



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

농학석사 학위논문

제주도지역 해안방재림에 있어서
객토가 곰솔의 생장에 미치는 영향

김 진 용

강원대학교 대학원

임 학 과

2014년 2월

전근우교수 지도
농학석사 학위논문

제주도지역 해안방재림에 있어서
객토가 곰솔의 생장에 미치는 영향

Effects of Soil Replacement on the Growth of Coastal
Disaster-Prevention Forests Dominated by *Pinus*
thunbergii in Jeju Island

강 원 대 학 교 대 학 원

임 학 과

김 진 용

김진용의 석사 학위논문을
합격으로 판정함

2013년 12월

심사위원장 이 재 선 인

위 원 전 근 우 인

위 원 이 명 중 인

제주도지역 해안방재림에 있어서 객토가 곰솔의 생장에 미치는 영향

김 진 용

강원대학교 대학원 임학과

요 약

이 연구에서는 다양한 입지환경 및 토양을 갖는 제주도권역에 조성된 해안방재림을 대상으로 1) 해안방재림 조성 시 객토의 실시여부에 따른 토양의 이화학적 특성의 차이를 파악하고, 2) 그에 따른 해안방재림의 주수종인 곰솔림의 생장변화를 파악함으로써 해안방재림의 조성 및 관리 방안을 위한 기초적인 자료를 마련하고자 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 제주도 해안방재림에 있어서 객토여부의 따라 토양의 물리·화학적 변화 중 물리성은 크게 개선되었으며, 화학성에 있어서도 일부 개선이 이루어져 수목생육에 긍정적 효과를 보일 것으로 판단되었다. 하지만 제주도의 환경적·입지적 조건에 따라 화산회토와 비화산회토지역에 있어서는 상이한 결과를 보였다.

2. 제주도 해안방재림 조성지에 있어서 객토의 시행으로 토양의 이화학성이 개선되었으나, 곰솔림 생장의 활착에 대해 영향을 주었을 뿐 지속적 성장에는 기여하지 못하였다. 또한 화산회토지역은 객토를 시행했음에도 불구하고 생장이 불량하였다. 이를 토대로 본다면 토양의 환경적·입지적 조건을 고려한 객토 시행이 이루어져야 할 것이다. 현재 제주도에 시행되고 있는 객토 시행은 토양특성을 고려하지 않았을 뿐만 아니라 지역적 특성에 부합하지 않는 결과로 볼 수 있다.

3. 잎 내 양분함유량은 토양의 이화학성과 비슷한 경향을 보였으며, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 염화나트륨(NaCl)은 서로 상관관계를 이루며 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 염분의 농도가 다소 높게 나타난 것은 파랑에 의한 비사에 기인한 것으로 판단된다.

이상의 결과 해안방재림 조성에 있어서 제주도지역으로 국한된 한계성이 존재하지만, 이를 토대로 우리나라 해안방재림을 대상으로 비교 한다면 동해, 서해, 그리고 남해가 분명 다른 토양의 구조 및 이화학적 특성을 가질 것이며, 환경적·입지적 조건을 고려한 객토 시행이 이루어져야 할 것이며, 그에 따른 관리방안이 조속히 마련되어야 할 것이다.

목 차

I. 서	론	1
II. 연구방법		4
1. 조사지 개요		4
2. 조사방법 및 분석방법		8
1) 조사구 설정		8
2) 식생조사		8
3) 토양조사		9
4) 식물체 성분분석		10
5) 통계분석		11
III. 결과 및 고찰		13
1. 객토가 토양 이화학성에 미치는 영향		13
1) 토양의 물리적 특성		13
2) 토양의 화학적 특성		14
3) 토양의 주성분 분석		19
2. 객토가 수고생장 및 근원 직경에 미치는 영향		28
1) 수고생장에 미치는 영향		28
(1) 화산회토지역		28
(2) 비화산회토지역		29
2) 근원 직경에 미치는 영향		35
(1) 화산회토지역		35
(2) 비화산회토지역		35

3. 객토가 잎 내 양분함유량에 미치는 영향	36
1) 화산회토지역	36
2) 비화산회토지역	38
 IV. 결 론	 42
 V. 참 고 문 헌	 44

표 목차

표 1. 연구대상지의 위치 및 해안방재림의 특성	6
표 2. 토양 이화학적 특성 차이	17
표 3. 화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 상관행렬	22
표 4. 화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 상관행렬	22
표 5. 화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 회전된 성분행렬	23
표 6. 화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 회전된 성분행렬	23
표 7. 비화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 상관행렬	26
표 8. 비화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 상관행렬	26
표 9. 비화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 회전된 성분행렬	27
표 10. 비화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 회전된 성분행렬	27

표 11. 화산회토지역에서의 수고생장	31
표 12. 비화산회토지역에서의 수고생장	33
표 13. 잎 내 양분함유량 변화(%)	39

그림 목차

그림 1. 연구대상지의 위치 및 조사개소	5
그림 2. 화산회토(객토 시행지)	7
그림 3. 조사구의 설치 전경	8
그림 4. 곰솔림의 수고 및 근원직경 측정	9
그림 5. 토양의 단면조사	10
그림 6. 식물체 채취 및 분석장비	11
그림 7. 객토 여부에 따른 토양의 물리성 차이	14
그림 8. 객토 여부에 따른 토양의 화학성 차이	19
그림 9. 화산회토 및 비화산회토지역의 수고생장 변화	30
그림 10. 곰솔림의 수고생장 측정 전경	30
그림 11. 화산회토 및 비화산회토지역의 근원직경 변화	35
그림 12. 곰솔림의 근원직경 측정 전경	36
그림 13. 잎 내 양분함유량 변화	40
그림 14. 잎 내 양분함유량 파악을 위한 시료채취 전경	41

I. 서 론

우리나라는 동·서·남해안에 걸쳐 해안선에 길이가 11,914km(박종석, 2008)에 이르기 때문에 해양으로부터의 다양한 자연재해가 발생할 가능성이 매우 높다. 또한, 최근 지구온난화로 인한 기상이변으로 인하여 태풍의 발생빈도는 더욱 증가하고 있으며, 그 규모 또한 점차 대형화되고 있다. 이러한 추세에 의하면 대형 태풍의 영향권을 직접적으로 받고 해안 및 도서지역은 이로 인한 재산 및 인명피해가 점차 증가할 것으로 예상된다 특히, 지난해 8월 28일과 8월 30일에 발생한 제 14호 태풍 덴빈과 제 15호 태풍 볼라벤의 사례에서 알 수 있듯이 남해안 및 제주도 지역이 큰 피해를 입었다. 이러한 대형 태풍의 피해는 조석간만의 차가 큰 지역에서 만조기의 해수면 상승 시에 더욱 커지는 것으로 알려지고 있다.

이와 같은 해안지역의 자연재해를 저감시키기 위해서는 파랑에 의한 해안선의 침식을 방지하기 위하여 방조공사 등을 실시해야 하며, 그 배후의 나지에는 해안방재림을 조성하여 각종 연안재해를 방지하거나 경감하여야 한다(전근우, 2012). 우리나라의 경우, 1952년 이후 1977년까지 연평균 200~250ha 정도의 해안사방이 진행되었지만, 2000년도 이후에는 사업이 종료되었다(산림청, 2007). 그러나, 지난 2004년 인도네시아에서 발생한 지진해일 재해를 계기로 지진해일로 인하여 발생한 막대한 인명 및 재산피해를 저감시키기 위한 대책의 일환으로 해안방재림 조성사업을 재개하게 되었다(산림청, 2012). 최근 해안지역의 토지이용에 대한 다양한 요구에 따른 무분별한 개발과 각종 병충해 등에 의하여 해안방재림이

점차 감소되는 추세이며, 기 조성된 해안방재림 역시 본연의 방재기능을 제대로 발휘하고 있지 못하고 있다(산림청, 2012). 따라서, 행정적으로는 해안방재림의 유지관리에 필요한 조직체계를 구축함과 동시에 장기적인 관점에서의 체계적 관리방안이 설정되어야 하며, 학문적으로는 해안방재림의 실태파악 및 변화예측과 더불어 파괴원인에 따른 위험성 예측을 통하여 복구대책의 기본적 방향에 대한 명확한 근거를 마련해야 할 것이다.

한편, 우리나라의 해안지역은 지역에 따라 모재, 기후, 지형 등 입지환경이 매우 다양하다(이우철과 전상근, 1983). 이러한 지역적 특성을 고려하여 산림청은 동해안 지역을 동해안권역과 남부동해안권역으로, 서해안 지역을 중부서해안권역과 남부서해안권역으로, 그리고 남해안 지역을 남해안권역과 제주도권역으로 구분하고 있다(산림청, 2006). 이 중 제주도 권역은 화산활동에 의하여 생성된 전형적 화산회토인 Andisols가 주를 이루고 있으며, 한라산을 중심으로 한 남북방향으로 기온 및 강수량의 편차가 극심하게 나타난다(NIAST, 2000). 이렇게 극심한 기후인자의 편차는 토양생성에 필요한 이화학적 풍화작용에 큰 영향을 미치기 때문에 토양의 성질을 결정짓는 중요한 요인이라 볼 수 있다(Dahigren *et al*, 1997; 문경환, 2009a).

제주의 토양은 내륙에 비하여 독특한 특성을 가지고 있다. 즉, 제주도는 화산활동에 의하여 생성된 모재에서 생성된 토양의 특성으로 구성되어 있지만 지역에 따라 그 특성이 다양하다(송관철, 2010). 따라서 제주도의 토양은 크게 흑색 화산회토, 농암갈색 화산회토, 암갈색 비화산회토 및 갈색토 등, 토양색에 의하여 4개의 토양군으로 구분되며, 이 중에서

농암갈색 화산회토가 가장 넓은 면적을 차지하고 있다(김정호, 2000). 토양의 지역적 분포를 살펴보면, 흑색 화산회토는 동부지역에 분포하며, 농암갈색 화산회토는 중산간 지방의 평탄지에 분포한다. 또한, 암갈색 비화산회토는 서부와 서북부지역의 해안지대에 분포하며, 갈색 산림토는 산림지에 분포한다(김상규 등, 1999). 이와 같이 제주도권역 내에서도 입지환경과 그에 따른 토양 분포가 다양함에도 불구하고, 해안방재림 조성사업은 이러한 지역별 특성을 고려하지 않은 상태에서 시행되고 있다. 특히, 산림청이 2009년도에 발표한 사방사업법령의 ‘해안방재림 조성지침’에는 근계의 발달을 도모하기 위하여 현지의 모래 등을 혼합한 객토를 권장하고 있지만, 지자체 별로 시공기준이 정확히 마련되지 않기 때문에 객토가 오히려 해안방재림을 구성하는 수목의 활착을 저해할 뿐만 아니라, 고사율을 증가시키는 원인이 되고 있다.

따라서, 이 연구에서는 입지환경 및 토양조건이 다양한 제주도권역에 조성된 해안방재림을 대상으로 1) 해안방재림 조성 시 객토의 여부에 따른 토양의 이화학적 특성의 차이를 파악하고, 2) 그에 따른 해안방재림의 주요 수종인 곰솔의 성장변화를 파악함으로써 해안방재림의 조성 및 관리방안을 위한 기초적인 자료를 마련하고자 진행 하였다.

II. 연구 방법

1. 조사지 개요

제주도의 토양분포는 크게 화산회토와 비화산회토로 구분할 수 있다. 즉, 암갈색토가 분포하고 있는 북부와 서부 해안지역은 비화산회토 지역에 속하는 반면, 남부와 동부 해안지역의 대부분은 화산회토 지역에 속한다.

따라서, 객토를 시행한 해안방재림 조성지는 ①2009년도에 조성된 제주시 구좌읍 하도리(폭: 9.1m, 길이: 220m), ②2007년도에 조성된 제주시 조천읍 함덕리(폭: 20m, 길이: 260m), ③2010년도에 조성된 제주시 구좌읍 김녕리(폭: 17.2m, 길이: 180m)로, 화산회토 1개소, 비화산회토 2개소를 연구대상지로 선정하였다.

또한, 객토를 시행하지 않은 해안방재림 조성지는 2007, 2008년도에 조성된 서귀포시 표선읍 표선리(폭: 8.3m, 길이: 180m, 폭: 14.3m, 길이: 350m), 2010, 2011년도에 조성된 서귀포시 안덕면 사계리(폭: 8.3m, 길이: 120m, 폭: 13.3m, 길이: 30m)로, 화산회토 2개소, 비화산회토 2개소를 연구대상지로 선정하였다(그림 1과 표 1).



그림 1. 연구대상지의 위치 및 조사개소

표 1. 연구대상지의 위치 및 해안방재림의 특성

토양형	객토 여부	위치		해안림 규모		조성연도
		GPS좌표(경도) (지번)	GPS좌표(위도)	폭 (m)	길이 (m)	
화산회토	시행지	E 126°54'05.99" (제주시 구좌읍 하도리 22-2외1)	N 33°31'11.15"	9.1	220	2009
	미시행지	E 126°50'30.72" (서귀포시 표선면 표선리 57)	N 33°19'50.75"	8.3	180	2007
		E 126°50'44.31" (서귀포시 표선면 표선리 47-16)	N 33°19'14.79"	14.3	350	2008
비화산회토	시행지	E 126°40'11.88" (제주시 조천읍 함덕리)	N 33°32'34.01"	20.0	160	2007
		E 126°45'44.63" (제주시 구좌읍 김녕리 487)	N 33°33'29.50"	17.2	180	2010
	미시행지	E 126°17'38.97" (서귀포시 안덕면 사계리 3530-3)	N 33°13'15.57"	83.0	120	2010
		E 126°17'56.11" (서귀포시 안덕면 사계리 2294-34)	N 33°13'30.59"	13.3	30	2011

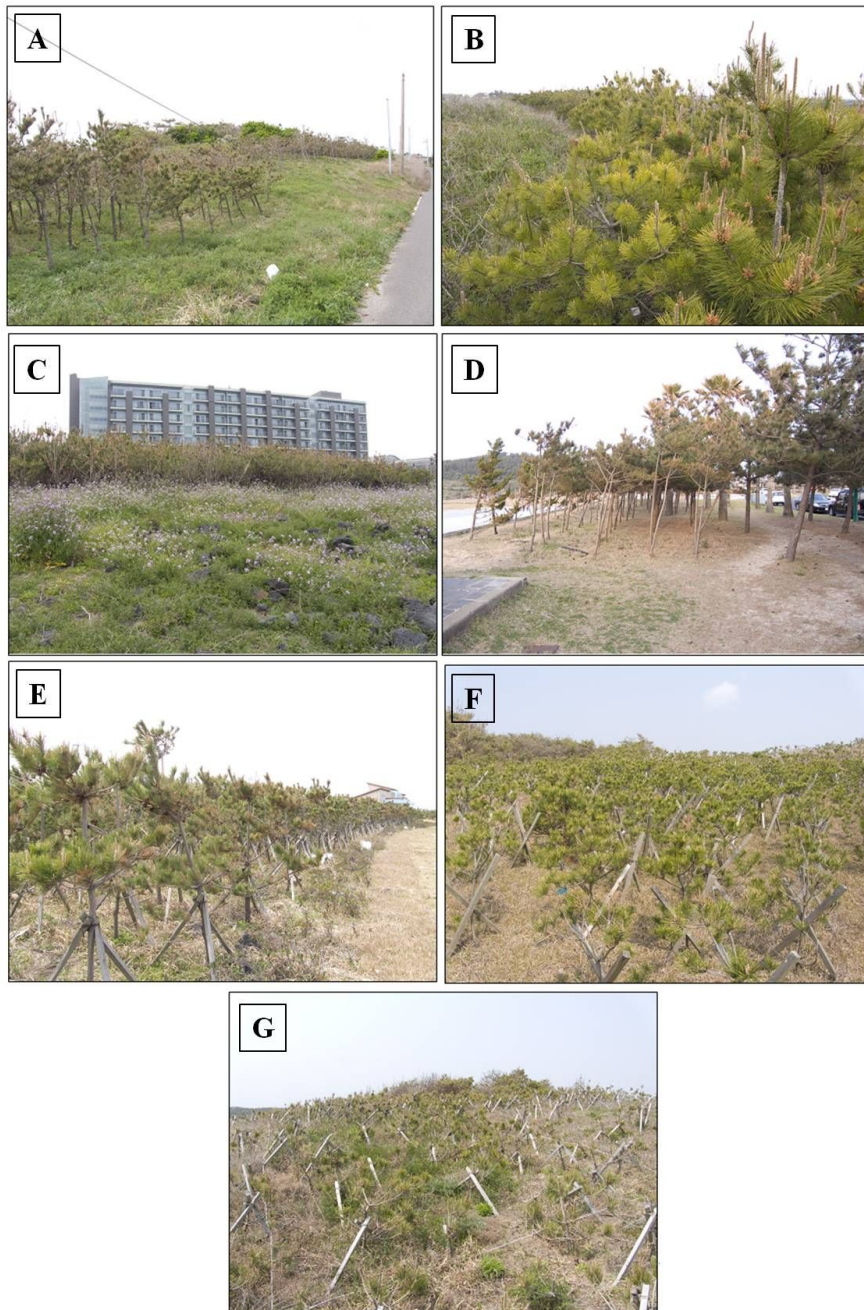


그림 2. 조사대상지 전경(A: 제주시 구좌읍 하도리, B: 서귀포시시 표선면 표선리, C: 서귀포시시 표선면 표선리, D: 제주시 조천읍 함덕리, E: 제주시 구좌읍 김녕리, F: 서귀포시 안덕면 사계리, G: 서귀포시 안덕면 사계리

2. 조사방법 및 분석방법

1) 조사구 설정

현지조사는 2012년 5월 21일부터 2013년 5월 16일까지 실시하였다. 해안방재림 조성지역의 토양 이화학적 특성과 주요 수종인 곰솔(*Pinus thunbergii*)의 생장 특성을 파악하기 위하여 해안방재림의 규모에 따라 각 조사지별로 5m×5m 혹은 10m×10m 규모의 조사구를 1~3개소씩 설치하였다(그림 3).



그림 3. 조사구의 설치 전경

2) 식생조사

해안방재림을 구성하는 곰솔림의 연간 수고생장량을 파악하기 위하여 조사구내에 생육하고 있는 수목 중에서 생장이 불량한 개체를 제외한 후, 표준목법에 의하여 지역별, 개소별로 대표 수목을 10본을 선정하여 지절(枝節)간 길이를 측정하였다. 지절법은 줄기의 마디를 측정하여 나무의 연년생장량을 측정하는 방법으로 주로 어린 묘목의 생장량을 추정하는 방법으로 사용되고 있다. 또한, 근원직경은 지표면으로부터 지상부 3cm 지점에서 버니어 캘리퍼스를 사용하여 측정하였다(그림 4).



그림 4. 곰솔림의 수고(상) 및 근원직경(하) 측정

3) 토양조사

각 조사구에 있어서 토양 이화학성을 분석하기 위하여 1m×1m의 토양단면을 굴착한 후(그림 5), 지표면으로부터 10cm와 30cm 깊이에서 토양시료를 각각 1kg씩 채취하였다. 채취한 토양시료는 48시간 이상 풍건한 후 70℃의 건조기에서 48시간 건조시킨 후, 건조된 시료를 2mm 간격의 체(US Standard No.10)에 통과시켜 토양 이화학성 분석에 이용하였다.

토양의 물리적 특성은 토양시료의 입도와 토성을 분석하였으며, 화학적 특성은 수소이온농도(pH), 유기물함량, 전질소함량, 유효인산함량, 치환성양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})농도, 양이온치환용량(CEC), 염소 및 전기전도도를

측정다. 또한, 이상과 같은 분석을 위하여 Hydro-meter법, pH-meter법, 건식산화법, Lancaster법, 1N-초산암모니움 침출법, 원자흡광광도법, EC-meter법 및 모르도법을 이용하였다.



그림 5. 토양의 단면조사

4) 식물체 성분분석

토양의 이화학적 특성에 따른 곰솔의 잎 내 양분함유량 변화를 파악하기 위하여 4방위 별로 당해 연도에 성장한 초단부의 잎을 각 500g 정도씩 채취하였다(그림 6). 이 때, 병충해의 피해를 입었거나 신선하지 않은 잎은 피하도록 하였고, 최대한 성숙하고 잘 전개된 잎을 채취 하였다.

채취한 시료는 밀봉된 밀폐용 비닐에 넣은 후, 실내분석에 이용하였다. 분석항목은 수소이온농도(pH), 유효인산함량, 치환성양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})농도, 염소 및 전기전도도이며, 모르도법, 원소분석기를 이용한 건식측정법, UV를 통한 바나드법 및 리차드(액체크로마토그래프)등을 이용하여 분석을 진행하였다.

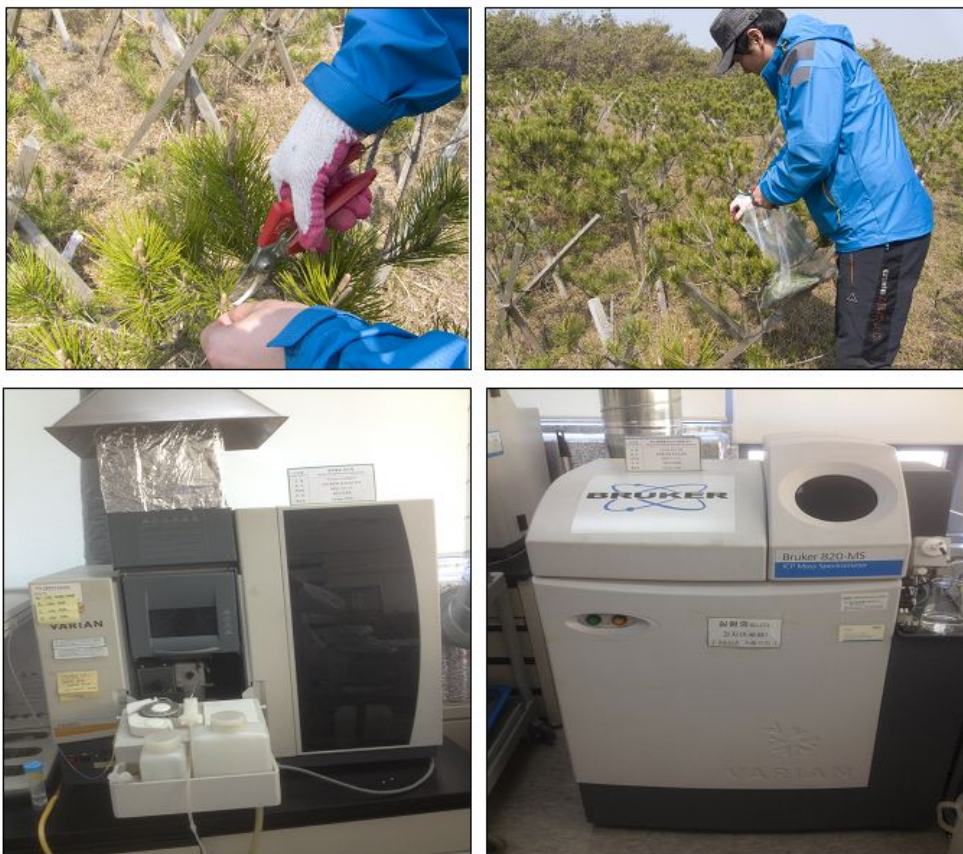


그림 6. 식물체 채취(상) 및 분석장비(하)

4) 통계분석

화산회토지역과 비화산회토지역에 있어서 객토여부에 따른 곰솔림의 수고 성장량을 파악하기 위하여 One-way ANOVA를 이용하였다. 또한, 곰솔의 연년수고생장에 미치는 영향 인자를 구명하기 위하여 토양의 화학적 특성 분석항목인 수소이온농도(pH), 유기물함량, 전질소함량, 유효인산함량, 치환 영양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})농도, 양이온치환용량(CEC), 염소 및 전기전도도 등, 11항목을 변량으로 하여 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 실시하였다.

분석에 앞서 이 연구에서 사용된 모든 변수들은 Kolmogorov-Smirnov test를 통하여 분포의 정규성을 검토하였으며, 모든 통계처리는 SPSS Statistics 21을 사용하였다(<http://www.spss.co.kr/>).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 객토가 토양 이화학성에 미치는 영향

1) 토양의 물리적 특성

(1) 화산회토지역

화산회토지역에 있어서 객토의 시행여부에 따른 토양의 입경조성 차이를 분석할 결과, 객토 시행지는 모래(Sand) 84.43%, 점토(Silt) 11.28% 및 미사(Clay) 4.30%, 객토 미시행지는 모래 92.59%, 점토 5.49% 및 미사 1.93%로 구성된 것으로 나타났다(그림 7). 즉, 객토 시행지가 객토 미시행지에 비하여 모래 함량은 8.16% 낮았고, 점토와 미사는 각각 5.79% 및 2.37% 높은 것으로 나타났다.

(2) 비화산회토지역

비화산회토 지역의 경우, 객토 미시행지는 모래 96.96%, 점토 1.80% 및 미사 1.24%, 객토 시행지는 모래 47.43%, 점토 46.03% 및 미사 6.53%로 구성된 것으로 나타났다(그림 7). 즉, 비화산회토지역에서는 객토 시행지가 객토 미시행지에 비하여 모래함량은 49.53% 정도 낮고, 미사와 점토는 각각 44.23% 및 5.29% 높은 것으로 나타났다.

객토의 시행여부에 따른 토양의 물리성 분석 결과, 화산회토·비화산회토 모든 지역에서 객토를 실시한 토양의 모래함량이 낮고, 미사와 점토의 함량은 높은 것으로 나타났다. 따라서 객토의 시행으로 토질이 개선되어 토양의 수분보유능 및 양분저장능력이 향상됨으로써 수목의 생육환경에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다(Brady and Weil, 2010).

한편, 화산회토지역에 비하여 비화산회토지에서 객토의 시행 여부에 따른

토양의 입경조성 차이가 크게 나타났다.

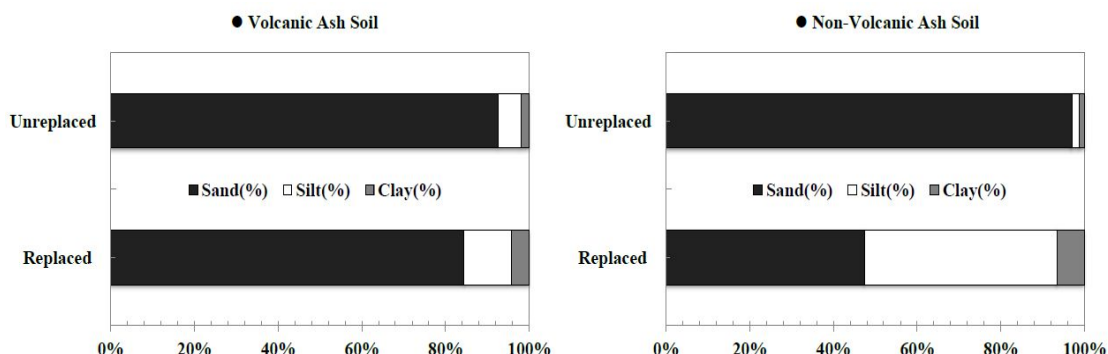


그림 7. 객토 여부에 따른 토양의 물리성 차이

2) 토양의 화학적 특성

(1) 화산회토지역

객토가 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 파악한 결과는 표 2 및 그림 8과 같다. 수소이온농도(pH)는 객토 시행지와 미시행지는 각각 평균 pH 8.23 및 pH 8.53으로 객토 시행지에서 미시행지에 비하여 낮게 나타났다.

유기물함량(OM)은 객토 미시행지 16.85%, 객토시행지 16.25%로 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 이는 화산회토지역이 비화산회토지역에 비하여 화산재가 집적되어 유기물함유율이 높게 나타나는 제주도 토양의 특성으로 판단된다(한기완, 2009).

전질소함량(TN)은 객토 시행지에서 0.11% 높았고, 유효인산함량(AP)도 객토로 시행지에서 $4.50\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 높게 나타났다.

양이온치환용량(CEC)의 경우, 객토 미시행지에서는 $1.41\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ 것에 비하여 객토시행지에서는 $9.65\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ 로 $8.24\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 객토로 토양에 함유된 치환성양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})이 공

급됨으로써 양이온의 흡착능력이 향상되어 나타난 결과로 판단된다(산림청, 2012). 한편 염소이온농도(Cl^-)는 객토 미시행지와 시행지에서 큰 차이는 나타나지 않았다. 전기전도도(EC)는 객토 시행지에서 미시행지에 비하여 0.29dSm^{-1} 높게 나타났는데, 이는 치환성양이온의 증가에 기인한 것으로 판단된다(박창서, 1985).

(2) 비화산회토지역

객토가 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 파악한 결과, 비화산회토 지역의 경우, 수소이온농도는 객토 시행지와 미시행지는 각각 평균 pH 7.73 및 pH 8.14으로 객토 시행지에서 미시행지에 비하여 낮게 나타났다(표 2 및 그림 8).

유기물함량은 객토 미시행지 4.06%, 객토 시행지 7.97%로 객토 시행지가 3.91%으로 높아진 것으로 나타났다.

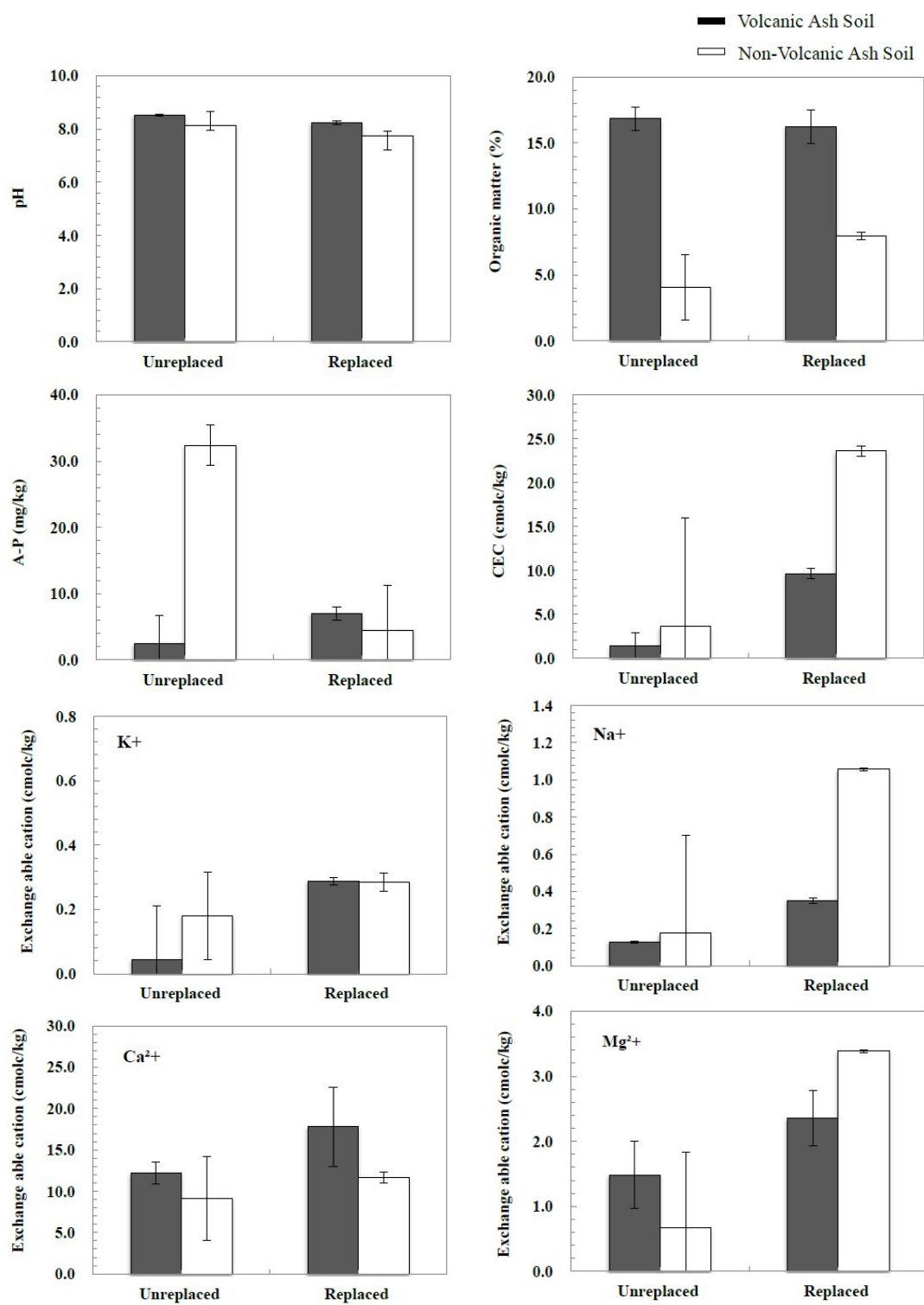
전질소함량은 객토시행지에서 0.10%로 높았고, 유효인산함량은 객토 시행지 보다 미객토 시행지에서 $27.88\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 로 높아진 것으로 나타났다. 이는 1970년대 화산회토·비화산회토가 인산흡수계수를 비롯한 양이온치환용량과 유기물함량 등 양분 요구량과 관련이 있는 토양이라 알려지면서 다량의 비료를 요구하는 토양으로 분류되었기 때문으로 판단된다(문경환, 2009b). 또한 육지에 비해 많은 양의 과잉시비로 인하여 토양의 요구도가 높아진 것도 한 요인으로 해석된다.

양이온치환용량의 경우, 객토 미시행지에서는 $3.69\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ 것에 비하여 객토시행지에서는 $23.58\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ 로 $19.89\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$ 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 객토로 토양에 함유된 치환성양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})이 공급됨으로써 양이온의 흡착능력이 향상되어 나타난 결과로 판단된다(산림청, 2012).

한편, 염소이온농도는 객토 미시행지 및 객토 시행지는 각각 평균 0.001% 및 0.005%로 객토 시행지에서 0.004% 높아진 것으로 나타났다. 즉, 토양 내의 Cl^- 의 농도가 높아지면 토양의 삼투압이 증가되어 식물체의 수분 흡수를 막아 물속에 녹아 있는 각종 양분의 흡수를 방해하여 수목의 생리·생태에 악영향을 미칠 것으로 판단된다(산림청, 2012). 전기전도도는 객토 시행지에서 미시행지에 비하여 0.28dSm^{-1} 로 높게 나타났는데, 이는 치환성양이온의 증가에 기인한 것으로 판단된다(박창서, 1985).

표 2. 토양의 이화학성 특성 차이

토양형	객토여부	plot	Sand	Silt	Clay	Soil property	pH	OM (%)	TN (%)	AP (mgkg ⁻¹)	CEC (cmolckg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC (dSm ⁻¹)	Cl ⁻ (%)
화산회토	시행지	1	77.2	17.6	5.3	SL	8.3	15.6	0.1	4.0	8.6	0.2	0.4	16.8	2.0	0.7	0.002
			91.7	5.0	3.4	SL	8.2	16.9	0.2	10.0	10.7	0.4	0.3	18.7	2.7	0.8	0.001
	미시행지	1	93.8	4.5	1.8	SiL	8.5	17.4	0.0	2.0	0.9	0.0	0.1	10.8	1.2	0.4	0.001
			95.6	3.0	1.5	SL	8.6	15.8	0.0	2.0	0.9	0.0	0.1	8.5	1.1	0.4	0.001
		2	84.4	12.9	2.8	SiL	8.6	18.4	0.1	2.0	2.0	0.1	0.1	10.1	2.0	0.6	0.002
			96.7	1.6	1.8	SiL	8.5	15.8	0.0	4.0	1.9	0.0	0.1	19.3	1.6	0.4	0.001
비화산회토	시행지	1	70.2	25.4	4.5	S	8.4	7.5	0.1	8.0	14.1	0.3	1.6	17.5	3.6	0.7	0.003
		2	45.9	46.3	7.9	S	7.5	10.7	0.1	2.5	19.2	0.2	0.6	8.2	2.1	0.5	0.005
			26.3	66.5	7.3	S	7.4	5.8	0.2	3.0	37.4	0.4	1.0	9.3	4.4	0.7	0.007
	미시행지	1	96.8	2.8	0.5	S	8.1	4.2	0.0	30.0	3.7	0.2	0.2	8.3	0.7	0.3	0.002
			96.6	2.8	0.7	S	8.3	4.2	0.0	28.5	3.5	0.2	0.2	10.0	0.7	0.3	0.001
		2	96.8	1.6	1.6	S	8.3	3.6	0.0	42.5	4.5	0.2	0.2	9.2	0.7	0.3	0.001
			97.7	0.1	2.3	S	7.9	4.2	0.0	28.5	3.1	0.2	0.2	8.9	0.7	0.3	0.001



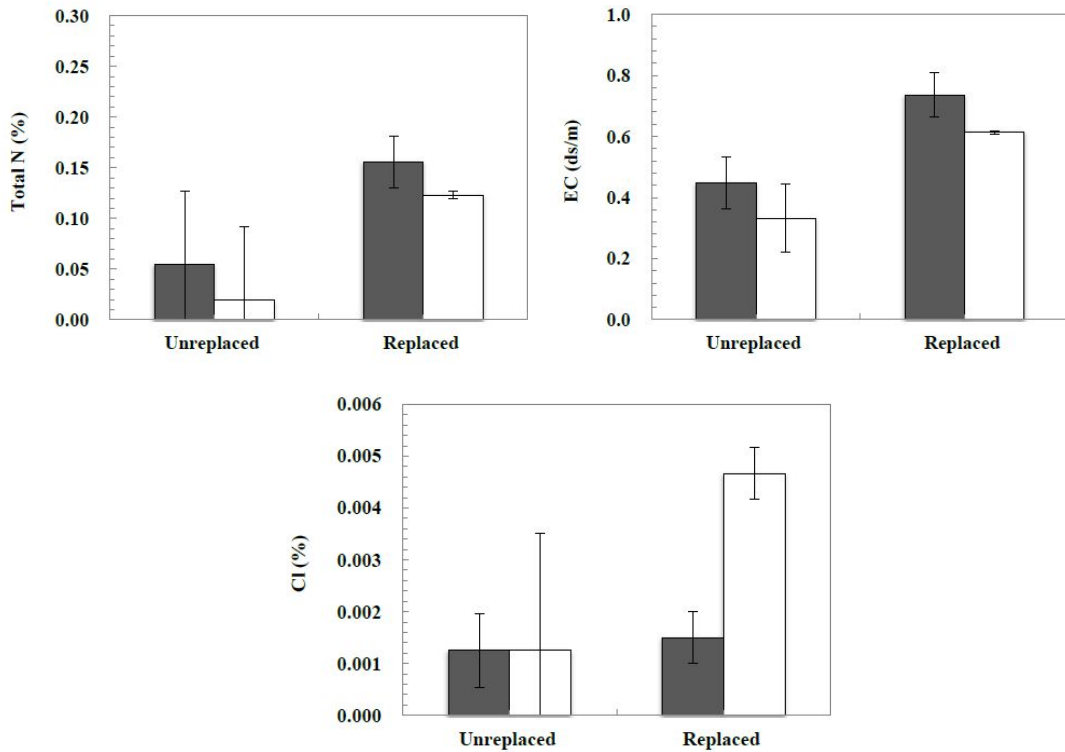


그림 8. 객토여부에 따른 토양의 화학성 차이

3) 토양의 주성분 분석

제주도 해안방재림에 있어서 객토여부에 따른 곰솔림의 생장에 영향을 주는 토양의 요인을 추출하기 위해 요인분석을 실시하였다. 곰솔림 생장에 영향을 줄 것으로 예측되는 토양의 화학성 분석 결과값 11개의 요인들을 변수로 각 상관계수를 분석하였다. 각 선택 변수로는 객토 시행지와 미객토 시행지로 나눠 화산회토지역에서의 객토여부, 비화산회토의 객토여부의 상관계수를 이용하여 요인분석을 실시하였다(송지준, 2013).

(1) 화산회토지역

제주도 해안방재림에 있어서 화산회토지역에서 객토 시행지에 의해 구성

된 토양의 화학성 분석값 11개 요인 간의 상관관계를 분석한 결과, 전질소함량(TN), 치환성양이온함량(K)간의 높은 양의 상관관계를 나타냈으며, 유효인산함량(AP), 염소(Cl^-)간의 음의 상관관계로 나타났다. 반면 객토 미시행지에서는 전질소함량(TN), 전기전도도(EC)간의 높은 양의 상관관계를 나타냈으며, 유효인산함량(AP), 치환성양이온함량(K)간의 음의 상관관계로 나타났다(표 3과 4).

토양의 화학성 분석값 11개 요인을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며, 이 때 추출할 요인의 수를 지정하기 위해 고유값(eigenvalue) 기준을 2로 하였다(정상훈, 2012). 고유값은 그 요인이 설명하는 분산의 양을 나타내는 것으로 이 값이 클수록 중요한 요인이라고 판단할 수 있다(이학식 등, 2008).

그 결과, 객토 시행지의 제 1요인의 고유값은 6.95, 분산은 63.24%로 나타났으며, 제 2요인의 고유값은 3.21, 분산은 29.21%로 두 요인의 설명된 총 분산은 92.4%로 나타났다. 또한, 객토 미시행지의 제 1요인의 고유값은 5.56, 분산은 50.54%로 나타났으며, 제 2요인의 고유값은 3.50, 분산은 31.90%로 두 요인의 설명된 총 분산은 82.4%로 나타났다(표 5와 6).

토양의 화학성 분석값 11개 요인 간의 회전된 성분행렬을 통해 주성분을 분석한 결과, 객토 시행지에 있어서 제 1요인은 양이온치환용량(CEC), 치환성양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), 전기전도도(EC), 전질소함량(TN)의 순으로 나타났다. 이는 토양의 비옥도와 관련된 특성으로서 객토로 인한 영향으로 판단된다. 또한, 제 2 요인은 유효인산함량(AP), 유기물함량(OM)의 순으로 나타났는데(표 5와 6), 이는 전형적인 화산회토의 특성으로 판단된다. 일반적으로 화산회토지역은 인산고정능력이 크고 유기물함량이 매우 높은 토양(농촌진흥청, 1976)에서 기인한 것으로 제 1요인과 2요인 결과는 객토를 시행했음에도 불구하고 토양의 이화학성 차이에 큰 변화가 없음을 시사하고 있다.

반면, 객토 미시행지에 있어서 제 1요인은 전질소함량(TN), K^+ , 염소(Cl^-), 전기전도도(EC), Mg^{2+} , 유기물함량(OM)의 순으로 나타났으며, 제 2요인은 Ca^{2+} , 유효인산함량(AP), Na^+ , 양이온치환용량(CEC)의 순으로 나타났다(표 6, 7).

이를 통해 알 수 있듯이 화산회토지역에서는 객토 시행지와 객토 미시행지의 요인분석결과, 객토 시행지와 미시행지의 요인은 서로 상관관계를 이루었다. 그러나 객토를 시행했음에도 불구하고 토양의 이화학성 차이에는 크게 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.

표 3. 화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 상관행렬

Soil properties	pH	OM	TN	AP	CEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	Cl ⁻
pH	1.000										
OM	-0.192	1.000									
TN	-0.905	0.250	1.000								
AP	-0.302	0.451	0.667	1.000							
CEC	-0.846	-0.300	0.833	0.282	1.000						
K ⁺	-0.864	0.235	0.996**	0.720	0.822	1.000					
Na ⁺	-0.590	-0.671	0.519	-0.044	0.904	0.510	1.000				
Ca ²⁺	-0.947	-0.121	0.869	0.237	0.968*	0.840	0.815	1.000			
Mg ²⁺	-0.890	0.153	0.995**	0.655	0.875	0.995**	0.591	0.888	1.000		
EC	-0.954*	0.032	0.958*	0.447	0.944	0.941	0.715	0.974*	0.969*	1.000	
Cl ⁻	0.302	-0.451	-0.667	-1.000**	-0.282	-0.720	0.044	-0.237	-0.655	-0.447	1.000

표 4. 화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 상관행렬

Soil properties	pH	OM	TN	AP	CEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	Cl ⁻
pH	1.000										
OM	0.235	1.000									
TN	-0.241	0.623	1.000								
AP	-0.385	-0.458	-0.261	1.000							
CEC	-0.383	0.187	0.558	0.588	1.000						
K ⁺	-0.059	0.747*	0.877**	-0.564	0.317	1.000					
Na ⁺	-0.495	0.244	0.648	0.399	0.763*	0.300	1.000				
Ca ²⁺	-0.510	-0.394	-0.080	0.782*	0.402	-0.496	0.493	1.000			
Mg ²⁺	-0.290	0.514	0.882**	0.121	0.738*	0.592	0.901*	0.284	1.000		
EC	-0.465	0.588	0.949**	-0.248	0.512	0.852*	0.671	-0.020	0.829*	1.000	
Cl ⁻	0.111	0.780*	0.843**	-0.289	0.432	0.770*	0.564	-0.279	0.792*	0.720*	1.000

* 상관계수는 0.05 수준 양쪽에 유의함. ** 상관계수는 0.01 수준 양쪽에 유의함.

표 5. 화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 회전된 성분행렬

토양의 이화학성	주성분	
	1 요인	2 요인
CEC	0.995	-0.050
Ca ²⁺	0.987	0.007
EC	0.968	0.228
Mg ²⁺	0.900	0.436
pH	-0.894	-0.213
TN	0.867	0.495
Na ⁺	0.867	-0.441
K ⁺	0.850	0.526
AP	0.294	0.878
Cl ⁻	-0.294	-0.878
OM	-0.215	0.816
분산(%)	63.24	29.21

표 6. 화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 회전된 성분행렬

토양의 이화학성	주성분	
	1 요인	2 요인
TN	0.959	0.163
K ⁺	0.926	-0.238
Cl ⁻	0.918	-0.042
EC ²⁺	0.913	0.228
Mg	0.830	0.502
OM	0.796	-0.306
Ca ²⁺	-0.255	0.875
AP	-0.368	0.851
Na ⁺	0.587	0.739
CEC	0.480	0.725
pH	-0.101	-0.682
분산(%)	50.54	31.90

(2) 비화산회토지역

제주도 해안방재림에 있어서 비화산회토지역에서 객토 시행지에 의해 구성된 토양의 화학성 분석값 11개요인 간의 상관관계를 분석한 결과, 치환성 양이온함량(Ca^{2+}), 수소이온농도(pH)간의 높은 양의 상관관계로 나타났으며, 양이온치환용량(CEC), 수소이온농도(pH)간의 음의 상관관계로 나타났다.

반면 비화산회토지역에서 객토 미시행지에서는 유효인산함량(AP), 치환성 양이온함량(K)간의 높은 양의 상관관계를 나타냈으며, 유기물함량(OM), 치환성 양이온함량(K)간의 음의 상관관계로 나타났다(표 7과 8).

즉, 객토시행지에서는 높은 양의 관계로 나타난 수소이온농도(pH)에 따라 치환성 양이온(Ca^{2+})이 세탈되며 토양의 용탈이 된 것으로 판단된다. 일반적으로 수소이온농도(pH)가 낮아지면 양이온과 수소이온이 치환되며 세탈 된다고 알려져 있다(산림청, 2012).

토양의 화학성에 분석값 11개 요인을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며, 추출한 요인의 수를 지정하기 위해 고유값 2를 이용한 결과, 비화산회토지역에서 객토 시행지의 제 1 요인의 고유값은 4.99, 분산은 45.41%로 나타났다. 또한 제 2 요인의 고유값은 3.64, 분산은 33.13%로 두 요인의 설명된 총 분산은 78.54%로 나타났다. 또한 비화산회토지역에서 객토 미시행지의 제 1 요인의 고유값은 3.32, 분산은 30.22%로 나타났으며, 제 2 요인의 고유값은 3.00, 분산은 27.29%로 두 요인의 설명된 총 분산은 57.51%로 나타났다(표 9와 10).

토양의 화학성 분석값 11개요인 간의 회전된 성분행렬을 통해 주성분을 분석한 결과, 비화산회토지역에서 객토 시행지에 있어서 제 1요인은 치환성 양이온(CEC), 치환성 양이온 인자 중 K^+ , Mg^{2+} , 염소(Cl^-), 전질소함량(TN)는 양의 상관관계를 나타냈으며, 유기물함량(OM)는 음의 상관관계를 나타냈다.

또한 제 2 요인에서는 유효인산함량(AP), 치환성양이온 인자 중 Ca^{2+} , Na^{+} , 전기전도도(EC)순으로 양의 상관관계로 나타났다(표 9와 10).

반면 비화산회토지역에서 객토 미시행지에 있어서 제 1요인은 치환성양이온 인자 중 K^{+} , 유효인산함량(AP)은 양의 상관관계를 나타냈으며, 유기물함량(OM)은 음의 상관관계를 나타냈다. 또한 제 2 요인은 치환성양이온 인자 중 Na^{+} , Mg^{2+} , 양이온치환용량(CEC), 전질소함량(TN)에 순으로 양의 상관관계로 나타났다.

표 7. 비화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 상관행렬

Soil properties	pH	OM	TN	AP	CEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	Cl ⁻
pH	1.000										
OM	0.555	1.000									
TN	-0.492	-0.249	1.000								
AP	0.665	-0.202	-0.474	1.000							
CEC	-0.817*	-0.734	0.780	-0.381	1.000						
K ⁺	-0.444	-0.798	0.602	-0.002	0.813*	1.000					
Na ⁺	0.275	-0.589	-0.045	0.831*	0.097	0.427	1.000				
Ca ²⁺	0.933**	0.369	-0.523	0.676	-0.721	-0.210	0.332	1.000			
Mg ²⁺	-0.093	-0.633	0.550	0.255	0.619	0.916*	0.557	0.095	1.000		
EC	0.515	0.009	-0.029	0.347	-0.151	0.403	0.276	0.747	0.597	1.000	
Cl ⁻	-0.660	-0.504	0.362	-0.508	0.665	0.706	-0.239	-0.372	0.466	0.267	1.000

표 8. 비화산회토지역에 있어서 객토 미시행지에 따른 상관행렬

Soil properties	pH	OM	TN	AP	CEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC	Cl ⁻
pH	1.000										
OM	-0.254	1.000									
TN	0.118	-0.276	1.000								
AP	0.201	-0.761*	0.708*	1.000							
CEC	0.228	-0.230	0.443	0.710*	1.000						
K ⁺	0.217	-0.792*	0.436	0.938**	0.760*	1.000					
Na ⁺	-0.138	0.482	0.319	0.092	0.521	0.000	1.000				
Ca ²⁺	0.623	-0.041	0.044	-0.058	-0.022	-0.112	0.110	1.000			
Mg ²⁺	-0.228	0.501	0.296	0.073	0.594	0.034	0.807*	0.033	1.000		
EC	-0.160	-0.277	-0.051	0.144	0.076	0.259	-0.433	-0.141	0.106	1.000	
Cl ⁻	-0.108	0.268	-0.218	-0.221	-0.014	-0.111	-0.293	-0.711*	-0.041	0.234	1.000

* 상관계수는 0.05 수준 양쪽에 유의함. ** 상관계수는 0.01 수준 양쪽에 유의함.

표 9. 비화산회토지역에 있어서 객토 시행지에 따른 회전된 성분행렬

토양의 이화학성	주성분	
	1 요인	2 요인
CEC	0.952	-0.253
K ⁺	0.949	0.291
OM	-0.820	-0.213
Mg ²⁺	0.784	0.559
Cl ⁻	0.743	-0.203
TN	0.701	-0.246
pH	-0.688	0.676
AP	-0.216	0.874
Ca ²⁺	-0.505	0.800
Na ⁺	0.263	0.792
EC	0.117	0.741
분산(%)	45.41	33.13

표 10. 비화산회토지역에 있어서 객토 미시행지 따른 회전된 성분행렬

토양의 이화학성	주성분	
	1 요인	2 요인
OM	-0.958	0.151
K ⁺	0.882	0.362
AP	0.860	0.472
pH	0.362	0.030
EC	0.336	-0.212
Na ⁺	-0.395	0.891
Mg ²⁺	-0.342	0.825
CEC	0.423	0.784
TN	0.416	0.601
Cl ⁻	-0.138	-0.319
Ca ²⁺	0.016	0.164
분산(%)	30.22	27.29

2. 객토가 수고생장 및 근원직경에 미치는 영향

1) 수고생장에 미치는 영향

(1) 화산회토지역

제주도 해안방재림에 있어서 객토여부에 따른 화산회토의 곰솔 생장은 객토 시행지가 평균 28.3cm, 객토 미시행지가 평균 35.2cm로 객토 시행지보다 객토 미시행지가 6.9cm 더 양호하게 성장하였다(그림 9).

화산회토 지역에 있어서 객토 시행지와 객토 미시행지 간의 ($P<0.05$)로 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다.(그림 9 및 표 11) 이는 토양의 물리적 특성으로 화산회토지역에 비하여 비화산회토지역이 토양의 입경조성이 상대적으로 큰 차이로 나타나며, 화산회토지역에서 토양의 물리적 특성에서 크게 개선되지 않았다. 그리고 화학적 특성도 마찬가지로 유기물함유량(OM)에서 객토 시행지보다 객토 미시행지에서 높게 나타난 결과와 같이 곰솔 수고 성장 변화에도 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

또한, 전기전도도(EC)가 0.40ds/m이상이면(Richards, 1954), 식물생장에 악영향을 끼친다. 이는 토양의 이화학적 분석 결과와 마찬가지로 화산회토지역의 객토 시행지에서 전기전도도는 0.744ds/m, 객토 미시행지는 0.454ds/m로 객토 시행지가 토양의 이화학적 차이에 기인하여 악영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 곰솔의 성장과 수소이온농도(pH)와는 상관관계가 크게 이루어지지 않는다. 이는 해안방재림의 특성상 알칼리성 토양에 비교적 적응능력이 높은 수종인 곰솔림의 생육특성 때문에 라고 밝히고 있다(김현필, 2012).

제주도에 시행된 화산회토지역에서의 객토 시행은 지역적 특성에 부합하지 않는 결과로 볼 수 있다. 화산회토지역에서는 객토를 시행했음에도 불구하고 오히려 생장이 양호하지 못했으며, 이화학적 개선에도 도움이 되지 못한 것으로 나타났다. 물론 제주도지역으로 국한된 한계성이 존재한다. 그러

나 우리나라 해안방재림을 대상으로 비교 한다면 동해, 서해, 남해가 분명 다른 토양의 구조 및 이화학적 특성을 가질 것으로 사료되며, 현재 해안가에 우점하고, 자생 하는 곰솔림 군락의 환경·입지 조건에 맞는 객토시행이 이루어져야 할 것이라 판단된다.

(2) 비화산회토지역

곰솔의 수고 생장변화 결과는 그림 9 및 표 12와 같다. 비화산회토 있어서 곰솔 생장은 객토 시행지, 미객토 시행지가 각각 평균 54.0cm 및 28.7cm로 화산회토지역에서의 곰솔 생장과는 상이하게 객토로 인해 약 25.3cm로 곰솔의 수고 생장이 양호한 것으로 나타났다. 이는 객토로 인해 토양의 물리·화학적 특성 중 화학적 특성보다는 물리적 특성에 영향을 받을 것으로 판단되며, 곰솔의 생장에도 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 비화산회토 지역에 있어서 객토 시행지와 객토 미시행지 간의 ($P<0.05$)로 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다(그림 9).

화산회토의 결과는 상이하게 곰솔의 수고생장이 높아진 원인은 밀식으로 식재된 입목밀폐도의 영향으로 풍속에 영향을 적게 받았기 때문으로 판단된다(2012, 김현철). 또한, 지형적 요소인 방위, 토양의 입경조성 차이에서 화산회토에 비해 비화산회토지역에서 크게 개선됨으로써 토양의 물리적 특성의 인자에 영향을 받아 화산회토지역과는 상이하게 객토 시행지의 수고생장이 더 양호하게 생장한 것으로 판단된다.

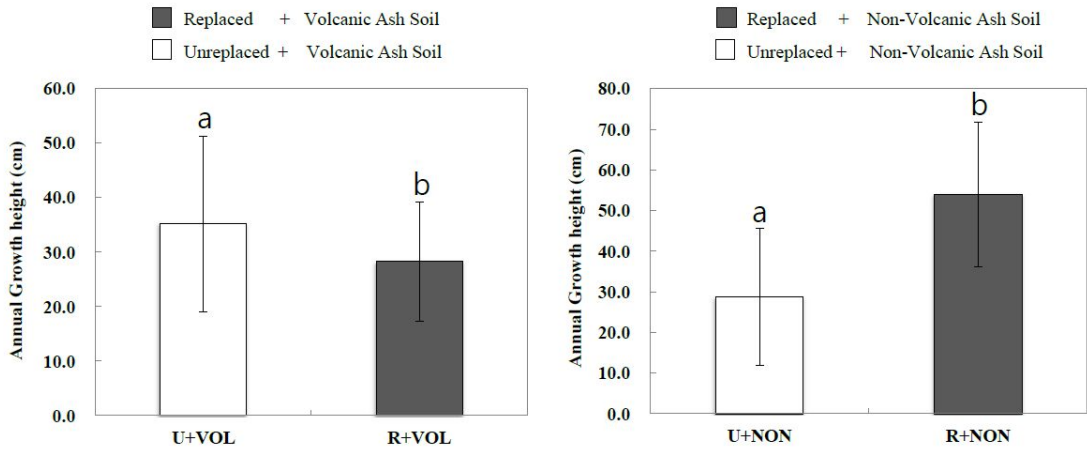


그림 9. 화산회토(좌) 및 비화산회토(우)지역의 수고 성장 변화



그림 10. 곰솔림의 수고성장 측정 전경

표 11. 화산회토지역에서의 수고생장(1/2)

토양형	객토여부	조사지	본수	수 고 (cm)							근원직경 (mm)
				2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013
화산회토	객토 시행지	제주시 구좌읍 하도리 22-2	1	-	-	47.0	44.0	32.0	15.0	52.0	52.92
			2	-	-	38.0	18.0	26.0	28.0	32.0	55.54
			3	-	-	42.0	21.0	28.0	17.0	26.0	48.34
			4	-	-	38.0	32.0	41.0	31.0	17.0	66.47
			5	-	-	26.0	50.0	21.0	8.0	15.0	51.98
			6	-	-	36.0	48.0	36.0	16.0	32.0	55.85
			7	-	-	26.0	24.0	26.0	17.0	12.0	50.29
			8	-	-	42.0	15.0	41.0	23.0	32.0	53.06
			9	-	-	10.0	16.0	15.0	41.0	52.0	52.87
			10	-	-	24.0	18.0	28.0	17.0	22.0	47.39
			평균(cm)			32.9	28.6	29.4	21.3	29.2	53.5
			평균 (m)			0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5

계 속

표 11. 화산회토지역에서의 수고생장(2/2)

토양형	객토여부	조사지	본수	수 고 (cm)							근원직경 (mm)		
				2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013		
화산회토		서귀포시	1	-	16.0	56.0	43.0	36.0	48.0	40.0	54.25		
			2	-	28.0	48.0	18.0	34.0	28.0	47.0	36.36		
			3	-	11.0	54.0	56.0	75.0	27.0	48.0	46.68		
			4	-	12.0	42.0	38.0	22.0	32.0	24.0	39.81		
			표선면	5	-	20.0	72.0	22.0	23.0	40.0	42.0	39.44	
			표선리	6	-	16.0	74.0	28.0	35.0	55.0	70.0	61.58	
			47-16	7	-	13.0	58.0	25.0	22.0	40.0	43.0	52.20	
			8	-	60.0	26.0	28.0	32.0	56.0	58.0	57.15		
			9	-	32.0	40.0	52.0	41.0	38.0	34.0	45.79		
			10	-	9.0	58.0	18.0	20.0	38.0	43.0	41.16		
	객토 미시행지	서귀포시	1	20.0	15.0	22.0	15.0	55.0	34.0	27.0	47.48		
			2	28.0	32.0	12.0	18.0	55.0	48.0	52.0	40.26		
			3	48.0	25.0	15.0	16.0	13.0	53.0	46.0	46.26		
			4	34.0	46.0	23.0	16.0	12.0	38.0	46.0	53.60		
			5	33.0	36.0	25.0	20.0	42.0	48.0	26.0	43.05		
			표선면	6	31.0	18.0	22.0	17.0	44.0	72.0	42.0	46.18	
			표선리	7	38.0	14.0	12.0	25.0	52.0	48.0	55.0	43.09	
			57	8	20.0	45.0	22.0	9.0	20.0	44.0	86.0	42.91	
			9	33.0	26.0	12.0	22.0	18.0	46.0	42.0	38.93		
			10	29.0	37.0	22.0	20.0	50.0	56.0	42.0	65.28		
			평균(cm)			31.4	25.6	35.8	25.3	35.1	44.5	45.7	47.10
			평균 (m)			0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5

표 12. 비화산회토지역에서의 수고생장(1/2)

토양형	객토여부	조사지	본수	수 고 (cm)						근원직경(mm)	
				2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013
비화산회토	객토 시행지	제주시 조천읍 함덕리	1	46.0	48.0	35.0	50.0	20.0	15.0	27.0	63.50
			2	20.0	46.0	65.0	64.0	17.0	20.0	35.0	68.11
			3	35.0	50.0	56.0	21.0	19.0	18.0	43.0	62.27
			4	33.0	62.0	70.0	33.0	32.0	35.0	30.0	77.84
			5	33.0	62.0	70.0	33.0	32.0	35.0	30.0	77.84
		제주시 구좌읍 김녕리 487	1	-	-	-	73.0	75.0	40.0	50.0	47.10
			2	-	-	-	50.0	76.0	92.0	48.0	47.36
			3	-	-	-	45.0	70.0	35.0	40.0	48.45
			4	-	-	-	45.0	70.0	53.0	100.0	62.21
			5	-	-	-	52.0	75.0	60.0	62.0	54.48
			6	-	-	-	42.0	68.0	80.0	75.0	52.10
			7	-	-	-	68.0	72.0	41.0	62.0	46.34
			8	-	-	-	45.0	60.0	65.0	73.0	48.58
			9	-	-	-	60.0	45.0	35.0	95.0	63.10
			10	-	-	-	83.0	100.0	50.0	45.0	61.65
			평균(cm)	33.4	53.6	59.2	50.9	55.4	44.9	54.3	58.70
			평균 (m)	0.3	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6

계 속

표 12. 비화산회토지역에서의 수고생장(2/2)

토양형	객토여부	조사지	본수	수 고(cm)						근원직경(mm)	
				2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013
비화산회토	객토 미시행지	서귀포시 안덕면 사계리 3530-3	1	-	-	-	10.0	48.0	14.0	26.0	22.44
			2	-	-	-	51.0	23.0	13.0	23.0	20.43
			3	-	-	-	4.0	43.0	23.0	27.0	23.08
			4	-	-	-	10.0	48.0	58.0	32.0	40.81
			5	-	-	-	4.0	43.0	25.0	24.0	21.84
			6	-	-	-	6.0	52.0	25.0	28.0	20.85
			7	-	-	-	8.0	52.0	27.0	40.0	18.90
			8	-	-	-	14.0	38.0	65.0	43.0	36.75
			9	-	-	-	10.0	37.0	35.0	34.0	19.18
			10	-	-	-	7.0	48.0	28.0	56.0	23.47
		서귀포시 안덕면 사계리 2294-34	1	-	-	-	-	14.0	15.0	27.0	18.57
			2	-	-	-	-	11.0	12.0	34.0	20.77
			3	-	-	-	-	16.0	20.0	62.0	26.48
			4	-	-	-	-	12.0	18.0	45.0	29.61
			5	-	-	-	-	14.0	38.0	20.0	27.14
			6	-	-	-	-	8.0	26.0	40.0	25.01
			7	-	-	-	-	16.0	28.0	34.0	25.05
			8	-	-	-	-	17.0	43.0	58.0	36.53
			9	-	-	-	-	15.0	30.0	62.0	30.36
			10	-	-	-	-	18.0	30.0	40.0	33.59
			평균 (cm)	-	-	-	12.4	28.7	28.7	37.8	26.00
			평균 (m)	-	-	-	0.1	0.3	0.3	0.4	0.30

2) 근원 직경에 미치는 영향

(1) 화산회토지역

제주도 해안방재림에 있어서 객토여부에 따른 화산회토의 근원 직경 생장은 수고생장과는 상이한 결과로 객토 시행지가 평균 53.47mm, 객토 미시행지가 평균 47.07mm로 객토 시행지가 6.4mm 더 양호하게 성장하였다(그림 11). 이는 토양의 이화학적 특성 중 화학성에 영향을 받아 비대생장한 것으로 판단된다.

(2) 비화산회토지역

비화산회토 있어서 곰솔림 근원 직경생장은 객토 시행지, 미객토 시행지가 각각 평균 61.12mm, 27.40mm로 화산회토지역에서 곰솔의 근원 직경 성장보다 큰 변화로 25.3cm 곰솔의 근원 직경 생장이 크게 높아진 것으로 나타났다(그림 11).

상대적으로 화산회토지역에 비하여 비화산회토지역에서 18.9mm로 근원직경 생장이 크게 높은 것으로 나타났다. 이는 토양의 물리적 특성에서 개선이 됨으로써 근원직경의 성장에 영향을 미친 것으로 판단된다.

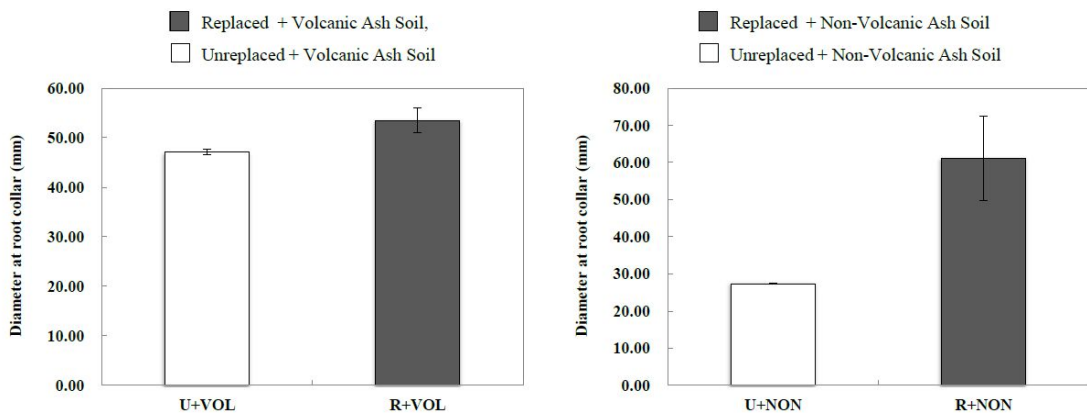


그림 11. 화산회토(좌), 비화산회토(우)지역의 근원직경 변화



그림 12. 곰솔의 근원직경 측정 전경

3. 객토가 잎 내 양분함유량에 미치는 영향

1) 화산회토지역

곰솔림의 식물 잎 내 양분농도 차이를 파악한 결과는 표 13 및 그림 13와 같다. pH는 객토 시행지와 미시행지는 각각 평균 pH 4.4 및 4.7로 큰 차이가 없었다. 또한 OM은 객토 시행지 80.8% 및 객토 미시행지 82.3%로 큰 차이가 없었다. 이는 화산회토의 특성상 토양의 양분 용탈로 곰솔림의 식물 잎 내 양분농도가 영향을 미친 것으로 판단된다.

한편, 수목의 무기질 영양분으로 분류되며 중요한 인자인 N, P, 및 K 함량에 있어서 객토 시행지와 객토 미시행지에 있어서는 큰 차이가 없었다. 그러나, 일반적으로 건강한 잎 생장의 적절한 잎의 N의 함유량은 2.4~2.6%, P의 함유량은 0.12~0.16%, K의 함유량은 0.70~1.09%라고 알려져 있다(이경준, 2001). 화산회토 지역의 무기질 영양분 중 P, K의 함유량은 적정 함유량에 모두 들었으나, N의 함유량은 결핍상태 기준 2.2%로 객토 시행지 1.0%, 객토 미시행지 1.1%로 모두 결핍상태로 나타나고 있다. 이는 해안방재림 특성상 질소의 지력이 약한 것으로 판단되며, 질소고정 식물을 식재하여 질소의

지력을 증대 시킬 필요가 있다(김찬범, 2012.). 또한 Na는 무기영양소 중 삼투압 조절제의 역할 뿐만 아니라 내염성 식물에도 영향을 미치는 영향 인자이다(이경준, 2001). 또한 Na의 함유량은 객토 시행지에서 0.7%, 객토 미시행지 0.3%으로 객토 시행지가 높아지는 것으로 나타났다. 이는 객토 시행지에서 NaCl의 함유량이 1.9%로 높아짐으로서 Na의 함유량에도 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, NaCl의 함유량이 객토 시행지에서 높아진 것으로 나타났다는데, 이는 곰솔림의 식재 배치나 위치에 따라 다르며(2011, 김현필), 파랑에 의한 비사가 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 EC에 있어서 객토 시행지 41.8%, 객토 미시행지 23.7%로 18.1%로 높아졌다. 이를 통해 알 수 있듯이 NaCl, EC, 및 Na는 서로 밀접한 관계를 갖고 있는 것으로 판단된다.

한편, 식물체 조직의 구성성분으로서 Mg의 함유량은 객토 시행지와 미시행지에 있어 차이는 없었다. 그러나 엽록소 인자로 분류되는 Mg의 함유량은 객토 미시행지에 비하여 객토 시행지가 Mg의 함유량이 높아짐으로서 식물 조직에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 Ca는 객토 시행지에 비해 객토 미시행지에서 0.3% 더 높아진 것으로 나타났다.

2) 비화산회토지역

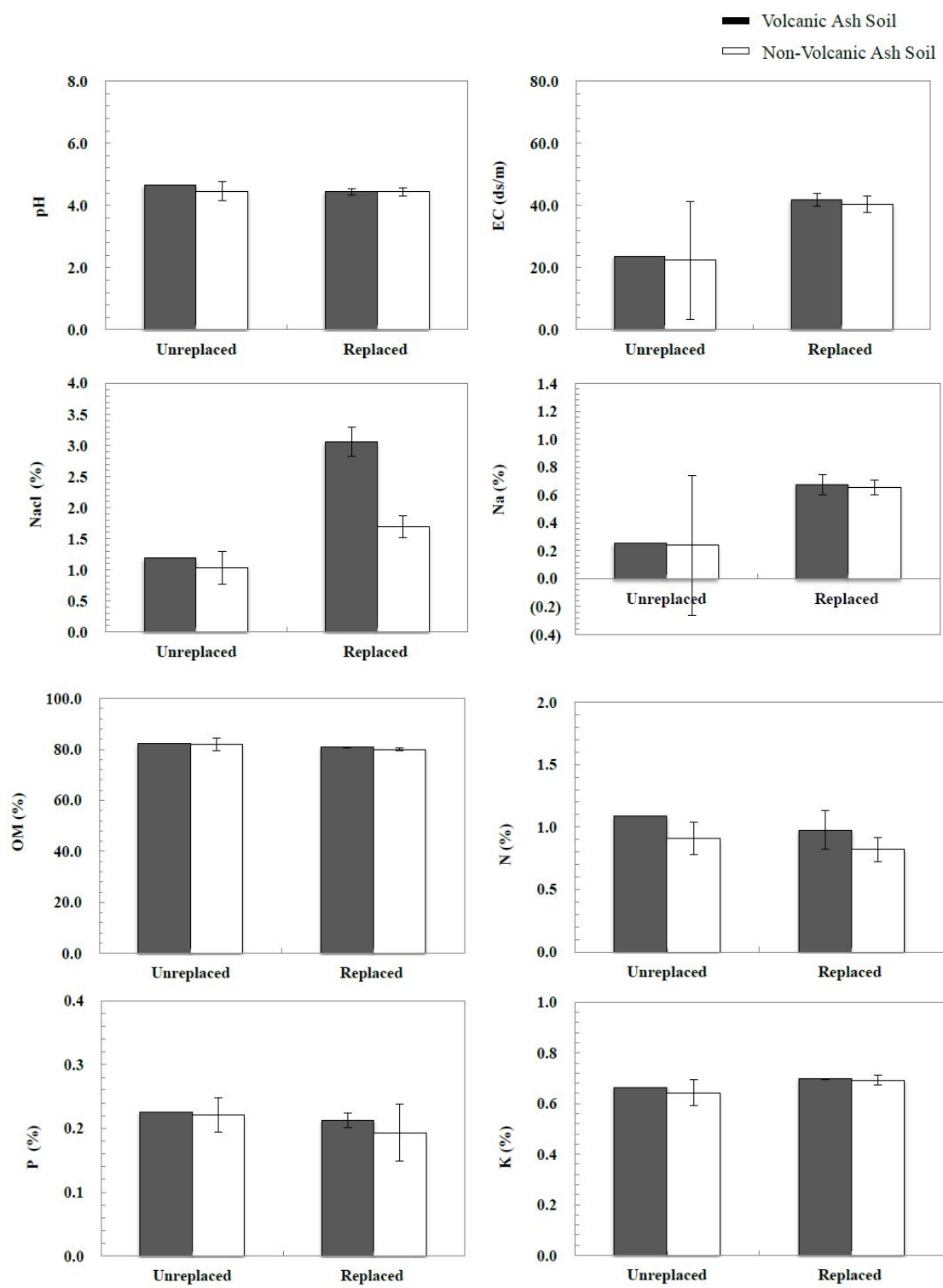
곰솔림의 식물 잎 내 양분농도의 차이를 알아본 결과,(표 13 과 그림 13) 객토 시행지 pH 4.4 및 객토 미시행지 pH 4.5로 나타났으며, pH는 토양이화학성의 특징과 유사한 결과로 나타났다. 또한, 비화산회토 지역에서의 객토 시행지에서의 평균 OM의 함유율은 80.0%, 객토 미시행지는 81.9%로 나타났다. 또한, 수목의 무기질 영양분으로 분류되며 중요한 인자인 N, P, 및 K의 함유량에 있어서 객토 시행지와 객토 미시행지에 있어서 P, K의 함유량은 화산회토와 마찬가지로 객토여부에 큰 차이는 없었다. N의 함유량은 결핍상태 기준치에 크게 못 미치는 결과로 객토 시행지 0.8%, 객토 미시행지 0.9%

로 나타났으며, 화산회토와 유사한 경향으로 비화산회토 지역에서도 객토여부에 무관하게 N의 함유량이 기준치에 크게 못 미치는 결핍상태로 나타났다.

한편, EC는 객토로 인해 약 18.1% 높아졌으며, 화산회토 지역과 유사한 경향으로 NaCl의 함유량 및 Na의 함유량에 있어서도 객토로 인해 다소 높아진 것으로 나타났다. 또한 Mg의 함유량에 있어서도 화산회토 지역과 유사한 함유량으로 식물조직 및 구성성분으로써 곰솔의 잎 내 양분함유량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

표 13. 잎 내 양분함유량 변화

토양형	객토여부	Plot	pH	EC (dSm ⁻¹)	OM	N	P	K	Na (%)	Ca	Mg	NaCl
화산회토	객토 시행지	1	4.4	41.8	80.8	1.0	0.2	0.7	0.7	0.5	0.3	3.06
	객토 미시행지	1	4.7	25.2	82.2	1.2	0.2	0.7	0.3	0.6	0.2	1.35
		2	4.6	22.3	82.4	1.0	0.2	0.7	0.2	1.1	0.2	1.02
비화산회토	객토 시행지	1	4.7	53.8	78.3	0.9	0.2	0.7	1.0	0.5	0.4	1.88
		2	4.2	27.1	81.8	0.7	0.2	0.7	0.3	0.5	0.3	1.50
	객토 미시행지	1	4.4	20.4	81.6	0.8	0.2	0.6	0.2	0.4	0.2	0.91
		2	4.6	24.2	82.2	1.0	0.3	0.7	0.3	0.4	0.2	1.16



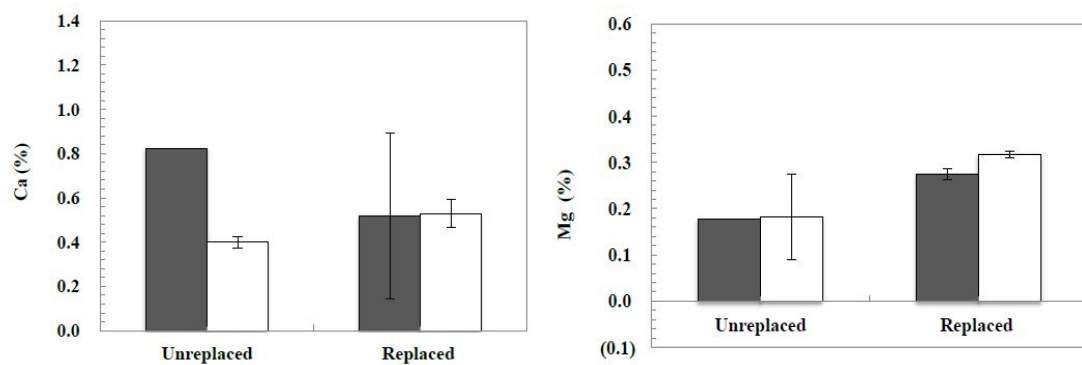


그림 13. 잎 내 양분함유량 변화



그림 14. 잎 내 양분함유량 파악을 위한 시료채취 전경

V. 결 론

제주도 지역 해안방재림에 있어서 토양의 이화학성에 따른 곰솔림의 생장변화를 조사한 결론은 다음과 같다.

1. 제주도 해안방재림에 있어서 객토여부의 따라 토양의 물리·화학적 차이 결과 물리적 차이는 모래함량은 낮아진 반면에 점토, 미사의 함량 비율이 높아짐으로서 토양의 입자 구성비 비율이 개선되었다. 하지만 화학성에 있어서는 일부 개선이 이루어졌으나, 강 알칼리성 토양, 치환성양이온 및 염분에 의한 염류집적토양 등 토양의 불량한 조건으로 인하여 수목생육 및 곰솔림 생장에 악영향을 미칠 것으로 판단된다. 하지만 제주도의 환경적·입지적 조건에 따라 화산회토와 비화산회토지역에 있어서는 서로 상이한 결과로 나타났다.
2. 제주도 해안방재림 조성지에 있어서 객토의 시행으로 토양의 이화학적 특성은 개선되었으나, 초기 곰솔림 생장의 활착에 대해 영향을 주었을 뿐 지속적 생장에는 기여하지 못하였다. 또한 화산회토지역은 객토를 시행했음에도 불구하고 생장이 불량 하였다. 결과적으로 제주도에 시행되고 있는 객토는 토양특성을 고려하지 않았을 뿐 만 아니라 지역적 특성에 부합하지 않는 결과로 볼 수 있다. 물론 제주도지역으로 국한된 한계성이 존재하지만, 우리나라 해안방재림을 대상으로 비교한다면 동해, 서해, 남해가 분명 다른 토양의 구조 및 이화학적 특성을 가질 것이며, 환경적·입지적 조건을 고려한 객토 시행이 이루어져야 할 것이며,

그에 따른 관리방안이 조속히 마련되어야 할 것이다.

3. 잎 내 양분함유량은 토양의 이화학적 특성과 비슷한 경향을 보였으며, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 염화나트륨(NaCl)은 서로 상관관계를 이루며 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 염분의 농도가 다소 높게 나타난 것은 과량에 의한 비사에 기인한 것으로 판단된다.

VI. 참 고 문 헌

1. 김상규, 고병철, 오윤근, 이용두, 김정호 등. 1999. 제주도 토양에서 유기인계 농약의 흡착 및 용탈. 한국환경과학회지 8(3): 379-386.
2. 김정호. 2000. 제주도 토양에서 EPN의 용탈과 잔류. 한국농약과학회지 4(1): 19-21.
3. 김찬범. 2012. 해안사구 토양의 물리화학적 특성이 식물출현에 미치는 영향에 관한 연구 -한국 중부 서해안을 중심으로-. 고려대학교 석사학위논문. pp. 47.
4. 김현필. 2011. 해안방재림 조성지에 식재한 해송의 활착 및 생장 특성에 관한 연구. 영남대학교 석사학위논문. pp. 39.
5. 김현필. 2012. 해안방재림 조성지에 식재한 해송의 생장 특성에 관한 연구. 한국임학회지 101(4): 661-662.
6. 농촌진흥청. 1976. 제주도 정밀토양도. pp. 215.
7. 문경환. 2007. 해발고도 및 인접성에 의한 제주도 토양통 분포특성. 한국토양비료학회지 40(3): 221-228.
8. 문경환. 2009 a. 기후요인에 의한 제주도 토양분포. 한국토양비료학회지 42(5): 348-354.
9. 문경환. 2009 b. 제주도 토양의 공간분석 연구. 제주대학교. 박사학위논문. pp. 113.
10. 문경환. 2010. 주성분분석 및 다중회귀분석에 의한 제주도 토양유기물 및 $\text{AlO}+1/2\text{FeO}$ 함량 분포. 한국토양학회지 43(5): 748-754.
11. 박종석. 2008. 해안방재림에 관한 연구. 전남대학교 석사학위논문. pp. 54.

12. 박창서, 김이열, 조성진. 1985. 화산회토분류 및 CEC에 대한 유기물과 점토의 기여도. 한국토양비료학회지 18: 161-168.
13. 산림청. 2006. 해안방재림 조성·보전·관리 방안에 관한 연구. 연구용역보고서. pp. 260.
14. 산림청. 2007. 해안방재림 실태조사 및 정책방향에 대한 연구. 연구용역보고서. pp. 329.
15. 산림청. 2012. 해안방재림 실태조사 및 관리방안 연구. 연구용역보고서. pp. 237.
16. 산림청. 2009. 사방사업법령(5. 해안방재림 조성지침): 145-151.
17. 송관철. 2010. 제주도 토양인 제주통의 분류 및 생성. 한국토양비료학회 43(2): 230-236.
18. 송지준. 2013. 논문작성에 필요한 SPSS/AMOS 통계분석방법. 21세기사. pp. 473.
19. 이경준. 2001. 수목생리학. 서울대학교출판부. pp. 514.
20. 이우철, 전상근. 1983. 한국 해안식물의 생태학적 연구 -남해안의 사구식물군락의 종조성과 현존량. 한국생태학회지 6(3): 175-190.
21. 이학식, 임지훈. 2008. SPSS 14.0 매뉴얼. 법무사. pp. 358.
22. 전근우. 2012. 신고 사방공학. 향문사. pp. 426.
23. 정상훈. 2012. 두타산 일대 천연림에서 요인분석에 의한 산림유형 분류. 농업생명과학연구 46(4): 21-30.
24. 한기완. 2009. 제주도 남원읍과 조천읍 밭토양의 물리화학적 성질비교. 제주대학교 석사학위논문. pp. 35.
25. Dahlgren, R.A., J.L. Boettinger, G.L. Huntington, and R.G. Amundson. 1997. Soil development along an elevational transect in the western

- Sierra Nevada, California. *Geoderma* 78: 207–236.
26. NIAST, RDA. 2000. Taxonomical Classification of Korean Soils. pp. 352.
 27. Nyle C. Brady, Ray R. Weil. 2010. Elements of The Nature and Properties of Soils, 3rd Edition. pp. 679.
 28. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Departament of Agriculture. Washington. pp. 160.

Effects of Soil Replacement on the Growth of Coastal
Disaster-Prevention Forests Dominated by *Pinus*
thunbergii in Jeju Island

Kim, Jin Yong

Department of Forestry
Graduate school, Kangwon National University

Abstract

This study examines the coastal disaster prevention forest formed in the range sphere of Jeju Island having diverse environmental locational conditions and soils 1) to figure out if Soil Replacement to the coastal disaster prevention forest at the formation has resulted in differences in the physiochemical characteristics of the soils and 2) to investigate how it has changed the growth and development of *Pinus thunbergii* forest, the main species of the coastal disaster prevention forest, in order to develop foundational materials to make plans for forming and managing the coastal disaster prevention forest.

The results of this study can be summed up as below:

1. Regarding the changes of physical chemical properties in the coastal disaster prevention forest of Jeju Island, Soil Replacement improved significantly the soils' physical properties, and chemical properties, too, did show improvement partially; thus, it is thought that Soil Replacement will exert positive effects on plant growth and development. According to the environmental locational conditions of Jeju Island, however, there were different results found between the areas of volcanic ash soil and of non-volcanic ash soil.
2. In the sites where coastal disaster prevention forest is formed in Jeju Island, Soil Replacement did improve the soils' physiochemical properties, but it just influenced the initial rootage of the *Pinus thunbergii* forest's growth but could not contribute to its continual growth. Besides, the area of volcanic ash soil showed poor growth despite the soil addition. Based on this result, we may be able to conclude that it will be needed to perform a partial, not the entire, Soil Replacement, considering the soils' environmental locational conditions. Therefore, the soil addition being currently performed in Jeju Island exclusively can be seen as the outcome of not considering the soil characteristics properly and not corresponding to the regional characteristics.
3. The contents of nutrients in the leaves indicated similar tendencies to those of the soils' physiochemical properties. Their pH, electrical conductivity (EC), and NaCl had a correlation with each other and exhibited a close relationship. And salinity was rather high, and it should be attributed to the drifting sand resulted from the breakers.

Regarding the results above, this study has a limitation as it is focused solely on Jeju Island in terms of the formation of coastal disaster prevention forest. But with this, we can predict that the East Sea, the West Sea, and the South Sea will definitely show different soil structures and physiochemical characteristics when the coastal disaster prevention forests in Korea are compared. Therefore, it will be necessary to conduct a partial, not the entire, Soil Replacement in consideration of the environmental locational conditions and also make plans to manage it as fast as possible.