73
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무						0.04	0.66		4.65	7.04	1.53	0.41
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무									2.55	1.85	0.02	0.02
<i>Platycarya strobilacea</i>	굴피나무						1.35			1.52	1.79	0.04	0.02
<i>Albizia julibrissin</i>	자귀나무						0.77	0.03				0.02	
<i>Alnus hirsuta</i>	풀오리나무		0.03				0.01				0.04		
<i>Pinus rigida</i>	리기다소나무					0.43				3.37			
<i>Diospyros lotus</i>	고욤나무		2.50	1.79					0		0.01	0.61	
<i>Morus bombycis</i>	산뽕나무							0.07				0.01	0.02
<i>Prunus sargentii</i>	산벚나무						3.23	0.08	0				0
<i>Prunus leveilleana</i>	개벚나무								0.08				0.08
<i>Ulmus davidiana</i>	느릅나무								0				
<i>Populus tomentiglandulosa</i>	현사시나무							0.01					
<i>Celtis chosoniana</i>	김팽나무											0.02	
<i>Celtis aurantiaca</i>	산팽나무								0				
<i>Corulus sieboldiana</i>	참개암나무											0.01	
<i>Broussonetia kazinoki</i>	닥나무							0.02					
<i>Carpinus tschonoskii</i>	개서어나무						0.01	0.01			2.09	0.47	0
<i>Rhus sylvestris</i>	산길양울나무	8.59	0.03				0.81	4.39				1.42	
<i>Styrax japonica</i>	떡죽나무	2.53	0.15	0			7.67	2.15	2.84		3.14	1.64	
<i>Rhus trichocarpa</i>	개울나무		0.02	0.01			2.69	1.98	0.61		7.50	5.92	0.02
<i>Aralia elata</i>	두릅나무			0.07				0.65	0			0.01	
<i>Sturax obassia</i>	죽동백										1.19	0.03	1.14
<i>Lindera glauca</i>	백동백										0.02	0.83	
<i>Corylus sieboldiana</i> var. <i>mand. shurica</i>	물개암나무										0.02		
<i>Pyrus pyrifolia</i>	돌배나무										0.01	0.01	
<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목											0.04	0.02
<i>Corylus heterophylla</i>	난티잎개암							0					
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	개암나무				0.02								0.85
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	초피나무							0					
<i>Smilax china</i>	참미래덩굴	12.4	15.4	6.04			0.12	0.35	3.33		2.2	2.37	
<i>Lespedeza X maritima</i>	해변싸리			0.17				2.3				0.1	
<i>Rosa multiflora</i>	젤레			0.11	0.04			7.9	0.51			1.04	0.03
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukha-nense</i>	산철쭉		9.9	2.33				2.91	0.68			1.57	0.02
<i>Symplocos paniculata</i>	검노린재나무			7.09	2.11			3.22	0			0.31	
<i>Lespedeza bicolor</i>	싸리나무							3.47				4.68	
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무			0				0.57				0.13	0.09
<i>Smilax sieboldii</i>	참가시덩굴							0				0	0.08
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래							5.36	1.62			17.7	5.23
<i>Rubus crataegifolius</i>	산딸기							0.09	0.01				0.03
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	취종나무							1.54	0			0.04	

Table 7. Continued

종	지역	공단내				공단주변				외곽				
		U	M	L	H	U	M	L	H	U	M	L	H	
목 본 성	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>heterophylla</i>	개머루					0						0.01	
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	철쭉											1.35	0.02
	<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴							0.51				0.01	
	<i>Ligustrum japonicum</i>	광나무			2.05								0.05	
	<i>Vitis flexuosa</i>	머루										0	0.02	
	<i>Zanthoxylum planispinum</i>	개산초나무					0.02	0						
	<i>Vitis thunbergii</i> var. <i>sinuata</i>	까마귀머루						0						
	<i>Viburnum erosum</i>	덜꿩나무		0.05			0						0.04	
	<i>Rhus chinensis</i>	붉나무			0.01									0.02
	<i>Rubus idaeus</i> var. <i>Microphyllus</i>	멍석딸기							0.19					0.02
	<i>Rubus oldhamii</i>	줄딸기												0.02
	<i>Rubus coreanus</i>	북분자딸기							0.45					
	<i>Indigofera kirilowii</i>	당비사리							0.07					
	<i>Ribes mandshuricum</i>	까치밥나무							0					
	<i>Euonymus oxyphyllus</i>	회잎나무												0.05
	<i>Amorpha fruticosa</i>	죽계비싸리					0.01							
	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	조록싸리												0.05
	<i>Rubus Hirsutus</i>	장딸기							4.1					
	<i>Paeonia lactiflora</i>	작약							0.02					
	<i>Callicarpa Japonica</i>	작살나무												0.01
	<i>Lindera obtusiloba</i>	생강나무												0.05
	<i>Eurya Japonica</i>	사스레피		0.02										
	<i>Weigela subsessilis</i>	벙꽃나무												0.05
	<i>Lespedeza × maritima</i>	덜조록싸리							0.25					2.95
	<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>	딱총나무							1.85					
	<i>Pseudosasa japonica</i>	이대		0.02										
	<i>Rubus palmatus</i>	단풍딸기						0.01						
	<i>Clerodendron trichotomum</i>	누리장나무							1.45					
	<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	노린재나무							0.05					
	<i>Stephanandra incisa</i>	국수나무												2.02
	<i>Rosa maximowicziana</i>	용가시							0					0.01
	<i>Akebia quinata</i>	으뜸덩굴												0
초 본 성	<i>Oplismenus undulatifolius</i>	주름조개풀			34.4					20				20.7
	<i>Lonicera japonica</i>	인동			0.02					0.02				0.01
	<i>Miscanthus sinensis</i>	억새			19.5					8.9				11.1
	<i>Melica onoei</i>	살새			0.01					0.54				2.33
	<i>Arundinella hirta</i>	새			2.83					2.65				4.15
	<i>Carex humilis</i>	산기울			0.03					3.25				7.25
	<i>Athyrium yokoscense</i>	벨고사리			3.27					0.87				0.04
	<i>Metaplexis japonica</i>	박주가리			3.03					3.82				0.85
	<i>Phytolacca americana</i>	미국자리공			9.74					7.25				0.05
	<i>Persicaria perfoliata</i>	머느리백푼			0.04					0.75				0.01
	<i>Cocculus trilobus</i>	맹맹이덩굴			0.11					0.53				0.04
	<i>Parthenocissus Tricuspidata</i>	담쟁이덩굴			2.05					1.55				0.05
	<i>Commelina communis</i>	닭의장풀			1.82					0.62				0.1
	<i>Spodiopogon cotulifer</i>	기름새			0.01					1.35				5.7



Table 7. Continued

종	지역	공단내				공단주변				외곽			
		U	M	L	H	U	M	L	H	U	M	L	H
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	고사리				2.1				0.54				4.17
<i>Aster tataricus</i>	개미취				0				0.01				0.09
<i>Erigeron annuus</i>	개망초								0.28				0.02
<i>Carex ciliato-marginata</i>	털대사초				0.01								4.18
<i>Lysimachia clethroides</i>	큰까치수영								0.82				0.01
<i>Pueraria thunbergiana</i>	취								0.07				0.02
<i>Achyranthes japonica</i>	쇠무릅								0.62				0.01
<i>Potentilla freyniana</i>	세일양지꽃								0.01				0.03
<i>Eupatorium rugosum</i>	서양등줄나물				0.01				0.02				
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i>	세콩								0.01				0.02
<i>Isodon inflexus</i>	산박하				0.01								0.07
<i>Artemisia keiskeana</i>	맑은데속								0.01				3.33
<i>Dioscorea batatas</i>	마								1.36				0
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simpli-afolium</i>	등줄나물								2.21				0.01
<i>Pyrola japonica</i>	노루발								0.51				0.18
<i>Artemisia stolonifera</i>	넓은잎외일속								0				0.02
<i>Lysimachia barystachys</i>	까치수영								0.06				0
<i>Festuca ovina</i>	김의털								0.48				8.37
<i>Paederia scandens</i>	계요등								1.57				0.15
<i>Persicaria blumei</i>	개여뀌								2.25				0.02
<i>Aster scaber</i>	참취								0.97				0.17
<i>Humulus japonicus</i>	환상덩굴								0.01				
<i>Chloranthus japonicus</i>	홀아비꽃대												0
<i>Tiarella polyphylla</i>	헛떡이풀												0.01
<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i>	파리풀								0				
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i>	층층이꽃								0				
<i>Atractylodes japonica</i>	삼주												0.15
<i>Dioscorea japonica</i>	참마								0.01				
<i>Agrimonia pilosa</i>	짚신나물								0				
<i>Plantago asiatica</i>	질경이								0				
<i>Carex okamotoi</i>	지리대사초												0.04
<i>Hosta japonica</i> var. <i>lanceifolia</i>	주걱비비추												0.01
<i>Boehmeria spicata</i>	좁개잎나무								0				
<i>Dryopteris bissetiana</i>	족제비고사리				0.02								
<i>Arthraxon hispidus</i>	조개풀								0.01				
<i>Cephalanthera ongibracteata</i>	은대난초								0.01				
<i>Carex lanceolata</i>	그늘사초								0.48				8.37
<i>Syneilesis palmata</i>	우산나물												0.05
<i>Sanguisorba officinalis</i>	오이풀												0.01
<i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonicum</i>	여로												0.04
<i>Disporum smilacinum</i>	애기나리												0.1
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	쑥								0.34				
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	수크령								0				
<i>Leibnitzia anandria</i>	솔나물												0.01

Table 7. Continued

종	지역	공단내				공단주변				외곽			
		U	M	L	H	U	M	L	H	U	M	L	H
초 본 성	<i>Erechtites hieracifolia</i>								0.4E				
	<i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i>								0.74				
	<i>Rumex crispus</i>								0				
	<i>Cymbidium goeringii</i>												0.07
	<i>Geum japonicum</i>								0.2E				
	<i>Smilax riparia</i> var. <i>ussuriensis</i>								0.2E				
	<i>Solidago virgaurea</i> var. <i>asiatica</i>								0.0E				
	<i>Bidens frondosa</i>								0				
	<i>Impatiens textori</i>								0				
	<i>Persicaria senticosa</i>												0.0E
	<i>Calystegia japonica</i>												0.0E
	<i>Liriope platyphylla</i>								0				
	<i>Patrinia villosa</i>												0.1
	<i>Mosla punctulata</i>								0.01				
	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>												0.0E
	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>									0.7E			
	<i>Sedum sarmentosum</i>								0.01				
	<i>Carex siderosticta</i>												2.04
	<i>Ainsliaea acerifolia</i>												0.04
	<i>Dioscorea quinqueloba</i>								0				0
	<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>												0
	<i>Galium trachyspermum</i>												0
	<i>Leersia japonica</i>									0.2			0.0E
	<i>Melampyrum roseum</i>												0.0E
	<i>Asplenium incisum</i>									0.01			
	<i>Sedum kamschaticum</i>								0				
	<i>Oxalis corniculata</i>												0.0E
	<i>Sophora flavescens</i>								0				
	<i>Osmunda japonica</i>												0.07
	<i>Persicaria thunbergii</i>								0.2E				
	<i>Viola rossii</i>												0.0E
	<i>Viola seoulensis</i>									0			0.0E
<i>Setaria viridis</i>									1.37				
<i>Lactuca raddeana</i>												1.1E	
<i>Artemisia montana</i>												0.0E	
<i>Clematis apiifolia</i>									2.01				
<i>Asparagus schoberioides</i>												0.01	
<i>Lespedeza cuneata</i>									0.01				
<i>Hosta longipes</i>												0.1E	

#### 라. 지역별 식물 종다양성 및 유사성 분석

Table 8은 조사지역별 종수, 종다양도, 최대종다양도, 균제도, 우점도를 나타낸 것이다.

층위별 종수를 보면 상층, 중층, 하층에 걸쳐 오염원으로부터 멀어질수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 위에서 제시한 곰솔임분의 밀도와 오염원에 대한 유입가능수종들의 민감도 때문으로 생각된다. 다른 층위의 종감소율보다 초본층에서는 공단지역이 공단주변과 외곽지역보다 크게 격감한 이유는 공단지역의 주름조개풀과 역새, 미국자리공과 양지성 종의 만연으로 인해 다른 종의 유입이 억제되었기 때문으로 사료된다.

종다양도는 상층과 중층에서는 외곽지역으로 갈수록 높게 나타나나 하층과 초본층에서 주변지역이 외곽지역보다 각각 2.61, 2.55와 3.05, 2.80으로 높게 나타나고 있어 이는 외곽지역의 중,상층밀도 증가에 의한 광환경의 열세에 기인한 것으로 보인다.

균제도는 상대적인 종다양도 즉, 1에 가까운 값을 가질수록 종별 개체수가 균일한 상태이다. 상층과 중층의 균제도를 보면 외곽지역이 다른 지역보다 높게 나타난 바 참나무류와 같은 이입종들이 곰솔과 고른 개체수로 분포하고 있다고 볼 수 있다. 우점도는 1에서 균제도를 뺀 값으로 균제도와 역의 관계이다.

Table 8. Comparison of various diversity indices by crown layer in survey areas.

층위	상층			중층			하층			초본		
지역	공단 지역	공단 주변	외곽 지역	공단 지역	공단 주변	외곽 지역	공단 지역	공단 주변	외곽 지역	공단 지역	공단 주변	외곽 지역
S	5	9	12	12	18	21	23	43	52	33	95	91
J'	0.519	0.528	0.719	0.743	0.792	0.854	0.559	0.694	0.646	0.631	0.670	0.621
H'	0.836	1.160	1.787	1.840	2.28	2.60	1.75	2.61	2.55	2.20	3.05	2.80
H' <sub>max</sub>	1.61	2.20	2.48	2.48	2.59	3.04	3.14	3.76	3.95	3.50	4.55	4.51
1-J'	0.48	0.47	0.28	0.26	0.12	0.14	0.44	0.31	0.35	0.37	0.33	0.38

S = Richness, number of species

J' = Evenness,  $H/\ln(\text{Richness})$

H' = Diversity,  $-\sum(\text{Pi} \cdot \ln(\text{Pi}))$

H'<sub>max</sub> =  $\ln S$ , Maximum H'

1-J' = Dominance

유사도지수(Table 9)는 지역간 종구성상태를 알 수 있는 지표로서 상층에서는 외곽과 주변지역이 76.2%로 가장 높고 공단내지역과 외곽지역이 58%로 낮게 나타난 바 외곽지역과 주변지역이 종구성상태가 가장 유사하며 외곽지역과 공단지역이 가장 상이하게 나타났다. 중층과 하층에서도 상층과 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 유사도지수 값의 차이가 크지 않은 것으로 보아 종구성상태가 유사하다고 판단하기 힘들다.

Table 9. Similarity index among survey area by crown layer.

상층				중층			
	공단	주변	외곽		공단	주변	외곽
공단				공단			
주변	74.1			주변	73.3		
외곽	58.8	76.2		외곽	60.6	71.8	

하층				초본			
	공단	주변	외곽		공단	주변	외곽
공단				공단			
주변	57.6			주변	42.2		
외곽	56.0	63.2		외곽	45.2	49.5	

결론적으로 오염원과 가까운 공단지역내에 상층을 점유하며 중, 하층에서도 빈도가 높은 곰솔과 상층의 와해시 상층으로 자리잡을 수 있는 천연갱신이 가능한 잠재수종은 졸참나무, 팽나무와 같은 교목성 수종과 검노린재와 같은 관목성 수종이 우점될 것으로 판단된다.

바. 주요 상층구성종의 생육상황

지역별 상층목의 우점종인 곰솔 2년엽을 대상으로 엽록소함량과 유허함량을 조사한 결과 엽록소함량은 외곽지역, 공단주변지역, 공단지역의 순으로 높게 나타났으며, 엽내 유허함량은 외곽지역과 공단주변지역의 유사한 수치를 나타냈지만 공단지역에서는 두 지역보다 높은 함량을 나타냈다(Fig. 4).

일반적으로 환경오염원에 의한 수목의 광합성저해 원인중의 하

나로 엽록소의 파괴를 통한 광합성작용의 억제를 들 수 있으며, 실험은실의 묘목에 있어서 밝은 녹색의 비정상적인 잎들은 암녹색의 건강한 잎보다 엽록소의 함량이 낮을 뿐만 아니라 광합성능력도 떨어지게 된다(Keller and Wehmann, 1963). 그러므로 본 조사결과 공단지역내 상층목의 생육자체는 상당히 불안정하다고 볼 수 있다.

토양과 대기중의 유황함량과 식물체 엽내의 유황함량은 비례의 관계에 있으며 묘목을 대상으로 아황산가스의 농도별 폭로실험을 통해 볼 때 종마다 차이는 있지만 폭로농도와 시간에서 비례해 피해정도가 심하게 나타났다(Lamoreaux and Chaney, 1978). 이로 볼 때 공단지역의 높은 유황함량은 식물에 있어 만성적 피해를 주고 있다고 사료된다.

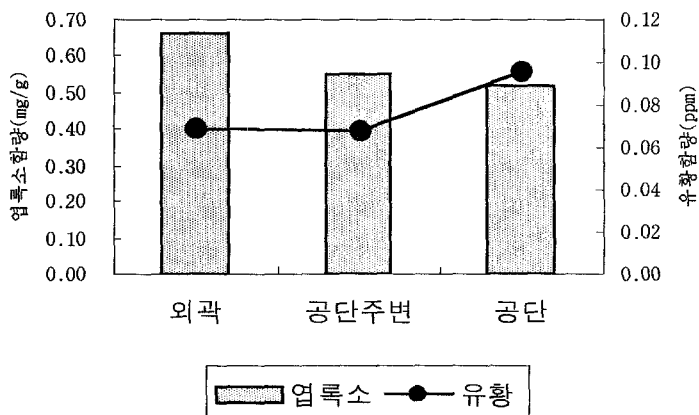


Fig. 4. Chlorophyll and sulfur content in 2-year-old needle of *Pinus thunbergii*.

또한 오염원으로 인해 주요 상층수종의 생육상황을 파악하기 위해 오염원의 거리별로 분할한 3개지역(공단, 주변, 외곽)에서 상층

을 이루는 주요 수종인 곰솔을 대상으로 연륜표본을 채취하였다. 또한 표본대상목들은 오염에 의한 생육쇠퇴현상에 초점을 맞추기 위해 주위의 경쟁에서 배제되어 자신의 영역을 확보했다고 판단되는 임목을 선정하였다. 연륜표본에서 추출된 자료로 총생장량과 연평균생장량을 분석하였다.

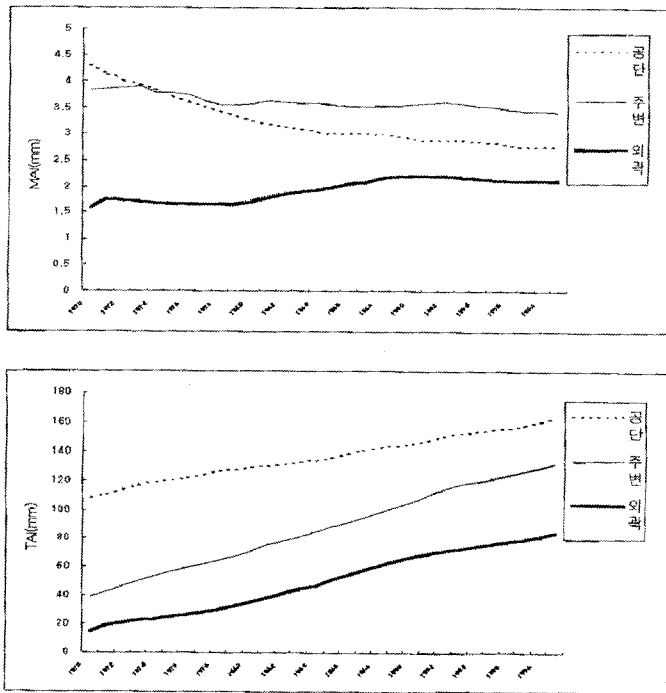


Fig. 5. Comparison of total annual growth(TAI) and mean annual growth(MAI) of *Pinus thunbergii*.

Fig 5는 지역별 상층을 이루는 곰솔의 최근 30년간(1970~1999) 직경의 총생장량과 연평균생장량을 나타낸 것으로 3지역 모두 최근 30년간 뚜렷한 생장의 감소와 증가는 나타나지 않고 지속적인 부피 성장을 하고 있다.



Photo 1. Forest in the inner industrial complex.



Photo 2. Forest in the around industrial complex.



Photo 3. Forest in the outer industrial complex.





Photo 4. Damage symptom of *Pinus thunbergii*(Injury of fluorine).



Photo 5. Injury of leaves of *Smilax china* by air pollution.



Photo 6. Slowdown of annual ring growth in *Pinus thunbergii* by air pollution.

특히 공단지역에 예측되는 오염원으로 인한 직경생장의 뚜렷한 감소현상은 나타나지 않았다. 그러나 총생장기율기에서 보면 공단지역은 1.9, 주변지역은 3.2, 외곽지역은 2.4로 나타나 공단주변 및 외곽지역에서 생장이 공단지역 보다 좋은 것으로 나타났으며, 공단지역에서 선정된 곰솔표본목의 하층을 이루는 전생치수에서는 엽면색과 같은 급작스런 피해(Photo 4, 5)가 나타났음에도 불구하고 아직까지는 공단지역에서 곰솔의 급격한 쇠퇴는 나타나지 않으나 만성적인 피해로 인해 생장율이 감소하는 경향을 나타낸다(Photo 6).

또한 그러한 쇠퇴증상의 지체가 나타나는 것은 곰솔의 내공해성이 크다고 판단하기 보다는 단목상으로 존재하는 경우가 많아 주위와의 근계경쟁 감소로 인해 나타날 수도 있을 것으로 사료된다. 그러나 외곽지역이 주변지역의 생장에 비해 낮게 나타나는 이유는 곰솔임분의 분포입지와 경쟁으로 인한 것으로 판단된다. 즉 외곽지역에 있어서의 주된 곰솔임분은 산복상부에 소나무와 혼생으로 나타나며, 그 이외의 지역에서는 상기 서술된 Fig. 3과 같이 참나무류와의 생존경쟁이 심하기 때문으로 사료된다.

상기의 결과를 종합해 볼 때 울산광역시 전역에 걸쳐 상층으로 존재하는 곰솔임분의 생육은 대기오염의 피해보다는 천이상 종간경쟁과 입지에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 그러나 상술된 바와 같이 오염원으로 부터의 지속적인 노출은 갑작스러운 쇠퇴를 초래할 수도 있을 것이다.

### 3. 임분유형별 임분전환 시업방법

조사지역내 지형적 특성, 임분의 변화과정, 입지별 임분유형, 임분유형에 따른 적정 육림시업의 체계화를 위하여 조사지역 전체를 포함하는 지형도(1/50,000)에서 실거리 사방 500m내의 기복량, 사면

방위, 경사도 등 입지정보를 자료화 하고 현지조사를 통하여 임분의 동태조사를 위하여 26개소를 임의 추출하여 현지조사를 실시하였다.

#### 가. 조사대상지 구획

조사지역 내에서의 토지이용 실태 및 지형발달 상태를 고려하면 크게 5개 구역으로 나뉘어지며 각 구역별 위치관계는 다음과 같다 (Fig. 6).

##### 1) 제 1구역

명촌기계공업단지 북쪽에 위치하고 있으며, 남북방향으로 주능선이 발달된 무룡산(해발 452.3m)을 중심으로 서쪽으로는 서안천이 동쪽으로는 동해바다에 인접한 지역.

##### 2) 제 2구역

울산시 서쪽의 사연호와 대암호에서 부터 흘러들어 시내를 관통하는 태화강의 북쪽에 위치하고 있으며, 무학산(해발 349.9m), 함월산(200m), 입화산(137m)등 낮은 구릉상 지형이 발달된 지역.

##### 3) 제 3구역

울산석유화학단지의 서쪽에 위치하고 있으며, 남북방향으로 주능선이 발달된 문수산(해발599.8m), 남암산(해발 542.9m)을 중심으로 남쪽으로는 회야호까지의 지역.

##### 4) 제 4구역

온산화학단지의 서쪽에 위치하고 있으며, 남북으로 주능선이 발달된 대운산(해발 742.1m)을 중심으로 부산광역시와 연결한 지역.

##### 5) 제 5구역

울산시내 및 명촌기계공업단지, 장생포화학단지, 울산석유화학단지, 용연화학단지, 온산화학단지가 구성되어 있으며, 주로 낮은

구릉상 지형이 발달된 지역.

나. 입지환경 조사

축척 1:50,000인 지형도상에 조사구내에서 1cm간격의 격자를 설정한 후 각 격자내에 다시 직경 1cm 크기의 원형조사 plot를 만든 후 해발고의 최고 및 최저값, 등고선수와 경사장, 사면방향을 8방위로 구분하여 자료화 하였으며, 본 조사결과에 의하여 기복량도(起伏量圖), 사면방위도(斜面方位圖), 사면경사도(斜面傾斜圖)등을 작성하였다.

1) 토지이용현황

조사 대상지의 토지이용 실태를 공단지역, 주거지역 및 산림지역으로 구분하여 각 구역별 분포상황을 다음과 같다.

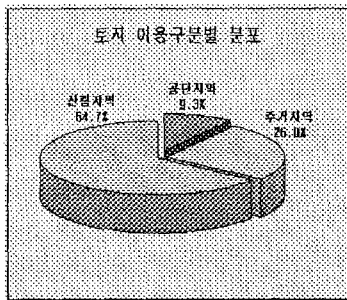


Fig. 7. Distribution of land use.

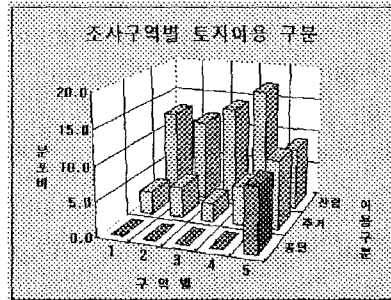


Fig 8. Distribution of land use by zone.

조사 대상지의 토지 이용현황은 Fig. 7과 8에서와 같이 주거 및 공단지역은 조사대상지 중 35.3%를 차지하고 있으나 대부분 지역은 산림지역인 것으로 나타났다.

특히 산림지역은 Fig. 6에서와 같이 주거 및 공단지역을 둘러싸

고 있는 형태로 분포되어 있으며, 공단이 밀집되어 있는 제5구역의 경우는 완충역할을 할 수 있는 산림지역의 분포비가 대단히 낮은 것으로 나타났다.

## 2) 입지조건별 현황

조사 대상지내 지형조건별 분포특성은 다음과 같다.

기복량 조사는 기복량 크기에 따라 중기복, 저지배 소기복으로 세분화하여 지형변화를 분석한 결과 Fig. 9 및 Fig. 11에서와 같이 조사대상지 대부분이 지역이 저지배 중기복 이하로 지형발달이 단순한 것으로 나타났다.

사면경사도 조사에서는 경사도에 따라 평탄지, 완경사지, 중경사지, 급경사지, 험준지등으로 세분화하여 조사한 결과 Fig. 10 및 12에서와 같이 대부분 지역이 완경사 이하로 평탄한 사면형을 나타내고 있다.

사면방위에서는 Fig. 13에서와 같이 동~남향사면이 주로 발달되어 있으며, 공단 및 주거지역의 배후사면 방향인 서~북향사면은 적게 분포하는 것으로 나타났다.

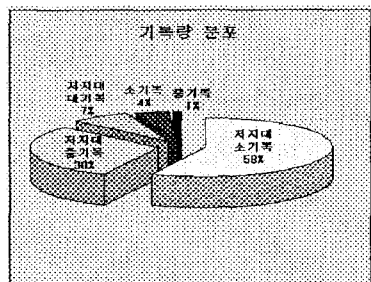


Fig. 10. Distribution of undulations.

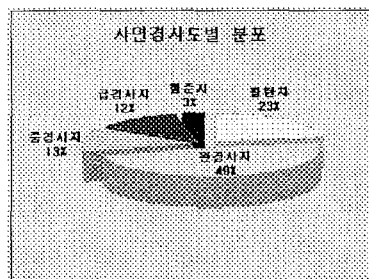


Fig. 11. Distribution of slope aspect.

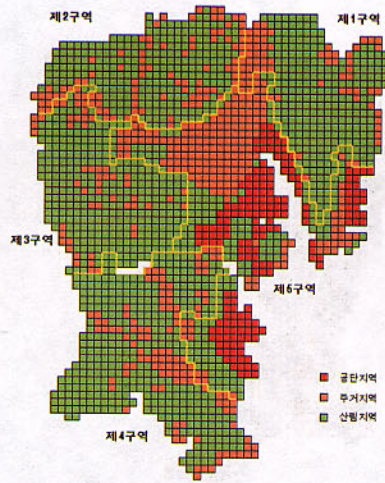


Fig 6. Division of survey area and land use division.

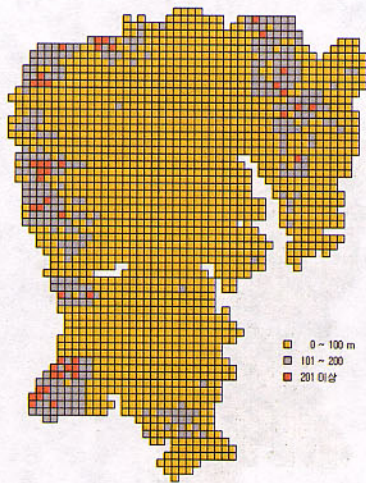


Fig 9. Distribution map of undulations.



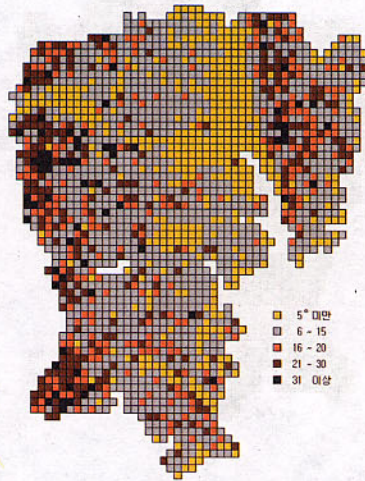


Fig. 12. Distribution map of slope degree.

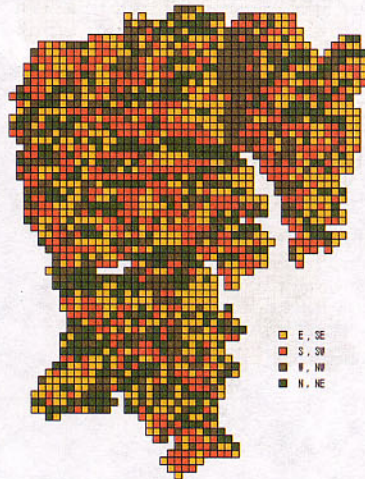


Fig. 13. Distribution map of slope aspect.

#### 다. 임분유형조사

조사지역내에서 출현하는 임분유형의 구분위하여 각 인자별 분류기준을 임종에서는 침엽수림, 활엽수림, 침활혼효림으로, 층위별에서는 일제림, 복층림으로, 수종혼효에서는 단순림, 혼효림으로, 성림기원에서는 인공림, 천연림등으로 구분하여 각 인자에 따른 임분유형을 구분하였다.

임종구분에 의한 임분유형에서는 침엽수림에서 소나무, 곰솔, 리기다소나무림등 3유형, 활엽수림에서는 상수리나무, 굴참나무, 현사시나무, 아까시나무, 굴피나무, 참나무, 사방오리나무 등 7유형, 침활혼효림에서는 소나무+참나무, 소나무+곰솔, 곰솔+참나무, 곰솔+사방오리나무, 곰솔+굴피나무, 곰솔+리기다소나무, 리기다소나무+참나무림 등 7유형이 출현하였다.

층위별 구분에 의한 임분유형에서는 일제림에서 소나무, 곰솔, 리기다소나무, 상수리나무, 굴참나무, 현사시나무, 굴피나무, 참나무, 사방오리나무, 아까시나무림등 단순일제림이 10유형, 참나무, 소나무+참나무, 소나무+곰솔, 곰솔+참나무, 곰솔+굴피나무, 곰솔+사방오리나무, 곰솔+리기다소나무, 리기다소나무+참나무림등 혼효일제림이 8유형이었으며, 복층림에서는 소나무-소나무, 소나무-참나무, 곰솔-곰솔, 곰솔-참나무, 곰솔-사방오리나무, 리기다소나무-참나무, 리기다소나무-곰솔림 등 7유형이 출현하였다.

성림기원에 의한 임분유형에서는 인공림에서 리기다소나무, 곰솔, 현사시나무, 아까시나무, 사방오리나무림등 5유형이 있으며, 천연림에서는 소나무, 곰솔, 상수리나무, 굴참나무, 굴피나무, 참나무림등 6유형이 출현하였다.

조사지역내 시업 대상임분을 임종별, 층위별, 혼효별 주요 구성



수종을 중심으로 유형화하면 다음과 같다(Table 10).

Table 10. Division by forest stand type.

임상별	층위별	혼효형	구 성 수 종
침엽	단층	단순	소나무, 곰솔, 리기다소나무
		혼효	소나무+곰솔, 소나무+리기다, 곰솔+리기다
	복층	단순	곰솔-곰솔, 곰솔-곰솔-곰솔, 소나무-곰솔
활엽	단층	단순	오리, 아까시, 상수리, 굴참나무
		혼효	참나무류, 아까시+오리, 아까시+참나무류
침·활	단층	혼효	소나무+참나무류, 곰솔+참나무류, 곰솔+활엽수혼효, 곰솔+오리, 곰솔+아까시나무
	복층	혼효	곰솔-졸참+아까시, 곰솔-참나무류, 곰솔-오리나무, 소나무-참나무류, 리기다-곰솔+아까시

라. 임분유형별 임분구조

조사지 임분의 대부분은 1회 이상의 산화피해를 받은 임지가 많았으며, 장기간에 걸쳐 시업이 이루어지지 않은 상태에서 방치되어 온 결과 임분구성이 복잡하고, 임분활력이 낮고 형질이 매우 불량한 특징을 나타내고 있다.

전 조사지역에서 공통적인 임분구조상 특징은 임내 상대조도가

낮아 미부식 낙엽층이 발달되면 하층식생 유입 또는 발달이 저해받아 임상이 불안정해지면서 표면침식이 발생 진전됨에 따라 지력이 약화되고 있으며, 특히, 임분의 활력이 쇠퇴되면서 초두부 고사, 수간부 잤아발생, 근부 2차맹아발생 등에 의한 수간 및 심재부후 현상이 진행되고 있어 임분형질을 더욱 열화시키고 있음을 지적할 수 있다.

#### 1) 침엽 단층 단순림

주요 출현수종으로는 소나무, 곰솔, 리기다소나무이며 임분생장 및 형질 특성은 Table 11과 같다.

임분의 구조적 특성은 임내 상대조도가 극히 낮아 낙엽 미부식층이 발달(10cm내외)되어 있으며, 수간부에는 고사지가 50%이상 부착되어 있다. 또한 임상의 하층식생 발달이 미약한 실정이다.

임목의 형질 및 활력이 낮으며, 수고급 분화가 미약하여 중·하층 발달이 미약한 구조를 나타내고 있다.

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항으로는 형질불량목을 위주로 소극적인 제벌을 우선 실시하고 잔존목에 대하여는 고사지를 정리하는 등 임내광환경을 개선시켜 임상에 하층식생의 유입을 촉진시키고, 낙엽층의 부식을 촉진시켜 지력을 증진시켜주는 것이 바람직하며, 임내공간에는 보완조림을 실시하고 천연치수가 발생되었거나 유도가능한 곳은 점진적으로 확대하여 유용치수에 의한 후계림 조성 등에 대한 적극적인 검토가 필요할 것이다.

Table 11. Growth and characteristics of forest stand(tree).

수종	생육 본수	생육 상황				임목형질(%)			상대 조도
		수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높 이	수관 울폐 도	상	중	하	
	본/ha	m	cm	m	%				%
소나무	2,500	6.4	9.7	4.9 / 3.5	123	4	20	76	5.2
	2,900	6.9	13.1	5.2 / 3.4	192	3	10	87	3.4
	4,500	6.4	8.7	4.2 / 2.7	171	13	27	60	7.8
해송	1,100	10.6	17.6	5.5 / 3.4	97	18	54	28	10.4
	2,300	7.1	13.5	5.0 / 2.7	80	17	9	74	15.6
	3,100	8.1	11.2	5.5 / 3.1	107	-	26	74	4.6

## 2) 침엽 단층 혼효

주요 출현수종으로는 소나무+곰솔, 곰솔+리기다소나무, 소나무+리기다소나무이며, 임분생장 및 형질 특성은 Table 12와 같다.

임분의 구조적 특성은 주림목을 중심으로 소군상으로 혼효되는 형태로 민가 주변의 야산에 주로 출현하고 있다. 임내 상대조도가 매우 낮아 임상의 낙엽 미부식층이 발달(10cm이상)되어 있으며, 임목의 형질 및 활력은 낮은 편이다.

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항으로는 소나무, 곰솔을 중심으로 임목형질이 “중” 이상인 임목과 하층 관목상 활엽수는 존치하고, 형질불량목과 피압목을 제거하는 소극적 간벌을 실시하여 임내 광환경을 개선하여 우선적으로 임지안정을 도모하면서 하층 관목상 활엽수종을 무육하여 풍치적 요소를 고려하는 것이 바람직하다.

Table 12. Growth and characteristics of forest stand(tree).

수종	생육 본수	생육상황				임목형질(%)			상대 조도
		수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 울폐도	상	중	하	
	본/ha	m	cm	m	%				%
소나무,	2,200	7.0	9.7	4.8 / 3.0	121	9	26	28	8.5
리기다,	600					-	6	12	
해송,	400					3	9	7	
오리 계	3,500								

3) 침엽 복층 단순림

주요 출현수종으로는 곶솔-곶솔-곶솔, 곶솔-곶솔, 소나무-곶솔이며 임분생장 및 형질 특성은 Table 13과 같다.

임분의 구조적 특성은 토심이 얇고 약간의 표면침식 발생하고 있으나 천연치수 발생은 양호한 편이다. 그러나 중층이하의 대부분의 임목이 세장하고 형질은 낮으며 수고급분화가 미약하여 숲속이 불결한 인상을 주고 있는 것이 특징이다.

Table 13. Growth and characteristics of forest stand(tree).

층위	수종	생육 본수	생육상황				임목형질 (%)			상대 조도
			수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 울폐도	상	중	하	
		본/ha	m	cm	m	%				%
상층	곶솔	2,400	6.3	10.3	3.9 / 2.0	128	-	50	30	12.1
중층	곶솔	2,000	4.5	5.0			10	5	5	
하층	곶솔	10,400	3.0	2.5						
	계	14,800								

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항은 우선 피압목, 세장목등을 일정량 제거하고 상층목 중 형질불량목을 서서히 제거하여 점진적인 방법에 의한 임분전환을 할 필요가 있다. 또한 임내 광환경개선으로 중·하층목의 성장을 촉진시키면서, 하층식생 유입을 도모하고 풍치적 요소를 감안하여 소군상 보완조립을 실시하면 더욱 효과적이다.

#### 4) 침엽 복층 혼효림

주요 출현수종으로는 곰솔-리기다소나무, 곰솔-상수리나무, 곰솔-편백, 리기다소나무-굴참나무, 아까시나무이며 임분생장 및 형질 특성은 Table 14와 같다.

Table 14. Growth and characteristics of forest stand(tree).

층위	수종	생육 본수	생육상황				임목형질 (%)			상대 조도
			수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 을폐도	상	중	하	
상층	리기다	본/ha 2,400	m 6.5	cm 8.0	m 2.9 / 1.8	% 123	20	30	-	% 3.8
중층	굴참	1,600					40	-	10	
	계	4,000								
상층	곰솔	1,300	8.7	14.2	5.6 / 3.9	64	25	50	25	11.7
하층	편백	3,300	1.4	2.0	-	-	-	-	-	
	계	4,600								
상층	곰솔	1,200	7.9	12.7	4.1 / 2.7	85	27	27	27	7.6
중층	리기다	300					6	6	7	
	계	1,500								

임분의 구조적 특성은 임내 상대조도가 매우 낮아 하층목의 수 고생장이 둔화되기 시작하고 있으나 대체적으로 임분활력 및 형질은 양호하여 적극적인 무육에 의한 산림시업이 가능할 것으로 판단된다.

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항은 상층목은 형질불량목 중심으로 간벌을 실시하고 잔존목은 고사지를 정리하여 상층목 및 하층목의 생장을 촉진시키고 벌채된 공간에는 소군상으로 활엽수를 식재하여 임내광환경을 개선하여 하층식생 유입으로 임지안정을 도모한다. 또한 간벌적지에 소군상으로 활엽수를 식재하여 하층에는 침활혼효림 유도하는 것도 바람직하다.

#### 5) 활엽 단층 단순림

주요 출현수종으로는 오리나무, 아까시나무, 상수리나무, 굴참나무이며 임분생장 및 형질특성은 Table 15와 같다.

임분의 구조적 특성은 전생수인 곰솔이 선목으로 산재한 가운데 성립된 임분에 오리나무, 아까시나무가 단순림형을 나타내고 있다. 임분구성목의 대부분은 활력이 낮아, 초두부가 고사되면서 수간부 및 근부에서 잣아에 의한 후생지와 맹아가 발생되고 있다. 또한 수간부에 부후가 50%이상 진행되고 있어 조속한 수종갱신이 요망된다.

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항은 곰솔과 같은 선목은 보호수로서 존치시키면서 활엽수 형질불량림 임분 전환시업법 적용으로 점진적으로 안정적인 임분교체를 시도하는 것이 바람직하다. 또한 형질불량목 제거는 대상 또는 소군상으로 실시하면서 그 적지에 대묘에 의한 보완조립과 참나무류 실생치수 보호 무육을 하는 것이 시업상 유리할 것으로 판단된다.

Table 15. Growth and characteristics of forest stand(tree).

수종	생육 본수	생육상황				임목형질(%)			상대 조도
		수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 울폐도	상	중	하	
	본/ha	m	cm	m	%				%
오리	1,300	7.7	12.0	4.3 / 2.7	92	15	8	77	12.1
아까시	1,100	9.5	12.0	5.9 / 4.1	85.8	9	27	64	12.1
아까시	2,500	6.7	7.8	3.9 / 2.4	123	15	30	55	22.3

6) 활엽 단층 혼효

주요 출현수종으로는 참나무혼효림, 아까시나무+오리나무이며  
임분생장 및 형질 특성은 Table 16과 같다.

Table 16. Growth and characteristics of forest stand(tree).

수종	생육 본수	생육상황				임목형질 (%)			상대 조도	본당 맹아 본수
		수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 울폐도	상	중	하		
	본/ha	m	cm	m	%				%	
갈참,	1,200	5.9	7.5	3.6 / 2.3	185	17	39	44	30.0	1.7
신갈,	700									
졸참,	700									
상수리,	200									
굴참	200									
계	3,000									

Table 16. Continued

수종	생육 본수	생육상황				임목형질 (%)			상대 조도	본당 맹아 본수
		수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 유효도	상	중	하		
	본/ha	m	cm	m	%				%	본
상수리,	1,300	5.6	10.5	3.6 / 1.6	137	-	6	94	25.0	1.5
갈참,	600									
졸참,	500									
계	2,400									

임분의 구조적 특성은 참나무림의 경우 벌채후 방치된 불량 맹아림이 대부분으로 특히 신갈나무림은 활력이 낮은 것이 특징이다. 초두부 고사, 수간부 후생지 발생, 심재부후등으로 임목형질의 열화가 진행되고 있다. 또한 임목형질도 매우 불량하여 수종갱신이 필요하다.

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항은 형질이 “중”이상인 임분은 맹아의 본수조절과 참나무류 수하식재로 임분활력을 증진시키면서 하층치수를 무육 관리하고, 형질불량림은 맹아갱신과 임내공지에 보완조림을 병행하여 임분을 전환시키는 것이 바람직하다.

#### 7) 침활 단층 혼효림

주요 출현수종으로는 소나무+참나무류, 곰솔+참나무류, 곰솔+활엽수혼효림, 곰솔+오리나무, 곰솔+아까시나무이며 임분생장 및 형질 특성은 Table 17과 같다.



Table 17. Growth and characteristics of forest stand(tree).

수종	생육 본수	생육상황				임목형질(%)			상대 조도
		수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 울폐도	상	중	하	
	본/ha	m	cm	m	%				%
소나무, 굴참 계	1,000 500 1,500	8.3	15.6	5.1 / 2.0	92	20 20	15 15	30 -	35.0
해송, 오리, 계	1,800 900 2,700	6.4	13.1	4.1 / 2.3	137	- -	11 7	56 26	15.0
오리, 갈참, 해송 계	900 600 300 1,800	6.8	13.2	4.2 / 2.2	173	- - -	- 6 12	50 28 4	15.3

임분의 구조적 특성은 오리나무, 아까시나무는 단목상, 참나무류는 소군상 형태로 혼효하고 있다. 임분밀도가 높은 참나무림은 임목형질이 양호한 편이나, 오리나무, 아까시나무는 대부분이 수관활력이 낮아 초두부 고사, 수간부 후생지 발생, 근부맹아 발생 및 수간부 부후가 진행되고 있다.

이와 같은 임분유형의 시업적 고려사항은 오리나무림, 아까시나무림의 경우는 활력 및 형질이 낮은 임목을 우선 제거하고, 형질이 중 이상인 침엽수종은 보호수로서 갱신이 완료될 때까지 존치시키면서, 고사지 정리로 임내광환경 개선하면서 활엽수 소군상 수하식재

로 침활혼효상의 후계림으로 유도하는 것이 바람직하다.

8) 침활 복층 혼효림

주요 출현수종으로는 곰솔-졸참나무+아까시나무, 곰솔-참나무림, 곰솔+오리나무, 소나무-참나무림, 리기다소나무-곰솔+아까시나무이며 임분생장 및 형질 특성은 Table 18과 같다.

임분의 구조적 특성은 침엽수종의 상층림이 파괴되면서 잡재 또는 인공식재한 활엽수종에 의하여 만들어지는 갱신상의 층림구조를 갖고 있다. 임분구조가 복잡하고 층위가 불분명하며, 낮은 상대조도로 임상식생이 미약하다.

Table 18. Growth and characteristics of forest stand(tree).

층위	수종	생육 본수	생육상황				임목형질 (%)			상대 조도
			수고	흉고 직경	지하고 / 고사지높이	수관 올폐도	상	중	하	
상층	해송	1,000	m 9.7	cm 10.5	m 5.2 / 3.8	% 91	20	50	30	% 7.6
하층	졸참	900	5.5	4.5				-		
	아까시	300	5.3	3.8				-		
	계	2,200								

이와 같은 임분유형에 대한 시업적 고려사항은 임상의 안정을 고려하여 급격한 임분 소거는 회피하도록 상층목의 고사지를 정리하고 천연림 보육작업 기준에 의한 형질무육 관리가 바람직하다. 임목의 형질이 중 이상인 침엽수종은 보호수로서 갱신이 완료될 때까지 존치시키고, 하층에는 활엽수종을 소군상으로 수하식재하여 침활

혼효상의 후계림으로 유도하는 것이 바람직하다.

마. 임분유형별 성장특성

조사지내에서 출현하고 있는 다양한 임분유형 가운데 분포범위가 넓은 산화적지 활엽수림, 불량소나무림, 곰솔림, 침활혼효림에서 대표적인 임분유형을 Table 19와 같이 선정하여 임분유형별 성장특성을 분석하였다.

Table 19. Species composition by forest type.

임분유형	수종구성				비고
	상층		중층	하층	
	주수종	부수종			
활엽수 단순림	갈참나무	상수리나 무, 굴참, 졸참, 소나 무	백동백, 때죽, 갈참, 국수 등	기름새, 쌀새, 주 름조개풀, 산씀바 귀, 청미래덩굴, 산초나무 등	'97 산화 지
침엽수 단순림	소나무	-	소나무	졸참나무, 진달개 , 기름새 등	
침활 2단림	곰솔	굴참, 신갈 , 리기다소 나무	때죽, 굴참, 곰솔, 신갈, 웃나무 등	진달래, 철쭉, 졸 참, 때죽, 맑은대 쭉, 기름새, 털대 사초, 쥐똥나무등	
침활 혼효림	곰솔	상수리나 무, 사방오 리나무	곰솔, 상수리, 사방오리나무	사방오리, 떡갈, 싸리, 진달래, 청 미래덩굴, 덜꿩, 억새, 주름조개풀 등	산화 인접 지

1) 활엽수 단순림

조사지는 해발고 150m로 산북부의 남동사면에 위치하고 있으며, 참나무류로 구성된 단순림 형태의 2차 맹아림이 산불에 의하여 일부 피해가 발생되었으나 자연력에 의하여 회복되어가고 있는 산화재생림으로 시급히 시업적 조치가 필요한 임분이다.

이 지역은 산불에 의하여 고사목(49%), 지제부 부후목(27%) 등이 발생되고 있으며, 특히, 임상의 낙엽층과 표토유실이 부분적으로 나타나는 등 급격한 임분 쇠퇴현상이 나타나고 있다.

임분형질은 Table 20에서와 같이 잔존목의 대부분이 수간 및 수관형질이 보통 이상인 양질의 임분이며, 이중 미래목으로 육성 가능한 우량목이 24% 정도 분포하고 있어 임분 전환사업에 의한 형질 개선이 가능할 것으로 판단된다.

Table 20. Characteristics of dominant tree(stem and crown).

구분	수간급			수관급			비고
	우량	보통	불량	우량	보통	불량	
점유비 (%)	19.1	42.9	39.0	14.3	28.6	57.1	

본 임지는 Table 21에서와 같이 산불이 발생되기 전에는 헥타당 4,500본이 생육하고 있는 고밀도 임분으로 중하층목이 잘 발달되었던 임분이었으나, 산불이 진행된 곳을 중심으로 고사목이 군집상으로 발생되어 현재는 헥타당 2,100본이 생육하고 있다.

Table 21. Mean growth of forest stand(tree).

임령 (년)	임목밀도 (본/ha)	평균생장				수관 면적 비 (%)	비 고
		수고 (m)	흉고직 경 (cm)	수관폭 (m)	지하고 (m)		
20~25	4,500 (2,100)	6.4	7.4	2.7	3.6	118	

임목생장은 Table 22 및 Table 23의 수고급, 흉고직경급의 분포에서 볼 수 있듯이 수고급 7m에서, 흉고직경급 6~8cm를 중심으로 잘 분화되어 있으나, 다간성 맹아형태(평균 근주당 2.3본)로 구성되어 있어 경급의 분화 폭이 넓은 것이 특징이다. 임목의 성장형태는 지하고가 높고 수관발달이 양호한 편이다.

Table 22. Distribution of height class.

수 고 급 (m)	계	3	4	5	6	7	8	9	비고
점 유 비 (%)	100	-	-	17.6	11.8	47.0	11.8	11.8	

Table 23. Distribution of D.B.H. class.

흉고직경급 (cm)	계	2	4	6	8	10	12	14	16	비고
점 유 비 (%)	100	6.7	17.8	24.4	29.0	11.1	2.2	4.4	4.4	

또한, 잔존목종 우세수종인 갈참나무와 주변 임분에서 상층을 이루고 있는 생장이 양호한 곰솔과의 직경생장을 비교하면, Fig. 9에서 보는 바와 같이 갈참나무의 직경생장이 곰솔에 비하여 높은 것으로 나타나고 있다. 최근 5년간의 직경생장을 변화에서도 5~10% 정도로 매년 6~10mm의 양호한 성장을 지속하고 있는 것을 알 수 있다.

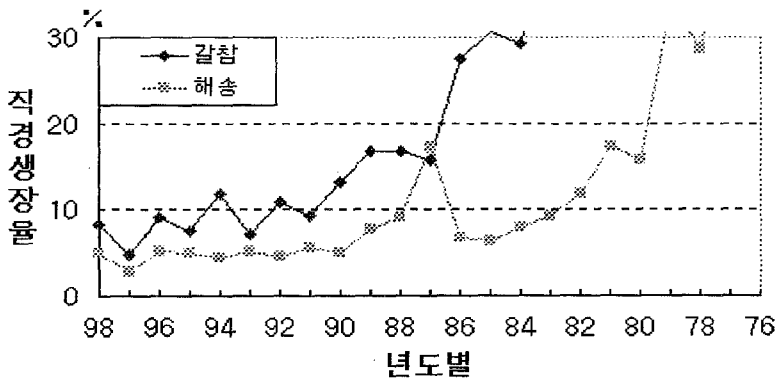


Fig. 14. Change of annual growth rate for dominant species.

## 2) 침엽수 단순림

조사지는 해발고 280m로 능선부에 위치하고 있으며, 소나무로 구성된 단순림으로 발달된 임분이나 오랜기간 동안 방치되어 임관이 폐쇄되어 감에 따라 임내상대조도가 10%내외로 하층식생이 점차 소멸되어 가고 있으며, 임분형질에서는 Table 24에서와 같이 상층림은 전생 소나무의 천연갱신에 의하여 성립된 이후 오랜기간 동안 방치되어 온 결과 임목형질이 매우 불량한 임분인 것으로 나타났다.

Table 24. Characteristics of dominant tree(stem and crown).

구분	수간급			수관급			비고
	우량	보통	불량	우량	보통	불량	
점유비 (%)	-	23.5	76.5	-	47.1	52.9	

본 임지는 Table 25에서와 같이 능선부에 위치하여 바람에 심하게 노출되는 지역으로 임목밀도가 낮고 수고생장이 흉고직경 생장에 비하여 매우 저조한 임분이다. 또한 임목배치가 불균일하여 밀생된 곳에 임상에서는 하층식생이 점차 소멸되고 있으나, 상층임관이 열린 곳에 임상에서는 졸참나무나 소나무 천연치수가 발생되고 있다.

Table 25. Mean growth of forest stand(tree).

임령 (년)	임목밀도 (본/ha)	평균 생 장				수관 면적 비 (%)	비 고
		수고 (m)	흉고직경 (cm)	수관폭 (m)	지하고 (m)		
30~35	1,700	5.2	13.2	2.8	2.8	115	

그러나, 최근 5년간의 신초생장과 종자결실이 매우 양호하고 하층 임상에는 졸참나무와 소나무 천연치수가 밀생되어 있어 소나무 천연하중갱신과 하층치수 보육을 통한 임분 전환사업이 가능할 것으로 판단된다.

Table 26. Distribution of height class.

수 고 급 (m)	계	3	4	5	6	7	8	9	비고
점 유 비 (%)	100	-	23.5	17.7	52.9	5.9	-	-	

Table 27. Distribution of D.B.H. class.

흉고직경급 (cm)	계	4	6	8	10	12	14	16	18	비고
점 유 비 (%)	100	10.0	15.0	10.0	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	

임목생장은 수고급 분포의 경우 Table 26에서와 같이 6m급과 4m급에 주로 분포하는 극단적인 분포형태로서 소군상 밀생형인 임분에서 볼 수 있는 특성을 나타내고 있다. 흉고직경급 분포는 Table 27에서와 같이 천연림에서 잘 나타나듯이 4~18cm로 폭 넓게 분포하고 있는 특징을 나타내고 있다.



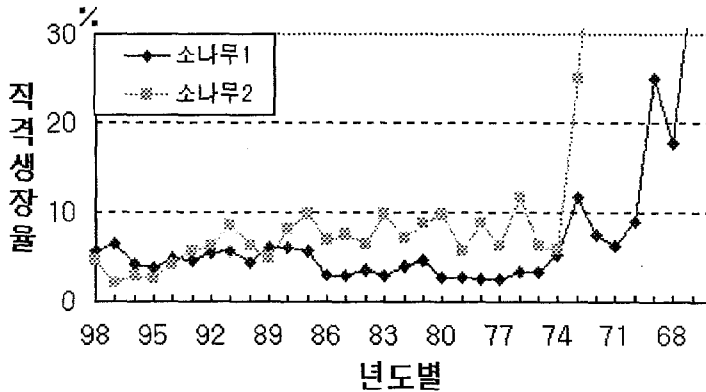


Fig. 15. Change of annual growth rate by dominant species.

또한 임목성장 변화에서 상층목과 중층목의 연년직경성장량을 변화를 보면 Fig. 15에서와 같이 상층목(소나무 1)에 비하여 하층목(소나무 2)의 연년성장률이 94년도까지는 높았으나, 최근에 이르러 상층목이 점차 높아지는 것으로 나타났다. 연년성장량의 변화에서는 상층목의 경우 70년대부터 80년대 중반에 이르기까지 성장량이 2~3 mm에 불과하였으나 최근에 이르러는 6~9mm로 약 3배정도 성장량이 증가하였다.

최근에 이르러 상층목이 평균 5%내외의 성장률로 하층목의 평균 3%내외 보다 약 2배이상 좋은 것으로 나타났다. 특히 수고성장에서 최근 5년간의 평균 절간성장량이 30~40cm정도로 매우 왕성하여 후계림 조성을 위한 갱신이 이루어질 때까지 임분활력을 유지, 증진시킬수 있을 것으로 판단된다.

### 3) 침·활 2단림

조사지는 해발고 25m로 해안 가까이에 있는 산록부의 동향사면에 위치하고 있으며, 곰솔이 우점하는 침엽수 단순림으로 리기다소나무, 굴참나무, 신갈나무가 단목상으로 일부 산재되어 있다. 특히 중층에는 곰솔 천연치수가 밀생되어 생육하고 있으나 곰솔 선목(초우세목)이 있는 곳에서는 참나무류, 때죽나무 등과 같은 활엽수의 생장이 우세해짐에 따라 피압현상으로 인하여 일부 고사목이 발생되고 있다.

또한 중층이 때죽나무, 참나무류, 개웃나무 등 활엽수종으로 밀생된 곳의 임상은 임내상대조도가 5%이하로 광환경이 열악하여 초본식생마저도 거의 소멸되어 가고 있으며, 부분적으로 표토침식이 발생되고 있어 중·하층의 식생관리가 요구되는 지역이라 할 수 있다.

임분형질에서는 Table 28에서와 같이 보통의 형질을 갖고 있으나, 임분취급법에 따라 형질이 크게 바뀌어지는 임분으로서 시업상 크게 주의를 필요로 한다.

Table 28. Characteristics of dominant tree(stem and crown).

구분	수간급			수관급			비고
	우량	보통	불량	우량	보통	불량	
점유비 (%)	10.0	30.0	60.0	5.0	40.0	55.0	

본 임지는 Table 29에서와 같이 상층목의 일부가 벌채된 후 초기에는 중하층에 곰솔, 소나무 등의 천연치수와 잠재 활엽수종등이

일부 혼재되어 성립된 2단림 구조를 갖고 있었으나, 점차 임분이 발달됨에 따라 치수 상호간 또는 활엽수종과의 생장 및 수관경합이 심하게 일어남에 따라 소군상형으로 고사목이 발생되어 임내에는 소군상의 갭이 형성되고 있다.

임목생장은 수고급 분포에서는 Table 30에서와 같이 7m급을 중심으로 대부분이 분포하고 있다. 그러나, 수고급 9m 이상되는 선목(초우세목)이 일부 지역에서는 보호목의 역할을 하고 있으나, 반대로 광환경을 억제하여 중하층목의 생장을 방해하는 폭목의 역할도 하고 있다.

Table 29. Mean growth of forest stand(tree).

임령 (년)	임목밀도 (본/ha)	평균 생 장				수관 면적 비 (%)	비 고
		수고 (m)	흉고직 경 (cm)	수관폭 (m)	지하고 (m)		
곰솔 45년생	2,000	6.7	10.8	2.5	3.9	125	
소나무 30년생							
굴참 18년생							

흉고직경급 분포에서는 Table 31에서와 같이 4~30cm에 걸쳐 불규칙하게 분포되고 있어 임분시업상 불리한 구조를 갖고 있으므로 중하층목에 대한 적극적인 시업에 의한 임분내 경급 재배치가 필요한 것으로 판단된다.

Table 30. Distribution of height class.

수 고 급 (m)	계	4	5	6	7	8	9	10	비고
점 유 비 (%)	100	10.0	-	25.0	30.0	25.0	5.0	5.0	

Table 31. Distribution of D.B.H. class.

흉 고 직경급 (cm)	계	4	6	8	10	12	14	16	20	30	비고
점 유 비 (%)	100	15.0	10.0	25.0	20.0	5.0	10.0	5.0	5.0	5.0	

또한 상층을 이루고 있는 곰솔, 소나무, 굴참나무의 연년직경생장률 변화 비교 결과 Fig. 16에서와 같이 굴참나무가 침엽수종에 비하여 2배이상 높은 것으로 나타났으며, 연년직경생장량에 있어도 7~12mm로 매우 양호한 것으로 나타났다.

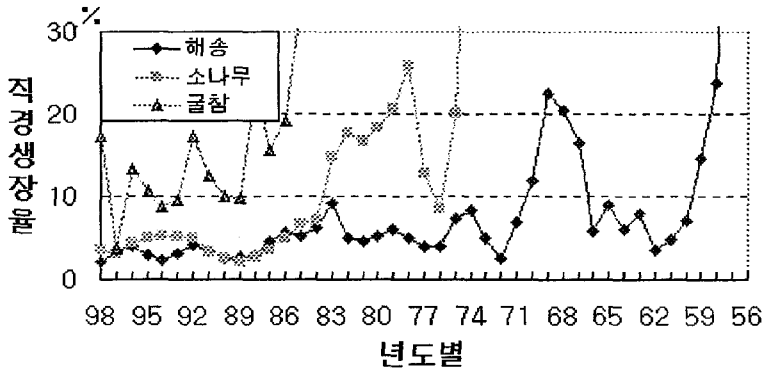


Fig. 16. Change of annual growth rate by dominant species.

#### 4) 침·활 혼효림

조사지는 해발고 125m로 산정 능선부 평탄지에 곰솔림이 산불에 의해 일부가 와해되었다가 자연력에 의하여 회복되어 가는 과정에서 잠재식생인 상수리나무와 사방오리나무가 혼효되어 있는 침활 혼효림으로 임관층이 불균일하고 하층에는 억새가 밀생되어 있는 전형적인 천이상 임분이었다.

특히 하층에는 사방오리나무(헥타당 8,000본내외), 곰솔(헥타당 20만본내외)의 천연치수가 부분적으로 밀생되어 양호한 생장을 보이고 있으나, 상층이 열려있는 곳에서는 억새가 밀생되어 타식생의 유입을 방해하고 있으며, 상층목이 없는 중하층에는 갈참, 졸참, 떡갈나무 등 참나무류와 천연생 사방오리나무 소군상형으로 분포하고 있었다.

임분형질에서는 Table 33에서와 같이 보통의 형질을 갖고 있으나, 중하층에서 생육하고 있는 천연치수목에 의한 형질개선이 가능

한 임분이다.

Table 33. Characteristics of dominant tree(stem and crown).

구분	수간급			수관급			비고
	우량	보통	불량	우량	보통	불량	
점유비 (%)	5.6	44.4	50.0	27.8	22.2	50.0	

본 임지는 Table 34에서와 같이 상층을 이루고 있던 곰솔림이 와해되는 과정에서 상층목의 임목밀도가 낮고 분포형태도 매우 불균 일한 임분이다.

Table 34. Mean growth of forest stand(tree).

임 령 (년)	임목 밀도 (본/ha)	평 균 생 장				수관 면적 비 (%)	비 고
		수고 (m)	흉고직 경 (cm)	수관폭 (m)	지하고 (m)		
곰솔 30년내외 사방오리30년내 외	2,400	5.6	9.1	2.7	2.8	121	

임목생장은 Table 35 및 Table 36에서와 같이 수고급과 흉고직 경급 분포가 불안정한 임분구조로 인하여 넓은 범위에 걸쳐 나타나 고 있었다.

Table 35. Distribution of height class.

수 고 급 (m)	계	3	4	5	6	7	8	9	비고
점 유 비 (%)	100	16.7	5.6	11.1	22.2	38.8	5.6	-	

Table 36. Distribution of D.B.H. class.

흉고직경급 (cm)	계	2	4	6	8	10	12	14	18	20	비고
점 유 비 (%)	100	8.3	33.3	4.2	8.3	4.2	12.5	16.7	8.3	4.2	

또한 Fig 17. 에서와 같이 상층을 이루고 있는 곰솔, 사방오리나 무의 직경생장률을 분석한 결과, 두 수종 모두 성장률이 저하되고 있으며 최근 10년간의 연년직경생장량도 2~4mm로 매우 저조하였다.

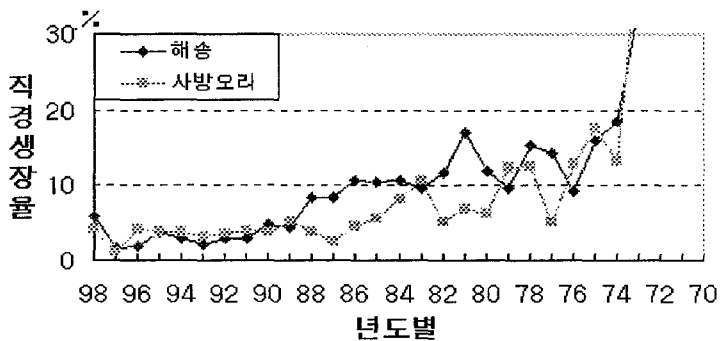


Fig. 17. Change of annual growth rate by dominant species.

바. 임분유형별 시업법 결정

1) 임분유형별 시업적용

임분유형별 임분구조, 임분생장 특성 등을 고려한 산림시업방향은 Table 37에서와 같이 요약할 수 있으며, 이를 토대로 각각의 임분유형별 시업법 적용은 다음과 같다.

Table 37. Basic concept for application of forest practices.

임 분 구 성	특 징	시 업 방 향
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 산화 재생림 다수 분포</li> <li>· 장기간 방치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상대조도 낮음</li> <li>· 미부숙낙엽층이 발달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 급격한 임분소개 회피 (소구역 단위)</li> <li>· 점적 제·간벌로 광환경 개선 → 식생유입 촉진 → 임지안정 도모</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임분구성이 복잡하고 다양</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하층식생 미약</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임분유형에 따른 시업법 적용</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임분활력 저조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소나무류 고사지 부착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토양개량등 적극적 시업 조치</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임목형질 불량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임분쇠퇴 급속히 진행→초두부고사, 잠아발생, 수간 및 심재부후 등</li> </ul>	



가) 활엽수림형

구 성 수 종	임 분 특 성	적 용 시 업	
		상 층	하 층
단층형: 오리, 아까시, 상수리, 굴참	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전생수 곰솔이 선목으로 산재</li> <li>· 상대조도 15~30%내외</li> <li>· 표토는 안정되고 하층 식생 풍부</li> <li>· 참나무류는 대부분이 맹아림으로 구성</li> <li>· 오리나무, 아까시나무는 활력이 매우 낮음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 곰솔 선목은 보호수로 존치</li> <li>· 임분형질개선 전환사업</li> <li>→ 형질불량목 50%를 대상, 소군상으로 제거</li> <li>→ 2차에 걸쳐 점진적 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 광환경 개선</li> <li>→ 하층식생 유입</li> <li>→ 임지안정도</li> <li>· 대묘 조립</li> <li>· 참나무류 실생치수 무육</li> </ul>
복층형: 참나무, 아까시, 오리나무 의 조합	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 초두부 고사로 잦아, 근부 2차맹아 발생</li> <li>→ 수간부 후(50%이상)</li> <li>· 임내 공간 산재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 우량목 위주로 소군상(20m)으로 존치</li> <li>· 오리나무, 아까시나무는 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 참나무류 수하식재, 보완조립</li> <li>· 참나무류 천연치수 무육</li> </ul>

나) 침엽 단층림형

구 성 수 종	임 분 특 성	적 용 시 업	
		상 층	하 층
소나무, 해 송, 리기다	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상대조도 10% 내외</li> <li>· 수간하부 고사지 부착</li> <li>· 임목형질, 활력 불량</li> <li>· 수고급 분화가 미약</li> <li>· 낙엽층발달(10cm내외)</li> <li>· 하층식생 발달 미약</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 형질불량목 위주 소극적 제·간벌 (30%내외)</li> <li>· 고사지 정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 광환경 개선 → 하층식생 유입</li> <li>→ 임지안정 도모</li> <li>· 대묘 보완조림</li> </ul>
소나무, 해 송, 리기다 의 조 합	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주로 야산에 출현</li> <li>· 상대조도 10% 이하</li> <li>· 수간하부 고사지 부착</li> <li>· 임목형질, 활력 불량</li> <li>· 수고급 분화가 미약</li> <li>· 하층식생 발달 미약</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소나무, 곰솔은 임목형질 중 이상 존치 → 소극적 제·간벌</li> <li>· 하층 관목상 활엽수 존치</li> <li>· 고사지 정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 천연치수발생지 점차 확대</li> <li>· 참나무류 실생치수 무육</li> </ul>

다) 침엽 복층림형

구 성 수 종	임 분 특 성	적 용 시 업	
		상 층	하 층
소나무, 해 송,	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토심이 얇고 표면침식 발생</li> <li>· 상대조도 20% 내외</li> <li>· 천연치수 발생 양호</li> <li>· 임목형질, 활력 불량 → 중층이하 세장</li> <li>· 임내 공격지 산재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상층 형질불량목은 2회에 걸쳐 제거</li> <li>· 곰솔 단순림으로 전환</li> <li>· 하층 피압목, 세장목은 제거</li> <li>· 고사지 정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 광환경 개선 → 하층식생 유입</li> <li>→ 임지안정 도모</li> <li>· 대묘 보완조림</li> <li>· 천연치수발생지 점차 확대</li> </ul>
해 송, 리기다, 편 백, 참나무 의 조 합	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임분활력 및 임목형질은 양호</li> <li>· 상대조도 10% 이하로 하층목 성장 저해 (하층식생발달 미약)</li> <li>· 수간하부고사지 부착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소나무, 곰솔은 임목형질중이상 존치 → 소극적 제·간벌 (30%내외)</li> <li>· 하층 관목상 활엽수종 존치</li> <li>· 고사지 정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 참나무류 실생치수 무육</li> </ul>

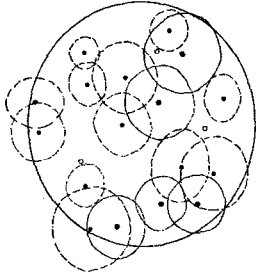
라) 침·활 혼효림형

구성 수종	임분 특성	적 용 시 업	
		상 층	하 층
단층형: 소나무, 해송, 참나무, 오리, 아까시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 침엽 상층수종 와해단계 갱신상 임분</li> <li>· 오리, 아까시나무는 단목상, 참나무류는 소군상 혼효</li> <li>· 상대조도 20%내외</li> <li>· 오리, 아까시는 수관 활력이 낮음</li> <li>· 참나무류는 활력 및 형질 양호</li> <li>· 표토는 안정되어 하층식생은 풍부한 편입</li> <li>· 침엽수 고사지 부착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 형질 중 이상 침엽수종은 보호수로 존치 무육</li> <li>· 활력, 형질불량목은 우선 제거</li> <li>· 고사지 정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 광환경 개선 → 하층식생 유입 → 임지안정도</li> <li>· 활엽수 소군상식재로 침활혼효림 유도</li> </ul>
복층형: 소나무, 해송, 리기다, 참나무, 오리, 아까시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 침엽 상층수종 와해단계 갱신상 임분형</li> <li>· 임분구조가 복잡하고 층위 발달이 불분명</li> <li>· 상대조도 10%내외</li> <li>· 하층임상 발달 미약</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 급격한 임분소개 회피 → 상층목고사지 정리 → 천연림 보육기준에 의하여 형질무육</li> <li>· 형질양호 침엽수종은 보호수로 존치</li> </ul>	

2) 시업법 적용과 임분변화

가) 활엽수 단순림

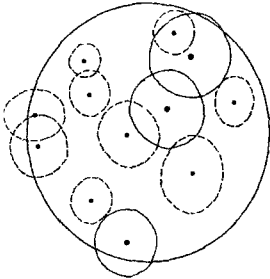
참나무류 활엽수림의 산화적지에서 상층목 생육공간 조절과 소군상 갱신면 조성하여 수하식재에 의한 임분전환시업으로 후계림을 조성.



임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
4,500	6.4	7.4	3.6	2.7	118

- 고사목, 맹아목 본수조절
- 지제부 부후목 제거

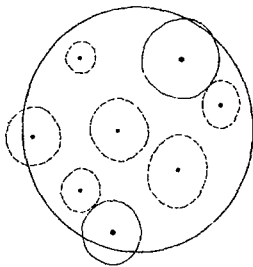
↓ 1차조절



임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
1,500	6.5	10.0	3.6	2.8	110

- 지제부 부후목, 형질불량목, 경쟁목 제거
- 소군상 갱신면 조성

↓ 2차조절



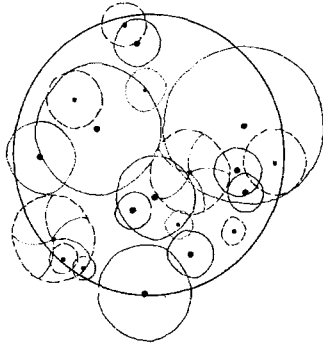
임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
700	7.1	11.4	3.7	3.5	70

- 상층목 생육공간 조절
- 수하식재에 의한 후계림 조성

Fig. 18. Change of forest stand by tree developing stages after forest practice.

나) 침엽수 단순림

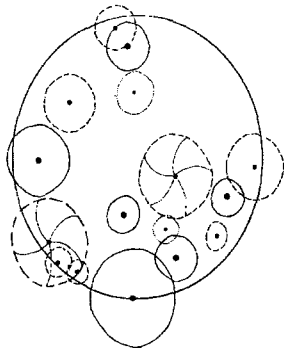
소나무 형질 불량림에서 간벌(수광벌)과 하종갱신 및 수하식재에 의한 임분전환사업으로 후계림 조성.



임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
1,700	5.2	13.2	2.8	2.8	115

- 폭목, 형질불량목, 과밀지역 본수조절
- 하층치수보육(소나무, 졸참나무)

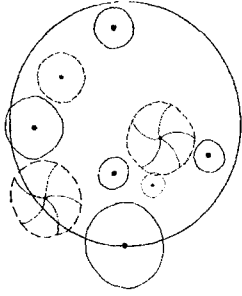
↓ 1차조절



임목 밀도 (본/h a)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
1,200	5.2	13.2	2.8	2.8	71

- 적극적인 수광벌 실시(생육공간 확보)
- 균일한 임목배치(임지면 보호)
- 갱신면 조성 및 수하식재

↓ 2차조절



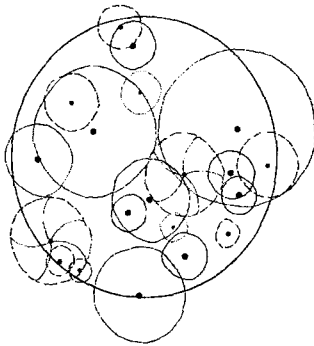
임목 밀도 (본/h a)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
700	5.3	12.6	2.6	2.8	37

- 소나무 하종갱신
- 하층천연치수 보육으로 혼효림 유도조성기반

Fig. 19. Change of forest stand by tree developing stages after forest practice.

다) 침·활 2단림

상층목은 보호목으로 활용하면서 중하층목에 대한 적극적인 시업관리로 임지안정을 기반에 두고 임분전환 시업에 의한 침활혼효림으로 후계림 조성.



임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
2,000	6.7	10.8	3.9	2.5	125

- 폭목성 선목 제거(보호목은 존치)
- 중하층목 1차 본수조절

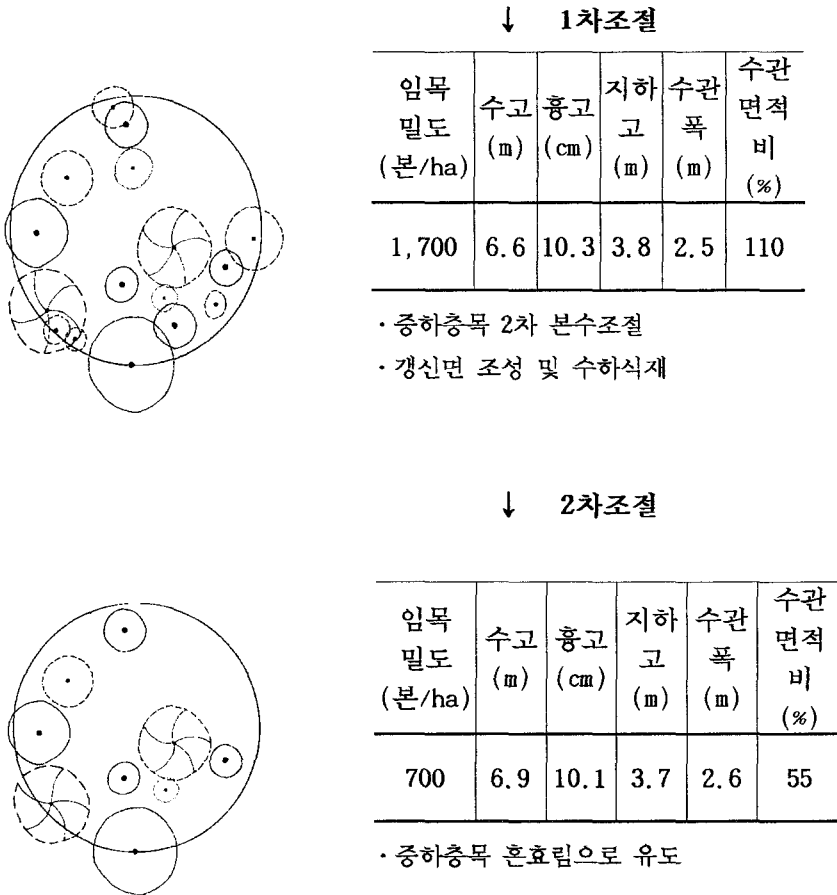
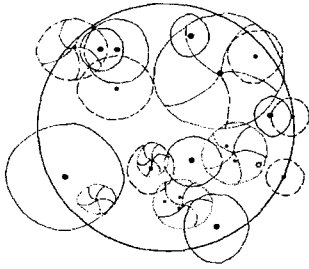


Fig. 20. Change of forest stand by tree developing stages after forest practice.

라) 침·활 혼효림

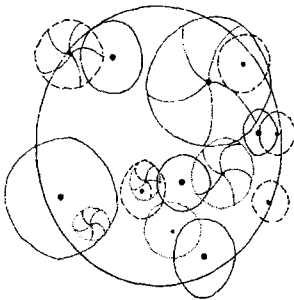
상층림 생육공간 조절과 하층치수에 대한 적극적인 보육을 실시하면서 점진적으로 갱신면을 확대하여 활엽수 보완식재으로 후계림은 침활혼효림으로 유도.



임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
2,400	5.6	9.1	2.8	2.7	121

- 상층목 밀생지 생육공간 조절
- 수세최약목 제거
- 억새밀생지 제거 갱신면 확보

↓ 1차조절

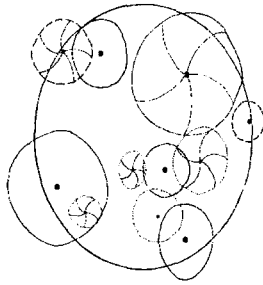


임목 밀도 (본/ha)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
1,500	5.4	10.1	2.7	2.8	107

- 하층임상 곰솔, 사방오리나무 치수보육
- 갱신면 보완식재
- 중하층목 분수 및 수형조절

↓ 2차조절





입목 밀도 (본/h a)	수고 (m)	흉고 (cm)	지하 고 (m)	수관 폭 (m)	수관 면적 비 (%)
1,100	5.3	10.6	2.4	3.0	93

- 치수림 보육
- 침활 혼효 2단림 유도

Fig. 21. Change of forest stand by tree developing stages after forest practice.

사. 임분유형별 시업안 편성

1) 활엽수 단순림

가) 현재임상: 참나무류 중심으로 하는 활엽수림

나) 목표임분: 활엽수 단순림(일시적으로 소군상 활엽수 2단림)

시업 유형	시업 방법	시업기준
임분 전환	간벌 수하 식재	<p>1. 위생간벌(임내정리)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 산불피해목, 고사목은 우선 제거(50% 내외 제거)</li> <li>- 지제부 부후목은 임지면이 크게 노출되지 않도록 임목간격을 고려하여 제거</li> </ul> <p>2. 무육간벌</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우량목 생장에 방해가 되는 경쟁목, 형질불량목만 제거</li> <li>- 잔존목은 가능한 소군상형으로 존치</li> <li>- 맹아목 정리</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다간성 맹아는 우세목을 존치시키고 나머지는 모두 제거</li> <li>· 재갱신이 가능한 임목은 갱신 벌채 실시</li> <li>- 형질 우량목을 헥타당 400본 정도 선발하여 고사지 제거 및 가지치기 실시</li> <li>- 생육본수는 헥타당 700본 정도 존치(수관면적비 70%)</li> </ul> <p>3. 하층목 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 참나무류 같은 유용치수는 보호 관리하여 임지안정을 도모</li> <li>- 임지 보호목은 존치시키되 밀생되지 않도록 솎아주기를 실시하여 지속적으로 초본식생의 유입을 도모</li> <li>- 2차 맹아갱신목은 갱신 3년차 추기에 본수조절 실시</li> </ul> <p>4. 갱신면 조성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 피해목 제거 및 무육간벌후 형성되는 임지는 수하식재를 할 수 있도록 갱신면을 조성</li> <li>- 천연갱신 대상지는 낙엽급기 실시</li> <li>- 갱신면 크기는 가능한 소군상(150㎡이내)으로 조성</li> </ul> <p>5. 수하식재</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 참나무류를 묘목 또는 직파조림을 통하여 실시</li> <li>- 식재밀도는 헥타당 5,000본 이상 고밀도로 식재</li> </ul>
--	---

2) 침엽수 단순림

가) 현재임상: 소나무(천연생림)

나) 목표임분: 침엽수 2단림 (소군상 활엽수 2단림)

사업 유형	사업 방법	시 업 기 준
임분 전환	간벌 (수광벌) 하층 갱신 수하 식재	<p>1. 간벌(수광벌)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폭목, 기운나무는 우선 제거</li> <li>- 부분적으로 과밀한 지역은 생육공간을 확보</li> <li>- 대부분이 생육 및 형질 불량목이므로 선목시 임지면이 크게 노출되지 않도록 임목간격을 고려</li> <li>- 수간 또는 수관 형질이 양호한 임목은 가능한 모두 존치시켜 종자 공급 또는 임지 보호목으로 활용</li> <li>- 간벌시 치수가 기 발생된 지역은 가능한 보호</li> <li>- 잔존목은 후계림 조성이 완료될 때까지 임지 및 치수 보호목으로 활용</li> <li>- 중하층의 즐참나무 등 참나무류는 가능한 존치</li> <li>- 수하식재 또는 하층갱신지는 간벌과 동시에 조성</li> <li>- 헥타당 700본 정도 존치(수관면적비 40% 내외)</li> <li>- 하층 후계림 성장에 지장이 없도록 지속적인 광환경관리를 위한 간벌 실시</li> </ul> <p>2. 하층목 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 갈참나무류 같은 유용치수는 보호관리하여 임지 안정을 도모</li> <li>- 임지 보호목은 존치시키되 밀생되지 않도록 솎아주기를 실시하여 지속적으로 초본식생의 유입을 도모</li> <li>- 활엽수는 수형조절 실시</li> </ul>

		<p>3. 갯신면 조성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간벌시 형성되는 임지는 수하식재, 천연하종갱신을 할 수 있도록 갯신면을 조성</li> <li>- 천연갱신 대상지는 낙엽급기 실시</li> <li>- 갯신면 크기는 가능한 소군상(100㎡이내)으로 조성</li> </ul> <p>4. 수하식재</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소나무, 참나무류를 묘목 또는 직파조림을 통하여 실시</li> <li>- 식재밀도는 헥타당 5,000본 이상 고밀도로 식재</li> <li>- 하종갱신 실시 5년차까지 치수림 조성에 실패한 임지는 소나무 대표식재로 임분조성을 완료</li> </ul>
--	--	--

3) 침·활 2단림

가) 현재임상: 소나무(천연생림)

나) 목표임분: 침·활 혼효림

사업 유형	사업 방법	시 업 기 준
임분 전환	간벌 하종 갯신 수하 식재	<p>1. 간벌</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상층 선목은 보호목으로 존치시키되, 중하층목 생장을 방해하는 선목(폭목)은 우선 제거</li> <li>- 중층에 곰솔치수 밀생지는 생육공간 조절을 위한 무육간벌 실시하되 가지치기를 병행(본수 15% 정도)</li> <li>- 중층에 활엽수 생육지는 임상면의 광환경을 개선시키기 위하여 본수조절을 2회 걸쳐 나누어 점진적으로 실시</li> <li>- 상층에 잔존시킨 선목은 중하층림이 상층림으로 천이될 때까지 존치</li> <li>- 헥타당 700본 정도 존치(수관면적비 60% 내외)</li> </ul>

	<p>2. 하층목 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 곰솔 천연치수 발생지는 치수 무육</li> <li>- 진달래류는 조기 제거하면 임상에 초본식생 유입을 도모</li> <li>- 참나무류 유용치수는 보호 관리</li> <li>- 임지 보호목은 존치시키되 밀생되지 않도록 지속적으로 솎아주기를 실시하여 초본식생의 유입을 도모</li> <li>- 활엽수는 수형조절 실시</li> </ul> <p>3. 갯신면 조성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 때죽나무, 진달래류 제거지는 수하식재할 수 있도록 갯신면을 조성</li> <li>- 곰솔 천연갯신 대상지는 낙엽굵기 실시</li> <li>- 갯신면 크기는 가능한 소군상(50~100㎡)으로 조성</li> </ul> <p>4. 수하식재</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소나무, 참나무류를 묘목 또는 직파조림을 통하여 실시</li> <li>- 식재밀도는 헥타당 5,000본 이상 고밀도로 식재</li> <li>- 하층갯신 실시 5년차까지 치수림 구성에 실패한 임지는 소나무 대표식재로 임분조성을 완료</li> </ul>
--	--

4) 침·활 혼효림

가) 현재임상: 곰솔+사방오리나무 혼효림

나) 목표임분: 침·활 혼효림

사업 유형	사업 방법	시 업 기 준
임분 전환	간벌 하중 갱신 수하 식재	<p>1. 간벌</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사방오리나무, 곰솔 쇠약목은 우선 제거</li> <li>- 상층목 밀생지 생육공간 조절로 하층 임상의 광환경 개선(본수 35% 내외)</li> <li>- 중층에 활엽수 밀생지 생육공간 조절과 수형조절 실시</li> <li>- 상층에 잔존시킨 선목은 중하층림이 상층림으로 천이될 때까지 존치시켜 보호목으로 활용</li> <li>- 헥타당 1,100본 정도 존치(수관면적비 90%내외)</li> </ul> <p>2. 하층목 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 곰솔 천연치수 발생지는 치수 무육</li> <li>- 억새류는 완전제거하고 수하식재 실시</li> <li>- 참나무류 유용치수는 보호 관리</li> <li>- 활엽수는 수형조절 실시</li> </ul> <p>3. 갱신면 조성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 억새류 제거지는 수하식재할 수 있도록 갱신면을 조성</li> <li>- 곰솔 천연갱신 대상지는 낙엽굴기 실시</li> <li>- 갱신면 크기는 가능한 소군상(50~100㎡)으로 조성</li> </ul> <p>4. 수하식재</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소나무, 참나무류를 묘목 또는 직파조림을 통하여 실시</li> <li>- 식재밀도는 헥타당 5,000본 이상 고밀도로 식재</li> <li>- 하중갱신 실시 5년차까지 치수림 구성에 실패한 임지는 소나무 대표식재로 임분조성을 완료</li> </ul>

#### 4. 토양의 이화학성질 및 독성물질 동태

##### 가. 지질특성

울산지역은 수성암 잔류토층으로써 주로 자두색 혈암, 온산지역은 중생대의 경상계 퇴적암, 회색 또는 담청회색 조립의 화강암류가 분포하고 있다.

##### 나. 토양산도

울산지역의 토양산도는 Table 38과 같이, 오염원별로 구분하여 조사한 결과 공단지역은 pH 3.5~4.6로 평균산도가 4.1, 공단주변 및 주거지역은 pH 4.0~5.3로 평균산도가 pH 4.5, 외곽지역은 pH 4.4~ 5.9로 평균산도가 4.7로 조사되었다. 이것은 오염원으로부터 외곽으로 점차적으로 토양이 산성화가 진행되고 있다는 것을 나타낸다. 특히 공단지역의 토양산도는 pH 4.2이하가 대부분으로 수목 및 토양생태계에 피해가 발생하고 있다. 이는 앞절의 오염물질인 음이온 유입량이 공단지역이 외곽지역보다 약 6배정도 높게 나타나고 있는데 이의 영향이 큰 것으로 사료된다.

##### 다. 토양의 화학적 성질

조사지의 토양의 화학성질은 Table 38과 같이 권역별로 보면, 각종 산성물질의 유입에 대한 토양의 완충작용에 기여하는 치환성 염기가 공단지역이 외곽지역보다 낮게 나타나고 있어 공단지역은 양료용탈 현상이 발생하고 있어 양료 공급이 필요할 것으로 사료된다.

라. 토양의 알루미늄함량

독성물질인 알루미늄 함량은 Table 38과 같이 나타났으며, 공단지역 평균 471mg/kg, 외곽지역 평균 250mg/kg로 공단지역에서 외곽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 토양이 산성화되면 알루미늄이 활성화되어 식물의 뿌리생장을 저해시키고, 또한 수분이나 양분흡수를 방해할 뿐만 아니라 유용한 토양 소동물과 미생물의 활동에 영향을 미친다. 따라서 토양산성화가 심화됨으로써 발생하는 독성 Al의 영향이 공단지역에 서식하는 수목이 성장 둔화 또는 양분결핍으로 인한 고사로 이어질 가능성이 높을 것으로 예상된다.

Table 38. Chemical properties of investigated forest soils.

구분	pH (H <sub>2</sub> O)	0.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	CEC (me/100g)	
	공단지역	4.13 ±0.24	3.56 ±1.92	0.14 ±0.07	54.80 ±94.52	12.00 ±2.77
공단주변	4.44 ±0.32	3.92 ±1.20	0.15 ±0.05	21.60 ±15.79	14.30 ±3.63	
외곽	4.88 ±0.32	4.04 ±1.20	0.15 ±0.05	34.50 ±15.79	11.80 ±3.63	

구분	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	BS (%)	Al <sup>3+</sup> (mg/kg)
	(me/100g)				(%)	(mg/kg)
공단지역	0.21 ±0.11	0.17 ±0.09	0.93 ±0.56	0.60 ±0.60	16.80 ±10.79	471.0 ±157.39
공단주변	0.17 ±0.06	0.11 ±0.10	1.90 ±1.74	1.04 ±0.90	22.60 ±15.35	458.0 ±148.36
외곽	0.23 ±0.06	0.22 ±0.10	1.99 ±1.74	1.33 ±0.90	27.20 ±15.35	254.0 ±148.36



마. 토양의 중금속함량

중금속함량은 Table 39와 같이 공단지역이 외곽지역보다 높게 나타났으며, 외곽으로 갈수록 현저히 감소하고 있다. 특히 공단지역의 중금속함량은 토양오염우려기준을 초과하고 있어 식물생장에 영향을 미칠 것으로 우려된다.

축적된 중금속은 제거가 거의 불가능하므로 오염물질 배출량을 감소시켜야 하며, 오염된 토양에는 생물학적 방제와 석회 등 토양 중화제를 사용하여 토양중금속을 불용화시킴으로써 산림생태계의 피해를 감소시켜야 할 것으로 판단된다.

Table 39. Heavy metal contents in investigated forest soils.

구분		Cu	Pb	Zn	Cd
		(mg/kg)			
공단내	Mean	109.5	37.38	182.3	0.65
	Max.	355.6	189.4	369.7	0.60
	Min.	1.88	2.71	16.56	1.65
공단주변	Mean	3.54	5.50	29.50	0.20
	Max.	9.95	8.23	67.8	0.58
	Min.	1.79	2.78	12.06	0.07
외곽	Mean	0.89	3.83	12.20	0.12
	Max.	1.86	6.86	36.48	0.31
	Min.	0.25	1.17	3.06	0.03

5. 오염입지 토양의 회복기법

환경오염에 의한 토양산성화가 수목생장에 미치는 영향을 평가하고, 토양오염 정도에 따른 산림생태계 영향의 장래예측과 그에 따른 복구방법을 개발하기 위하여 다음과 같이 오염 정도별 수목의 생장시험 및 오염지 회복시험을 실시하였다.

가. 오염정도별 수목생장 실험

1) 토양 pH 및 수용성 원소농도

소나무 묘목 생육전 토양 pH는 대조구 pH 4.15, 10meqH<sup>+</sup>처리구 pH 3.70, 90meqH<sup>+</sup>처리구 pH 3.17로서 토양내에 H<sup>+</sup>부하량이 증가함에 따라 토양 pH가 낮아지는 경향을 보였다(Table 40). 수용성 Al 및 Mn은 토양 pH가 낮아짐에 따라 농도가 높아졌으며(Table 40), Al농도는 토양 pH 약 3.2 범위에서 급격히 증가하였으나, Mn농도는 토양 pH저하에 따른 농도변화가 Al에 비해 크지 않았다(Fig. 22). 수용성 Ca, Mg 및 K농도도 토양에 H<sup>+</sup>부하량이 증가함에 따라 증가하였으며, Ca 및 Mg농도는 토양 pH가 약 3.2 범위에서 급격히 증가하였으나, K농도는 Ca 및 Mg에 비해 증가정도는 낮았다(Table 40).

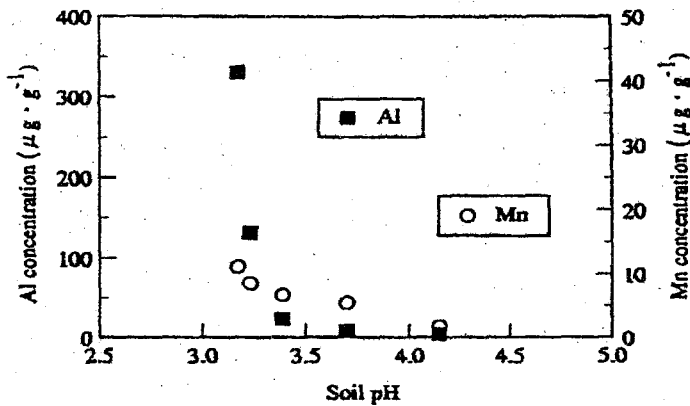


Fig. 22. The relationship between pH and water soluble Al, and Mn concentrations in the brown forest soils

Table 40. Initial pH concentration of water soluble element in soil before transplanting *P. densiflora* seedlings

Soil treatment	pH (H <sub>2</sub> O)	Water soluble element concentration(μg/g)				
		Ca	Mg	K	Al	Mn
Control	4.15	27.13	6.81	12.18	3.64	1.75
10meqH <sup>+</sup>	3.70	75.50	15.99	17.21	8.10	5.40
30meqH <sup>+</sup>	3.39	135.20	27.24	22.52	22.65	6.64
60meqH <sup>+</sup>	3.23	228.55	46.80	31.10	131.0	8.57
90meqH <sup>+</sup>	3.17	230.45	67.95	38.60	33.60	11.10

## 2) 소나무 묘목의 생장

21주 동안 온실에서 생육한 소나무 묘목의 각 기관 및 개체전체의 건중량은 대조구에 비하여 10meqH<sup>+</sup>처리구에서는 약간 증가하였으나, 30 및 60meqH<sup>+</sup>처리구에서는 유의적으로 감소하였다(Table 41). 그러나 90meqH<sup>+</sup>처리구의 소나무 묘목은 육성시작 8~10주 사이에 전 개체가 고사하였다. 또한 지하부에 대한 지상부의 건중량비(T/R율)는 60meqH<sup>+</sup>처리구에서 대조구, 10 및 30meqH<sup>+</sup>처리구에 비하여 유의적으로 증가하였다.

생장해석 결과(Table 42), 소나무 묘목의 생육기간 중 개체건물 생장의 상대생장율(RGR) 및 순동화율(NAR)은 10meqH<sup>+</sup>처리구에서 약간 증가하는 경향이 보였으나, 30meqH<sup>+</sup> 이상의 처리구에서는 토양에 H<sup>+</sup>부하량이 증가함에 따라 저하하였다. 그러나 개체건중량에 대한 엽건중량의 비(LWR)는 토양에 H<sup>+</sup>부하에 따른 영향을 거의 받지 않았다. 이는 주로 소나무 묘목의 건물생산 효율이 토양산성화에 의해 저하되었음을 시사하고 있다. 수목의 광합성 등의 생리기능에 대한 토양산성화의 영향은 거의 명확히 밝혀져 있지 않지만, 산철가 처리

토양에서 생육시킨 소나무 묘목은 NAR이 감소하고 광합성속도가 저하하는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 산성토양에 있어서 식물생장 감소원인은 토양 pH 저하와 토양내 용출되는 Al 및 Mn과 같은 식물유해금속의 영향을 생각할 수 있다(橋本, 1992). 본 연구에서도 토양산성화에 의한 소나무 묘목의 생장저하에 관여하는 주요한 토양요인을 검토하기 위하여 토양의 pH, Al 및 Mn농도와 실험 종료시의 각 처리구 개체건중량의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 2), 소나무 묘목의 개체건중량과 토양의 pH 및 Al농도와의 사이에 각각 높은 상관( $r=0.81$ ,  $-0.93$ )이 인정되었다. 이에 반하여 소나무 묘목의 개체건중량과 토양의 Mn농도와의 사이에는 유의적인 상관( $r=-0.76$ )이 인정되지 않았다. 이 결과는 토양산성화에 의한 소나무 묘목의 생장감소에 대하여 토양 pH의 저하뿐만 아니라 토양의 Al농도가 강하게 관여하고 있음을 시사한다.

Al처리는 식물내 Ca 등과 같은 식물필수 영양원소의 흡수 저해를 초래하는 것으로 보고되고 있으며(Abrahamsen, 1984 ; Göransson과 Eldhuset, 1991), 구미에서는 독일가문비(*Picea abies*) 및 소나무류(*Pinus* spp.)의 생장과 토양용액이나 수경액의 Ca/Al 및 (Ca+Mg+K)/Al 몰비는 수목의 생장이나 영양상태와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Rengel, 1992 ; Sverdrup 등, 1994 ; Cronan과 Grigal, 1995). 본 연구에서도 소나무 묘목의 개체건중량의 상대치(relative total dry weight(%))=(각 처리구에서 육성한 소나무 묘목의 개체건중량)/(대조구에서 육성한 소나무 묘목의 개체건중량) $\times 100$ 와 토양의 수용성 원소농도로부터 산출한 (Ca+Mg+K)/Al 몰비와의 관계를 분석한 결과(Fig. 24)도, 소나무 묘목의 개체건중량의 상대치와 토양용액의 (Ca+Mg+K)/Al 몰비와의 사이에 유의적인

정의 상관( $r=0.97$ ,  $p<0.01$ )이 인정되었다. 즉, 토양산성화에 의한 소나무 묘목의 성장감소정도는 토양의 Al과 Ca, Mg 및 K과의 양분 균형도의 영향을 많이 받는 것으로 보인다. 그러므로, 소나무 묘목의 성장에 대한 토양산성화의 영향을 평가할 때, 토양중의 Al 농도 뿐만 아니라 Ca, Mg과 같은 식물필수 영양원소의 농도도 함께 고려할 필요가 있다고 생각된다.

Sverdrup 등(1994)은 유럽에서 생육하고 있는 독일가문비의 성장과 토양용액의  $(Ca+Mg+K)/Al$  몰비와의 관계를 검토하여 이 몰비가 1.0을 기준으로 하여 산림생태계에 대한 산성강하물의 한계부하량을 평가하고 있다. 그들이 보고한 독일가문비 묘목의 결과와 본 연구의 소나무 묘목의 결과를 비교하면,  $(Ca+Mg+K)/Al$  몰비의 감소에 따라 양 수종 모두 건물생장량은 감소하나 독일가문비에 비하여 소나무가 이 몰비의 감소에 대하여 감수성이 높은 것으로 생각된다. 다시 말해 독일가문비의 건물생장량은  $(Ca+Mg+K)/Al$  몰비가 1.0일 때 약 20% 정도 감소하였으나 소나무의 건물생장량은 이 몰비가 1.0일 때 약 50% 정도 감소하여(Fig. 23), 독일가문비에 비하여 소나무가  $(Ca+Mg+K)/Al$  몰비의 감소에 의한 성장감소가 큰 것으로 나타났다.

현재, 우리나라에 생육하고 있는 수목의 성장에 대한 토양산성화 및 토양중의 Ca, Mg 등과 같은 식물필수 영양원소와 Al, Mn 등의 식물유해금속의 영향에 대해서 거의 밝혀지지 않고 있다. 구미에 생육하고 있는 수목은 Al에 대한 감수성이 수종 및 품종 사이에 차이가 인정되고 있기 때문에(Schaedle 등, 1989), 앞으로 산림생태계내 산성강하물의 한계부하량 평가를 정확히 실시하기 위해서는 주요 수종의 성장, 생리기능 및 영양상태 등에 대한 토양산성화나 Al, Mn 등의 영향을 자세히 조사할 필요가 있다.

Table 41. Effects of soil acidification on dry weight and top/root ratio(T/R) of *P. densiflora*.

Soil treatment	Dry weight (g)				T/R ratio
	Needle	Trunk	Root	Whole-plant	
Initial	3.33	2.63	1.44	7.09	3.62
Control	5.57 a	4.59 a	3.33 a	13.49 a	3.07 b
10meqH <sup>+</sup>	6.17 a	4.69 a	3.70 a	14.56 a	3.04 b
30meqH <sup>+</sup>	3.94 b	3.72 b	2.34 b	10.01 b	3.33 b
60meqH <sup>+</sup>	3.59 b	3.14 c	1.60 c	8.33 c	4.28 a
90meqH <sup>+</sup>	*-	-	-	-	-

Table 42. Effect of soil acidification on relative growth rate of whole-plant dry weight (RGR), net assimilation rate (NAR) and leaf dry weight ratio (LWR) of *P. densiflora* seedlings after the growing period of 21weeks.

Soil treatment	RGR ( $\times 10^{-2} \cdot \text{g/g/day}$ )	NAR ( $\times 10^{-2} \cdot \text{g/g/day}$ )	LWR (%)
Control	0.44(100%)	1.00(100%)	43.77(100%)
10meqH <sup>+</sup>	0.49(112%)	1.10(110%)	44.35(101%)
30meqH <sup>+</sup>	0.23( 54%)	0.55( 55%)	42.85( 98%)
60meqH <sup>+</sup>	0.11( 25%)	0.24( 24%)	44.95(102%)
90meqH <sup>+</sup>	*-	-	-

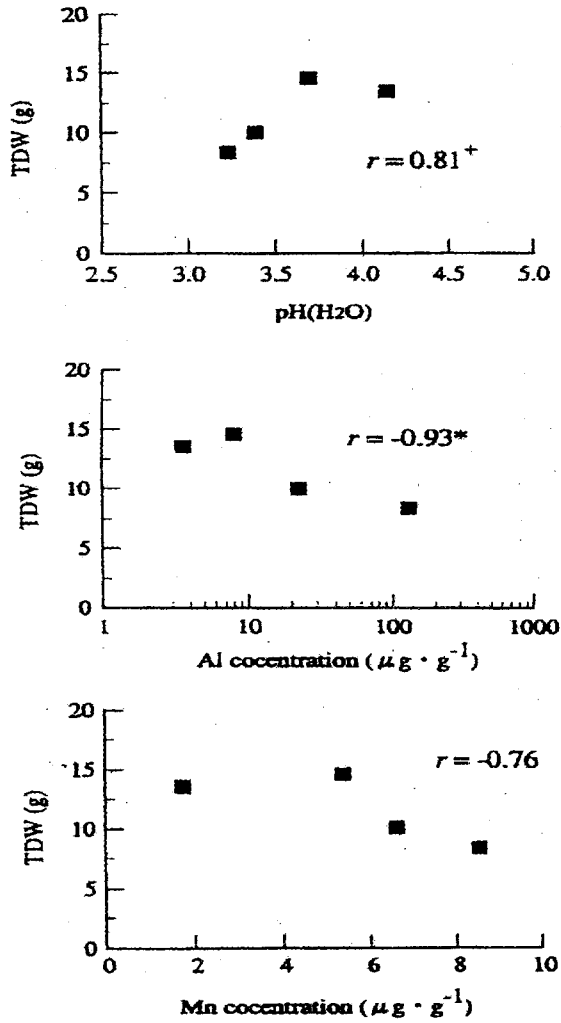


Fig. 23. The relationship between total dry weight(TDW) of *P. densiflora* seedlings and pH, Al, and Mn concentrations in the brown forest soils.

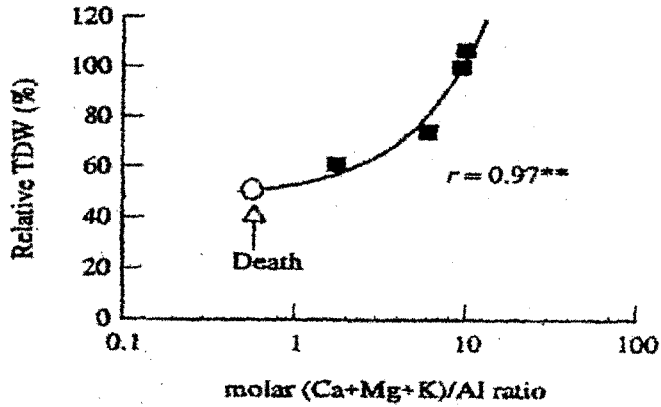


Fig. 24. The relationship between molar (Ca+Mg+k)/Al ratio in the brown forest soils and relative total dry weight(TDW) of *P. densiflora* seedlings.

#### 나. 오염임지 토양의 개량시험

Table 43에 육성개시 24주후의 Ca 및 Mg처리가 소나무 묘목의 건중량에 미치는 영향을 나타내었다. Ca처리에서는 각 기관 및 개체전체의 건중량은 대조치에 비하여 모든 Ca처리구에서 증가하였으나, Ca 0.3% 이상의 처리구에서 유의적으로 증가하였다.

한편 Mg 처리에서는 각 기관 및 개체전체의 건중량은 대조치에 비하여 Mg 0.03% 처리구를 제외한 모든 Mg 처리구에서 유의적으로 증가하였다.



Table 43. The effect of Ca and Mg treatment on dry weight of of *P. densiflora* seedlings.

Treatment	Soil treatment	Dry weight (g)			
		Needle	Trunk	Root	Whole-plant
Initial		5.7	3.6	3.7	12.9
Ca treatment	Control	5.8	4.8	4.7	15.3 a
	Ca 0.1%	6.8	5.7	5.2	17.7 a
	Ca 0.2%	7.8	6.6	4.7	18.9 ab
	Ca 0.3%	10.4	6.7	6.0	23.1 b
	Ca 0.5%	7.7	7.3	5.9	21.0 b
Mg treatment	Control	5.8	4.8	4.7	15.3 a
	Mg 0.03%	5.8	4.7	4.4	14.8 a
	Mg 0.05%	7.8	6.3	5.5	19.6 b
	Mg 0.1%	11.8	9.1	7.4	28.4 c
	Mg 0.2%	9.3	8.4	8.0	25.7 c

## 引用文獻

- 高橋啓二・沖律 進・植田洋匡. 1986. 關東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性. 森林立地 28 : 11~17.
- 橋本 武. 1992. 酸性土壤と作物生育. 養賢堂. pp. 40~51.
- 金遵敏, 金喆洙, 朴奉奎(共譯). 1987. 植生調査法-植物社會學的研究法-, 日新社김태훈 外 13人. 1994. 환경오염이 산림생태계에 미치는 영향. 과학기술처. 161pp.
- 吉田 稔・川畑洋子. 1988. 酸性雨の土壤による中和機構. 日本土壤肥料學雜誌 59: 413~415.
- 鈴木 清. 1992. 神奈川縣大山のモミ林枯損経緯とその周邊地域の年輪幅の變化. 神奈川縣林業試驗場報告 19 : 23~42.
- 須田隆一 外 9人. 1992. 寶滿山(福岡縣)自然モミ林の衰退に関する調査. 環境と測定技術 19 : 49~58.
- 李壽煜・閔一植. 1989. 大氣汚染 및 酸性雨が 森林生態系の 土壤酸度 및 養料分布에 미치는 影響. 韓國林學會誌 78 : 11~25.
- 李忠和・伊豆田 猛・青木正敏・戸塚 績・加藤秀正. 1998. 硫酸添加により酸性化させた褐色森林土で育成したアカマツ苗の成長および光合成活性. 日本土壤肥料學雜誌 69 : 53~61.
- 임업연구원. 1998. 1998년 임업연구 사업 보고서(미발표자료).
- 杉山恵一・進士五十八. 1992. 自然環境復元の技術. 朝倉書店.
- 이창복. 1979. 대한식물도감, 향문사. pp. 999.
- 전영신・조하만・권원태. 1994. 한반도 중부지방에서 관측된 1992-1993년 산성비의 특성과 공기 이동 경로 분석. 대기보전학회지 10 : 175~182.

- Abrahamsen, G. 1984. Effects of acidic deposition on forest soil and vegetation. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B305 : 369~382.
- Arnon, D.L. 1949. Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Betula vulgaris*. Plant physiol. 24:1-15.
- Brower, J.E. and J.H. Zar. 1977. Field and laboratory method for general ecology. Wm. C. Grown Co. Publ. Zowa. pp. 184.
- Brodin, Y-W. and J.C.I. Kuylenstierna. 1992. Acidification and critical loads in Nordic countries: A background. AMBIO 21 : 332~338.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensozologie, Grundzude der Vegetationskunde. 3rd ed. Springer, N.Y.
- Cronan, C.S. and D.F. Grigal. 1995. Use of calcium/aluminum ratio as indicators of stress in forest ecosystem. J. Environ. Qual. 24 : 209~226.
- Dieter Mueller-Dombois and Heinz Ellenberg. 1974. Aims and Methods of vegetation ecology, John Wiley and Sons
- Göransson, A. and T.D. Eldhuset. 1991. Effects of aluminum on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants. Trees 5 : 136~142.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334.
- Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. Edward Arnold Publishers Ltd. pp. 8~25.

- Krause, G.H.M., U. Arndt, G.J. Brandt, J. Bucher, G. Kent, and E. Matzner. 1986. Forest decline in Europe: Development and possible causes. *Water, Air and Soil Pollution* 31 : 647~668.
- Mohnen, V.A. 1988. The challenge of acid rain. *Sci. Am.* 259 : 14~22.
- Rengel, Z. 1992. Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytol.* 121 : 499~513.
- Schaedle, M., F.C. Thornton, D.J. Raynal, and H.B. Tepper. 1989. Response of tree seedlings to aluminum. *Tree Physiology* 5 : 337~356.
- Sverdrup, H., P. Warfvinge, and B. Nihlgård. 1994. Assessment of soil acidification on forest growth in Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 78 : 1~36.
- Ulrich, B., R. Mayer, and P.K. Khanna. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a Loess-derived soil in Central Europe. *Soil Sci.* 130 : 193~199.
- Yu, S.W., Y.M. Bian, G.J. Ma, and J.J. Luo. 1990. Studies on the causes of forest decline in Nanshan, Chongqing. *Environmental Monitoring and Assessment* 14 : 239~246.

여 백

### 제 3 장 임해매립지의 토양관리 및 식재기술 개발

#### Development of Soil Management and Transplanting Techniques for Reclaimed Foreshore Lands

최 경  
변 재 경  
유 택 규  
정 진 현  
김 춘 식  
최 명 섭  
성 주 한  
박 현  
이 원 규  
이 봉 수  
김 기 환  
김 의 준  
임 채 철  
염 정 식  
양 동 민  
변 영 철  
강 서 병  
유 지 훈

# 여 백

## 제 1 절. 서설

국토의 효율적 이용과 제한된 국토면적의 확장은 물론 안정적 식량 공급 등의 목적으로 추진된 국토개발사업은 주로 서해와 남해안의 해안수변공간(seaside waterfront)을 개발하는데 중점을 두고 시행되어 왔다.

수변공간의 활용은 개발초기인 일제시대에는 주로 서해안을 대상으로 식량자원 확보를 위한 농업용 간척사업이 주요 관심 대상이었으나, 60년대 이후 공업화가 진행되면서 매립을 통한 임해공단, 항만조성 등으로 변천되었다. 70년대 이후에는 인구 과밀로 인한 주거 공간 및 공업용지의 확보라는 측면에서 신도시 개발이 이루어졌으며, 80년대 이후에는 수변공간의 활성화를 도모하여 여가의 개념을 포함한 친수성을 반영하는 본격적인 해안수변공간 개념이 도입되었다(Bradshaw, 1983).

국외의 경우 역시 산업용, 조력발전용 및 항만, 신도시 등으로 활용되어 왔으며, 최근에는 공항, 인공섬, 해상공원 및 해상신도시 등의 새로운 측면에서의 접근이 시도되어 인공구조물을 이용한 자연조건의 완화 및 해안공간의 활용·보존을 포함하는 사업계획이 추진되고 있다(千葉縣農林部, 1975; Bird, 1987; 土地開發公社, 1989; 宇多, 1991).

국내의 경우 광양제철, 대불산업기지, 반월공단, 시화공단, 남동공단, 아산공단, 군산공단 등 다수의 임해매립지가 조성되어 농업, 공업 및 주거용지로 이용되고 있으며, 2000년대 초반까지 20만 ha의 매립지사업이 계획되고 있다. 또한 전국적으로 간척개발 가능면적이 60만 ha에 달해 해안 및 도서지역을 이용한 간척사업으로 토



지이용 측면으로 볼 때 향후 임해매립지의 기여도가 증대될 것으로 기대된다.

임해매립지 토양은 매립과정과 매립 후에 심각한 환경변화를 동반하게 되는데, 매립재료는 주로 인근 산지의 심토가 유입되어 매립과정에서 토양물리성이 파괴되고 유효양분은 식물생육 요구량보다 낮은 함량을 갖게 된다. 더불어 매립지조성 이후 발생하는 모세관현상에 따른 염분상승, 매립과정에서 섞인 개흙에 의한 토양화학성 변화, 바다에서 유입되는 염류 등에 의한 피해, 방풍시설이 없는 노출지에서의 해풍으로 인한 피해 등으로 나타난다.

지반환경 악화의 대표적인 영향은 지하수질의 오염과 주변 식생의 생육 불량으로 확산되는데, 이로써 전체적인 주거 및 생활 환경의 취약화는 친환경적 개발에 역행되는 점이라 할 수 있다(이종석, 1980; 강전유, 1991; 조영길 등, 1992). 또한 매립지 조성과 관련된 부차적인 환경적 악영향 즉, 성토작업에 필요한 채토지의 훼손과 해안의 자연성 파괴 등도 수반됨을 고려할 때, 사업계획 수립 단계는 물론 추진 과정에서 환경적 문제를 최소화하기 위한 다각적인 기술개발이 전제되어야 할 것이다(구본학 등, 1999).

국내 임해매립지의 토지이용계획은 주로 산업시설 조성에 목적을 두고 있으나, 환경에 대한 새로운 인식과 쾌적한 주거환경 조성을 위한 녹지조성 비율도 상당부분을 차지하고 있다. 이러한 측면에서 임해매립지 식재수종의 일차적 역할이 염해방지에 국한된다면 심근성이며 내염성이 강한 초본류와 일부 수목으로 가능하겠지만, 친환경적 해변경관 및 쾌적한 생활환경 조성이라는 목적하에서는 적정 수목의 선정과 식재지반 조성이 간과되어서는 안될 것이다(김일중 등, 1977; 千葉縣林業試驗場, 1987). 따라서 수목에 영향을 주는 여

러 인자에 대한 고려가 선행되어야 만이 생태적 측면에서의 건전성도 함께 도모할 수 있는 것이다.

매립지 수목에 영향을 주는 주요 환경인자는 바다로부터의 강풍과 조풍 및 염분함량이 높은 토양이라 할 수 있다(Hoffman 등, 1989).

이러한 환경인자에 대한 수목의 내성은 관련 인자의 영향력과 수종에 따라 각기 다르며, 엽의 수분함량, 생육기, 발근성은 물론 토양내 염의 형태와 농도 및 전기전도도를 포함한 토양의 이화학적 등도 내성 반응에 관련하는 주요 인자들이다(Etherington, 1982; Loveland, 1990).

따라서 본 연구는 임해매립지에 식재되는 수목의 생태적 유지관리를 위하여 식재지반 조성방법, 적정 복토높이, 비배관리, 내염성 수종선정 및 식재기술을 개발하는데 목적이 있으며, 이를 위하여 매립지 실태조사, 토양단면조사 및 이화학적 분석, 식생조사, 실연시험 및 복토 높이별 pot시험을 실시하였다.

## 제 2 절. 재 료 및 방 법

### 1. 공단별 입지환경 특성

#### 가. 공단별 토양조사

대표적인 표준지를 선정하고 토양깊이별로 입지환경 및 토양단면특성을 산림입지조사요령(산림청, 1995)에 의거 토양을 조사, 분류하였다.

#### 나. 실연시험별 토양단면조사

##### 1) 복토높이별 식재시험지

복토높이별 식재시험지의 시향굴취는 각 처리별로 3곳을 선정하여 갯벌이 나올 때까지 파고 갯벌에서부터 20cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm 부위의 토양단면 특성을 산림입지조사요령(산림청, 1995)에 의거 조사하였다.

##### 2) 가로수식재 시험지

각 수종별로 5개 지점에서 10~20cm 부위와 40~50cm 부위의 토양단면 특성을 조사하고 토양의 이화학성 분석을 위한 시료를 채취하였다.

#### 다. 토양의 경시적 변화지 조사

대표적인 표준지를 선정하고 토양깊이별로 입지환경 및 토양단면특성을 산림입지조사요령(산림청, 1995)에 의거 토양을 조사, 분류하고 동일한 지역에서 2년마다 토양시료를 채취하여 토양의 화학성 변화를 분석하였다.

## 라. 토양의 이화학적 성질 분석

토양가비중과 삼상은 100cc 원통 can을 이용하여 층위별로 채취하였으며, 토양의 화학적성질을 분석하기 위한 시료는 깊이별로 1kg의 토양시료를 채취하여 실험실로 운반하고 실내에서 건조시킨후 10mesh(2mm)를 통과한 것을 아래 방법에 의해 분석하였다.

### 1) 물리적성질

- ① 토성: 미농무성(USDA)의 Hydrometer 측정법
- ② 가비중, 삼상 : 100cc 원통 can을 이용한 건조법

### 2) 화학적성질

- ① 산도(pH) : 토양과 증류수의 비율은 1:5이며 pH meter로 측정
- ② 유기물(O.M) : Tyurin 적정법
- ③ 전질소(T-N) : Kjeldahl 적정법
- ④ 유효인산( $P_2O_5$ ) : Lancaster 비색법(720nm)
- ⑤ 양이온치환용량(C.E.C) : Brown법
- ⑥ 칼륨(K), 나트륨(Na) : Flamephotometer 측정법
- ⑦ 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg) : I.C.P 측정법
- ⑧ 전기전도도(E.C) : EC meter 측정법
- ⑨ 염분(NaCl) : Mohs 적정법

## 2. Pot 시험

### 가) 복토높이별 Pot시험

#### 1) 공시수종

해송(1-2년생)

## 2) 처리내용

대조구, 20cm, 50cm, 100cm, 150cm 복토구

## 3) 시험규모

2수준×5처리×3반복 = 30 pot

## 4) 조사항목

처리별 고사율조사, 신초, 간장 및 근원경 생장조사

## 5) 실시방법

가로 60cm, 세로 60cm, 높이는 각각 50cm, 70cm, 100cm, 150cm, 200cm의 아크릴 pot에 시화공단에서 채취한 갯벌흙을 50cm 높이로 채워 넣고 그 위에 화강암모재 토양을 20cm, 50cm, 100cm, 150cm를 복토하였으며 대조구는 갯벌흙만 채우고 복토는 하지 않았다.

pot 밑부분에 바닷물을 담아 둘 수 있도록 제작하여 바닷물을 공급해주는 것과 공급하지 않는 pot로 나누고 복토높이별로 3반복씩 총 30개의 pot를 설치하였으며, pot당 해송 3년생(1-2묘) 묘목 4주씩 총 120본을 97년 4월 9일과 4월 10일에 식재하였다.

바닷물을 공급해주는 처리구는 바닷물을 항상 담아 둘 수 있도록 아크릴로 제작하여 시화공단앞 바다에서 채취한 바다물을 pot 밑부분에 15cm 높이로 채웠으며, 관수는 pot가 마르지 않도록 물 뿌리개를 사용하여 pot마다 일정량을 관수하였다.

## 3. 실연시험

가. 복토높이별 식재시험

1) 시화공단

경기도 시흥시 시화공단내 14호 완충녹지대 13,680㎡(1.4ha)에 한국수자원공사 사업비(소요예산 : 44,169천원)로 1999년 4월에 북토높이별 식재시험지를 조성하였다.

가) 공시수종

해송, 자귀나무, 모감주나무, 팔배나무

나) 처리내용

대조구, 0.9m, 1.4m, 1.8m, 2.2m 북토구

다) 시험규모

4수종×5처리×3반복 = 60plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 성장조사

마) 시험지 배치

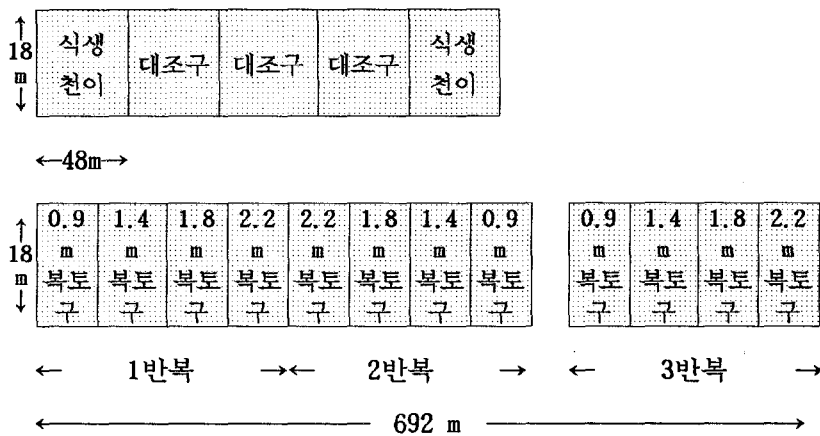


Fig. 1. Arrangement of sites for soil-covering depth experiment in Sihwa industrial complex.

## 바) 실시방법

당초 아산국가공단의 복토높이별 식재시험지와 같이 각 처리별 복토높이를 0.5m씩 차이를 두어 대조구, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구로 시행하려 했으나 토양조사를 위한 시험을 굴취한 결과 당초 계획한 복토높이보다 시공과정에서 약간씩 더 복토되었다. 따라서 아산국가공단과 복토높이의 차이를 두어 보다 다양한 높이별로 시험을 실시하는 것도 좋을 것이라 판단되어 복토높이를 조절하지 않고 그대로 실시하였다.

복토높이별 식재시험의 대조구는 갯벌에 단목객토를 하여 식재하였는데, 식재방법은 갯벌에 직경 1m, 깊이 1m의 식재구덩이를 파고 그 안에 썩는 비닐 sheet를 넣은 다음 인근 산에서 운반한 토양을 채워 넣고 수목을 식재하였다.

공시목으로 사용된 수종들은 내염성이 강하면서 척박한 토양에서도 잘 견디는 수종을 선정하였고, 해송을 제외하고는 아산국가공단의 복토높이별 식재시험에 사용된 수종들은 배제하여 중복되지 않도록 하였으며, 시험에 사용된 수종은 해송, 자귀나무, 팔배나무, 모감주나무 등 4수종 792주 이었다.

공시목 생산지는 가급적 시화공단과 가까운 장소를 선택하되 동일한 포장에서 생산된 수목중에서 수고, 근원경 및 수형 등이 균일한 것들을 선택하였고 뿌리분의 크기는 근원경의 5배 이상으로 하였으며, 식재전날 굴취하고 식재당일 아침에 운반하여 그 즉시 당일 식재하는 것을 기본원칙으로 하였다.

공시목의 규격, 처리별 식재수량, 식재일자 및 생산지는 Table 1과 같았다.

Table 1. List of planting trees for soil-covering depth experiment in Sihwa industrial complex.

수종	규격	처리명	식재 본수	식재 일	생산지
해송	H1.5×W0.8	갯벌구	18	'99. 4.17	경기 화성군 봉담면 수천리
		0.9m복토구	45		
		1.4m복토구	45		
		1.8m복토구	45		
		2.2m복토구	45		
		소계	198		
자귀 나무	H2.5×R4.0	갯벌구	18	'99. 4.18	충남 논산시 양촌면 거사리
		0.9m복토구	45		
		1.4m복토구	45		
		1.8m복토구	45		
		2.2m복토구	45		
		소계	198		
모감주 나무	H2.0×R4.0	갯벌구	18	'99. 4.20	충남 논산시 가야곡면 등리
		0.9m복토구	45		
		1.4m복토구	45		
		1.8m복토구	45		
		2.2m복토구	45		
		소계	198		
팔배 나무	H3.0×R4.0	갯벌구	18	'99. 4.21	경기 안성시 죽산면 죽산리
		0.9m복토구	45		
		1.4m복토구	45		
		1.8m복토구	45		
		2.2m복토구	45		
		소계	198		
		계	792		

H : 수고(m), R : 근원경(cm), W : 수관폭(m)

2) 아산국가공단(면적: 8,345㎡)

가) 공시수종

해송, 화백, 느티나무, 상수리나무



나) 처리내용

대조구, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 복토구

다) 시험규모

4수종×5처리×3반복 = 60plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

마) 시험지 배치

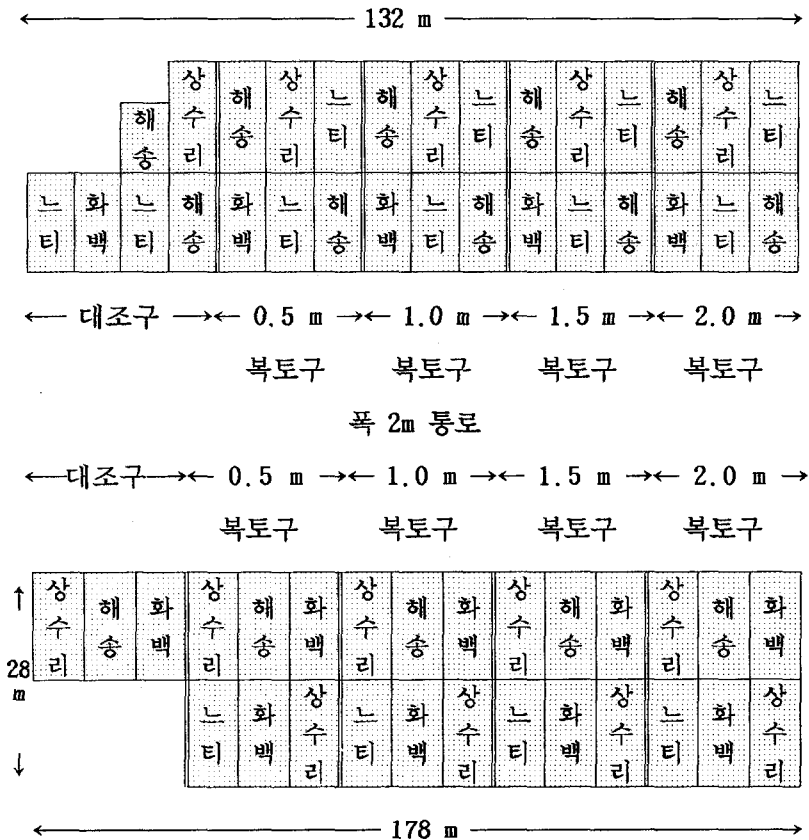


Fig. 2. Arrangement of sites for soil-covering depth experiment in Asan industrial complex.

바) 실시방법

경기도 평택시 아산국가공단 포송지구의 갯벌 8,345m<sup>2</sup>(0.85ha)에 1998년 4월 시험지를 조성하였고, 공시목 식재요령은 시화공단과 동일한 방법으로 실시하였으며 공시목 식재 현황은 Table 2와 같다.

Table 2. List of planting trees for soil-covering depth experiment in Asan industrial complex.

수종	규격	처리명	식재 본수	식재 일	생산지
해송	H2.5×W0.8	갯벌구	36	'98. 4.25	충남 서산시 고북면 남정리
		0.5m복토구	36		
		1.0m복토구	36		
		1.5m복토구	36		
		2.0m복토구	36		
		소계	180		
화백	H2.5×W0.8	갯벌구	36	'98. 4.25	충남 서산시 팔봉면 어송리
		0.5m복토구	36		
		1.0m복토구	36		
		1.5m복토구	36		
		2.0m복토구	36		
		소계	180		
느티 나무	H3.0×R6.0	갯벌구	36	'98. 4.25	충남 태안군 태안읍 평천리
		0.5m복토구	36		
		1.0m복토구	36		
		1.5m복토구	36		
		2.0m복토구	36		
		소계	180		
상수리 나무	H2.5×R6.0	갯벌구	36	'98. 4.25	충남 서산시 운산면 거성리
		0.5m복토구	36		
		1.0m복토구	36		
		1.5m복토구	36		
		2.0m복토구	36		
		소계	180		
		계	720		

H : 수고(m), R : 근원경(cm), W : 수관폭(m)

나. 식재지반 조성방법별 식재시험

1) 시화공단

경기도 시흥시 시화공단내 옥구공원 부지의 갯벌지역 600㎡에 한국수자원공사 사업비(소요예산 34,381천원)로 99년 4월 식재지반 조성방법별 시험지를 조성하였다.

가) 공시수종

이팝나무, 패죽나무

나) 처리내용

대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구

다) 시험규모

2수종×4처리×3반복 = 24plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

마) 시험지 배치

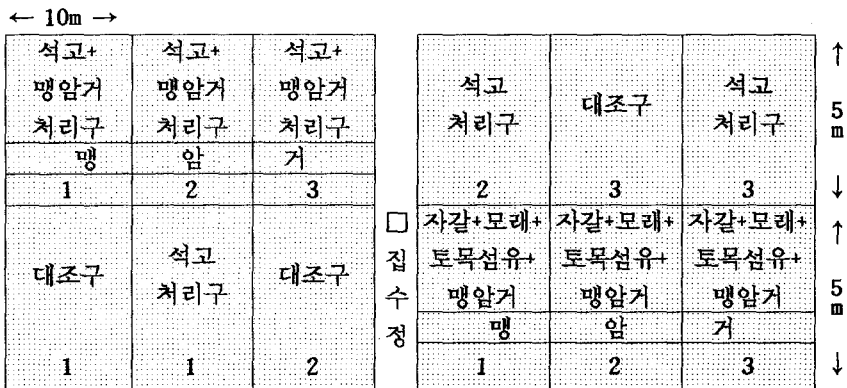


Fig. 3. Arrangement of sites for planting foundation and improvement experiment in Sihwa industrial complex.

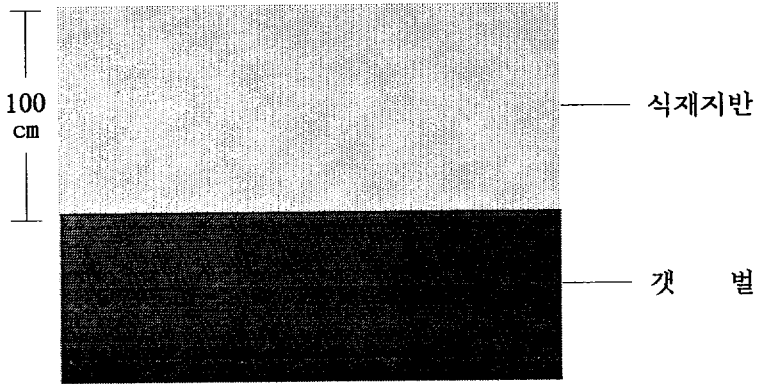
## 바) 실시방법

식재지반 조성방법별 시험은 모세관현상에 따른 염분상승을 복토를 최소화하면서도 어떠한 방법이 효과적으로 차단하고 적절한 수목생장 환경이 이루어지는 지를 구명하기 위하여 갯벌에 자갈, 모래, 부직포, 석고처리 및 맹암거설치 등을 처리하고 복토를 한 다음 수목을 식재하였다.

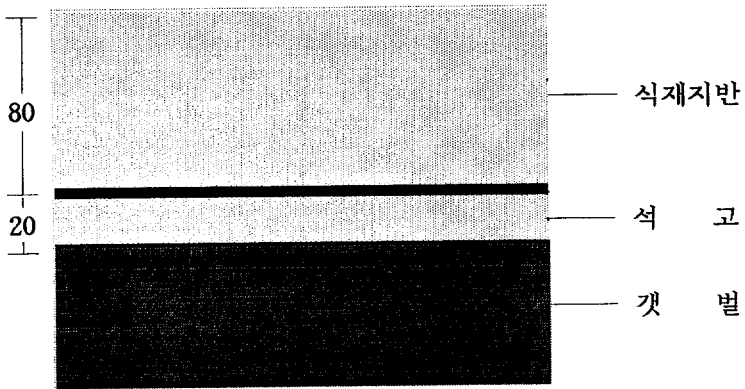
각 처리별 시험지 조성방법은 대조구는 갯벌위에 시화공단 인근의 산흙으로 1m를 성토하였고, 석고처리구는 갯벌위에 석고를 살포하고 1m를 성토하였고, 석고+맹암거설치구는 갯벌에 맹암거를 설치하고 석고를 살포한 다음 1m를 성토하였으며, 자갈+모래+토목섬유+맹암거설치구는 갯벌에 맹암거를 설치하고 나서 자갈 10cm와 부직포를 덮은 다음 모래 10cm를 깔고 그 위에 산흙으로 80cm를 성토하였다(Fig 4). 한편 각 처리별 경계는 토양수분의 이동방지와 식재수목의 뿌리가 타 처리구로 뻗는 것을 방지하기 위하여 갯벌에서부터 지표면까지를 비닐Sheet로 차단하였다.

공시목 생산지는 복토높이별 식재시험과 같이 가급적 시화공단과 가까운 장소를 선택하되 동일한 포장에서 생산된 수목중에서 수고, 근원경 및 수형 등이 균일한 것들을 선택하였고 뿌리분의 크기는 근원경의 5배 이상으로 하였으며, 식재전날 굴취하고 식재당일 아침에 운반하여 그 즉시 식재하는 것을 기본원칙으로 하였다.

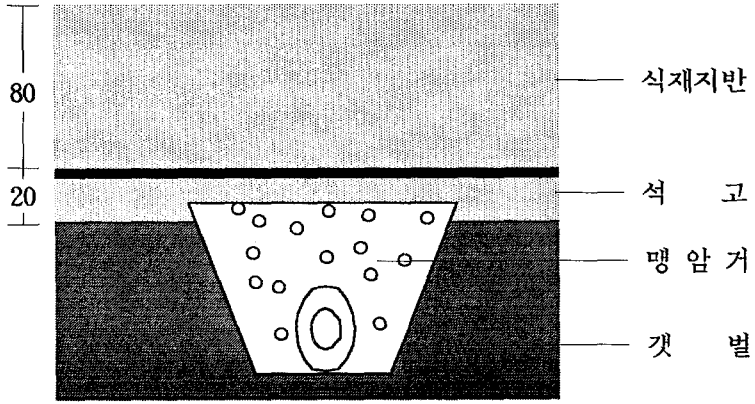
식재지반조성방법별 시험에 사용된 수종은 이팝나무와 때죽나무 2수종 240주였으며 공시목의 규격, 식재수량, 식재일자 및 생산지는 Table 3과 같다.



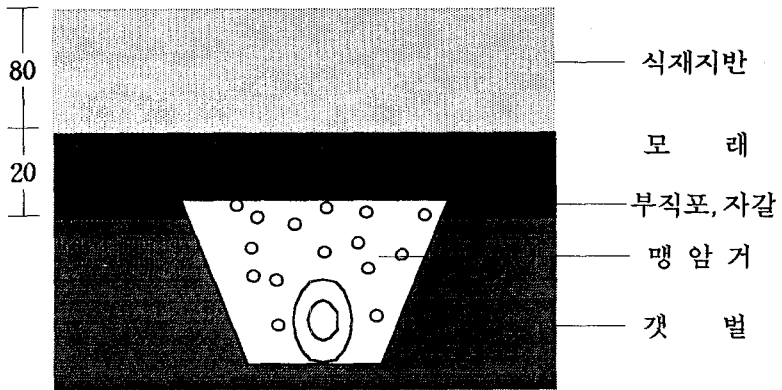
대조구



석고처리구



석고+맹압거설치구



자갈+모래+부직포+맹압거설치구

Fig. 4. Cross sections for planting foundation and improvement experiment in Sihwa industrial complex.

Table 3. List of planting trees for planting foundation and improvement experiment in Sihwa industrial complex.

수종	규격	처리명	식재 본수	식재 일	생산지
이팝 나무	H2.5 ×R5.0	대조구	30	'99. 4.19	충북 청원군 북내면 장대리
		석고처리구	30		
		석고+맹암거처리구	30		
		자갈+모래+부직포+ 맹암거처리구	30		
		<b>소계</b>	<b>120</b>		
때죽 나무	H2.5 ×R5.0	대조구	30	'99. 4.19	충북 청주시 상당구 오근장동
		석고처리구	30		
		석고+맹암거처리구	30		
		자갈+모래+부직포+ 맹암거처리구	30		
		<b>소계</b>	<b>120</b>		
		<b>계</b>	<b>240</b>		

H : 수고(m), R : 근원경(cm)

## 2) 아산국가공단

경기도 평택시 아산국가공단 포승지구내 갯벌지역 2,090㎡ (0.21ha)에 한국토지공사 사업비로 1998년 4월 식재지반 조성방법별 시험지를 조성하였다.

### 가) 공시수종

해송, 참느릅나무

### 나) 처리내용

대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구

다) 시험규모

$$2\text{수종} \times 4\text{처리} \times 3\text{반복} = 24\text{plot}$$

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

마) 시험지 배치

	석고 처리구	자갈+ 모래+ 부직포+ 맹암거	자갈+ 모래+ 부직포+ 맹암거	자갈+ 모래+ 부직포+ 맹암거			
		맹 암 거					
	1	1	2	3			
대조구	석고 처리구	석고+ 맹암거	석고+ 맹암거	석고+ 맹암거	대조구	석고 처리구	대조구
		맹 암 거					
1	2	3	2	1	2	3	3

Fig. 5. Arrangement of sites for planting foundation and improvement experiment in Asan industrial complex.

바) 실시방법

식제지반 조성방법 및 공시목 식재방법은 시화공단에서와 같은 기준으로 실시 하였으며 식제수량은 수종별로 각 처리당 27주씩 108주를 식재하였다(Table 4).



Table 4. List of planting trees for planting foundation and improvement experiment in Asan industrial complex.

수종	규격	처리명	식재 본수	식재 일	생산지
해송	H2.5 ×W0.8	대조구	27	'98. 4.25	충남 서산시 고북면 남정리
		석고처리구	27		
		석고+맹암거처리구	27		
		자갈+모래+부직포 +맹암거처리구	27		
		<b>소계</b>	<b>108</b>		
참느릅 나무	H2.5 ×R4.0	대조구	27	'98. 4.25	충남 논산시 양촌면 거사리
		석고처리구	27		
		석고+맹암거처리구	27		
		자갈+모래+부직포 +맹암거처리구	27		
		<b>소계</b>	<b>108</b>		
		<b>계</b>	<b>216</b>		

H : 수고(m), R : 근원경(cm), W : 수관폭(m)

다. 가로수 식재시험

1) 시화공단

가) 공시수종

팽나무, 느티나무, 은행나무, 회화나무

나) 처리내용

① 토양개량재별(4처리)

퇴비처리구, 바이오그로처리구, 퇴비+석고+고형복합비료처리

구, 바이오그로+바크처리구

② 식재지반조성별(4처리)

대조구, 석고처리구, 석고+유공관처리구, 자갈+모래+부직포  
처리구

다) 시험규모

4수종×8처리×20주 = 640주

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 성장조사

Table 5. List of planting trees for street trees experiment in  
Sihwa industrial complex.

수종	규격	식재 본수	식재일	생산지
팽나무	H4.0×R8.0	160	'97.4.26	충남 당진군 정미면 덕산리
느티나무	H3.0×R8.0	160	'97.5.17	경기 용인시 양지면 양지리
은행나무	H4.0×B6.0	160	'97.5.21	경기 안성읍 설정면 소구리
회화나무	H4.0×R8.0	160	'97.5.22	경기 이천시 모가면 능가리
계		640		

H : 수고(m), R : 근원경(cm), B : 흉고직경(cm)

2) 아산국가공단

가) 공시수종

중국단풍, 버즘나무, 회화나무, 팽나무

나) 처리내용

① 토양개량재별(4처리)

② 식재지반조성별(4처리)

다) 시험규모

$$4\text{수종} \times 8\text{처리} \times 20\text{주} = 640\text{주}$$

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

Table 6. List of planting trees for street trees experiment in Asan industrial complex.

수종	규격	식재 본수	식재일	생산지
중국단풍	H3.5×R10	160	'98.4.18	전북 익산시 함라면 신대리
버즘나무	H3.5×B8	160	'98.4.28	충남 대전시 유성구 용계동
회화나무	H4.5×R10	160	'98.4.29	경기 파주군 광탄면
팽나무	H4.0×R10	160	'98.4.21	충남 태안군 태안읍 평천리
계		640		

H : 수고(m), R : 근원경(cm), B : 흉고직경(cm)

라. 해풍차단효과시험

1) 아산국가공단

가) 공시수종

해송, 측백나무, 단풍나무, 상수리나무

나) 처리내용

대조구, 방풍막설치구

다) 시험규모

$$4\text{수종} \times 2\text{처리} \times 3\text{반복} = 24\text{plot}$$

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

Table 7. List of planting trees for seawind blocking experiment in Asan industrial complex.

수 종	규 격	식재 본수	식재일	생 산 지
해 송	H2.5×W0.8	108	'98.4. 9	충남 서산시 고북면 남정리
측백나무	H2.5×W0.8	108	'98.4.14	충남 연기군 남 면 종촌리
상수리나무	H2.5×R6	108	'98.4.11	충남 서산시 운산면 거성리
단풍나무	H2.5×R6	108	'98.4. 9	충남 서산시 팔봉면 진장리
계		432		

H : 수고(m), R : 근원경(m), W : 수관폭(m)

2) 군산국가공단

가) 공시수종

해송, 잣나무, 모감주나무, 회화나무

나) 처리내용

대조구, 방풍막설치구

다) 시험규모

4수종×2처리×3반복 = 24plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

Table 8. List of planting trees for seawind blocking experiment  
in Kunsan industrial complex.

수 종	규 격	식재 본수	식재일	생 산 지
해 송	H2.5×W1.2	72	'97.5.20	충남 서산시 고북면 남정리
잣나무	H2.5×W1.5	72	'97.4.30	전북 진안군 진안읍 반원리
모감주나무	H3.0×R6.0	72	'97.5.1	충남 서산시 팔봉면 진장리
회화나무	H3.5×R6.0	72	'97.5.1	충남 논산시 두마면 노수리
계		288		

H : 수고(m), R : 근원경(cm), W : 수관폭(m)

마. 이단식재 및 군상식재시험

1) 시화공단

가) 공시수종

해송, 메타세쿼이아, 서어나무, 왕벚나무

나) 처리내용

대조구, 이단식재구, 이단혼효식재구, 군상식재구,  
군상혼효식재구

다) 시험규모

4수종×5처리×3반복 = 60plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

마) 실시방법

식재방법은 대조구는 수목 식재간격이 4m로 식재하였고, 이단 식재구는 대목을 4m 간격으로 심고 나무 사이에 같은 수종의 묘목을 식재하였고, 이단혼효식재구는 침엽수 대목을 4m 간격으로 심고 나

무 사이에 하층목으로 활엽수 묘목을 식재하였고, 군상식재구는 식재수목 간의 거리가 2m로 식재하였고, 군상혼효식재구는 식재수목 간의 거리가 2m이나 침엽수와 활엽수를 혼합하여 식재하였다.

Table 9. List of planting trees for double storied and group planting experiment in Sihwa industrial complex.

시험명	수종	규격	식재 수량	식재 일	생산지
이단 식재시험	해송	H2.0×W1.2	180	5.15	충남 서산시 팔복면 진장리
		H1.0×W0.8	120	5.15	충남 서산시 팔복면 진장리
	메타세쿼이아	H3.5×B4.0	180	5.21	대전 광역시 중구 사정동
		H2.0×B2.0	120	5.22	경기 고양시 덕양구 원당동
	서어나무	H3.5×R6.0	120	5.14	충남 논산시 여산면 신암리
		H2.0×R3.0	180	5.14	충남 논산시 여산면 신암리
	왕벚나무	H2.5×B3.0	120	5.25	경기 포천군 신북면 심곡리
		H1.5×B1.0	180	5.23	경북 경산시 하양읍 중산동
소계			<b>1,200</b>		
군상 식재시험	해송	H2.0×W1.2	90	5.15	충남 서산시 팔복면 진장리
	메타세쿼이아	H3.5×B4.0	90	5.21	대전 광역시 중구 사정동
	서어나무	H3.5×R6.0	90	5.14	충남 논산시 여산면 신암리
	왕벚나무	H2.5×B3.0	90	5.25	경기 포천군 신북면 심곡리
	소계			<b>360</b>	
계			<b>1,560</b>		

H : 수고(m), W : 수관폭(m), R : 근원경(cm), B : 흉고직경(cm)

2) 아산국가공단

가) 공시수종

해송, 스트로브잣나무, 느릅나무, 이팝나무

나) 처리내용

대조구, 이단식재구, 이단혼효식재구, 군상식재구, 군상혼효식재구

다) 시험규모

4수종×2처리×3반복 = 60plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 성장조사

마) 실시방법

식재방법은 대조구는 수목 식재간격이 3.4m로 식재하였고, 이단식재구는 대목을 4.5m 간격으로 심고 나무 사이에 같은 수종의 묘목을 식재하였고, 이단혼효식재구는 침엽수 대목을 4.5m 간격으로 심고 나무 사이에 하층목으로 활엽수 묘목을 식재하였고, 군상식재구는 식재수목 간의 거리가 2.25m로 식재하였고, 군상혼효식재구는 식재수목 간의 거리가 2.25m이나 침엽수와 활엽수를 혼합하여 식재하였다.

Table 10. List of planting trees for double storied and group planting experiment in Asan industrial complex.

시 험 명	수 종	규 격	식재 본수	식재 일	생 산 지	
이단 및 군상 식재 시험	대 목	해 송	H2.5×W0.8	474	'98. 5.29	충남 태안군 소원면 법산리
		느릅나무	H3.0×R6.0	296	'98. 5.23	경기 수원시 천천동
		스트로브잣나무	H2.5×W1.2	474	'98. 5.9	충남 천안군 광덕면 원덕리
		이팝나무	H3.0×R4.0	296	'98. 5.18	충남 연기군 남 면
		소 계		1,540		
	묘 목	해 송	H0.5	356	'98. 5.28	전남 영암군 군서면 마산리
		느릅나무	H0.7	454	'98. 5.22	충남 논산시 두마면 농수리
		스트로브잣나무	H0.6	356	'98. 5.9	강원 홍천군 홍천읍 결운리
		이팝나무	H1.0	454	'98. 5.17	경기 화성군 장암면 수촌리
		소 계		1,620		
	계		3,160			

H : 수고(m), W : 수관폭(m), R : 근원경(cm), B : 흉고직경(cm)



3) 군산국가공단

가) 공시수종

해송, 은행나무, 소사나무, 팽나무

나) 처리내용

대조구, 이단식재구, 이단혼효식재구, 군상식재구, 군상혼효  
식재구

다) 시험규모

4수종×2처리×3반복 = 60plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

Table 11. List of planting trees for double storied and group planting experiment in Kunsan industrial complex.

시험명		수종	규격	식재 본수	식재 일	생산지
이단 식재 시험	대목	해송	H2.5×W1.2	108	'97. 5.20	충남 서산시 고북면 남정리
		은행나무	H3.0×B4.0	108	'97. 5. 2	전북 정읍시 감곡면 화혜리
		팽나무	H3.5×R6.5	72	'97. 5. 6	전북 남원시 내척동
		소사나무	H3.5×R6.0	72	'97. 5. 2	전북 익산시 남산면 삼남리
		소계		<b>360</b>		
	묘목	해송	H1.2×W0.8	72	'97. 5.20	충남 서산시 고북면 남정리
		은행나무	H1.5×B2.0	72	'97. 5. 3	전북 정읍시 감곡면 화혜리
		팽나무	H2.0×R3.0	108	'97. 5. 6	전북 남원시 내척동
		소사나무	H2.5×R3.0	108	'97. 5. 2	전북 익산시 남산면 삼남리
		소계		<b>360</b>		
군상 식재 시험	해송	H2.5×W1.2	54	'97. 5.20	충남 서산시 고북면 남정리	
	은행나무	H3.0×B4.0	54	'97. 5. 4	전북 정읍시 감곡면 화혜리	
	팽나무	H3.5×R6.5	54	'97. 5. 6	전북 남원시 내척동	
	소사나무	H2.0×R3.0	54	'97. 5. 1	전북 익산시 남산면 삼남리	
	소계		<b>216</b>			
		계		<b>936</b>		

H : 수고(m), W : 수관폭(m), R : 근원경(cm), B : 흉고직경(cm)

마) 실시방법

식재방법은 시화공단과 같이 대조구는 수목 식재간격을 4m로 식재하였고, 이탄식재구는 대목을 4m 간격으로 심고 나무 사이에 같은 수종의 묘목을 식재하였고, 이탄혼효식재구는 침엽수 대목을 4m 간격으로 심고 나무 사이에 하층목으로 활엽수 묘목을 식재하였고, 군상식재구는 식재수목 간의 거리가 2m로 식재하였고, 군상혼효식재구는 식재수목 간의 거리가 2m이나 침엽수와 활엽수를 혼합하여 식재하였다.

바. 수목적응시험

1) 아산국가공단

가) 공시수종

상수리나무, 고로쇠나무, 자귀나무, 쉬나무, 포플러류(현사시나무, 황철나무)

나) 처리내용

대조구, 멀칭구

다) 시험규모

5수종×3반복 = 15plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

마) 실시방법

공시수종중 포플러류는 식재본수 216주중에 108본씩 나누어 황철나무와 현사시나무를 식재하였다. 상수리나무, 자귀나무, 쉬나무, 고로쇠나무는 실생 1년생 묘목이었고 황철나무와 현사시나무는

삼목 1년생으로 키가 3m 정도였으나 식재시에는 뿌리에서 지상 30cm 정도만 남겨두고 잘라낸 뒤 식재하였다.

Table 12. List of planting trees for accomodation experiment in Asan industrial complex.

수 종	규 격	식재 본수	식재일	생 산 지
상수리나무	H0.5	216	'98.4.11	전북 정읍시 산외면 정량리
자귀나무	H0.5	216	'98.4.13	충북 괴산군 불정면 응동리
쉬나무	H1.2	216	'98.4.8	충남 태안군 태안읍 송암리
고로쇠나무	H1.2	216	'98.4.9	충남 천안시 성환읍 대흥리
황철나무	삼목1년	108	'98.4.8	경기 수원시 오목천동
현사시나무	"	108	'98.4.8	"
<b>계</b>		<b>1,080</b>		

H : 수고(m)

## 2) 군산국가공단

### 가) 공시수종

수양버들, 아까시나무, 팔배나무, 때죽나무, 히말라야시다

### 나) 처리내용

대조구, 바이오그로구, 석고+퇴비+고형복비구

### 다) 시험규모

5수종×3반복 = 15plot

### 라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

Table 13. List of planting trees for accomodation experiment in Kunsan industrial complex.

수 종	규 격	식재 본수	식재일	생 산 지
수양버들	1m	180	'97.5. 2	충남 연기군 금남면 봉기리
아까시나무	1년생	180	'97.5. 2	경북 문경시 갈동면 농암리
팔배나무	1년생	180	'97.5. 2	충남 아산시 둔포면 송용리
때죽나무	1년생	180	'97.5. 2	전남 영광군 영광읍 석만리
히말라야시다	1년생	180	'97.5. 2	경남 창원시 서상동
계		900		

사. 식재밀도시험

1) 아산국가공단

가) 공시수종

해송, 오리나무, 장구밥나무, 느릅나무, 소사나무, 아까시나무

나) 처리내용

10,000본/ha, 20,000본/ha, 40,000본/ha 식재구

다) 시험규모

6수종×3처리 = 18plot

라) 조사항목

처리별 및 수종별 고사율, 수고 및 근원경 생장조사

Table 14. List of planting trees for planting density experiment in Asan industrial complex.

수 종	규 격	식재 본수	식재일	생 산 지
해 송	H0.5	765	'98.4.13	충남 태안군 소원면 신두리
장구밥나무	H1.0	765	'98.4.13	충남 아산시 둔포면 송용리
오리나무	H0.5	765	'99.4.17	경북 문경시 농암면 갈동리
느릅나무	H0.7	765	'98.4.16	충남 논산시 두마면 농수리
소사나무	H0.7	765	'98.4.16	경북 문경시 농암면 갈동리
아까시나무	H0.5	765	'98.4.17	경북 문경시 농암면 갈동리
<b>계</b>		<b>3,825</b>		

H : 수고(m)

아. 종자파종시험

1) 아산국가공단

가) 공시수종

- ① 교목류: 해송, 오리, 자작나무, 아까시나무, 자귀나무
- ② 관목류: 쥐똥나무, 해당화, 참싸리, 족제비싸리
- ③ 초본류: 크로바

나) 시험규모 : 10종(840㎡)

다) 조사항목

발아율, 잔존율 및 성장조사

라) 실시방법

임해매립지와 같은 대단위 면적에 파종상, 흙덮기, 관수 등 유지관리를 일반 묘포장과 같이 실시할 수 없으므로 임해매립지 토양의 자연상태 조건에서 종자파종 가능성 여부를 판단하기 위하여 아산국가공단 1호 녹지대의 일부에 파종상을 만들어 지표면 고르기를

실시하고 종지를 뿌린 다음 갈퀴를 이용하여 흙을 덮었다.

발아촉진을 위하여 파종전에 종피가 두꺼운 참싸리와 족제비싸리는 물에 2일간 침수처리를 하였고 그 외 수종은 1일간 침수처리를 하였다.

#### 4. 해안 식생조사

바다와 인접한 해안사면에서 길이 20m, 폭 10m의 면적을 구획하여 조사구내 자생하는 상층 및 중층의 교목과 관목을 조사하였다.

#### 5. 토양효소검정

공시목 뿌리분의 토양과 각 시험지의 3~5곳을 선정하여 토양을 채취하고 토양중에 있는 인산화효소(acid-phosphatase) 및 탈수소효소(dehydrogenase)의 활성을 파악하였다.

#### 6. 임해매립지의 수목피해

임해매립지에 식재된 가로수, 녹지대 등에서 고사되고 있는 수종의 종류, 생육상태 및 수목고사 지역의 토양조사를 실시하였다.



Photo 1. Soil-covering experiment site before construction.



Photo 2. Soil-covering experiment site after construction.



Photo 3. Gypsum treatment in planting foundation and improvement experiment site.



Photo 4. Tree accommodation experiment site.



Photo 5. Planting density experiment site.



Photo 6. Street tree planting experiment site.





Photo 7. Soil profile in Shihwa industrial complex.



Photo 8. Soil profile in Asan industrial complex.



Photo 9. Soil profile in Asan industrial complex.



Photo 10. Soil profile in Kunsan industrial complex.

### 제 3 절. 결과 및 고찰

임해매립지는 수목생장에 나쁜 영향을 미치는 토양의 이화학적 성질, 염분을 함유한 모세관상승, 조풍해, 수중선정오류, 이식시기 및 식재기술상의 문제점 등으로 인하여 식재수목들이 고사하거나 생육상태가 불량하게 된다.

따라서 임해매립지에서 정상적인 수목생장을 하기 위해서는 어느 정도의 복토높이가 적절한지, 식재지반 조성방법은 어떠한 방법이 효과적인지, 해풍차단의 효과는 얼마나 있는지, 식재방법은 어떤 방법이 좋은지 등 임해매립지의 문제점을 구명하기 위하여 일반토사매립지인 시화공단에 복토높이별 식재시험외 3개 시험을 실시하였고 아산국가공단에서는 해풍차단효과시험, 가로수 식재시험 등 8개 시험을 실시하였으며 준설매립지인 군산국가공단에서는 복층림조성 및 군상식재시험 등 3개 시험을 실시하였다.

이들 3개 공단의 시험지 면적은 총 92,913m<sup>2</sup>(9.51ha)이고, 시험에 사용된 수종들은 시화공단은 해송, 자귀나무, 팔배나무 등 13수종이었고, 아산국가공단은 느티나무, 상수리나무, 느릅나무 등 22수종이었으며, 군산국가공단은 모감주나무, 소사나무, 팽나무 등 12수종이었는데 공단에 따라 중복되는 수종을 제외하면 총 식재수종은 32수종이었다.

시험에 사용된 공시목의 식재수량은 시화공단은 3,340주이었고 아산국가공단은 10,838주이었고 군산국가공단은 2,124주로 총 식재수량은 16,302주였다.

## 1. 임해매립지의 유형구분

임해매립지를 조성하는데 쓰이는 매립재료는 산흙이나 일반토사로 매립하는 방법과 바다속의 모래, 갯벌 등으로 매립하는 방법이 주로 쓰이고 있으며 매립재료에 따라서 토양의 물리화학적 성질은 크게 다르므로 임해매립지 조성방법에 따른 유형을 구분하였다.

### 가. 일반토사 매립지

바다에 방조제를 쌓고 그 안에 인근의 산흙과 일반토사로 매립하거나 갯벌 또는 염전지대에 흙으로 복토하여 공장부지, 주택단지, 녹지대 및 근린공원 등으로 이용하는 매립지이다.

### 나. 준설토 매립지

바다에 방조제를 쌓고 그 안에 매립예정지 밖의 바다속에 있는 모래와 갯벌 등을 펌프로 빨아올려 매립하고 공장부지, 주택단지 또는 근린공원 등으로 이용하는 매립지이다.

### 다. 일반토사+준설토 매립지

바다에 방조제를 쌓고 그 안에 인근의 산흙과 일반토사로 매립하거나 일부 지역은 바다속에 있는 모래와 갯벌을 펌프를 사용하여 빨아올려 매립하는 혼합방식의 매립지이다.

Table 15. List of reclaimed foreshore lands by reclamation type.

매립 유형	유형별 임해매립지
일반토사 매립지	시화공단, 아산국가공단, 목포대불공단 인천 남동공단
준설토 매립지	군산국가공단, 군장국가공단, 영종도 신공항, 새만금 간척지
일반토사+준설토 매립지	부산녹산공단

## 2. 공단별 입지환경 특성

### 가. 시화공단

#### 1) 공단 개황

시화공단은 경기도 시흥시 정왕동에 위치하고 있으며 매립전에는 갯벌과 염전지대였던 곳에 제방을 쌓고 인근의 산흙을 채취하여 1.5~2.5m 높이로 매립한 일반토사 매립지이다.

매립은 1993년~1999년까지 한국수자원공사에서 시행하였으며 총 면적은 2,370ha이고 조경면적은 300ha에 이르며 조경공사비는 약 1,000억원에 이르는 임해매립지이다.

매립후 토지이용은 공단을 동서로 나누어 주거지역과 공단지역으로 나누어 활용하고 있으며 완충녹지대, 공원, 가로수 등 수목식재는 2002년까지 시행될 예정이다.

본 연구에 필요한 시험지는 시화공단 3호 완충녹지의 2.2ha(22,050㎡)에 이단 및 군상식재시험지를 조성하였고, 14호 철로변 완충녹지의 1.4ha(13,680㎡)에 복토높이별 식재시험지를, 옥구공원의 0.2ha(600㎡)에 식재지반조성시험지를 조성하였으며 가로수 식재시험은 도로의 가로수로 식재예정인 수목을 활용하였다.

#### 2) 공단 토양조사

##### ① 토양 단면조사

매립조성시 중장비 등에 의한 답압 때문에 토심 50cm까지의 부위는 토양건밀도가 매우 높았으며 토양단면 곳곳에 개흙이 많이 섞여 있었다. 특히 하천변 녹지주변은 아파트와 공장 등 건물 신축시 터파기에서 나오는 개흙으로 성토하여 40~50cm 깊이에서 부터 다량의 개흙이 나타나 수목식재시 염분의 피해가 예상되었다.

공단지역의 가로수식재지는 타지역보다 답압의 정도가 덜하여 토심 1m 이하에서는 견밀도  $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$  였으며 복토토양도 모래가 많은 사양토로 성토하여 비교적 배수상태가 양호하였으나 2m 깊이에서 지하수가 출현하였다.

공단지역과 주거지역을 가르는 완충녹지대의 조성은 갯벌위에 인근 산흙으로 1.5m~2m 복토하여 마운딩한 곳으로서 성토한 흙은 주로 화강암모재층인 자갈이 많고 풍화가 덜된 거칠은 토양으로 복토하였다.

토양견밀도는 완충녹지대 축조시 사용한 중장비, 차량 등의 운행 때문에 매우 답압되어 있어 견밀도가 매우 높아  $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$  이상의 토양이 대부분이어서 토양물리성이 극히 나쁘다.

특히 완충녹지대의 정상부는 일반 산흙으로만 매립한 것이 아니라 개흙위에 산흙으로 복토하고 그위에 다시 개흙과 산흙으로 복토하는 형식을 취함으로써 불투수층이 생기고 답압의 정도가 타 지역보다도 매우 심해 통기성이 불량하였다.

완충녹지대 양쪽의 평탄한 녹지대는 축산부 조성시 갯벌이 일부 섞여 들어간 탕으로 복토높이가 일정하지 않아 40cm 깊이에서 개흙이 나타나는 지역이 있었으며 토양단면 중간중간에 개흙이 나타나는 지역도 있었다.

근린공원의 수목식재는 주로 화강암모재층의 자갈이 많은 토양으로 성토하고 식재하였으며 부분적으로는 점토(Clay)와 미사질(Silt)이 많은 적황색토양도 나타나고 있으며, 흉고직경 약 10cm 이상의 대목 식재지 주변은 이식시에 중장비 사용으로 근린공원내 다른 지역보다 토양이 매우 답압되어 있으며 전반적으로 지하수위가 높아(70~80cm) 식재된 수목의 고사가 많이 나타나고 있었다.

어린이공원은 시화공단내 다른 지역과 마찬가지로 여러 지역의 토양으로 성토하였기 때문에 층위마다 토색이 다양하였으며, 수목식재지는 추가로 50cm~1m 정도 성토하였기 때문에 완충녹지대나 근린공원보다 토양이 답압된 상태는 덜하였지만 부분적으로는 토양건밀도가 높은( $4.5\text{Kg}/\text{cm}^2$  이상)강건한 층위도 있었고 식재된 수목의 생육상태는 그다지 양호하지 못하였다.

## ② 토양의 이화학성

시화공단의 단면 곳곳에 나타나는 개흙은 모래 20%~30%내외, 미사 60%~70%내외, 점토 10%~15% 내외인 미사질양토(Silt Loam)였으며 매립재료로 사용된 토양은 모래 50%~70% 내외, 미사 20%~30% 내외, 점토 5%~10%내외인 양토(Loam) 또는 사질양토(Sandy Loam)가 대부분이었다.

토양산도는 pH 7이 넘는 알카리성토양이 많으므로 수목생장에 나쁜 영향을 미칠 우려가 있으며 이는 개흙에 함유된 다량의 염류가 pH에 영향을 준 것으로 판단된다.

유기물, 전질소, 유효인산의 함량이 매우 낮고 양이온치환용량(C.E.C)도 낮아 매우 척박한 토양이었으며 치환성양이온(K, Na, Ca, Mg)의 함량은 지역에 따라 높고 낮음의 기복이 심하였으며 이러한 원인은 개흙과 염분을 함유한 수분의 영향을 받은 것으로 생각된다.

일부지역에서 염분함량이 수목의 염분피해 농도인 0.05%이상으로 나타나 염분피해가 나타날 것으로 예상되었으며 현재 염분함량이 높게 나타나지 않은 지역이라도 복토높이가 충분하지 않을 경우 증발산량이 많은 가뭃기에는 모세관상승에 따라 일시적으로 염분함량이 높게 나타날 것으로 생각되었다.

### 3) 시험지 토양조사

#### 가) 복토높이별 식재시험지

##### ① 토양 단면조사

복토높이별 식재시험지의 시험굴취는 각 처리별로 3곳을 선정하여 갯벌이 나올 때까지 파고 갯벌에서부터 20cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm 부위의 토양단면 특성을 조사하였으며 처리별 토양단면 특성은 Table 16과 같았다.

Table 16. Characteristics of soil profile in sites for soil-covering depth experiment.

처리구	조사 깊이 (cm)	복토한 토양	건밀도 (mm)	토 색	토양단면 특징
0.9m 복토구	20	R	28	5YR 6/6	석력 <30%, 배수불량
	50	R	21	2.5YR 5/8	석력 <30%, 배수보통
1.4m 복토구	20	R	19	5YR 6/6	석력 <30%, 배수불량
	50	R	16	2.5YR 5/8	석력 <30%, 배수보통
	100	R	20	2.5YR 6/8	석력 <30%, 배수보통
1.8m 복토구	20	R	21	2.5YR 5/8	석력 <30%, 배수불량
	50	R	21	5YR 7/6	석력 <30%, 배수불량
	100	R	16	2.5YR 5/8	석력 <30%, 배수보통
	150	R	12	2.5YR 5/8	석력 <30%, 배수보통
2.2m 복토구	20	R	22	2.5YR 5/8	석력 <30%, 배수불량
	50	rB	23	5YR 6/6	석력 <30%, 배수불량
	100	rB	14	5YR 6/6	석력 <30%, 배수보통
	150	R	8	5YR 6/8	석력 <30%, 배수양호
	200	rB	7	5YR 6/8	석력 <30%, 배수양호

R : red and yellow forest soils    rB : reddish brown forest soils

복토높이별 식재시험지 조성에 사용된 토양은 시화공단 인근의 산에서 채취한 적황색산림토양(Red and Yellow forest soils)이었으며 토양을 채취할 때 표토층만 사용한 것이 아니고 무작위로 모재토양까지 채취하였기 때문에 돌과 자갈함량이 많고 양분함량이 적은 거칠은 토양이 대부분이었다.

지표면에서부터 깊이 50cm까지는 시험지조성시 증장비 등의 사용으로 답압이 심해 토양건밀도는 대부분 20mm가 넘고 배수가 불량한 편이었으며, 토양단면 곳곳에 점토질이 많은 토양이 부분적으로 섞여있어 불투수층을 형성하고 있었다.

## ② 토양의 이화학적 성질

토성은 모래함량 60%내외, 미사함량 30%내외, 점토함량이 10%내외인 사질양토(SL: Sandy Loam)로 조사되었다.

토양 pH는 4.6~5.9로 우리 나라 일반적인 산림토양과 비슷한 수준이었으며, 전질소 함량은 모든 처리구에서 0.01%로 적황색산림토양의 0.07~0.18%에 비하여 매우 낮은 함량을 보였고, 유효인산의 함량도 2~5.8ppm으로 약간 낮은 편이었다.

양이온치환용량은 시험지조성에 사용된 토양이 거칠은 모재토양이 많이 포함되었기 때문에 2.64~5.17로 낮게 나타나 적황색산림토양의 1/2수준이었고, 치환성 양이온, 전기전도도 및 염분함량은 일반 산림토양보다 높은 편이었는데 이는 토양단면 곳곳에 갯벌이 약간씩 섞여 있어 이에 영향을 받은 것으로 판단되었다. 특히 갯벌과 인접된 20cm, 50cm 깊이의 토양은 모세관현상에 의한 염분의 영향으로 매우 높게 나타났다(Table 17).



Table 17. Physicochemical properties of soil for soil-covering depth experiment.

처리구	채취 깊이 (cm)	입도 분석				pH 1:5 H <sub>2</sub> O	전 질소 %	유효 인산 ppm
		모래 %	미사 %	점토 %	토성			
0.9m 복토구	20	62.1	30.9	7.0	SL	5.4	0.01	5.8
	50	50.0	35.6	14.4	L	4.6	0.01	2.0
1.4m 복토구	20	57.4	33.0	9.6	SL	5.0	0.01	2.8
	50	62.1	30.0	7.9	SL	5.7	0.01	4.1
	100	58.9	34.2	6.9	SL	5.0	0.01	2.9
1.8m 복토구	20	60.2	29.4	10.4	SL	5.5	0.01	2.9
	50	65.2	27.6	7.2	SL	5.9	0.01	5.2
	100	65.4	26.3	8.3	SL	5.4	0.01	4.4
	150	62.9	27.8	9.3	SL	5.2	0.01	3.8
2.2m 복토구	20	54.4	34.5	11.1	SL	5.1	0.01	4.1
	50	58.3	31.4	10.3	SL	5.7	0.01	2.5
	100	66.6	26.0	7.4	SL	5.3	0.01	3.3
	150	63.4	28.4	8.2	SL	5.6	0.01	3.0
	200	66.5	26.3	7.2	SL	5.2	0.01	3.8

처리구	채취 깊이 (cm)	CEC	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	EC ms/cm	염분 %
		me/100g						
0.9m 복토구	20	2.64	0.31	0.82	3.16	3.71	0.76	0.17
	50	5.17	0.54	7.00	2.38	3.11	1.93	0.38
1.4m 복토구	20	4.07	0.33	0.50	2.14	2.78	0.30	0.08
	50	4.51	0.50	3.78	2.77	1.41	0.75	0.16
	100	3.74	0.34	1.12	2.97	3.24	0.66	0.15
1.8m 복토구	20	4.40	0.34	0.43	2.41	2.58	0.07	0.02
	50	3.85	0.34	0.28	3.34	2.06	0.04	0.02
	100	4.18	0.33	0.74	2.37	2.46	0.25	0.06
	150	4.40	0.42	4.64	1.69	2.43	1.44	0.32
2.2m 복토구	20	4.73	0.34	0.66	2.60	2.41	0.22	0.05
	50	4.18	0.28	0.25	1.77	1.43	0.03	0.02
	100	3.63	0.31	0.67	2.55	2.44	0.24	0.06
	150	3.41	0.32	0.67	2.22	1.94	0.03	0.05
	200	3.63	0.38	3.52	2.15	1.54	0.70	0.14

나) 식재지반 조성방법별 시험지

① 토양단면조사

식재지반조성방법별 시험지조성에 사용된 토양은 시화공단 인근의 산에서 채취한 적황색산림토양(Red and Yellow forest soils)이었으며, 갯벌에서부터 40cm 정도는 거칠은 모재토양으로 성토하였으나 41cm부터 지표면까지는 대부분 표토흙으로 매립하여 토양의 상태가 비교적 양호한 편이었다.

또한 시험지 면적이 작고 도로가에 위치하여 성토시 주변의 작업환경이 양호하기 때문에 시화공단내 다른 시험지나 녹지대보다 답압이 덜되어 토양건밀도는 12~18mm로 비교적 연하고 배수도 양호한 상태였다.

Table 18. Characteristics of soil profile in sites for foundation and improvement experiment.

조사깊이 (cm)	성토한 토양	건밀도 (mm)	토 색	단면특징
20cm	R	18	2.5YR 5/8	석력 <10%, 배수보통
50cm	R	14	5YR 6/6	석력 <10%, 배수보통
70cm	R	12	5YR 6/6	석력 <10%, 배수양호

② 토양의 이화학적 성질

시험지를 조성하기 전 원래 지반인 갯벌토양의 토성은 모래함량 20.5% 미사와 점토의 함량이 79.5%인 미사질양토로 토양 pH는 7.7의 알카리성 토양이었고 염분의 함량은 0.27%로 매우 높은 토양이었다.

Table 19. Physicochemical properties of soil for foundation and improvement experiment.

구 분	채취 깊이 (cm)	입 도 분 석				pH 1:5 H <sub>2</sub> O	전질소 %	유효인산 ppm
		모래 %	미사 %	점토 %	토성			
갯벌	20	20.5	67.9	11.6	SiL	7.7	0.04	33.0
지반	20	52.5	30.1	17.3	SL	5.3	0.01	2.3
조성용	50	52.5	30.8	16.7	SL	5.6	0.01	3.9
토양	70	54.6	30.7	14.7	SL	5.6	0.01	3.2

구 분	채취 깊이 (cm)	CEC	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	EC ms/cm	염분 %
갯벌	20	2.93	0.91	10.17	5.76	5.75	3.04	0.27
지반	20	5.01	0.23	0.33	1.24	1.98	0.04	0.02
조성용	50	4.68	0.26	0.37	4.36	2.83	0.03	0.02
토양	70	4.29	0.23	0.39	4.43	2.72	0.05	0.03

시험지를 조성하는데 사용된 토양은 모래함량 53%, 미사함량 31%, 점토함량 16%인 사질양토(SL: Sandy Loam)이며, 토양의 pH는 5.3~5.6이었다.

전질소와 유효인산 및 양이온치환용량의 함량은 매우 낮은 척박한 토양이었으나 칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘 등 치환성양이온의 함량은 일반적인 산림토양에 비하여 비교적 높은 편이었는데 이러한 원인은 토양을 채취한 시화공단 주변지역이 해안가에 인접하여 지각변동에 의한 용기 또는 침식 등에 의한 영향이거나 대기중에 함유되어 있는 염류가 바람, 강수 등에 의해 지표면에 축적되지 않으나 추정되었다.

식재지반 조성방법별 시험지 토양의 이화학적 성질은 Table 19와 같았다.

## 다) 가로수식재시험지

### ① 토양단면조사

가로수 식재지의 토양단면에는 부분적으로 개흙이 섞여있는 곳이 많이 나타나고 있었으며 여러 지역에서 운반된 토양으로 매립하였기 때문에 층위별로 토색이 다른 곳 등 토양교란으로 식재구덩이 내 토양성상이 일정하지 않았다.

대부분 토양은 적황색산림토양(Red and Yellow forest soils)과 적색계 갈색건조산림토양(Dry reddish brown forest soils)이었으며 들과 자갈함량이 많고 양분함량이 적은 거칠은 토양이었다.

공단조성시 중장비 등의 사용으로 답압이 심해 토양 견밀도는 20mm(약 6.5kg/cm<sup>2</sup>)가 넘고 배수가 불량한 편이었으며, 토양단면 곳곳에 점토질이 많은 토양이 부분적으로 섞여있어 불투수층을 형성하고 있었으며 지하수가 1m 부위에서 나타나는 곳도 있었다.

공단지역의 팽나무 식재예정지는 타지역보다 답압의 정도가 덜하여 토심 1m 이하는 견밀도는 11mm(약1.5kg/cm<sup>2</sup>)이었으며 복토토양도 모래가 많은 사양토로 사용하여 비교적 배수상태가 양호하였으나 지표 2m 깊이에서 지하수가 출현하였다.

### ② 토양의 이화학적 성질

일반적으로 수목생육에 적합한 토양산도(pH)는 pH 5.5~6.5의 약산성이나 가로수시험지는 pH 7.4~8.1의 알칼리성으로 나타나 수목생육에 나쁜 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

유기물 함량과 질소의 함량은 각각 0.3~0.5%와 0.01~0.03%로 매우 낮은 토양이고, 양이온치환용량(C.E.C)도 일반적인 산림토양의 함량 12me/100g 내외에 비해 낮은 척박한 토양이었다.

나트륨(Na)과 칼슘(Ca)의 함량은 일반 산림토양에 비해 2~5배

높게 나타났는데, 나트륨은 토양입자의 분산을 일으켜 입단구조 형성을 어렵게 하여 토양물리성을 나쁘게 하며, 칼슘의 집적은 원소간 길항작용에 의하여 타 양분의 흡수를 저해하므로 수목생육에 나쁜 영향을 줄 것으로 생각되었다.

염분(NaCl)함량은 식재구덩이내에 부분적으로 개흙이 섞인 곳이 있기 때문에 수종별 5개소의 토양시료채취 지점중에서 수목피해 농도인 0.05% 이상 나타난 곳이 있으므로 일부 수목의 염분피해가 예상된다.

전기전도도(E.C, Electric Conductivity)는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 측정하여 용액중의 이온세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목이다. 즉 이온성분과 불순물이 어느 정도 포함되어 있는가를 측정하여 함유된 이온과 염의 농도를 종합적으로 표시하는 지표이며 수소이온, 치환성양이온(칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘) 등과 밀접한 관련이 있다.

일반적으로 간척지, 매립지 및 건조지대 등 특수지 토양은 많은 염류로 인하여 전기전도도가 높아 식물생육에 지장을 주고 있으며, 토양에 염류가 집적되면 삼투압이 증가하여 물의 흡수를 저해하고 식물의 양분흡수를 용이하게 하지 않는다.

수목의 식재가능한 전기전도도는 0.2mS/cm 이하로 알려져 있으며, 가로수식재 시험중에서 은행나무 식재지의 전기전도도 평균치는 20cm 부위에서 0.218mS/cm, 50cm 부위에서 0.210mS/cm로 나타나 가수 4개 수종의 시험지중에서 가장 높게 나타났으며, 그 밖의 팽나무, 느티나무 및 회화나무는 부분적으로 0.2mS/cm 이상 나타난 곳이 있었다.

가로수식재구덩이 내의 토양이 균일하지 않고 간헐적으로 개흙

이 나타나기 때문에 식재구멍이내 흙을 가로수 식재전에 인근 산에서 채취한 새로운 토양으로 환토를 하여 식재하였으며 환토한 토양의 pH는 5.7, 염분 0.028%, 전기전도도 0.013mS/cm으로 시화공단내 기존 매립토양보다는 낮게 나타났으며, 유기물과 전질소 및 유효인산은 각각 0.5%, 0.01%, 1ppm 으로 양분함량이 적은 척박한 토양이었다(Table 20).

Table 20. Chemical properties of soil in sites for street tree planting experiment.

구분	층위 (cm)	pH	O.M %	T-N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	CEC me/ 100g	치환성(me/100g)				NaCl %	E.C mS/cm
							K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
팽 나무	20	7.9	0.4	0.03	18	3.41	0.35	0.70	6.16	1.69	0.035	0.18
	50	7.6	0.4	0.02	9	2.95	0.23	0.57	5.48	1.32	0.029	0.13
느티 나무	20	7.9	0.4	0.02	15	8.54	0.33	0.66	7.77	2.16	0.025	0.13
	50	7.4	0.3	0.01	11	8.27	0.28	0.88	6.04	1.73	0.027	0.27
은행 나무	20	8.1	0.3	0.01	16	4.44	0.43	0.94	5.00	1.74	0.057	0.23
	50	7.9	0.3	0.01	23	4.05	0.26	1.12	3.69	1.79	0.045	0.21
회화 나무	20	7.8	0.5	0.02	33	6.64	0.30	0.86	6.26	1.91	0.041	0.15
	50	7.8	0.3	0.02	30	6.83	0.18	0.90	6.58	1.91	0.040	0.16
환토흙		5.7	0.5	0.01	1	4.40	0.14	0.27	1.11	1.50	0.028	0.01

라) 이단 및 군상식재시험지

이단식재 및 군상식재효과시험은 시화공단내 7-3호 완충녹지대의 23,150㎡에 실시하였으며, 매립조성시에 갯벌흙이 섞이고 여러 장소의 흙으로 매립하여 토양이 교란되어 균일하지 않기 때문에 처리에 영향을 주지 않도록 시화공단 인근에서 동질의 산흙으로 50cm를 추가로 복토하였다.

토양시료 채취는 시험지내 5개 지점을 선정하고 20cm 부위와 50cm 부위를 채취하여 토양의 화학성을 분석하였으며 분석결과는 Table 21과 같다.

토성은 모두 모래(Sand)함량 55~71%, 미사(Silt)함량 18~34%, 점토(Clay)함량 3~12%인 사질양토(SL: Sandy Loam)이었으며, 토양의 화학성은 식재수목에 피해를 미칠 정도는 아니었지만, 역시 양분함량이 적은 척박한 토양이었다.

Table 21. Chemical properties of soils for double storied and group planting experiment.

구분	층위 (cm)	pH 1:5 H <sub>2</sub> O	O.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C.E.C (me/100g)	치환성 (me/100g)			
							K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
시험	20	5.5	0.5	0.02	1	0.48	0.10	0.33	0.71	0.72
지	50	5.6	0.4	0.01	1	0.57	0.13	0.20	0.70	0.70

## 나. 아산국가공단

### 1) 공단 개황

아산국가공단은 경기도 평택시 포승면 내기리, 만호리 및 원정리 일원과 충남 당진군 송악면 고대리 일대의 고대지구 및 부곡리 일원의 아산만에 위치하고 있으며, 매립지역에 따라 포승지구, 부곡지구, 고대지구의 3개 지역으로 나뉘어져 있다.

아산국가공단은 이 지역의 해안, 염전지대, 갯벌지대 및 70년대에 간척을 하여 논으로 사용하였던 곳 등의 1,239ha를 인근의 산 흙으로 매립한 일반토사 매립지로서, 이곳에 공단을 조성하고 공단

내 부대시설로 근린공원, 어린이공원, 녹지대 및 주거단지를 조성하였거나 현재 공사를 진행중에 있으며 아산국가공단의 전체 조경면적은 135ha이다.

시험지가 위치한 아산국가공단 포송지구는 평택시 포송면 내거리, 만호리 및 원정리 일대를 매립한 지역으로서 1992년 12월부터 1998년 9월까지 1단계로 430ha를 매립하여 준공완료하였으며, 2단계로 2001년까지 259ha를 준공할 예정으로 공사가 진행되고 있다.

아산국가공단 포송지구 1단계의 430ha중에서 근린공원, 어린이공원 및 녹지대의 면적은 58ha이고 조경수목과 가로수 등으로 식재한 수목은 느티나무외 50수종 157,161주를 식재하였다.

아산국가공단 포송지구 1단계의 전체 사업비 315,316백만원 중에서 매립에 소요되는 조성비는 147,355백만원이고 공원조성, 조경수목식재 등 조경공사에 소요되는 조경비용은 8,774백만원이다.

시험지는 포송지구내 조경식재가 예정되어 있는 녹지대 3.6ha (36,321㎡)를 활용하여 한국토지공사 사업비(소요예산: 392백만원)로 복토높이별 식재시험외 7개 시험을 수행하기 위한 식재지반 공사와 해송외 21수종 10,838주의 공시목을 식재하였다.

## 2) 공단 토양조사

### 가) 토양단면조사

#### ① 포송지구

매립높이는 지리적 특성상 조수간만의 차이가 크고 매립전 지형이 고르지 못한 탓으로 낮은 지역은 1.5m에서 깊은 지역은 4m가 넘는 곳도 있으며 농지로 사용하던 지역의 복토높이는 낮고 염전지대와 바다물이 들어 왔던 지역은 매립높이가 높았다.

토양건밀도는 일부 표토층을 제외하고 1.5Kg/cm<sup>2</sup>~2.0Kg/cm<sup>2</sup>의



연한 토양으로 배수가 비교적 양호한 지역이다.

## ② 고대지구

여러 지역의 흙으로 매립하여 토색이 다른 층위가 많았으며 돌이 많은 토양으로 복토하여 직경 20cm~40cm의 돌이 40%정도 나타나고 있었다.

고대지구내 공단중심 지역은 흑운모가 많이 섞인 흑갈색의 검은 토양으로 매립하였으며 평균 매립높이는 5m~6m이나 바닷물이 드나들던 지역에 암석으로 아래부분을 채우고 그 위에 산흙으로 복토를 하여 염분의 피해가 우려되고 있다.

## 나) 토양의 이화학성

### ① 포송지구

근린공원과 가로수식재지의 토성은 모래 58.0%~64.3%, 미사 26.1%~33%, 점토 9.0%~13.0%인 사질양토이고 녹지대는 모래43.1%~65.2%, 미사 28.0%~45.5%, 점토 6.8~11.4%인 사질양토(Sandy Loam)와 양토(Loam)이다.

토양산도는 pH5.3~7.0으로 일반 산지토양에 비해 높은 편이었고 유기물과 전질소 함량은 각각 0.1~0.4%와 0.01~0.04%로 매우 낮은 척박한 토양이었으며 치환성양이온중 칼슘과 마그네슘은 일반 산지에 비해 2~3배 높고 가리와 나트륨 함량은 보통 수준이었다.

근린공원과 가로수식재지의 염분함량은 0.01%~0.02%로 수목식재시 염분피해를 받을 정도는 아니었으나 매립년한이 짧은 지역이 많아 이에 대한 지속적인 관찰이 필요하며 녹지대는 갯벌토양이 부분적으로 섞여있었고 복토높이도 낮아 향후 식재수목의 염분피해가 예상되었다.

## ② 고대지구

토성은 지역에 따라 매립된 토양이 달라서 양질사토(LS), 사질양토(SL), 양토(L), 미사질양토(SiL), 미사질식양토(SiCL) 등 여러 토성이 다양하게 나타났다.

토양산도는 일부지역에 pH 7이 넘는 알카리성 토양이 나타나고 있고 유기물함량은 1%~2%의 비교적 높게 나타나고 있는 곳도 있으며 전질소는 대부분 0.01%로 매우 낮은 토양이었다.

염분함량은 매립된지 얼마되지 않은 영향으로 0.021%~0.04%로 수목식재시 염분피해를 받을 정도는 아니었으나 이 지역이 바닷물이 드나들던 지역을 매립하였기 때문에 모세관 상승에 따라 염분함량이 높게 나타날 가능성을 배제할 수 없으므로 향후 지속적인 조사가 필요한 것으로 판단되었다.

## 3) 경시적변화지 토양조사

매립하고 나서 연차별로 토양의 이화학적 특성이 어떻게 변화하는지 동태를 파악하기 위하여 아산국가공단 포승지구내 7개소를 선정, 고정조사구로 지정하여 토양단면조사를 실시하였으며 토양시료를 채취하여 토양의 이화학적 특성을 분석하였다.

아산국가공단은 갯벌, 염전지대가 있었던 곳 등 매립전 지형이 고르지 못한 상태이기 때문에 복토높이는 지역에 따라 차이가 있었는데, 낮은 곳은 1.0m에서 염전지대와 밀물과 썰물때에 바닷물이 드나들었던 물골이 있던 곳은 4.0m가 넘었다. 또한 매립에 사용된 토양이 주로 적황색산림토양이나 갈색산림토양이며, 이들 토양의 표토층으로 매립된 곳, 심토층으로 매립된 곳, 모재층으로 매립된 곳 등 지역에 따라 토양성상이 다를 뿐만 아니라 매립하면서 갯벌층이 섞

인 지역도 있어 조사위치별로 이화학적 성질이 달랐다.

아산국가공단 포송지구의 토성은 양토(L: Loam), 사질양토(SL: Sandy Loam), 미사질양토(SiL: Silt Loam), 미사질식양토(SiCL: Silt Clay Loam)등 이었으며 토양산도는 pH5.5~8.0으로 약산성 토양에서 알칼리성 토양까지 다양하게 나타났다.

유기물함량은 대부분 1%가 안되는 토양이고 질소, 유기물, 유효인산, 양이온치환용량 등이 낮은 척박한 토양이나 치환성양이온중 나트륨, 칼슘, 마그네슘은 일반 산림토양에 비하여 5배에서 20배가 넘는 토양도 있었으며, 염기포화도는 일반 산림토양의 20%~60%에 비하여 아산국가공단 포송지구는 180%~2,321%까지 매우 높게 나타났다.

또한 NaCl의 함량과 전기전도도의 함량도 직접적인 수목고사 원인이 될 만큼 함량이 높은 토양이 있었다.

Table 22. Physicochemical properties of soil in sites for slight soil change survey.

구분	Depth (cm)	Texture	pH H <sub>2</sub> O 1:5	O. M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C. E. C (me/100g)
Plot 1	0~5	SL	7.1	0.6	0.02	22	3.96
	20	L	7.5	0.6	0.01	20	4.62
	50	L	7.6	0.4	0.02	22	4.18
	100	SL	7.5	0.5	0.01	9	3.74
	150	SL	7.2	0.8	0.01	10	2.86
Plot 2	0~5	L	6.7	0.5	0.01	12	5.28
	20	L	6.2	0.6	0.02	11	4.62
	50	SL	7.1	0.2	0.01	8	3.08
	100	SL	7.0	0.1	0.02	7	3.96
	150	L	5.8	0.3	0.01	6	4.18
Plot 3	0~5	L	7.2	0.7	0.02	21	2.42
	20	SL	6.7	0.7	0.01	21	7.70
	50	SL	6.0	0.4	0.00	13	4.18
	100	L	4.9	0.7	0.01	4	6.16
	150	L	6.1	0.5	0.01	12	7.04
Plot 4	0~5	L	7.9	0.7	0.02	27	1.54
	20	SL	6.6	0.3	0.00	23	4.40
	50	SL	6.3	0.4	0.01	13	3.96
	100	SL	6.4	0.4	0.01	17	4.40
	150	L	7.2	0.7	0.01	12	4.18
Plot 5	0~5	SL	6.1	0.7	0.02	6	6.38
	20	L	6.0	0.7	0.04	8	3.96
	50	SiL	6.3	1.5	0.11	11	4.84
	100	SiL	6.1	0.8	0.04	7	4.84
	150	SiCL	6.9	1.0	0.10	5	5.50
Plot 6	0~5	L	5.7	0.4	0.02	5	5.94
	20	L	7.5	0.4	0.03	15	1.32
	50	L	5.8	0.5	0.04	13	2.86
	100	L	6.2	0.6	0.04	20	5.50
	150	SiL	5.5	1.4	0.09	20	4.62
Plot 7	0~5	SL	5.5	0.4	0.02	13	2.20
	20	SL	6.6	1.1	0.02	13	2.86
	50	SiL	6.9	0.9	0.04	8	2.86
	100	L	6.1	1.3	0.06	19	3.30
	150	L	6.2	1.0	0.03	10	3.08

Table 22. Continued.

구분	Depth (cm)	Exchangeable (me/100g)				NaCl (%)	E. C (mS/ cm)	Base sat. (%)
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
Plot 1	0~5	0.17	10.60	9.80	6.13	0.16	0.16	674
	20	0.13	4.10	8.37	4.29	0.09	0.09	356
	50	0.19	1.60	7.13	4.68	0.09	0.09	325
	100	0.10	0.98	7.02	4.27	0.03	0.03	330
	150	0.13	0.84	7.71	4.25	0.10	0.10	452
Plot 2	0~5	0.19	2.80	6.82	5.45	0.23	0.23	289
	20	0.20	0.68	5.58	4.80	0.07	0.07	243
	50	0.15	0.66	7.20	4.32	0.05	0.05	400
	100	0.16	0.56	7.54	4.18	0.05	0.05	314
	150	0.19	0.49	6.61	5.61	0.03	0.03	308
Plot 3	0~5	0.37	9.40	12.83	10.60	1.27	1.28	1,372
	20	0.15	2.20	7.95	5.18	0.16	0.16	201
	50	0.13	0.48	9.76	5.05	0.07	0.07	368
	100	0.15	0.88	7.00	4.93	0.20	0.20	210
	150	0.27	5.60	4.41	4.33	0.22	0.22	208
Plot 4	0~5	0.27	9.80	16.80	8.88	0.62	0.62	2,321
	20	0.14	0.38	12.24	7.62	0.03	0.03	463
	50	0.15	0.85	6.71	4.01	0.06	0.06	296
	100	0.20	4.20	6.54	5.83	0.28	0.29	381
	150	0.17	4.50	7.69	4.34	0.28	1.24	400
Plot 5	0~5	0.17	0.29	7.06	4.37	0.02	0.08	186
	20	0.18	0.17	5.30	3.52	0.01	0.07	232
	50	0.27	0.15	5.09	3.25	0.01	0.08	181
	100	0.13	0.16	4.87	5.56	0.01	0.05	222
	150	0.22	0.41	7.19	5.06	0.01	0.06	234
Plot 6	0~5	0.27	0.20	3.71	3.93	0.02	0.08	137
	20	0.41	0.97	5.22	3.90	0.02	0.03	796
	50	0.50	0.30	5.87	4.46	0.03	0.59	389
	100	0.40	1.10	4.57	4.74	0.03	0.27	197
	150	0.21	0.56	5.64	3.45	0.03	0.17	213
Plot 7	0~5	0.14	0.24	3.13	1.86	0.01	0.06	244
	20	0.16	0.27	5.70	2.67	0.02	0.13	308
	50	0.14	0.43	8.23	5.08	0.02	0.14	485
	199	0.10	0.27	4.73	2.00	0.01	0.07	215
	150	0.19	0.35	4.85	3.57	0.02	0.06	291

#### 4) 시험지 토양조사

##### 가) 복토높이별 식재시험 및 식재지반 조성방법별 시험지

임해매립지에서 수목을 식재하는데는 수목생육에 필요한 적절한 복토높이는 얼마만큼 필요하고, 식재지반 조성은 어떤 방법으로 시행하는 것이 좋은 것인가를 구명하는 것은 매우 중요한 관심사이다. 매립에 소요되는 토양을 가까운 장소에서 구하기도 어려울 뿐만 아니라 복토높이를 얼마만큼 하느냐에 따라서 막대한 식재지반 조성 비용이 절약되므로 임해매립지에서 토양의 복토높이 구명과 식재지반 조성방법 구명은 현실적으로 매우 시급한 문제이다.

따라서 매립이 예정되어 있는 아산국가공단 포송지구내의 갯벌 지역 10,431㎡에 인근의 산흙으로 50cm, 100cm, 150cm, 200cm 등 처리별로 50cm 차이를 두어 복토하고 이에 따른 수목생육 상태를 파악하여 적절한 복토높이를 구명하기 위한 식재시험과, 수목의 식재 지반조성을 달리하여 모세관에 의한 염분을 차단하고 적절한 수목생육 지반을 조성하는 방법을 구명하기 위하여, 갯벌에 자갈과 모래 및 부직포를 깔고 복토를 하는 방법, 맹암거 시설을 설치하거나 석고처리를 하는방법 등의 처리를 한 식재지반 조성방법별 시험을 실시하였다.

시험지의 위치는 바다에 인접한 곳으로 포송지구 1단계 끝부분에 있으며 폭 약10m의 폭을 사이에 두고 현재 2단계 공사가 진행중에 있다.

복토높이별 식재시험과 식재지반 조성방법별 시험을 실시하기 위하여 복토하기전 원래 지반의 개흙과 복토에 사용된 토양의 이화학적 성질은 표 23과 같다.

Table 23. Physicochemical properties of soil in sites for soil-covering depth experiment.

구분	Depth (cm)	Texture	pH H <sub>2</sub> O 1:5	O.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C.E.C (me/100g)
개흙	5	SiL	8.0	0.5	0.03	49	5.50
	5	SiL	8.1	0.9	0.03	49	3.74
	5	SiL	8.0	0.9	0.04	51	3.96
50cm 복토구	10-20	SL	5.8	0.3	0.00	35	4.84
	50	SL	5.1	0.1	0.01	72	4.40
100cm 복토구	20	SL	5.4	0.3	0.01	25	4.84
	50	SL	5.4	0.2	0.02	5	5.72
	90	SL	5.0	1.2	0.08	22	7.92
150cm 복토구	20	SL	6.2	0.1	0.01	14	5.28
	50	LS	5.6	0.1	0.01	7	3.74
	100	LS	6.7	0.2	0.01	9	4.84
	145	SL	6.4	0.1	0.01	16	5.06
200cm 복토구	100	LS	5.4	0.1	0.01	8	7.70
	150	SL	5.3	0.2	0.01	8	7.26
	190	SL	5.1	0.2	0.01	7	7.92

Table 23. Continued.

구분	Depth (cm)	Exchangeable (me/100g)				NaCl (%)	E. C (mS/ cm)	Base sat. (%)
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
개흙	5	0.52	11.00	5.02	5.90	0.45	2.04	408
	5	0.70	10.90	4.88	6.82	0.66	2.67	623
	5	0.60	11.30	4.54	6.37	0.23	2.39	576
50cm 복토구	10-20	0.13	0.23	5.36	2.57	0.01	0.04	171
	50	0.10	1.92	5.10	2.43	0.12	0.42	217
100cm 복토구	20	0.09	3.17	7.40	4.04	0.03	0.10	304
	50	0.09	0.53	6.54	4.07	0.06	0.21	196
	90	0.18	0.30	5.00	3.14	0.03	0.17	109
150cm 복토구	20	0.09	1.01	6.30	2.96	0.03	0.12	196
	50	0.07	0.33	5.99	2.57	0.04	0.13	240
	100	0.07	0.31	7.11	2.84	0.01	0.03	213
	145	0.08	0.29	6.52	2.42	0.01	0.03	184
200cm 복토구	100	0.11	0.44	5.55	3.93	0.03	0.07	130
	150	0.13	0.40	4.61	3.88	0.02	0.08	124
	190	0.15	0.85	3.92	3.75	0.06	0.20	110

개흙의 토성은 모래(Sand)의 함량이 25%~28%, 미사(Silt)함량이 58%~62%, 점토함량(Clay)이 12%~14%인 미사질양토(SiL)이고 토양산도는 pH 8.0~8.1인 알카리성 토양이며, NaCl의 함량과 전기전도도(EC)는 각각 0.23~0.66%, 2.04~2.67mS/cm이다.

복토에 사용된 토양은 모래함량 58%~79%, 미사함량 7%~40%, 점토함량 3%~23%인 사질양토(SL)와 양질사토(LS) 또는 양토(L)의 3



가지 토성이 나타났는데, 산에서 토양을 채취할 때에 채취깊이가 다르기 때문에 여러 토성이 나타난 것으로 판단되나 동일한 지역에서 채취하였기 때문에 시험지내의 토양단면형태, 들의 크기, 토양건밀도 등 전반적인 토양의 성상은 비슷하였다.

복토한 토양의 화학성은 산도는 pH5.8~6.7인 약산성토양이며, NaCl의 함량과 전기전도도(EC)는 각각 0.01~0.06%, 0.04~0.42mS/cm이다.

또한 유기물함량은 1% 미만이었고 질소, 인산 등의 함량이 낮은 척박한 토양이었으며 일부에서 pH와 치환성염기 등이 일반 산림 토양보다는 높게 나타났는데 이는 인근의 산에서 토양을 채취한 다음 매립지내에 야적시켰다가 사용하였기 때문에 복토작업을 하면서 개흙 또는 바닷물에 영향을 받은 것으로 판단된다.

#### 나) 가로수식재시험지

가로수식재지 토양의 토성, 유기물, 질소 및 인산 등은 아산국가공단내 다른 지역과 비슷하였으나 토양산도는 pH7.3~8.0의 알칼리성 토양으로 나타났고 치환성 염기의 함량도 높게 나타났으며, 전기전도도는 0.15~0.20mS/cm, 염기포화도는 136~202%로 다른 지역보다 높게 나타나 수목의 피해가 우려되는 토양이었다.

이러한 원인은 가로수 식재지가 보행자 도로이어서 보도블럭을 깔게 되는데 이때 사용되는 보조기층재인 석분 및 모래와 식재구덩이 주변에 약간씩 섞여있는 개흙의 영향으로 식재구덩이내 토양의 화학성이 매우 나빠진 것으로 판단되는데, 모래는 내륙에서 생산되는 강모래를 사용하지 않고 바다모래를 사용하여 바다모래에 함유된 염기와 개흙에 다량으로 함유되어 있는 염기가 빗물 등에 의해 씻겨

식재구멍이 주변의 토양에 영향을 준것으로 판단되었다.

Table 24. Physicochemical properties of soil in street tree planting sites and subbase course.

구 분		Tex- ture	pH H <sub>2</sub> O 1:5	O.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C. E. C (me/ 100g)
중곡 단풍	식재혈내 토양	SL	8.0	0.6	0.02	17	13.71
	보조 기층재(석분)	LS	8.4	0.8	0.00	14	21.45
	식재혈내 객토	SL	6.1	0.1	0.01	17	6.16
회화 나무	식재혈내 토양	SL	7.3	0.2	0.01	14	5.06
	식재혈내 객토	SL	6.1	0.2	0.01	13	4.84
팽 나무	식재혈내 토양	SL	7.3	0.1	0.02	15	6.44
	보조기층재 (석분)	LS	7.6	0.1	0.01	15	5.85
	보조기층재 (모래)	S	8.8	0.1	0.00	11	12.1
	식재혈내 객토	SL	6.1	0.2	0.02	14	5.23
버즘 나무	식재혈내 토양	SL	7.3	0.5	0.01	11	8.65
	보조기층재 (석분)	LS	8.1	1.1	0.12	20	21.8
	보조기층재 (모래)	S	8.8	0.3	0.00	12	9.67
	식재혈내 객토	SL	6.1	0.2	0.00	12	4.18

Table 24. Continued.

구 분		Exchangeable (me/100g)				NaCl (%)	E. C (mS/ cm)	Base sat. (%)
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
중국 단풍 나무	식재혈내 토양	0.10	0.52	14.07	3.00	0.02	0.20	136
	보조기층재 (석분)	0.08	0.40	16.62	2.37	0.01	0.14	91
	식재혈내 객토	0.10	0.30	6.35	2.62	0.02	0.11	152
회화 나무	식재혈내 토양	0.15	0.26	6.79	2.07	0.01	0.16	187
	식재혈내 객토	0.10	0.17	5.88	3.02	0.01	0.04	190
팽 나무	식재혈내 토양	0.07	0.67	8.07	3.75	0.02	0.16	202
	보조기층재 (석분)	0.18	0.37	5.45	1.53	0.02	0.12	132
	보조기층재 (모래)	0.40	0.31	7.11	0.83	0.02	0.14	72
	식재혈내 객토	0.08	0.57	5.71	3.41	0.03	0.15	189
버즘 나무	식재혈내 토양	0.10	0.49	10.27	3.29	0.01	0.15	166
	보조기층재 (석분)	0.08	0.31	15.8	1.60	0.02	0.15	82
	보조기층재 (모래)	0.26	0.16	5.53	0.51	0.01	0.09	67
	식재혈내 객토	0.12	0.18	4.72	2.68	0.01	0.04	184

Table 24 에서와 같이 보조기층재 모래의 화학성을 보면 토양 산도는 pH8.8, 칼슘은 5.53~7.11me/100g, 마그네슘은 0.51~0.83me/100g, 전기전도도는 0.09~0.14mS/cm이고, 또한 석분도 바다 모래의 영향을 받았는지 아니면 원래의 화학성이 그러한 지는 좀더 조사를 해 보아야 하겠지만 석분 역시 토양산도는 pH7.6~8.4, 칼슘은 5.5~16.62me/100g, 마그네슘은 1.53~2.37me/100g, 전기전도도

는 0.14~0.15mS/cm로 매우 높았다. 또한 가로수 식재구덩이 주변의 화학성도 문제이지만 보조기층재를 까는 높이도 식재수목의 생장에 나쁜 영향을 미칠것으로 우려되는데, 수목은 대체로 지표면 10cm 부분의 토양에서 뿌리호흡과 생장에 필요한 영양분을 섭취하므로 보조기층재를 까는 높이가 약 20cm이어서 식재수목의 뿌리가 정상적인 발달이 이루어지지 않을 것으로 판단된다.

다) 해풍차단효과 시험지, 식재밀도시험지 등 기타 시험지

공시목을 식재하기전 1998년 3월에 시험지에 대한 토양조사를 실시한 결과 해풍차단효과시험지, 식재밀도시험지, 이단식재 및 군상식재시험지는 부분적으로 개흙이 나타나거나 지표면 10cm이하 부터 갯벌로 매립되어 있어 수목식재가 불가능하다고 판단되어 토양을 70cm정도 추가로 복토하였다

복토한 토양은 역시 아산국가공단 인근의 산흙을 사용하였으며 토성은 양토와 사질양토이고 화학성은 다른 식재시험지보다는 오염이 덜된 신선한 토양이었다.

유기물, 질소, 양이온치환용량 등의 함량이 적은 척박한 토양이며 일부구간에서 유효인산의 함량이 높게 나타났는데 이는 토양을 채취한 야산에서 발작물을 경작하였던 곳이 포함되었기 때문인 것으로 생각된다.

Table 25. Physicochemical properties of soil in other experiment sites.

구 분		Texture	pH H <sub>2</sub> O 1:5	O. M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C. E. C (me/ 100g)	
해풍차단 효과시험지	5cm	SL	7.1	0.4	0.02	22	4.18	
	20cm	L	7.5	0.6	0.01	20	4.62	
	객토	L	5.4	0.2	0.01	18	8.80	
식재밀도 시험지	객토1	L	5.1	0.1	0.01	5	9.02	
	객토2	L	5.6	0.3	0.01	40	5.94	
수목적용 시험지	5cm	L	6.7	0.5	0.01	12	5.28	
	20cm	L	6.2	0.6	0.02	11	4.62	
이단 및 군상 식재 시험지	이팝 나무	5cm	SL	6.1	0.7	0.02	6	6.38
		20cm	L	5.9	0.7	0.04	8	3.96
	스트로브 잣나무	5cm	L	5.3	0.3	0.04	159	5.28
		20cm	L	5.3	0.2	0.03	1	6.38
	느릅나무	5cm	L	5.4	0.5	0.02	151	5.06
		20cm	L	5.4	0.3	0.02	2	4.84
	해송	5cm	SL	5.9	0.1	0.02	13	5.50
		20cm	SL	5.7	0.1	0.01	10	5.50

Table 25. Continued.

구 분		Exchangeable (me/100g)				NaCl (%)	E. C (mS/ cm)	Base sat. (%)	
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>				
해풍차단 효과시험지	5cm	0.19	1.60	7.13	4.68	0.09	0.03	325	
	20cm	0.13	4.10	8.37	4.29	0.09	0.03	366	
	객토	0.20	0.32	4.29	0.66	0.02	0.06	96	
식재밀도 시험지	객토1	0.20	0.20	1.48	2.52	0.01	0.04	49	
	객토2	0.09	0.19	5.57	2.28	0.01	0.04	137	
수목적용 시험지	5cm	0.19	2.80	6.82	5.45	0.23	0.95	289	
	20cm	0.20	0.68	5.58	4.80	0.07	0.23	244	
이단 및 군상	이팝 나무	5cm	0.17	0.29	7.06	4.37	0.02	0.08	186
		20cm	0.18	0.17	5.30	3.52	0.01	0.07	232
식재 시험 지	스트로브 잣나무	5cm	0.21	0.29	2.78	2.81	0.02	0.07	115
		20cm	0.21	0.32	2.96	2.22	0.02	0.06	90
식재 시험 지	느릅나무	5cm	0.21	0.23	4.09	3.58	0.02	0.04	160
		20cm	0.22	0.25	4.09	2.73	0.01	0.05	151
	해송	5cm	0.20	0.34	8.16	4.28	0.02	0.09	236
		20cm	0.21	0.52	8.45	5.13	0.02	0.16	260

다. 군산국가공단

1) 공단 개황

군산국가공단은 전북 군산시 소룡동에 위치하고 있으며 매립전 바다이었던 곳에 방조제를 쌓고 그 안에 준설편프를 이용하여 해저 사토와 갯벌 등으로 매립한 준설편프를 이용하여 1988년부터 1996년 까지 조성한 임해매립지이다.

매립면적은 697ha(약 209만평)이고 공원, 녹지대 등 조경면적은 51ha(약 15만평) 이며 매립후 사용용도는 대우자동차공장, 조립

금속 기계공장 등이 입주해 있고 해안에는 대형선박이 접안할 수 있는 항만시설도 있으며 주로 공단으로 활용하고 있는 매립지이다.

가로수 및 근린공원에 식재된 수목중에서 상당부분이 관리소홀과 염분의 피해로 고사하고 있었으며 바람이 강한 관계로 도복된 나무도 있을 뿐만 아니라 지주목과의 접촉부분에서 마찰로 인하여 수피가 벗겨져 해충에 의해 부후되는 피해도 발생하였다.

인근에는 현재 2005년까지 완공목표로 1,590ha의 군장광역국가공단이 준설매립방법으로 건설중에 있으며 새만금간척지, 군산해상신도시 등 많은 임해매립지 조성이 계획되고 있다.

시험지는 군산국가공단내 1호녹지의 1,91ha(5,740평)의 면적에 해풍차단효과시험, 이단 및 군상식재시험 및 수목적응시험을 실시하였고 공시수종은 소사나무, 회화나무, 아까시나무 등 12수종이며 총 식재수량은 2,124주 이다.



Photo 11. Reclamation by dredging soil in Kunjang industrial complex.

## 2) 공단 토양조사

### 가) 토양단면조사

매립에 사용된 재료는 모두 준설토로 매립하여 토양성상은 대부분 비슷하였으나 일정부위에 점토가 많이 섞인 개흙이 띠 모양으로 나타나 불투수층이 형성된 지역도 있었다.

토양건밀도는  $0.5\text{kg/cm}^2 \sim 6\text{kg/cm}^2$  까지 다양하게 나타났으며 평균 140cm 깊이에서 지하수가 출현하여 비교적 높은 편이었다.

가로수식재지는 염분피해를 방지하기 위하여 직경 1m 크기의 둘레로 식재구덩이를 파내고 비닐을 두른 다음 1m 깊이에 20cm 정도로 자갈을 깔고 그 안을 산흙으로 채우고 가운데에 수목을 식재하였으나 염분의 피해를 받아 고사목이 많이 나타나고 있었으며 고사하지 않은 수목의 생육상태도 좋지 않았다.

### 나) 토양의 이화학성

준설토의 토성은 모래 82.1%~95.8%, 미사 2%~11.8%, 점토 2.2%~6.6%인 양질사토(Loamy Sand) 또는 사토(Sand)이고 산도는 pH 7.7~8.4의 알카리성 토양으로 나타나 정상적인 수목의 생육이 불가능한 토양이었다.

유기물과 전질소의 함량은 각각 0.1~0.4%, 0.01~0.06%로 매우 낮은 토양이며 양이온치환용량도 낮은 척박한 토양이었다.

표토의 염분함량은 0.02%로 낮게 나타나고 있으나 50cm~1m 정도에서는 0.05%~0.49%로 매우 높게 나타나고 있었다.



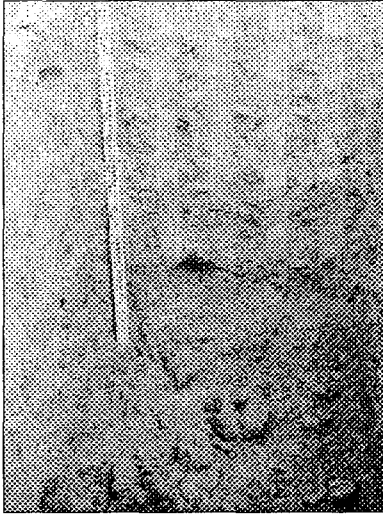


Photo 12. Soil profile in experiment sites.

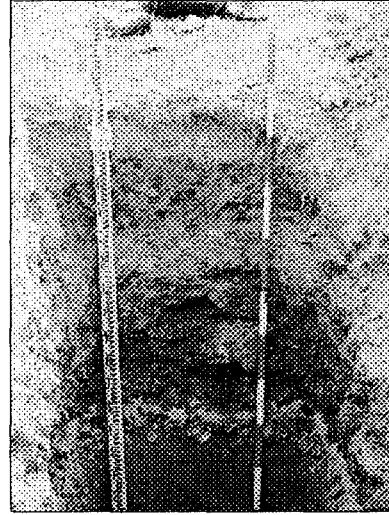


Photo 13. Soil profile in experiment sites.

### 3) 시험지 토양조사

#### 가) 토양단면조사

군산국가공단내 1호 녹지대에 위치한 시험지는 염분을 함유한 모세관 상승의 차단을 위해서 준설토 위에 자갈층 20cm정도와 부직포를 깔고 그 위에 인근의 산에서 채취한 적황색토양으로 70cm~150cm 정도 복토한 다음 수목을 식재하였다.

복토한 적황색토양의 건밀도는  $2.25\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 5.25\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 표토에서 50cm 부위는 답압되었으나 그 이하 부위는 답압이 심하지 않은 편이었고, 하층부 준설토의 토양건밀도는  $0.5\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 4.75\text{kg}/\text{cm}^2$  까지 다양하게 나타났으나 대부분 토양건밀도는 연하고 배수가 양호하였다.

## 나) 토양의 이화학성

이단식재 및 군상식재효과시험지의 2개 지점, 해풍차단효과시험지의 2개 지점 및 수목적응시험지의 1개 지점을 선정하여 20cm 부위와 50cm 부위를 채취하여 토양의 이화학성을 분석하였다.

토성은 이단식재 및 군상식재 시험지, 해풍차단효과 시험지는 동질의 토양으로 복토하여 모두 모래(Sand)함량 55~70%, 미사(Silt)함량 20~35%, 점토(Clay)함량 9~11%인 사질양토(SL: Sandy Loam)이었으며, 수목적응시험지의 20cm 부위는 모래함량 85.8%, 미사함량 3.8%, 점토함량 10.4%인 양질사토(LS: Loamy sand)이고, 50cm 부위는 모래함량 46.8%, 미사함량 41.0%, 점토함량 12.2%인 양토(L: Loam)로 타 시험지와 토성이 다르게 나타났다.

군산국가공단의 시험지는 녹지대 조성시 부직포와 자갈 및 모래를 깔고 복토를 하여 염분이 함유된 모관수를 차단하는 시설을 하였기 때문에 토양의 화학성은 수목생장에 큰 영향을 미칠 정도는 아니었지만, 토양의 산도(pH)는 염분이 함유된 조풍과 바다모래의 비사로 인하여 pH 6.5~7.3으로 나타나 일반 산림토양에 비해 약간 높았다.

인근의 산에서 토양을 채취할 때 무작위로 채취하여 표토층과 심토층이 뒤섞인 상태로 복토하였기 때문에 유기물과 전질소는 각각 0.1~0.4%, 0.01~0.06%로 매우 낮고 양이온치환용량(C.E.C) 및 인산, 칼륨 등의 함량도 낮은 척박한 토양이었다.

한편 치환성양이온중 나트륨, 칼슘, 마그네슘의 함량은 일반 산림토양에 비해 약간 높은 경향을 보였는데, 이는 앞에서 서술한 바와 같이 염분이 함유된 조풍과 바다모래의 비사로 인한 영향인 것으로 생각된다.

염분은 0.01%~0.02로 매우 낮게 나타나고 있고 자갈, 모래, 부  
 직포 등 모세관차단층을 설치하였기 때문에 염분의 피해는 받지 않  
 을 것으로 판단되었다.

Table 26. Soil chemical properties at each experiment site in  
 Kunsan industrial complex.

구 분	층 위 (cm)	H <sub>2</sub> O	O.M (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C. E. C me/ 100g
이단 및 군상식재 시험지	20	6.7	0.6	0.02	10	5.89
	50	6.5	0.4	0.02	8	8.03
해풍차단효과 시험지	20	7.3	0.2	0.02	8	1.98
	50	7.3	0.4	0.02	4	7.15
수목적용시험지	20	7.0	0.4	0.02	6	2.64
	50	7.0	0.5	0.02	4	1.98

구 분	층 위 (cm)	치환성(me/100g)				NaCl %	E. C mS/cm
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
이단 및 군상식재 시험지	20	0.12	0.36	6.71	4.14	0.022	0.071
	50	0.16	0.34	6.79	4.88	0.023	0.068
해풍차단효과 시험지	20	0.10	0.25	3.13	1.23	0.026	0.050
	50	0.11	0.35	4.76	2.39	0.024	0.079
수목적용시험지	20	0.09	0.28	5.32	1.71	0.020	0.060
	50	0.09	0.28	4.85	1.99	0.019	0.047

### 3. Pot 시험

#### 가. 복토높이별 pot 시험

임해매립지를 조성할 시에는 바다에 방조제를 쌓아 그 안에 인근의 산에서 채취한 흙으로 매립하거나 바다속의 모래나 갯벌 등으로 매립하고 있다.

산흙 등으로 매립하는 일반토사 매립지는 염분을 함유한 모세관 상승에 따라 식재수목의 피해가 있으며, 모래나 갯벌로 매립하는 준설토매립지는 이들에 함유되어 있는 염분 및 과잉의 염류에 의한 영향과 모래함량은 많고 점토함량이 적어 보수력이 없는 토양물리성 때문에 수목을 식재하여도 염해 및 토양건조로 인하여 활착율이 낮고 성목이 되기까지는 매우 어려운 상태이다.

이러한 문제때문에 녹지대와 근린공원 등의 수목식재지에는 신선한 토양으로 복토하고 수목을 식재하고 있는데, 이에 소요되는 토양을 가까운 곳에서 구하기도 어려울 뿐만 아니라 복토높이를 얼마만큼 하느냐에 따라 막대한 식재지반 조성비용이 좌우된다고 할 수 있어 임해매립지에서 토양의 복토높이 구멍은 현실적으로 매우 시급한 문제이다.

따라서 임해매립지에 수목식재를 위해서는 어느 정도 토양을 복토하는 것이 모세관현상에 따른 염분상승과 염류장해에 의한 수목피해를 줄일 수 있는지 적정 복토높이를 구명하고, 또한 식재후 수목관리의 기초자료를 제공하기 위하여 시화공단과 아산국가공단에서 실시한 실외시험과 동시에 실내시험으로 본 연구원 연구동 옥상에서 복토높이별 pot시험을 실시하였다.

임해매립지에서 매립토양으로 사용되는 토양은 대부분 인근의 산흙으로 매립하고 있는데 실연시험지인 시화공단, 아산국가공단 및 군산국가공단에서 사용되는 토양이 대부분 화강암을 모암으로 생성된 토양으로 복토를 하고 있어 본 시험에서의 공시토양도 모암이 화강암인 임업연구원 시험림에서 채취하였으며, pot당 50cm씩 채워 넣은 갯벌 흙은 시화공단에서 채취하여 본 연구원으로 운반하였다.

가로 60cm, 세로 60cm 크기의 pot에 50cm의 높이로 갯벌 흙을 채운 다음 그 위에 화강암 모재 토양을 20cm, 50cm, 100cm, 150cm를 복토한 후 각 포트에 해송 3년생 묘목을 4본씩 식재하였으며, pot 밑바닥에 바닷물을 지속적으로 관수하는 관수구와 무관수구로 구분하여 설치하였다.

#### 1) 공시토양의 이화학적 성질

갯벌토양은 모래 17%, 미사 66.6%, 점토 16.4%인 미사질양토(Silt Loam)로 미사와 점토함량이 83%나 되는 토양물리성이 매우 불량한 토양이었으며, 토양의 pH는 7.8인 알카리성이고 염분의 함량도 1.66%로 수목의 생육이 불가능한 토양이었다.

또한 유기물은 0.8%, 질소는 0.04%로 매우 척박한 토양이나, 치환성 양이온(K, Na, Ca, Mg)의 함량은 갯벌흙에 함유된 다량의 염류로 인하여 일반 산림토양에 비해 5~30배 정도 높으며 염기포화도도 무려 404%나 되었다.

갯벌흙 위에 복토하는데 사용된 화강암모재 토양은 모래함량이 81.4%, 미사 15.3%, 점토 3.3%인 양질사토(Loamy Sand)로 모래성분이 많은 토양이고, 토양 산도는 pH 5.3이며 유기물과 질소는 각각 0.7%와 0.03%로 양분함량이 적은 매우 척박한 토양이었으며 공시토

양(갯벌토양, 화강암모재토양)에 대한 토양의 이화학적 성질은 Table 27과 같다.

Table 27. Soil chemical properties at the soil-covering pots.

공시토양	입도 분석				pH 1:5 H <sub>2</sub> O	0. M (%)	T-N (%)
	모래 %	미사 %	점토 %	토성			
갯벌토양	17.0	66.6	16.4	SiL	7.8	0.8	0.04
복토토양	81.4	15.3	3.3	LS	5.3	0.7	0.03

공시토양	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	CEC	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NaCl (%)
갯벌토양	36	8.36	2.00	18.67	5.93	7.17	1.66
복토토양	14	6.23	0.13	0.32	2.75	0.76	0.02

## 2) 해송의 가시적인 피해

바닷물관수구와 바닷물무관수구 모두 대조구(갯벌토양)는 식재 후 20일(4월 30일) 부터 침엽의 선단부에서 황화현상이 나타나기 시작하여 식재후 49일(5월29일)만에 바닷물무관수구 1주를 제외하고 전 개체가 고사하였으며, 이때 고사하지 않은 바닷물무관수구 1주도 식재후 31일(5월 21일)부터 황화현상이 나타나기 시작하여 112일(8월 2일)만에 완전 고사하였다.

대조구를 제외한 나머지 처리구에서는 고사수량이 없었으며 20cm 복토구에서는 Photo 14와 같이 염해로 인하여 잎에 황화현상이 나타나면서 잎이 떨어지는 현상이 나타났다.

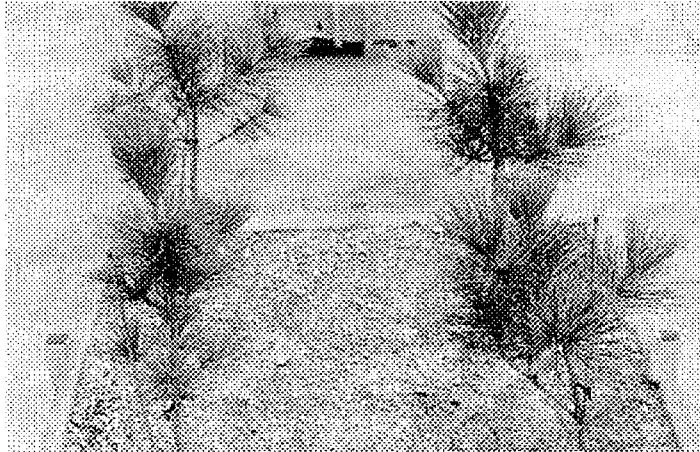


Photo 14. Visible damage of *Pinus thunbergii* in 20cm soil-covering pot.

### 3) 성장량 조사

#### 가) 간장 성장량 조사

식재 후 4년차의 성장을 조사한 결과 관수구의 경우 20, 50, 100, 150cm에서 각각 32.9, 39.8, 54.8, 63.0cm의 성장을 보였으며, 무관수구에서는 각각 30.6, 42.3, 62.2, 66.9cm의 성장을 보였다 (Table 25). 복토높이별로 있어서는 20, 50cm와 100, 150cm 간에는 유의성이 없었으며, 50cm와 100cm간에는 유의성이 나타났다. 이들 결과는 복토높이가 높아질수록 생장이 양호한 것으로 나타났다.

Table 28. Growth of tree height under different soil-covering depth treatment.

복토 높이 (cm)	관수구				무관수구			
	식재목 (cm)	2000생장 (cm)	생장량 (cm)	생장을* (%)	식재목 (cm)	2000생장 (cm)	생장량 (cm)	생장을 (%)
20	27.1	59.3	32.2a	100	24.4	55.0	30.6a	100
50	22.8	63.6	40.8a	121	24.5	66.8	42.3a	138.2
100	25.3	80.1	54.8b	166.6	24.8	87.0	62.2b	203.3
150	27.5	90.5	63.0b	191.5	25.2	92.1	66.9b	218.6

\* : 복토높이 20cm의 생장을 기준으로 한 상대 생장을

나) 근원경 생장량 조사

관수구의 경우 20, 50, 100, 150cm에서 각각 17.3, 19.7, 24.3, 23.5cm의 생장을 보였으며, 무관수구에서는 각각 14.3, 19.9, 23.9, 28.3cm의 생장을 보였다(Table 29). 관수구에 있어서는 20, 50cm와 100, 150cm 복토높이에 있어서는 유의성이 없었으며, 50, 100cm처리간에는 유의성이 나타났다. 한편, 무관수구에서는 모든 복토높이 처리간에서 유의성이 나타났다. 근원경 생장의 경우도 간장 생장과 같이 복토높이가 높을수록 생장이 양호하였다.

복토높이 20cm의 생장량을 기준으로한 상대생장량을 비교할 때 간장과 근원경 생장 모두 50cm 복토시에는 30%내외의 증가를 보였으며, 100cm 경우는 50~100%, 150cm 경우는 200%내외의 성장증가를 나타내고 있었다. 또한 50, 100cm 처리간에 유의성이 나타나므로 임



해매립지에서의 정상적인 묘목의 생육을 위한 복토높이는 최소한 100cm이상의 복토가 필요할 것으로 판단되었다.

Table 29. Growth of root collar diameter under different soil-covering depth treatment.

복토 높이 (cm)	관수구				무관수구			
	식재목 (mm)	2000생장 (mm)	생장량 (mm)	생장을* (%)	식재목 (mm)	2000생장 (mm)	생장량 (mm)	생장을 (%)
20	7.3	24.6	17.3a	100	6.3	20.6	14.3a	100
50	6.7	26.4	19.7a	113.8	6.4	26.3	19.9b	139.2
100	7.0	31.3	24.3b	140.5	6.8	30.7	23.9c	157.1
150	7.6	31.1	23.5b	135.8	6.8	35.1	28.3d	197.9

\* : 복토높이 20cm의 생장을 기준으로 한 상대 생장을

#### 다) 해송의 엽장생장

해송 엽의 길이생장은 바닷물 관수구에서는 복토 20cm구에서 8.6cm, 50cm구에서 9.9cm, 100cm구에서 10.4cm, 150cm 복토구에서는 12.1cm로 나타났으며, 20cm를 제외한 처리구에서는 유의성이 나타나지 않았다(Table 30). 한편 바닷물 무관수 처리구에서는 8.1cm~12.3cm로 관수구와 비슷한 경향을 보였다. 침엽의 길이생장은 복토높이가 높을수록 생장이 양호하였다.

Table 30. Length of needle under different soil-covering depth treatment. (Unit :cm)

Soil covering depth(cm)	Irrigation pot	Non-irrigation pot
20	8.6a	8.1a
50	9.9b	10.5b
100	10.4b	10.6b
150	12.1c	12.3b

#### 4) 복토높이별 엽록소함량

복토높이별 pot시험 4년차인 2000년에 해송의 엽록소함량을 분석하였으며 엽채취는 충분한 생장을 마친 10월에 실시하였다.

바닷물 관수구에서 복토높이별 엽록소함량은 각각 0.31, 0.32, 0.41, 0.39로 나타났으며, 무관수구에서는 0.24, 0.33, 0.46, 0.41로 나타나 복토높이가 높을수록 엽록소함량이 증가하는 경향을 보였다(Table 31).

이와 같은 결과는 앞서 언급한 성장량과 유사한 경향을 보임으로서 엽록소함량과 성장과의 상관관계가 높은 것으로 판단되었다.

Table 31. Chrolophyll content in needle under different soil-covering depth treatment (Unit : mg/g. fwt)

Depth (cm)	Irrigation pot			Non-irrigation pot		
	Chrol. a	Chrol. b	Total	Chrol. a	Chrol. b	Total
20	0.21	0.10	0.31	0.16	0.08	0.24
50	0.22	0.10	0.32	0.22	0.11	0.33
100	0.28	0.13	0.41	0.32	0.14	0.46
150	0.27	0.12	0.39	0.28	0.13	0.41

#### 4. 실연시험

##### 가. 복토높이별 식재시험

##### 1) 시화공단

##### 가) 처리별 및 수종별 고사율

1999년도 식재 첫해의 각 처리별(대조구, 0.9m, 1.4m, 1.8m, 2.2m복토구) 고사율은 각각 30.6, 23.9, 15.6, 10.0, 5.0%이었고 식재 2년차인 2000년 9월에는 38.9, 28.9, 23.9, 12.8, 5.0%로 늘어났으며 복토높이가 높을수록 고사율이 낮아지는 경향이 나타났다.

1999년도에 비해 갯벌구의 고사율은 8.3%가 증가하였고 0.9m 복토구는 5.0%, 1.4m 복토구는 8.3%가 증가하여 복토높이가 낮은 처리에서는 식재 2년차에도 고사율이 5%가 넘었으나 복토높이가 높은 처리구인 1.8m복토구는 2.6%가 증가하였고 2.2m 복토구에서는 1주도 고사하지 않아 고사율 변동은 없었다.

대조구는 복토를 하지 않은 갯벌지역에 단목객토하여 식재하였

는데 수목식재 방법은 갯벌에 가로 1m, 깊이 1m의 식재구덩이를 파고 갯벌과 차단되도록 씌는 비닐 sheet(생분해성 필름, 1m×1m)에 복토에 사용하였던 토양으로 채우고 수목을 식재하였다.

대조구의 수종별 고사율은 해송은 5.6%, 자귀나무와 모감주나무는 27.8%, 팔배나무는 94.4%가 고사하여 단목객토를 하여도 식재 2년차까지는 어느 정도 수목고사를 줄일 수 있다는 결과를 얻었으나 이러한 방법이 몇 년이 경과하여도 수목생장에 지장이 없는지는 지속적인 관찰이 요구된다.

4개 수종중 고사율이 가장 낮은 해송의 고사율은 0.9m 복토구와 1.4m 복토구에서는 1주도 고사하지 않아 100%의 활착율을 보였으며 1.8m 복토구는 6.7%, 2.2m 복토구는 2.2%의 고사율이 나타났는데 1.8m와 2.2m 복토구에서 약간의 고사율을 보인 것은 염분의 피해라기 보다는 뿌리분이나 수목의 상태가 약간 불량한 것을 이 두 처리구에 식재하였기 때문이다.

자귀나무의 각 처리별(0.9m, 1.4m, 1.8m, 2.2m 복토구) 고사율은 각각 6.7%, 8.9%, 2.2%, 0%가 고사하였고, 모감주나무의 각 처리별(0.9m, 1.4m, 1.8m, 2.2m 복토구) 고사율은 각각 40.0%, 20.0%, 4.4%, 2.2%이었으며 팔배나무의 각 처리별(0.9m, 1.4m, 1.8m, 2.2m 복토구) 고사율은 각각 68.9%, 66.7%, 37.8%, 15.6%가 고사하여 3수종 모두 복토높이가 높을수록 고사율이 낮아지는 경향을 보였다.

공시목으로 사용된 해송, 자귀나무, 모감주나무 및 팔배나무의 복토높이별 수목고사율은 Fig 6과 같다.

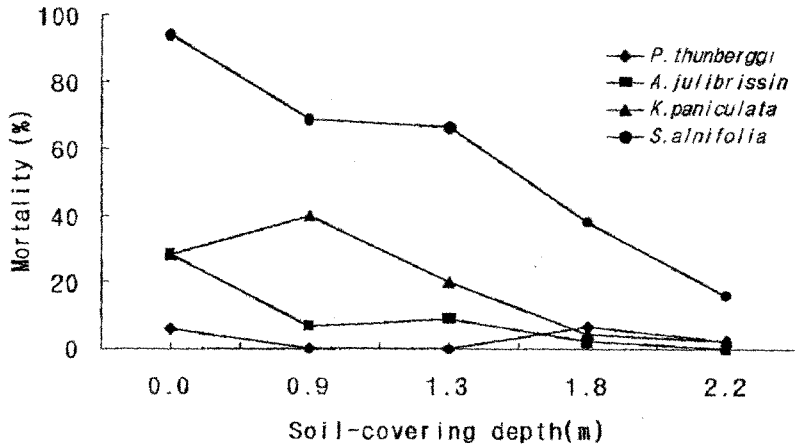


Fig. 6. Tree mortality by soil-covering depth in Sihwa site.

복토높이별 식재시험에 사용된 4개 수종의 전체 고사율은 Fig 7과 같이 팔배나무 51.5%, 모감주나무 17.7%, 자귀나무 6.6%, 해송 2.5%의 순으로 높아 자귀나무와 해송은 임해매립지에 적응력이 강한 수종인 것으로 나타났다.

팔배나무는 해안가 식생조사에서도 많이 출현하고 건조한 토양에서도 잘 자랄 뿐만 아니라 내공해성도 강한 수종으로 임해매립지에 잘 적응할 것으로 판단하였으나 실제 실연시험에서는 예상치 않은 결과가 나타났는데 이러한 원인은 수목생산지의 토양이 사질이 많은 토양이어서 녹화마대로 감싸고 운반하였는데도 불구하고 시험지까지의 운반과정에서 부주의로 인해 뿌리분이 많이 손상되었고 또한 식재작업 환경이 여의치 않아 2일 동안 야외에 방치하여 수목 고사율이 예상보다 높았으며 생육상태와 활력도가 좋지 않아 고사가 우려되는 나무가 있어 앞으로도 고사율은 점차 늘어날 것으로 판단되었다.

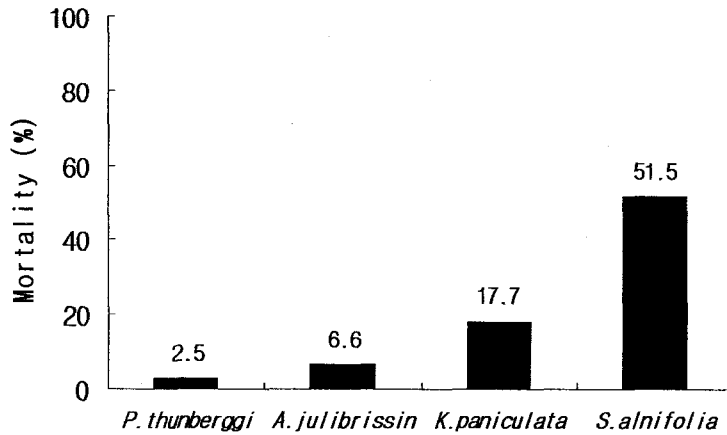


Fig. 7. Mortality of tree species for soil-covering depth experiment in Sihwa sites.

한편 모감주나무도 수목상태가 나빠 고사율이 점차 늘어날 것으로 생각되는데 시화공단, 아산국가공단, 군산국가공단 등 다른 임해매립지에 식재한 모감주나무도 전반적으로 생육상태가 나쁘게 나타난 것으로 보아서 모감주나무는 내염성이 강한 수종으로 알려져 있으나 이식력에 문제가 있는 수종인 것으로 판단되나 이에 대한 결론은 향후 지속적으로 관찰한 뒤에 내려야 할 것이다.

#### 나) 수고 및 근원경 생장

1999년 5월 공시목 식재후 측정된 기초성적에 비하여 2000년 10월까지 2년간의 수고와 근원경 생장을 측정하고 처리별 및 수종별 생장율을 비교하였다.

① 수고생장

처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 수고생장율은 각각 6.3%, 13.2%, 18.7%, 18.5%, 26.9%로 복토높이가 높아질수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었다(Table 32).

Table 32. Growth of tree height for soil-covering depth experiment in Sihwa site.

구분	수종	수 고(cm)			
		기초성적 ('99. 5)	최종성적 ('00.10)	생장량	생장율
대조구	해송	148	171	23	15.3
	모감주나무	247	261	14	5.6
	팔배나무	328	365	37	11.2
	자귀나무	222	208	-13	-6.0
	평균	236	251	15	6.3
0.9m 복토구	해송	158	206	48	30.4
	모감주나무	269	286	17	6.3
	팔배나무	358	382	24	6.8
	자귀나무	245	268	23	9.3
	평균	258	285	28	13.2
1.4m 복토구	해송	158	208	50	31.7
	모감주나무	266	306	40	14.9
	팔배나무	377	391	14	3.7
	자귀나무	240	300	59	24.6
	평균	260	301	41	18.7
1.8m 복토구	해송	157	203	46	29.3
	모감주나무	269	314	45	16.8
	팔배나무	367	387	20	5.4
	자귀나무	260	318	58	22.5
	평균	263	305	42	18.5
2.2m 복토구	해송	151	203	53	35.0
	모감주나무	240	292	51	21.3
	팔배나무	351	391	40	11.3
	자귀나무	242	339	97	40.1
	평균	246	306	60	26.9

해송의 처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 수고생장율은 각각 15.3%, 30.4%, 31.7%, 29.3%, 35.0%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타났으며 4개 수종 중에서 생장율이 가장 높은 수종이었다.

모감주나무의 처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 수고생장율은 각각 5.6%, 6.3%, 14.9%, 16.8%, 21.3%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타났다.

팔배나무의 처리별 수고생장율은 각각 11.2%, 6.8%, 3.7%, 5.4%, 11.3%로 복토높이에 따른 일정한 경향이 나타나지 않았는데 이는 앞에서 언급한 식재시의 문제점 때문에 수목생육 상태가 좋지 않은 것에 기인된 것으로 판단된다.

자귀나무의 처리별 수고생장율은 각각 9.3%, 24.6%, 22.5%, 40.1%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으며 0.9m 복토구보다 1.4m 복토구에서부터 수고생장이 급격히 높아지는 경향이 나타났다.

## ② 근원경생장

처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 근원경생장율은 각각 7.4%, 22.4%, 42.1%, 51.8%, 49.4%로 복토높이가 높아질수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으나 2.2m 복토구는 1.8m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다(Table 32).

해송의 처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 근원경생장율은 각각 5.3%, 28.7%, 45.8%, 33.1%, 44.3%로 1.4m 복토구 이상부터 복토높이에 따른 생장차이는 뚜렷한 경향은 없었으며 4개 수종 중에서 생장율이 가장 높은 수종이었다.



Table 33. Growth of root collar diameter by species for soil-covering depth experiment in Sihwa site.

구분	수 종	근 원 경(cm)			
		기초성적 ('99)	최종성적 ('00.10)	성장량	성장율
대조구	해 송	32.21	33.91	1.70	5.3
	모감주나무	43.07	45.25	2.18	5.1
	팔배나무	44.08	47.91	3.83	8.7
	자귀나무	34.58	38.29	3.71	10.7
	평균	38.48	41.34	2.85	7.4
0.9m 복토구	해 송	32.06	41.27	9.22	28.7
	모감주나무	45.78	50.78	5.01	10.9
	팔배나무	45.38	53.30	7.92	17.5
	자귀나무	37.63	49.81	12.18	32.4
	평균	40.21	48.79	8.58	22.4
1.4m 복토구	해 송	31.19	45.46	14.27	45.8
	모감주나무	43.40	57.97	14.57	33.6
	팔배나무	45.33	55.51	10.18	22.4
	자귀나무	44.26	73.78	29.51	66.7
	평균	41.04	58.18	17.13	42.1
1.8m 복토구	해 송	35.82	47.67	11.85	33.1
	모감주나무	42.92	60.95	18.03	42.0
	팔배나무	47.15	76.99	29.84	63.3
	자귀나무	36.65	61.94	25.29	69.0
	평균	40.64	61.89	21.25	51.8
2.2m 복토구	해 송	33.12	47.79	14.67	44.3
	모감주나무	43.90	61.13	17.23	39.2
	팔배나무	46.95	60.23	13.28	28.3
	자귀나무	37.08	68.84	31.75	85.6
	평균	40.26	59.50	19.23	49.4

모감주나무의 처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 근원경 성장율은 각각 5.1%, 10.9%, 33.6%, 42.0%, 39.2%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있으나 2.2m 복토구는 1.8m 복토구보다 성장율이 더 높게 나타나지 않았다.

팔배나무의 처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구) 근원경 생장율은 각각 8.7%, 17.5%, 22.4%, 63.3%, 28.3%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있으나 2.2m 복토구는 1.8m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다.

자귀나무의 처리별(대조구, 0.9, 1.4, 1.8, 및 2.2m 복토구)의 근원경 생장율은 각각 10.7%, 32.4%, 66.7%, 69.0%, 85.6%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타났다.

## 2) 아산국가공단

### 가) 처리별 및 수종별 고사율

복토높이 처리별(갯벌구, 0.5m, 1m, 1.5m, 2.0m 복토구) 고사율은 각각 100%, 66.7%, 44.4%, 20.8%, 18.8%로 복토높이가 높을수록 고사율이 낮아지는 경향이 나타났다.

시험에 사용된 4개 수종의 연도별 전체 고사율은 1998년 31.8%, 1999년 11.0%, 2000년 4.9%로 나타나 매년 고사율이 점차 줄어드는 경향이 나타났는데, 식재 3년차에도 0.5m 복토구는 15.3%, 1m 복토구에서는 5.6%의 높은 고사율이 나타났으나 1.5m 복토구는 2.1%이었고 2m 복토구는 1주도 고사하지 않았다.

수종별 및 처리별(0.5m, 1m, 1.5m, 2.0m 복토구) 고사율은 해송은 각각 27.8%, 8.3%, 0%, 0%이었고 화백은 100%, 66.7%, 58.3%, 33.3%이었으며 느티나무는 75.0%, 50.0%, 8.3%, 2.8%이었고, 상수리나무는 63.9%, 52.8%, 16.7%, 38.9%가 고사하여 복토높이가 높을수록 고사율이 낮아지는 경향이 나타났다(Fig 8).

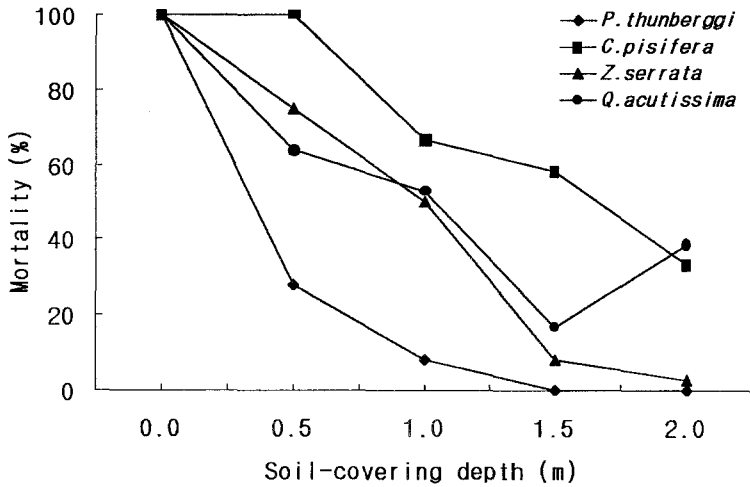


Fig. 8. Tree mortality of soil-covering depth in Asan site.

갯벌구에서 화백, 느티나무 및 상수리나무는 식재당년에 모두 고사하였으나 해송은 식재당년에는 33.3%, 2년차는 63.9%였으며 식재 3년차에 가서야 전부 고사하였고 1m 복토구에서도 8.3%의 낮은 고사율을 보였으며 1.5m 복토구와 2m 복토구에서는 1주도 고사하지 않아 내염성이 매우 강한 수종이었다.

상수리나무는 복토높이가 높을수록 고사율이 감소하는 경향을 보이다가 2m 복토구에서 고사율이 높아지는 경향을 보였는데 이는 상수리나무의 뿌리분이 약간 불량하여 이러한 수목을 2m 복토구에 집중적으로 심었기 때문에 나타난 현상인 것으로 판단된다.

상수리나무는 해안가 식생조사에서도 출현빈도가 높아 내염성이 강한 수종이나 본 시험결과 뿐만 아니라 실제 임해매립지에 식재 시에 고사율이 높게 나타났는데, 이러한 원인은 상수리나무의 뿌리 특성이 직근성인데도 불구하고 뿌리분 뜨기는 타 수종과 같은 일반

적인 방법으로 시행하기 때문에 고사율이 높게 나타나는 것으로 판단되었다. 따라서 상수리나무의 고사율을 줄이기 위해서는 뿌리분 길이는 타 수종에 비해 길게 팽이 모양같이 분뜨기를 시행하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

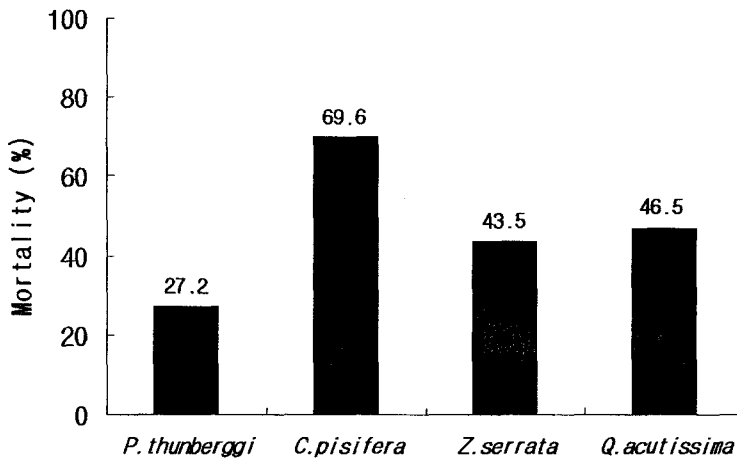


Fig. 9. Mortality of tree species for soil-covering depth experiment in Asan site.

복토높이를 감안하지 않은 수종별 전체 고사율은 해송 27.2%, 느티나무 43.5%, 상수리나무 46.5%, 화백 69.6의 순으로 나타났으며 화백은 임해매립지에 적응이 안되는 수종인 것으로 판단된다(Fig 9).

#### 나) 수고 및 근원경 성장

1998년 6월 공시목 식재후 측정된 기초성적에 비하여 2000년 10월까지 3년간의 수고와 근원경 성장을 측정하고 처리별 및 수종별

생장율을 비교하였다.

① 수고생장

처리별(0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구) 수고생장율은 각각 18.9%, 21.2%, 25.2%, 23.1%로 복토높이가 높아질수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으나 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다(Table 34).

Table 34. Growth of tree height for soil-covering depth experiment in Asan site.

구분	수 종	수 고(cm)			
		기초성적 ( '98.6)	최종 성적 ( '00.10)	생장량	생장율
0.5m 복토구	해 송	196	308	112	57.1
	화 백				
	느티나무	373	385	12	3.3
	상수리나무	272	262	-10	-3.7
	평균	<b>280</b>	<b>318</b>	<b>38</b>	<b>18.9</b>
1m 복토구	해 송	195	314	119	61.3
	화 백	230	278	48	20.8
	느티나무	368	361	-6	-1.7
	상수리나무	254	265	11	4.3
	평균	<b>262</b>	<b>304</b>	<b>43</b>	<b>21.2</b>
1.5m 복토구	해 송	197	322	124	63.0
	화 백	225	293	68	30.0
	느티나무	365	378	13	3.7
	상수리나무	282	293	12	4.2
	평균	<b>267</b>	<b>322</b>	<b>54</b>	<b>25.2</b>
2m 복토구	해 송	192	322	130	68.0
	화 백	228	278	49	21.6
	느티나무	369	366	-3	-0.8
	상수리나무	279	289	9	3.5
	평균	<b>267</b>	<b>314</b>	<b>23</b>	<b>23.1</b>

해송의 처리별(0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구) 수고생장율은 57.1%, 61.3%, 63.0%, 68.0%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타났으며 4개 수종 중에서 생장율이 가장 높은 수종이었다.

화백은 0.5m 복토구는 전량 고사하였으며 1m, 1.5m, 2.0m 복토구에서의 수고생장율은 각각 20.8%, 30.0%, 21.6%로 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다.

느티나무와 상수리나무 등 활엽수는 복토높이 처리간 성장차이는 나타나지 않았는데 이러한 원인은 이식하면서 뿌리의 단근에 따른 스트레스로 초두부위가 고사함에 따라 수고생장에 차이가 나타나지 않은 것으로 판단되었다.

## ② 근원경생장

처리별(0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구) 근원경생장율은 각각 15.9%, 22.4%, 30.8%, 26.5%로 복토높이가 높아질수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으며 수고생장에서와 같이 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다

해송의 처리별(0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구) 근원경생장율은 14.7%, 20.6%, 32.7%, 29.7%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으나 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다

화백은 0.5m 복토구는 전량 고사하였으며 1m, 1.5m, 2.0m 복토구에서의 근원경생장율은 각각 17.7%, 25.7%, 24.9%로 해송에서와 같이 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다.

느티나무의 처리별(0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구) 근원경생장율

은 22.4%, 36.7%, 43.8%, 39.1%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으나 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장이 더 높게 나타나지 않았으며 4개 수종 중에서 근원경 생장이 가장 높게 나타났다.

Table 35. Growth of root collar diameter by species for soil-covering depth experiment in Asan site.

구분	수종	근원경(cm)			
		기초성적('98.6)	최종성적('00.10)	생장량	생장율
0.5m 복토구	해송	4.95	5.68	0.73	14.7
	화백				
	느티나무	5.48	6.70	1.23	22.4
	상수리나무	5.22	5.78	0.57	10.9
	평균	<b>5.21</b>	<b>6.05</b>	<b>0.84</b>	<b>15.9</b>
1m 복토구	해송	5.16	6.22	1.06	20.6
	화백	4.85	5.71	0.86	17.7
	느티나무	5.72	7.82	2.10	36.7
	상수리나무	5.05	5.78	0.73	14.5
	평균	<b>5.19</b>	<b>6.38</b>	<b>1.19</b>	<b>22.4</b>
1.5m 복토구	해송	5.30	7.04	1.74	32.7
	화백	4.96	6.24	1.28	25.7
	느티나무	5.86	8.43	2.57	43.8
	상수리나무	5.24	6.34	1.10	21.1
	평균	<b>5.34</b>	<b>7.01</b>	<b>1.67</b>	<b>30.8</b>
2m 복토구	해송	5.04	6.54	1.50	29.7
	화백	4.88	6.09	1.21	24.8
	느티나무	5.93	8.24	2.31	39.1
	상수리나무	5.36	6.04	0.67	12.6
	평균	<b>5.30</b>	<b>6.73</b>	<b>1.42</b>	<b>26.5</b>

상수리나무의 처리별(0.5, 1.0, 1.5, 2.0m 복토구) 근원경 생장율은 10.9%, 14.5%, 21.1%, 12.6%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으나 2.0m 복토구에서 생장율이 오히려

려 1m 복토구보다 낮았는데 이는 앞에서 언급한바와 같이 상수리나무의 뿌리분이 불량하여 이러한 수목을 2m 복토구에 집중적으로 심었기 때문에 고사율이 2m 복토구에서 더 높아진 것처럼 생장율도 더 낮게 나타난 것으로 판단된다.

#### 나. 식재지반 조성방법별 시험

##### 1) 시화공단

###### 가) 처리별 및 수종별 고사율

시화공단에서는 1999년도에 공시목을 식재하였고 식재지반 조성방법은 대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구 및 자갈+모래+토목섬유+맹암거설치구 등 4개 처리를 하였으며 이팝나무와 때죽나무를 각각 처리당 30주씩 120주를 식재하였다.

처리별 고사율은 이팝나무와 때죽나무 모두 식재 2년차 까지 1주도 고사하지 않아 100%의 활착율을 보였다.

이들 수종은 척박하고 건조한 토양에서도 잘 자라는 수종인 원인도 있겠지만 생산지에서 도착 즉시 당일 식재한 다음 관수를 충분히 하였고 시험지가 시화공단내 다른 지역보다 답압이 덜되어 토양 견밀도는 12~18mm로 비교적 연하고 배수도 양호한 상태이기 때문인 것으로 판단되었다.

##### 2) 아산국가공단

아산국가공단은 1998년도에 공시목을 식재하였고 시화공단에서와 같이 대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구 및 자갈+모래+토목섬유+맹암거설치구 등 4개 처리를 하였으며 해송과 참느릅나무를 각



각 처리당 27주씩 108주를 식재하였다.

3년간 두 수종의 처리별 고사율은 대조구 1.9%, 석고처리구 3.7%, 석고+맹암거설치구 3.7%, 자갈+모래+토목섬유+맹암거설치구 1.9%로 처리별 차이는 아직 까지 나타나지 않고 있었다(Table 36).

Table 36. Tree mortality of tree species for planting foundation and improvement experiment.

처리명	수종	규격	식재 본수	고사수량 (주)			고사율(%)		
				'98	'99	계	'98	'99	계
대조구	해송	H2.5×W0.8	27	0	0	0	0	0	0
	참느릅나무	H2.5×R4.0	27	0	1	1	0	3.7	3.7
	소계		54	0	1	1	0	1.9	1.9
석고 처리구	해송	H2.5×W0.8	27	0	1	1	0	3.7	3.7
	참느릅나무	H2.5×R4.0	27	1	0	1	3.7	0	3.7
	소계		54	1	1	2	1.9	1.9	3.7
석고+맹암 거 처리구	해송	H2.5×W0.8	27	1	1	2	3.7	3.9	7.4
	참느릅나무	H2.5×R4.0	27	0	0	0	0	0	0
	소계		54	1	1	2	1.9	1.9	3.7
자갈+모래+ 부직포+ 맹암거 처리구	해송	H2.5×W0.8	27	0	1	1	0	3.7	3.7
	참느릅나무	H2.5×R4.0	27	0	0	0	0	0	0
	소계		54	0	1	1	0	1.9	1.9
	계		216	2	4	6	0.9	1.9	2.8

H : 수고(m), R : 근원경(cm), W : 수관폭(m)

수종별 고사율은 해송이 식재수량 108주중 4주가 고사하여 3.7%의 고사율을 보이고 있으며 참느릅나무는 108주중 2주가 고사하

여 1.9%의 고사율을 보였다

나) 근원경 성장

처리별(대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구) 근원경생장율은 각각 15.2%, 18.9%, 18.8%, 29.9%로 석고처리구와 석고+맹암거설치구는 성장차이가 나타나지 않았고, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구에서 가장 생장이 높게 나타났으며 대조구에 비해 약 2배 가량 근원경 생장이 높았다(Table 36).

해송의 처리별 근원경생장율은 각각 20.2%, 22.8%, 25.3%, 44.9%로 나타나 모세관상층 차단처리를 강화할수록 생장이 양호하게 나타났으며 자갈+모래+부직포+맹암거설치구는 대조구에 비하여 2배 가 넘게 성장하였다.

Table 37. Growth of root collar diameter for planting foundation and improvement experiment.

구 분	수 종	근 원 경(cm)			
		기초성적 ( '98.6)	최종성적 ( '00.10)	성장량	성장율
대조구	해송	5.20	6.25	1.05	20.2
	참느릅나무	3.94	4.29	0.34	8.7
	평균	4.57	5.27	0.70	15.2
석고 처리구	해송	5.12	6.29	1.17	22.8
	참느릅나무	3.98	4.54	0.56	14.0
	평균	4.55	5.41	0.86	18.9
석고+ 맹암거	해송	5.02	6.29	1.27	25.3
	참느릅나무	3.55	3.99	0.44	12.3
	평균	4.29	5.14	0.85	18.8
자갈+모래 +부직포 +맹암거	해송	3.68	5.33	1.65	44.9
	참느릅나무	3.89	4.50	0.61	15.8
	평균	3.78	4.91	1.13	29.9

참느릅나무의 처리별(대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구) 근원경생장율은 각각 8.7%, 14.0%, 12.3%, 15.9%로 나타나 석고처리구와 석고+맹암거설치구는 생장차이가 나타나지 않았고, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구에서 가장 생장이 높게 나타났으며 자갈+모래+부직포+맹암거설치구는 대조구에 비하여 2배 가까이 성장하였다.

다. 가로수 식재시험

#### 1) 시화공단

##### 가) 처리별 및 수종별 고사율

공시목은 느티나무, 팽나무, 은행나무, 회화나무로 수종당 160주씩 1997년 4월~5월 식재하였다.

수종별 고사율은 회화나무, 느티나무, 은행나무, 팽나무의 순으로 각각 21.9%, 20.0%, 19.4%, 13.8%였다(Fig 10).

연도별 고사율을 살펴보면 식재당년인 1997년에는 총 식재수량 640주 중에서 61주가 고사하여 9.5%의 고사율을 보였고 식재 2년차에는 8.6%, 3년차에는 0.6%의 고사율을 보였으며 식재 4년차인 2000년에는 1주도 고사한 수목이 없어 4년간 총 고사율은 18.8% 였다.

수종에 따라서는 조경수목의 하자기간 2년이 지나서도 고사수량이 적지 않은 것으로 나타났는데 특히 은행나무는 식재 3년차에도 1.9%가 고사하였고 고사하지는 않았지만 생육상태가 불량한 수목이 많아 임해매립지에는 잘 적응하지 못하는 것으로 판단되며 회화나무, 느티나무 및 팽나무는 일단 활착이 되면 안정적인 생장이 되는 것으로 나타났다.

회화나무는 내염성이 강하고 임해매립지에 적응이 잘되는 수종으로 판단되나 본 시험에서는 4개 수종중에서 고사율이 가장 높은 수종으로 나타났는데 이는 1997년도 식재당시 식재예정지에 작업여건이 조성되지 않은 상태에서 수목이 반입되어 도로변에 2일간 방치하고 난 뒤 식재한 결과 건조피해를 받아 많은 양이 수고 1.5m 이상의 수목상단부와 초두부가 고사하여 가로수로서의 기능을 할 수 없어 이들 수목이 완전히 고사되지는 않았지만 일부 수목을 1998년에 보식하였으므로 고사수량으로 파악하였기 때문이다. 이와 같이 복토높이별 식재시험의 팔배나무의 경우를 보더라도 1~2일 간의 노상 방치가 수목고사나 생육부진에 직접적인 원인이 되므로 수목반입후 즉시 식재하지 못할 경우에는 작업상 어렵더라도 필히 가식을 해야 수목고사율을 줄일 수 있을 것이다.

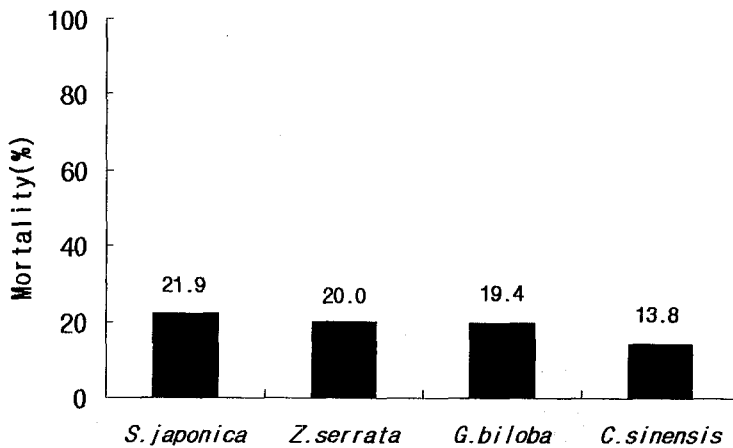


Fig. 10. Mortality of street trees planted in Sihwa industrial complex.

## 2) 아산국가공단

### 가) 처리별 및 수종별 고사율

수종별 고사율은 팽나무, 버즘나무, 회화나무, 중국단풍의 순으로 각각 33.1%, 25.0%, 5.0%, 1.3%이었다(Fig 11).

팽나무는 의외로 고사목이 많고 전반적으로 수목활력도가 떨어져 식재지에 대한 토양을 조사한 결과 식재구덩이의 객토용으로 사용된 토양에서 갯벌이 다량 섞여있어 고사에 직접적인 원인이 된 것으로 판단되었으며, 고사목에 대해 1999년 4월에 식재구덩이의 흙을 제거하고 새로운 토양으로 환토한 다음 보식한 후에는 더 이상 고사하지 않았다.

연도별 고사율은 식재당년인 1998년에는 총 식재수량 640주 중에서 96주가 고사하여 15.0%의 고사율을 보였고 식재 2년차에는 1.1%, 3년차에는 0.2%의 고사율을 보여 3년간 총 고사율은 16.3% 였으며 시화공단보다는 약간 낮게 나타났다.

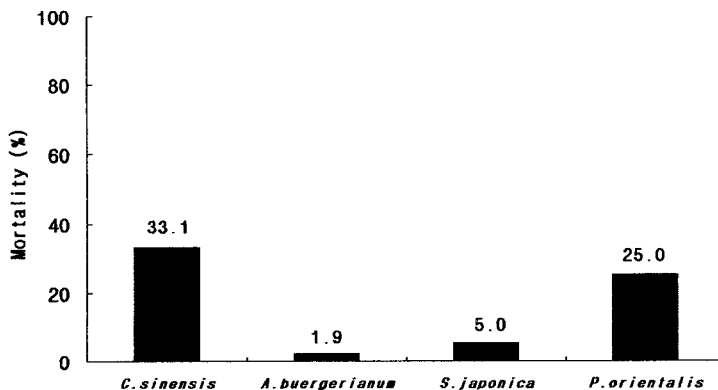


Fig. 11. Mortality of street trees planted in Asan industrial complex.

## 라. 해풍차단효과시험

임해매립지는 지리적 특성상 바다에 인접하였기 때문에 바람이 강하게 불어 수목생육에 나쁜 영향을 미치게 된다.

해풍에 의하여 임해매립지에 식재된 수목이 생육에 저해되는 요인으로는 바람에 의해 수분증산량이 많아지므로 수분요구도가 높아질 뿐만 아니라, 해풍에 함유되어 있는 염분이 먼지 또는 수분과 결합하여 나뭇잎에 축적되므로 기공을 막고 피해를 일으키게 된다.

또한 강풍이 불어올 때 나무가 쓰러지거나 뿌리분이 흔들려서 착근을 하지 못하여 수목고사의 원인이 되는 경우도 있으며, 지주목과 나무와의 마찰로 인하여 수피가 벗겨지게 되므로 병해충이 발생하는 요인을 제공하기도 한다.

한편 임해매립지에는 대부분 제품을 생산하거나 정밀기계가 가동되는 공장이 들어서게 되어 비사에 의한 제품하자율이 높지 않나 생각되므로 이에 대한 대책도 아울러 검토해야 할 것으로 판단되는데 실제로 정밀기계 공장가동시 공장내부의 먼지를 줄이면 제품하자율이 낮아진다는 연구보고도 있다.

따라서 해안가에 방풍림을 조성하거나 해풍을 차단 또는 감소시킬 수 있는 시설이 필요하며, 임해매립지와 같은 대면적에 방풍시설 설치하는 불가능하다고 볼 수 있으나 특별히 관리가 요구되는 수목에 대해서는 방풍막설치가 필요하다고 생각되며 향후 임해매립지 조성시에는 해안가에 반드시 방풍림을 조성하여 해풍을 차단 또는 감소시킴으로서 생태적으로 수목생육에 안정된 환경을 제공해야 할 것이다.

그러므로 임해매립지에서 해풍차단이 수목에 어떠한 영향을 미

치는가를 구명하기 위하여 아산국가공단과 군산국가공단에 방풍 Net 를 설치하여 해풍을 차단한 다음 수목을 식재하고 수목에 미치는 영향을 관찰하였다.

### 1) 연안지역과 내륙지역의 풍속비교

연안지역이 내륙지역에 비하여 바람이 얼마만큼 강한지를 비교하기 위하여 1999년 1월 ~ 2000년 9월까지의 기상청에서 제공하는 기상자료를 이용하여 분석하였다.

연안지역은 본 연구의 시험지인 시화공단, 아산국가공단, 군산국가공단과 가급적 가까운 곳의 자료를 이용하기 위해 인천, 서산, 군산을 선정하였으며 내륙지역은 바다와 비교적 비슷한 거리에 위치한 서울, 수원, 전주지역을 선정하였다.

내륙지역은 3개 지역이 평균풍속과 최대풍속 모두 비슷하지만 연안지역은 3개 지역 중에서 군산이 평균풍속과 최대풍속 모두 가장 강한 것으로 나타났다(Fig 12).

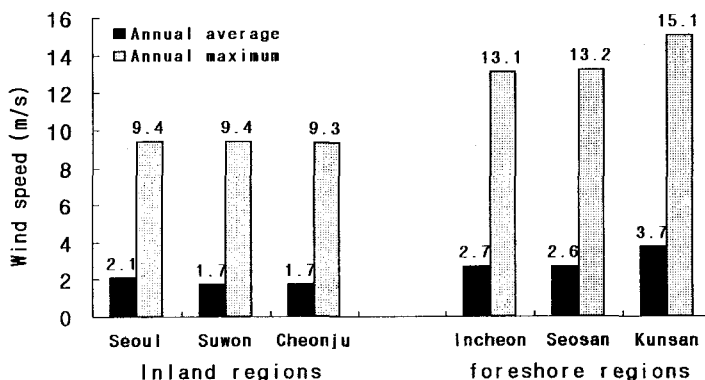


Fig. 12. Comparison of wind speed between inland and foreshore regions

2년간 평균풍속은 내륙지역의 경우 1.8m/s이었고 연안지역은 3.0m/s로 내륙지역에 비해 1.7배 강하였으며 최대풍속은 내륙지역은 9.4m/s이고 연안지역은 13.8m/s로 내륙지역에 비해 1.5배 강하였으나 인천, 서산, 군산 등 연안지역은 바다와 가까운 해안도시이지만 기상 측정지점은 도시내에 있어 바다와 바로 인접한 임해매립지에는 실제보다 훨씬 강한 바람의 영향을 미치게 될 것으로 판단된다.

## 2) 방풍막 설치효과

아산국가공단은 9월 16일과 9월 17일에 일본 大田計器製作所の 풍향풍속계(cat No.24)로 대조구와 방풍막설치구에 대한 풍속과 풍향을 측정하였으며, 군산국가공단은 9월 29일에 측정하였다.



Photo 15. Measurement of wind direction and speed.



아산국가공단에서의 방풍막설치구는 대조구보다 풍속을 48.5%를 감소시키는 효과가 있었으며, 군산국가공단에서는 풍속을 40.2%를 감소시키는 효과가 있어 아산국가공단보다는 감소율이 약간 낮았는데 이러한 원인은 방풍막의 그물간격(mesh)이 약간 차이가 있기 때문으로 생각되며, 방풍막설치구에서는 전반적으로 바람이 약할 때보다 풍속이 강해 질 수록 감소율이 높아져 해풍차단효과가 더 크게 나타나는 경향을 보였다.

Table 38. List of wind speed for seawind blocking experiment.

구 분	측정일시	풍 향	풍 속(m/sec)		감소율 (%)
			대조구	방풍막 설치구	
아산 국가공단	9월 15일 18:30	NW	3.9	3.5	10.3
			4.1	3.1	24.4
			3.0	2.1	30.0
	9월 15일 19:10	NW	5.0	1.2	76.0
			3.9	1.5	61.5
			4.4	1.8	59.1
	9월 16일 08:05	N	4.0	2.1	47.5
			3.2	1.0	68.8
			2.9	1.2	58.6
	평 균				48.5
군산 국가공단	9월 29일 17:50	W	5.7	4.0	29.8
			5.5	3.4	38.2
			6.3	3.5	44.4
			5.9	3.9	33.9
			5.7	3.2	43.9
	9월 29일 18:20	W	4.6	2.0	56.5
			4.0	2.2	45.0
			4.9	3.0	38.8
			4.5	3.1	31.1
				4.9	2.9
	평 균				40.2

### 3) 수목의 해풍차단효과

#### 가) 아산국가공단

##### ① 처리별 및 수종별 고사율

해송의 고사율은 대조구에서 14.8%였고 방풍막설치구는 3.7%로 4개 수종중에서 방풍막 설치효과가 가장 높게 나타났고 상수리나무는 대조구 38.9%, 방풍막설치구는 37%로 방풍막설치구가 대조구에 비하여 고사율이 1.9% 낮았으나 단풍나무와 측백은 처리효과가 나타나지 않았으며, 4개 수종 평균 고사율은 대조구 24.5%에 비하여 방풍막설치구는 24.1%로 0.4% 고사율이 낮게 나타났다(Fig 13).

대조구와 방풍막설치구를 합한 수종별 고사율은 단풍나무 48.2%, 상수리나무 38.0%, 해송 9.3%, 측백나무 1.9%의 순으로 나타나 단풍나무의 고사율이 가장 높았고 측백나무는 고사율이 가장 적은 수종이었으나 생육상태는 그다지 양호한 편은 아니었다.

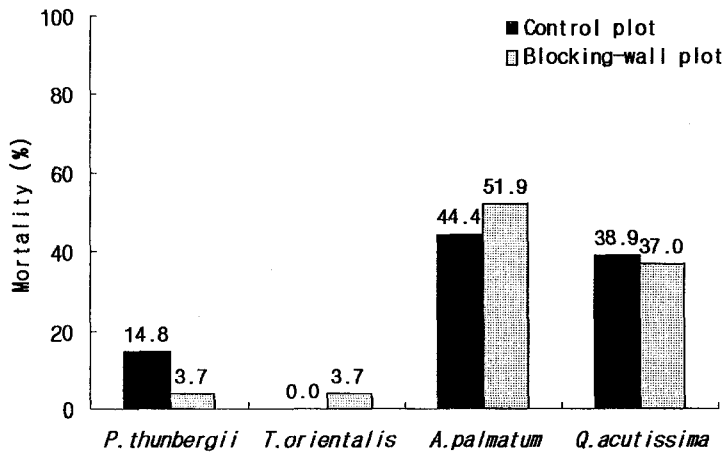


Fig. 13. Tree mortality of tree species under blocking-wall treatment for seawind blocking experiment.

② 수고 및 근원경 생장

㉞ 수고생장

처리별 수고생장은 대조구 10.5%, 방풍막설치구는 13.2%로 대조구에 비하여 방풍막설치는 2.7%의 생장효과가 있었다.

4개 수종 모두 대조구에 비하여 방풍막설치구가 수고생장이 높게 나타났는데 수종별로 방풍효과를 살펴보면 해송의 처리별 수고생장은 대조구 30.3%, 방풍막설치구 33.2%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 2.9%의 수고생장 효과가 있었고 측백은 대조구 9.5%, 방풍막설치구 13.4%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 3.9%의 수고생장 효과가 있었다(Table 39).

단풍나무는 이식에 따른 스트레스로 초두부가 고사하여 3년간의 생장에도 처리간 생장차이는 없었으며 상수리나무는 대조구 7.5%에 비하여 방풍막설치구는 11.4%로 3.9%의 생장효과가 있었다.

Table 39. Growth of tree height for seawind blocking experiment.

구 분	수 종	수 고(cm)			
		기초성적 ( '98.6)	최종성적 ( '00.10)	생장량	생장을
대조구	해 송	232	302	70	30.3
	측 백	245	268	23	9.5
	단풍나무	258	250	-8	-3.2
	상수리나무	257	277	19	7.5
	평 균	<b>248</b>	<b>274</b>	<b>26</b>	<b>10.5</b>
방풍막 설치구	해 송	236	314	78	33.2
	측 백	242	274	32	13.4
	단풍나무	265	258	-8	-2.9
	상수리나무	255	284	29	11.4
	평 균	<b>250</b>	<b>283</b>	<b>33</b>	<b>13.2</b>

㊤ 근원경생장

처리별 근원경 생장율은 대조구 24.9%, 방풍막설치구는 30.5%로 대조구에 비하여 방풍막설치는 5.67%의 성장효과가 있어 수고생장보다는 근원경 생장이 더 높게 나타났다.

4개 수종 모두 대조구에 비하여 방풍막설치구는 근원경 생장이 높게 나타났는데 해송의 처리별(대조구, 방풍막설치구) 근원경생장율은 각각 27.4%, 38.8%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 11.4%의 성장효과가 있어 4개 수종중에서 근원경 생장율이 가장 높게 나타났으며, 측백의 처리별(대조구, 방풍막설치구) 근원경생장율은 각각 26.3%, 34.9%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 8.6%의 성장효과가 있었다.

Table 40. Growth of root collar diameter by species for seawind blocking experiment in Asan site.

구 분	수 종	근 원 경(cm)			
		기 초 성 적 ( '98.6)	최 종 성 적 ( '00.10)	생 장 량	생 장 율
대 조 구	해 송	5.11	6.52	1.40	27.4
	측 백	3.35	4.23	0.88	26.3
	단 풍 나 무	5.25	5.98	0.72	13.8
	상 수 리 나 무	4.09	5.41	1.32	32.2
	평 균	4.45	5.53	1.08	24.9
방 풍 막 설 치 구	해 송	5.01	6.95	1.94	38.8
	측 백	3.44	4.64	1.20	34.9
	단 풍 나 무	5.21	5.98	0.76	14.7
	상 수 리 나 무	4.22	5.64	1.42	33.6
	평 균	4.47	5.80	1.33	30.5

단풍나무의 처리별 (대조구, 방풍막설치구) 근원경생장율은 각각 13.8%, 14.7%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 0.9%의 성장효

과가 있었으며 상수리나무의 처리별 (대조구, 방풍막설치구) 근원경  
생장율은 각각 32.2%, 33.6%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는  
1.4%의 생장효과가 있었다.

방풍막설치 효과는 활엽수보다는 침엽수에서 수고생장과 근원경  
생장 모두 양호하게 나타나는 경향이 나타났다.

## 2) 군산국가공단

### 가) 처리별 및 수종별 고사율

잣나무의 고사율은 대조구 86.1%, 방풍막설치구 36.1%로 해풍  
차단효과가 가장 뚜렷하게 나타났으며 전반적으로 수목활력도가 매  
우 나빠 향후 고사될 수목이 늘어날 것으로 생각된다.

잣나무 식재는 임해매립지에 식재되는 침엽수종이 대부분 해송  
이어서 수종다변화를 피하기 위하여 식재가능 여부를 타진코자 식재  
하였으나 임해매립지에는 적응이 잘 안되는 수종으로 판단된다.

그 밖에 해송, 모감주나무 및 회화나무는 식재 4년차 까지도  
고사한 수목이 1주도 없었으나 대조구에서는 수목활력이 좋지 않고  
쇠퇴현상이 나타나며 고사할 우려가 높은 수목들이 있었다.

### 나) 수고 및 근원경 생장

#### ㉞ 수고생장

군산국가공단에서는 해송을 제외한 나머지 3개 수종은 수고생  
장에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았는데 이러한 원인은 잣나무는 수  
목고사율에서 나타난 것과 같이 임해매립지에 적응이 안되는 수종으  
로 생장이 거의 없는 상태이었고 활엽수 2개 수종은 이식에 따른 스  
트레스로 초두부위가 고사한 것에 기인된 것으로 판단된다.

해송은 아산국가공단에서와 같이 방풍효과가 가장 뚜렷하게 나타났는데 생장율은 대조구 16.2%에 비하여 방풍막처리구는 38.5%로 대조구에 비하여 22.3%의 수고생장 효과가 있었다.

군산국가공단은 아산국가공단에서와 같이 활엽수보다는 침엽수에서 방풍막처리 효과가 크게 나타나 처리간에 수목활력도나 엽량 및 수고생장은 육안으로도 차이를 보이고 있었다(Photo 16).

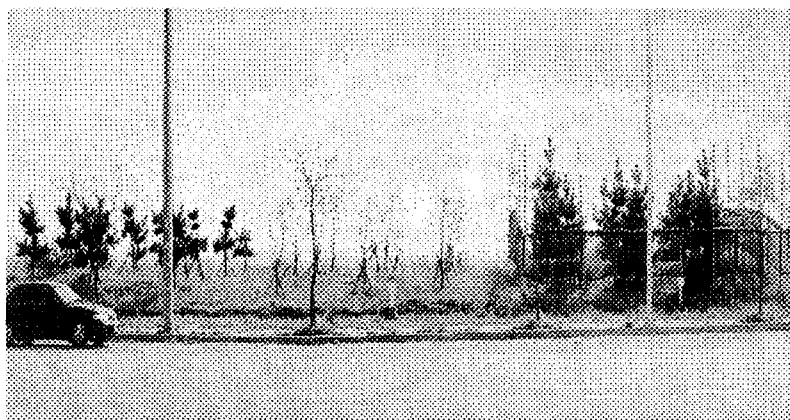


Photo 16. Seawind blocking effect between control plot(left) and blocking-wall plot(right).

#### ㉔ 근원경생장

처리별 근원경생장율은 대조구 23.5%, 방풍막설치구는 31.4%로 대조구에 비하여 방풍막설치는 7.9%의 생장효과가 있었다.

군산국가공단에서 근원경생장은 아산국가공단에서와 같이 4개 수종 모두 대조구에 비하여 방풍막설치구가 높게 나타났다(Table 40).

해송의 처리별(대조구, 방풍막설치구)근원경생장율은 각각 46.9%, 56.0%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 9.1%의 근원경생장

효과가 있었고, 잣나무의 처리별(대조구, 방풍막설치구) 근원경생장율은 각각 2.7%, 5.5%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 2.8%의 성장효과가 있었으며 4개 수종중에서 생장율이 가장 낮았다.

회화나무의 처리별(대조구, 방풍막설치구) 근원경생장율은 각각 14.0%, 28.0%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 14%의 근원경생장효과가 있었으며 모감주나무의 처리별(대조구, 방풍막설치구) 근원경생장율은 각각 30.5%, 36.2%로 대조구에 비하여 방풍막설치구는 5.7%의 수고성장 효과가 있었다.

Table 41. Growth of root collar diameter by species for seawind blocking experiment in Kunsan site.

처리명	수종	근원경(cm)			
		기초성적('97.6)	최종성적('00.10)	성장량	성장율
대조구	잣나무	4.79	4.92	0.13	2.7
	해송	5.08	7.47	2.39	46.9
	모감주나무	5.25	6.85	1.60	30.5
	회화나무	5.45	6.22	0.77	14.0
	평균	5.14	6.37	1.22	23.5
방풍막설치구	잣나무	4.51	4.76	0.25	5.5
	해송	5.22	8.15	2.93	56.0
	모감주나무	5.13	6.99	1.86	36.2
	회화나무	5.64	7.22	1.58	28.0
	평균	5.13	6.78	1.65	31.4

마. 이단식재 및 군상식재시험

1) 시화공단

가) 처리별 및 수종별 고사율조사

처리별 고사율은 대목의 경우 대조구 29.6%, 군상식재구 23.8%

, 이단식재구 21.7%, 군상혼효식재구 17.5% 이단혼효식재구 11.7%의 순으로 나타나 이단혼효식재구나 군상혼효식재구 등 침엽수와 활엽수 혼효식재가 임해매립지에서 바람직한 것으로 나타났다.

수종별 고사율은 대목은 서어나무 51.0%, 메타세쿼이아 22.2%, 왕벚나무 21.0%, 해송 1.5%의 순이었으며 묘목은 서어나무 45.6%, 메타세쿼이아 37.5%, 왕벚나무 19.4%, 해송 5.0%로 대목과 마찬가지로 서어나무와 메타세쿼이아는 고사율이 매우 높아 임해매립지에 적용이 안되는 수종으로 판단된다(Fig 14).

특히 해송은 1997년도에 식재당시(5월 15일) 생산지에서 식재지로 운반직전에 몇일간 계속된 폭우로 인하여 뿌리분의 흙이 씻겨져 뿌리가 노출되었거나 뿌리분의 수분과다로 운반도중에 심하게 손상되어 고사수량이 많아질 것으로 우려하였으나 묘목과 대목 모두 고사율이 5% 미만이어서 이식력이 매우 강하고 임해매립지의 적응력도 매우 강한 수종이었다.

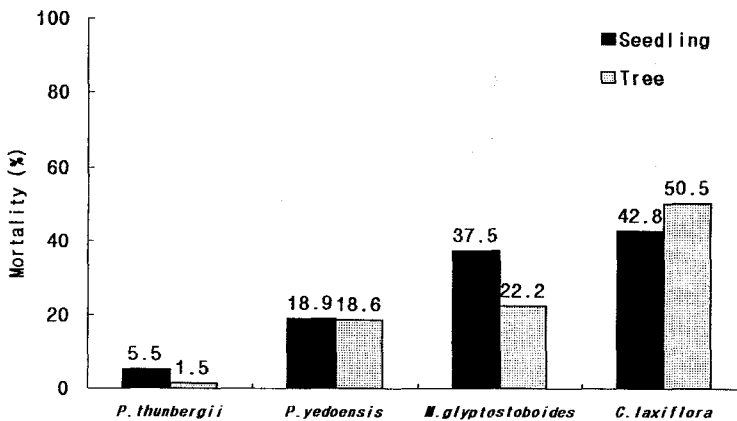


Fig. 14. Tree mortality for double storied and group planting experiment in Sihwa site.



2) 아산국가공단

처리별 고사율은 대목의 경우 대조구 27.8%에 비해 이단식재구 16.6%, 이단혼효식재구 16.7%로 시화공단에서와 같이 칩엽수와 활엽수의 이단혼효식재가 고사율이 낮게 나타나는 경향이 있었으며, 대목의 수종별 고사율은 스트로브잣나무 42.0%, 느릅나무 30.5%, 해송 15.9%, 이팝나무 14.4%의 순이었고, 묘목은 느릅나무 71.0%, 해송 54.5%, 스트로브잣나무 35.7%, 이팝나무 22.2%의 순으로 이팝나무가 대목과 묘목의 고사율이 가장 낮았으나 시화공단과 군산국가공단의 이단 및 군상식재시험 또는 기타 다른 시험과 비교할 때 4수종 모두 수목고사율이 높게 나타났다(Fig 15).

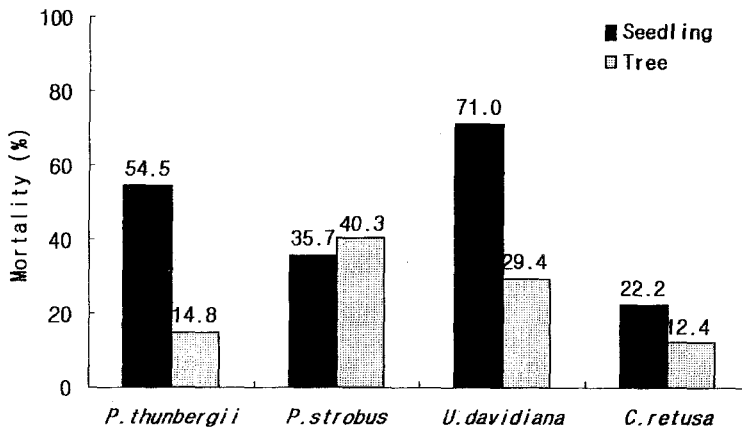


Fig. 15. Tree mortality for double storied and group planting experiment in Sihwa site.

이러한 원인은 공시목을 식재하기전 1998년 3월에 시험지에 대한 토양조사를 실시한 결과 부분적으로 개흙이 다량 나타나거나 지표면 10cm이하부터 갯벌로 매립되어 있어 그대로 수목식재가 불가능하다고 판단되어 토양을 70cm정도 추가로 복토하였으며 식재수목의 규격을 낮게 조정하였는데, 이로 인하여 시공회사에서 공사비 문제로 이의를 제기하여 수목식재가 상당기간 늦어져 식재적기를 놓쳤을 뿐만 아니라 지표면 고르기가 제대로 시행이 안되어 지역에 따라 곳곳에 물이 고이는 등 많은 문제점이 나타나게 되어 수목고사율이 높아졌다.

본 과제의 수행을 위하여 식재지반 조성과 공시목에 소요되는 비용이 기존의 공단조성 사업비에 포함되어 있고 조경공사가 예정되어 있는 녹지대를 활용함으로써 연구에 많은 어려움이 있었으나 수목고사에 직접적인 원인을 주는 요인들에 대한 기초자료를 많이 얻을 수 있었다.

이와 같이 임해매립지에서 수목고사 원인은 시화공단 복토높이 별 식재시험의 팔배나무, 식재지반 조성방법별시험의 이팝나무와 때죽나무, 아산국가공단의 복층립조성 및 군상식재시험에서 본 것과 같이 수목식재시기, 수목굴취 후 이식시간, 배수관리 및 관수 등이 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

한편 스트로브잣나무는 고사목으로 집계되지 않은 수목들도 잎의 선단이 황화현상이 일어나면서 잎 양이 감소하여 고사가 우려되는 수목이 많았는데 아산국가공단내 시험지외에 식재된 스트로브잣나무도 전반적으로 고사하는 수목이 많았고 수목활력도가 떨어지는 현상이 나타났는데 비하여 풍노출이 보호된 지역에 식재된 수목은 정상적으로 생육하고 있어 해풍에 매우 약한 수종으로 판단된다.

### 3) 군산국가공단

군산국가공단에서는 대목의 전체 식재수량 576주중 9주가 고사하여 1.6%의 고사율 밖에 나타나지 않아 처리별 비교가 어려웠으며 묘목은 대조구에서 16.0%, 이단식재구 15.3%, 이단혼효식재구 4.2%로 나타나 시화공단과 아산공단에서와 같이 침엽수와 활엽수 이단혼효식재구에서 고사율이 가장 낮게 나타났다.

수종별 고사율은 대목의 경우 소사나무는 5.6%로 가장 높았고 은행나무와 해송은 0.6%였으며 팽나무는 1주도 고사하지 않아 100%의 활착율을 보였고, 묘목은 소사나무 24.1%, 은행나무 19.4%, 팽나무 5.6%, 해송 2.8%로 소사나무의 고사율이 가장 높게 나타났으며 대목보다는 묘목의 고사율이 높았다(Fig 16).

은행나무는 시화공단의 가로수식재시험과 군산국가공단의 이단식재시험에서 식재하였는데 2곳 모두 생육상태는 좋지 않아 임해매립지에 적응이 잘 안되고 해풍에도 약한 수종으로 판단되는데, 이는 은행나무의 생육적지가 토심이 깊고 토양수분은 적윤하며 비옥한 곳에서 잘 자라고 또한 다비성 수목으로 임해매립지와 같이 척박한 토양에서는 생육적지가 아닌 것으로 생각된다.

한편 군산국가공단은 중부지방보다 연평균기온이 높아 식재시기가 좀더 빨라야 하는 것을 감안한다면 5월 초순의 식재는 식재시기가 매우 늦은 편인데도 불구하고 고사율이 낮았는데 이는 수목굴취후 즉시 이식하고 관수를 충분히 실시하는 식재요령을 준수하였고 시험지관리를 군산임업협동조합에 위탁 계약하여 수목관리 상태가 양호하였기 때문인 것으로 판단되므로 수목의 유지관리를 어떻게 하느냐에 따라서 수목고사를 많이 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

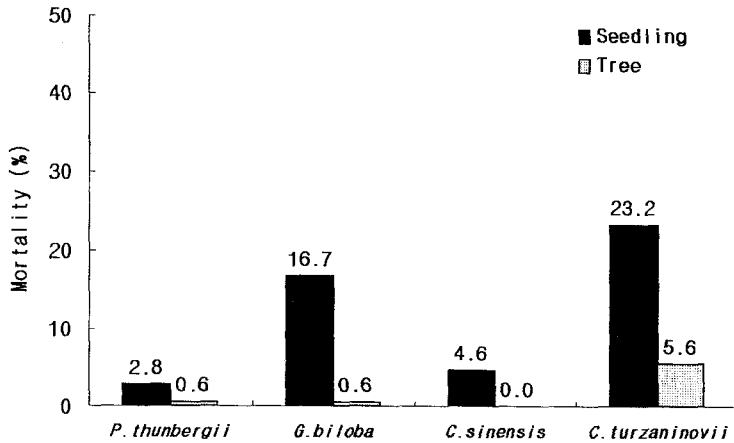


Fig. 16. Tree mortality for double storied and group planting experiment in Kunsian site.

#### 바. 수목적응시험

임해매립지 환경에 적응력이 강하고 내염성이 강한 수종을 선발하기 위하여 현재 임해매립지에 많이 식재되지 않는 수종중에서 향후 식재적용해야 할 수종과 가능성여부 판단이 필요한 수종을 대상으로 묘목을 사용하여 아산국가공단과 군산국가공단에서 실시하였다.

#### 1) 아산국가공단

##### 가) 처리별 및 수종별 고사율

고사율은 98년에는 고로쇠나무, 상수리나무, 황철나무, 쉬나무, 자귀나무, 현사시나무의 순으로 각각 67.1, 61.6, 60.2, 7.9, 3.2, 0.9%이었으며 99년에는 고로쇠나무, 황철나무, 상수리나무, 쉬나무, 자귀나무, 현사시나무의 순으로 각각 68.0, 65.7, 63.0,

23.1, 6.9, 6.5%이었다.

고로쇠나무는 98년에 66.2%에서 99년에는 68.1%이었으며 2000년에는 3.7%가 추가로 고사하여 식재 3년간 고사율은 71.8%로 6개 수종중 가장 높은 수종이었고 현사시나무는 98년에 0.9%에서 99년에는 6.5%이었으며 2000년에는 1.9%가 추가로 고사하여 8.3%로 나타나 고사율이 가장 낮은 수종이었다.

식재 3년차인 2000년의 수종별 고사율은 고로쇠나무 71.8%> 황철나무 65.7%> 상수리나무 63.0%> 쉬나무 23.2%> 자귀나무 10.2%> 현사시나무 8.3%의 순으로 나타났다(Fig 17).

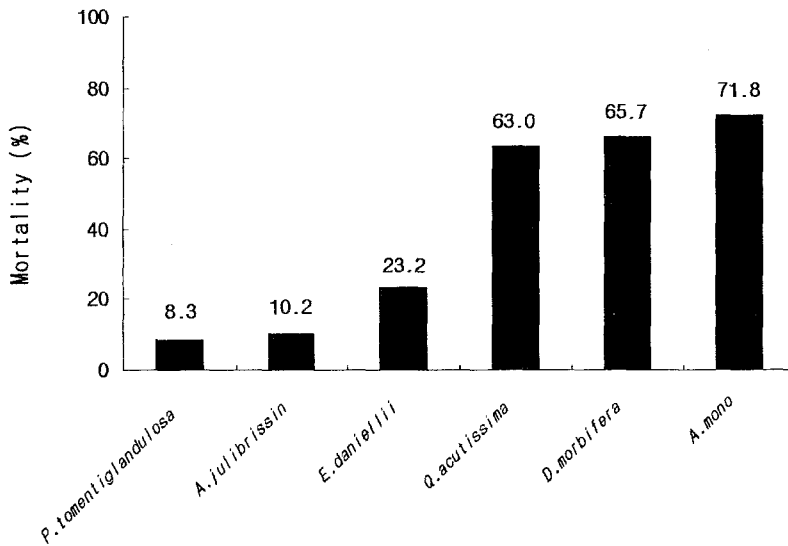


Fig. 17. Tree mortality for accomodation experiment in Asan site.

## 나) 피복재(Mulching) 처리효과

임해매립지 또는 택지개발지와 같은 대단위 면적의 수목식재지는 관리공사 중에서 제초작업이 큰 비중을 차지하고 있으며, 제초방법으로는 인력작업과 예초기에 의한 기계작업을 병행하여 실시하고 있으나 인력작업이 필요한 지역은 인력수급에 많은 어려움을 겪을 뿐만 아니라 작업과정과 효율 측면에서도 문제점이 있다.

이러한 문제점과 수분손실방지 및 토양물리성 개선효과 증대로 농업에서는 피복재 덮기에 의한 제초방법을 많이 사용하고 있으나 수목식재지에는 대부분 잔디식재를 병행하고 있고 수목배식방법이나 관행상 피복재 사용은 거의 없는 실정이다.

기존 임해매립지의 사례를 보면 녹지대나 공원같은 수목식재지에는 잔디식재를 병행하고 있어 하자기간내에는 제초작업이 잘 이루어지고 있으나 관리공사 기간이 지나면 거의 잡초지대로 변하고 있는 실정으로 잔디식재와 관리공사 등 초기에 투입된 많은 예산이 무용지물이 되고 있는 실정이다.

따라서 아산국가공단 포송지구에서 피복재료별 효과를 분석하기 위하여 톱밥, 대패밥, 골판지, 인견심지, 제초시트(듀퐁 A), 제초시트(듀퐁 B) 등 6종의 피복재료를 사용하여 1999년부터 2000년까지 2년간 피복효과를 측정하였다(Table 41).

### ① 제초시 피복재료별 소요인력

각 처리별로 10m×10m의 면적을 3반복씩 설치하였고 피복재료별 처리방법은 톱밥과 대패밥은 2cm 정도의 두께로 전체면적이 피복되도록 하였고, 골판지는 1m×1m 크기로 잘라 바둑판 형식으로 연결되어 전체면적이 피복되도록 하였으며, 인견심지와 제초시트는 1m×10m 크기로 잘라 역시 전체면적을 피복하였다.

Table 42. Requirement of weeding workers by covering material.

피복재료	소요인력(인)		비 고
	무처리구	피복재 처리구	
톱 밭	1.70	0.59	100㎡의 면적에 대하여 1회 제초시 소요인력 임
대패밭	1.15	0.86	
골판지	1.40	0.71	
인견심지(부직포)	1.66	0.60	
제초시트(듀퐁 B)	1.25	0.79	
제초시트(듀퐁 A)	2.26	0.44	
평균	1.57	0.67	

100㎡의 면적에 대하여 1회 제초시 소요인력은 제초시트(듀퐁 A)가 0.44인으로 피복재 처리효과가 가장 좋게 나타났으며 대패밭은 제초시트보다 약 2배인 0.86인이 소요하여 6개 멀칭재료 중에서 제초인력이 가장 많이 소요되었는데 이는 대패밭의 중량이 가벼워 바람이 거센 임해매립지에서는 지표면에 고정이 안되어 약간의 이동이 있었으며 입자의 크기가 커서 공간이 많아 다른 재료에 비하여 초종의 유입이 쉬웠기 때문인 것으로 판단된다.

피복재료별 제초효과는 제초시트 A > 톱밭 > 인견심지 > 골판지 > 제초시트 B > 대패밭 순이었다.

6개 피복재료의 전체 평균은 대조구는 100㎡당 1.57인이 소요되었으나 피복재 처리구는 0.67인이 소요되어 43%의 인력절감 효과가 있었으며 1회 제초시 ha 당 90인의 인력이 절감되는 것으로 나타나 임해매립지에서 보통 연간 3회 정도 제초를 시행한다고 보면 인력절감 효과가 큰 것으로 나타났다.

## 2) 군산국가공단

### 가) 처리별 및 수종별 고사율

년도별 고사율 추이는 97년에 히말라야시다, 팔배나무, 때죽나무, 아까시나무, 수양버들의 순으로 각각 83.9, 55.0, 18.3, 17.8, 13.9%이었고 98년에는 고사율이 약간씩 증가하였으나 수종간 고사량이 많은 순서는 변동이 없어 히말라야시다, 팔배나무, 때죽나무, 아까시나무, 수양버들의 순으로 각각 91.1, 55.0, 26.6, 18.9, 17.8%이었으며 99년에도 역시 히말라야시다, 팔배나무, 때죽나무, 아까시나무, 수양버들의 순으로 각각 91.1, 57.2, 31.1, 21.1, 20.6%이었다.

식재 4년차인 2000년의 수종별 고사율은 히말라야시다 91.7% > 팔배나무 58.3% > 때죽나무 31.7% > 아까시나무 21.2% > 수양버들 21.1%의 순이었다(Fig 18).

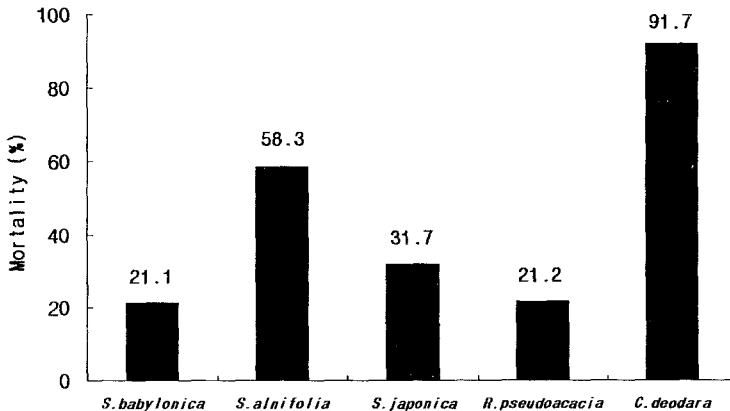


Fig. 18. Tree mortality for accomodation experiment in Kunsan site.



히말라야시다는 침엽수종 임해매립지에 식재할 수종이 해송 밖에 없어 식재가능 여부를 타진하고자 식재하였으나 고사율이 가장 높아 임해매립지에 잘 적응하지 못하는 수종으로 나타났고 수양버들, 아까시나무 및 때죽나무는 적응도 잘되고 성장도 양호한 수종이었다.

#### 사. 식재밀도시험

임해매립지는 전술한 바와 같이 수목이 정상적으로 생육하는데 많은 환경적인 제약이 따르기 때문에 수종별 적절한 식재밀도와 수목생장에 미치는 요인을 구명하고자 실시하였다.

##### 1) 아산국가공단

###### 가) 처리별 및 수종별 고사율

수종별 고사율은 98년에는 해송, 소사나무, 느릅나무, 아까시나무, 장구밥나무의 순으로 각각 21.1, 18.3, 9.5, 8.5, 0.3%이었고 99년에는 오리나무를 추가로 식재하여 6개 수종으로 늘어났으며 고사율은 해송, 오리나무, 소사나무, 아까시나무, 느릅나무, 장구밥나무의 순으로 각각 28.9, 28.1, 18.7, 11.9, 10.8, 1.0%로 나타났다.

식재 3년차인 2000년도의 고사율은 해송 29.0% > 오리나무 28.6% > 소사나무 28.4% > 아까시나무 11.9% > 느릅나무 11.2% > 장구밥나무 1.1%의 순으로 나타났다(Fig 19).

장구밥나무는 식재후 3년간의 고사율이 1.1% 밖에 안되고 맹아력도 매우 왕성하여 임해매립지 환경에 적응이 잘되는 수종으로 판단되며 아까시나무, 오리나무 등도 임해매립지 환경에 잘 적응하는 수종으로 판단된다. 총 식재수량 4,590주중 98년에는 441주가 고사

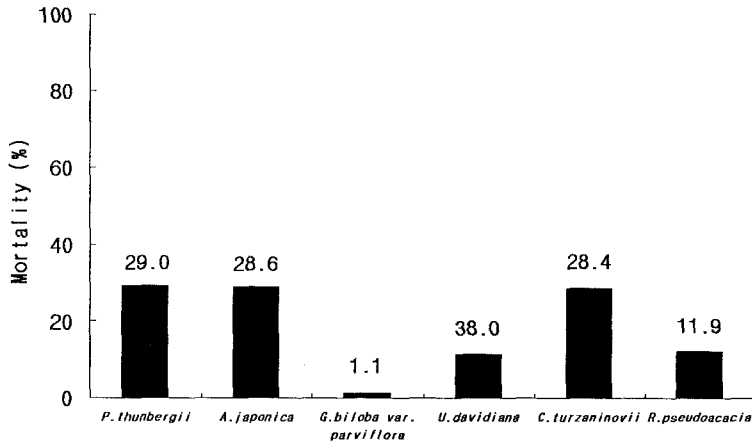


Fig. 19. Tree mortality for planting density experiment in Asan site.

하여 9.6%의 고사율을 보였고 99년에는 319주가 추가로 고사하여 고사율은 16.6%가 되었다.

식재밀도별 고사율은 10,000본/ha 식재구는 식재수량 630주중 1997년에 73주가 고사하여 11.6%이었고 1999년에는 10.2%가 증가한 21.7%이었으며, 20,000본/ha 식재구는 식재수량 1,260주중 1997년에 118주가 고사하여 9.4%이었고 1999년에는 4.4%가 증가한 13.7%이었으며, 40,000본/ha 식재구는 식재수량 2,700주중 1997년에 250주가 고사하여 9.3%이었고 1999년에는 전년도에 비해 7.4%가 증가하여 16.7%로 나타났다.

식재 3년차인 2000년에는 10,000/ha 22.2% > 40,000/ha 18.4% > 20,000/ha 16.4%로 나타나 3개 처리구중에 20,000/ha에서 고사율이 가장 적게 나타났다(Fig 20).

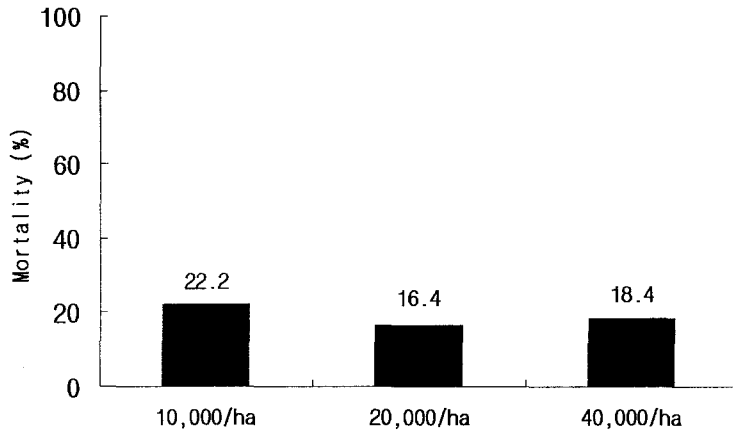


Fig. 20. Tree mortality by different planting density.

#### 아. 종자파종시험

##### 1) 수종별 발아율

임해매립지의 토양 및 환경조건에서 직파에 의한 수종별 발아율과 성장상태를 조사하기 위하여 1998년 5월 9일 아산국가공단 5호 녹지대의 880m<sup>2</sup>에 교목류인 해송, 오리나무, 자작나무, 아까시나무, 자귀나무의 5수종과 관목류인 쥐똥나무, 해당화, 참싸리, 족제비싸리 4수종 및 초본류인 크로바 등 10종류를 파종한 후 발아율과 잔존본수를 조사하였다.

수종별 발아율은 자귀나무와 쥐똥나무는 각각 42.3%, 43.0%로 비교적 높은 발아율을 나타냈으며, 특히 쥐똥나무는 파종 이듬해까지 발아하는 경향을 보였다. 참싸리와 족제비싸리는 각각 21.0%, 2.5%로 나타났으며, 특히 족제비싸리의 경우는 파종 당년에는 발아하지 않았으나 이듬해에 발아함으로써 금후 족제비싸리의 파종시에

는 반드시 전처리が必要할 것으로 판단되었다(Table 43).

해송은 12.8%, 아까시나무는 14.6%, 해당화는 9.8%를 나타냈고 세립종자인 자작나무는 2%내외로 극소수만이 발아하였으며, 오리나무는 전혀 발아가 되지 않았는데 이는 파종상의 토양이 점질성이 강하여 세립종자의 파종상으로는 부적합한 것으로 생각되었다.

따라서 이들 세립종자의 수종은 임해매립지에서 직파수종으로는 적합하지 않은 것으로 판단되었으며 초본류인 크로바는 32.3%의 발아율을 나타내어 매립지내 녹지대 피복용으로 가능한 초종으로 판단되었다(Table 43).

Table 43. Germination of species after seeding in reclaimed foreshore land.

수 종	파종 면적 (m <sup>2</sup> )	파종량		발아본수 (개/0.25m <sup>2</sup> )	발아율 (%)
		전체 (kg)	조사구 (립)		
해 송	50	1.98	200	25.6	12.8
자작나무	50	0.30	1,000	20.0	2.0
아까시나무	50	1.50	200	29.2	14.6
자귀나무	50	1.45	100	42.3	42.3
쥐똥나무	50	1.40	100	43.0	43.0
참싸리	80	1.02	200	42.0	21.0
죽제비싸리	80	1.02	200	5.0	2.5
해당화	50	1.40	200	19.6	9.8
오리나무	50	1.40	720	-	-
크로바	200	0.50	1,000	323	32.3

2) 수종별 잔존율 변화

파종 1년과 2년 후 발아된 본수에 대하여 잔존본수를 조사한 결과 잔존율 변화는 자귀나무에서 가장 뚜렷하게 나타났는데 발아 당년에는 큰 차이를 보이지 않았으나 1년차에서 90% 감소하였고 2년 차에서는 모두 고사하였다(Table 21). 이는 매립지 토양이 사질토양으로서 건조시 균열이 심하게 나타나고 뿌리가 성장하면서 노출되어 피해를 받았기 때문으로 판단되었다. 자작나무는 당초 발아율이 낮고 잔존율이 1.5%로 평균 0.3본의 개체수가 잔존함으로서 매립지 직 파수종으로는 부적합한 것으로 판단되었다. 아까시나무와 참싸리의 잔존율은 각각 22.6%, 7.1%로서 이는 생육초기에 개체간 경쟁에 의해 피압된 개체가 많았기 때문으로 판단되었다.

Table 44. Periodic change of tree survival rate.

수 종	발아 본수 (개/ 0.25m <sup>2</sup> )	1999년 4월 9일		1999년 9월 3일		2000년 6월 15일	
		잔존 본수 (개)	잔존율 (%)	잔존 본수 (개)	잔존율 (%)	잔존 본수 (개)	잔존율 (%)
해 송	25.6	11.0	43.0	11.0	43.0	7.7	30.0
자작나무	20.0	2.0	10.0	0.3	1.5	0.3	1.5
아까시나무	29.2	21.0	71.9	8.7	29.8	6.6	22.6
자귀나무	42.3	41.0	96.9	2.7	6.4	0	0
취퐁나무	43.0	31.7	73.7	29.7	69.1	24.0	55.8
참싸리	42.0	32.0	76.2	3.0	7.1	3.0	7.1
죽제비싸리	5.0	4.0	80.0	3.7	74.0	3.0	60.0
해당화	19.6	4.0	20.4	4.0	20.4	3.7	18.9

쥐똥나무와 족제비싸리는 각각 55.8%, 60.0%로 비교적 높은 잔존율을 보였다. 해송과 해당화는 각각 30%, 18.9%로 발아 1년후 잔존율에 비해서 감소율이 낮은 경향을 보였다(Table 44).

이들 결과를 고찰해 볼 때 임해매립지 파종수종으로는 해송, 아까시나무, 참싸리, 족제비싸리, 해당화 등이 적합한 것으로 판단되었다.

### 3) 수종별 성장량

발아 후 3년차의 수종별 성장량을 조사한 결과는 Table 45와 같다.

간장과 근원경 생장은 각각 아까시나무 268.4cm, 24.4mm, 참싸리 213.3cm, 16.7mm, 족제비싸리 180.5cm, 24.4mm로서 양호한 성장을 보였으며, 해송 25.4cm, 7.5mm, 자작나무 30.5cm, 5.5mm, 자귀나무 30.5cm, 5.5mm, 해당화 31.0cm, 8.4mm로 나타났다.

Table 45. Growth of tree height and root collar diameter for three year old seedlings.

수 종	간장(cm)	근원경(mm)	수 종	간장(cm)	근원경(mm)
해 송	25.4	7.5	쥐똥나무	38.5	5.9
자작나무	30.5	5.5	참싸리	213.3	16.7
아까시나무	268.4	24.4	족제비싸리	180.5	24.4
해당화	31.0	8.4	자귀나무	30.5	5.5

## 5. 해안 식생조사

임해매립지에 공업단지, 주택단지 등이 조성되면서 가로수, 녹지대, 조경수 및 공원 등에 많은 수목을 식재하고 있으나 검증되지 않은 수종선정으로 인하여 생육이 부진하거나 고사하고 있는 수목이 점차 늘어나고 있는 실정이다.

국내외 문헌상으로는 여러 가지 자료가 있지만 정작 문헌에 의해 선정되고 식재한 수종이 많은 실패를 보고 있다.

수목의 안정된 생육환경을 위해서는 식재지역의 토양, 기후등 환경여건에 맞는 자생수목을 식재하는 것이 바람직하나 아직까지 국내에서는 우리나라의 해안가에 자생하는 수종을 심도있게 조사한 결과는 거의 없는 것으로 조사되었다.

따라서 임해매립지 환경에 적합한 내염수종을 선발하여 임해매립지에 수목식재시 이를 반영코자 실연시험지인 시화공단, 아산국가공단, 군산국가공단 주변을 중심으로 연안지역과 도서지역의 해안가에 자생하는 수목을 조사하였다.

조사지역은 서해안 백령도부터 군산앞 바다까지 도서지방과 바다와 인접한 해안사면에 자생하는 수목을 조사하여 출현빈도가 높은 수목이 염해 및 바닷가 제 여건에 강한 수종으로 판단되어 시화공단 46plot, 아산국가공단 55plot, 군산국가공단 46plot등 총 147plot을 조사하였다.

조사지역의 구분은 시화공단주변, 아산국가공단주변, 군산국가공단주변 등 3개 권역으로 나누어서 조사하였으며 시화공단주변은 백령도부터 강화도, 덕적군도를 거쳐 대부도까지, 아산국가공단 주변은 남양만부터 아산만일대, 당진군, 서산시, 안면도, 대천앞 바다

의 장고도, 원산도, 호도, 홍성군일대까지, 군산국가공단 주변은 외연도부터 어청도, 연도, 개야도, 서천군, 군산시, 고군산군도를 거쳐 변산반도까지로 구분하였다.

조사방법은 현장조사를 통하여 이루어 졌으며 바다와 인접한 해안사면에서 인위적인 피해가 적고 비교적 자연상태의 식생이 유지된 곳을 중심으로 길이 20m, 폭 10m의 면적내에 자생하는 상층과 중층의 교목과 관목을 조사하였다.

지역별, 산림식생별, 종의 점유정도를 파악하기 위하여 식생 조사에서 얻은 자료를 토대로 Curtis와 McIntosh(1951)의 방법을 응용하여 중요치(I.V. : Importance Value)를 산출하여 구성종의 생태적 영향력을 평가하였다.

#### 가. 시화공단 주변의 식생

총 46개 plot을 조사한 결과 교목 38종, 관목 48종이 출현하였으며 대부분의 식생이 문헌상에서 비교적 염해에 강하다고 알려진 수종과 인공적인 간섭을 덜 받고 척박한 토양에서 많이 출현하는 수종들이었다.

시화공단에서 조사된 교목중 중요치가 높고, 제 환경에 강하다고 판단되는 수종은 곰솔, 소사나무, 팔배나무, 졸참나무, 굴피나무, 산벚나무, 음나무, 아까시나무, 소나무, 팽나무 순이었으며 관목은 보리수나무, 진달래, 인동, 분꽃나무, 짚레꽃, 참싸리, 붉나무, 땃대나무, 칩, 회잎나무 순이었다.



Table 46. Importance value of trees around Sihwa industrial complex.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
소사나무	65.2	22.7	43.9
팔배나무	65.2	7.8	36.5
졸참나무	45.7	2.8	24.2
굴피나무	34.8	5.8	20.3
곰솔	32.8	5.1	18.9
산벚나무	34.8	1.9	18.3
읍나무	34.8	1.1	18.0
아까시나무	30.4	5.4	17.9
소나무	30.4	4.7	17.6
팽나무	30.4	2.3	16.4
상수리나무	21.7	2.2	12.0
고로쇠나무	17.4	3.0	10.2
자귀나무	17.4	2.0	8.7
꾸지뽕나무	13.0	3.1	8.1
신갈나무	13.0	0.8	6.9
굴참나무	10.9	2.5	6.7
갈참나무	13.0	0.1	6.6
떡갈나무	10.8	0.1	5.5
물푸레나무	8.7	0.6	4.6
소태나무	8.7	0.2	4.5
느릅나무	4.3	2.7	3.5
사탑주나무	4.3	2.3	3.3
복사나무	4.3	0.2	2.3
참중나무	4.3	0.0	2.2
노간주나무	4.3	0.0	2.2
밤나무	4.3	0.0	2.2
물오리나무	2.2	0.2	1.2
산돌배나무	2.2	0.0	1.1
아그배나무	2.2	0.0	1.1
오리나무	2.2	0.0	1.1
산사나무	2.2	0.0	1.1
왕팽나무	2.2	0.0	1.1
현사시나무	2.2	0.0	1.1
가중나무	2.2	0.0	1.1
살구나무	2.2	0.0	1.1
야광나무	2.2	0.0	1.1
들깨나무	2.2	0.0	1.1

Table 47. Importance value of shrubes around Sihwa industrial complex.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
리기다소나무	2.2	0.0	1.1
보리수나무	54.3	6.4	30.47
진달래	54.3	1.0	27.7
인동덩굴	54.3	0.8	27.6
분꽃나무	41.3	2.4	21.9
필레꽃	41.3	0.6	20.9
참싸리	37.0	0.5	18.7
붉나무	34.8	0.8	17.8
댕댕이덩굴	34.8	0.3	17.6
참	28.3	0.6	14.5
회잎나무	28.3	0.6	14.4
장구밥나무	26.1	0.6	13.4
노박덩굴	23.9	0.6	12.3
청미레덩굴	23.9	0.2	12.1
청가시덩굴	21.7	0.2	11.0
으름	17.4	1.1	9.3
보리장나무	13.0	1.3	7.2
으아리	13.0	0.1	6.6
생강나무	10.9	1.4	6.2
담쟁이	10.9	0.1	5.5
병꽃나무	8.7	0.6	4.6
참빗살나무	8.7	0.6	4.6
줄사철	8.7	0.4	4.6
가마귀밥여름나무	8.7	0.2	4.5
조록싸리	8.7	0.1	4.4
노간주	8.7	0.1	4.4
국수나무	8.7	0.1	4.4
개울나무	6.5	0.2	3.4
꾸지나무	6.5	0.1	3.3
병아리꽃나무	6.5	0.1	3.3
산딸기	6.5	0.1	3.3
생강나무	6.5	0.1	3.3
명석딸기	4.3	0.0	2.2
작살나무	4.3	0.0	2.2
가막살나무	4.3	0.0	2.2
사철나무	4.3	0.0	2.2

Table 47. Continued.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
쥐똥나무	4.3	0.0	2.2
괴불나무	4.3	0.0	2.2
산딸기	6.5	0.1	3.3
생강나무	6.5	0.1	3.3
명석딸기	4.3	0.0	2.2
작살나무	4.3	0.0	2.2
가막살나무	4.3	0.0	2.2
사철나무	4.3	0.0	2.2
쥐똥나무	4.3	0.0	2.2
괴불나무	4.3	0.0	2.2
오갈피나무	2.2	0.4	1.3
이대	2.2	0.2	1.2
순비기나무	2.2	0.0	1.1
마삭줄	2.2	0.0	1.1
개산초	2.2	0.0	1.1
구기자	2.2	0.0	1.1
개머루	2.2	0.0	1.1
때죽나무	2.2	0.0	1.1
나도밤나무	2.2	0.0	1.1
족제비싸리	2.2	0.0	1.1
개암나무	2.2	0.0	1.1

나. 아산국가공단 주변의 식생

아산국가공단 주변은 경기도 남양주부터 아산만, 충남 서산시 일원, 충남 태안군 안면도 지역, 충남 보령시 앞바다인 호도, 녹도, 장고도, 원산도, 삽시도 등과 충남 홍성군 일원까지 조사하였다.

조사지역중 내륙지역의 해안에는 타 지역에 비하여 인위적인 식생교란이 심하였으며 특히 충남 보령시 오천면 장고도리에서는 지금까지 학계에 보고되지 않은 높이 1m~1.5m 크기의 모감주나무가 폭 20m 길이 150m의 해변에 군락을 이루며 자생하고 있었고 보령시

앞바다의 섬에서는 일부 난대수종이 출현하였다.

총55plot을 조사한 결과 교목 48종, 관목 66종이 출현하였으며 출현수종의 IV(중요치)값이 높은 수종중 교목은 곰솔, 팔배나무, 자귀나무, 졸참나무, 아까시나무, 굴피나무, 산벚나무, 음나무, 갈참나무, 소나무 순이었으며 관목은 붉나무, 진달래, 인동덩굴, 땃대어덩굴, 찔레꽃, 칩, 장구밥나무, 담쟁이, 청미래덩굴, 보리수나무 순이었다.

Table 48. Importance value of trees around Asan industrial complex.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
곰솔	83.8	22.0	42.8
팔배나무	52.7	7.8	30.3
자귀나무	52.7	5.6	29.2
졸참나무	41.8	4.0	22.9
아까시나무	38.2	6.4	22.3
굴피나무	32.7	4.8	18.7
산벚나무	29.1	2.2	15.8
음나무	27.3	2.4	14.8
갈참나무	27.3	2.0	14.7
소나무	20.0	3.5	11.8
팽나무	21.8	1.8	11.7
떡갈나무	18.2	1.5	9.9
때죽나무	15.4	1.2	8.8
소태나무	14.5	1.8	8.2
느릅나무	10.9	2.8	6.9
소사나무	10.9	2.5	6.7
모감주나무	9.1	3.0	6.0
회잎나무	10.9	1.0	6.0
복사나무	10.9	0.8	5.9
상수리나무	9.1	1.2	5.2
굴참나무	9.1	1.0	5.1
현사시	9.1	0.7	4.9
쉬나무	7.3	0.7	4.0

Table 48. Continued.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
참느릅나무	5.5	0.4	2.9
가중나무	3.8	0.8	2.2
감나무	3.8	0.3	2.0
대팻집나무	3.8	0.3	2.0
말채나무	3.8	0.3	2.0
리기다소나무	3.8	0.3	2.0
물푸레나무	3.8	0.3	2.0
오리나무	3.8	0.3	2.0
느티나무	1.8	1.1	1.5
가중나무	1.8	0.7	1.3
회화나무	1.8	0.1	1.0
신갈나무	1.8	0.1	1.0
산들배나무	1.8	0.1	1.0
헛개나무	1.8	0.1	1.0
섬벚나무	1.8	0.1	1.0
대추	1.8	0.1	1.0
고로쇠나무	1.8	0.1	1.0
합다리나무	1.8	0.1	1.0
은행나무	1.8	0.1	1.0
양버들	1.8	0.1	1.0
갈매나무	1.8	0.1	1.0
야광나무	1.8	0.1	1.0
사람주나무	1.8	0.1	1.0
산딸나무	1.8	0.1	1.0
물오리나무	1.8	0.1	1.0

Table 49. Importance value of shrub around Asan industrial complex.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
뽕나무	56.4	6.5	31.4
진달래	49.1	6.5	27.8
인동덩굴	47.3	3.7	25.5
댕댕이덩굴	47.3	3.6	25.4
찔레꽃	36.4	5.2	20.8
취	36.4	3.3	19.8
장구밥나무	29.1	5.5	17.3
담쟁이	30.9	2.5	16.7
칭미레덩굴	27.3	2.0	14.7
보리수나무	23.6	2.7	13.2
싸리	23.6	2.0	12.8
노박덩굴	21.8	2.5	12.2
조록싸리	21.8	1.8	11.8
생강나무	20.0	1.5	10.8
계요동	16.4	2.7	9.5
꾸지뽕나무	16.4	2.7	9.5
명석딸기	16.4	1.2	8.8
청가시덩굴	16.4	1.2	8.8
들가시나무	14.5	1.3	7.9
개머루	14.5	1.1	7.8
쥐똥나무	12.7	2.4	7.8
사철나무	12.7	1.0	6.8
털괴불나무	10.9	0.8	5.9
병아리꽃나무	9.1	2.1	5.8
해당화	9.1	1.4	5.3
보리장나무	9.1	0.9	5.0
털썩나무	9.1	0.7	4.9
윤노리나무	9.1	0.7	4.9
산딸기	9.1	0.7	4.9
족제비싸리	9.1	0.7	4.9
조구나무	7.3	0.7	4.0
참싸리	7.3	0.5	3.9
꾸지나무	7.3	0.5	3.9
노린재나무	5.5	1.0	3.2
순비기나무	3.6	2.3	3.0

Table 49. Continued.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
작살나무	5.5	0.4	2.9
초피나무	5.5	0.4	2.9
개암나무	5.5	0.4	2.9
으아리	5.5	0.4	2.9
검양옥나무	5.5	0.4	2.9
머루	5.5	0.4	2.9
광대싸리	5.5	0.4	2.9
까마귀밥여름나무	5.5	0.4	2.9
숨대	3.6	0.8	2.2
조릿대	3.6	0.5	2.0
개울나무	3.6	0.3	2.0
참개암나무	3.6	0.3	2.0
이스라지	3.6	0.3	2.0
옥매	3.6	0.3	2.0
산초나무	3.6	0.3	2.0
두릅나무	3.6	0.3	2.0
땅비싸리	3.6	0.3	2.0
송악	1.8	0.7	1.3
말오줌때나무	1.8	0.3	1.1
검노린재	1.8	0.1	1.0
까치밥나무	1.8	0.1	1.0
딱총나무	1.8	0.1	1.0
개산초	1.8	0.1	1.0
사위질빵	1.8	0.1	1.0
멀꿀	1.8	0.1	1.0
조팝나무	1.8	0.1	1.0
갯버들	1.8	0.1	1.0
고광나무	1.8	0.1	1.0
괴불나무	1.8	0.1	1.0
분꽃나무	1.8	0.1	1.0
무궁화	1.8	0.1	1.0



Photo 17. Natural growing area  
of *Carpinus turzaninovii*.  
(Anmyun-do, Tae'an-kun)



Photo 18. Natural growing area  
of *Koelreuteria paniculata*  
(Changgo-do, Boryeong-si)



Photo 19. Natural community of  
*Robinia pseudoacacia* near coast line.  
(Haegdam-do, Pyungtak-si)



Photo 20. Natural germination of  
*S. koreensis* and *R. pseudoacacia*  
after acclimation.  
(Sihwa industrial complex)



#### 다. 군산공단 주변의 식생

군산공단 주변은 충남 보령시 외연도부터 전라북도 변산반도까지 조사하였으며 외연도의 경우 아산국가공단 주변으로 분류한 충남 보령시 호도, 녹도 등과 근접한 거리에 위치하나 식생이 천연상록활엽수림이 출현하고 군산국가공단 주변과 유사한 종이 많아서 군산국가공단 주변으로 분류하였으며 천연상록활엽수림의 최북단 자생지역으로서 천연기념물로 지정된 곳이기도 하다

고군산군도 도서지역에서는 식생이 잘 보전되어 출현종이 다양하게 나타났는데 현재까지 출현하지 않았던 난대수종인 돌가시나무, 사스레피나무, 장구밥나무, 보리장나무, 자금우, 정금나무, 실거리나무 등이 출현하였고 꾸지나무, 가중나무 군락도 출현하였다.

특히 옥도면 무너도에서는 지금까지 학계에 보고되어 있지 않은 모감주나무 신 자생지 군락을 발견하였는데 수고 3.5m내외, 근경 30cm의 대목 20여주가 약 70m의 해안에 일렬로 산재해 있고 수고 1.5~3m, 근경 5~15cm의 300여주가 폭 10~20m, 길이 약 300m의 해안에 군락을 형성하고 있었다.

군산국가공단 주변에서 나타나는 교목성수종은 시화공단 및 아산국가공단과 유사한 경향을 보여 곰솔, 팽나무, 소사나무, 아까시나무, 졸참나무 등이 우점을 이루고 그외 동백나무, 팔배나무, 오리나무, 굴피나무, 자귀나무, 상수리나무 등이 비교적 안정된 군락을 형성하고 있다. 관목류는 인동덩굴, 짚레, 국수나무, 땃대이덩굴, 줄딸기, 개머루, 노박덩굴 등 86종이 출현하였다.

군산국가공단 주변에서 총46plot을 조사한 결과 교목 32종, 관목 54종이 출현하였으며 출현수종의 IV(중요치)값이 높은 수종 중 교목은 곰솔, 소사나무, 자귀나무, 팽나무, 아까시나무, 팔배나무,

굴피나무, 졸참나무, 꾸지뽕나무, 소태나무 순 이었으며 관목은 인  
 동덩굴, 짚레꽃, 땃덩이덩굴, 노박덩굴, 사스레피나무, 돌가시나무,  
 보리장나무, 진달래, 개머루, 조록싸리 순이었다.

Table 50. Importance value of trees around Kunsan industrial complex.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
곰솔	69.6	17.9	43.7
소사나무	50.0	9.4	29.7
자귀나무	58.5	0.9	28.7
팽나무	43.5	5.9	24.7
아까시나무	41.3	4.8	23.0
팔배나무	41.3	0.7	21.0
굴피나무	34.8	1.2	18.0
졸참나무	23.9	1.4	12.7
꾸지뽕나무	13.3	0.3	6.8
소태나무	13.0	0.5	6.8
느티나무	10.9	0.3	5.6
오리나무	10.9	0.3	5.6
소나무	8.7	2.2	5.6
읍나무	8.7	0.2	4.5
가중나무	8.7	0.2	4.5
야광나무	8.7	0.1	4.4
떼죽나무	6.5	0.6	3.5
굴참나무	6.5	0.2	3.4
쉬나무	6.5	0.2	3.4
모감주나무	6.5	0.1	3.3
밤나무	6.5	0.1	3.3
상수리나무	6.5	0.1	3.3
산벚나무	6.5	0.1	3.3
복사나무	4.3	0.0	2.2
사방오리	2.2	0.0	1.1
현사시나무	2.2	0.0	1.1
오동나무	2.2	0.0	1.1
개벚나무	2.2	0.0	1.1
시무나무	2.2	0.0	1.1
물푸레나무	2.2	0.0	1.1
호랑버들	2.2	0.0	1.1
양버즘나무	2.2	0.0	1.1

Table 51. Importance value of shrub around Kunsan industrial complex.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
인동덩굴	52.2	0.5	26.3
쨍레꽃	43.5	0.4	22.0
댕댕이덩굴	39.1	0.4	19.8
노박덩굴	39.1	0.4	19.8
사스레피나무	37.0	0.5	18.7
돌가시나무	37.0	0.4	18.7
보리장나무	32.5	0.5	16.5
진달래	28.3	1.6	14.9
개머루	28.3	0.3	14.3
조록싸리	23.9	0.2	12.1
분꽃나무	21.7	0.2	11.0
청미래덩굴	19.6	0.2	9.9
마삭줄	17.4	0.2	8.8
담쟁이	17.4	0.2	8.8
참빗살나무	15.2	0.3	7.8
으아리	13.0	0.1	6.6
검노린재	13.0	0.1	6.6
노산주	13.0	0.1	6.6
풍배나무	10.9	0.3	5.6
사철나무	10.9	0.1	5.5
송악	10.9	0.1	5.5
싸리	10.9	0.1	5.5
닥나무	8.5	2.7	4.8
참싸리	8.7	0.1	4.4
청금나무	8.7	0.1	4.4
국수나무	8.7	0.1	4.4
회잎나무	6.5	0.1	3.3
쥐똥나무	6.5	0.1	3.3
머루	6.5	0.1	3.3
자금우	6.5	0.1	3.3
초피나무	4.3	0.0	2.2
생강나무	4.3	0.0	2.2
상동잎쥐똥	4.3	0.0	2.2
작살나무	4.3	0.0	2.2
층꽃나무	4.3	0.0	2.2
앵도나무	4.3	0.0	2.2
윤노리나무	4.3	0.0	2.2

Table 51. Continued.

수종명	빈도(%)	우점도	중요치
으름	4.3	0.0	2.2
물참나무	4.3	0.0	2.2
습대	4.3	0.0	2.2
사위질빵	4.3	0.0	2.2
보리수	4.3	0.0	2.2
화살나무	2.2	0.0	1.1
불나무	2.2	0.0	1.1
예덕나무	2.2	0.0	1.1
누리장나무	2.2	0.0	1.1
딱총나무	2.2	0.0	1.1
개산초	2.2	0.0	1.1
두릅나무	2.2	0.0	1.1
청가시덩굴	2.2	0.0	1.1
아그베나무	2.2	0.0	1.1
괴불나무	2.2	0.0	1.1
왕머루	2.2	0.0	1.1
꾸지나무	2.2	0.0	1.1

지금까지 3개 공단 해안가 주변의 식생을 조사한 결과 모감주 나무, 아까시나무, 팽나무, 소사나무, 자귀나무, 찔레, 해당화 및 순비기나무 등은 만수위 때 근부가 바다물에 완전히 잠기는 곳에서도 생육하고 있어 염해에 매우 강한 수종으로 판단되었으며, 느티나무와 은행나무는 조사구내에서 해안에 다수가 식재되어 있으며 생육도 왕성하여 문헌에서는 염해에 약하여 생육이 불가능한 것으로 기록되어 있으나 추후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

이상의 자료를 종합한 결과 지역별로 주요값이 높은 교목 10종과 관목 10종을 선정한 결과는 표51과 같다.

주요값이 높은 수종중 3개 지역에서 공통적으로 출현하는 수종중 교목은 곰솔, 팔배나무, 졸참나무, 굴피나무, 아까시나무 등 5종이

있으며 관목은 진달래, 인동덩굴, 짚레꽃, 땃땃이덩굴 등 4종이었다  
 위의 종은 조사된 수종 중에서도 특히 염해 등 제 조건에 적응력  
 이 높은 수종으로 판단되어 금후 임해매립지의 식재 수목선정에 고  
 려해야할 수종으로 판단된다.

Table 52. Species with high importance value by each area.

시화공단	아산만공단	군산국가공단
<b>교목</b>	<b>교목</b>	<b>교목</b>
소사나무 팔배나무 졸참나무 굴피나무 곰솔 산벚나무 음나무 아까시나무 소나무 팽나무	곰솔 팔배나무 자귀나무 졸참나무 아까시나무 굴피나무 산벚나무 음나무 갈참나무 소나무	곰솔 소사나무 자귀나무 팽나무 아까시나무 팔배나무 굴피나무 졸참나무 꾸지나무 소태나무
<b>관목</b>	<b>관목</b>	<b>관목</b>
보리수나무 진달래 인동덩굴 분꽃나무 짚레꽃 참싸리 붉나무 땃땃이덩굴 취 회잎나무	붉나무 진달래 인동덩굴 땃땃이덩굴 짚레꽃 취 장구밥나무 담쟁이 청미래덩굴 보리수나무	인동덩굴 짚레꽃 땃땃이덩굴 노박덩굴 사스레피나무 돌가시나무 보리장나무 진달래 개머루 조록싸리

## 6. 토양효소 검정을 통한 토양동태

전반적인 토양동태의 지표인 탈수소효소(dehydrogenase)와 식물의 주요 영양분중 균근 등 미생물적인 영향을 크게 받는 인산의 동태와 깊은 관련이 있는 인산가수분해효소의 활성검정을 통하여 매립지의 각종 처리가 토양의 동태 변화에 미치는 영향을 평가하기 위하여 각 시험지별 토양을 채취하고 배양한 후 각 효소의 활성산물을 파악하였다. 1998년 4월 식재준비 기간중 해풍차단시험, 복토높이별 식재시험, 식재지반 조성방법별 시험, 가로수 식재시험, 수목적용시험, 식재밀도시험구에서 각각 3~5개의 토양시료를 채취하였다.

채취한 시료를 실험실로 운반하여 풍건후 일정한 시약(TTC와 p-NPP)을 처리하고 배양하여 배양후 각 효소에 의하여 변화된 산물의 양을 비색정량을 통하여 파악하고, 이를 통하여 각 효소(dehydrogenase 및 acid-phosphatase)의 활성을 추정하였다.

공단에 인접한 지역(가식장 부지)과 임해매립지가 아닌 다른 지역에서 운반된 해송, 단풍나무, 회화나무 및 상수리나무 등의 토양은 일반적인 밭 토양 수준의 인산화효소 수치( $100\sim150\mu\text{g/g soil}$ )를 나타내었으나, 수목적용시험지와 해풍차단시험지의 토양은 정상적인 토양에 비하여  $\frac{1}{4}$  이하의 낮은 수치를 나타내었다(Table 50).

한편, 식재밀도시험지와 각 가로수 식재 예정지의 토양은 정상적인 토양과 비슷한 활성을 나타내거나  $\frac{1}{4}$ 에도 미치지 못하는 낮은 수치를 나타내는 등 큰 변이를 나타내어 균일한 토양을 사용하지 않음을 알 수 있었다.

Table 53. Soil enzymes in sampling sites of Asan industrial complex.

시료채취장소	인산화효소 (평균±표준오차)	탈수소효소 (평균±표준오차)
공단 인접지역	132.92±14.18	474.01±53.97
수목적용시험지	29.15± 6.22	10.43± 1.67
해풍차단시험지	21.70± 5.18	20.00± 6.16
식재밀도시험지	81.34±21.57	7.40± 3.29
복토높이별 식재시험지	49.75±12.86	9.42± 5.11
식재지반조성별 시험지	31.63± 3.29	4.31± 2.10
가로수 팽나무 식재지	30.96±12.54	11.59± 4.71
가로수 버즘나무 식재지	56.21±14.05	16.58± 6.61
가로수 중국단풍 식재지	77.05±36.74	9.58± 1.51
해송 분	99.31± 3.72	280.50±14.73
단풍나무 분	118.84± 9.96	251.88±27.68
회화나무 분	65.11±25.47	35.82±22.75
상수리나무 분	141.69±17.49	294.66±50.31

탈수소효소의 경우, 인산가수분해효소의 활성과 달리 공단 인접지역은 일반 산림토양의 수준을 나타낸 반면, 상수리, 단풍나무 및 해송분은 이의 1/2 수준, 수목적용시험지를 비롯한 기타 시험지의 경우 1/8에도 못미치는 수준을 나타내어 전반적인 순환계의 형성이 전혀 이루어지지 않은 토양임을 알 수 있었다.

## 7. 임해매립지의 수목피해 사례조사

### 가. 가로수피해지 조사

#### 1) 가로수 식재지의 보조기층재 피해

임해매립지에는 일반 도시와 같이 도로건설시 차도와 사람이 통행하는 인도를 구분하여 만들며 인도에는 통상적으로 보도블럭을 깔게 되는데 보도블럭 밑에는 쇠석과 모래 등 보조기층재를 사용하게 된다.

보도블럭 설치방법은 쇠석과 모래를 각각 약 10cm~20cm 내외를 깔 다음 그 위에 보도블럭을 깔고 있으며 가로수는 대부분 차도와 인도의 경계부근에 식재하게 되므로 보조기층재인 쇠석과 모래가 수목생장에 나쁜 영향을 주고 있다(Photo 13).

식재구멍이내의 단면형태를 보면 표면에서 20~30cm까지는 이들 보조기층재가 자리잡고 있으므로 수목의 영양공급과 뿌리호흡에 관여하는 세근은 30cm 이하로만 성장하게 되어 뿌리의 정상적인 성장과 양분공급을 방해하게 된다.

또한 모래와 쇠석의 화학성도 정상적인 수목생장을 저해하는 요인이 되고 있는데, 모래는 대부분 바다에서 채취한 것을 사용하게 되어 모래에 잔류되어 있는 염분과 pH 8이 넘는 강알카리성으로 인하여 수목생장에 나쁜 영향을 주고 있다.

쇠석은 지름 2~6cm 내외의 크기가 대부분이고 분말형태의 가루도 약간 포함하고 있어 이를 채취하여 분석한 결과 역시 산도는 pH 7.6~8.4의 알카리성으로 나타났는데 원래 쇠석가루 자체가 그러한 화학성을 지니고 있는지 또는 바다모래의 영향 때문에 화학성이



그렇게 변했는지는 앞으로 좀더 조사를 해볼 필요가 있다(Table 54).

아산국가공단 포송지구의 가로수는 위와 같은 보조기층재 문제 때문에 약 0.5m 정도의 식재구덩이내 토양을 인근 산에서 채취한 신선한 토양으로 환토한 다음 식재를 하여 초기의 활착상태는 양호하였으나 시간이 갈수록 점차 잎의 양이 줄어들고 황화현상이 나타나는 등 쇠퇴현상이 나타나고 있어 이러한 원인은 보조기층재의 화학성도 한가지 원인인 것으로 판단된다.

따라서 향후 임해매립지 조성시에는 보조기층재로 쓰이는 모래는 필히 강모래의 사용을 의무화하던지, 가로수 식재시기는 보도블럭을 깔고 난 뒤 2~3년 후 바다모래에 잔류되어 있는 염분이 어느 정도 강수에 의해 세탈되고 난 다음 식재하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

Table 54. Physicochemical properties of subbase course.

구 분	토성	pH H <sub>2</sub> O 1:5	O.M %	T-N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	C. E. C me/ 100g	Exchangeable (me/100g)				NaCl %	E. C mS/ cm	BS %
							K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
쇄석 가루-1	LS	8.4	0.8	0.00	14	21.45	0.08	0.40	16.62	2.37	0.01	0.14	91
쇄석 가루-2	LS	7.6	0.1	0.01	15	5.85	0.18	0.37	5.45	1.53	0.02	0.12	132
쇄석 가루-3	LS	8.1	1.1	0.12	20	21.8	0.08	0.31	15.8	1.60	0.02	0.15	82
모래-1	S	8.8	0.1	0.00	11	12.1	0.40	0.31	7.11	0.83	0.02	0.14	72
모래-2	S	8.8	0.3	0.00	12	9.67	0.26	0.16	5.53	0.51	0.01	0.09	67

## 2) 준설토매립지의 염분피해

준설토매립지는 매립재료가 바다속의 모래와 갯벌흙을 사용하고 있어 토양의 물리화학적 성질이 나쁠 뿐만 아니라 염분이 다량 함유되어 있는 지하수위가 높게 형성되어 가로수식재지의 기반조성에 많은 어려움이 따르고 있다.

준설토매립지인 군산국가공단의 가로수 식재방법은 식재구멍이 크기를 직경 1m내외 깊이 1m 내외로 파내고 식재구멍이 주위를 비닐로 두른 다음 밑바닥에 염분상승을 막기 위한 모세관 차단층으로 자갈을 20cm 깔고 식재구멍이 내에는 인근 산에서 채취한 흙으로 채우고 그 중심부에 가로수를 식재하였다.

준설토매립지인 군산국가공단에서 1993~1994년에 식재된 가로수의 생육상태를 살펴본 결과, 매년 수목고사가 지속적으로 나타나고 있었고 고사하지 않은 수목도 잎의 양이 매우 적고 황화현상이 나타나고 있었으며 신초생장은 거의 이루어지지 않는 등 염분피해 현상이 나타나고 있었다.

가로수중에서 모감주나무와 버즘나무 피해지를 굴착기를 이용하여 파내고 조사한 결과 뿌리생장은 비닐로 인하여 정상적으로 발달하지 못하고 비닐벽을 타고 아래로만 성장하고 있었으며 염분함량이 높은 지하수위가 1.2m 부근에서 형성되어 이로 인하여 염분피해를 받고 있는 것으로 나타났다(Photo 14).

이와 같이 준설토매립지에서 식재구멍이내 자갈층과 비닐 Sheet 설치의 수목생장에 좋지 않은 영향을 주므로 이러한 식재방법이 준설토매립지에 가로수식재 방법으로는 적합하지 않는 것으로 나타났다.

### 3) 기타

도로와 인도의 경계석 주변에 쌓이는 모래와 흙을 도로 청소시에 가로수 주위에 쌓아 놓는 경향이 있어 이로 인하여 수목피해를 가중시키는 경우가 많이 일어나고 있다.

가로수 피해지 중에서 주변에 쌓아놓은 흙을 제거하여 살펴본 결과 Photo 15에서 보는 바와 같이 수목뿌리는 호흡을 위해 지표면에 올라오게 된다. 이러한 경우는 수분이 잘 보충이 된다면 큰 문제는 일어나지 않겠지만 임해매립지와 같은 대단위 면적에 가로수의 수분관리를 지속적으로 실시하기는 어렵기 때문에 피해가 일어나게 되는데, 건조기에는 쌓아 놓은 흙이 보도블럭의 복사열로 수분이 쉽게 증발이 되고 가로수 세근은 보도블럭 표면보다 위에 있는 형태가 되므로 건조피해를 쉽게 받고 있다.

한편 임해매립지에서는 Photo 16에서 보는 바와 같이 매립 조성시에 개흙이 식재구덩이내 또는 부근에 섞여 있어 이로 인한 염분피해로 수목이 고사되는 경우도 많이 나타나고 있었다.

#### 나. 해풍 피해

임해매립지는 바다와 인접해 있는 지리적 특성상 강한 해풍으로 인하여 수목피해가 의외로 많이 발생하고 있는데 임해매립지에 식재되는 수목들이 대부분 단근된 수목을 이식하기 때문에 뿌리에서 지상부위의 유지를 위한 양분과 수분의 흡수가 빈약하여 식재초기에 부는 강한 바람은 스트레스를 많이 받을 수 밖에 없다.

해풍피해는 수종에 따라서 피해의 정도가 다르게 나타나게 되며 잎이 넓어 증산량이 많은 활엽수의 피해도 적지 않지만 사계절

증산이 이루어지는 침엽수에서 해풍의 피해가 두드러지게 나타나게 된다.

특히 가을철에 식재된 침엽수는 바람이 강한 동절기에 피해가 더 크게 나타나게 되는데 특히 스트로브잣나무와 잣나무는 해풍에 매우 약한 것으로 보인다.

photo 17과 Photo 18은 아산국가공단에 식재된 스트로브잣나무 중에서 해풍 피해지와 정상지를 비교한 사진인데 이들 수목은 수목 생산지와 식재시기와 비슷한 지역의 나무이다.

Photo 17은 해풍에 노출된 장소에 식재된 수목으로 잎의 선단이 황화현상과 함께 잎 수량이 감소되는 경향이 나타난 뒤에 결국에는 고사하게 되고, 이와 반면에 오목형태 지형의 풍노출이 보호되는 지역에 식재된 스트로브잣나무는 이러한 현상이 나타나지 않고 정상적으로 잘 자라고 있었다(Photo 18).

이와 같은 현상은 아산국가공단의 이단 및 군상식재시험의 공시목으로 사용된 스트로브잣나무도 역시 비슷한 증상을 보여 임해매립지에 적합한 수종이 아닌 것으로 판단되었다.

#### 다. 비사 피해

임해매립지에는 강한 바람에 의해 날라오는 모래로 인하여 식재수목이 피해를 입는 경우도 있다.

군산국가공단 1호 녹지대에 공시목 식재 후 1998년까지 정상적으로 잘 성장하던 수목들이 점차 활력을 잃고 시들해지는 현상을 보이다가 장마기가 지나면 다시 회복되는 현상을 보여 그 원인을 파악해 본 결과 Photo 19와 같이 해풍에 의해 날라온 모래가 쌓이고

있었다.

식재목 아래 부분에 보이는 흰 페인트는 1997년 4월 공시목식재 후 같은 부위에 연차적으로 근원경생장 측정을 위해 칠해 놓은 것으로서 해풍에 의해 모래가 날라와 3년이 지난 2000년 5월까지 약 18cm 까지 쌓이게 되어 페인트 칠한 부분이 묻히게 되었다.

쌓인 모래를 채취하여 분석해본 결과 염분함량이 0.07%로 높고 산도는 pH 8내외의 알카리성이어서 이들 화학성이 수목생장에 지장을 주는 것으로 나타났다.



Photo 21. Hole for street tree planting.



Photo 22. Planting hole of damaged street tree.



Photo 23. Street trees with salt damage.



Photo 24. Silt at an estuary in planting hole.



Photo 25. Lied soil on street tree.



Photo 26. Appeared root upon surface after removing lied soil.



Photo 27. Damaged *Pinus strobus*.



Photo 28. Normal *Pinus strobus*.



Photo 29. Tree damage due to covering with seasand.



Photo 30. Tree lodged by seawind.



Photo 31. Clover and weeds in green district.



Photo 32. Clover seeding experiment site.



Photo 33. Two years later after seeding of *R. pseudoacacia*.



Photo 34. Mulching effect. (Left: mulching, Right : non-mulching)

## 제 4 절. 결론

우리 나라에서 지금까지 대규모 면적으로 조성된 임해매립지는 반월공단, 광양제철, 인천 남동공단, 시화공단, 아산국가공단(포송지구, 고대지구, 부곡지구), 군산국가공단, 목포 대불공단, 영종도 신공항, 부산 녹산공단, 부산 신호공단, 부산 명지택지지구 등이 있고, 현재 매립진행중이거나 조성단계에 있는 임해매립지는 새만금간척지구, 군장국가공단, 인천 송도신도시 등이 있으며 향후 매립이 예정되어 있는 면적도 약 450,000ha에 이른다.

임해매립지에는 가로수, 녹지대, 근린공원, 공공시설 및 주거단지에 수목을 식재하고 있지만 임해매립지 특성상 열악한 토양의 이화학적특성, 염분, 해풍, 건조피해, 식재 부주의 및 유지관리 소홀 등으로 식재된 수목 중에서 많은 양이 고사되거나 생육부진으로 이어지고 있다.

그동안 임해매립지에 대한 수목식재 방법은 많은 시행착오를 거치면서 토양개량방법, 식재방법 및 적정 수종선정 등 개선방안이 이루어지고 있으나 보다 근본적인 문제점의 해결에는 미흡하므로 본 연구는 임해매립지에서의 적정 복토높이 구명, 토양개량방법 및 식재방법 등을 개발하여 매립에 소요되는 예산과 수목고사로 인한 예산을 절감하고 임해매립지내의 쾌적한 생활환경을 조성하는데 목적이 있다.

3개 공단 시험지 중 시화공단은 가로수 식재시험과 이단 및 군상식재시험을 위하여 1997년에 느티나무, 회화나무, 메타세쿼이아, 왕벚나무 등을 식재하였고 복토높이별 식재시험과 식재지반 조성방법별 시험은 1999년도에 팔배나무, 자귀나무, 이팝나무, 때죽나무 등을 식재하였으며 총 식재수량은 3,340주 이다.



아산국가공단은 1998년에 복토높이별식재시험, 해풍차단효과시험, 식재밀도시험 등 3개 공단 중에서 가장 많은 8개시험을 실시하였으며 공시목은 스트로브잣나무, 화백, 상수리나무, 느릅나무 등 10,838주를 식재하였다.

군산국가공단은 1997년도에 해풍차단효과시험, 수목적응시험, 이단 및 군상식재시험을 위하여 해안변 1호 녹지대에 해송, 은행나무, 팽나무, 모감주나무 등 2,124주를 식재하였다.

3개 공단에서 각 시험별로 실시한 연구내용을 요약한 결과는 다음과 같다.

## 1. 시험별 주요결과

### 가. 복토높이별 식재시험

#### 1) pot 시험

복토높이가 높을수록 수고, 근원경 및 엽장 생장이 양호하게 나타났다.

수고 생장은 20cm와 50cm, 100cm와 150cm에서는 유의성이 없었으며 50cm와 100cm처리간에는 유의성이 나타났다.

근원경 생장은 바닷물 관수구에서는 수고생장과 같이 20cm와 50cm, 100cm와 150cm에서는 유의성이 없었고 50cm와 100cm처리간에는 유의성이 나타났으며 바닷물 무관수구에서는 모든 복토높이 처리간에 유의성이 나타났다.

엽장 생장은 바닷물 관수구와 무관수구 모두 20cm를 제외한 모든 처리구에서 유의성이 나타나지 않았다.

엽록소함량도 복토높이가 높을수록 증가하는 경향이 나타났으며 엽록소함량과 수목생장과는 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

임해매립지에서 묘목식재시에 정상적인 생육을 위한 복토높이

는 최소 100cm 이상의 복토가 필요할 것으로 판단되었다.

## 2) 실연시험

### 가) 시화공단

해송, 자귀나무, 팔배나무, 모감주나무를 각 처리별(대조구, 0.9m, 1.4m, 1.8m, 2.2m 복토구)로 198주씩 식재하였다.

처리별 고사율은 각각 38.9%, 28.9%, 23.9%, 12.8%, 5.0%로 복토높이가 높을수록 고사율이 낮아지는 경향이 나타났다.

수종별 고사율은 해송 2.5%, 자귀나무 6.6%, 모감주나무 17.7%, 팔배나무 51.5%이었으며 팔배나무의 고사율이 높은 것은 이식과정에서 뿌리분 불량에 의한 것으로 판단되었다.

처리별 수고생장율은 각각 6.3%, 13.2%, 18.7%, 18.5%, 26.9%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었다.

처리별 근원경 성장율은 각각 7.4%, 22.4%, 42.1%, 51.8%, 49.4%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향은 있었으나 2.2m복토구는 1.8m복토구보다 성장율이 더 높게 나타나지 않았다.

### 나) 아산국가공단

해송, 화백, 느티나무, 상수리나무를 각 처리별(대조구, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 복토구)로 180주씩 식재하였다.

처리별 고사율은 각각 100%, 66.7%, 44.4%, 20.8%, 18.8%로 복토높이가 높을수록 고사율이 낮아지는 경향이 나타났다.

수종별 고사율은 해송 27.2%, 느티나무 43.5%, 상수리나무 46.5%, 화백 69.6%의 순으로 나타났으며 화백은 0.5m 복토구에서는 100% 고사하였고 2m 복토구에서도 33.3%가 고사하여 임해매립지에

적응하지 못하는 수종인 것으로 판단된다.

처리별(0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 복토구) 수고생장율은 각각 18.9%, 21.2%, 25.2%, 23.1%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향이 있었으나 2.0m 복토구는 1.5m 복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다.

처리별(0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 복토구) 근원경 생장율은 각각 15.9%, 22.4%, 30.8%, 26.5%로 복토높이가 높을수록 생장이 양호하게 나타나는 경향은 있었으나 수고생장과 마찬가지로 2.0m 복토구는 1.5m복토구보다 생장율이 더 높게 나타나지 않았다.

이상과 같이 시화공단과 아산국가공단에서 7개 수종에 대하여 복토높이별 식재시험을 실시한 결과 해송의 경우는 대목이라도 1m 이상만 복토하여도 식재가능할 것으로 판단되며 그 밖의 수종들은 1.5m 이상 복토를 실시하여야 할 것으로 판단되었다.

#### 나. 식재지반 조성방법별시험

아산국가공단 포송지구에서 1998년도에 해송과 참느릅나무를 처리당 27주씩 108주를 식재하였으며 처리구는 대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구 및 자갈+모래+토목섬유+맹암거설치구 등 4개 처리를 하였다.

3년간 두 수종의 처리별 고사율은 대조구 1.9%, 석고처리구 3.7%, 석고+맹암거설치구 3.7%, 자갈+모래+토목섬유+맹암거설치구 1.9%로 처리별 차이는 아직 까지 나타나지 않았다.

처리별(대조구, 석고처리구, 석고+맹암거설치구, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구) 근원경생장율은 각각 15.2%, 18.9%, 18.8%, 29.9%로 석고처리구와 석고+맹암거설치구는 생장차이가 나타나지 않았고, 자갈+모래+부직포+맹암거설치구에서 가장 생장이 높게 나타났

으며 대조구에 비해 약 2배 가량 근원경 생장이 높았다.

#### 다. 가로수 식재시험

##### 1) 시화공단

공시목은 느티나무, 팽나무, 은행나무, 회화나무로 수종당 160주씩 1997년 4월~5월 식재하였다.

수종별 고사율은 회화나무, 느티나무, 은행나무, 팽나무의 순으로 각각 21.9%, 20.0%, 19.4%, 13.8%이었다.

연도별 고사율은 식재 당해연도는 9.5%의 고사율을 보였고 식재 2년차에는 8.6%, 3년차에는 0.6%, 식재 4년차에는 고사한 수목이 없어 수목 하자기간이 지난 식재 3년차까지 고사가 나타났으며 가로수 4수종의 평균 고사율은 18.8%이었다.

##### 2) 아산국가공단

공시목은 팽나무, 중국단풍, 회화나무, 버즘나무로 수종당 160주씩 1998년 4월에 식재하였다.

수종별 고사율은 팽나무, 버즘나무, 회화나무, 중국단풍의 순으로 각각 33.1%, 25.0%, 5.0%, 1.3%이었다(그림 11).

연도별 고사율은 식재당년에는 15.0%의 고사율을 보였고 식재 2년차에는 1.1%, 3년차에는 0.2%의 고사율을 보여 3년간 총 고사율은 16.3%이었다.

#### 라. 해풍차단효과시험

내륙지역의 평균풍속은 1.8m/s이었고 연안지역은 3.0m/s로 내륙지역에 비해 1.7배 강하였으며, 최대풍속은 내륙지역은 9.4m/s이고 연안지역은 13.8m/s로 내륙지역에 비해 1.5배 강하였다.

연안지역의 풍속 측정지점이 도시내인 점을 감안한다면 바다와 인접해 있는 임해매립지에서는 이보다 훨씬 강하여 공단내의 쾌적한 생활환경 조성과 수목의 안정적 성장을 위해서는 매립조성후 즉시 해안가에는 속성수에 의한 방풍림조성이 요구되고 해풍차단 시설도 적극 검토해야 할 것이며 공단별 해풍차단 효과시험 주요결과는 다음과 같다.

#### 1) 아산국가공단

방풍막설치구는 대조구보다 풍속을 48.5%를 감소시키는 효과가 있었으며 4개 수종의 평균 고사율은 대조구 24.5%에 비하여 방풍막설치구는 24.1%로 고사율이 0.4% 감소하였다.

처리별 수고생장은 아산국가공단에서 대조구는 10.5%이었고, 방풍막설치구는 13.2%로 대조구에 비하여 2.7%의 성장효과가 있었으며, 근원경 생장은 대조구는 24.9%이었고, 방풍막설치구는 30.5%로 대조구에 비하여 5.67%의 성장효과가 있었다.

해송은 방풍효과가 가장 뚜렷하게 나타났는데 고사율은 대조구 14.8%에 비하여 방풍막설치구는 3.7%로 고사율이 11.1% 감소하였고, 수고생장은 대조구 16.2%에 비하여 방풍막처리구는 38.5%로 대조구에 비하여 22.3%의 수고성장 효과가 있었다.

#### 2) 군산국가공단

방풍막설치구는 풍속을 40.2%를 감소시키는 효과가 있었으며 4개 수종의 평균 고사율은 대조구 21.5%에 비하여 방풍막설치구는 9.0%로 고사율이 12.5% 감소하였다.

처리별 근원경 생장은 대조구는 23.5%이었고, 방풍막설치구는 31.4%로 대조구에 비하여 7.9%의 성장효과가 있었다.

방풍막 처리효과가 뚜렷하게 나타난 잣나무의 고사율은 대조구

는 86.1%이었고 방풍막설치구 36.1%로 대조구에 비하여 고사율이 50%나 감소하였다.

아산국가공단과 군산국가공단 모두 방풍막설치 효과는 활엽수 보다는 침엽수에서 더 뚜렷하게 나타났으며 수고성장보다는 근원경 생장이 더 높게 나타났다.

#### 마. 이단 및 군상식재시험

##### 1) 시화공단

처리별 고사율은 대조구 29.6%, 군상식재구 23.8%, 이단식재구 21.7%, 군상혼효식재구 17.5% 이단혼효식재구 11.7%의 순으로 나타나 이단혼효식재구나 군상혼효식재구 등 침엽수와 활엽수 혼효식재가 임해매립지에서 바람직한 것으로 나타났다.

수종별 고사율은 대목은 서어나무 51.0%, 메타세쿼이아 22.2%, 왕벚나무 21.0%, 해송 1.5%의 순이었으며 묘목은 서어나무 45.6%, 메타세쿼이아 37.5%, 왕벚나무 19.4%, 해송 5.0%로 대목과 마찬가지로 서어나무와 메타세쿼이아는 고사율이 매우 높아 임해매립지에 적용이 안되는 수종으로 판단된다.

##### 2) 아산국가공단

처리별 고사율은 대목의 경우 대조구 27.8%에 비해 이단식재구 16.6%, 이단혼효식재구 16.7%로 시화공단에서와 같이 침엽수와 활엽수의 이단혼효식재가 고사율이 낮게 나타나는 경향이 나타났다.

수종별 고사율은 대목의 경우 스트로브잣나무 42.0%, 느릅나무 30.5%, 해송 15.9%, 이팝나무 14.4%의 순이었으며 스트로브잣나무는 해풍에 매우 약한 수종으로 나타났다.

##### 3) 군산국가공단

묘목의 경우 대조구에서 16.0%, 이단식재구 15.3%, 이단혼효식재구 4.2%로 나타나 시화공단과 아산공단에서와 같이 침엽수와 활엽수 이단혼효식재구에서 고사율이 가장 낮게 나타났다.

수종별 고사율은 대목의 경우 소사나무는 5.6%, 은행나무와 해송은 0.6%, 팽나무는 100%의 활착율을 보였고, 묘목은 소사나무 24.1%, 은행나무 19.4%, 팽나무 5.6%, 해송 2.8%로 소사나무의 고사율이 가장 높게 나타났으며 4수종 모두 대목보다는 묘목의 고사율이 높았다.

은행나무는 시화공단의 가로수식재시험에서와 마찬가지로 2곳 모두 생육상태는 좋지 않아 임해매립지와 같이 토양물리성이 열악하고 척박한 토양에서는 적응이 잘 안되고 해풍에도 약한 수종으로 판단된다.

#### 바. 수목적응시험

##### 1) 아산국가공단

##### 가) 수종별 고사율

수종별 고사율은 고로쇠나무 71.8% > 황철나무 65.7% > 상수리나무 63.0% > 쉬나무 23.2% > 자귀나무 10.2% > 현사시나무 8.3%의 순으로 나타났다.

##### 나) 피복(Mulching)처리효과

제초시 소요인력은 대조구는 100㎡당 1.57인이 소요되었으나 피복재 처리구는 0.67인이 소요되어 43%의 인력절감 효과가 있어 1회 제초시 ha 당 90인의 인력이 절감되는 것으로 나타나 임해매립지에서 보통 연간 3회 정도 제초를 시행한다고 보면 인력절감 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

또한 피복재 처리구는 대조구에 비해 수고생장은 168% 증가하

였고 근원경생장은 148% 증가하였다.

피복재료별 제초효과는 제초시트 A> 톱밥> 인견심지 > 골판지 > 제초시트 B> 대패밥 순이었다.

## 2) 군산국가공단

### 가) 수종별 고사율

수종별 고사율은 히말라야시다 91.7%> 팔배나무58.3%> 때죽나무31.7%> 아까시나무 21.2%> 수양버들 21.1%의 순이었다.

히말라야시다는 임해매립지에 잘 적응하지 못하는 수종으로 나타났고 수양버들, 아까시나무 및 때죽나무는 적응도 잘되고 생장도 양호한 수종이었다.

### 나) 토양개량제 처리별 고사율

토양개량제별 고사율은 퇴비구 45.3%> 퇴비+석고+고형복비 44.2%> 임해매립지용 토양개량제 43% 순이었다.

## 사. 식재밀도시험

식재밀도별 고사율은 10,000/ha 22.2%> 40,000/ha 18.4%> 20,000/ha 16.4%로 나타나 3개 처리구중에 20,000/ha에서 고사율이 가장 적게 나타났다.

수종별 고사율은 해송 29.0%> 오리나무 28.6%> 소사나무 28.4%> 아까시나무 11.9%> 느릅나무 11.2%>, 장구밥나무 1.1%의 순으로 나타났으며, 장구밥나무는 식재후 3년간 고사율이 1.1% 밖에 안되고 맹아력도 매우 왕성하여 임해매립지 환경에 적응이 잘되는 수종으로 판단되며 아까시나무, 오리나무 등도 임해매립지 환경에 잘 적응하는 수종으로 판단된다.



### 아. 종자파종시험

종자별 발아율은 쥐똥나무 43% > 자귀나무 42.3% > 크로바 32.3% > 참싸리 21% > 아까시나무 14.6% > 해송 12.8% > 해당화 9.8% > 족제비싸리 2.5% > 자작나무 2.0%의 순이었다.

수종별 잔존율 변화는 족제비싸리 60.0% > 쥐똥나무 55.8% > 해송 30.0% > 아까시나무 22.6% > 해당화 18.9% > 참싸리 7.1% > 자작나무 1.5% > 자귀나무 0%의 순으로 자작나무와 자귀나무는 임해매립지에 직파수종으로는 부적합한 것으로 나타났다.

발아 후 2년간 수종별 수고성장량은 아까시나무 268.4cm, 참싸리 213.3cm, 족제비싸리 180.5cm로 양호한 성장을 보였으며 해송 25.4cm, 자작나무 30.5cm, 자귀나무 30.5cm, 해당화 31.0cm로 나타났다.

## 2. 식생조사 결과

조사지역은 서해안 백령도부터 전북 변산반도까지 도서지방과 바다와 인접한 해안사면에 자생하는 수목을 조사하여 출현빈도가 높은 수목이 염해 및 제 여건에 강한 수종으로 판단되어 시화공단 46plot, 아산국가공단 55plot, 군산국가공단 46plot 등 총 147plot을 조사하였으며 교목과 관목 중에서 주요값이 높은 수종을 각각 10종씩 선발한 결과는 다음과 같다.

### 가. 시화공단

- 1) 교목 : 소사나무, 팔배나무, 졸참나무, 굴피나무, 곰솔, 산벚나무, 음나무, 아까시나무, 소나무, 팽나무

- 2) 관목 : 보리수나무, 진달래, 인동덩굴, 분꽃나무, 짙레꽃, 참싸리, 붉나무, 땡땡이덩굴, 칩, 회잎나무

나. 아산국가공단

- 1) 교목 : 곰솔, 팔배나무, 자귀나무, 졸참나무, 아까시나무, 굴피나무, 산벚나무, 음나무, 갈참나무, 소나무  
 2) 관목 : 붉나무, 진달래, 인동덩굴, 땡땡이덩굴, 짙레꽃, 칩, 장구밥나무, 담쟁이, 청미래덩굴, 보리수나무

다. 군산국가공단

- 1) 교목: 곰솔, 소사나무, 자귀나무, 팽나무, 아까시나무, 팔배나무, 굴피나무, 졸참나무, 꾸지나무, 소태나무  
 2) 관목: 인동덩굴, 짙레꽃, 땡땡이덩굴, 노박덩굴, 사스레피나무, 들가시나무, 보리장나무, 진달래, 개머루, 조록싸리

주요값이 높은 수종중 3개 지역에서 공통적으로 출현한 수종중 교목은 곰솔, 팔배나무, 졸참나무, 굴피나무, 아까시나무 등 5종이 있으며 관목은 진달래, 인동덩굴, 짙레꽃, 땡땡이덩굴 등 4종이었다.

3. 토양효소 검정을 통한 토양동태

아산국가공단 시험지의 인산화효소 수치( $100 \sim 150 \mu\text{g/g soil}$ )는 정상적인 토양에 비하여  $\frac{1}{4}$  이하의 낮은 수치를 나타내었다.

탈수소효소는 정상적인 토양에 비하여  $\frac{1}{8}$ 에도 못미치는 수준을 나타내어 전반적인 순환계의 형성이 전혀 이루어지지 않은 토양임을 알 수 있었다.

## 引用文獻

- 강전유. 1991. 녹지조경수목의 보호관리. 한국조경수협회 5 :35-43.
- 구본학, 강재선, 장관순. 1999. 임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국환경생태학회 13(1) : 89-95.
- 김일중, 이종석. 1977. 내염성 및 내조성 관상식물의 개발을 위한 생태학적 연구. 한국원예학회지 18(2) : 215-220.
- 대한주택공사. 1995. 생육환경 특성을 고려한 아파트 단지내 조경수목 선정 및 식재방안 연구 -매립지별 식재지반 생육환경 특성을 중심으로-. 주택연구소 연구보고.
- 변재경. 1996. 임해매립지 실태 및 토양의 특성. 임업연구원 임업정보 67호 : 30-32
- 변재경. 1997. 임해매립지 식재수목의 수종별 활착율. -군산국가공단에 대하여-. 임업연구원 임업정보 78호 : 31-34
- 변재경. 1998. 임해매립지 식재수목의 수종별 활착율. -시화공단에 대하여-. 임업연구원 임업정보 83호 : 60-62
- 변재경. 1999. 임해매립지에서 복토높이에 따른 수종별 고사율. 임업연구원 임업정보 103호 : 30-33
- 변재경외. 2000. 임해매립지에서 복토높이가 수목의 고사율 및 생장에 미치는 영향. 한국임학회 학술발표 : 55-58
- 정진현외. 1989. 산림토양단면도집. 임업연구원
- 이종석. 1980. 내염성 및 내조풍성 조경수목 개발에 관한 생태학적 고찰 -우리나라 남부지방을 중심으로-. 한국조경학회 8(1) :13-20.

- 조영길, 조인산, 엄기태. 1992. 신 간척지에서 근권의 염농도 저하방법이 토양특성과 작물생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회 25(2) : 127-132.
- 조무연, 최명섭. 1992. 한국수목도감. 임업연구원
- 이창복, 1985. 대한식물도감. 향문사
- 이창복. 1996. 겨울철 낙엽수의 식별. 임업연구원
- 김태욱. 1994. 한국의 수목. 교학사
- 牧野富太郎. 1989. 신일본식물도감. 北隆館
- 宇多高男. 1991. 海岸利用空間の創成 保存技術の開發 -MMZ機想- 日本土木學會 91(7) : 18-19.
- 千葉縣農林部. 1975. 京葉臨海埋立地綠化技術調査報告書. 5-41pp.
- 千葉縣環境部. 1977. 千葉縣臨海埋立開發地域等に關る動植物影響調査. IV, 11-35pp.
- 千葉縣林業試驗場. 1987. 千葉縣林業試驗場研究報告. 4-29pp.
- Bird, E.C.F. 1987. Coastal Process. Gregory, K.j. & Walling, D.E.(Ed.). Human Activity and Environmental Process. 87-116. John Wiely & Sons.
- Bradshaw, A.D. 1983. Ecological principles in landscape. Bradshaw, A.D., Goode, D.A. and Thorp, E.H.P. (Ed.). Ecology and design in landscape. 15-36pp. Blackwell scientific publications.
- Etherington, J.R. 1982. Environment and Plant Ecology (2nd ed.) 288-289. John Wiely & Sons.
- Hoffman, G.J., Catlin, P.B., Mead R.M., Johnson, R.S., Francois, L.E. and Goldhamer, D. 1989. Yield and foliar

- injury responses of mature plum trees to salinity. Irrigation Science 10 : 215-229. Springer-Verlag.
- Loveland, P.J. 1990. Electrical Conductivity-Salts and soils. Landscape Design. 189pp.
- Bolton, H, Jr., L. F, Elliott, R. I. Papendick and D, F. Berdic[?]. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities : effects of fertilization and cropping practices. Soil Biol. Biochem. 17: 297-302
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil Enzymes. Pages 903-947. In A. L. Page, ed, Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties. (2nd ed.). ASA, Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
- Arnon, D.I. 1949. copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.
- Min, Byeong-mee and Joo-Ho Kim. 1997. Desalinization Characteristics after Reclamation of Tidal Flat on the Western Coast of Korea, Korean J. Ecol. 20(4) : 275~283.
- Kozlowski, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree physiology Monograph. No. 1: 1-29.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57: 1332-1334.

## 제 4 장 폐탄광지의 녹화공법 개발

### Development of Restoration Work on Abandoned Coal Mine Areas

최 경  
이 천 용  
김 재 현  
이 종 학  
이 창 우  
염 규 진  
안 인 수

여 백

## 제 1 절. 시설

우리나라 석탄산업은 1896년 최초로 평양에서 소규모 탄광을 개발한 이래 1950년 대한석탄공사가 창설된 후부터 본격적으로 채탄이 시작되었으며, 1973년과 1978년의 두 차례에 걸친 석유파동의 위기를 극복하는데 결정적인 역할을 하였다.

하지만, 1980년대 말부터 세계환경보전운동의 확산과 소득증대에 따른 고급에너지 선호경향으로 경제성이 떨어지면서 1989년부터 폐광되기 시작하였다. 폐탄광지는 국토의 생산적인 이용측면에서 비경제적일 뿐 아니라 자연경관마저 해치고 있으며 갱구와 폐석으로부터 흘러 내리는 물은 주변토양과 계류수질에 미치는 영향이 심각하다. 폐광지 갱구에서 흘러나오는 물에서는 11~42ppm의 높은 농도의 Al이 검출되었고, Mn, Mg 및 Ca의 농도가 청정지역에 비하여 높게 나타나고 있다 (조경숙등, 1996).

폐탄지 복구 연구로서 구창덕(1990)은 폐탄광지를 산림으로 복구할 때 고려해야할 인자는 조림하기 전의 토양의 온도변화, 수분 및 양분 상태라고 하였으며, 자연적으로 이입되는 식물로 새류, 달맞이꽃, 쑥, 붉나무, 싸리류, 다릅나무, 호랑버들 등이라고 보고하였다. 정남훈(1991)은 폐석탄경석장은 토양산도가 식생장해요인이 되기보다는 표면 온도가 높고, 수분함량이 낮으며, 경석의 입경이 크고, 질소, 인과 같은 양료의 부족이 더 큰 원인이기 때문에 객토의 필요성을 강조하였으며, 조현재 등(1995)은 폐광지역의 복원후 경과년수에 따른 식피율의 변화는 뚜렷하지 않았으며, 목본류의 기저면적은 경과년수가 증가됨에 따라 현저히 증가하였으나 초본식물은 뚜렷한 차이가 없다고 하였다.

또한, Willis(1978, 1981)는 탄광폐석의 색깔과 크기는 지표면 온



도와 수분상태에 영향을 주므로 복·객토와 비탈다듬기의 중요성과, pot묘는 직파묘에 비하여 동상피해가 적었음을 보고한 바 있는 등 외국에서도 폐탄질토의 이·화학적, 토양개량, 녹화수종과 시비량 등에서 많은 연구가 이루어 지고 있다. 과거에는 주로 녹화식생과 방법에 관련된 평가연구가 대부분이며, 폐탄광지 복구공작물의 종류 및 파손상태, 복구비용등의 복구공법 전반에 걸친 평가를 실시한 연구는 이루어지지 않고 있다. 특히, 과거 복구공작물의 파손이 많은 점의 원인을 최근 석탄합리화 사업단에서는 복구단비에 문제점이 있는 것으로 판단해, 상당량의 비용을 들여 폐탄광지 복구를 실시하고 있다. 하지만, 폐탄광지의 복구에 관한 적정 복구비는 아직 정립되어 있지 않은 상황이며, 공정별로 최적단비의 제시가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 과거 폐탄광지 복구현황조사와 적정녹화수종선발을 통해 폐탄광지유형별 복구모델과 복구단비제시를 목적으로 실시되었다. 본 보고에서는 폐탄광지의 생산적인 이용, 수자원 보호 및 환경개선을 위한 입지유형별 복구모델(적정 녹화수종, 복구공법, 복구단비)을 제시하기 위한 기초자료를 확보하기 위하여 1996년부터 1997년까지 2개년에 걸쳐 전국적으로 폐탄광지의 녹화식생, 녹화방법, 복구공작물의 종류와 파손상태, 사면침식상태, 수질오염상태, 복구비 등 폐탄광지 복구실태를 조사·분석한 결과와 이를 토대로 적정복구공법 개발을 위해 1998년부터 2000년까지 녹화수종선발 시험과 폐탄광지 구조물시험을 실시한 결과를 정리하고, 복구유형별 표준복구모델을 제시하고자 한다.

## 제 2 절. 재로 및 방법

### 1. 복구지 현황조사

#### 가. 입지 및 복구 구조물 현황조사

전국적으로 2000년 8월 현재 폐탄광지의 복구사업은 총대상인 529개소 1,423ha중 77%인 390개소 1,1026ha에 대해 602억원을 지원하여 복구완료 하였으며, 현재 사업으로는 21개소 82ha의 사업을 추진하고 있다. 또한 2001년 이후 158개소 282ha를 복구할 계획에 있다. 하지만, 1995년 이전에 복구된 지역(922ha)에 대한 조사보고에 의하면, 1995년 이후 정부가 산림복구해야 할 대상지는 총 463ha이며, 이를 내용별로 보면, 훼손이 심한 재복구지 대상지 233ha(79개소)녹화상태 불량지가 148ha(101개소), 방치된 미허가지 83ha(72개소)로 추정되며, 이는 당시 석탄합리화 사업단에서 계획하고 있던 323ha 보다 140ha 증가한 면적이다.

이중 석탄합리화 사업단에서 1996년까지 복구지중 폐탄광지의 수, 지형, 방위, 표고, 경사도 등을 감안하여, 석탄산업합리화사업단에서 작성한 탄광별 복구공사 세부내역서를 분석하였고 현지조사를 병행하였다. 자료는 1990~1995년까지의 복구된 전국 297개소를 대상으로 복구공종과 수량을 조사하였으며(Table 1. 참조), 현지조사는 1996년부터 2년간 강원 영월, 정선, 평창, 태백, 삼척, 충북 옥천, 보은, 단양, 충남 보령, 전남 화순, 경남 문경, 접천, 상주 등 13지역 72개소에서 구조물(공작물), 공작물 파손원인과 파손률(면적파손률)을 조사하였고 지형, 표고, 방위 등 기본적인 입지도 조사하였다. 지역별 조사개소 수 및 시료채취수는 Table 2와 같다. 지역별로 보면, 강원도가 전체의 1/2이상을 차지하고 있으며, 국유림보다는 민유림이 10%더 많은 실정

이다.

Table 1. Distribution of abandoned coal mine areas.

지역	북구 감독기관				계		
	시·군		지방산립관리청				
	폐광지수	면적(ha)	폐광지수	면적(ha)	폐광지수	면적(ha)	
강원	강릉	28	52.73	15	14.26		
	동해	1	0.37				
	삼척	7	14.67	31	206.01		
	태백	8	17.70	20	47.4		
	정선	6	28.70	5	29.71		
	평창	4	3.40	3	8.25		
	영월	4	6.15	19	98.24	151	527.59
충북	단양	6	14.48				
	보은	5	14.96				
	옥천	2	1.01	2	3.25		
	청원	1	1.67			16	35.37
충남	보령	45	141.67				
	부여	8	18.55	1	0.53		
	청양	1	0.73				
	홍성	1	0.85				
	예산	1	0.55				
	금산	1	3.50				
	당진	1	0.47				
서천	3	0.82			62	167.67	
전남	화순	15	18.55			15	18.55
전북	완주	1	1.60			1	1.60
경북	문경	34	151.10				
	상주	13	16.11				
	영주			5	7.95	52	175.16
계	196	510.34	101	415.60	297	925.94	

Table 2. Number of survey plots and samples.

년도	지역	시험구수	표본수	
			토양	물
1996	계	72	66	22
	소계	36	35	15
	옥천	2	1	1
	충북 보은	5	2	3
	단양	5	5	3
	영월	4	6	1
	정선	6	6	-
	강원 평창	1	-	2
	태백	9	11	5
	삼척	4	4	-
1997	소계	36	31	9
	충남 보령	12	4	5
	전남 화순	8	10	1
	경북 문경	13	14	2
	상주	3	3	1

#### 나. 토양 및 식생 조사

녹화기반재인 廢炭質土, 覆土와 客土의 理化學性을 파악하기 위하여 表土부분에서 시료를 채취하여 토성, pH, 유기물(%), 전질소(%), 유효인산(ppm), 양이온치환용량(me/100g), 치환성 K, Na, Ca, Mg (me/100g) 함량을 분석하였다.

피복식생의 종명과 성장상태(목본류는 시공년차별 수고와 피도, 초본류는 시공년차별 피도)는 목본류는 400m<sup>2</sup>(20m×20m), 초본류는 25m<sup>2</sup>(5m×5m)의 방형구를 설치하여 파식초목종과 침입초목종으로 구분·조사하였다.

#### 다. 토양 침식 조사

토양침식상태는 面狀침식, 淚溝침식, 溝谷침식으로 구분하여 시공년차별로 면적침식률(침식을 받은 지역의 면적×100/전 조사면적)을 조사하였다.

#### 라. 수질조사

수질오염상태를 조사하기 위하여는 갯구에서 유출되는 물을 채취하여 pH와  $\text{NO}_3^-$ , Fe, Cu, Mn, Al,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Zn, Cd, Pb 등을 분석하였다.

#### 마. 경관미

북구지역의 주위 환경과의 친화도를 구명하기 위해 ㉠ 주위환경과 잘 어울린다. ㉡ 주위환경과 좀 이질감이 든다. ㉢ 주위환경과 아주 이질감이 든다. ㉣ 거의 방치상태 등의 4등급으로 구분하여 조사하였다.

#### 마. 복구비 분석

헥타르 당 복구비는 석탄산업합리화사업단에서 작성한 탄광별 복구공사 내역서에 기재된 복구비를 헥타르당 복구비로 환산, 분석하였다.

## 2. 폐탄광지 복구공법 개발 시험

### 가. 적정 녹화수종 선발시험

시험지는 강원도 정선군 고한읍 싸리재(해발 1,442m)의 북쪽사면으로 해발 1,000~1,150m에 위치한 정동탄광의 폐탄광지이다(Fig.1). 주위의 지질은 사암을 주로하는 퇴적암지대로 경사가 급하고 자갈이 많이 분포한다. 바람맞이로 겨울에 식재묘목이 고사하기 쉬운 지역이다.

경사는 15 ° 내외로 상당히 완만하고 식재기반 조성을 위하여 Table 3 과 같이 복토와 객토를 실시하고 소나무, 잣나무, 자작나무, 오리나무, 아까시나무의 5개 수종을 식재하되 잣나무와 자작나무는 대표와 소묘로 구분 식재하였다.

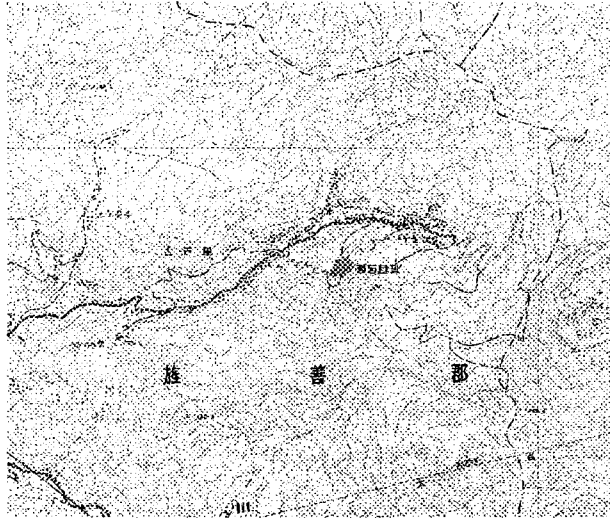


Fig.1. Location of experimental site.

Table 3. Treatment conditions of soil-covering and filling depth.

구 분	객 토			복 토	
깊 이	30cm	50cm	70cm	30cm	50cm
폭	70cm	70cm	70cm	전면복토	

또한 객토깊이 30cm구와 50cm구에는 보습제 및 비료처리를 실시하였다. 보습제는 스톡소브(Stock sorb), 테라코템(Terracotem)의 두 종류이며, 비료는 아그리폼(Agriform)을 사용하였고 각 처리내용은 Table 4와 같다.

Table 4. Treatment of stock sorb, terracotem and agriform.

약제명	사용량	묘목본수
아그리폼	2개/묘목	300본
스톡소브	30g/묘목	200본
테라코템A	10g/묘목	250본
테라코템B	20g/묘목	250본
대조구	-	700본

조사내용에 대해서는 활착률(동해피해, 잔존률), 생장량(간장측정), 공정조사(공종별 공정을 조사하여 단위 산출)을 조사하였으며 시험규모는 아래와 같다.

○ 복·객토 처리 :  $400\text{m}^2(20\text{m}\times 20\text{m})\times 5\text{복}\cdot\text{객토}\times 5\text{수종}=10,000\text{m}^2$

○ 비료처리

- 객토 30cm 구 : 200m

아그리폼 :  $40\text{m}(20\text{m}\times 2\text{열})\times 5\text{수종}=200\text{m}$

- 객토 50cm 구 : 100m

아그리폼 :  $20\text{m}(20\text{m}\times 1\text{열})\times 5\text{수종}=100\text{m}$

※각 처리구마다 나머지 3-4열은 대조구임(1열은 20m).

○ 보습제 처리

- 객토 30cm 구 : 480m

스톡소브	: $40\text{m}(20\text{m}\times 2\text{열})\times 5\text{수종}=200\text{m}$				
테라코템	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;">60m</td> <td style="padding-left: 10px;">(<math>20\text{m}\times 3\text{열}</math>)<math>\times 4\text{수종}=240\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;">40m</td> <td style="padding-left: 10px;">(<math>20\text{m}\times 2\text{열}</math>)<math>\times 1\text{수종}=40\text{m}</math></td> </tr> </table>	60m	( $20\text{m}\times 3\text{열}$ ) $\times 4\text{수종}=240\text{m}$	40m	( $20\text{m}\times 2\text{열}$ ) $\times 1\text{수종}=40\text{m}$
60m	( $20\text{m}\times 3\text{열}$ ) $\times 4\text{수종}=240\text{m}$				
40m	( $20\text{m}\times 2\text{열}$ ) $\times 1\text{수종}=40\text{m}$				
대조구					

- 객토 50cm 구 : 300m

스톡소브 : 20m(20m×1열)×5수종=100m  
 테라코템 : 40m(20m×2열)×5수종=200m  
 대조구

Fig. 2에는 폐탄광지의 적정 녹화수종 선발 시험구 배치도를 나타내었다.

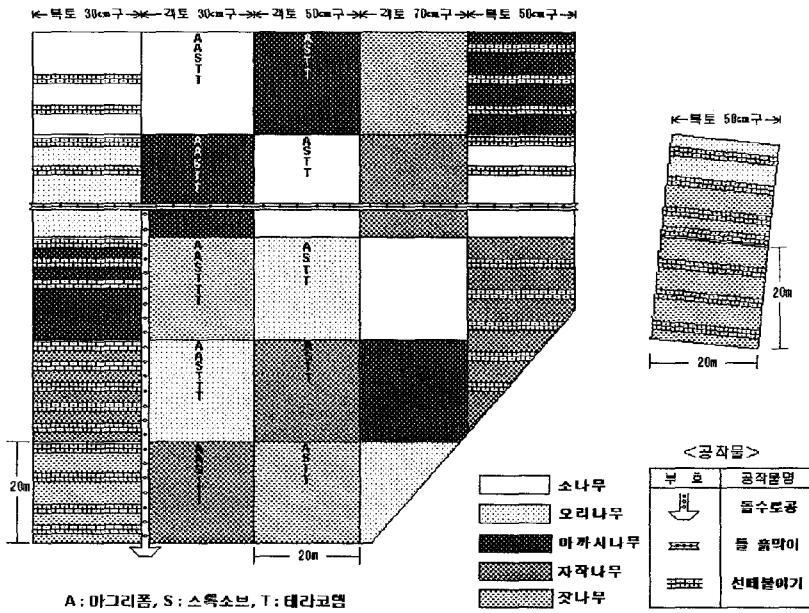


Fig. 2. Plots for the selection of afforestation species.



나. 폐탄광지 복구공법(구조물)시험

강원도 태백시 소도동의 2개소(유다래골, 지지리골)을 시험지로 설정하고(Fig. 3), 복구유형별 입지조건별 복구기준을 구분(가시권, 비가시권)하여 구조물을 설치하였다. 가로 구조물의 간격은 가시권 4미터, 비가시권 5미터이며, 경사구분은 각각 20° 와 30° , 주요구조물은 돌망태, 산비탈돌쌓기, 선폐붙이기, 파종구 등이며 각각의 수량 및 면적은 Table 5와 같고, Fig.4에는 복구구조물 배치도를 나타내었다.

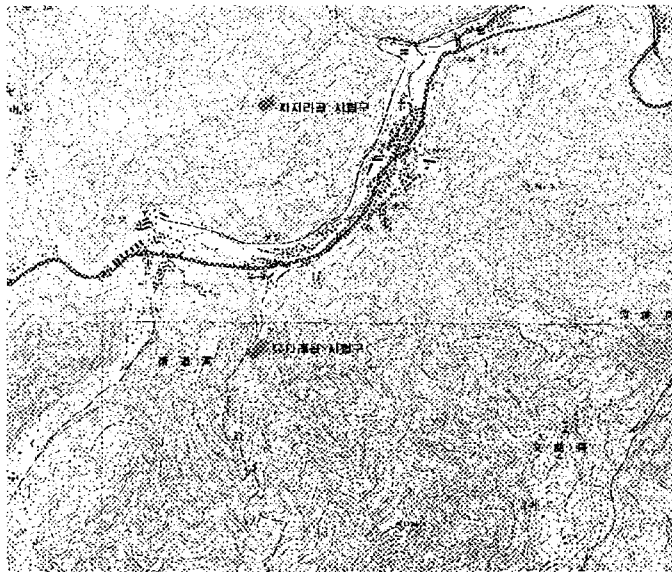
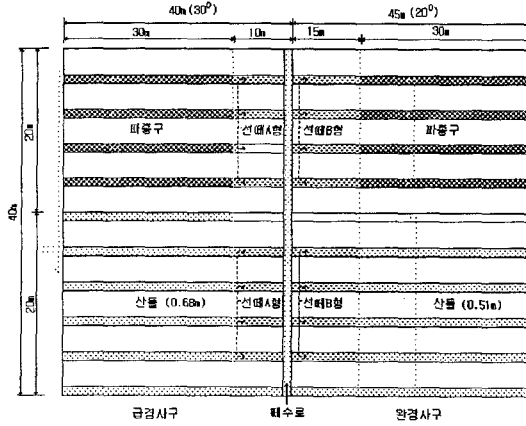


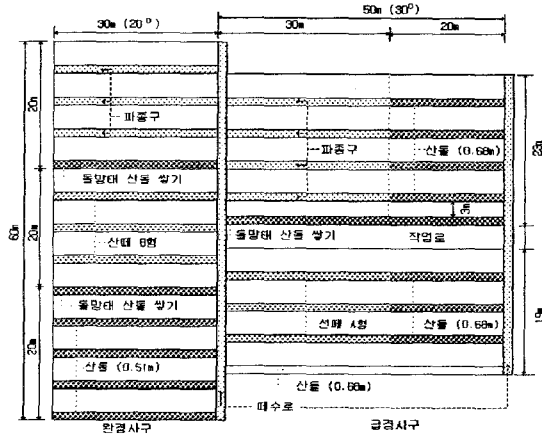
Fig. 3. Experimental site of restoration works.

Table 5. Restoration works and treatments.

처리내역 복구유형		작업공종	수량	면적
가시권 (유다래골)	20°	- 돌망태산비탈돌쌓기 - 산비탈 돌쌓기 - 선폐붙이기 - 파종구	90m 120m 120m 120m	1,800m <sup>2</sup>
	30°	- 돌망태산비탈돌쌓기 - 산비탈 돌쌓기 - 선폐붙이기 - 파종구	80m 150m 100m 150m	1,600m <sup>2</sup>
비가시권 (지지리골)	20°	- 돌망태산비탈돌쌓기 - 산비탈 돌쌓기 - 산폐붙이기 - 파종구	60m 120m 90m 90m	1,800m <sup>2</sup>
	30°	- 돌망태산비탈돌쌓기 - 산비탈 돌쌓기 - 선폐붙이기 - 파종구	100m 160m 120m 120m	2,100m <sup>2</sup>
계				7,200m <sup>2</sup>



<가시권>



<비가시권>

Fig. 4. Design of restoration work experiment

### 제 3 절. 결과 및 고찰

#### 1. 폐탄광지 복구현황

##### 가. 입지

조사지역의 지형은 완구릉지가 14개소(19%), 구릉지 9개소(13%), 산악지 49개소(68%)이며, 산악지는 다시 산록 30개소(42%), 산복 14개소(19%), 산정 5개소(7%)이었으며, 방위는 남서향이 12개소(17%), 서향 6개소(8%), 북서향 13개소(18%), 북향 7개소(10%), 북동향 12개소(17%), 동향 6개소(8%), 남동향 6개소(8%), 남향 10개소(14%)로서 폐광지는 지형적으로 산록부분에 많이 분포하고 있다. 標高는 120~1,050m(평균 418m)로 넓게 분포하며 비탈기울기는 복구공사시 비탈다듬기 공사로 많이 완화되어 16~39°로서 평균 32°이었다.

##### 나. 복구 구조물

1990년부터 1995년까지 기 복구완료된 전국 297개소 폐탄광지 복구설계 내역서를 분석한 결과, 복구에 이용되고 있는 공법과 공종은 기초공사로 비탈다듬기(절토, 뭉기기), 흙막이(선폐붙이기, 산비탈돌쌓기, 옹벽), 누구막이, 골막이, 수로내기(명거와 암거), 집수정과 계간 및 야계공사로 기술막이, 바닥막이와 사방댐 등이 설치되고 있으며, 지역별 비교적 많이 시공되고 있는 구조물의 종류와 수량은 Table 6과 같다.

Table 6. Kinds and quantity of restoration works.

소재지	공작물의 종류									
	탄광수	선타블이	떼누구막이	돌누구막이	산비탈돌쌓기	돌수로공	돌기숱막이	축대벽	돌골막이	암거
	(m)	(No.)	(No.)	(m)	(m)	(m)	(m)	(No.)	(m)	
충남	보령	41	-	-	3	339	65	9	-	-
	예산	1	-	-	-	-	-	276	-	-
	홍성	1	-	-	8	704	94	-	-	-
	당진	1	1,151	-	-	298	320	-	-	-
	청양	1	-	-	7	488	69	-	-	-
	부여	7	-	-	-	618	50	34	-	-
	대천	5	-	-	7	457	99	25	-	-
	서천산군	4	-	-	3	273	97	-	-	-
평균	1	-	-	2	343	20	9	-	-	
평균		3	-	3	374	65	13	-	-	-
경북	문경	34	1,284	19	5	3	327	35	-	-
	봉화	3	93	5	-	671	127	-	-	42
	상주	15	573	11	2	26	85	33	-	1
평균		587	10	3	13	146	13	-	-	11
전남	화순	12	2,048	-	80	138	63	166	-	-
충북	옥천	2	477	-	-	124	35	35	-	-
	보은	5	26	-	-	387	202	35	10	-
	단양	8	66	-	-	495	81	18	-	-
	청원	1	1,140	-	-	207	18	-	-	-
평균		111	-	-	425	128	25	4	-	-
강원	동해	1	-	-	-	1,365	956	-	-	-
	태백	34	-	-	1	891	160	83	23	-
	영월	19	-	-	-	545	112	41	1	-
	평창	7	-	-	24	795	91	87	8	2
	정선	30	-	-	2	1,102	176	105	19	-
	강릉	3	-	-	39	592	125	-	-	1
	명주	41	-	-	20	1,545	190	38	-	1
삼척	7	-	-	2	923	115	77	6	-	
평균		-	-	5	972	156	71	13	-	-
평균		163	2	5	594	132	45	7	-	3

복구공사는 폐석적치사면에 치중하여 산비탈돌쌓기, 돌수로공, 누구막이를 가장 많이 시공하고 있으며, 선평붙이기는 지역에 따라서 선호도가 다르다. 야계공사로는 기슭막이를 가장 많이 시공하고 있으며, 그외 바닥막이, 골막이 등 시공비가 많이 소요되는 공작물은 노후된 기존 시설물을 활용하는 곳이 대부분이었다.

폐탄광지 복구공작물의 직접적인 파손원인은 사면침식과 붕괴이며, 주로 ①적치토사가 깊은 지역에서 터파기 부실로 인한 기초지반(기슭막이, 골막이, 바닥막이, 옹벽 등)의 붕괴 ②공작물규모 과소 및 수량 과부족으로 인한 구조물 (수로공, 산비탈돌쌓기, 누구막이, 골막이 등) 파괴 ③노후된 공작물(기슭막이, 옹벽 등)을 그대로 활용하여 과다한 토압에 의한 파손 등으로 나타났다. 공작물의 선호도와 파손률은 Table 7에 나타내었다. 현지에서 원하는 구조물은 산비탈돌쌓기, 폐 및 돌수로공, 선평붙이기, 돌 및 콘크리트 축대벽과 기슭막이 등이며, 면적파손률이 높은 공작물은 대부분 노후된 수로공, 돌 및 콘크리트 기슭막이, 돌 축대벽과 부실시공에 의한 기슭막이로 나타났다.

Table 7. Trial and damage rate(%) of restoration works.

구분	선호도	파손률
공중		
○토압고정공		
· 산비탈 돌쌓기	88	2
· 누구막이	14	0
· 땅속흙막이	1	0
· 축대벽	45	10
· 선폐(줄폐)붙이기	13	3
· 폐단쌓기	1	0
· 흙막이	14	0
○지표수 처리공		
· 골막이	5	5
· 바닥막이	4	2
· 수로공	78	34
· 기슭막이	36	29
· 사방댐	1	0
○지하수 처리공		
· 암거	1	0
· 흡관	1	0

다. 폐석 및 폐탄질토의 특성

탄광폐석의 암종별 비율은 砂岩이 57.5%로 가장 높고 頁암이 25.2%, 석탄이 많은 頁암(coaly shale)이 1.7%, 기타 15.6%로 알려져 있으며, 폐석의 크기(粒徑)는 1mm이하가 17%, 1~10mm가 20%, 10~50mm가 50%이고, 50mm이상인 13%로 10~50mm가 가장 많다(한국자원연구소, 1995). 폐석은 대부분이 粒徑 2mm이상의 자갈로 이루어져 있기 때문에 물과 염류의 흡착력이 적어서 건조되기 쉽다. 뿐만 아니라 검은 폐석은 열 흡수력이 강하여 지표온도가 60℃까지 올라가게 되므로(정남훈, 1991) 일사량이 많은 여름에 식생이 고사되기 쉽다. 폐석 중 토양시료분석이 가능한 직경 2mm이하의 폐석(폐탄질토)을 채취하여 토양

의 이화학성을 분석한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Soil chemical characteristics of abandoned coal mine areas.

지역	토성	pH	O.M %	T-N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	C.E.C	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
거포	L	4.62	3.1	0.146	9.6	11.44	0.13	0.13	1.01	0.13
갈티	L	4.90	5.3	0.084	18.1	11.66	0.05	0.10	0.65	0.27
대평	LS	8.17	14.02	0.038	0.8	7.48	0.03	0.05	4.47	4.73
묵산	SL	3.91	8.31	0.099	2.5	3.96	0.04	0.05	0.98	0.64
거진	SL	5.24	13.15	0.160	18.2	4.40	0.05	0.05	2.22	0.93
우성	SL	7.27	14.09	0.115	3.3	6.16	0.09	0.07	5.27	1.22
옥동	SL	8.09	1.09	0.037	2.4	42.24	0.11	0.12	32.30	5.90
평창	SL	4.11	14.59	0.146	3.3	4.84	0.07	0.06	0.81	1.19
경일	SL	4.35	6.81	0.087	0.2	3.74	0.03	0.05	0.61	0.73
덕상	LS	5.07	2.74	0.137	41.8	2.42	0.16	0.25	2.10	1.44
기촌	SL	4.05	4.17	0.095	30.1	8.14	0.09	0.27	0.45	0.33
대대	SL	3.93	4.11	0.044	13.2	3.96	0.03	0.25	0.81	0.60
이목	SL	3.48	6.19	0.128	3.4	5.50	0.06	0.24	0.37	1.16
옥동	LS	5.36	3.43	0.044	6.3	2.86	0.04	0.25	0.56	0.75
황지 1	LS	5.82	7.5	0.056	0.7	3.74	0.07	0.34	2.59	0.41
황지 2	SL	4.72	5.65	0.022	11.7	4.84	0.11	0.29	1.61	0.45
화전 1	SL	5.86	1.34	0.070	9.3	6.38	0.15	0.26	2.23	0.99
황지 3	LS	4.66	2.03	0.036	3.1	8.08	0.09	0.29	0.35	0.05
황지 4	LS	4.03	2.97	0.140	0.3	3.08	0.06	0.27	1.02	0.35
소도 2	SL	5.95	0.34	0.078	17.7	3.52	0.19	0.33	5.36	1.42
늑구 1	SL	3.97	3.66	0.073	31.7	4.84	0.13	0.29	1.30	0.08
풍곡 1	SL	5.32	2.21	0.028	0.4	3.08	0.04	0.23	0.75	0.67
심포 1	LS	7.79	6.58	0.112	50.7	8.58	0.40	0.32	6.50	1.38



Table 8. Continued

지역	토성	pH	O.M %	T-N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	C. E. C	me/100g				
							K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
나원 1	L	6.60	11.11	0.073	2.2	6.82	0.16	0.05	5.01	2.25	
나원 2	SL	4.77	21.03	0.090	20.4	4.18	0.03	0.04	0.93	0.27	
나원 3	SL	5.96	29.63	0.106	8.1	6.38	0.09	0.13	3.07	2.24	
향천 2	LS	5.82	11.60	0.056	7.3	9.46	0.09	0.10	3.56	1.29	
성주 1	SL	6.55	21.49	0.218	11.5	2.86	0.10	0.10	2.74	0.19	
성주 2	L	5.15	6.98	0.319	60.8	8.80	0.16	0.10	0.86	0.19	
성주 4	SL	6.73	21.42	0.188	3.9	6.38	0.08	0.10	2.57	1.32	
도학담 1	LS	7.12	17.33	0.227	4.6	11.88	0.04	0.11	2.85	1.21	
강성 1	L	5.01	2.88	0.064	4.2	10.12	0.08	0.07	0.95	0.56	
우음 1	SL	4.77	2.52	0.039	6.1	6.38	0.06	0.07	1.60	0.68	
우음 3	SL	7.53	3.18	0.056	40.9	4.18	0.09	0.07	2.56	1.42	
동주 1	L	5.32	0.99	0.036	0.3	7.7	0.07	0.06	0.76	0.22	
북암 1	LS	4.89	22.32	0.064	6.4	3.96	0.03	0.06	0.90	0.28	
외어 1	LS	4.03	7.50	0.148	8.1	1.98	0.05	0.10	0.31	0.34	
불정 1	SL	7.08	1.94	0.053	13.8	7.04	0.09	0.09	5.00	3.09	
평균		5.47	8.30	0.098	12.6	6.92	0.09	0.15	2.84	1.09	

Table 8과 같이 토양산도, 유기물함량, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 Ca과 Mg은 지역에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 폐탄질토의 토성은 점토함량이 15%이하인 양토(Loam), 양질사토(Loamy Sand)와 사질양토(Sandy Loam)로 대부분이 모래와 미사로 구성되어 있다.

라. 복·객토현황 및 토양 특성

폐광지의 폐석적치사면을 비탈다듬기한 후 사면상에 파식을 위하여 전면적으로 흙덮기하는 것을 覆土라 하고, 사면에 부분적으로 일정한 크기(점모양 또는 줄모양)로 구덩이를 파고 성질이 다른 흙으로 채우는 것을 客土라고 할 때 조사지의 복·객토의 실시현황은 Table 9와 같으며, 이들 토양의 이화학특성은 Table 10과 같다.

Table 9. Actual condition of soil-covering and filling depth.

처 리	복토		객 토				대조구
	전면	단상	객토 깊이				
			10cm	15cm	20cm	30cm	
시공률 (%)	25	24	15	28	4	3	1

폐탄광지의 복토는 많은 비용이 소요되므로 폐탄광지 복구 시범지 등 특수한 지역을 제외하고 거의 실시하지 않고 있으며, 그 두께도 대부분이 20cm 이하인 것으로 조사되었다. 대부분 지역에서 줄모양 구덩이(條播溝) 또는 점모양 구덩이(點播溝)를 파고 객토를 실시하고 있으나 객토량이 구덩이당 1~2삽 정도로는 임목생장에 충분하지 못하므로 조림목 枯死의 원인이 되기도 한다. 폐탄광지녹화에 이용되는 복토와 객토는 심층토가 대부분이고 여러 곳에서 대량으로 채취하기 때문에 토성은 일정하지 않으며, 식물생육에 유리한 良質 토양이 아니다. Table 10에서 참고로 표시한 퇴적암 산림토양은 우리 나라의 사암, Shale, 이암의 토양을 분석한 평균치(이수육, 1981)로서 폐탄질토(Table 8.)와 폐탄광지 녹화에 이용된 복·객토의 토양 이화학성과 비교할 수 있다. 폐탄질토와 복·객토용 토양은 유기물함량을 제외한 유

효인산, 양이온 치환용량, 치환성 염기인 K, Na, Ca 및 Mg 함량이 퇴적암 산림토양에 비하여 낮게 나타나고 있어, 복·객토용 토양의 비옥도 증가 또는 시비에 의한 충분한 양분의 보충이 요구된다.

Table 10. Chemical characteristics of soil covering and filling areas.

지역	토성	pH	O.M %	T-N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	me/100g				
						C.E.C	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
이목	L	5.57	2.37	0.134	11.1	9.90	0.27	0.30	1.64	2.39
옥동	L	4.05	2.22	0.159	6.4	6.38	0.15	0.27	1.40	0.92
황지 3	SL	4.22	5.33	0.031	2.6	3.08	0.11	0.49	1.26	0.39
나원 1	L	4.56	2.29	0.031	116.8	9.90	0.06	0.05	1.21	0.62
나원 3	SiL	5.05	1.24	0.039	0.3	3.74	0.37	0.14	3.83	4.77
향천	SiL	5.28	1.43	0.059	27.1	6.16	0.35	0.13	5.49	7.55
성주 1	SiL	5.76	4.89	0.134	2.9	9.46	0.18	0.13	1.76	1.87
성주 2	LS	6.76	1.52	0.196	8.5	3.30	0.06	0.12	4.92	0.42
성주 4	S	5.83	0.26	0.157	14.9	2.64	0.09	0.09	3.04	1.07
도학답1	SL	5.75	3.81	0.314	67.7	6.60	0.12	0.12	2.46	0.51
우음	SL	6.53	13.51	0.042	2.5	3.96	0.05	0.07	2.81	1.42
복암	SiL	5.06	1.43	0.048	0.3	8.36	0.09	0.07	0.83	0.25
고요1	SL	3.02	8.61	0.095	18.0	5.72	0.04	0.08	0.66	0.24
고요 2	SiCL	5.33	1.85	0.162	14.3	4.62	0.16	0.09	3.86	2.46
외어 1	L	4.68	2.64	0.092	5.5	2.86	0.05	0.09	0.64	0.42
외어 2	SL	6.02	2.59	0.067	11.5	0.66	0.08	0.08	1.58	1.03
외어 3	SiCL	6.00	0.59	0.050	13.6	8.58	0.12	0.11	5.20	3.43
불정 1	L	6.83	3.55	0.036	20.5	5.94	0.10	0.09	6.26	3.77
불정 2	C	5.34	0.93	0.045	16.4	7.20	0.10	0.13	3.37	2.02
불정 3	L	6.83	10.25	0.053	16.8	1.54	0.09	0.09	2.37	1.55

Table 10. Continued

지역	토성	pH	O.M %	T-N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	C.E.C	me/100g			
							K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
불정 2	C	5.34	0.93	0.045	16.4	7.20	0.10	0.13	3.37	2.02
불정 3	L	6.83	10.25	0.053	16.8	1.54	0.09	0.09	2.37	1.55
견탄 1	L	5.79	1.97	0.048	6.1	3.08	0.09	0.11	1.86	1.33
하내 1	L	4.70	1.13	0.081	0.2	5.94	0.06	0.09	0.59	0.18
울수1	L	5.51	2.07	0.056	2.9	4.18	0.16	0.09	2.86	0.77
선교 1	SL	6.10	2.27	0.101	10.9	5.72	0.17	0.09	5.66	1.10
이소 1	SL	6.50	2.04	0.118	7.5	2.86	0.09	0.09	2.74	2.27
임곡 1	L	5.03	0.53	0.076	0.4	5.28	0.05	0.08	0.61	0.57
평균		5.47	3.13	0.093	15.6	5.29	0.13	0.13	2.65	1.67
퇴적암 산림토양		5.60	2.20	-	23.1	11.0	0.19	0.25	3.65	1.78

#### 마. 식물생장과 피복도

폐탄광지 식재 및 파종수종(Table 11)으로 전통적인 황폐지 녹화수종인 아까시나무, 리기다소나무와 오리나무, 찌리(파종)와 족제비찌리(파종 또는 식재)가 가장 많았으며, 그밖에 잣나무, 낙엽송, 자작나무, 해송, 소나무, 측백나무, 현사시나무 등의 순으로 식재되고 있다. 자작나무는 최근 많이 식재되고 있으며, 성장도 비교적 양호하였다.

식재방법은 아까시나무, 리기다소나무, 오리나무 단순림과 활엽수(아까시나무, 오리나무류, 현사시나무, 자작나무)와 침엽수(잣나무, 리기다소나무, 해송, 소나무)의 혼효림이 있는데 혼효림에서는 아까시나무 또는 오리나무류에 의하여 침엽수(특히 리기다소나무, 소나무)가 피압, 고사되는 지역이 많았다. 따라서 침엽수와 활엽수를 부득이 섞어 심을 때에는 부분혼식이 필요하다.

주요 식재 수종인 아까시나무, 리기다소나무, 오리나무류와 가장

많이 피종되고 있는 싸리의 시공년차에 따른 수고생장과 被度 분포상 태는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

조림 수종 중 아까시나무의 생장이 가장 크게 나타났으며, 다음으 로 오리나무류, 리기다소나무 순으로 생장이 빠르다. 시공년차에 따른 생장량은 그 지역의 입지조건과 관리상태에 따라 다르게 나타나고 있 다. 싸리는 2m이상 자라게 되면 고사되고 다시 맹아로 가지가 나오거 나 새로운 종자가 발아되어 자라고 있으며 타 수종에 의해 피압되면 생장이 불량하여 시공년차에 따른 생장차이가 아주 크다.

Table 11. Preference degree(%) of planting tree species.

수종 \ 지역	강원 충북	충남 전남 경북	전체
아까시나무	75	89	82
오리나무	28	33	31
잣나무	22	36	29
죽제비싸리	19	14	17
싸리	19	66	43
낙엽송	17	-	8
리기다소나무	14	58	36
측백	6	-	3
현사시	6	-	3
자작나무	3	14	8
해송	-	3	1
소나무	-	3	1

※ 선호도 : 총조사지수와 식재목의 출현 조사지수의 비율

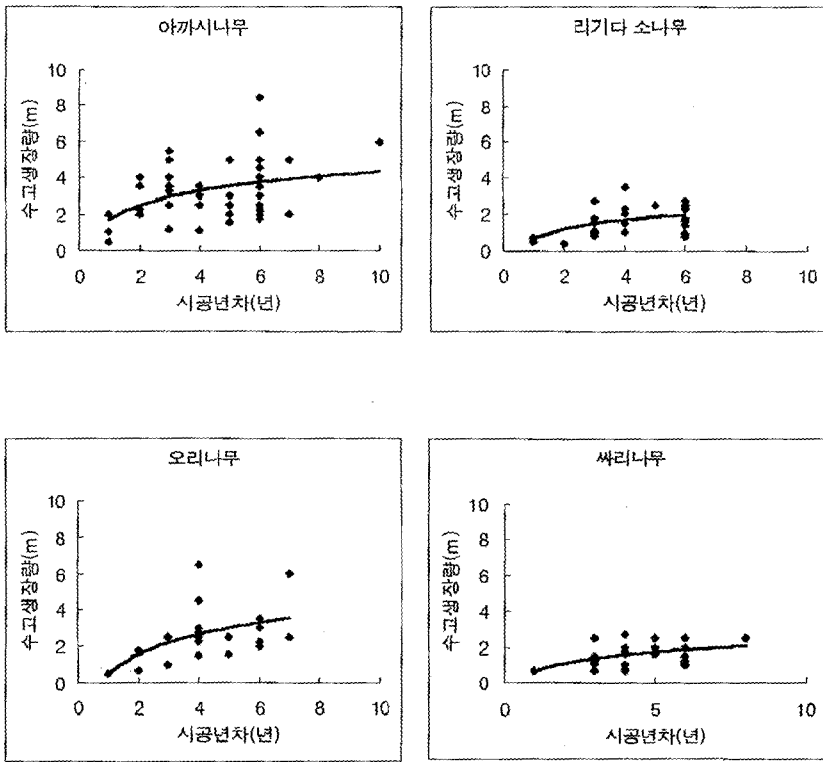


Fig. 5. Height growth by tree species and elapsed year after planting.

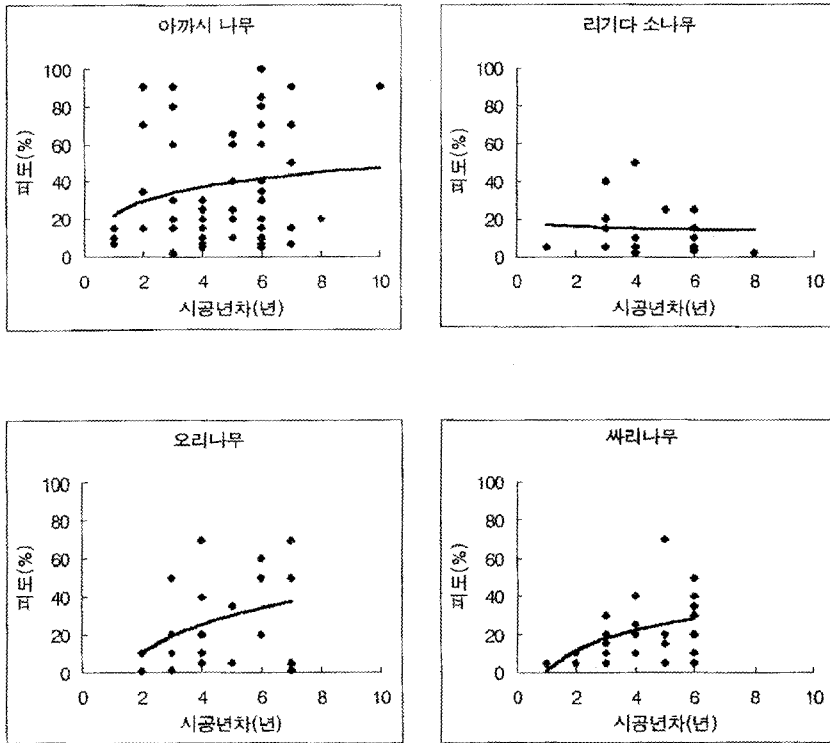


Fig. 6. Coverage by tree species and elapsed year after planting.

각 수종에 대한 피도 역시 수고생장에서와 같이 입지조건과 관리상태에 따라 차이가 커서 시공년차에 따른 일정한 경향을 보이지 않았다. 리기다소나무는 피압되면 그들이 지므로 활엽수류와 혼식할 경우 대부분 고사하거나 생장이 극히 저조하였다.

#### 바. 식생종 및 피도의 변화

사면피복용 파종초본류는 재래종으로 새류(일반잡초)와 도입초종으로 왕포아풀(Kentucky bluegrass), 오리새(Orchard grass), 켄터키31 웨스큐(Kentucky31 fescue), 키다리개미털(Tall fescue), 능수귀염플(Weeping lovegrass)이 있었다. 파종초본류의 선호도는 강원과 충북에서는 새류 50%, 도입초종(왕포아풀, 오리새, 켄터키웨스큐 등) 11%로 나타났으며, 기타 지역은 전면 고사하였거나 방치상태로 지표식생의 피도가 극히 불량한 상태였다. 충남, 전남 및 경북은 새류 56%, 오리새 18%, 왕포아풀 14%, 키다리개미털 8%, 능수귀염플 6%로 도입초종을 많이 선호하고 있었고, 지표식생의 피복상태도 비교적 안정되고 양호한 것으로 나타났다.

강원, 충북 지역의 폐탄광 복구지 하층 초본피도는 평균 17%, 상층 목본피도는 34%로 저조한 편이며, 특히 지역에 따라 피도차이가 심하여 불량한 지역은 식생이 거의 없는 지역이 많았다. 하층 초본류 피도가 비교적 높은 지역은 시공년차가 오래된 지역이거나 켄터키웨스큐 31, 오리새 등과 같은 외래초종 파종지로 나타나고 있다. 충남, 전남 및 경북 지역은 강원, 충북 지역에 비하여 평균 하층초본피도 38%, 상층목본피도 53%로 비교적 높게 나타나고 있다. 전체적으로 하층초본피도 29%, 상층목본피도는 45%이었다. 상층식생과 하층식생의 피도는 경과년수에 따라 Fig. 7과 같이 목본류의 피도는 점차 증가하였으나 초본류는 점차 감소하였다.



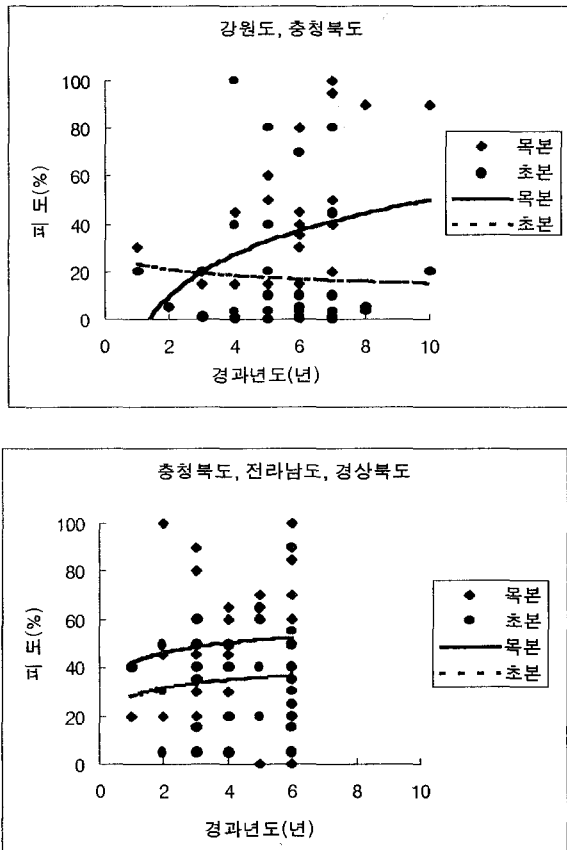


Fig. 7. Coverage change of woody and herbaceous plants by elapsed year.

사. 침입종

폐탄광지의 폐석적치사면은 1차 천이지역으로 분류할 수 있는데, 이 지역에 침입한 移入種과 출현빈도를 조사하였다. 조사지역 내 조립수종 이외의 이입종으로는 강원, 충북지역에 다래 등 37종, 충남, 전남, 경북에서는 가중나무 등 28종이었으며 전 지역에서 48종으로 조사

되었다. 가장 많은 이입수종으로는 강원, 충북지역에서는 소나무, 졸참나무, 국수나무, 물푸레나무, 싸리, 칩, 갈참나무, 철쭉꽃, 나무딸기이었으며 충남, 전남, 경북지역에서는 나무딸기, 칩, 산초나무, 사위질빵, 졸참나무이었다. 전 지역에 가장 잘 침입되고 있는 수종은 나무딸기, 칩, 졸참나무와 산초나무 순으로 나타났다.

인위적으로 파종한 것을 제외한 하층 침입 초본류는 강원, 충북지역에서 자귀풀 등 43종으로서 쑥, 씬바귀, 달맞이꽃, 망초, 억새, 강아지풀, 가막살이, 산겨울, 방가지뚱 등의 순이었으며, 충남, 전남, 경북지역에서는 깨풀 등 75종으로서 쑥, 망초, 달맞이꽃, 억새, 여뀌, 산겨울, 기름새, 솔새, 까치수영, 오이풀 등의 순이었다. 전체적으로 86종이며 쑥, 달맞이꽃, 망초, 억새, 씬바귀, 산겨울, 여뀌, 솔새, 까치수영, 강아지풀이었으며 被度면에서는 큰 비중을 차지하지 못하고 있다. Table 12와 13에는 조사지역별 상층목본류 및 하층초본류의 출현율을 나타내었다.

Table 12. Appearance frequency(%) of invaded species(woody).

지역	강원 충북	충남 전남 경북	계
시험구수 종(학명)	36	50	86
<i>Actinidia arguta</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Ailanthus altissima</i>	1(3%)	3(6%)	4(5%)
<i>Albizzia julibrissin</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Alnus japonica</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Amorpha fruticosa</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Artemisia iwayomogi</i>	1(3%)	2(4%)	3(3%)
<i>Betula davurica</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Callicarpa japonica</i>		3(6%)	3(3%)
<i>Castanea crenata</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Clematis apiifolia</i>		4(8%)	4(5%)
<i>Clerodendron trichotomum</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Cocculus trilobus</i>	1(3%)	2(4%)	3(3%)
<i>Euonymus alatus</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	4(11%)		4(5%)
<i>Lespedeza bicolor</i>	4(11%)		4(5%)
<i>Lonicera japonica</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Paulownia coreana</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Pinus densiflora</i>	5(14%)	1(2%)	6(7%)
<i>Populus alba</i> × <i>glandulosa</i>		3(6%)	3(3%)
<i>Populus deltoides</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Prunus sargentii</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Pueraria thunbergiana</i>	4(11%)	6(12%)	10(12%)
<i>Quercus aliena</i>	4(11%)	1(2%)	5(6%)
<i>Quercus dentata</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Quercus mongolica</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Quercus serrata</i>	5(14%)	4(8%)	9(10%)
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	4(11%)	2(4%)	6(7%)

Table 12. Continued

지역	강원 충북	충남 전남 경북	계
시험구수	36	50	86
종(학명)			
<i>Rhus chinensis</i>	2(6%)	1(2%)	3(3%)
<i>Rhus verniciflua</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Robiniapseudo-acacia</i>	2(6%)		2(2%)
<i>Rosa multiflora</i>	3(8%)		3(3%)
<i>Rubus idaeus</i> var. <i>microphyllus</i>	4(11%)	8(16%)	12(14%)
<i>Salix gracilistyla</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Salix koreensis</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliciflora</i>	2(6%)	2(4%)	4(5%)
<i>Staphylea bumalda</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Stephanandra incisa</i>	5(14%)	2(4%)	7(8%)
<i>Styrax obassia</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Syringa dilatata</i>	2(6%)		2(2%)
<i>Tilia amurensis</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Ulmus davidiana</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Viburnum erosum</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Weigela subsessilis</i>	3(8%)	1(2%)	4(5%)
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	3(8%)	6(12%)	9(10%)

Table 13. Appearance frequency(%) of invaded species(herbaceous).

지역	강원 충북	전남 충남 경북	계
시험구수	36	50	86
종(학명)			
<i>Acalypha australis</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Aeschynomene indica</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Agrostis clavata</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Amaranthus mangostanus</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Andropogon brevifolius</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Arenaria serpyllifolia</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Artemisia capillaris</i>	3(8%)	7(14%)	10(12%)
<i>Artemisia japonica</i>		3(6%)	3(3%)
<i>Artemisia keiskeana</i>	2(6%)	4(8%)	6(7%)
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	22(61%)	28(56%)	50(58%)
<i>Artemisia stolonifera</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Arundinella hirta</i>	4(11%)		4(5%)
<i>Asparagus schoberioides</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Aster scaber</i>	1(3%)	3(6%)	4(5%)
<i>Bidens bipinnata</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Bidens tripartita</i>	6(17%)		6(7%)
<i>Carex humilis</i>	5(14%)	11(22%)	16(19%)
<i>Carex siderosticta</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Cassia mimosoides</i> var. <i>nomame</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	1(3%)	2(4%)	3(3%)
<i>Chrysanthemum boreale</i>		5(10%)	5(6%)
<i>Chrysanthemum boreale</i>		8(16%)	8(9%)
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	4(11%)		4(5%)
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i>		1(2%)	1(1%)

Table 13. Continued

지역	강원 충북	충남 전남 경북	계
시험구수	36	50	86
종(학명)			
<i>Commelina communis</i>	1(3%)	2(4%)	3(3%)
<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i>	4(11%)	1(2%)	5(6%)
<i>Digitaria sanguinalis</i>	4(11%)	2(4%)	6(7%)
<i>Dioscorea quinqueloba</i>		3(6%)	3(3%)
<i>Equisetum arvense</i>	2(6%)		2(2%)
<i>Erechtites hieracifolia</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Erigeron annuus</i>	1(3%)	5(10%)	6(7%)
<i>Erigeron canadensis</i>	8(22%)	27(54%)	35(41%)
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Fagopyrum esculentum</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Festuca ovina</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Filifolium sibiricum</i>		3(6%)	3(3%)
<i>Fragaria ananassa</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Geranium sibiricum</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Hemistepta lyrata</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Hieracium umbellatum</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Hosta longipes</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Humulus japonicus</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Hypericum galioides</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Impatiens textori</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>		4(8%)	4(5%)
<i>Iris nertschinskia</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Ixeris chinensis</i> var. <i>strigosa</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Ixeris dentata</i>	14(39%)	8(16%)	22(26%)
<i>Kummerowia striata</i>		5(25%)	5(6%)
<i>Leersia oryzoides</i>		2(4%)	2(2%)

Table 13. Continued

지역	강원 충북	충남 전남 경북	계
시험구수 종(학명)	36	50	86
<i>Lespedeza cuneata</i>	2(6%)	2(4%)	4(5%)
<i>Lysimachia barystachys</i>	4(11%)	9(18%)	13(15%)
<i>Meehania urticifolia</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Metaplexis japonica</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Milium effusum</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Miscanthus sinensis</i>	8(22%)	20(40%)	28(33%)
<i>Mosla punctulata</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Oenothera odorata</i>	13(36%)	23(46%)	36(42%)
<i>Oplismenus undulatifolius</i>		3(6%)	3(3%)
<i>Patrinia scabiosaefolia</i>	2(6%)	7(14%)	9(10%)
<i>Patrinia villosa</i>		8(16%)	8(9%)
<i>Persicaria hydropiper</i>	4(11%)	12(24%)	16(19%)
<i>Phaseolus radiatus</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Phytolacca americana</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Pilea peploides</i>		6(12%)	6(7%)
<i>Plantago asiatica</i>	2(6%)	2(4%)	4(5%)
<i>Polygala japonica</i>	3(8%)	1(2%)	4(5%)
<i>Potentilla chinensis</i>	1(3%)		1(1%)
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>	3(8%)	5(10%)	8(9%)
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Sanguisorba officinalis</i>	2(6%)	9(18%)	11(13%)
<i>Sedum kamschaticum</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Setaria viridis</i>	6(17%)	7(14%)	13(15%)
<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>		1(2%)	1(1%)
<i>Sonchus oleraceus</i>	5(14%)	3(6%)	8(9%)
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	1(3%)	11(22%)	12(14%)
<i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i>	4(11%)	11(22%)	15(17%)
<i>Viola acuminata</i>		2(4%)	2(2%)
<i>Viola mandshurica</i>	4(11%)	2(4%)	6(7%)
<i>Youngia sonchifolia</i>	1(3%)	1(2%)	2(2%)
<i>Zoysia japonica</i>		1(2%)	1(1%)

#### 아. 사면침식

폐탄광지의 적치사면에서의 침식상태는 면상침식, 누구침식과 구곡 침식으로 구분되는데, 지피식생이 고정되지 않은 지역에서 면상침식은 대부분 세립의 탄질토 또는 식재를 위하여 복·객토한 지표면을 유실 시키며, 누구침식은 면상침식이 진전되어 보다 큰 폐탄질토 또는 복·객토가 淚路를 따라 유실되는 것이다. 구곡침식은 수로가 파괴되거나 용출수가 있는 지역에서 배수로를 설치하지 않았기 때문에 발생되며, 지역에 따라서는 부설시공된 흙막이(산비탈돌쌓기, 옹벽, 기슭막이 등)가 파괴되어 사면이 붕괴되기도 한다. 경사도와 사면침식과의 관계를 볼 때 모든 토양(모래, 미사, 점토, 보통흙 등)은 수분으로 포화될 경우 안식각이 30° 이하로 떨어지므로 사면기울기 30° 이상인 지역에서 전면 복토된 사면은 강우시 침식이 발생하게 되므로 복토후 즉시 식생으로 피복시키거나 사면기울기를 30° 이하로 완화시켜야 한다.

조사지역별 침식상태별, 면적침식률(침식받은 지역의 면적×100/전 조사면적)은 시공년차에 따른 차이는 보이지 않으나 입지조건에 따라 많은 차이를 보이며 충남, 전남, 경북 지역에 비하여 강원, 충북 지역에서 비교적 많이 발생되고 있는데, 이는 하층초본피도가 충남, 전남, 경북 지역에 비하여 낮기 때문인 것으로 생각된다. 전체적으로 조사개소의 20%지역에서 침식이 발생하였으며 평균 면상침식률 15%, 누구침식률 6%, 구곡침식률 6%를 나타냈다(Table 14참조).



Table 14. Soil erosion rate by erosion type.

조사 No.	시공년차	침식형태		
		면상(%)	누구(%)	구곡(%)
무애 1	2	-	15	20
거포 1	8	-	-	30
소여 1	7	-	-	-
강청 1	5	-	30	-
판장 1	3	10	-	-
조곡 1	5	-	-	-
갈티 1	6	10	-	20
덕상 1	6	20	20	5
기촌 1	5	10	10	-
대대 1	4	70	10	10
보밭 1	8	-	-	-
상 1	6	30	-	-
화원 1	7	-	-	-
주문 1	6	-	-	-
구절 1	7	-	-	-
북평 1	3	-	-	-
무능 1	7	-	-	-
고한 1	7	-	-	-
고한 1-1	5	15	-	-
고한 2	4	-	-	-
예밀 1	5	-	-	-
예밀 2	6	10	-	-

Table 14. Continued

조사 No.	시공년차	침식형태		
		면상(%)	누구(%)	구곡(%)
가마터골 1	6	20	20	-
황지 1	6	10	-	20
황지 2	10	-	-	-
화전 1	6	80	-	30
황지 3	1	-	-	-
황지 4	7	-	-	-
소도 1	5	20	10	30
혈동 1	6	30	10	20
소도 2	4	-	-	-
늑구 1	6	30	30	10
풍곡 1	4	90	30	10
심포 1	7	-	-	-
심포 2	6	-	-	30
황지 5	6	70	30	-
계		525	215	205
평균		15	6	6

#### 자. 수질오염

석탄은 탄화수소화합물로 황철광( $\text{FeS}_2$ )을 포함하고 있는데 황철광이 공기 중에 노출되면 자가 산화반응(pH 4.5 이상)과 철세균(pH 4.5~3.5) 및 호산성철세균(pH 3.5 이하)에 의해서 산화되므로 강산성으로 변한다. 이렇게 생성된 황산에 의해 광산폐수는 강한 산성을 띠게 되며 불용성의 수산화철 화합물과 鐵明礬石[Jarosite ;  $\text{K}_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$ ]의 황색 또는 갈색 침전물(Yellow boy)를 함유하게 되는데(조경숙 등, 1996), 이 Yellow boy가 계류수 또는 토양에 심각한 오염을 유발한다. 폐광지 갱구로부터 유출되는 물(20점)을 분석한 결과는 Table 15와 같다.

Table 15. Water quality of streams water in abandoned coal mine drainage.

조사 No.	pH	N		Fe	Cu	Mn	Al <sup>3+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Zn	Cd	Pb
		NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>								
mg/ℓ											
나전 1	6.7	0.27	0.20	2.24	0	1.260	0.04	131	0.023	0	0
평창 1	7.0	0.31	0.20	2.33	0	8.190	0.02	769	0.031	0	
평창 2	7.1	2.38	2.30	0.07	0	0.018	0.02	128	0	0	0
덕상 1	3.1	0	1.50	2.10	0.321	17.840	2.53	2,585	-	0.012	
대대 1	7.1	0.08	0.10	4.20	0	2.220	0.39	701	-	0	0
보발 1	7.3	0	0.30	0	0	0	0	226	-	0	
황지 1	5.2	0.16	0.10	0.17	0.019	2.025	0.85	675	0.265	0	0
소도 1	3.7	0.28	0	72.50	0.011	5.901	6.89	744	0.891	0	
소도 2	4.4	0.04	0	9.98	0.030	2.070	12.74	648	0.356	0	0
심포 2	6.4	0.03	0	0	0	0.315	0	50	0.006	0	
황지 5	5.9	0	0	2.35	0	4.710	0	929	0.028	0	0
임곡 1	7.6	0.94	0.13	0	0.004	0.003	0	371	0	0	0
외어 1	7.3	0.11	0	0	0	0.153	0	339	0	0	0
외어 2	4.6	0.19	0.29	0.01	0.023	1.100	5.11	290	0.536	0.001	0.014
고요 1	7.0	0	0.09	0	0	7.990	0	926	0.008	0.019	0
고요 2	2.4	0	0.46	139.00	0	39.700	103.0	1,559	1.700	0.005	0
우음 1	7.7	0	0.09	0.01	0	0.024	0	830	0	0	0.001
정나 1	7.6	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0.014
정나 2	6.9	0	3.28	0	0.003	0	0	22	0	0.001	0.013
정나 3	7.2	0.05	0.09	0	0	0.449	0	94	0.006	0.001	0
평균	6.1	0.24	0.46	11.75	0.021	4.698	6.58	607	0.226	0.002	0.002
음용수 기준	5.8- 8.5	<0.50	<10	<0.30	<1.00	<0.30	<0.20	<200	<1.00	<0.01	<0.05

폐탄광지 갱구에서 나오는 유출수에는 수질 분석결과 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+$ ), 질산성 질소( $\text{NO}_3^-$ ), 구리(Cu), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 납(Pb)의 농도를 제외하면 음용수기준을 훨씬 초과하고 있다. 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )의 농도는 pH와 대체적으로 반비례 관계가 있어서 많은 황산염을 가지는 폐탄광지의 유출수는 강한 산성을 띠게 되나, 유출량이 많은 경우 희석되어 실제적으로 pH는 지역에 따라 다르게 나타나고 있다. 유출수에서 가장 문제되고 있는 이온은 일반적으로 철(Fe), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 황산( $\text{SO}_4^{2-}$ )으로서 음용수에 비하여 높게 나타나고 있으나 농도는 지역간에 많은 차이가 있다.

석탄산업합리화사업단(1998)도 강릉 테우탄광 유출수의 수질조사에서 Fe, Al,  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온이 다량 검출되었음을 보고한 바 있다. 조경숙 등(1996)은 이들 중금속에 의한 토양 및 수질오염 피해는 유출수가 직접 유입되는 지천(支川)에서 매우 심각하나 지천에서 본천에 유입되었을 때 유입지점으로부터 수km 이내에서 하천의 중화작용에 의하여 대부분 오염물질이 불용성물질로 침전되므로 유출수에 의한 하천의 오염은 국지적인 것이라 하였다. 철, 알루미늄, 망간, 마그네슘의 황색 침전물(Yellow boy)은 폐탄광지로부터 2-8km, 백색 침전물(백화현상)은 이보다 훨씬 먼거리까지 유출되는 것으로 조사되었다.

#### 차. 경관미

북구지역의 주위환경과의 친화도를 조사한바, 주위환경과 잘 어울리는 지역은 대부분 시공후 년수가 경과된 지역으로 전 조사지의 28%에 불과하며, 과반수(54%)가 주위 환경과 좀 이질감이 드는 것으로 조사되었다.

#### 카. 복구비

헥타르당 복구비는 Table 16에 나타난 바와 같이 지역에 따라 1,300만원~8,100만원으로 차이가 크고, 평균복구비는 3천600만원이며, 경북 문경 평성탄광(1억 2천만원), 충북 단양의 봉양탄광(1억 2천만원), 강원 태백의 보성광업(1억 6천만원), 우성탄광(1억 1천만원), 동해탄광(1억 1천만원), 협성탄광(2억 8천만원), 태영탄광(1억원), 강원 영월의 목동탄광(1억 5천만원), 강릉의 강릉탄광(1억원), 명주의 강릉탄광(1억원) 등 10개 지역은 1억원이 넘는 곳이다. 이들 10개 지역을 제외한 평균복구비는 평균 3천 4백만원에 불과하다. 헥타르당 단비가 1억원 이상 소요된 지역은 가시지역으로 경관을 요하는 지역, 전시장 또는 복구시범지역으로 복토랑, 돌쌓기 공작물(돌기슭막이, 옹벽, 산비탈돌쌓기)의 수량, 선폐붙이기 공법의 수량 등이 많은 것으로 분석되었으며, 낮은 단비를 보인 지역은 비가시지역으로 공작물의 종류가 단순하고 그 수량도 적은 것으로 나타났다.

Table 16. Cost of restoration works per hectare.

지역	폐탄 광수	복구년차 (97년 기준)	복구면적 (m <sup>2</sup> )	복구비 (천원)	ha당 복구비 (천원)
충남 보령	41	5 (2-6)	1,353,958	3,527,514	26,053 (13,682- 40,117)
충남 예산	1	6	5,500	9,383	17,060
충남 홍성	1	3	8,522	26,279	30,837
충남 당진	1	3	4,692	9,630	20,524
충남 청양	1	4	7,278	19,504	26,799
충남 부여	7	4 (3-6)	175,547	532,529	30,335 (15,366- 42,056)
충남 대천	5	5 (4-6)	72,747	181,995	25,018 (17,072- 38,644)
충남 서천	4	4 (3-6)	13,541	30,263	22,349 (17,457- 40,714)
충남 금산	1	4	34,989	91,748	26,222
경북 침촌	10	4 (2-6)	470,827	2,198,102	46,686 ( 9,863- 80,172)
경북 문경	24	4 (2-6)	1,089,088	2,797,328	25,685 (15,683-119,420)
경북 봉화	3	6	24,737	41,525	16,787 (13,171- 23,576)
경북 상주	15	5 (3-6)	167,016	455,281	27,260 (14,391- 44,961)
전남 화순	12	5 (3-6)	104,663	527,102	50,362 (14,993- 62,917)

Table 16. Continued

지역	폐탄 광수	복구년차 (97년 기준)	복구면적 (m <sup>2</sup> )	복구비 (천원)	ha당 복구비 (천원)
전북 완주	1	7	16,000	33,730	21,081
충북 옥천	2	6 (2-8)	10,135	44,539	43,946 (17,810- 51,722)
충북 보은	5	5 (2-6)	149,644	520,316	34,770 (17,954- 71,967)
충북 단양	8	5 (3-6)	177,261	766,513	43,242 (17,983-119,570)
충북 청원	1	4	16,668	20,950	12,569
강원 동해	1	6	3,662	23,847	65,120
강원 태백	34	5 (3-6)	1,268,846	6,439,177	50,748 (16,624-283,151)
강원 영월	19	5 (2-6)	835,159	1,751,243	20,969 (10,572-147,613)
강원 평창	7	5 (2-7)	116,462	456,012	39,155 (29,290- 93,541)
강원 정선	30	4 (1-6)	958,088	4,782,594	49,918 (8,978- 92,850)
강원 강릉	3	4 (3-6)	27,559	220,705	80,805 (46,484-102,377)
강원 명주	41	5 (3-7)	648,681	2,519,461	38,840 (13,797-103,911)
강원 삼척	7	4 (3-7)	117,598	369,207	31,396 ( 8,696- 97,527)
계	285	5	7,878,868	28,396,477	
평균		5 (1-7)			36,041 ( 8,696-283,151)

## 2. 적정 녹화 수종 선발시험

### 가. 시험지 식재기반 및 환경

폐석적치사면의 비탈다듬기 이후의 경사도는  $16^{\circ}$  ~  $20^{\circ}$  로 비교적 완만한 비탈면을 이루고 있으며, Table 17과 같이 객토 및 복토용 토양은 주변 퇴적암지대에서 생땅을 절취한 것으로 퇴적암 산림토양의 양분함량과 비교하면 전 항목에 걸쳐 부족한 실정이다. 정동탄광 시험 복구사업지의 복구면적  $109,977\text{m}^2$ 의 실제공사 결과를 작업내용별로 구분하여, 작업내용별 소요장비와 사용시간, 사용인력을 Table 18에 나타내었고, Table 19, 20에는 복·객토상의  $1,000\text{m}^2$ 당 공정표를 나타내었다. 또한, Table 21에는 이를 근거로 복·객토상 조성 ha당 단가 산출표를 작성하여 나타내었으며, 복토가 객토보다 1.4~1.8배 비용이 더 드는 것으로 나타났다.

Table 17. Chemical characteristics of soil covering and filling areas.

구분	토성	pH	O.M	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C.E.C	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
			%	%	ppm	me/100g				
복·객토	SL, L	4.52	1.02	0.054	6.50	5.84	0.10	0.14	1.96	0.90
퇴적암산림토양		5.60	2.20	-	23.10	11.00	0.19	0.25	3.65	1.78



Table 18. Condition of equipment, labor time and laborer.

작업구분	물량	단위	장비사용현황		사역인부수			
			장비명	규격	작업시간	특수	보통	
건축물처리	1	식						
· 구조물철거	421	m <sup>3</sup>	B/H+브레카	0.7m <sup>3</sup> 무근	91.5	-	2.50	
· 지붕철거	101	m <sup>2</sup>	-	-	-	2.00	2.00	
· 석축철거	482	m <sup>3</sup>	-	-	-	-	289.00	
· 철골제거	0.76	톤	산소, 아세틸렌	AC98%	-	1.70	0.90	
· 전주파쇄	18	본	-	8m이하	-	-	4.50	
· 폐기물운반	421	m <sup>3</sup>	적재(B/H) 운반(덤프1 5톤)	0.7m <sup>3</sup> 1회	23.1 284.4	-	-	
· 폐기물처리	421	m <sup>3</sup>	1식(21,725원/m <sup>3</sup> )					
비탈다듬기	109,977	m <sup>2</sup>	-B/H	0.7m <sup>3</sup>		-	-	
· 절토	149,433	m <sup>2</sup>	-운반(덤프)	15톤	1,885	-	-	
· 성토	102,707	m <sup>2</sup>	-정지(도자)	L=122m L=30m	1,921 478	-	-	
식재상조성	5,000	m <sup>2</sup>	-B/H+덤프	0.7m <sup>3</sup> 15톤				
· 복·	30cm(복)	300	m <sup>2</sup>	-B/H	0.7m <sup>3</sup>	67.8	-	-
객토(	50cm(복)	500	m <sup>2</sup>	-B/H	1.0m <sup>3</sup>	113.1	-	-
적사,	30cm(객)	105	m <sup>2</sup>			23.7	-	-
운반,	50cm(객)	117	m <sup>2</sup>			26.5	-	-
폐기)	70cm(객)	123	m <sup>2</sup>			27.8	-	-
· 식재	30cm(복)		시간	-B/H	0.7m <sup>3</sup>	9.0	-	-
상조성	50cm(복)		"	-B/H	1.0m <sup>3</sup>	9.0	-	-
	30cm(객)		"			10.5	-	-
	50cm(객)		"			11.5	-	-
	70cm(객)		"			13.0	-	-

Table 18. Continued

· 면고 트기	30cm(복)		인			-	-	2.00
	50cm(복)		“			-	-	2.00
	30cm(객)		“			-	-	1.80
	50cm(객)		“			-	-	1.60
	70cm(객)		“			-	-	1.40
식재		5,000	m <sup>2</sup>					
	30cm(복)		인			-	1.04	0.64
	50cm(복)		“			-	1.04	0.64
	30cm(객)		“			-	0.89	0.55
	50cm(객)		“			-	0.72	0.45
	70cm(객)		“			-	0.52	0.32

※식재상조성작업과 면고트기 및 식재작업은 복·객토처리별 1,000 m<sup>2</sup>당 실작업시간을 기준으로 조제한

※B/H : 백호우

Table 19. Preparation work of soil covering area per 1,000m<sup>2</sup>(30cm, 50cm).

작업구분	단위	복 토 처 리		비 고
		30cm	50cm	
건축물처리	식	0.0091	0.0091	· 0.0091=1식*1,000m <sup>2</sup> /109,977m <sup>2</sup> · 블록및 슬레이트조 가옥 · 운반거리:10km기준
비탈다듬기	절토	1,359	1,359	· 절토1,359m <sup>2</sup> =149,433m <sup>2</sup> *1,000m <sup>2</sup> /109,977m <sup>2</sup> · 성토934m <sup>2</sup> =102,707m <sup>2</sup> *1,000m <sup>2</sup> /109,977m <sup>2</sup> · 절토425m <sup>2</sup> 는 토량이동없이 무대 처리
	성토	934	934	
식재상조성				· 30cm구객토량=0.3m*1,000m <sup>2</sup> · 50cm구객토량=0.5m*1,000m <sup>2</sup> · 70cm구객토량=0.7m*1,000m <sup>2</sup>
· 적사및운반	m <sup>2</sup>	300	500	
· 식재상작업	시간	9.00	9.00	· 70cm구객토량=0.7m*1,000m <sup>2</sup>
· 면고트기	인	2.00	2.00	· 면고트기는 실제 사용인원수

Table 19. Continued

식재작업 · 특별인부 · 보통인부	인 인	1.04 0.64	1.04 0.64	· 특별인부는 식혈과 식재 인원수 · 보통인부는 (묘목운반가식0.27 인+비료주기0.12인+관수0.25인)
--------------------------	--------	--------------	--------------	---

※ 50cm복토의 경우 복토량이 67% 증가됨.

Table 20. Preparation work of soil filling area per 1,000m<sup>2</sup>(30cm, 50cm, 70cm).

작업구분	단위	객토처리			산출근거
		30cm	50cm	70cm	
건축물처리	식	0.0091	0.0091	0.0091	상 동
비탈다듬기					상 동
┌ 절토	m <sup>2</sup>	1,359	1,359	1,359	
└ 성토	m <sup>2</sup>	934	934	934	
식재상조성 · 적사맞운반 · 식재상작업 · 면고르기	m <sup>2</sup> 시간 인	105 10.50 1.80	117 11.50 1.60	123 13.00 1.40	· 30cm구객토량=0.3m* 0.7m*10m*50줄 · 50cm구객토량=0.5m *0.7m*10m*33.3줄 · 70cm구객토량=0.7m *0.7m*10m*25줄 · 면고르기는 실제 사용인원수
식재작업 · 특별인부 · 보통인부	인 인	0.89 0.55	0.72 0.45	0.52 0.32	상 동

※식재상조성시 객토작업은 복토작업에 비해 국지적으로 장비이용의 불편 등으로 작업시 지체시간이 많아지는 단점이 있음.

Table 21. Cost of preparation work of soil covering and filling areas per hectare.

(Unit : thousand won)

작업구분	객 토 처 리			복 토 처 리	
	30cm	50cm	70cm	30cm	50cm
· 건축물처리	3,170	3,170	3,170	3,170	3,170
┌ 철거	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
└ 폐기물처리	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740
· 비탈다듬기	15,850	15,850	15,850	15,850	15,850
┌ 절토	7,080	7,080	7,080	7,080	7,080
└ 성토	8,770	8,770	8,770	8,770	8,770
· 식재상조성	12,760	14,000	15,000	26,700	41,560
┌ 적사운반	7,800	8,690	9,140	22,960	37,150
┌ 식재상조성	4,340	4,760	5,380	3,720	3,720
└ 면고르기	620	550	480	690	690
· 식재작업	2,250	2,110	1,960	2,360	2,360
┌ 식재	2,060	1,960	1,850	2,140	2,140
┌ 묘목운반, 관수	190	150	110	220	220
계	34,030	35,130	35,980	48,080	62,940

나. 녹화식생의 잔존율 및 성장상황

1) 식재수종별 동해피해

녹화식생 선발시험을 하기 위하여 소나무 등 5수종을 98년 5월에 식재하였으며, 동년 10월부터 동해피해율과 잔존률을 조사하였다. (Table 22). 식재 초년도에는 소나무와 아까시나무의 잔존률이 90% 이상으로 높았으며, 잣나무와 자작나무는 약 60%이고, 오리나무가 낮게 나타났고, 2000년에는 자작나무(92.5%) > 잣나무(73.0%) > 아까시

나무(70.1%) > 소나무(63.1%) > 오리나무(46.9%)순으로 높게 나타  
 났다. 동해피해율은 99년 소나무가 약40%로 높았으나, 그 외는 20% 전  
 후였으며, 2000년에는 오리나무(27.8%) > 아까시나무(27.7%) > 소나  
 무(21.8%) > 잣나무(13.6%) > 자작나무(2.8%)순으로 동해피해율이  
 높았다.

Table 22. Replanting and survival rate of planting species.

(Unit : %)

조사년도	구분	수종				
		소나무	잣나무	자작 나무	오리 나무	아까시 나무
98년 5월	식재본수	577	639	490	403	527
98년 10월	잔존률(%)	91.9	62.3	60.5	12.9	93.1
99년 4월	동해피해율(%)	39.8	23.6	15.1	-	12.0
	잔존률(%)	55.3	47.6	58.2	19.9	82.0
	보식본수	600	400	300	300	-
	보식직후 전체잔존본수	919	704	585	380	432
99년 9월	고사율(%)	13.3	13.6	8.2	32.9	2.5
	잔존률(%)	86.7	86.4	91.8	67.1	97.5
2000년 4월	동해피해율(%)	21.8	13.6	2.8	27.8	27.7
2000년 10월	잔존률(%)	63.1	73.0	92.5	46.9	70.1

2) 처리별 동해피해 및 잔존율

전체적으로 북·객토 처리별 고사 및 동해피해율과 잔존율은  
 Table 23, Table 24와 같으며, 북토30cm>북토50cm>객토50cm>객토30cm>

객토70cm구 순으로 복토30cm구에서 동해피해율이 높았다. 복·객토 처리별 동해피해율은 평균적으로 복토구가 객토구보다 높은 경향을 나타내었으며, 따라서 잔존률은 객토구가 복토구 보다 높은 경향을 나타내었다.

Table 23. Mortality of planting species after soil covering and filling treatments(2000. 10).

처리 \ 수종	소나무	잣나무	자작나무	오리나무	아까시나무	평균
객토 30cm	10.6%	10.5%	0 %	17.2%	31.4%	13.9%
객토 50cm	6.6%	27.3%	0 %	18.5%	18.8%	14.2%
객토 70cm	8.1%	1.9%	0 %	19.1%	12.8%	8.4%
복토 30cm	50.9%	14.3%	12.1%	32.4%	34.0%	28.7%
복토 50cm	32.8%	14.0%	1.7%	51.7%	41.7%	28.4%
평균	21.8%	13.6%	2.8%	27.8%	27.7%	

Table 24. Survival ratio after soil covering and filling treatments(2000. 10).

처리 \ 수종	소나무	잣나무	자작나무	오리나무	아까시나무	평균
객토 30cm	85.6%	70.8%	98.1%	39.0%	64.7%	71.6%
객토 50cm	91.7%	60.6%	97.3%	49.0%	79.2%	75.4%
객토 70cm	87.4%	89.1%	93.1%	75.0%	85.9%	86.1%
복토 30cm	27.3%	74.5%	86.9%	31.6%	64.7%	57.0%
복토 50cm	23.4%	70.6%	86.9%	40.0%	55.8%	55.3%
평균	63.1%	73.0%	92.5%	46.9%	70.1%	

### 3) 식재처리 수종별 성장량

98년 5월에 식재한 수종의 복·객토 처리별 성장량을 '99년과 2000년에 조사한 결과 Table 25와 같이 처리구간에 커다란 간장 생장의 차이는 나타나지 않았으며, 1년차에 비해 2년차에 많은 성장을 보였다. 따라서, 복·객토의 영향도 중요하지만, 방위나 풍충지 등 지형적인 요인도 상당히 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 25. Average tree height growth after soil covering and filling treatments.

(Unit : cm)

처리방법 \ 수종	객토 30cm	객토 50cm	객토 70cm	복토 30cm	복토 50cm
소나무	26.4	28.5	28.5	32.5	31.6
잣나무	40.3	38.5	40.7	41.9	42.3
아까시나무	72.6	76.0	110.6	102.2	84.6
자작나무	80.6	78.4	87.4	100.1	79.9
오리나무	84.6	92.4	112.3	96.1	72.3

#### 다. 보습제와 비료 처리

폐탄광지는 식물이 생육하는데 척박하고, 건조하기 때문에 녹화수종의 성장을 돕기 위하여 스톡소브 및 테라코템(보습제)과 아그로폼(비료) 시험을 실시하였다. 비료처리구 및 보습제 시험구의 잔존률은 Table 26과 같으며, 객토 30cm구와 50cm구 모두 비료인 아그리폼이 가장 효과가 좋았으며, 테라코템이 다음이고 스톡소브는 효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 26. Survival ratio after treatment of stock Sorb, Terracotem and Agriform.

(Unit : %)

수 종		소나무	잣나무	자작 나무	오리 나무	아까시 나무	
							처 리
객 토 30cm	비료구	아그리폼	82.4	70.6	93.3	56.2	78.1
	보습제	스톡소브	82.4	63.2	63.2	62.5	52.9
		테라코템	88.2	80.4	100	34.0	66.7
	대조구		85.9	53.8	98.4	65.8	38.2
객 토 50cm	비료구	아그리폼	100	60.0	100	64.7	70.6
	보습제	스톡소브	100	68.7	100	17.6	76.2
		테라코템	94.1	46.2	93.7	62.5	82.4
	대조구		84.4	81.2	98.0	64.6	68.1

보습제 및 비료처리 수종별 묘목의 간장 성장을 조사한 결과, 객토 30cm구와 객토50cm구에서 수종에 따라 효과가 다르게 나타났지만, 4수종 4처리구 모두에 효과가 있는 것으로 나타났다(Table 27).

Table 27. Average tree height growth after treatment of stock sorb, Terracotem and Agriform.

(Unit : cm)

수종	처리방법	객토 30				객토 50			
		아그리폼	스톡소브	테라코템	대조구	아그리폼	스톡소브	테라코템	대조구
소나무		35.6	26.3	29.1	26.4	31.1	26.5	31.6	28.5
잣나무		41.4	40.1	41.9	40.3	38.0	35.6	39.5	38.5
아까시나무		92.3	58.5	83.1	72.6	139.4	91.4	98.0	76.0
자작나무		94.0	104.5	83.0	80.6	100.7	96.5	96.8	78.4
오리나무		93.4	104.0	78.2	84.6	88.1	40.0	118.1	92.4



### 3. 폐탄광지 복구공법(구조물) 시험

폐탄광 적치사면경사와 복구구조물의 처리간격은 구조물의 크기, 배치형태와 단비결정에 영향을 주므로 폐탄광지 훼손유형에 따라 구조물의 배치 기준과 복구 유형에 따른 공법의 표준화가 필요하다. 따라서 본 시험에서는 장래 산림복구를 원하는 비가시권과 공원등의 타용도로 이용할 가시권으로 유형을 구분하여 다양한 기본공작물, 주요 공작물, 녹화식생공 등을 선정하여 공작물의 파괴정도, 침식정도 등을 조사하였다.

특히 공작물에 대해서는 아래사항을 고려하여 설치하였다.

① 비가시권은 산림복구지로 복구구역을 사면복구·녹화를 위한 수로정비, 비탈면안정을 위한 선폐붙이기와 산비탈돌쌓기가 필요하다.

② 폐석적치비탈면은 평탄지정리 및 수로내기 및 비탈다듬기 단꿈기 그리고 산비탈 돌쌓기가 필요하다.

③ 축대벽쌓기와 기슭막이, 구곡막이, 바닥막이 등은 진입로 및 계단 하단부의 침식 및 붕괴 방지를 위해 필요하고, 산림복구지역의 보전구역은 비탈면 다듬기와 선폐붙이기, 산비탈 돌쌓기, 수로내기, 비탈다듬기, 누구막이, 구곡막이, 선폐붙이기가 필요하다.

#### 가. 가시권(타용도 이용) 및 비가시권(산림복구지)의 구조물처리 및 공정

가시권 및 비가시권 실연 시험지 배치는 Fig.4와 같으며, 각각의 ha 당 폐탄광지 복구구조물 공정은 Table 28과 Table 29에 나타내었다.

Table 28. Restoration works of important landscaping area per hectare.

작업내용	공 종	단위	완경사 (20°경사)		급경사 (30°경사)	
지반정리작업	절토	m <sup>3</sup>	4,479			
	성토		4,356			
	면고르기		5,390			
복·객토	운반, 포설	m <sup>3</sup>	2,208			
복구처리 구조물작업	돌망태산비탈돌쌓기	m	500	500		
	산비탈돌쌓기	m	667	938		
	선폐붙이기	m	667	625		
	파종구	m	667	938		
	돌·떼수로공	m	222	250		
기타구조물	집수정	개소	0.5			
	암거	m	2.0			
	돌축대벽:2m	m <sup>2</sup>	70.7			
	구폭막이	개소	0.5			
	대공	개소	1.0			
부대작업	갱구막이	개소	0.5			
	입간판	개소	1.0			
녹화작업	종자파종(씨드)	kg	375			
	식재	본	4,000			

Table 29. Restoration works of unimportant landscaping area per hectare.

작업내용	공 종	단위	경사	
			완경사 (20°경사)	급경사 (30°경사)
지반정리작업	절토	㎡	4,479	
	성토		4,356	
	면고르기		5,390	
복·객토	운반, 포설	㎡	2,208	
복구처리 구조물작업	돌망태산비탈돌쌓기	m	333	476
	산비탈돌쌓기	m	667	762
	선폐붙이기	m	500	571
	파종구	m	500	571
	돌·폐수로공	m	567	486
기타구조물	집수정	개소	0.5	
	암거	m	2.0	
	돌축대벽:2m	㎡	70.7	
	구곡막이	개소	0.5	
	대공	개소	1.0	
부대작업	갱구막이	개소	0.5	
	입간판	개소	1.0	
녹화작업	종자파종	kg	375	
	식재	본	4,000	

나. 복구구조물 처리별 효과조사

구조물 파괴 정도에 대해서는 시공 후 경과된 시간이 짧기 때문

에 가시권과 비가시권의 급경사지, 완경사지 모두에서 파손된 현상은 보이지 않았다. 또한, 침식현상에 대해서는 가시권, 비가시권 모두 처음 복토한 표토의 작은 입자는 대부분 유실되고 직경 5mm이상의 잔 자갈만 남아있는 상태로서 누구침식만 5%이하로 심한 침식은 거의 없었다.

조사대상지의 피도는 Table 30에서 나타낸 바와 같이 가시권에서 비가시권에 비해 10%~15%정도로 낮았고, 가시권, 비가시권 모구 구조물과 경사에 따른 차이는 거의 없었다.

Table 30. Coverage by restoration works.

시험구 구조물	비가시권(지지리골)						가시권 (유다래골)	
	20°			30°			20°	30°
	초본	싸리	총계	초본	싸리	총계	총계	총계
파종구	15	85	100	30	70	100	85	85
선평 A				60	40	100		89
선평 B	20	74	94				90	
산들쌓기	28	67	95	44	50	94	80	90

#### 4. 복구유형별 복구모델 표준화

상기의 폐탄광 복구지 현황조사, 적정녹화수종 선발시험과 복구구조물시험 결과를 토대로 다음의 기본사항을 고려하여 복구유형별로 Table 31, Table 32과 Fig. 8, Fig.9와 같이 복구모델을 표준화 하였다. 또한, 복구유형별 단비표는 Table 33과 같이, ha당 복구비용 5,900만원~9,700만원이며, 비가시권이 가시권의 80%가 소요되며,

완경사는 급경사의 75%만 소요되었고, 복·객토 비용은 총 금액의 40~60%를 차지하였다.

<기본사항>

- 복구유형구분

- 가시권(타용도 이용가능지)
  - 급경사구(경사 30° 이상)
  - 완경사구(경사 20° 내외)
- 비가시권(산림환원지)
  - 급경사구
  - 완경사구

- 급경사지 경사완화 → 급경사지역은 성토표준경사인 30° 내외로  
비탈다듬기

- 가시권과 비가시권의 차별화(시각적인 효과)

- 가시권 : 전면복토(30cm)  
          항공작물의 배치간격 : 4m
- 비가시권 : 객토(30cm)  
          항공작물의 배치간격 : 5m

- 급경사구와 완경사구의 차별화

- 급경사구 : 항공작물(산비탈돌쌓기, 선떼붙이기) 높이  
→ 0.6m-0.7m
- 완경사구 : 항공작물(산비탈돌쌓기, 선떼붙이기) 높이  
→ 0.4m-0.5m

- 기본구조물 설치 : 입지조건에 따라 돌, 폐수로공, 집수정,  
돌축대벽, 구곡막이, 대공(낮은바닥막이)

Table 31. Standard restoration work of important landscaping area per hectare.

작업내용	공 종	단위	완경사 (20°경사)	급경사 (30°경사)
지반정리작업 및 복토	절토, 성토, 면고르기 복토30cm	ha	1	1
복구처리 구조물작업	산비탈돌쌓기 A	m	-	500
	산비탈돌쌓기 B	m	500	-
	선편붙이기 A	m	-	2,000
	선편붙이기 B	m	2,000	-
기본구조물	집수정	개소	0.5	0.5
	돌수로공	m	-	200
	떼수로공	m	200	-
	돌축대벽	m	70.7	70.7
	구곡막이	개소	0.5	0.5
	대공	개소	1.0	1.0
녹화작업	파종	kg	375	375
	식재	본	2,500	2,500

Table 32. Standard restoration work of unimportant landscaping area per hectare.

작업내용	공 종	단위	완경사 (20°경사)	급경사 (30°경사)
지반정리작업 및 객토	절토, 성토, 면고르기 객토(폭70cm, 깊이40cm)	ha	1	1
복구처리 구조물작업	산비탈돌쌓기 A	m	-	500
	산비탈돌쌓기 B	m	500	-
	선편붙이기 A	m	-	1,500
	선편붙이기 B	m	1,500	-
기본구조물	집수정	개소	0.5	0.5
	돌수로공	m	-	200
	떼수로공	m	200	-
	돌축대벽	m	70.7	70.7
	구곡막이	개소	0.5	0.5
	대공	개소	1.0	1.0
녹화작업	식재	본	2,400	2,400

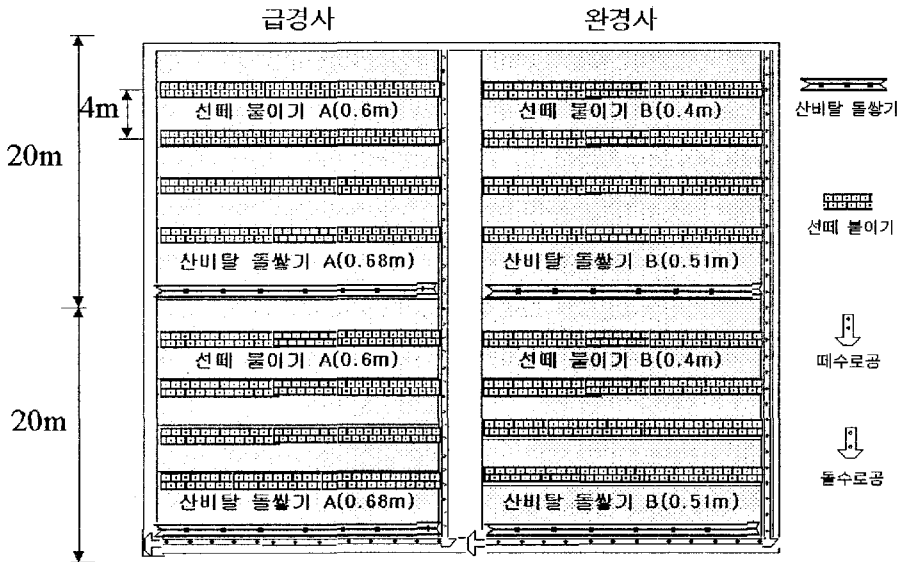


Fig. 8. Standard restoration model of important landscaping area.

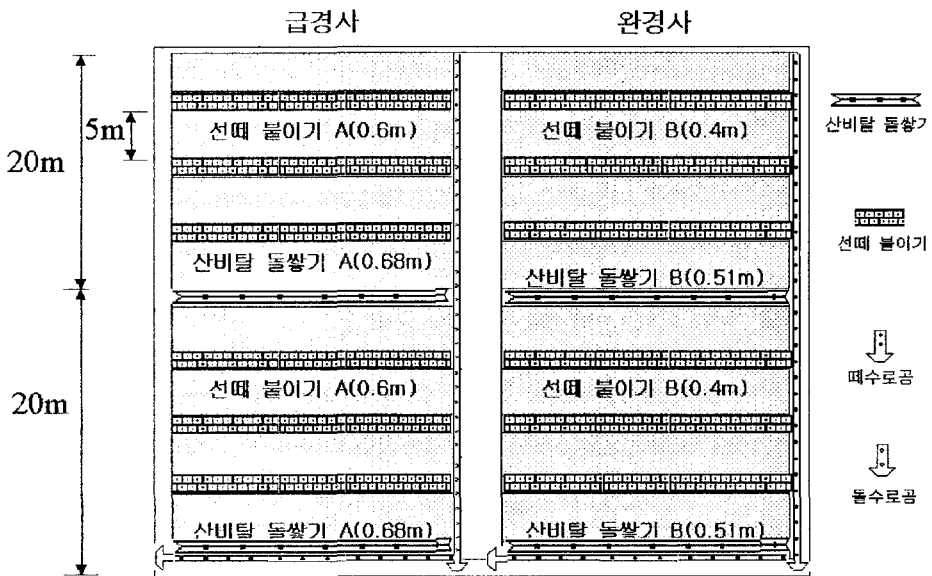


Fig. 9. Standard restoration model of unimportant landscaping area.

Table 33. Cost by restoration patterns per hectare.

(Unit : thousand won)

복구유형 처리내역	비가시권		가시권	
	완경사	급경사	완경사	급경사
지반정리 및 복·객토	32,400	33,520	45,720	45,720
주요구조물 (산비탈돌쌓기, 떼붙이기)	14,628	27,478	15,612	29,447
기본공작물 (집수정, 돌축대벽, 대공, 구곡막이, 돌수로공, 떼수로공)	10,853	16,485	10,853	16,485
녹화작업 (식재, 파종)	794	794	5,032	5,032
계	58,675	78,277	77,217	96,684



## 제 4 절. 결론

우리 나라는 전국적으로 1,270ha의 폐탄광지가 분포하고 있으며, 이 지역에 대한 복구공사는 1989년부터 시작하여 1997년말 현재 997ha가 복구되었다. 하지만, 폐탄광지 복구현황과 자연친화적 복구공법 개발에 관한 현재까지의 연구 결과 1995년 이전의 폐탄광지 복구지에 있어서는 식생기반인 복토를 하지 않거나 객토량이 적었으며, 토양의 양료함량 부족으로 식생복원률도 상당히 낮은 수준이며, 적은 복구비용으로 구조물의 부족과 노후 등의 문제점을 드러내어 복구지의 대부분이 재황폐되거나 방치되어 그대로 방치할 경우 복원이 어려운 실정이다. 이 기간중의 ha당 복구단비의 평균은 3,600만원으로 폐탄광지 복구실패 원인 중 하나였으므로 복구단비의 증액은 필연적이다.

1995년 이후 석탄합리화 사업단에서는 과거 복구비용의 부족을 이유로 ha당 평균 12,316만원의 막대한 비용을 들여 복구공사를 실시해오고 있으나, 복구비 과다의 가능성을 배제할 수 없다.

그러므로, 폐탄광지를 효과적으로 복구하기 위하여 ha당 복구비용을 6,000~10,000만원으로 높이고 폐석적치비탈면의 기울기를 30° 내외로 완화하되 기존 지형을 충분히 고려해야 하며, 입경이 큰 폐석은 비탈다듬기 작업시 골라내어(산비탈돌쌓기 재료로 사용) 식생생육에 양호한 환경을 조성해야 할 것이다.

경관적으로 중요한 지역은 산비탈돌쌓기를 한 후 전면 흙덮기(복토)를 하거나 전면 흙덮기가 어려운 지역은 2단의 산비탈돌쌓기를 하고 뒷면(段床)은 양질의 토양으로 채워서 식재기반을 조성한다. 또한, 경사가 20° 이하 지역은 산비탈돌쌓기를 하고, 전면 흙덮기하거나 전면 흙덮기가 어려운 지역은 등고선 방향으로 식재구를 파고 양

질의 토양으로 객토한다.

식재수종으로 해발고와 지역에 따라 향토수종을 우선하되, 아까시나무, 오리나무류, 리기다소나무 이외에 입지조건에 따라 자작나무, 낙엽송 등을 식재한다.

비탈면파종은 재래종인 새류 및 싸리류를 도입초종과 단간사면 또는 식재목 사이에 혼파한다.

복구구조물은 신선한 화강석이나 콘크리트 등 인공자재를 피하고, 주위의 자연석이나 폐석을 이용하여 시공한다.

폐탄광 폐수로부터 유출되는 Fe, Mn, Al과 SO<sub>4</sub>이온의 수질오염 피해방지는 토목기술에 의한 물리적인 방법보다는 아직 기초 연구단계이나 경제적이며 환경친화적인 생물학적 방법(특히 식물을 이용한 Phytoremediation)이 모색되어야 하겠으며, 폐탄광지의 효과적인 이용을 위하여 지리적인 조건에 따라 산림복구 이외의 공원, 버섯재배지 등 특수용도로 활용할 수 있어야 한다.

폐탄광지의 녹화수종으로는 향토수종을 우선하고, 해발고가 높은 지역은 자작나무, 낙엽송 해발고가 낮은 지역은 아까시나무, 소나무, 잣나무, 오리나무, 까치박달나무 등을 식재한다.

지리적인 조건에 따라 폐탄광지 복구유형을 가시권(타용도활용가능지)과 비가시권(산림환원지)로 구분한다.

복·객토 처리별 수종의 성장량의 차이가 거의 없으므로 경제성을 고려해 값비싼 복토 보다는 객토50cm로 하고 객토는 양분함량이 높은 것을 택한다. 하지만, 가시권(타용도활용가능지)은 비가시권(산림환원지)에 비해 시각적인 효과가 고려되어야 하므로 복토를 실시한다.

조립시 보습제 보다는 비료제인 아그로폼이 잔존물 및 성장률을 높이는 효과가 있으므로 입지조건에 따라 사용한다.

기본 공작물(돌 · 폐수로공, 집수정, 암거, 들축대벽, 구곡막이, 대공 등)을 입지조건에 따라 설치하며, 경사가 급한 지역은 공작물을 높게 설치한다.

본 연구의 입지조건별 유용수종과 파종식생의 선발, 복·객토 두께등의 연구결과는 폐탄광 복구기술 수준을 향상시킬 수 있을 것이며, 복구구조물 시험결과는 현재와 같은 과도한 비용에 의한 복구가 아닌 적정비용으로 주변 환경에 적합한 복구공법을 표준화 함으로서 앞으로의 산림 행정 시책의 유용한 자료로 활용되리라 사료된다.

## 引用文獻

- 강원도. 1996. 폐광지역 환경보전계획조사서. 강원개발연구원.
- 구창덕. 1990. 석탄채굴에 의한 산림훼손지를 조림복구할 때 고려할 인자에 관한 연구. 한국임학회 학술연구발표 pp.20.
- 김남춘, 남상준. 2000. 폐탄광지의 생태복원 녹화기술 - 「자연복토 복원기술」에 의한 폐석정치장 녹화사례를 중심으로 -. 폐탄광지의 환경복원녹화 기술개발 국제 심포지엄. 한국환경복원녹화기술학회, 임업연구원 : 162~188.
- 김재수, 이준우. 2000. 폐탄광지의 훼손산지 및 폐석장이 산림환경 보전에 미치는 주요 영향 및 폐탄광지 복구체제에 대하여. 폐탄광지의 환경복원녹화 기술개발 국제 심포지엄. 한국환경복원녹화기술학회, 임업연구원 : 217~225.
- 석탄산업합리화사업단. 1997. 사업단 10년사. 오름시스템(주) 271~296.
- 석탄산업합리화사업단. 1998. 태우탄광 폐수정화시설 실시설계보고서. 1~24.
- 安秉榮, 金正煥, 金泰勛. 1992. 石炭岩 地域의 立地特性(안양, 정선, 평창, 영월, 삼척). 林研研報 48 : 36~46.
- 오구균. 2000. 1995년 전·후 폐탄광지 복구시공 비교평가. 폐탄광지의 환경복원녹화 기술개발 국제 심포지엄. 한국환경복원녹화기술학회, 임업연구원 : 99~161.
- 李壽煜. 1981. 韓國의 山林土壤에 關한 研究(II). 韓林誌 54 : 25~35.
- 임업연구원. 1997. 특수지역의 생태적 산림조성 및 관리기술개발. 임업연구원. 41~ 77.
- 鄭楠勳. 1991. 廢石炭 硬石場의 綠化工法에 關한 研究. 서울大學

校 大學院 碩士學位論文 1~34.

조경숙, 류희옥, 장용근. 1996. 폐탄광 배수에 의해 오염된 하천의 화학적 특성과 미생물 활성. 한국생태학회지 19(5) : 365~373.

趙顯濟, 李昌錫, 程龍鎬, 吳正洙. 1995. 石炭荒廢地の 植生復元을 위한 生態學的 研究. 山林科學論文集 51 : 14~24.

최경. 1998. 폐탄광지 복구현황. 월간 임업정보, 92: 36~40.

한국과학기술연구원. 1998. 제1회 식물을 이용한 환경복원기술 워크숍. 19~76.

한국자원연구소. 1995. 폐탄광에 따른 광산지역 환경개선연구. 석탄합리화 사업단

山寺喜成. 1986. 播種工による早期樹林化方式の提案. 綠化工技術 212(2) : 25~35.

阿部和時. 1984. 樹木根系の分布特性と斜面の保護・安定効果. 綠化工技術10(3) : 1~9.

日本綠化工協會. 1998. 綠化工ガイド.

J.D. Zeleznik, J.G. Soousen. 1996. Survival of three tree species on old reclaimed surface mines in Ohio. J. Environ. Qual. 25 : 1~116.

L.W. Warren. 1978. Natural succession on strip-mined lands in Northwestern New Mexico. Reclamation Review 1: 67~73

W. Vogel. 1978. Vegetation research on surface-mined land in Eastern Kentucky. Institute for Mining and Minerals Research. 5~15.

W. Vogel. 1981. A guide for revegetating coal mine soils in the Eastern United States. Dep. of Agr. Forest Service. 190p.

## <사진자료>



Photo 1. Eroded slope by destruction of restoration works.



Photo 2. Experimental site on selection of afforestation species.



Photo 3. Stone masonry on slope(height 0.68m(left),height 0.51m(right)) (unimportant landscaping area)



Photo 4. The view of unimportant landscaping area



Photo 5. The view of important landscaping area.



Photo 6. The near view of important landscaping area.





Photo 7. The near view of unimportant landscaping area.