

한라산 장기생태연구지의 주요 임상별 토양특성

Soil Properties by Major Forest Types in Mt. Hallasan as a Long Term Ecological Research Site

고석형¹ · 고정균¹ · 이창흡¹ · 김철수¹ · 현해남²

¹제주특별자치도 환경자원연구원, ²제주대학교 생물산업학부

서 론

장기생태연구(LTER : long term ecological research)라는 용어는 1980년에 미국 국립과학재단에서 연구지원을 하기 시작하면서 사용되었으며, 그 후 1990년대부터 전 세계적으로 호응을 얻으면서 네트워크를 구축하게 되었다(환경부, 2004a, 2004b). 우리나라에서도 산림생태계의 관리전략을 수립하기 위하여 남산, 점봉산, 월악산 및 지리산을 장기생태연구지로 지정하여 생태적 현상을 모니터링하고 있다(이창석 등, 2006; 설예주, 2008).

기후변화에 따른 지구온난화현상은 인류사회와 자연생태계에 영향을 미치고 있으며, 기후변화 문제를 최우선적으로 해결해야 할 심각한 문제의 하나로 다루게 되었다. 우리나라 최남단에 위치한 제주도는 섬이라는 특수성과 한라산을 기준으로 한 해발고도에 따른 식생대의 구분이 뚜렷하며 많은 한대성 식물 종들이 분포하고 있다. 따라서 한라산의 장기생태연구는 저지대에서 고지대로의 식생이동, 아고산 초지대 식생의 변화, 소나무림의 고지대 이동 및 숲의 변화, 구상나무림의 생장쇠퇴, 극지고산식물의 감소 및 식물 종 다양성의 변화 등을 관찰할 수 있는 최적의 조건을 갖추고 있다(고정균, 2007). 이에 맞춰 제주특별자치도 환경자원연구원에서는 주요 임상별로 기후변화대응 한라산 장기생태연구 체계를 구축해가고 있다(고 등, 2009; 고 등, 2010).

본 연구는 기후변화대응 한라산 장기생태연구의 일환으로 주요 임상별 고정조사구의 장기생태연구지의 토양특성을 알아보고자 실시하였다. 이에 2010년 5월부터 7월 사이에 6개 지점에서 토양시료를 채취하였고, 장기생태연구지의 입지환경 및 토양단면을 조사하였다. 또한 토양 pH, 전기전도도, 유기물, 전질소, 유효인산, 치환성 K, Ca, Mg 및

Na, 양이온치환용량 등 화학적 성질과 용적밀도, 입자밀도, 공극률, 투수계수, 입도분석 등 물리적 성질을 분석하였다. 따라서 한라산 장기생태연구지의 토양환경에 관한 연구는 산림생태계의 변화를 추정하고 해석하기 위한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 제주특별자치도 한라산국립공원 내에 설치된 장기생태연구지 고정조사구를 대상으로 하였다. 고정조사구는 기후변화에 따른 장기생태모니터링을 위한 것으로 임상별로 구상나무림, 소나무림, 침활혼효림 및 낙엽활엽수림으로 구분하여 2008~2009년도에 각각 설치되었다. 고정조사구는 각각의 조사구와 동일하게 1.0ha(100×100m)의 크기로 설정하였으며, 400m²(20×20m) 크기의 소방형구 25개로 구분하여 고유번호를 부여하였다. 그림 1에 낙엽활엽수



그림 1. 관음사일대 장기생태연구지 고정조사구 설치 모습.

림인 관음사일대의 방형구를 예시로 나타내었다.

2. 시료채취

토양시료는 관음사일대 낙엽활엽수림(A), 속발일대 소나무림(B), 영실일대 소나무림(C), 선작지왓일대 소나무림(D), 5·16도로일대 낙엽활엽수림(E) 및 1100도로일대 침활혼효림(F)을 대상으로 2010년 5월부터 7월 사이에 6개 지점에서 채취하였다(그림 2). 각 지점마다 25개의 소방형구 중에서 5개의 방형구를 선정하여 토양단면을 만들어 조사에 임하였다. 물리성을 측정하기 위한 토양시료는 100cm³ 스테인레스 원통을 이용하여 표토를 core sampler로 채취하였으며 수분이 날아가지 않도록 밀봉을 한 후 실내에서 분

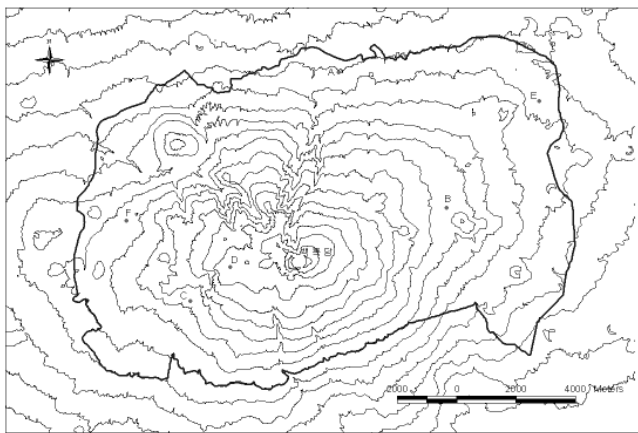


그림 2. 한라산 장기생태연구지 토양시료 채취지점

— : 한라산국립공원, ● : 토양시료 채취지점, A : 관음사일대 낙엽활엽수림, B : 속발일대 소나무림, C : 영실일대 소나무림, D : 선작지왓일대 구상나무림, E : 5·16도로일대 낙엽활엽수림, F : 1100도로일대 침활혼효림.

표 1. 한라산 장기생태연구지 토양의 물리적 특성

| Soil horizon | Sampling ¹⁾ site | Sand | Silt | | Clay | Bulk density | Particle density | Porosity | Hydraulic conductivity |
|--------------|-----------------------------|------|------|------|------|--------------|------------------|----------|------------------------|
| | | | (%) | | | | | | |
| Top soil | A | 14.9 | 52.4 | 32.7 | 0.42 | 2.15 | 80.6 | 131 | |
| | B | 21.8 | 40.1 | 38.1 | 0.40 | 1.83 | 77.9 | 18 | |
| | C | 39.8 | 18.4 | 41.8 | 0.43 | 1.94 | 78.2 | 50 | |
| | D | 23.5 | 51.1 | 25.4 | 0.30 | 1.90 | 84.6 | 122 | |
| | E | 26.5 | 33.3 | 40.2 | 0.40 | 1.99 | 79.9 | 31 | |
| | F | 10.6 | 46.3 | 43.1 | 0.45 | 2.05 | 78.2 | 49 | |

¹⁾ 시료채취 지점은 그림 2에 제시함.

석하였다. 화학성을 측정하기 위한 토양시료는 낙엽층을 제거한 후에 층위를 고려하면서 표토(0~15cm)와 심토(15~30cm)로 나누어 물리성 시료를 채취한 동일지점에서 채취하였다.

3. 분석방법

토양의 이화학적 성질은 농촌진흥청 분석법(농촌진흥청, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양의 물리적 성질인 용적밀도는 core법, 입자밀도는 pycnometer method 원리를 응용하여 100 cm³ vol. flask를 이용하여 측정하였다. 공극률은 용적밀도와 입자밀도를 이용하여 구하였으며, 투수계수는 정수위법으로 측정하였다. 입도분석은 체분석과 pipette법을 이용하여 측정하였다. 토양의 화학적 성질 분석은 채취한 시료를 풍건시킨 후 2mm 체에 통과된 토양시료를 사용하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비를 1 : 5로 하여 pH meter로 측정하였고, 전기전도도는 pH를 측정하고 남은 여액을 EC meter를 이용하여 측정하였다. 유기물함량은 Walkley and Black법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소함량은 Kjeldahl법으로 측정하였다. 치환성양이온 K, Ca, Mg 및 Na는 1N ammonium acetate(pH 7.0)로 침출하여 유도 결합 플라즈마 분광계로 측정하였다. 양이온치환용량은 1N 암모늄포화법으로 측정하였다. 본 연구에서의 분석 결과는 각 지점별로 5개 장소에 대한 평균치로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 토양의 물리적 특성

한라산 장기생태연구지 토양의 물리적 특성은 표 1과 같

다. 조사지의 입도분석 결과 미국농무성의 분류법에 의하면 미사토와 미사질양토가 주를 이루었다. 관음사일대의 낙엽활엽수림과 1100도로일대 침활혼효림은 미사토였으며, 이를 제외한 나머지 지점은 미사질양토였다. 용적밀도는 0.30~0.45 g/cm³ 범위였으며, 선작지왓일대의 구상나무림에서 가장 낮았다. Soil Taxonomy에서는 용적밀도가 매우 낮은 것이 화산회토의 대표적인 특성 중 하나라고 하였으며, 용적밀도가 0.90 g/cm³ 보다 낮은 토양을 Andisols로 분류하고 있다. 입자밀도는 1.83~2.15 g/cm³ 범위였으며, 대체적으로 입자밀도가 낮은 경향을 나타내었다. 해발고도가 가장 낮은 관음사일대 낙엽활엽수림에서 2.15 g/cm³로 입자밀도가 가장 높았다. 공극률은 일반토양에서 대체적으로 50% 내외이지만 화산회토양의 경우 70~80%에 달한다. 전체적으로 조사지의 공극률은 77.9~84.6% 범위로 매우 높게 나타나 토양침식에 대한 저항성이 낮다고 판단된다. 투수계수는 18~131 cm/h 범위로 조사지점 간에 매우 큰 차이를 보였다. 투수계수가 높은 지점은 관음사일대 낙엽활엽수림과 선작지왓일대의 구상나무림이었으며, 속밭일대의 소나무림에서 가장 낮은 투수계수를 보였다.

2. 토양의 화학적 특성

표 2에 한라산 장기생태연구지 토양의 물리적 특성을 나

타내었다. 전체적인 조사지의 토양 pH는 4.2~5.2 범위로 강산성을 나타냈다. 표토에서의 pH는 4.2~5.0, 심토에서는 4.7~5.2 범위였다. 표토에서의 평균 pH는 4.6, 심토에서는 4.9로 전국 산림토양의 평균 pH 5.5보다 매우 낮았다. pH가 가장 낮은 지점은 영실일대 소나무림과 1100도로일대 침활혼효림이었다. 대체적으로 표토에서 심토로 갈수록 pH는 높아지는 경향을 보였다. 전기전도도가 높은 토양은 토양 수분에 염류이온의 농도가 높아 식물생육에 영향을 미친다. 조사지의 전기전도도는 표토에서 평균 0.41 dS/m, 심토에서 평균 0.20 dS/m로 표토에서 다소 높았다. 하지만 이와 같은 농도는 식물생육에 대한 염류의 영향은 거의 무시할 수 있다고 판단된다. 유기물함량은 표토에서 14.69~30.67%, 심토에서 3.7~18.23% 범위였으며 표토에서 매우 높았다. 이와 같은 현상은 조사지가 해발 500m 이상인 지역으로 저지대에 비해 낮은 기온과 많은 강수량으로 유기물의 분해가 느려 다량으로 집적되어 있기 때문으로 판단된다. 조사지의 유기물함량은 대체적으로 10% 이상을 보였으나, 영실일대 소나무림 심토에서 3.7%의 유기물함량을 보였다. 이는 토양단면 조사시 토층의 경계가 불분명한 관계로 토양단면 해석의 오류이거나 조면암을 모재로 하는 영실일대의 지질적 특성 때문이라고 생각된다. 전질소 평균 함량은 표토에서 0.84%, 심토에서 0.49%로 표토에서 약 2배정도 높았다. 표토에서의 전질소 함량은 속밭일대 소나무림에서 가

표 2. 한라산 장기생태연구지 토양의 화학적 특성

| Soil horizon | Sampling site | pH | EC | OM | T-N | Av. P ₂ O ₅ | K | Ca | Mg | Na | CEC |
|--------------|---------------|--------|--------|-------|------|-----------------------------------|-------------------------|------|------|------|-------|
| | | (1: 5) | (dS/m) | (%) | (%) | (mg/kg) | (cmol ⁺ /kg) | | | | |
| Top soil | A | 5.0 | 0.25 | 14.69 | 0.67 | 4.58 | 0.15 | 0.42 | 0.27 | 0.16 | 18.11 |
| | B | 4.6 | 0.49 | 18.29 | 1.10 | 14.10 | 0.32 | 0.64 | 0.40 | 0.19 | 21.10 |
| | C | 4.2 | 0.43 | 26.56 | 0.79 | 34.33 | 0.32 | 0.84 | 0.54 | 0.17 | 17.37 |
| | D | 4.7 | 0.35 | 30.67 | 0.93 | 19.91 | 0.48 | 2.33 | 0.85 | 0.30 | 30.60 |
| | E | 4.6 | 0.44 | 24.83 | 0.88 | 12.82 | 0.30 | 0.24 | 0.32 | 0.21 | 41.08 |
| | F | 4.2 | 0.51 | 21.84 | 0.70 | 9.13 | 0.19 | 0.61 | 0.39 | 0.18 | 13.94 |
| Sub soil | A | 4.9 | 0.17 | 9.7 | 0.48 | 3.13 | 0.10 | 0.39 | 0.21 | 0.14 | 17.53 |
| | B | 5.0 | 0.21 | 10.5 | 0.62 | 3.28 | 0.14 | 0.26 | 0.19 | 0.18 | 19.52 |
| | C | 4.7 | 0.21 | 3.7 | 0.17 | 15.70 | 0.08 | 0.34 | 0.11 | 0.15 | 9.78 |
| | D | 5.2 | 0.18 | 18.5 | 0.79 | 8.29 | 0.22 | 0.51 | 0.21 | 0.18 | 24.75 |
| | E | 5.0 | 0.18 | 18.23 | 0.49 | 4.25 | 0.10 | 0.29 | 0.16 | 0.19 | 45.68 |
| | F | 4.7 | 0.22 | 11.12 | 0.39 | 3.17 | 0.10 | 0.33 | 0.18 | 0.18 | 20.55 |

장 높았으며, 심토에서는 선작지왓일대 구상나무림에서 가장 높았다. 화산회토양은 유효인산 함량이 매우 낮아 토양 비옥도가 낮은 원인으로 알려져 있다. 조사지의 유효인산 함량은 표토에서 4.58~34.33 mg/kg, 심토에서 3.13~15.70 mg/kg 범위였다. 전체적으로 영실일대 소나무림에서 가장 높은 유효인산 함량을 나타냈다. 표토에서의 치환성 K, Ca, Mg 및 Na의 평균 함량은 K 0.29 cmol+/kg, Ca 0.85 cmol+/kg, Mg 0.46 cmol+/kg 및 Na 0.20 cmol+/kg 였다. 대체적으로 치환성 양이온 함량이 낮았으나, 일반적으로 산림토양에서 치환성 양이온 함량은 Ca > Mg > K > Na 순으로 감소한다는 보고와는 일치하는 경향을 보였다. 양이온치환용량은 일정 토양이 갖고 있는 치환성 양이온의 총량을 나타낸 것이다. 양이온치환용량은 토양비옥도를 나타내는 하나의 지표로서 토양의 전체적인 특성을 가장 잘 설명하는 인자이다. 양이온치환용량이 클수록 양분보유능이 커지고 토양의 완충능이 커지며 양분을 보관하여 식물이 필요시에 공급할 수 있는 능력이 더 커지는 특성을 갖고 있다. 조사지의 양이온치환용량은 표토에서 13.94~41.08 cmol+/kg, 심토에서 9.78~45.68 cmol+/kg 범위였다. 양이온치환용량은 5-16도로일대 낙엽활엽수림에서 가장 높았다.

3. 통계 분석

장기생태연구지 6개 임상별에 대하여 17개 항목인 이화학성 분석 결과를 갖고 SPSS 12.0을 이용하여 군집분석을 실시한 결과, 크게 2개의 그룹으로 구분되었다(그림 3). 한 그룹은 관음사일대 낙엽활엽수림과 선작지왓일대 구상나무림이었으며, 다른 그룹은 속밭일대 소나무림, 5-16도로일대 낙엽활엽수림, 1100도로일대 침활혼효림 및 영실일대

소나무림이었다. 2개의 그룹을 비교한 결과, 관음사일대 낙엽활엽수림과 선작지왓일대 구상나무림에서 미사함량, 투수계수, 공극률 및 토양 pH가 가장 높게 나타났다. 또한 입지환경 조사시 암석노출이 많았으며, 토양시료를 채취하기에 매우 힘든 입지조건을 갖고 있었다.

이와 같은 결과를 종합하면 한라산 장기생태연구지의 주요 임상별 토양특성은 미사함량, 투수계수, 공극률 및 토양 pH의 차이에 의하여 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 토양의 이화학적 특성만을 갖고 해석하기에는 미흡하다고 판단되며, 향후 장기생태연구지의 산림군집 구조 및 동태에 관한 자료와 해발고도별 기후 및 환경인자 데이터를 체계적으로 정리하여 종합적인 결론을 도출하는 것이 필요 하겠다.

인용문헌

고정균. 2007. 지구온난화와 한라산의 식생. 한라산연구소 조사연구보고서 No.6:3-17.

고정균, 이창흠, 김철수. 2009. 한라산 영실일대 소나무림 장기생태연구지내 수목분포특성. 제주특별자치도 환경자원연구원보 제1권:202-214.

고정균, 이창흠, 김철수. 2010. 한라산 낙엽활엽수림 장기생태연구지내 수목분포 특성. 제주특별자치도 환경자원연구원보 제2권:135-151.

농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. pp.35-131.

설예주. 2008. 국가장기생태연구장소로서 구축된 남산 신갈나무군락의 구조 및 동태. 서울여자대학교 석사학위논문. pp.1-24.

이창석, 조용찬, 신현철, 이충화, 이선미, 설은실, 오우석, 박성애. 2006. 국가장기생태연구장소로서 구축된 남산 소나무림의 생태적 특성. 한국생태학회지 29(6):593-602.

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

환경부. 2004a. 국가 기초생태연구 기본계획 수립연구.

환경부. 2004b. 국가장기생태연구사업 계획서(신청용).

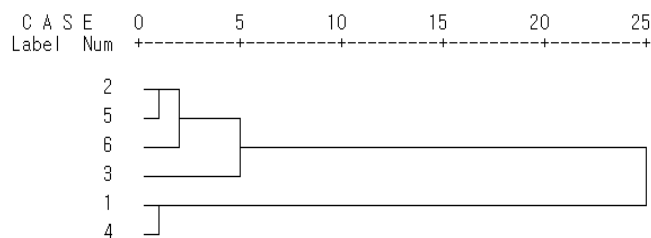


그림 3. 군집분석을 이용한 한라산 장기생태연구지의 덴드로그램

1 : A 지점, 2 : B 지점, 3 : C 지점, 4 : D 지점, 5 : E 지점, 6 : F 지점.