



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

석사학위논문

세계자연유산지구 제주도 거문오름 일대의  
토양특성 비교

지도교수 김 태 호

제주대학교 교육대학원

지리교육전공

고 종 형

2016년 8월

# 세계자연유산지구 제주도 거문오름 일대의 토양특성 비교

지도교수 김 태 호

고 종 형

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 6월

고종형의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 손 명철 

위 원 최 광용 

위 원 김 태 호 

제주대학교 교육대학원

2016년 6월

A Comparative Study on Soil Characteristics  
around Geomum Oreum in Jeju Island, the  
World Natural Heritage Site

Jong-hyeong Ko  
(Supervised by Professor Tae-ho kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of  
Master of Education.

2016. 6.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Myong-cheol Son prof. of Geography Education  
Gwank-yong Choi prof. of Geography Education  
Tae-ho Kim prof. of Geography Education

.....  
Date

Department of Geography Education  
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

<국문초록>

# 세계자연유산지구 제주도 거문오름 일대의 토양특성 비교 고 종 형

제주대학교 교육대학원 지리교육전공  
지도교수 김 태 호

제주도는 생물권보전지역, 세계자연유산, 세계지질공원 인증을 받으며 지구촌 사상 최초의 유네스코 자연과학분야 트리플 크라운을 달성하며 국제적으로 주목을 받기 시작했다.

본 연구는 세계자연유산이 철저한 보전과 관리가 이루어지지 않으면 위험유산 목록에 오르거나 등재 자체가 취소될 수 있다는 점에서 거문오름일대의 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양특성을 비교 분석하여 학술적 기초 자료를 제공하는 데 목적을 두고 있다.

연구지역은 제주도 거문오름의 식생분포 지역을 자연림과 조림지 부분으로 나누었으며, 능선 탐방로 지역은 인위적인 곳으로 분화구 탐방로 지역은 자연적인 곳으로 구분해서 토양시료를 채취하였다.

토양의 이화학적 성질은 농촌진흥청 토양분석법에 준하여 분석하였고 통계분석은 이화학적 성질 결과에 따른 식생 분포지역인 자연림과 조림지, 능선 탐방로 지역(인위적인 곳)과 분화구 탐방로 지역(자연적인 곳)의 차이를 SPSS 18.0(PASW Statistics 18, IBM Industry Analytics Solutions)을 이용하여 유의성 검증을 실시하였다.

통계분석을 요약하면 자연림과 조림지의 유의성 차이를 분석한 결과 토양의 물리적 성질인 입자밀도만이 유의적인 차이( $P < 0.05$ )를 보였다. 평균 입자밀도는 자연림은  $2.03 \text{ g/cm}^3$ , 조림지는  $2.17 \text{ g/cm}^3$ 으로 조림지가 자연림에 비해 입자밀

도가 높았다. 또한 유의적인 차이는 없었으나 조립지는 자연립보다 평균적으로 모래함량이 높았으며 유기물함량이 낮았다.

능선 탐방로 지역과 분화구 탐방로 지역의 유의성 차이를 분석한 결과 유효인산함량, 전질소함량 및 양이온교환용량이 유의적인 차이( $P<0.05$ )를 보였다. 유효인산인 경우 능선 탐방로 지역은 5.75 mg/kg, 분화구 탐방로 지역은 32.86 mg/kg으로 분화구 탐방로 지역에서 능선 탐방로 지역인 능선 탐방로보다 약 6배 정도 함량이 높았다. 전질소함량인 경우 능선 탐방로 지역은 0.99%, 분화구 탐방로 지역은 0.03%로 유효인산함량과는 달리 분화구 탐방로 지역보다 능선 탐방로 지역에서 함량이 매우 높았다. 양이온교환용량인 경우 능선 탐방로 지역은 48.20  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 분화구 탐방로 지역은 24.39  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 전질소함량과 마찬가지로 능선 탐방로 지역에서 분화구 탐방로 지역보다 약 2배정도 높았다.

이와 같은 결과를 종합하면 제주도 거문오름을 대상으로 한 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양특성 차이는 입자밀도, 유효인산함량, 전질소함량 및 양이온교환용량에서 차이가 난다고 볼 수 있겠다. 자연적인 곳에서는 인위적인 곳보다 입자밀도와 유효인산함량이 낮았으며 전질소함량과 양이온교환용량이 높았는데 이는 탐방객의 증가에 의한 인위적인 요인보다는 거문오름이 위치한 선흘리는 다우지역에 속하여 자연적인 토양침식에 의한 표토의 유실과 연관이 있다고 생각되며 거문오름일대의 식생을 비롯한 자연자원 관리를 위해서는 표토침식 방지에 대한 모니터링 등 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

# 목 차

국문초록 .....	i
<b>I. 서론</b> .....	1
1. 연구목적 .....	1
2. 연구동향 및 이론적 배경 .....	3
<b>II. 재료 및 방법</b> .....	6
1. 조사지 개황 .....	6
2. 시료채취 .....	8
3. 분석방법 .....	17
1) 토양의 물리성 분석 .....	17
2) 토양의 화학성 분석 .....	17
3) 통계분석 .....	18
<b>III. 결과 및 고찰</b> .....	19
1. 거문오름 조사지 토양의 물리적 성질 .....	20
2. 거문오름 조사지 토양의 화학적 성질 .....	31
3. 통계분석 .....	51
1) 자연림과 조림지의 토양특성 비교 .....	51
2) 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양특성 비교 .....	52
<b>IV. 요약</b> .....	56
참고문헌 .....	58
Abstract .....	61

## 표 목차

표 1 거문오름 토양시료 채취 좌표 .....	2
표 2 거문오름 자연림과 조림지의 토양물리적 특성 비교 .....	7
표 3 거문오름 자연림과 조림지의 토양화학적 특성 비교 .....	8
표 4 거문오름 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양물리적 특성 비교 .....	14
표 5 거문오름 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양화학적 특성 비교 .....	20

## 그림 목차

그림 1 거문오름의 탐방로 .....	6
그림 2 거문오름 토양시료 채취지점 .....	7
그림 3 연구대상지 전경 및 시료채취 지점 .....	7
그림 4 거문오름 조사지의 토성 .....	8
그림 5 거문오름 조사지의 용적밀도 .....	8
그림 6 거문오름 조사지의 입자밀도 .....	10
그림 7 거문오름 조사지의 공극률 .....	10
그림 8 거문오름 조사지의 투수계수 .....	10
그림 9 거문오름 조사지의 토양삼상분포 .....	10
그림 10 거문오름 조사지의 토양 pH .....	11
그림 11 거문오름 조사지의 전기전도도 .....	12
그림 12 거문오름 조사지의 유기물함량 .....	13
그림 13 거문오름 조사지의 유효인산함량 .....	22
그림 14 거문오름 조사지의 전질소함량 .....	22
그림 15 거문오름 조사지의 교환성 K 함량 .....	22
그림 16 거문오름 조사지의 Ca 함량 .....	24
그림 17 거문오름 조사지의 Mg 함량 .....	24
그림 18 거문오름 조사지의 교환성 Na 함량 .....	24
그림 19 거문오름 조사지의 양이온교환용량 .....	26

# I. 서 론

## 1. 연구목적

제주도는 주로 제4기 플라이스토세의 화산활동 결과로 이루어진 화산도로서 순상화산의 형태를 이루고 있다. 제주도는 동서 74km, 남북 32km, 면적 1825km<sup>2</sup>의 타원형을 이루며 우리나라에서 최근세의 화산활동 과정을 관찰할 수 있는 대표적인 지역이다(제주도·한라산생태문화연구소, 2006). 이러한 제주도가 국내뿐만 아니라 국제적으로 주목받기 시작한 것은 '2002년 12월 생물권보전지역 지정, 2007년 6월 세계자연유산 등재, 2010년 10월 세계지질공원 인증을 받으며 지구촌 사상 최초의 유네스코 자연과학분야 트리플 크라운 달성'을 이루면서라고 해도 과언은 아니다(제민일보, 2013).

세계유산은 협약에 따라 세계유산위원회(World Heritage Committee Meeting)가 인류전체를 위해 보호되어야 할 현저한 보편적 가치가 있다고 인정한 유네스코 세계유산 열람표에 등록된 문화재로서 문화유산, 자연유산, 복합유산으로 나누어진다. 문화유산에는 유적, 건축물, 장소가 포함되며, 자연유산에는 생물학적 생성물로 이루어진 자연형태, 자연학적 지문학적 생성물 및 동식물, 자연지역 등이 포함된다. 복합 유산은 문화유산과 자연유산의 특징을 동시에 충족하는 유산을 의미한다(김세미, 2013).

세계자연유산은 등재로 모든 것이 끝나는 것은 아니다. 철저한 보전과 관리가 이루어지지 않으면 '위험유산' 목록에 오르거나 등재 자체가 취소될 수도 있다(최돈원, 2007). 이처럼 유네스코 지정과 인증이 되면 영원히 지속되는 것이 아니라 일정기간(생물권 보전지역 10년, 세계자연유산 6년, 세계지질공원 4년) 이후 재평가 또는 재심사를 거쳐야 한다(정승훈, 2011). 세계유산의 보호와 관리는 등재될 당시의 뛰어난 보편적 가치와 완전성의 조건이 미래에도 유지되고 또는 증진되도록 하는 것을 목표로 삼고 있다(조도순, 2007). 따라서 세계자연유산을 지속적으로 이어나가기 위해서는 우리가 가진 유산을 보전하고 관리하는 노력이 필요

하며, 이를 위해 지형, 지질, 기후, 동·식물 등 다양한 분야에서 학술적인 기초 연구자료 구축이 필요하다고 생각된다.

이에 본 연구는 세계자연유산지구인 거문오름일대를 대상으로 자연림과 조림지, 능선 탐방로 지역과 분화구 탐방로 지역의 토양특성을 파악하고자 수행하였다. 따라서 본 연구를 통하여 거문오름일대의 자연적인 곳과 인위적인 조성된 곳의 토양특성을 비교 분석하여 학술적 자료를 제공하는 데 목적이 있으며 거문오름일대의 보전 및 관리를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 연구 동향 및 이론적 배경

제주도는 신생대에 형성된 한반도의 남쪽에 위치한 화산섬으로 면적은 약 1,825km<sup>2</sup>에 달한다. 최근 환경 개발과 환경 보전이라는 서로 다른 관점에 따른 문제들이 세계 곳곳에서 나타나고 있는 실정이다. 제주에서도 한라산 케이블카, 제주 해군기지 등 개발과 보전의 논리에서 갈등을 빚고 있으며 가장 중요한 것은 제주도의 자연 환경을 있는 그대로 보전·관리 하는 것이라고 할 수 있다.

세계자연유산위원회에서도 이러한 맥락에서 제주도의 유산을 탁월한 보편적 가치를 지닌 것으로 인정하여 세계적으로 보전·관리하기 위하여 세계자연유산으로 등재한 것이라고 하겠다. 거문오름용암동굴계는 한라산 천연보호구역, 성산 일출봉과 함께 2007년 제31차 세계유산위원회에서 ‘제주 화산섬과 용암동굴’이라는 이름으로 세계자연유산에 등재되었다. 이는 제주도의 아름다움과 학술적 가치가 세계적으로도 인정받고 있다는 것을 말해준다.

허 권(2007)은 각국과 지자체들의 세계유산 등재로 인한 경제적, 정치적 이익에 대한 관심은 증가하는 반면, 체계적이고 지속적인 세계유산 관리는 소홀해지고 있는 실정이라고 보고하였다. 위서연(2015)은 영국의 ‘그레이트 자이언트 코즈웨이’와 한국의 ‘제주도 화산섬 및 용암동굴’은 인간의 거주지와 인접해 있어 관광지로 개발되어 많은 훼손의 우려가 있다고 보고하였다. 임종덕(2011)은 국가와 제주특별자치도는 이미 지정된 세계자연유산 지역에 대한 장기적인 안목을 가지고 보전방안을 철저히 세우고, 모니터링과 관리에 만전을 기하여야 한다고 밝혔다. 이와 같이 세계자연유산은 세계유산으로서의 가치를 잃게 되면 동시에 세계유산으로서의 지위도 박탈되게 되므로 철저한 보전과 지속적인 관리로 후손에게 물려주어야 한다.

제주도의 지질에 관한 연구로는 지형분석 결과를 기초로 지질도가 발간이 되었다(농업진흥공사, 1971; 한국농어촌공사, 2006; 원종관 등, 1993; 박기화 등 1998). 안웅산 등(2008, 2009)의 보고에 의하면 거문오름용암동굴계를 형성한 용암의 근원지인 거문오름은 용암동굴계의 형성과정과 시기 등의 형성사 전반을 이해할 수 있는 곳이라고 하였다.

거문오름은 2005년 1월에 천연기념물 제444호로 지정되었으며, 2007년 6월에

는 유네스코 세계자연유산지구로 등재되었다. 오름은 기생화산을 뜻하는 제주어로서 현무암질 화산활동에 수반된 분석구를 의미한다. 오제호(2010)의 보고에 의하면 오름은 전문 용어로 측화산(lateral volcano)을 뜻하며, 한라산 산록에서 해안에 이르기까지 주로 일운회성 주기의 분화 활동에 의해 형성된 단성화산을 의미한다. 이것은 거대한 방패 모양의 순상화산이나, 화산분출물이 겹겹이 쌓인 원추 모양의 성층화산처럼 대규모의 주화산이 형성될 때, 그 산록의 지각의 틈을 따라 용암이 분출되거나 폭발식 분화에 의해서 형성되는 것이라고 하였다.

거문오름의 정상부는 해발 456 m이며 정상에는 깊게 패인 화구가 있다. 그 안에는 작은 봉우리(알오름)가 있으며 북동쪽 방향으로 트인 말굽형 분석구의 형태를 보이며 이 방향을 따라서 해안지역에 이르기까지 흘러가면서 용암동굴군이 형성된 것으로 알려져 있다(한라일보사, 2009). 거문오름용암동굴계에 속하는 용암동굴은 거문오름 경사면을 따라 선흘수직동굴, 뽕뒤굴, 웃산전굴, 북오름굴, 대립동굴, 만장굴, 김녕굴, 용천동굴, 당처물동굴 등이 있다(한라일보사, 2009). 하지만 거문오름용암동굴계의 기원지와 형성시기에 대해서는 학자들 간의 이견이 남아있다(안용산 등, 2008, 2009).

한국지질환경연구소(2011)는 제주 거문오름 종합학술조사를 통해서 거문오름 일원의 지질, 선흘리수직동굴의 동굴생물, 동물상, 역사·문화 조사를 실시한바 있다. 세계자연유산 등재 후 거문오름용암동굴계에 대한 학술연구가 활발히 진행되고 논문들이 발표되고 있지만 최근까지 거문오름용암동굴계에 대한 토양학적 특성에 대한 논문은 찾아보기가 힘든 실정이다.

송지호(2014)는 제주도의 자연에 관한 중요성과 관심이 증대한 것에 비하여 자연환경에 대한 연구는 많이 진행되지 않았다. 특히 식생분야에 있어서는 식물 분포와 종에 관한 연구가 주를 이루고 이마저도 한라산에 집중되어 있는 실정이라고 보고하였다. 문경환(2010)의 보고에 의하면 생물인자 중에서 중요한 자연식생은 기후의 영향을 가장 직접적으로 받아 기후 조건에 따라 식생의 종류가 결정된다. 매우 건조한 기후에서 습윤기후 조건으로 변화함에 따라 식생은 사막-건조초지-초지-삼림의 형태로 변하게 된다. 식생의 종류에 따라 토양에 공급되는 유기물의 양이 다르며, 토양의 침식 방지에 기여하는 정도가 다르다. 자연식생에 함유된 무기성분의 종류와 함량 또한 토양생성에 영향을 끼친다. 침엽수에는 칼

슘, 마그네슘, 칼륨 등과 같은 염기함량이 낮기 때문에 침엽수림에서 생성된 토양은 활엽수림에 비하여 산성으로 된다고 하였다.

제주도 정밀토양도에서는 제주도의 토양을 암갈색토, 농암갈색토, 흑색토 및 갈색산림토로 구분하였으며 관행적으로 현재까지도 널리 이용되고 있다. 이 중에서 암갈색토는 비화산회토이며 농암갈색토, 흑색토, 갈색산림토는 화산회토로 구분된다(농업기술연구소, 1976; 엄기태 등, 1978; 류순호와 송관철, 1984). 제주도 비화산회토는 육지부의 일반 토양과 비슷한 성질을 갖고 있으나 원칙적으로는 다르며, 화산회토는 인산을 고정하는 능력이 크며, 유기물함량이 높고 보수력과 통기성이 좋으며, 양이온교환용량이 높은 특성을 갖고 있다(류순호와 송관철, 1984).

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

거문오름은 행정구역상 제주특별자치도 제주시 조천읍 선흘리에 속한다. 거문오름에 대한 학자들의 어원적 해석은 ‘검은’은 신(神)이란 뜻으로 풀이하고 있으며 신령스럽다는 의미로 ‘신령스러운 산’을 뜻한다. 거문오름을 중심으로 그 주변에는 부대악, 부소악, 까끄래기오름, 우전제비, 웃밤오름, 사근이오름, 거친오름, 칩오름, 민오름 등 약 16개의 오름이 위치한다. 이 오름들은 일반적으로 초지대를 형성하는데 비해 거문오름의 주변식생은 오랜 기간동안 벌채, 화입, 개간 등으로 인하여 현재 2차림의 형태를 갖는 자연림으로 형성되어 있다(한라일보사, 2009). 거문오름 탐방로는 크게 정상 탐방로와 분화구 탐방로로 구분되며 일명 ‘태극길 탐방로’로 불리는 전체 탐방로는 약 10 km에 달한다(그림 1).

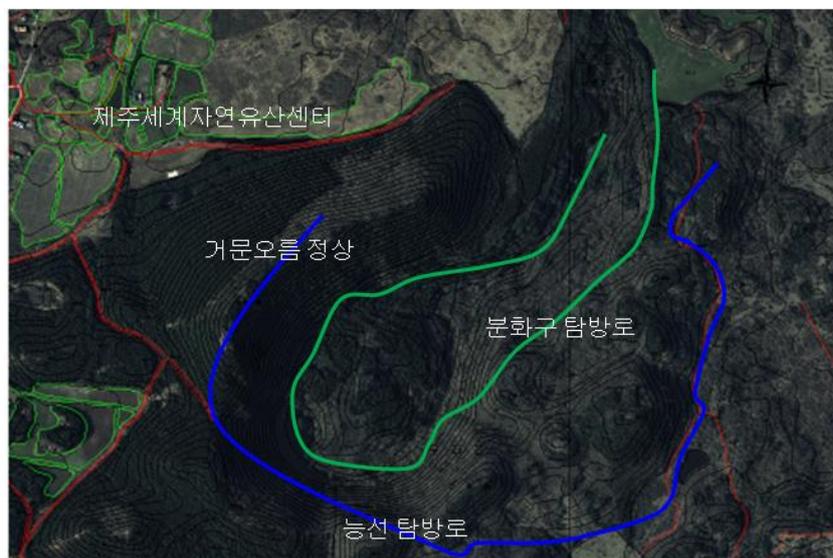


그림 1. 거문오름의 탐방로.(— : 능선 탐방로, — : 분화구 탐방로)

사진 출처 : 제주특별자치도 세계유산·한라산연구원

정상 탐방로는 약 1.8 km로 탐방로 입구에서 출발하여 전망대를 지나 탐방로 출구로 도착한다. 분화구 탐방로는 말 그대로 거문오름 분화구내를 탐방하는 코스로 용암협곡, 붓순나무 군락지, 알오름 전망대, 일본군 갱도진지, 솟가마터, 풍혈, 병참도로, 식나무 군락지를 볼 수 있다. 전체 탐방로는 탐방로 입구를 출발하여 제1용에서 제9용까지의 정상부의 능선을 탐방하면 분화구 탐방로와 겹치게 된다. 본 연구에서는 제1용에서 제9용까지를 능선 탐방로라 표현하고자 한다. 고정군 등(2011)의 보고에 의하면 거문오름의 식생은 크게 조림지, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림, 관목림 및 초지로 구분된다. 현존 식생유형별로 보면 조림지가 30.8%로 가장 높은 비율을 보였으며 삼나무 식재율이 가장 높았고 곰솔림과 편백나무림이 그 뒤를 이었다. 자연림에서는 낙엽활엽수림이 가장 높은 비율을 차지하였고 초지, 관목림, 상록활엽수림 순의 분포를 보인다고 하였다.

제주지방기상청(www.kma.go.kr)에서는 기상연월보와 방재기상관측장비(AWS)를 이용한 방재기상연월보를 제공하고 있다. 연월보 자료를 참고하면 거문오름이 위치한 선흘리는 조사시기인 2010년부터 2012년까지의 3년간 평균기온은 13.1℃였으며, 평균강수량은 2,722 mm였다. 이와 같은 시기인 제주도(제주시와 서귀포시의 평균)의 2010년부터 2012년까지의 3년간 평균기온은 16.2℃였으며, 평균강수량은 2,064 mm였다. 따라서 거문오름은 기온이 약 3℃정도 낮고 강수량은 약 700 mm 이상 많은 지역임을 유추해 볼 수 있겠다(그림 2).

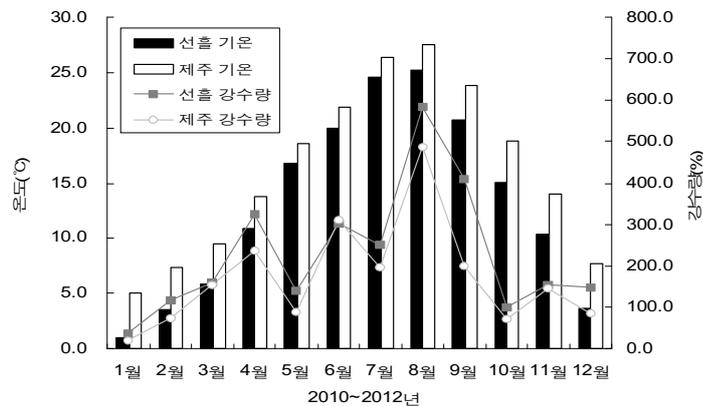


그림 2. 선흘과 제주의 기온 및 강수량 비교.

## 2. 시료채취

토양시료는 A 지역(식생분포 지역), B 지역(능선 탐방로 지역) 및 C 지역(분화구 탐방로 지역)을 대상으로 2010년 11월부터 12월과 2012년 11월부터 12월 사이에 채취하였다(그림 3, 그림 4, 그림 5, 그림 6). 거문오름 식생유형에 따른 시료채취는 2010년에 제주특별자치도 환경자원연구원 연구사업의 일환으로 토양시료 채취에 참여하였고, 거문오름 능선 및 분화구 탐방로 지역의 시료채취는 2012년에 제주특별자치도 한라산연구소에서 국가지정문화재 현상변경 허가를 받아 시료채취가 가능하게 되었다.

토양시료를 채취한 지점의 좌표와 해발고도는 표 1과 같다. 물리성을 측정하기 위한 토양시료는 100 cm<sup>3</sup> 스테인레스 원통을 이용하여 표토를 core sampler로 채취하였으며 수분이 날아가지 않도록 밀봉을 한 후 실내에서 분석하였다. 화학성을 측정하기 위한 토양시료는 낙엽층을 제거한 후에 층위를 고려하면서 표토(0~15 cm)와 심토(15~30 cm)로 나누어 물리성 시료를 채취한 동일지점에서 채취하였다. 고정균 등(2011)에 의하면 거문오름의 식생유형은 상록활엽수림, 낙엽활엽수림, 관목림, 삼나무림, 편백림, 곰솔림 및 초지로 구분할 수 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 자연적인 곳과 인위적으로 조성된 곳의 토양특성 차이를 비교하고자 첫째로, A지역을 자연림과 조림지로 구분하였고, 둘째로, B(능선 탐방로 지역)를 자연적인 지역과 C(분화구 탐방로 지역)를 인위적인 지역으로 구분하여 토양시료를 채취하였다.

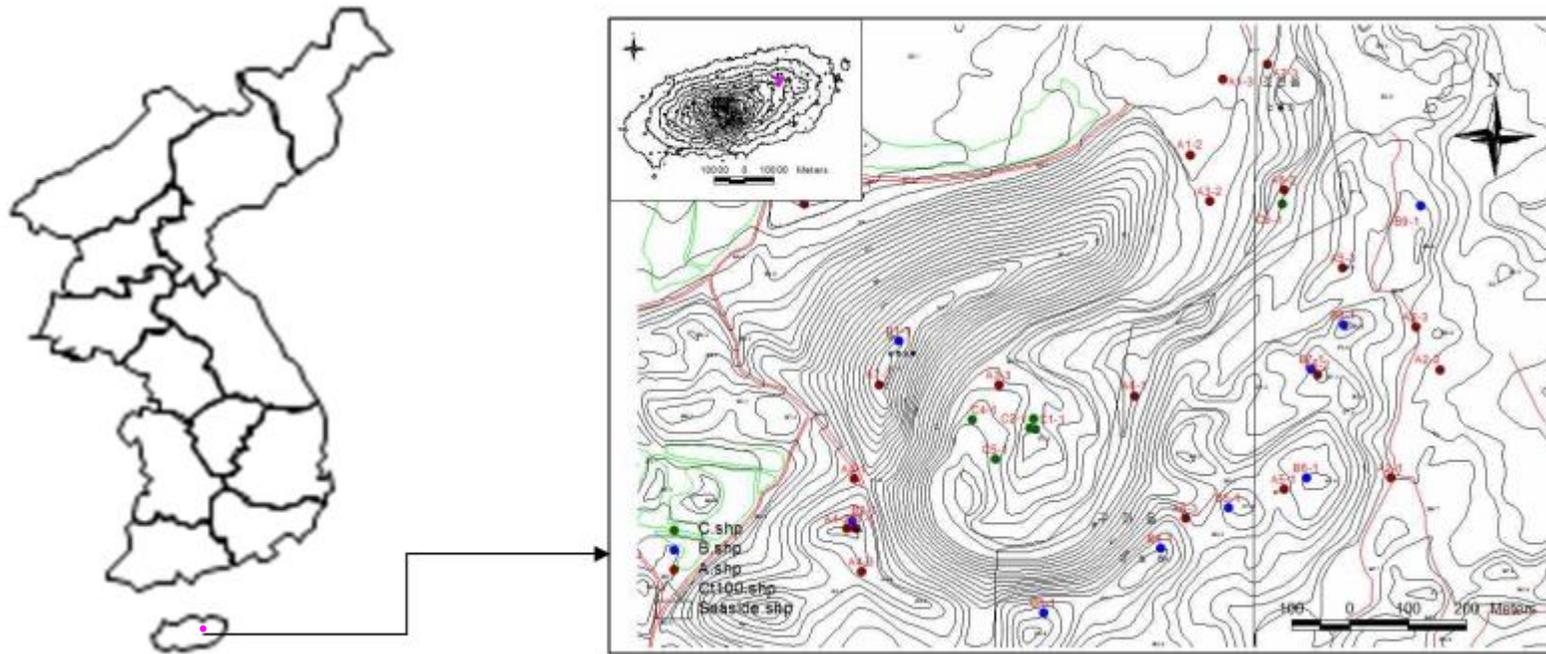


그림 3. 거문오름 토양시료 채취지점.

(● : 식생분포 지역, ● : 능선 탐방로 지역, ● : 분화구 탐방로 지역)



그림 4. 식생분포 지역 시료채취 및 연구대상지 전경



그림 5. 능선 탐방로 지역 시료채취 및 연구대상지 전경



그림 6. 분화구 탐방로 지역 시료채취 및 연구대상지 전경

표 1. 거문오름 토양시료 채취지점의 좌표와 해발고도

연번	표기	X-code	Y-code	해발고도	비 고
1	A1-1	173589	45692	342 m	초지 1
2	A1-2	174248	45775	376 m	초지 2
3	A1-3	174304	45903	366 m	초지 3
4	A2-1	174590	45229	325 m	관목림 1
5	A2-2	174675	45412	360 m	관목림 2
6	A2-3	174633	45484	365 m	관목림 3
7	A3-1	173684	45707	341 m	삼나무림 1
8	A3-2	174282	45697	368 m	삼나무림 2
9	A3-3	173922	45386	373 m	삼나무림 3
10	A4-1	173674	45228	429 m	편백나무림 1
11	A4-2	173662	45143	442 m	편백나무림 2
12	A4-3	173687	45070	439 m	편백나무림 3
13	A5-1	174409	45210	408 m	곰솔림 1
14	A5-2	174465	45403	384 m	곰솔림 2
15	A5-3	174509	45584	366 m	곰솔림 3
16	A6-1	174153	45368	283 m	낙엽활엽수림 1
17	A6-2	174409	45716	346 m	낙엽활엽수림 2
18	A6-3	174241	45161	403 m	낙엽활엽수림 3
19	A7-1	173677	45144	439 m	상록활엽수림 1
20	A7-2	173717	45387	435 m	상록활엽수림 2
21	A7-3	174380	45929	361 m	상록활엽수림 3
22	B1-1	173751	45460	457 m	1용
23	B2-1	173671	45157	431 m	2용
24	B3-1	173998	45001	440 m	3용
25	B4-1	174198	45110	420 m	4용
26	B5-1	174313	45178	411 m	5용
27	B6-1	174447	45229	415 m	6용
28	B7-1	174455	45413	392 m	7용
29	B8-1	174510	45487	393 m	8용
30	B9-1	174641	45689	371 m	9용
31	C1-1	173984	45312	358 m	깡도진지(내부)
32	C2-1	173974	45313	357 m	깡도진지(외부)
33	C3-1	173980	45329	362 m	숫가마터(흑색)
34	C4-1	173875	45327	360 m	숫가마터(적색)
35	C5-1	173916	45261	364 m	병참도로
36	C6-1	174406	45692	360 m	용암함몰구

거문오름의 식생분포 지역은 7개 임상별로 3지점씩 총 21점을 채취하였다.

초지 A1-1 지점인 경우 억새, 수크령과 같은 초지류가 대부분이었으며 고사리류가 분포하였다. 토양깊이는 50 cm 정도로 토색은 흑색이었으며 토양층위 구별이 힘들었다. 초지 A1-2 지점은 토양깊이가 30 cm 정도로 낮았으며 A층과 B층 층위 구별이 명확하였으나 물리성을 위한 시료채취 시 시료캔이 잘 들어가지 않았다. 초지 A1-2 지점의 토색은 초지 A1-1과 달리 A층에서는 흑색을 나타냈으나 B층에서는 짙은 갈색을 보였다. 초지 A1-3 지점은 억새와 수크령이 대부분을 차지하였고 하부식생은 쭉, 짚레 등이 분포하였다. 토색은 초지 A1-2와 마찬가지로 A층에서는 흑색, B층에서는 짙은 갈색을 보였다.

관목림 A2-1 지점은 짚레, 억새 등이 어루어져 있었고 주변에 곰솔이 분포하였다. 자연적으로 생성된 토양단면을 확인할 수 있었는데 토양 깊이가 120 cm 정도였다. 이 지점은 인위적인 훼손이 있었던 것 같았으며 물리성 샘플링이 힘들었고 토색은 흑색으로 A층과 B층의 구별이 힘들었다. 관목림 A2-2 지점은 쥐똥나무, 억새 등이 분포하였으며 하부식생은 고사리류가 분포하였다. 관목림 A2-1 지점과 같이 물리성 샘플링이 힘들었으며 토양깊이도 100 cm 정도로 비슷하였다. 50 cm 깊이까지는 흑색을 보이다가 50 cm 이후 깊이부터는 짙은 갈색을 보였다. 관목림 A2-3 지점은 억새, 짚레 등이 분포하였으며 예전에 통로수단으로 차량이 지나다녔던 것처럼 보였다. 토양 깊이는 30 cm 정도로 물리성 샘플링이 힘들었으며 A층은 흑색, B층은 짙은 갈색을 나타냈다.

삼나무림 A3-1 지점은 삼나무 단일수종으로 조림된 지역으로 주변에 간벌이 이루어져 있었다. 주변에 산수국 등이 분포하였으며 물리성 샘플링이 힘들었다. A층은 흑색을 띠며 약 7 cm 정도였으나 토심이 깊을 것 같았다. 삼나무림 A3-2 지점은 하부식생이 거의 없었으며 삼나무 단일수종이었다. A층은 흑색으로 15 cm 정도였으며 표층에는 삼나무 가지들이 널려 있었으며 하부식생은 보이지 않았다. 삼나무림 A3-3 지점은 누리장나무 등이 분포하였으며 삼나무를 강도 간벌한 지역이었다. A층은 흑색으로 약 7 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색을 띠었다.

편백나무림 A4-1 지점은 용암협곡 옆에 위치해 있었으며 간벌한 흔적을 찾아볼 수 있었다. 표층은 편백나무 잎으로 쌓여 있었으며 A층은 흑색으로 15 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 15~55 cm였다. 편백나무림 A4-2 지점은 고추나

무 등이 분포하였으며 주변에 간벌 흔적을 찾아볼 수 있었다. 표층은 A4-1 지점과 마찬가지로 편백나무 잎으로 쌓여 있었다. A층은 흑색으로 25 cm 정도였으며 B층은 붉은 갈색으로 25~40 cm였다. 편백나무림 A4-3 지점은 편백나무 군락지였으며 초피나무 등이 분포하였다. 표층은 편백나무 잎으로 쌓여 있었으며 주변으로 간벌 흔적이 보였다. A층은 진한 갈색으로 10 cm 정도였으며 B층은 옅은 갈색으로 10~30 cm였다.

곰솔림 A5-1 지점은 곰솔림과 낙엽활엽수림이 혼재되어 있었으며 표층은 솔잎으로 덮여 있었다. A층은 흑색으로 7 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 7~25 cm로 토색이 명확히 구분되었다. 25~35 cm 깊이에는 붉은색을 띠는 모재층이 존재하였다. 토양시료 채취가 용이하였으며 잔뿌리가 많이 있었다. 곰솔림 A5-2 지점도 곰솔이 주를 이루었으며 곳곳에 낙엽수가 존재하였다. A층은 흑색으로 7 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 7~35 cm로 토색이 명확히 구분되지 않았다. 곰솔림 A5-3 지점도 다른 곰솔림과 비슷한 식생유형을 보였다. A층은 흑색으로 7 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 7~35 cm로 토색이 명확히 구분되었다. 토양 깊이 35 cm 밑으로 모재층이 존재하였으며 다른 곰솔림보다 시료채취가 힘들었다.

낙엽활엽수림 A6-1 지점은 거문오름 분화구 안에 있었으며 상산, 단풍나무 등이 분포하였다. 토양시료 채취시 낙엽층이 잘 견어졌으며 유기물이 많이 보이는 않았다. A층은 흑색으로 15 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 15~35 cm로 토색이 명확히 구분되지 않았다. 낙엽활엽수림 A6-2 지점은 초피나무, 상산 등이 분포하였으며 낙엽층 사이로 미생물의 균사 같은 것을 발견할 수 있었다. A층은 짙은 갈색으로 7 cm 정도였으며 B층은 밝은 갈색으로 7~40 cm로 토색이 명확히 구분되었다. 낙엽활엽수림 A6-3 지점은 곳곳에 쓰러져 있는 나무가 보였으며 전형적인 낙엽활엽수림대였다. A층은 흑색으로 20 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 20~35 cm로 토색이 명확히 구분되었고, 토양시료 채취가 용이하였다.

상록활엽수림 지역은 구실갯밤나무, 붉가시나무 등이 분포하였다. A7-1 지점은 토양시료 채취할 곳이 마땅치 않아서 약간의 경사가 있는 곳에서 시료를 채취하였다. 토층위로 낙엽이 쌓여 있었으며 토심은 약 40 cm 정도였고 토색이 명

확히 구분되지 않아 A층과 B층을 구별하기가 힘들었다. 상록활엽수림 A7-2 지점은 토층위로 낙엽이 쌓여 있었으며 A층은 흑색으로 약 40 cm 정도로 깊었다. B층은 밝은 갈색으로 40 cm 깊이에서 토색이 구별되는 것을 확인할 수 있었다. 나무뿌리가 많았으나 비교적 시료채취가 용이하였다. 상록활엽수림 A7-3 지점은 주변에 암반 및 나무뿌리 노출이 많았다. 다른 상록활엽수림에 비해 낙엽이 많이 쌓였으며 약 5 cm 정도였다. A층은 흑색으로 11 cm 정도였으며 B층은 짙은 갈색으로 11~20 cm였다.

거문오름의 능선 탐방로 지역은 9개 지점에서 총 18점을 채취하였다.

능선 탐방로는 제1용에서부터 제9용에 이르기까지 안내 표지판을 중심으로 그 주변에서 토양시료를 채취하였으며 탐방객이 걸어다니는 등반로에서 벗어나 인위적인 훼손이 없는 곳을 선택해서 시료를 채취하였다.

거문오름의 분화구 탐방로 지역은 6개 지점에서 총 10점을 채취하였다.

분화구 탐방로 지역은 문화유적을 중심으로 시료를 채취하려고 하였으며 동굴 내부 등 시료채취가 불가능한 지역은 제외시켰다. 분화구 탐방로에서 토양시료를 채취한 곳은 일본군 갱도진지, 솟가마터, 병참도로, 용암함몰구 식생지였다. 일본군 갱도진지는 거문오름 내에 10여개가 있는 것으로 알려져 있으나, 갱도진지 내부와 외부에서 심토 채취가 불가하여 표토만을 채취하였다. 제주도민의 삶의 흔적을 찾아볼 수 있는 솟가마터에서는 토색이 흑색을 띠는 곳과 적색을 띠는 곳이 있기에 각각 시료를 채취하였다. 병참도로는 일본군이 군수물자를 수송하기 위하여 이용되었던 지역으로 일제강점기 당시 일본군이 주둔하였으며 인위적인 훼손이 가능했으리라고 유추해 볼 수 있겠다. 용암함몰구 지역은 수직으로 함몰된 용암함몰구가 있으며 연중 일정한 온습도가 유지되어 겨울에도 울창한 숲을 유지하는 독특한 식생을 구성한다고 알려져 있다(고정군 등, 2011).

### 3. 분석방법

#### 1) 토양의 물리성 분석

토양의 이화학적 성질은 농촌진흥청 토양분석법(농촌진흥청, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양의 물리적 성질 분석은 용적밀도(bulk density)는 core법, 입자밀도(particle density)는 pycnometer method 원리를 응용하여 100 mL vol. flask를 이용하여 측정하였다. 공극률(Porosity)은 용적밀도와 입자밀도를 이용하여 구하였으며, 투수계수(hydraulic conductivity)는 100 cm<sup>3</sup>의 core sampler로 투수속도 측정기(DAIKI Co. Ltd.)를 사용하여 정수위법으로 측정하였다. 입도분석은 풍건 토양 10 g을 정량하여 500 mL tall beaker에 담은 후 증류수를 300 mL씩 가하고 30% 과산화수소를 25 mL씩 가한 뒤 90℃로 가열된 전열판 위에서 유기물을 분해하였다. 과산화수소 분해가 끝나면 원심분리병에 분산제 5% sodium hexametaphosphate 10 mL를 가한 후 약 18시간 정도를 진탕시키면서 완전히 분산시켰다. 이후 pipette법과 체분석을 이용하여 측정하였다.

#### 2) 토양의 화학성 분석

토양의 화학적 성질 분석은 채취한 시료를 풍건시킨 후 2 mm 체에 통과된 토양시료를 사용하였다. 토양 pH는 토양 : 증류수의 비를 1 : 5로 하여 토양 5 g에 증류수 25 mL를 첨가한 다음 진탕하여 pH meter(inoLab pH 730, Germany)를 이용하여 측정하였다. 전기전도도(electrical conductivity)는 pH를 측정하고 남은 여액을 conductivity meter(CM-11P TOA Electronics Ltd., Japan)를 이용하여 측정하였다. 유기물(organic matter)함량은 Walkley and Black법으로 분석하였고, 유효인산(available phosphate)은 Lancaster법으로 분광광도계(Genesis-5, USA)를 이용하여 분석하였다. 전질소(total nitrogen)함량은 토양시료를 황산으로 분해한 다음 Kjeldahl법으로 자동질소분석장치(Kjeltec analyzer unit, Foss, USA)를 이용하여 분석하였다. 치환성양이온(exchangeable cation)은 1N ammonium acetate(pH 7.0)용액을 토양 : 침출액의 비를 1 : 10으로 하여 토양 5

g에 1N ammonium acetate용액 50 mL를 가하여 30분간 진탕한 다음 여과하여 얻어진 여액을 원자흡광분광광도계(SpectraA 220 FS, Varian, Australia)를 이용하여 분석하였다. 양이온치환용량(cation exchange capacity)은 1 N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 포화하고 80% ethyl alcohol로 세척한 후 토양을 Kjeldahl 증류장치에 의해 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 함량을 정량하여 산출하였다.

### 3) 통계분석

통계분석은 이화학적 성질 결과에 따른 자연림과 조림지(그림 4), 능선 탐방로 지역인 자연적인 곳(그림 5)과 분화구 탐방로 지역인 인위적인 곳(그림 6)의 차이를 비교하고자 SPSS 18.0(PASW Statistics 18, IBM Industry Analytics Solutions)을 이용하여 유의성 검증을 실시하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 거문오름 조사지 토양의 물리적 성질

미국농무성(USDA)의 분류법에 의한 거문오름 조사지의 입도분석 결과 점토와 미사함량이 높게 나타났다(그림 7). 분화구 탐방로 지역은 토양시료의 부족으로 입도분석을 실시하지 못하였다. 조사지의 토성명은 식양토, 미사질식양토, 미사질식토, 미사질양토 등으로 분류되었다. 송관철 등(2008)은 제주도 화산회토는 주로 미사질양토 및 미사질식양토로서 미사함량이 높다 라고 보고한 바 있으며, 정진현 등(2002)은 제주도를 제외한 우리나라의 산림토양 대부분이 양토이며 제주도 토양은 미사질양토로 분류되었다고 보고한 바와 유사한 경향을 보였다.

식생분포 지역의 평균 점토, 미사, 모래함량은 각각 37%, 35% 및 28%였으며, 점토 및 미사는 35% 이상으로 함량이 높았다. 점토함량은 관목림에서 가장 높았으며, 미사함량은 낙엽활엽수림에서 가장 높았다. 평균 모래함량은 관목림에서 가장 높았으며, 낙엽활엽수림에서 가장 낮았다. 능선 탐방로 지역인 경우 평균 점토, 미사, 모래함량은 각각 31%, 53% 및 15%로 미사함량이 매우 높았으며 모래함량은 낮았다. 미사함량은 8용 지점에서 15%로 능선 탐방로에서 가장 낮았으며, 모래함량은 3용과 9용에서 10% 이하로 가장 낮았다. 점토함량은 미사함량이 가장 낮았던 8용에서 62%로 매우 높았다.

표 2. 식생분포 지역과 능선 탐방로 지역의 토성 및 토성명

시료채취 지점	모래	미사	점토	토성명
낙엽활엽수림1	31.6	30.9	37.5	식양토
낙엽활엽수림2	14.7	55.4	29.9	미사질식양토
낙엽활엽수림3	17.2	45.2	37.6	미사질식양토
초지1	35.4	29.3	35.3	식양토
초지2	27.1	45.1	27.8	식양토
초지3	26.4	32.0	41.7	식토
상록활엽수림1	30.2	26.1	43.6	식토
상록활엽수림2	27.3	46.6	26.0	양토
상록활엽수림3	12.1	46.1	41.8	미사질식토

표 2. 계속

시료채취 지점	모래	미사	점토	토성명
삼나무림1	35.0	25.1	39.9	식양토
삼나무림2	21.1	52.2	26.6	미사질양토
삼나무림3	29.6	29.5	40.9	식토
편백나무림1	41.3	22.8	35.9	식양토
편백나무림2	14.6	42.9	42.5	미사질식토
편백나무림3	29.1	32.5	38.4	식양토
관목림1	38.5	17.1	44.5	식토
관목림2	28.7	30.2	41.1	식토
관목림3	39.2	20.6	40.2	식토
곰솔림1	32.9	26.0	41.1	식토
곰솔림2	21.3	45.2	33.5	식양토
곰솔림3	34.6	26.1	39.3	식양토
1용	15.2	62.5	19.6	미사질양토
2용	13.6	70.6	15.7	미사질양토
3용	5.1	48.7	46.2	미사질식토
4용	10.8	74.7	14.5	미사질양토
5용	15.9	53.1	31.0	미사질식양토
6용	28.6	47.4	24.0	양토
7용	15.5	62.4	22.1	미사질양토
8용	22.8	15.1	62.1	식토
9용	6.6	46.8	46.6	미사질식토

토양의 용적밀도는 일정한 부피 안에 있는 고상의 건조중량을 말한다. 따라서 용적밀도가 크면 다져져 있거나 무거운 입자로 구성되어 치밀한 정도를 나타낸다(류순호, 2000). 화산회토의 대표적인 특성은 용적밀도가 매우 낮고 공극률이 높아서 토양침식에 대한 저항성이 낮다는 것이다(송관철 등, 2008). Soil Taxonomy에서는 용적밀도가  $0.90 \text{ g/cm}^3$  보다 낮은 토양을 화산회토인 Andisols로 분류하고 있다(USDA, 1990). 조사지의 용적밀도는  $0.32 \sim 0.71 \text{ g/cm}^3$  범위로 Soil Taxonomy에서의 화산회토 기준을 충족시켰다(그림 7). 평균 용적밀도는 식생분포 지역  $0.47 \text{ g/cm}^3$ , 능선 탐방로  $0.53 \text{ g/cm}^3$  및 분화구 탐방로  $0.42 \text{ g/cm}^3$ 로 능선 탐방로 지점에서 용적밀도가 가장 높았다. 정진현 등(2002)이 보고한 제주도 산림토양의 평균 용적밀도  $0.56 \text{ g/cm}^3$ 에 비해 다소 낮은 경향을 보였다.

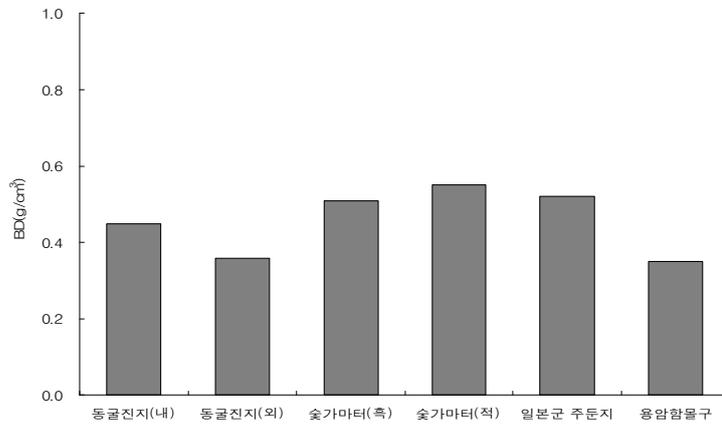
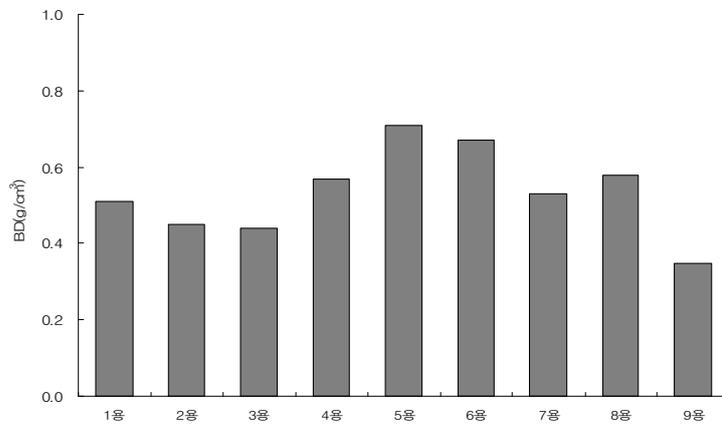
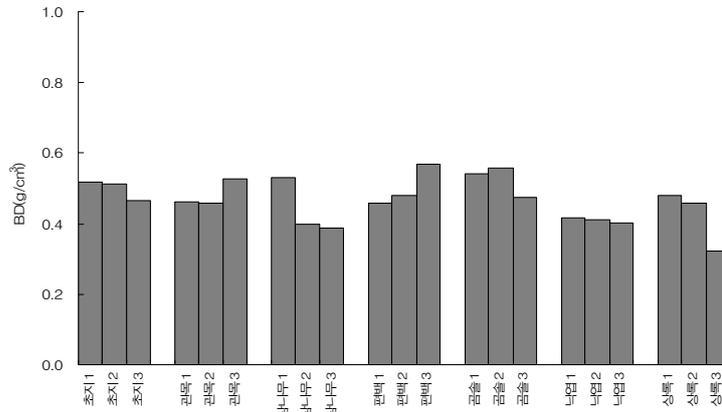


그림 7. 거문오름 조사지의 용적밀도

입자밀도는 토양입자 자체의 무게를 나타낸 것으로 일반적인 토양의 입자밀도는  $2.65 \text{ g/cm}^3$ 이다(조성진 등, 2001). 조사지의 입자밀도는  $1.46 \sim 2.31 \text{ g/cm}^3$  범위였다(그림 8). 평균 입자밀도는 식생분포 지역  $2.11 \text{ g/cm}^3$ , 능선 탐방로  $1.76 \text{ g/cm}^3$  및 분화구 탐방로  $1.90 \text{ g/cm}^3$ 로 식생분포 지역에서 입자밀도가 가장 높았다. 식생분포 지역인 경우 조림지인 편백나무림에서 평균 입자밀도가  $2.25 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 높았으며 대체적으로 조림지가 자연림보다 다소 높은 경향을 보였다. 능선 탐방로인 경우 입자밀도가  $1.70 \text{ g/cm}^3$  이상이었으나, 9용 지점에서는  $1.46 \text{ g/cm}^3$ 로 다소 낮은 경향을 보였다. 분화구 탐방로인 경우 갯도진지 내부, 토색이 흑색을 보이는 숯가마터, 병참도로에서 입자밀도가  $2.0 \text{ g/cm}^3$  이하로 낮았으며, 용암함몰구에서는  $1.89 \text{ g/cm}^3$ 였다. 정진현 등(2002)은 제주도 산림토양의 입자밀도를  $2.42 \text{ g/cm}^3$ 로 보고하였는데 이에 비해 큰 차이를 보였다.

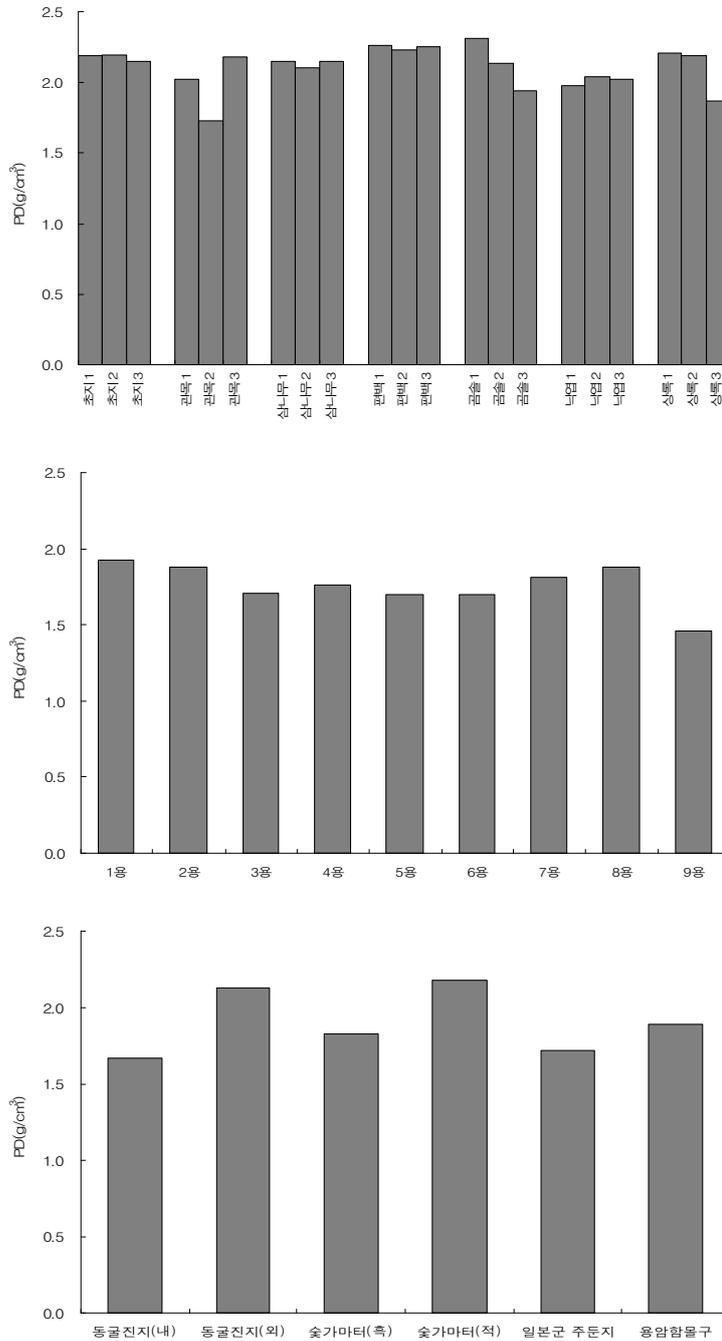


그림 8. 거문오름 조사지의 입자밀도

토양내의 공간을 의미하는 공극률은 일반토양에서는 대체적으로 50% 내외이지만 화산회토인 경우 70~80%의 범위를 나타낸다(류순호, 2000). 조사지의 공극률은 58 ~ 83% 범위였다(그림 9). 평균 공극률은 식생분포 지역 78%, 능선 탐방로 70% 및 분화구 탐방로 78%로 능선 탐방로 지역에서 공극률이 가장 낮았으며 용적밀도가 높아 공극률이 낮은 것으로 생각된다. 식생분포 지역인 경우 공극률은 76~80% 범위로 조림지와 자연림 사이에 차이가 없었다. 능선 탐방로인 경우 공극률은 58~76% 범위로 지점간에 차이가 컸으며 5용 58%, 6용 61%로 공극률이 가장 낮았다. 분화구 탐방로인 경우 공극률은 갯도진지 외부에서 83%로 가장 높았으며 갯도진지 내부는 73%로 10%의 공극률 차이를 보였다. 이와 같은 차이는 갯도진지 내부는 비교적 보전이 된 상태이지만 갯도진지 외부는 동식물과 미생물의 유체에 의한 유기물이 증가로 인한 차이로 생각된다.

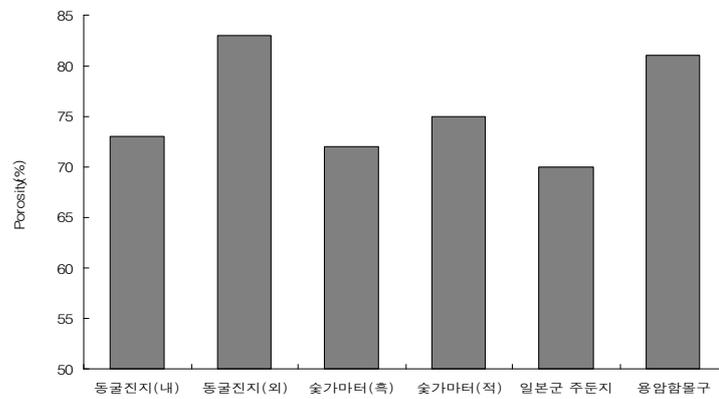
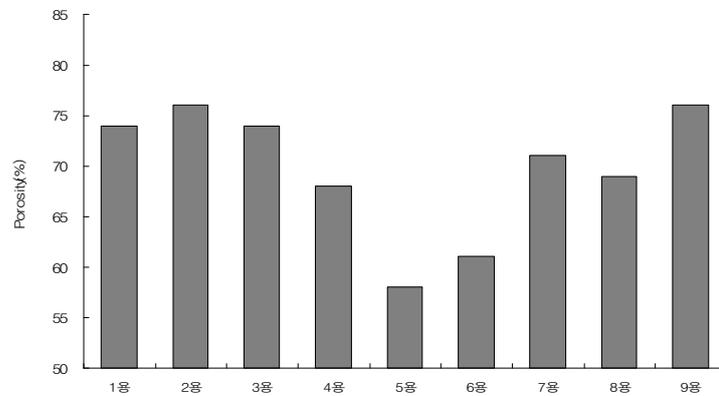
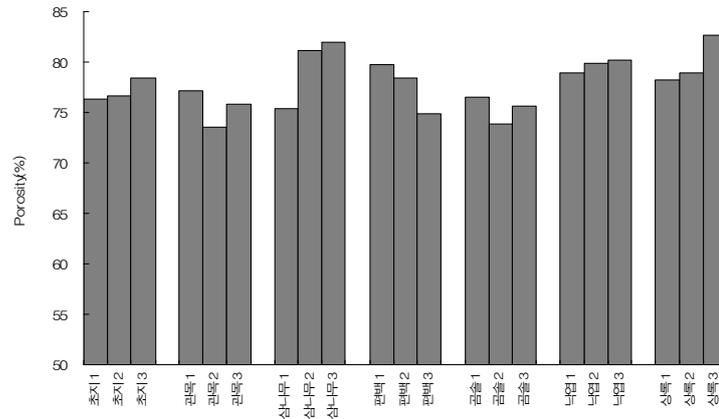


그림 9. 거문오름 조사지의 공극률

투수계수는 토양과 같은 다공성 매질의 투수성을 나타내며(류순호, 2000), 시간당 투수되는 거리(cm/h)로 나타내었다. 조사지의 투수계수는 2.4~4,586 cm/h 범위로 조사지점 간에 매우 큰 차이를 보였다(그림 10). 식생분포 지역인 경우 평균 투수계수는 38.8 cm/h, 능선 탐방로인 경우 854.7 cm/h 및 분화구 탐방로인 경우 413.2 cm/h였다. 특히 능선 탐방로인 2용에서 투수계수가 4,586 cm/h로 매우 빠른 투수속도를 나타내었으며 비가 오자마자 빠르게 스며들 수 있는 토양환경을 보였다. 반면에 5용과 6용의 투수계수는 각각 2.4 cm/h와 3.4 cm/h로 매우 느린 투수계수를 보였다.

본 연구결과 용적밀도와 투수계수와는 상관관계를 보이지 않았으나, 미사함량과 투수계수와의 상관계수는  $r=0.46^*$ 으로 유의한 정의 상관관계를 보였다. 점토함량과 투수계수와의 상관계수는  $r=-0.38^*$ 로 유의한 부의 상관관계를 보였다. 이는 점토함량이 많으면 투수계수가 낮아질 것이라는 예상과 일치하는 경향을 보였다. 또한 공극률과 투수계수와의 상관계수는  $r=0.34^*$ 으로 유의한 정의 상관관계를 보였다(그림 11). 공극은 토양내의 공간을 의미하므로 공극률이 높으면 물의 하향 침투가 빠르게 일어날 수 있는 토양조건을 가진 것으로 연구대상지인 거문오름의 토양환경을 유추해 볼 수 있겠다.

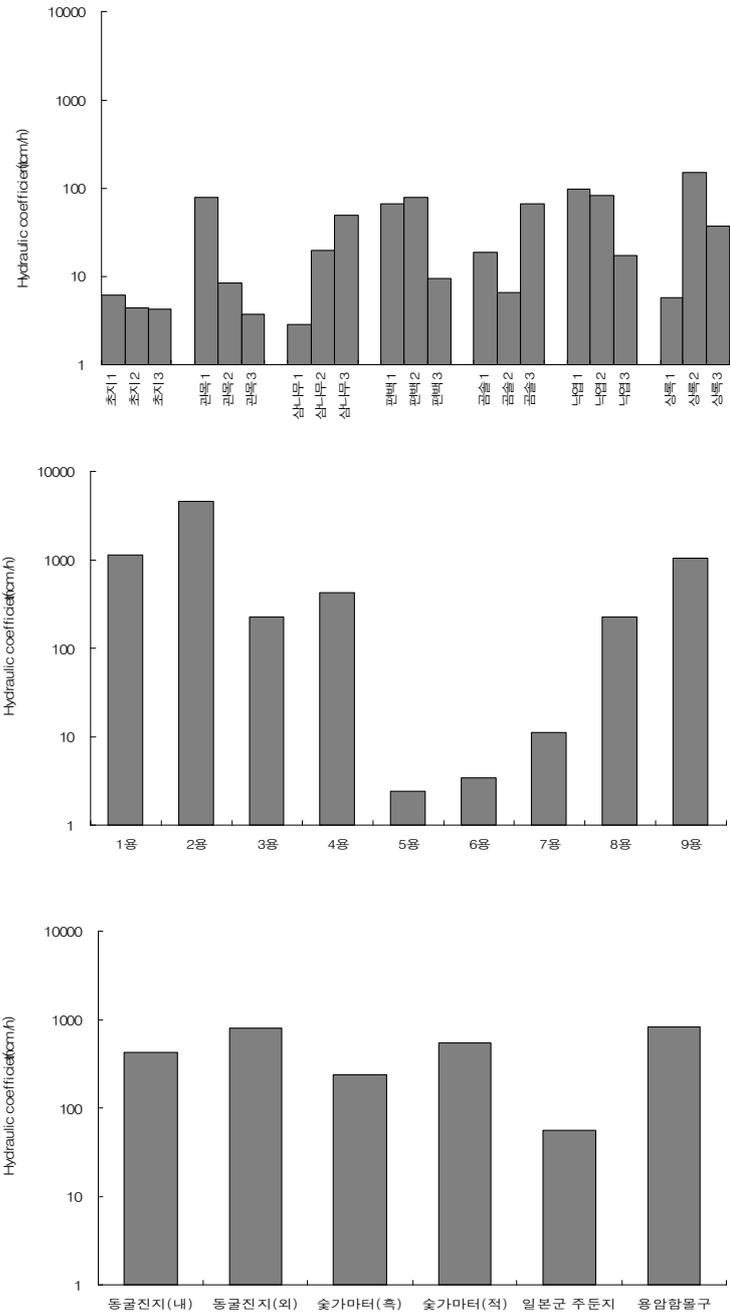


그림 10. 거문오름 조사지의 투수계수

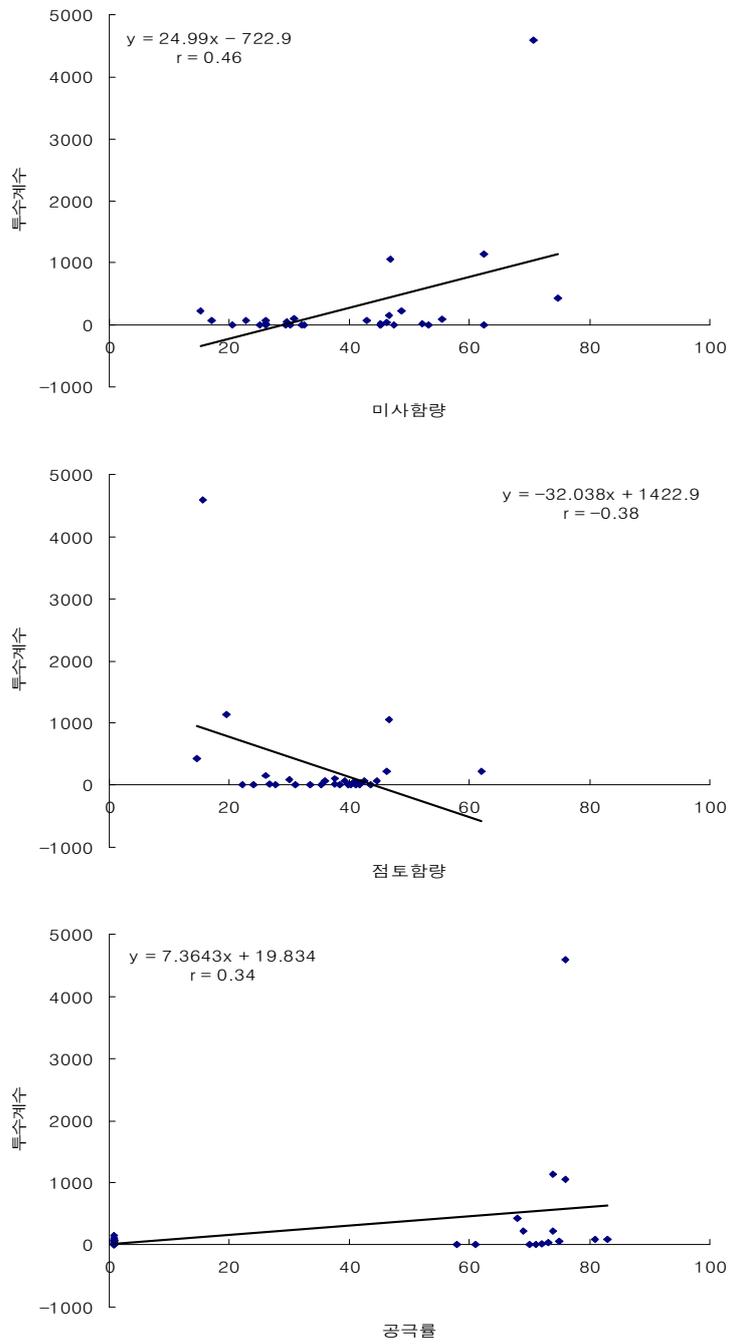


그림 11. 거문오름 조사지의 투수계수와 미사, 점토함량 및 공극률과의 상관관계.

토양삼상분포는 토양광물, 유기물 등의 고체가 차지하는 고상, 물이 차지하는 액상 및 공기가 차지하는 기상의 용적비를 나타낸 것이다(류순호, 2000). 미사와 점토가 조밀하게 형성된 토양은 대공극이 적고 소공극이 많기 때문에 고상률과 액상률은 높지만 기상률이 낮다. 또한 과습이 되기 쉬운 토양에서는 기상이 거의 없어 고상-액상의 2상계를 이룬다(류순호, 2000).

평균 토양삼상분포는 식생분포 지역인 경우 고상 17~26%, 액상 43~65% 및 기상 12~34% 범위였으며, 능선 탐방로인 경우 고상 24~42%, 액상 47~62% 및 기상 3~29%, 분화구 탐방로인 경우 고상 17~30%, 액상 36~58% 및 기상 15~39% 범위를 나타내었다. 투수계수가 가장 낮았던 능선 탐방로인 5용과 6용에서 기상률이 가장 낮았다(그림 12).

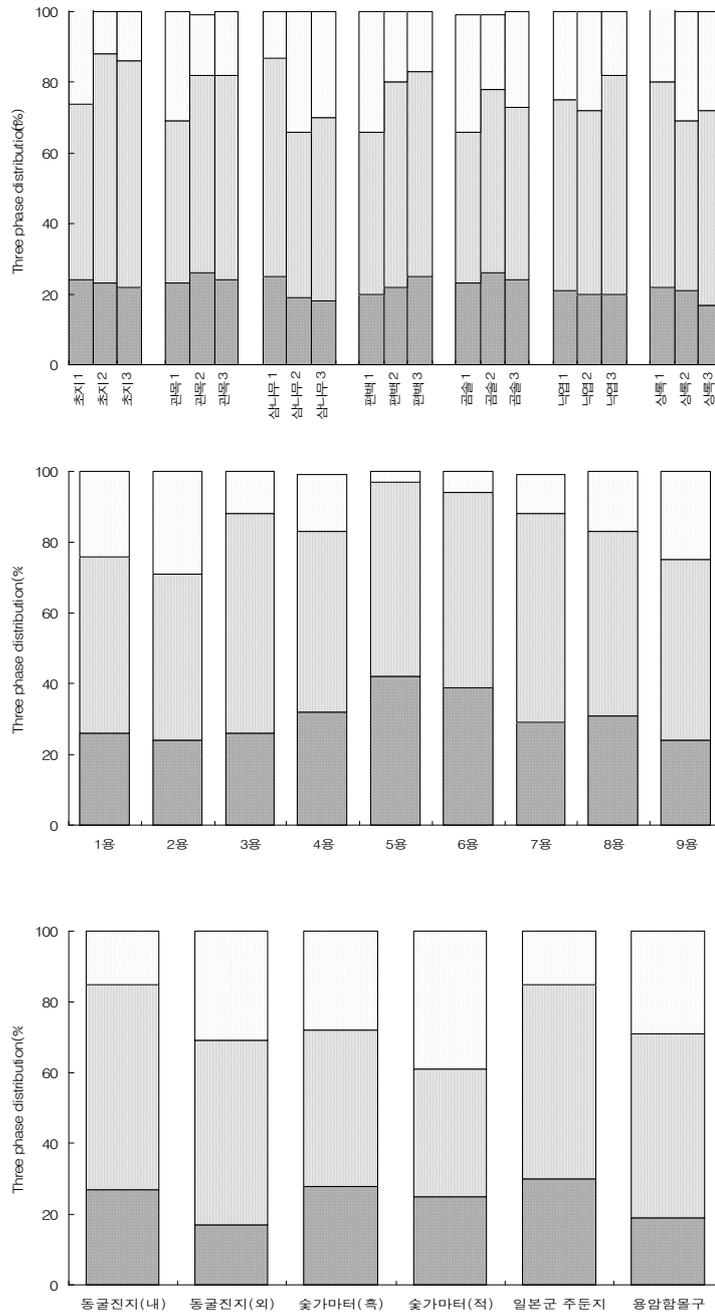


그림 12. 거문오름 조사지의 토양삼상분포

## 2. 거문오름 조사지 토양의 화학적 성질

거문오름 조사지의 표토와 심토의 토양 pH는 각각 5.4~6.2와 5.5~6.5 범위였다(그림 13). 식생분포 지역인 경우 평균 토양 pH는 표토 5.6, 심토 5.8로 표토보다 심토에서 토양 pH가 높아지는 일반적인 경향을 잘 나타내었다. 삼나무림, 편백나무림 및 곰솔림인 조림지에서의 평균 토양 pH는 표토 5.5, 심토 5.8이었으며, 초지, 관목림, 낙엽활엽수림 및 상록활엽수림인 자연림에서의 평균 토양 pH는 표토 5.7, 심토 5.9로 조림지와 자연림과의 토양 pH 차이는 크지 않았다.

능선 탐방로인 경우 평균 토양 pH는 표토와 심토가 5.9로 같은 수치를 보였으며 지점에 따라 심토보다 표토에서 토양 pH가 높아지는 현상을 보였다. 분화구 탐방로인 경우 평균 토양 pH는 표토 6.0, 심토 6.3으로 용암함몰구 지점을 제외하면 표토보다 심토에서 토양 pH가 높아졌다. 이수욱(1981)과 정진현 등(2002)은 우리나라 산림토양의 토양 pH를 5.5로 보고한 바 있는데 본 연구결과 높은 토양 pH를 보였으며 식생이 성장하기에 좋은 조건을 가졌다고 생각된다.

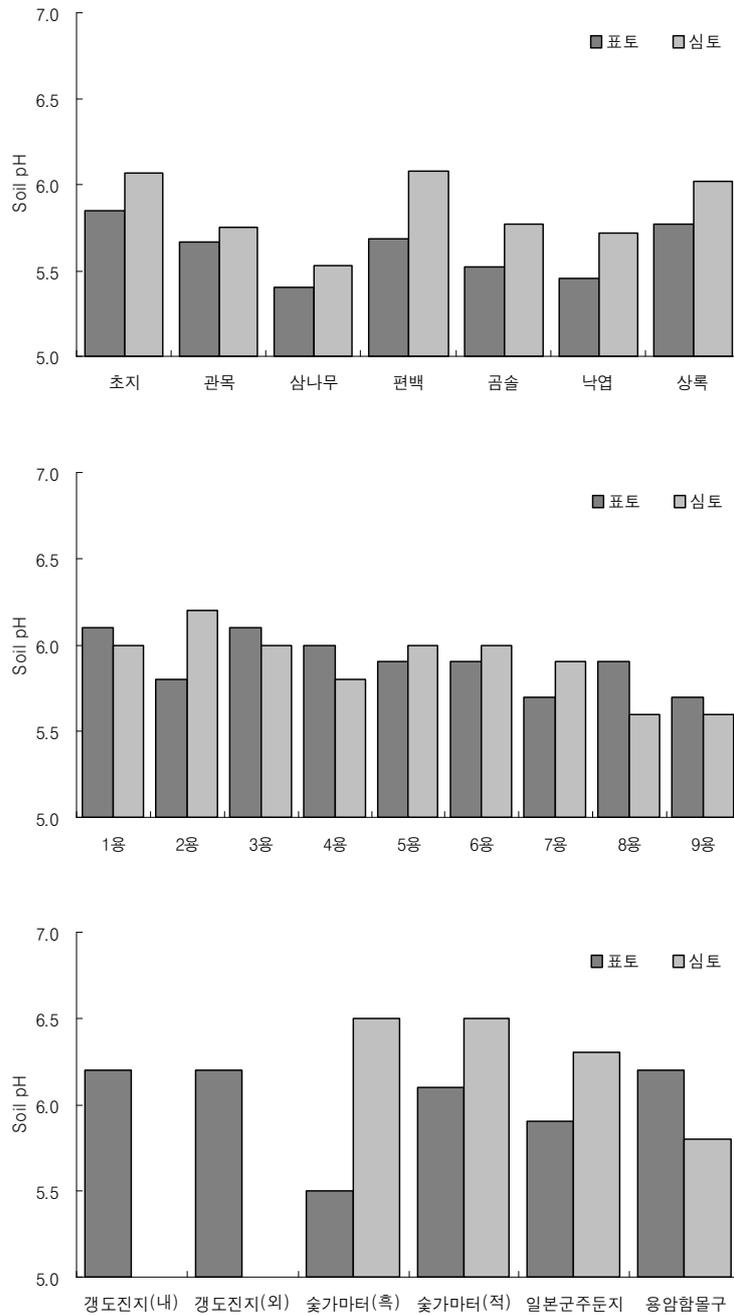


그림 13. 거문오름 조사지의 토양 pH

전기전도도는 용액 중 전해질 이온의 세기를 나타내며 대체적으로 염류농도에 비례한다. 따라서 전기전도도가 높으면 이온이 집적된 것을 의미하며 이는 염류 집적을 나타낸다(류순호, 2000). 전기전도도가 매우 높은 토양에서는 식물의 생육이 제한되는데 토양수분에 염류의 농도가 높아 식물에 의한 수분이용 효율이 떨어지기 때문이다. 전기전도도가 0~2 dS/m인 경우에는 염류피해가 낮으며, 4 dS/m 이상일 경우는 식물의 생육에 영향을 미칠 수 있는 기준값으로 보고 있다(류순호, 2000).

거문오름 조사지의 전기전도도는 표토와 심토에서 각각 0.14~0.69 dS/m와 0.14~0.65 dS/m 범위였다(그림 14). 식생분포 지역인 경우 평균 토양 pH는 표토 0.30 dS/m, 심토 0.21 dS/m로 표토가 심토보다 전기전도도가 높았다. 조림지에서의 평균 전기전도도는 표토 0.29 dS/m, 심토 0.18 dS/m이었으며, 자연림에서의 평균 전기전도도는 표토 0.31 dS/m, 심토 0.24 dS/m였다. 따라서 조림지와 자연림과의 전기전도도는 토양 pH와 마찬가지로 큰 차이가 없었다. 능선 탐방로인 경우 평균 전기전도도는 표토 0.29 dS/m, 심토 0.27 dS/m이었으며, 분화구 탐방로는 표토 0.36 dS/m, 심토 0.32 dS/m이었다. 본 연구결과 조사지의 전기전도도는 1.0 dS/m 이하로 식물생육에 대한 염류피해는 낮을 것으로 판단된다.

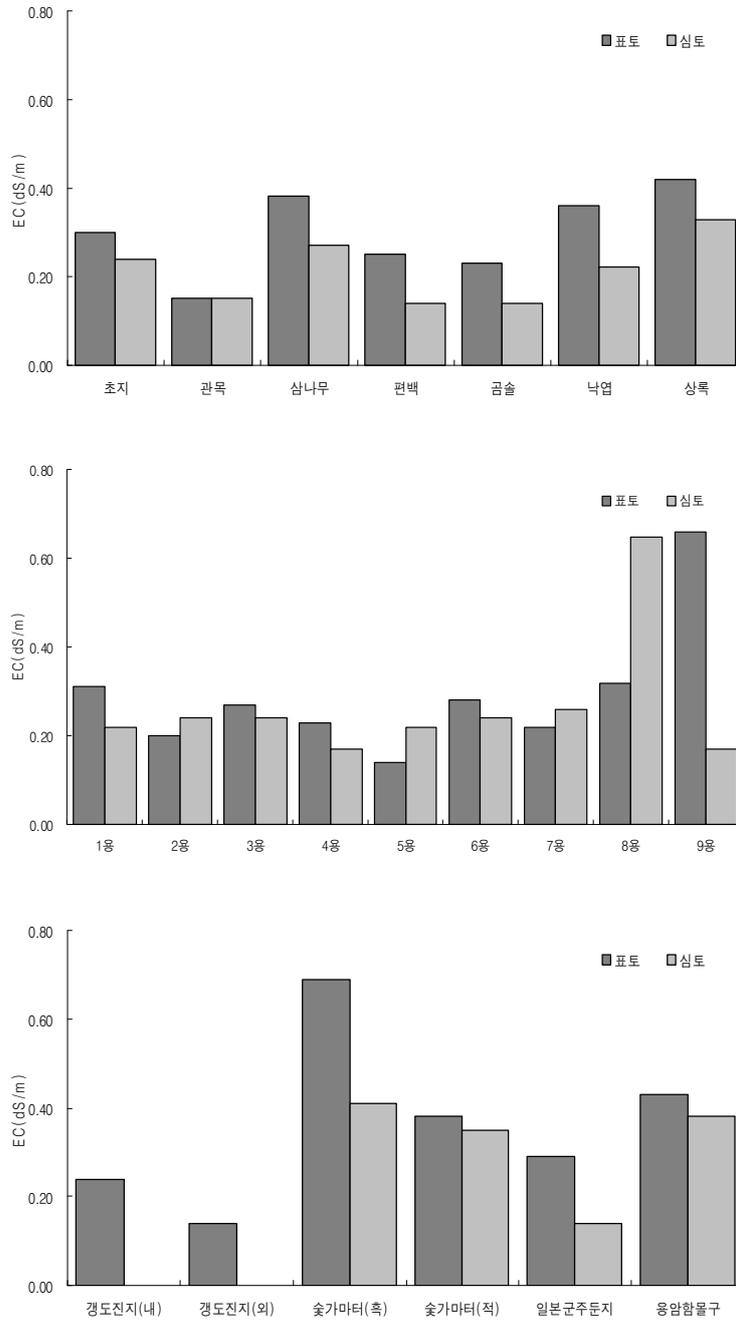


그림 14. 거문오름 조사지의 전기전도도

제주도 토양은 화산폭발시 분출된 화산재와 동식물의 유체로부터 유래된 유기물이 결합하여 생성되었는데 유기물이 다량으로 집적되어 있는 것이 화산회토의 대표적인 특징이다(송관철 등, 2008). 제주지역의 높은 유기물함량은 화산회를 모재로 하는 산림토양의 경우 표토층이 잘 발달되고, 토양침식에 안정된 토양 입단구조 때문인 것으로 알려져 있다(이수옥, 1981).

조사지의 유기물함량은 표토와 심토에서 각각 1.1~48.5%와 1.1~25.7% 범위였다(그림 15). 식생분포 지역인 경우 평균 유기물함량은 표토 17.5%, 심토 10.4%로 표토가 심토보다 높았다. 조림지에서의 평균 유기물함량은 표토 16.9%, 심토 9.4%였으며, 자연림에서는 표토 17.9%, 심토 11.2%로 조림지와 자연림과의 유기물함량 차이는 크지 않았다. 능선 탐방로인 경우 평균 유기물함량은 표토 13.8%, 심토 8.9%였으며, 6용을 제외하면 심토보다 표토에서 유기물함량이 높았다. 류순호·송관철(1984)에 의하면 제주도 토양은 전국 유기물함량 평균치인 2%에 비해 높다고 하였는데 능선 탐방로의 1용에서부터 6용까지는 유기물함량이 상당히 낮았다. 또한 분화구 탐방로인 경우 평균 유기물함량은 표토 2.1%, 심토 1.5%였다. 이와 같이 낮은 유기물함량의 원인은 인위적인 훼손에 의한 표토의 침식으로 입단구조가 파괴되었기 때문으로 생각된다.

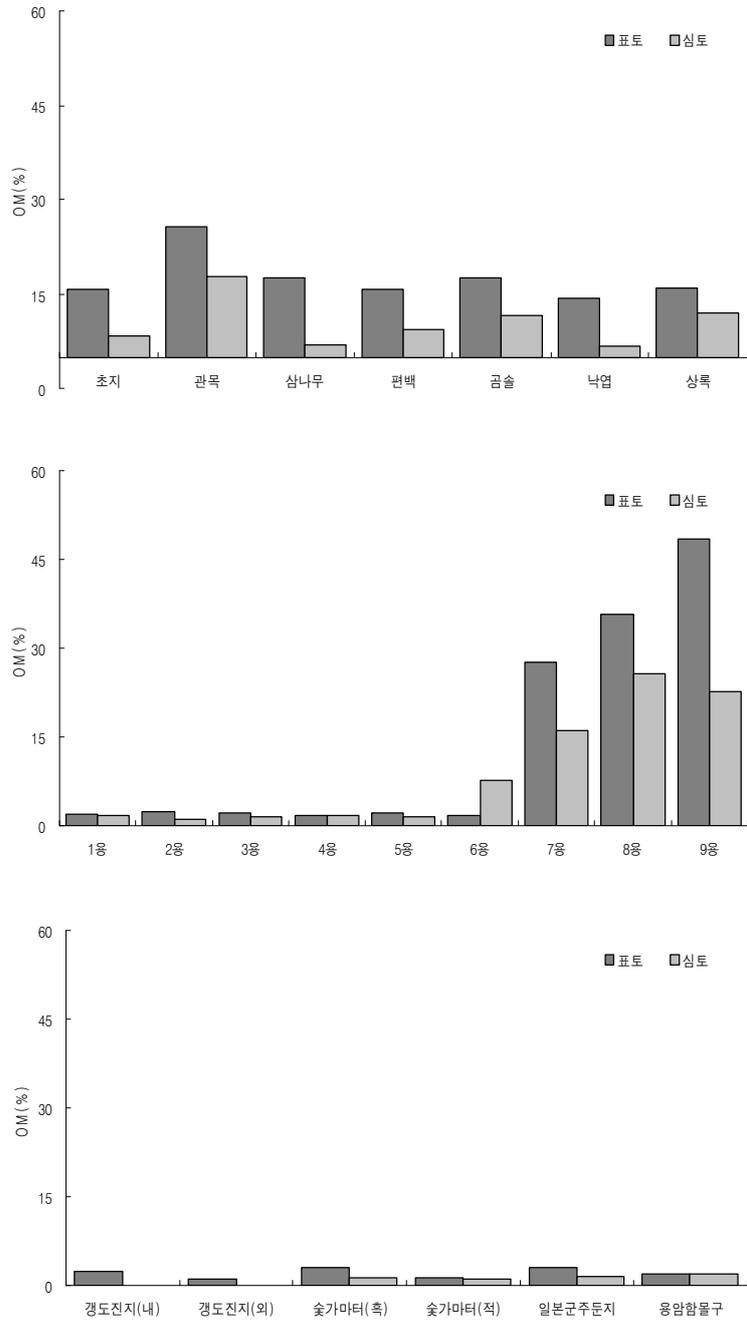


그림 15. 거문오름 조사지의 유기물함량

유효인산은 토양에 흡착된 인산을 약산으로 용출시킨 인산을 의미한다(류순호, 2000). 인산은 화산재가 함유된 화산회성 토양에서 강하게 흡착하여 고정시키는 능력이 매우 크다(류순호와 송관철, 1984). 따라서 화산회토양은 유효인산함량이 매우 낮아 토양비옥도가 낮은 원인으로 알려져 있으며 식물이 성장하는데 제한요소로 작용할 수 있다(송관철 등, 2008).

조사지의 유효인산함량은 표토와 심토에서 각각 1.8~64.4 mg/kg와 1.2~50.0 mg/kg 범위였다(그림 16). 식생분포 지역인 경우 평균 유효인산함량은 표토 7.1 mg/kg, 심토 3.2 mg/kg로 심토보다 표토에서 약 2배정도 높았다. 조림지에서의 평균 유효인산함량은 표토 6.9 mg/kg, 심토 3.0 mg/kg였으며, 자연림에서는 표토 7.2 mg/kg, 심토 3.4 mg/kg로 조림지와 자연림과의 유효인산함량은 차이가 없었다. 능선 탐방로인 경우 평균 유효인산함량은 표토 5.7 mg/kg, 심토 5.3 mg/kg로 차이가 없었으며, 9용을 제외하면 심토보다 표토에서 유효인산함량이 높은 경향을 나타내었다. 분화구 탐방로인 경우 평균 유기물함량은 표토 28.1%, 심토 19.6%였으며, 흑색을 띠는 숯가마터를 제외하면 능선 탐방로와 마찬가지로 심토보다 표토에서 유효인산함량이 높았다. 분화구 탐방로를 제외하면 본 연구결과는 정진현 등(2002)이 보고한 제주도 산림토양의 평균 유효인산함량 표토 27.4 mg/kg, 심토 17.2 mg/kg 보다도 약 4배 정도 낮았다.

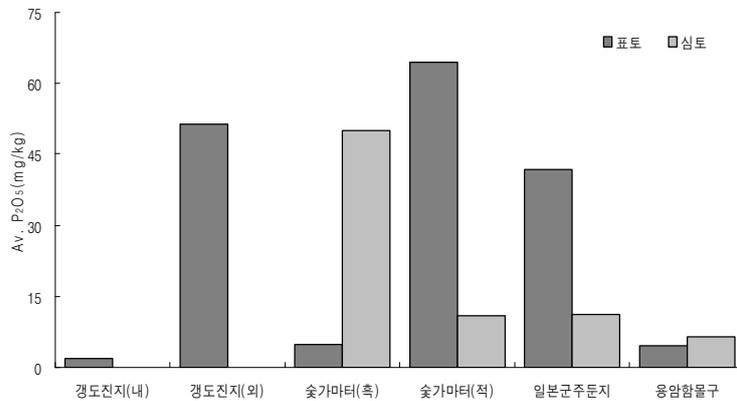
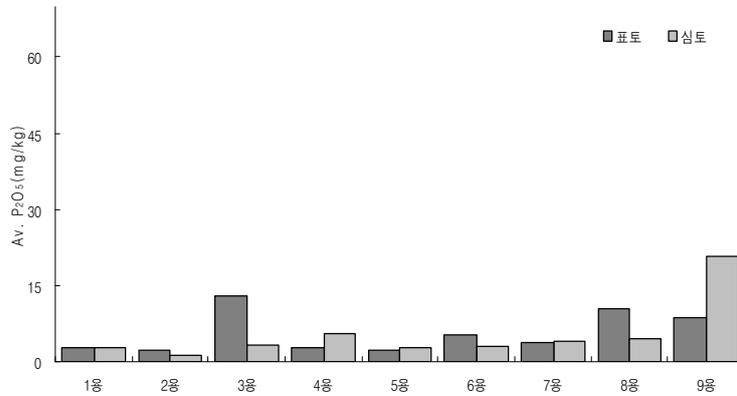
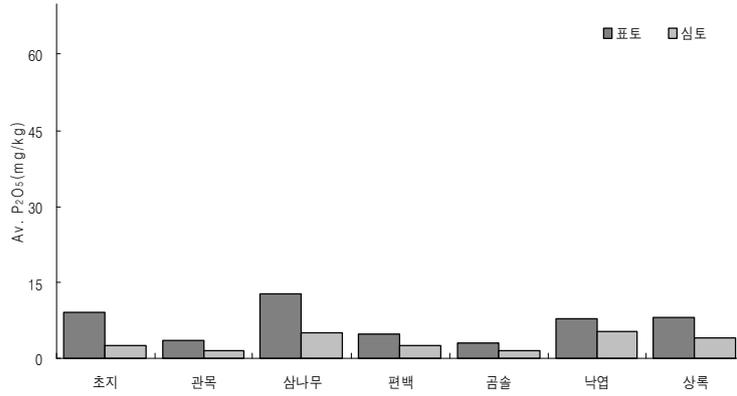


그림 16. 거문오름 조사지의 유효인산함량

조사지의 전질소함량은 표토와 심토에서 각각 0.02~1.44%와 0.02~0.96% 범위였다(그림 17). 식생분포 지역인 경우 평균 전질소함량은 표토 0.95%, 심토 0.55%로 심토보다 표토에서 약 2배 정도 높았다. 조림지에서의 평균 전질소함량은 표토 0.86%, 심토 0.42%였으며, 자연림에서는 표토 1.01%, 심토 0.64%로 조림지와 자연림과의 전질소함량은 자연림이 조림지보다 다소 높았다. 능선 탐방로인 경우 평균 전질소함량은 표토 1.09%, 심토 0.68%로 심토보다 표토에서 전질소함량이 높았다. 분화구 탐방로인 경우 평균 전질소함량은 표토와 심토가 0.03%로 같은 함량을 보였으나 그 함량이 매우 낮았다.

일반적으로 유기물함량이 높아지면 질소함량이 높아지는데 분화구 탐방로인 경우 유기물함량도 매우 낮아 전질소함량도 낮은 것으로 생각되지만 함량이 매우 낮은 원인에 대해서는 좀더 연구가 필요하겠다. 분화구 탐방로를 제외하면 본 연구결과는 정진현 등(2002)이 보고한 제주도 산림토양의 평균 전질소함량 표토 0.43%, 심토 0.25% 보다도 약 2배 이상 높았다.

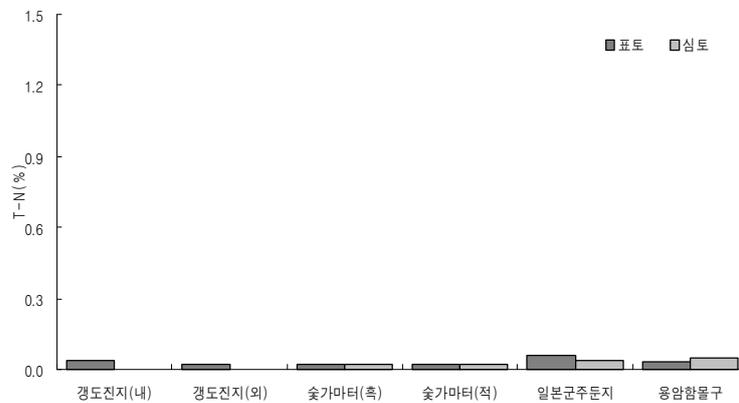
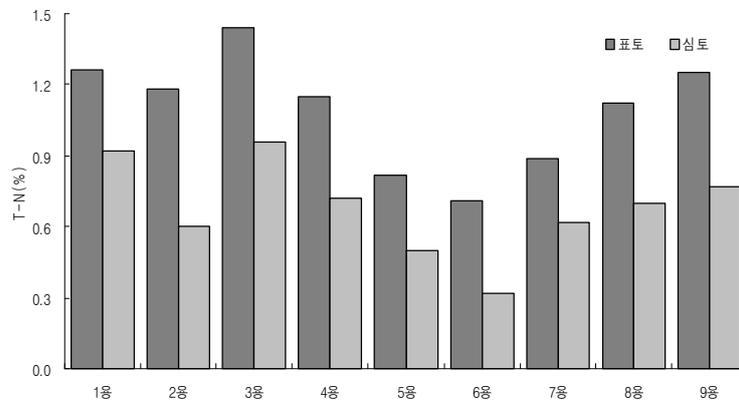
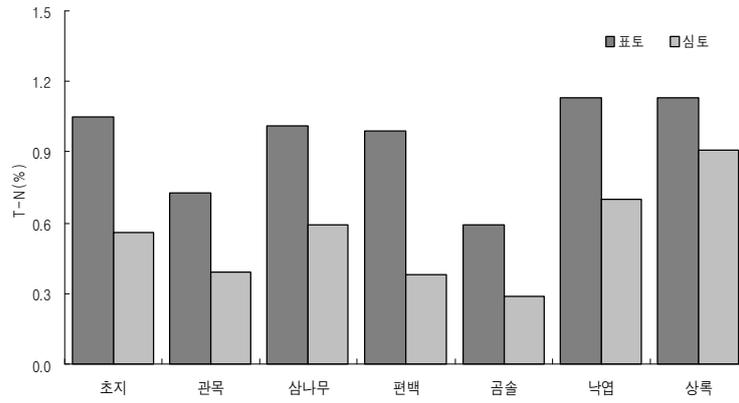


그림 17. 거문오름 조사지의 전질소함량

교환성 K는 표토와 심토에서 각각 0.10~0.87  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 0.05~0.63  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  범위였다(그림 18). 식생분포 지역인 경우 평균 교환성 K는 표토 0.18  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.09  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 심토보다 표토에서 2배 정도 높았다. 조림지에서의 평균 교환성 K 함량은 표토 0.16  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.08  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 였으며, 자연림에서는 표토 0.19  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.10  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 표토에서 심토보다 약 2배 정도 높았다. 조림지와 자연림과의 교환성 K는 서로 비슷한 함량을 보였다. 능선 탐방로인 경우 평균 교환성 K 함량은 표토 0.43  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.22  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 심토보다 표토에서 약 2배 정도 높았다. 이는 정진현 등(2002)이 보고한 제주도 산림토양의 평균 교환성 K는 표토 0.34  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.22  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 비슷한 함량을 보였다. 분화구 탐방로인 경우 평균 교환성 K는 표토 0.33  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.25  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 표토와 심토간에 함량의 차이가 없었다.

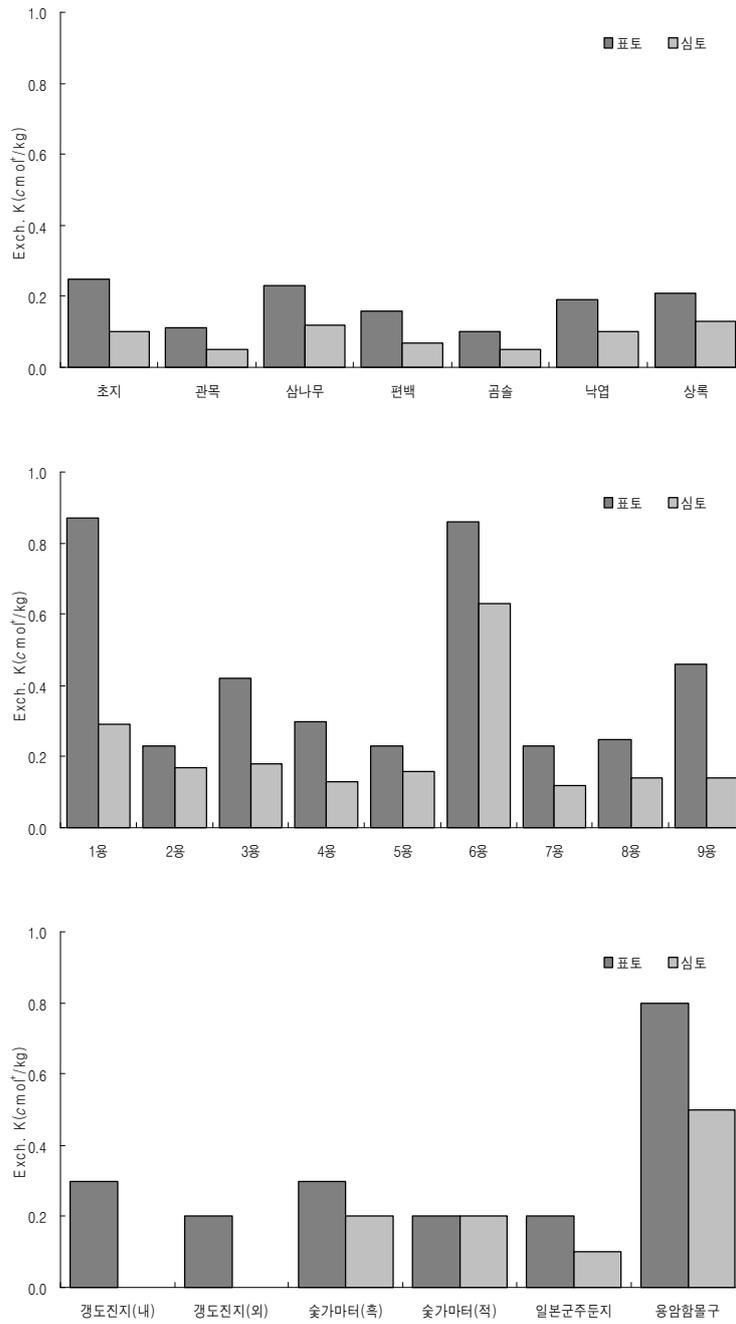


그림 18. 거문오름 조사지의 교환성 K 함량

교환성 Ca는 표토와 심토에서 각각 0.89~15.73  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 0.67~10.41  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  범위였다(그림 19). 식생분포 지역인 경우 평균 교환성 Ca는 표토 3.28  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 1.81  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 심토보다 표토에서 약 2배 정도 높았다. 조림지에서의 평균 교환성 Ca 함량은 표토 3.22  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 1.03  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 였으며, 자연림에서는 표토 3.32  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 2.41  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 표토는 서로 함량이 비슷하였으나 조림지 심토보다 자연림 심토가 약 2배 정도 높은 함량을 보였다. 능선 탐방로인 경우 평균 교환성 Ca 함량은 표토 9.75  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 3.61  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 심토보다 표토에서 약 2배이상 높았다. 분화구 탐방로인 경우 평균 교환성 Ca는 표토 4.82  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 7.23  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 표토보다 심토에서 함량이 높았다.

정진현 등(2002)은 제주도 산림토양의 평균 교환성 Ca는 표토 2.07  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 1.65  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 의 함량을 보인다고 보고하였다. 본 연구결과에서 대체적으로 교환성 Ca 함량이 높았는데 조사지인 경우 곳자왈에 속하는 지역으로서 생성연대가 오래지 않은 젊은 용암으로 모재의 영향을 받았거나 인위적으로 비료사용이 의심이 가며 향후 추가 조사가 필요하겠다.

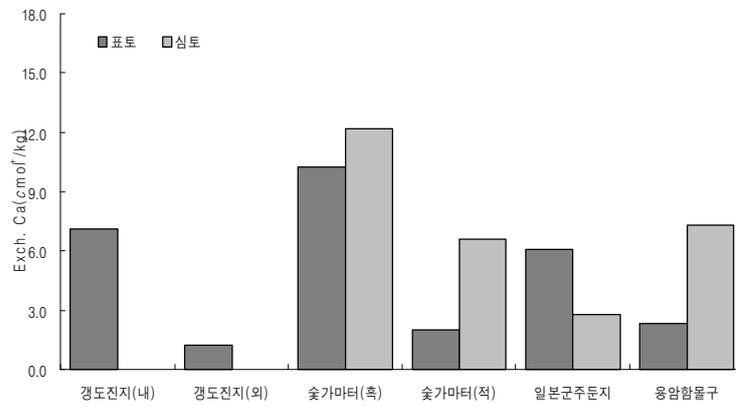
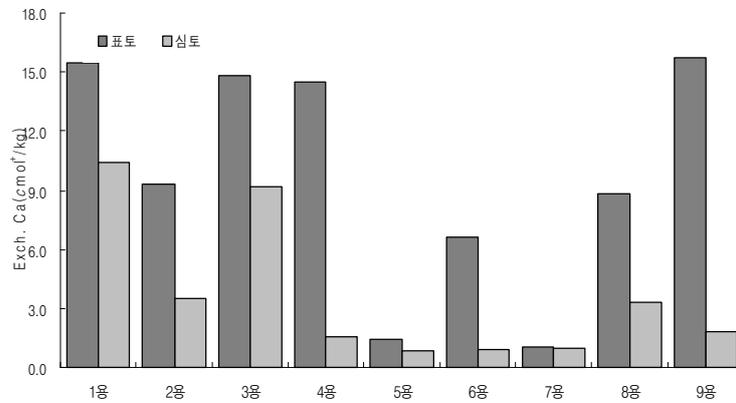
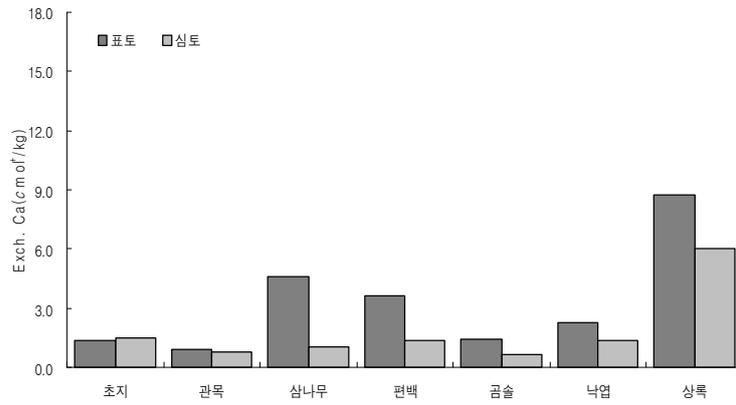


그림 19. 거문오름 조사지의 교환성 Ca 함량

교환성 Mg는 표토와 심토에서 각각 0.62~5.73  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 0.55~6.40  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  범위였다(그림 20). 식생분포 지역인 경우 평균 교환성 Mg는 표토 1.44  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.89  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 심토보다 표토에서 높았다. 조림지에서의 평균 교환성 Mg 함량은 표토 1.43  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.74  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 였으며, 자연림에서는 표토 1.44  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 1.00  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 조림지와 자연림간에 비슷한 함량을 보였다. 능선 탐방로인 경우 평균 교환성 Mg 함량은 표토 3.48  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 1.94  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 심토보다 표토에서 높은 함량을 보였다. 분화구 탐방로인 경우 평균 교환성 Mg는 표토 2.02  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 3.80  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 교환성 Ca와 마찬가지로 표토보다 심토에서 함량이 높았다.

정진현 등(2002)은 제주도 산림토양의 평균 교환성 Mg는 표토 1.97  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 1.83  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 의 함량을 보인다고 보고하였다. 본 연구결과에서도 교환성 Ca와 같이 특정 지점에서 교환성 Mg 함량이 높은 경향을 보였다.

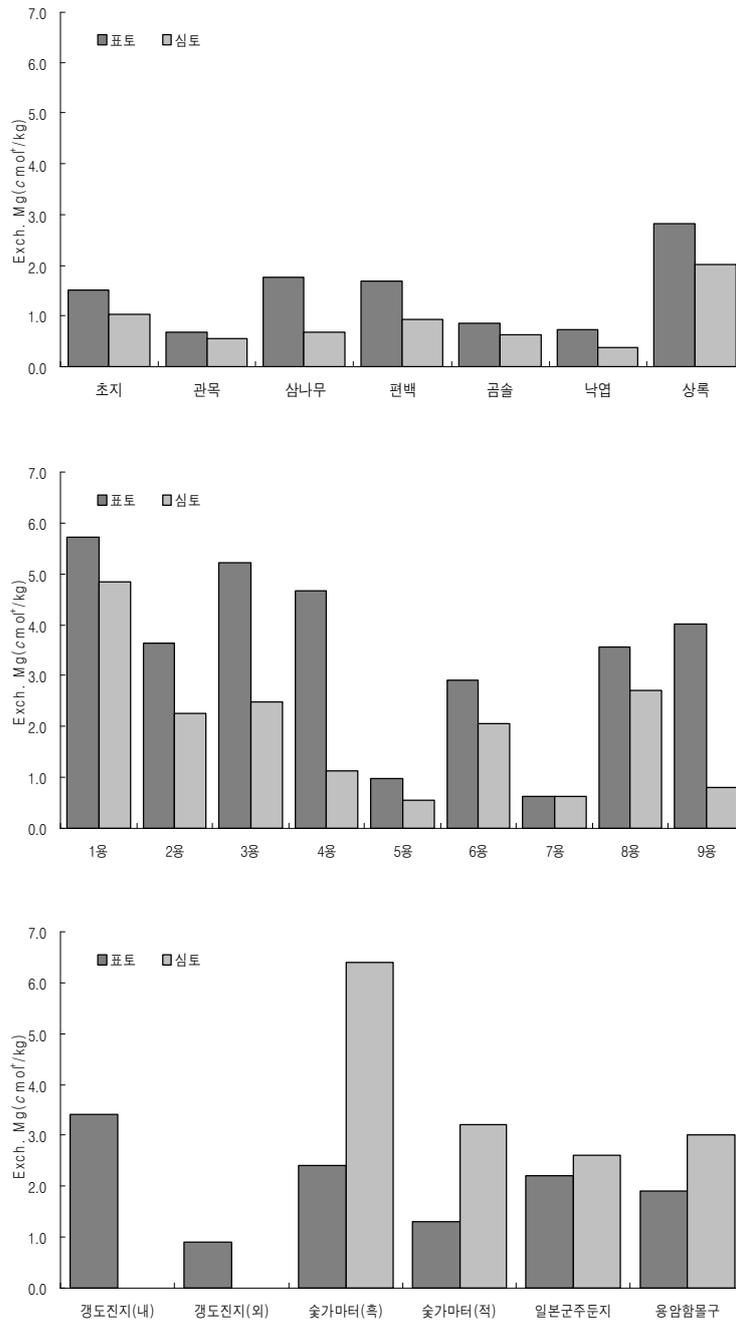


그림 20. 거문오름 조사지의 교환성 Mg 함량

교환성 Na는 표토와 심토에서 각각 0.06~0.40  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 0.06~0.40  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  범위였다(그림 21). 식생분포 지역인 경우 평균 교환성 Na는 표토 0.32  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.30  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 이었다. 조림지에서의 평균 교환성 Na 함량은 표토 0.31  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.29  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 였으며, 자연림에서는 표토 0.34  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.31  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 로 표토와 심토가 유사한 함량을 보였다. 조림지와 자연림과의 교환성 Na는 서로 비슷한 함량을 보였다. 능선 탐방로인 경우 평균 교환성 Na 함량은 표토 0.13  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.10  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 이었으며, 분화구 탐방로인 경우 표토 0.25  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.33  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 이었다. 정진현 등(2002)은 제주도 산림토양의 평균 교환성 Na를 표토 0.46  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 0.48  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 보고한 바 있는데 본 연구결과 이보다 다소 낮은 함량을 보였다.

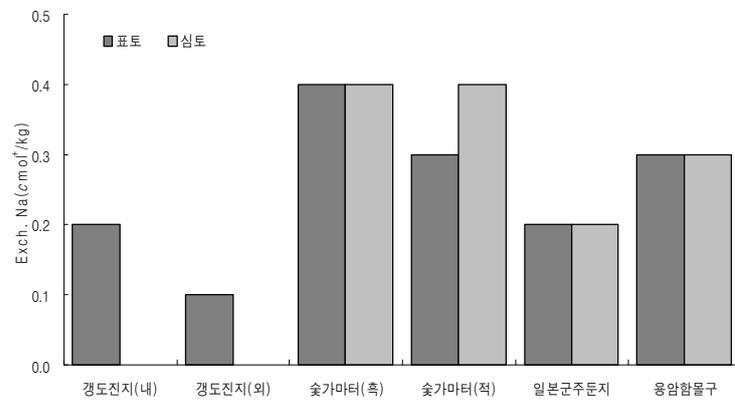
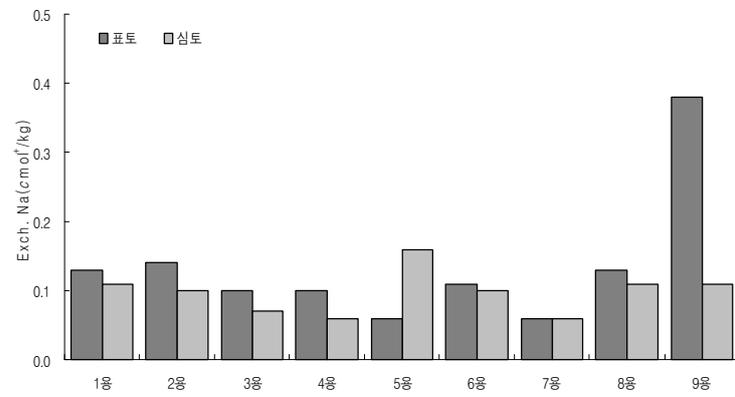
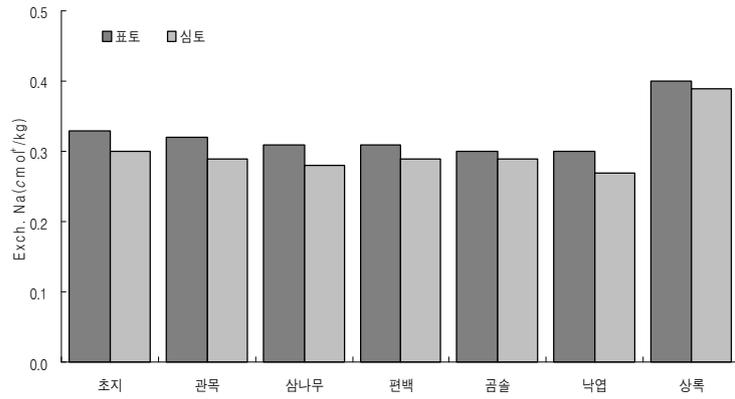


그림 21. 거문오름 조사지의 교환성 Na 함량

양이온교환용량은 토양비옥도를 나타내는 지표라 할 수 있으며 양이온교환용량이 클수록 양분보유능이 커지고 토양의 완충능이 커지며 양분을 보관하여 식물이 필요시에 공급할 수 있는 능력이 더 커진다(류순호, 2000). 양이온교환용량은 표토와 심토에서 각각 18.76~63.27  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 15.72~55.98  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  범위였다(그림 22). 식생분포 지역인 경우 평균 양이온교환용량은 표토 30.17  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 26.13  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 이었다. 조림지에서의 평균 양이온교환용량은 표토 28.94  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 24.74  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 였으며, 자연림에서는 표토 31.08  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 27.18  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 조림지보다 자연림에서 다소 높았다. 능선 탐방로인 경우 평균 양이온교환용량은 표토 49.94  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 46.86  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 높은 양이온교환용량을 보였다. 분화구 탐방로인 경우 평균 양이온교환용량은 표토 25.75  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 26.71  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 이었다. 정진현 등(2002)은 제주도 산림토양의 평균 양이온교환용량을 표토 19.7  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , 심토 15.8  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  라고 보고하였다. 본 연구결과에서 대체적으로 양이온교환용량이 높았는데 능선 탐방로인 경우 제주도 산림토양의 평균보다 약 2배 정도 높은 양이온교환용량을 보였다.

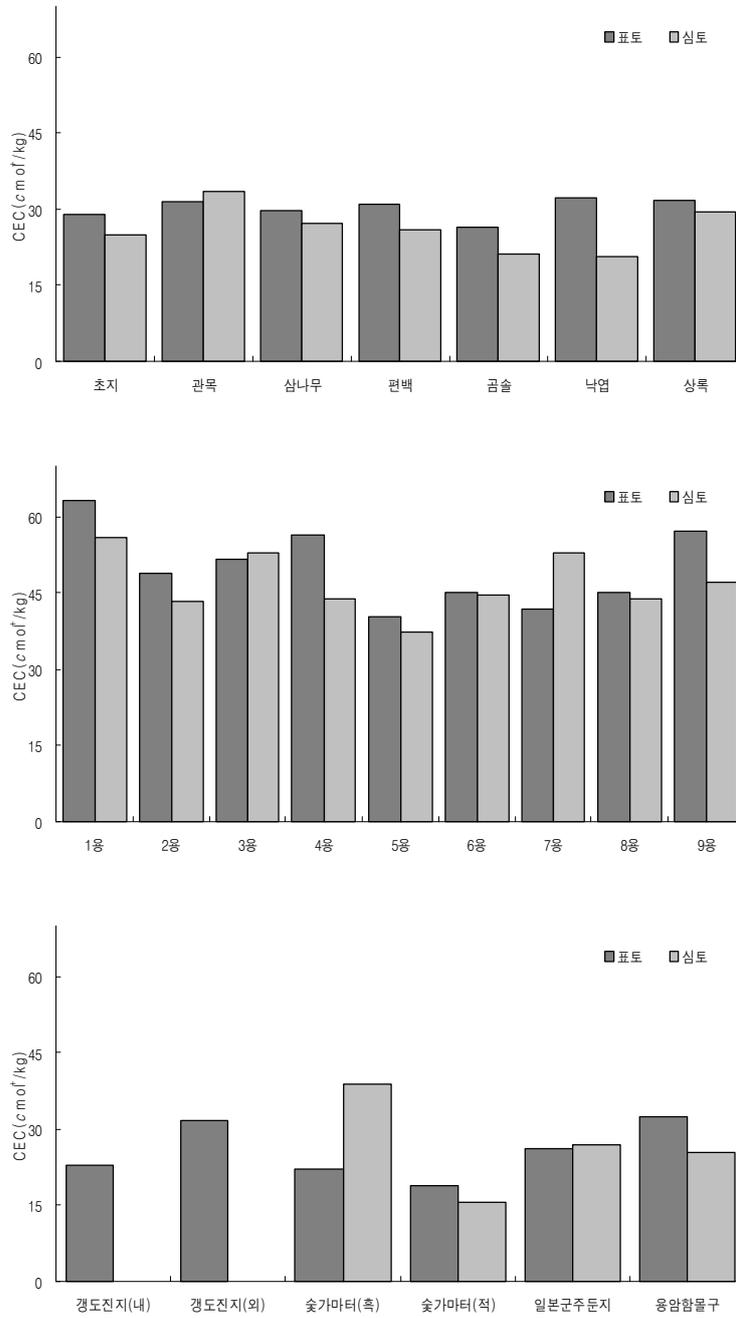


그림 22. 거문오름 조사지의 양이온교환용량

### 3. 통계분석

#### 1) 자연림과 조림지의 토양특성 비교

거문오름은 식생분포 지역인 경우 자연적으로 생성된 초지, 관목림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림이 있고 인위적으로 조림된 삼나무림, 편백나무림, 곰솔림이 공존해 있다. 하지만 초지는 자연적으로 생성된 곳이기도 하지만 탐방로 개설로 인한 작업차의 이동, 탐방객의 답압 등이 있을 수 있다고 판단되어 자연림에서 제외시켜서 유의성 검증을 실시하였다. 동일한 조건을 위해서 심토를 제외한 표토만을 대상으로 실시하였으며 이화학적 성질 20개 인자를 가지고 SPSS 18.0(PASW Statistics 18, IBM Industry Analytics Solutions)을 이용하여 통계분석을 실시하였다(표 3, 표 4).

자연림과 조림지의 유의성 차이를 분석한 결과 토양의 물리적 성질인 입자밀도만이 유의적인 차이( $P < 0.05$ )를 보였다. 입자밀도는 토양입자 자체의 무게를 나타낸 것으로 일반적인 토양의 입자밀도는  $2.65 \text{ g/cm}^3$ 이다(류순호, 2000). 본 연구 결과에서 평균 입자밀도는 자연림은  $2.03 \text{ g/cm}^3$ , 조림지는  $2.17 \text{ g/cm}^3$ 으로 일반적인 토양의 입자밀도  $2.65 \text{ g/cm}^3$  보다 낮았다. 이는 화산재와 유기물함량 등의 영향으로 인한 화산회토양의 특성에 기인한 것으로 생각된다. 평균 유기물함량도 자연림은 18.65%, 조림지는 16.95%로 조림지보다 자연림에서 다소 높은 경향을 나타냈다.

표 3. 거문오름 자연림과 조림지 토양의 물리적 성질 비교

구분	처리	모래	미사	점토	고상	액상	기상	용적 밀도	입자 밀도	공극률	투수 계수
		(%)						(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(cm/h)	
자연림	평균	26.61	35.35	38.02	21	55	24	0.44	2.03	0.79	53.70
	평균 표준오차	4.467	6.478	2.050	0.133	0.009	0.015	0.022	0.032	0.013	11.917
조림지	평균	28.83	33.59	37.57	22	52	26	0.49	2.17	0.78	35.09
	평균 표준오차	0.390	1.010	0.926	0.009	0.020	0.009	0.024	0.338	0.009	8.147
	유의확률	0.646	0.801	0.850	0.566	0.346	0.477	0.199	0.046	0.566	0.267

표 4. 거문오름 자연림과 조림지 토양의 화학적 성질 비교

구분	처리	토양 pH	전기 전도도	유기물 함량	총 질소	유효 인산	교환성 칼륨	교환성 칼슘	교환성 마그네슘	교환성 나트륨	양이온 교환용량
		(1:5)	(dS/m)	(%)	(%)	(mg/kg)	(cmol <sup>+</sup> /kg)				
자연림	평균	5.66	0.31	18.65	1.00	6.55	0.17	3.97	1.41	0.34	57.78
	평균 표준오차	0.098	0.082	3.562	0.133	1.444	0.031	2.432	0.709	0.031	4.044
조림지	평균	5.58	0.28	16.95	0.86	6.92	0.17	3.21	1.43	0.31	57.25
	평균 표준오차	0.087	0.491	0.624	0.140	2.939	0.038	0.942	0.288	0.003	4.649
	유의확률	0.573	0.794	0.663	0.519	0.915	0.948	0.786	0.980	0.339	0.936

## 2) 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양특성 비교

능선 탐방로인 경우 등반길이 아닌 지역에서 시료를 채취한바 자연적인 곳이라 할 수 있으며, 분화구 탐방로인 경우 용암함몰구를 제외하면 인위적인 곳이라 할 수 있겠다. 따라서 능선 탐방로를 자연적인 곳, 분화구 탐방로를 인위적인 곳으로 구분하여 통계분석을 통해 유의성 검정을 실시하였다. 하지만 용암함몰구는 분화구 탐방로에 위치하나 인위적인 곳이 아니기에 자연적인 곳에 포함시켜 통계분석하였으며, 입도분석은 분화구 탐방로에서 분석을 실시하지 못하였으므로 통계분석에서 제외시켰다. 동일한 조건을 위해서 심토를 제외한 표토만을 대상으로 이화학적 성질 17개 인자를 가지고 SPSS 18.0(PASW Statistics 18, IBM

Industry Analytics Solutions)을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

자연적인 곳과 인위적인 곳의 유의성 차이를 분석한 결과 유효인산함량, 전질소함량 및 양이온교환용량이 유의적인 차이( $P<0.05$ )를 보였다(표 5, 표 6). 유효인산인 경우 자연적인 곳은 5.75 mg/kg, 인위적인 곳은 32.86 mg/kg으로 분화구 탐방로인 인위적인 곳에서 자연적인 곳인 능선 탐방로보다 약 6배 정도 함량이 높았다. 화산회토양은 유효인산함량이 매우 낮아 토양비옥도가 낮은 원인으로 알려져 있으며 정진현 등(2002)은 제주 산림토양의 평균적인 유효인산함량을 27.4 mg/kg으로 보고한바 있다. 따라서 능선 탐방로의 유효인산함량은 제주 산림토양 평균보다 약 5배 정도가 낮았으며 분화구 탐방로는 제주 산림토양보다 다소 높은 함량을 보였다.

표 5. 거문오름 자연적인 곳과 인위적인 곳 토양의 물리적 성질 비교

구분	처리	고상	액상	기상	용적 밀도	입자 밀도	공극률	투수 계수
		(%)			(g/cm <sup>3</sup> )		(%)	(cm/h)
자연적인 곳	평균	29	54	17	0.52	1.77	70.80	777.49
	평균 표준오차	0.022	0.014	0.029	0.039	0.044	2.235	443.67
인위적인 곳	평균	25	49	26	0.48	1.91	74.60	41.32
	평균 표준오차	0.022	0.040	0.047	0.034	0.105	2.249	12.749
	유의확률	0.306	0.217	0.137	0.538	0.185	0.306	0.270

표 6. 거문오름 자연적인 곳과 인위적인 곳 토양의 화학적 성질 비교

구분	처리	토양 pH	전기 전도도	유기물 함량	총 질소	유효 인산	교환성 칼륨	교환성 칼슘	교환성 마그네슘	교환성 나트륨	양이온 교환용량
		(1:5)	(dS/m)	(%)	(%)	(mg/kg)	(cmol <sup>+</sup> /kg)				
자연적인 곳	평균	5.93	0.31	12.58	0.99	5.75	0.47	9.00	3.32	0.15	48.20
	평균 표준오차	0.054	0.047	5.611	0.127	1.156	0.087	1.892	0.546	0.033	2.902
인위적인 곳	평균	5.98	0.35	2.18	0.03	32.86	0.24	5.32	2.04	0.24	24.39
	평균 표준오차	0.132	0.094	0.419	0.008	12.580	0.024	1.667	0.439	0.051	2.190
	유의확률	0.680	0.657	0.221	0.000	0.008	0.097	0.234	0.151	0.156	0.000

전질소함량인 경우 자연적인 곳은 0.99%, 인위적인 곳은 0.03%로 유효인산함량과는 달리 인위적인 곳보다 자연적인 곳에서 함량이 매우 높았다. 자연적인 곳인 능선 탐방로는 정진현 등(2002)이 보고한 제주 산림토양의 전질소함량 0.43%보다 약 2배 이상 높았다. 김태훈 등(1991)의 보고에 의하면 전질소와 유기물함량과는 매우 밀접한 상관관계를 보인다고 알려져 있다. 제주의 산림토양은 화산회토양으로 화산재를 포함하고 있어 유기물함량이 3% 이상으로 높다고 알려져 있다(정진현 등, 2002).

본 연구결과 유기물함량은 자연적인 곳과 인위적인 곳 사이에 유의적인 차이( $P>0.05$ )는 없었다. 하지만 자연적인 곳인 능선 탐방로 7용, 8용 및 9용을 제외한 지점은 유기물함량이 3% 이하로 매우 낮았으며 인위적인 곳인 분화구 탐방로와 유사한 함량을 보였다. 능선 탐방로 7용, 8용 및 9용은 해발이 400 m 이하인 지점이었으며 분화구 탐방로와 유사한 고도를 보였고, 1용에서 6용은 해발이 400 m 이상인 지점이었다.

이를 해석하면 자연적인 곳인 능선 탐방로 1용에서 6용은 7용, 8용 및 9용과 같이 약 30% 이상의 유기물함량을 나타내야 하나 해발이 높고 다우지역이라 할 수 있는 선흘리에 위치하여 토양침식에 의한 표토의 유실로 토양교란이 발생한 것으로 생각된다. 분화구 탐방로인 경우도 인위적으로 조성된 지 오랜 기간이 지났으나 토양유기물 공급이 이루어지지 않아 낮은 유기물함량을 보인다고 유추할 수 있겠다.

양이온교환용량인 경우 자연적인 곳은  $48.20 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ , 인위적인 곳은  $24.39 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 으로 전질소함량과 마찬가지로 능선 탐방로인 자연적인 곳에서 분화구 탐방로인 인위적인 곳보다 약 2배정도 높았다. 정진현 등(2002)은 제주 산림토양의 양이온교환용량을  $19.7 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 으로 보고한 바 있다. 본 연구결과 자연적인 곳과 인위적인 곳 모두에서 양이온교환용량이 높았으며 능선 탐방로인 자연적인 곳에서 제주 산림토양 평균보다 약 2배정도 높았다. 따라서 토양비옥도를 나타내는 지표라 할 수 있는 양이온교환용량이 분화구 탐방로보다 능선 탐방로에서 높아 서로 다른 차이를 나타냈다.

이와 같은 결과를 종합하면 제주도 거문오름을 대상으로 한 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양특성 차이는 입자밀도, 유효인산함량, 전질소함량 및 양이온교

환용량에서 차이가 난다고 볼 수 있겠다. 자연적인 곳에서는 인위적인 곳보다 입자밀도와 유효인산함량이 낮았으며 전질소함량과 양이온교환용량이 높았는데 이는 탐방객의 증가에 의한 인위적인 요인보다는 거문오름이 위치한 선흘리가 다우지역에 속하여 자연적인 토양침식에 의한 표토의 유실과 연관이 있다고 생각되며 거문오름일대의 식생을 비롯한 자연자원 관리를 위해서는 표토침식 방지에 대한 모니터링 등 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구의 한계는 조사 지역이 거문오름일대에만 국한되어 다른 지역의 오름과 비교분석을 하지 못했으며 또한 단순히 토양의 기초적인 데이터를 만들고 비교하는데 머물고 있어 지형, 지질 등과의 관련성 연구가 없다는 점이라고 할 수 있겠다. 추후 비슷한 해발에 위치하거나 자연적 또는 인위적 훼손이 공존하는 오름과 강수량 등 기상조건이 비슷한 지역의 오름을 대상으로 연구를 보완 할 필요가 있다고 생각된다.

## IV. 요약

본 연구는 세계자연유산지구인 거문오름일대를 대상으로 A 지역(식생분포 지역)을 자연림과 조림지로 구분하고, B 지역(능선 탐방로 지역)은 자연적인 곳과 C 지역(분화구 탐방로 지역)은 인위적인 곳으로 구분하여 거문오름의 토양특성에 대하여 파악하고자 수행하였다. 따라서 본 연구를 통하여 거문오름일대의 토양특성에 대한 학술적 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

물리성을 측정하기 위한 토양시료는 표토를 이용하였으며 화학성은 표토(0~15 cm)와 심토(15~30 cm)로 나누어 물리성 시료를 채취한 동일지점에서 채취하였다. 토양의 이화학적 성질은 농촌진흥청 토양분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다.

거문오름 조사지의 입도분석 결과 점토와 미사함량이 높게 나타났으며 조사지의 토성은 크게 식양토, 미사질식양토, 미사질양토, 양토 등으로 분류되었다. 용적밀도는  $0.32\sim 0.71\text{ g/cm}^3$  범위로 Soil Taxonomy에서의 화산회토 기준을 충족시켰으며, 입자밀도는  $1.46\sim 2.31\text{ g/cm}^3$  범위였다. 평균 공극률은 식생분포 지역 78%, 능선 탐방로 70% 및 분화구 탐방로 78%로 70% 이상의 높은 공극률을 보였으며 물의 하향 침투가 빠르게 일어날 수 있는 조건을 가졌다. 투수계수는  $2.4\sim 4,586\text{ cm/h}$  범위로 조사지점 간에 매우 큰 차이를 보였다. 용적밀도와 투수계수와는 상관관계를 보이지 않았으나, 미사함량, 점토함량 및 공극률과 유의한 상관관계를 보였다. 토양삼상분포는 투수계수가 가장 낮았던 능선 탐방로인 5용과 6용에서 기상률이 가장 낮았다.

거문오름 조사지의 표토와 심토의 토양 pH는 각각 5.4~6.2와 5.5~6.5 범위로 식생이 성장하기에 좋은 조건이었다. 전기전도도는  $1.0\text{ dS/m}$  이하로 식물생육에 대한 염류피해는 낮을 것으로 판단된다. 유기물함량은 표토와 심토에서 각각 1.1~48.5%와 1.1~25.7% 범위였다. 분화구 탐방로인 경우 평균 유기물함량은 표토 2.1%, 심토 1.5%로 매우 낮은 특이한 현상을 보였다. 유효인산함량은 표토와 심토에서 각각  $1.8\sim 64.4\text{ mg/kg}$ 와  $1.2\sim 50.0\text{ mg/kg}$  범위였으며 대체적으로 함량이 낮았다. 전질소는 표토와 심토에서 각각 0.02~1.44%와 0.02~0.96% 범위로 높은

함량을 보였다. 교환성양이온 중 교환성 K와 Na는 함량이 낮았으나 교환성 Ca와 Mg는 함량이 높았다. 특히 특정 지점에서 교환성 Ca가 매우 높았는데 곳자활에 속하는 지역으로서 생성연대가 오래지 않은 젊은 용암으로 모재의 영향을 받았거나 비료시용 등 인위적인 간섭이 있었는지에 대해 향후 추가 조사가 필요하겠다. 양이온교환용량은 표토와 심토에서 각각 18.76~63.27  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ 과 15.72~55.98  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  범위였으며, 능선 탐방로에서 높은 양이온교환용량을 보였다.

자연립과 조립지의 유의성 차이를 분석한 결과 토양의 물리적 성질인 입자밀도만이 유의적인 차이( $P<0.05$ )를 보였으며, 능선 탐방로 지역과 분화구 탐방로 지역의 유의성 차이를 분석한 결과 유효인산함량, 전질소함량 및 양이온교환용량이 유의적인 차이( $P<0.05$ )를 보였다.

이와 같은 결과를 종합하면 제주도 거문오름을 대상으로 한 자연적인 곳과 인위적인 곳의 토양특성 차이는 입자밀도, 유효인산함량, 전질소함량 및 양이온교환용량에서 차이가 난다고 볼 수 있겠다. 자연적인 곳에서는 인위적인 곳보다 입자밀도와 유효인산함량이 낮았으며 전질소함량과 양이온교환용량이 높았는데 이는 탐방객의 증가에 의한 인위적인 요인보다는 거문오름이 위치한 선흘리는 다우지역에 속하여 자연적인 토양침식에 의한 표토의 유실과 연관이 있다고 생각되며 거문오름일대의 식생을 비롯한 자연자원 관리를 위해서는 표토침식 방지에 대한 모니터링 등 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

## 참고문헌

<단행본>

- 고정균·송국만·김철수(2011), 「세계자연유산, 거문오름일대 식생유형별 수목분포 특성」, 제주특별자치도 한라산연구소 조사연구보고서 제10호. pp. 25-26.
- 김태훈·정진현·이충화·구교상·이원규·강인애·김사일(1991), 「토양형별 주요종의 생장」, 임업연구원 연구보고. 37:19-34.
- 농촌진흥청 농업기술연구소(1976), 「제주도 토양정밀도」, 광명인쇄사.
- 농촌진흥청 농업과학기술원(2000), 「토양 및 식물체 분석법」, 농촌진흥청. pp.35-131.
- 류순호(2000), 「토양사전」, 서울대학교출판부.
- 류순호·송관철(1984), 「입지토양의 특성」, 서울대 아열대농업연구. pp.73-104.
- 송관철·정석재·현병근·손연규·장용선·박찬원·홍석영·김이현·최은영(2008), 「제주도 화산회 토양의 특성과 분류. 2008 흡사량 실천을 위한 토양조사 현장연구」, 농촌진흥청. pp.11-32.
- 정승훈(2011), 「유네스코 세계유산 선정과 세계 7대 자연경관 도전의 의미와 향후과제」, 한국관광정책 제44호. pp.70-74.
- 제주도·한라산생태문화연구소(2006). 「한라산 총서 II - 한라산의 지형·지질 - 제2장 한라산과 제주도의 지질」, 도서출판 각. pp.18-28.
- 제민일보사(2013), 「또다른 트리플크라운 제주도」, 제민일보사.
- 제주특별자치도·한국지질환경연구소(2011), 「제주 거문오름 종합학술조사 결과 보고서」, p.152.
- 조도순(2007), 「제주특별자치도 세계자연유산의 등재 의의와 관리 및 활용」, 제주특별자치도 통권 111호. pp.68-76.
- 조성진·박찬서·엄대익(2001), 「사정토양학」, 향문사. p.396.
- 엄기태·주영희·이경수·진용화(1978), 「제주도 종합개발계획을 위한 토양 특성의 연구」, 농시연보 19(토비 작보·균이편). pp.1-18.

최돈원(2007), 「세계자연유산으로서의 제주도의 화산섬과 용암동굴」, 제주특별자치도 통권 111호. pp.77-84.

허권(2007), 「세계유산보호와 개발, 지속가능발전의 국제적 동향」, 역사실학회

농업진흥공사(1971), 「제주도 지질도(1:100,000)」.

한국농어촌공사 제주도본부(2006), 「제주도의 지질」.

원종관·이문원·이동영·손영관(1993), 「성산도폭 지질도 설명서」, 건설부, 제주도, 한국지질자원연구소.

박기화·이병주·조등룡·김정찬·이승렬·김유봉·최헌일·황재하·송교영·최범영·조병욱(1998), 「제주·애월도폭 지질보고서」, 한국자원연구소.

한라일보사(2009), 「거문오름」, 디자인 열림. p.115.

USDA, Soil Survey Staff. 1990. Keys to soil taxonomy. SMSS Technical Monograph No.19, 4th ed. USDA-SMSS, Blacksburg, Virginia.

#### <논문>

김세미(2013), “자연유산해설사의 커뮤니케이션이 만족에 미치는 영향”, 제주대학교 대학원 석사학위논문. pp.37-42.

류순호·송관철(1984), “제주도 토양의 화학적 특성 조사연구 I. 지역별 화학적 특성 변화”, 한국토양비료학회지. 17(1):1-6.

안웅산(2008), “정밀측량을 통한 만장굴 용암동굴의 형성과 성장과정에 대한 해석”, 지질학회지. 44(5):657-672.

안웅산·황상구(2009), “만장굴 용암동굴을 형성한 용암의 공급지에 관한 연구”, 암석학회지. 18(3):237-153.

이수욱(1981), “한국의 삼림토양에 관한 연구(II)”, 한국임학회지. 54:25-35.

정진현·구교상·이충화·김춘식(2002), “우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성”, 한국임학회지. 91(6):694-700.

- 황상구·안용산·이문원·윤성호(2005), “제주도 북동부 거문오름 용암튜브계의 형성과 내부구조”, 지질학회지. 41(3):385-400.
- 임종덕(2011), “유네스코 세계자연유산의 성공적인 관리와 운영체계”, 학술저널. 44(1):106-121.
- 문경환(2011), “제주도 토양의 공간분석 연구”, 제주대학교 대학원 박사학위 논문.
- 이서현(2015), “유네스코 세계유산 PR실태에 대한 국가간 비교 연구: 제주, 태즈메이니아, 하와이의 지역일간지 보도내용을 중심으로”, 제주대학교 대학원 박사학위 논문.
- 위서연(2015), “세계자연유산의 지형경관별 고찰과 지리교육의 활용 방안”, 전남대학교 석사학위 논문. pp.37-41.
- 오제호(2010), “세계자연유산에 등재된 제주 거문오름 용암동굴계 야외 학습 프로그램 개발에 관한 연구”, 제주대학교 교육대학원 석사학위논문. pp.20-23.
- 송지호(2014), “제주도 교래곶자왓 낙엽활엽수림 식생구조 특성 연구”, 서울시립대학교 일반대학원 석사학위논문. pp.1-5.

<기타자료>

국토포털 <http://www.land.go.kr/>

제주 지방 기상청 <http://jeju.kma.go.kr/>

국가공간정보유통시스템 <http://www.nsic.go.kr/>

<Abstract>

## **A Comparative Study on Soil Characteristics around Geomum Oreum in Jeju Island, the World Natural Heritage Site**

Jeju Island, achieving the first triple crown in the UNESCO Natural Science Sector in the world, by its qualification as the Biosphere Reserve, World Natural Heritage Site, and Global Geopark, attracts global attention.

This study aims at providing academic basic sources comparing and analyzing soil characteristics of both natural and artificial sites around Geomum Oreum, as World Natural Heritage Site may be listed as that in danger or the qualification may be canceled without thorough conservation and management. For the investigated areas, vegetation distribution areas of Geomum Oreum are in Jeju Island divided into natural and afforested land. The ridge path was classified as artificial one while crater path was classified as natural one to sample soils.

For physico-chemical properties of soils, they were analyzed by the methods equivalent to the soil analysis by Rural Development Administration. For statistical analysis, differences of vegetation distribution lands, natural forest and afforested land, ridge path (artificial one), and crater path (natural one) were verified for significances by using SPSS 18.0 (PASW Statistics 18, IBM Industry Analytics Solutions).

For the summary of the statistic analysis, as a result of the analysis of differences in significance between natural forest and afforested land, one of physical properties of soil, particle density only showed significant difference ( $P < 0.05$ ). Average particle density was  $2.03 \text{ g/cm}^3$  for natural forest and  $2.17 \text{ g/cm}^3$  and for afforested land, respectively, and the afforested land showed higher particle density than natural forest. In addition, even though there was no significant difference, afforested land had higher average amount

of sand than natural forest with lower organic matter content.

As a result of the analysis of differences in significance between ridge path and crater path, available phosphate content, total nitrogen content, and cation exchange capacity showed significant differences ( $P < 0.05$ ). In case of available phosphate content, ridge path was 5.75 mg/kg and crater path was 32.86 mg/kg, respectively, showing about 6 times higher in crater path area than in ridge path area. For total nitrogen content, ridge path was 0.99% and crater path was 0.03%, respectively. Unlike available phosphate content, ridge path area showed very higher content than crater path area. For cation exchange capacity, ridge path was 48.20 cmol<sup>+</sup>/kg, and crater path was 24.39 cmol<sup>+</sup>/kg, respectively. It was similar to total nitrogen content, with around double higher result in ridge path than in crater path.

By concluding these results, differences in soil characteristics between natural and artificial site based on the Geomum Oreum, are different in particle density, available phosphate content, total nitrogen content, and cation exchange capacity. In natural site, particle density and available phosphate content were lower than artificial land while total nitrogen content and cation exchange capacity were higher, and its reasons seems to be related to loss of top soil by natural soil corrosion as Seonheul-ri where Geomum Oreum is located is heavy rain climate region. In order to manage natural resources including vegetation around Geomum Oreum, it is expected that additional studies including monitoring for preventing top soil corrosion will be required.