

영일사방사업지의 임분별 토양특성 비교분석

허태철^{1*} · 주성현² · 조현재³

¹영남산지보전협회, ²경북대학교 농업생명과학대학 임학과, ³산림청 녹색사업단

A Comparison of the Soil Physicochemical Properties of the Forest Stands in the Young-il Erosion Control District

Tae-Chul Hur^{1*}, Sung-Hyun Joo² and Hyun-Je Cho³

¹Korea Forest Conservation Association Yeungnam center, Daegu 702-894, Korea

²Department of Forestry, College of Agriculture & Life Sciences Kyungpook national University, Daegu 702-701, Korea

³Korea Green Promotion Agency, Daejeon 302-121, Korea

요약: 본 연구는 사방사업이 실시된 지 30년 이상 경과한 영일사방사업지의 효율적인 이용을 위한 기초자료를 제시하고자 임분별 토양조사를 실시하였다. 모래가 차지하는 비율은 59.7%로서 토성은 대부분 사질양토(SL)가 주로 분포하고 있었다. 토양의 pH는 평균 5.0으로 우리나라 산림토양의 평균 토양 pH 5.5보다 강산성이었다. 탄소함량은 평균 1.6%, 전질소의 함량은 평균 0.11%, 유효인산함량은 3.7 ppm으로 나타났다. 탄질률의 경우 평균 15.1, 양이온 치환용량(C.E.C)는 평균 13.2 cmol/kg으로 나타났다. 영일사방사업지의 주요 임분별로 토양이화학적 특성을 조사한 결과, 낙엽송의 임분의 토양 pH가 6.3로 가장 높았으며 탄질률은 11.7으로 가장 안정된 상태를 나타낸 반면 양이온치환용량은 가장 적었다. 사방오리나무 임분은 토양 pH가 4.6으로 가장 낮게 나타났고, 리기다소나무 임분의 질소 함량이 가장 적었다. 양이온 치환용량은 오리나무 임분에서 17.4 cmol/kg으로 가장 높았다. 결론적으로 오래전부터 황폐를 거듭해온 영일지구의 성공적인 사방사업을 실시하였지만, 지역에 따른 무육과 갱신 등 지속적인 산림 관리를 통하여 더욱 더 안정된 토양환경을 유지· 보존하여야 할 것이다.

Abstract: In this study, the physicochemical properties of the soils in the forest stands in the ecological restoration project in the Young-il Erosion Control District were investigated according to the type of plant growing therein. The soil texture was mostly sandy loam (SL), and the sand content was 59.7% on average while the average soil pH was 5.0, which was lower than the average pH of Korea's forest soil (5.5). Moreover, the average carbon, total nitrogen, and available phosphorus (P₂O₅) contents were 1.6%, 0.11%, and 3.7 ppm respectively. The C/N ratio was 15.1, and the average cation exchange capacity (CEC) was 13.2 cmol/kg. The physicochemical properties of the soils in the different forest stands were compared. Among all the stands, the *Larix leptolepis* stand had the highest pH 6.3 and the most stable C/N ratio (11.7). The *Alnus firma*-*Styrax* stand had the lowest pH 4.6 while the *Pinus rigida* stand had the lowest total nitrogen content. The *Alnus firma*-*Styrax* stand had the highest CEC (17.4 cmol/kg). The results showed that the Young-il Erosion Control District was devastated and deprived of soil nutrients over a long period. Therefore, sustainable forest management, such as tending and regeneration, are recommended for the Young-il Erosion Control District.

Key words : erosion, soil physicochemical properties, forest stand, sustainable forest management

서론

우리나라 산지는 자연적인 입지특성과 인위적인 재해로 토사가 유출되고 기암이 노출되는 등 오래동안 침식을 받아왔다. 이렇게 황폐된 산지는 1907년을 시초로 사방사

업이 실시되어 왔으나 1965년 이전에는 파종위주의 시공을 했기 때문에 실패지가 많았고 최근 20년동안 기초 토목공사를 병행한 시공으로 많은 황폐지가 복구되었다.

영일사방사업지는 1800년대부터 다양한 인위적 간섭과 그로 인한 입지의 물리적 환경의 붕괴로 황폐해진 임지를 1973년부터 1977년까지 숲을 재성립시킨 대표적인 사방사업지로 알려져 있다(경상북도, 1997).

*Corresponding author
E-mail: htaechul@hanmail.net

그러나 다른 사방사업지역과 마찬가지로 영일사방사업지도 외관적으로 사방사업에 성공하여 녹지대로 발전하고 있는 것 같으나, 조립후 20~25년이 지나면서 급격한 성장감소를 보이고 있는 것으로 나타났으며(조현재, 2005) 산림생태학적으로 영일사방사업후의 토양생태계가 어떻게 변천해 가고 있는지에 대한 조사연구가 미흡하였다.

주성현(1981)은 영일 사방사업 후 4년, 6년, 8년이 경과했을 때의 토양단면 및 식생구조의 변화를 조사한 결과, 사방사업의 효과로서 낙엽층과 표토층의 두께가 증가하고 인산함량을 제외한 나머지 토양 화학적 특성이 개선됨을 보고하였다. 또한 Cho(2009)는 영일사방사업지에서의 산림토양 손실량이 1973년에는 $12.6 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 에서 1987년 $7.7 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 1995년 $1.9 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 2005년에는 $0.2 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 점진적으로 토양의 유실피해가 줄어들었다고 보고하였다.

산림생태계에서 수목이 토양특성 변화에 영향을 미친다는 이론은 의심할 바가 없다. 수종차이에 따라 토양특성은 유의적으로 변화를 하며 또 노령의 임목이 존재할 경우 오랜 기간 토양에 영향을 미쳐 임지의 토양특성에 큰 변화를 가져온다(이수옥, 1980; 이수옥, 1981; 정영관 등, 1980). 사방사업 후, 시간이 경과함에 따라 산림이 형성되어 지피물에 의한 토양의 발달로 인해 점차 안정되어 가는 경향을 보이고 있으나 그대로 방치한다면 부분적인 황폐지나 임간나지가 재 발생하여 사방효과를 감소시키며 다시 관리하는 데는 초기보다 많은 노력과 비용이 투자되어야 한다. 이현규(2003)는 사방사업 후 시간이 경과됨에 따라 산지의 회복이 증가될 지라도, 사방사업의 사후관리를 위해서는 토양층의 변화, 식생구조의 변화 또는

Biomass의 변화 등을 지속적으로 관찰할 필요가 있다고 보고하고 있다.

본 연구는 영일사방사업지의 입분 별 토양단면과 토양의 이화학적 특성을 비교 분석함으로써 사방사업 후 보전 대책을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

영일사방사업지는 우리나라 동남부 해안 동경 $128^{\circ} 05' \sim 129^{\circ} 26'$, 북위 $35^{\circ} 54' \sim 36^{\circ} 16'$ 에 위치하고 있으며 행정구역상으로는 포항시 전역과 경주시 안강읍일대에 걸쳐있고 총면적은 4,538 ha에 달한다(Figure 1). 기후적인 특성은 최근 30년간(1971~2000) 연평균기온과 강수량은 각각 13.8°C , $1,120.3 \text{ mm}$ 로 나타났다(기상청, 1971-2000).

지질은 신라층군으로 동해안에 접재하여 소규모로 분포되고 있는 제 3기층이 주요 구성암층이다. 신생대 제3기 중신세에 해당하는 것으로서 영일만의 내연부를 따라 분포된 장기동 및 연일동의 주요범위가 되며 이들 구성암석은 암질이 연유(軟柔)하기 때문에 분포지역은 구릉성 저지(低夷)산지와 하천에 따라 넓은 중적층을 이루고 있다(윤을수 등, 2002; 윤성호 등, 1994). 이들 지층은 대부분 이암(泥岩)이고 이밖에 소량의 사암, 셰일, 사암셰일 및 실트스톤으로 구성되며 본 지역 내 면적의 대부분을 점유하고 있을 뿐 아니라 각종 화석이 비교적 많이 산출되고 있다.

식생개황을 보면 과거에는 소나무림과 참나무림이 번성하고 있었으나 현재는 일부 소나무의 잔존군락, 사방조림목인 아까시나무, 물오리나무, 사방오리 등의 사방조림

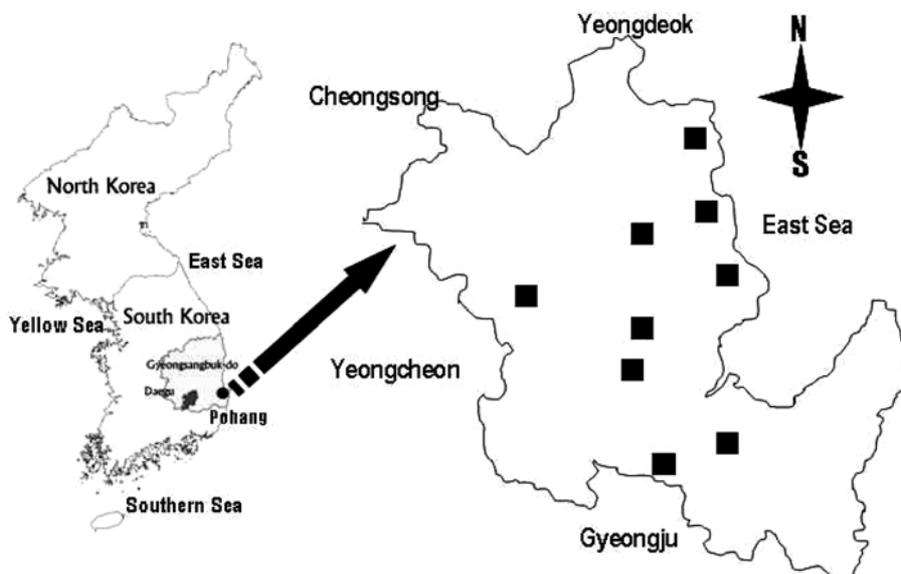


Figure 1. Map showing the study area. Black marks indicate the sampled sites (Copyright by Cho, 2005).

Table 1. A general stand condition of the Young-il Erosion control district.

Stand	Presence species
1*	<i>Pinus densiflora</i> (소나무), <i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래), <i>Smilax china</i> (청미래덩쿨), <i>Rhus tricarpa</i> (개웃나무), <i>Quercus serrata</i> (졸참나무), <i>Carex siderosticta</i> (대사초), <i>Oplismenus undulatifolius</i> (주름조개풀)
2	<i>Pinus rigida</i> (리기다소나무), <i>Quercus serrata</i> (졸참나무), <i>Lespedeza bicolor</i> (싸리), <i>Rubus crataegifolius</i> (산딸기), <i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래)
3	<i>Lalix leptolepis</i> (낙엽송), <i>Juniperus rigida</i> (노간주나무), <i>Quercus serrata</i> (졸참나무), <i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래), <i>Carex siderosticta</i> (대사초), <i>Carex humilis</i> (산거울)
4	<i>Alnus firma-Styrax</i> (사방오리나무), <i>Carpinus laxiflora</i> (서어나무), <i>Prunus sargentii</i> (산벚나무), <i>Lespedeza bicolor</i> (싸리), <i>Rhododendron schlippenbachii</i> (철쭉), <i>Miscanthus sinensis</i> (억새), <i>Rubus crataegifolius</i> (산딸기), <i>Alnus hirsuta</i> (물오리나무)
5	<i>Pinus thunbergii</i> (해송), <i>Robinia pseudoacacia</i> (아까시나무), <i>Rhus tricarpa</i> (개웃나무)
6	<i>Robinia pseudoacacia</i> (아까시나무), <i>Rhus tricarpa</i> (개웃나무), <i>Rubus crataegifolius</i> (산딸기), <i>Arundinella hirta</i> (새), <i>Quercus aliena</i> (갈참나무), <i>Rosa multiflora</i> (절레), <i>Clmatis apiifolia</i> (사위질뽕), <i>Alnus hirsuta</i> (물오리나무), <i>Stephanandra incisa</i> (국수나무), <i>Phytolacca americana</i> (미국자리공)

*1. *Pinus densiflora* stand, 2. *Pinus rigida* stand, 3. *Lalix leptolepis* stand, 4. *Alnus firma-Styrax* stand, 5. *Pinus thunbergii* stand, 6. *Robinia pseudoacacia* stand

목군락과 잠재자연식생인 참나무류와 사방조림목의 혼효 군락으로 구성되어 있다. 리기다소나무와 곰솔군락을 제외하면 비료목인 아까시나무, 물오리나무, 사방오리나무 등의 사방조림목군락들은 자연적인 천이, 한계에 달한 생태적 수명, 사후관리 미흡, 그리고 낮은 토양응집력과 열악한 환경조건 등이 복합적으로 작용하여 성장둔화 정후가 완전하고 다년생 초본식생도 아주 빈약한 상태였다(조현재, 2005).

소나무 임분은 하층식생으로 진달래가 우점하고 있으며 청미래덩쿨, 개웃나무, 대사초, 주름조개풀, 졸참나무가 출현하고 있다. 리기다소나무 임분은 초본층을 제외한 전계층에서 리기다소나무가 발달하고 있으나 하층이하에서는 졸참나무가 번성하고 있다. 아까시나무 임분은 다소 경사가 급한 건생지에서는 개웃나무, 산딸기, 새, 갈참나무, 절레꽃이 출현하고 있으며 전반적으로 사위질뽕, 물오리나무, 국수나무와 귀화식물인 미국자리공이 하층이하에서 번성하고 있다. 해송 임분은 전계층에서 해송이 우점하고 있으며 아까시나무와 개웃나무가 이입되고 있다. 사방오리나무 임분은 서어나무, 산벚나무 등이 아교목층을 형성하고 있으며 싸리, 억새, 철쭉꽃, 산딸기, 물오리나무가 출현하고 있다. 낙엽송임분은 아교목층은 노간주나무, 관목층은 졸참나무, 진달래, 초본층은 대사초와 산거울이 출현하고 있다(Table 1).

2. 분석방법

산림청(1995)의 산림입지조사 요령에 의거하여 6개 임분 45개 조사지를 대상으로 토양단면조사 및 입지환경조사를 실시하였다. 입지조사시 층위의 발달에 따라 A층과 B층을 구분하여 각 층위별로 3반복으로 채취, 혼합하여 시료를 채취하였으며, 채취한 토양(1 kg)을 풍건하여 2 mm 체로 친 부분을 토양시료로 하여 토양 이화학적 성질을 분석하였다.

토양특성 중, 토성은 비중계법으로, 토양 pH는 풍건토양 10 g과 증류수 50 mL로 혼탁액(1:5 soil/water)을 만들어 1시간 진탕후 pH-meter로 측정하였으며, 전질소 및 탄소 함량은 CN 원소분석기(NCS 2500, Fisons Instruments S.P.A, Italy)를 사용하여 정량 분석하였다. 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)은 1N CH_3COONH_4 (pH 7.0)로 전처리하여 EDTA 적정법과 Flame photometer법으로, 양이온치환용량(CEC)은 Brown간이법으로 유효인산(P_2O_5)은 Lancaster법으로 분석하였다.

조사된 모든 자료는 ANOVA를 이용하여 임분별 차이를 검정하여, 각 처리간 차이가 인정될 경우에는 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 통하여 평균간의 차이를 확인, 차별화 하였다(SAS, 1985).

결과 및 고찰

1. 토양의 입지환경특성 및 토양단면 특성

영일사방사업지의 토양 입지환경을 조사한 결과, 매우 건조하고 척박한 이 지역의 기후 특성을 감안하여 이 지역의 전반적인 입지환경은 인위적인 조림 즉, 사방사업에 의해 생성된 식생의 영향으로 토양환경이 많이 안정됨을 알 수 있었다.

낙엽송 임분은 화강암 모재로 이루어진 봉적토로 침식이 거의 없으며 계곡부에 위치하여 경사가 완만한 지형을 나타내었다. 토심은 35 cm, 유효토심 19 cm였으며, 유기물층은 평균 12 cm로 다른 입지에 비해 가장 깊었다. 또한 토양의 견밀도가 견(1.5~2.5)을 나타내고 있어 뿌리의 발달과 수분의 공급에 영향을 끼치고 있음을 알 수 있었다.

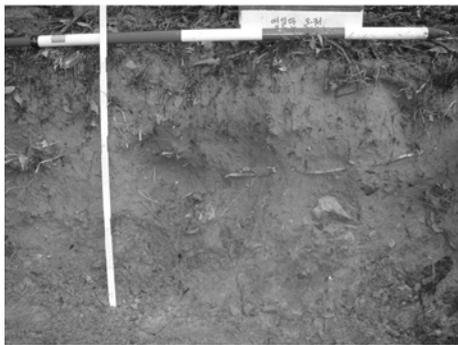
해송 임분은 이암이 풍화되고 있으며 유기물의 분해가 거의 일어나지 않고 있다. 또한 모암위에 A층이 2 cm 정도 존재하였으며 유기물층은 10 cm로 L(낙엽층)층은 3 cm, F층은 7 cm 정도였으며, 모암인 이암 사이사이에 토



(a) Soil profile of *Pinus densiflora* stand



(b) Soil profile of *Pinus thunbergii* stand



(c) Soil profile of *Alnus firma*-*Styrax* stand



(d) Soil profile of *Robinia pseudo-acacia* stand



(e) Soil profile of *Lalex leptolepis* stand



(f) Soil profile of *Pinus rigida* stand

Figure 2. The soil profile of Forest Stands in the Young-il Erosion Control District.

양이 존재하고 뿌리가 존재하였다. 일부 산불이 발생한 지역은 낙엽이 분해되지 않고 쌓여 있었으며 유효토심은 32 cm 정도였으나, 토양건밀도가 3.75~4.5로 매우 강건하였다(Figure 2).

잔존식생인 소나무 임분은 사방사업조사지와 달리 토심이 깊고 또한 유효 토심도 47 cm로 깊었다. 유기물층(O층)은 평균 10 cm로 우리나라 소나무 임지와 비교해도 비슷한 수준을 보이고 있었으며 모재가 역암층이지만 뿌리의 발달이 양호한 것으로 나타났다.

리기다소나무 임분은 화강암과 이암이 함께 공존하며 모재층의 풍화가 진행중이다. A층은 3 cm 정도로 현재 유기물의 분해가 이루어져서 생성되고 있는 것으로 판단된다.

아까시나무 임분은 모재가 이암으로 토양구조는 발달

하여 단립구조를 이루고 있으며 토양층위는 평행사면에서는 54 cm로 다소 깊었지만, 다른 곳에서는 24 cm 정도의 토심을 보였다. 특히 토양침식의 흔적이 남아있었으며 빠른 시일내에 복구를 하지 않으면 산사태 위험지역이 될 것으로 판단된다. 아까시나무의 임분은 대부분 풍노출도는 보호로 퇴적양식은 잔적토였으며 토심은 48 cm 였으나 유기물층은 낙엽층 3 cm, 부식층 4 cm 이었다. 세립으로 건습도는 약건을 나타내었고 견밀도는 견한 상태를 유지하고 있었으며 토양단면 내 뿌리의 분포는 많았다.

사방오리나무 임분은 소나무 임분과 달리 유기물층(4 cm)은 발달하지 않았지만, 토심은 67 cm로 깊었다. 토성은 사질 양토였으며 토양의 견밀도도 송과 연으로 비교적 뿌리가 뺏어나가기 좋은 토양이었다.

홍성천(1982)은 사방사업 후 20년이 경과하면 유기물층의 깊이가 4 cm가 된다는 보고와 비교하면 유기물층의 깊이 변화가 관찰할 수 있었으나 A층의 발달은 빈약하였다. 이현규(2003)의 사방시공 후 9년이 경과되었을 때부터 26년이 경과될 때까지 유기물층(O층)의 깊이는 큰 변화가 없는 것으로 나타나고 부식층은 증가되었다는 보고와 비교하면, 본 조사지역의 결과는 이들보다 유기물층의 깊이가 깊고 시간이 경과될수록 유기물층이 증가됨을 알 수 있었다.

2. 토양의 이화학적 특성

영일사방사업지의 토양형은 미숙토양이나 침식지 토양을 이루고 있었으며 일부지역에서는 갈색산림토양이 나타났다.

각 임분별 토성을 비교해보면 낙엽송과 사방오리나무 임분의 모래함량이 가장 많았으며 소나무 임분의 모래함량이 가장 적었다. 소나무 임분의 경우 사방사업을 실시하지 않은 지역이 대부분으로 다른 지역과 달리 풍화가 지속적으로 이루어져 온 것으로 판단된다. 조사지의 토성은 대부분 사질양토(SL)로 평균 모래함량은 59.7±12.6%, 미사의 함량은 20.0±9.0%, 점토의 함량은 20.3±7.4%였다. 일부지역에서 양토(L), 사질식양토(SCL), 점토(C)가 나타났으나(Table 2), 이는 윤율수 등(2002)이 지적한 우리나라 동남부해안지대에 분포되어 있는 영일토양의 모재와 생성학적 특성으로 기인한 것으로 판단된다. 또한 모암인 이암의 특성상 일광의 직사광선에 의하여 암석의 팽창과 수축의 차가 커서 내부가 용이되기 쉽고, 암석 표면에 균열이 생기고 붕괴되어 각석력(角石礫)이 생성되어 이것이 분해됨에 따라 사력형태와 점질토로 변화되는 과정에서 다양한 토성이 형성된다고 판단된다(윤율수 등, 2002; 윤성호 등, 1994).

토양의 pH는 평균 5.0±0.5로 우리나라 산림토양의 평균 토양 pH 5.5보다 강산성이었으며, 1982년 홍성천의 연구 결과보다 더욱 산성화된 것을 알 수 있었다. 토양 pH에 영향을 주는 인자는 부식층의 발달이나 모암, 토양의 질산화율 정도, 식생에 의한 양이온 흡수, 최근 증가하는 환경오염물질 등에 의해 시·공간적으로 변화를 보이기 때문에 직접적인 원인은 찾을 수 없었으나(Armson, 1977), 식생이 발달함으로 인하여 양이온흡수의 증가에 따른 수소이온의 방출에 기인한 것으로 추정된다. 토양의 pH는 낙엽송의 임분이 6.3±0.1으로 가장 높았으며 아까시나무의 임분의 pH가 5.0±0.4로 나타났으며 사방오리나무 임분(4.6±0.4)이 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 활엽수림의 토양 pH가 높다고 알려져 있으나, 아까시나무 임분을 제외한 다른 임분에서는 낮게 나타났다. 이는 식생의 영향보다는 사방사업지가 복구가 이루어지기 전, 오랜 기간 황폐되어 양분의 용탈이 쉽게 이루어진 것으로 생각된다.

유효인산의 함량은 전체 평균 3.7±2.1 ppm으로 홍성천(1982)의 보고와 비교하면 2~4 ppm 정도 적게 함유한 것으로 나타났으며 우리나라 산림토양(정진현 등, 2002)의 유효인산함량이 평균 20 ppm인 것과 비교해 보아도 영일지역의 유효인산함량이 적은 것으로 나타났다. 낙엽송 임분이 5.2±0.1 ppm로 가장 높았으며, 오리나무 임분이 가장 낮았다. 이는 지역의 pH가 낮으므로 인산의 난용성화에 기인한 것으로 판단되며 유기물층이 발달하지 않은 것을 미루어 보아 용탈도 어느 정도 일어난 것이라 판단된다. 우리나라의 모암별 유효인산은 화성암 28.7 ppm, 변성암 27.4 ppm와 퇴적암 13.2 ppm으로 나타난 것(정진현 등, 2003)과 비교해도 이암지대인 영일사방사업지역의 유효인산 함량은 상당히 적은 것으로 나타났다. 이는 점토함량이 다른 모암에 비해서 높아 토양내 인산을 불용화하고 고정시키는

Table 2. Soil physiochemical properties of the Young-il Erosion control district (average ±standard deviation).

	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	C(%)	N(%)	C/N	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CEC
	(cmol _c /kg)												
<i>P. densiflora</i>	53.6 ±8.2	24.7 ±9.1	21.8 ±5.9	4.8 ±0.3bc	2.0 ±1.5	0.13 ±0.06ab	15.7 ±5.7	3.3 ±1.9	2.9 ±2.4	1.8 ±1.6	0.4 ±0.2	0.4 ±0.4	14.2 ±3.5ab
<i>P. rigida</i>	64.5 ±6.6	17.8 ±4.4	17.8 ±4.3	4.9 ±0.2bc	1.0 ±0.4	0.06 ±0.01c	16.2 ±3.9	3.0 ±2.9	4.3 ±1.9	1.3 ±1.4	0.3 ±0.1	0.21 ±0.1	13.6 ±3.2ab
<i>L. leptolepis</i>	66.9 ±7.1	13.9 ±4.6	19.1 ±2.5	6.3 ±0.1a*	1.5 ±0.4	0.13 ±0.01a	11.7 ±3.1	5.2 ±0.1	5.2 ±2.9	2.5 ±1.3	0.5 ±0.1	0.4 ±0.1	9.0 ±20.8c
<i>A. firma-Styrax</i>	66.6 ±8.9	17.0 ±5.6	16.4 ±4.2	4.6 ±0.4c	2.1 ±0.8	0.13 ±0.04ab	16.3 ±3.9	2.5 ±1.2	5.8 ±2.9	1.1 ±0.9	0.4 ±0.2	0.1 ±0.0	17.4 ±1.2a
<i>P. thunbergii</i>	53.8 ±9.9	24.5 ±8.9	21.7 ±8.8	5.2 ±0.4b	1.2 ±0.9	0.07 ±0.05bc	17.2 ±4.4	3.6 ±2.6	2.8 ±0.9	1.0 ±0.8	0.4 ±0.2	0.3 ±0.2	12.2 ±2.9bc
<i>R. pseudo-acacia</i>	60.2 ±18.4	17.8 ±10.8	21.9 ±10.7	5.0 ±0.4bc	1.4 ±0.9	0.11 ±0.04abc	13.2 ±7.3	4.8 ±2.1	5.2 ±4.3	1.9 ±1.4	0.4 ±0.2	0.3 ±0.2	10.6 ±4.3bc
average	59.7 ±12.6	19.9 ±8.9	20.3 ±7.4	5.0 ±0.5	1.6 ±1.0	0.11 ±0.05	15.1 ±5.4	3.7 ±2.1	4.3 ±3.1	1.6 ±1.3	0.4 ±0.2	0.3 ±0.3	13.2 ±4.1

*The same letters above each value indicate that the values were not significantly different within the row at the 5% level.

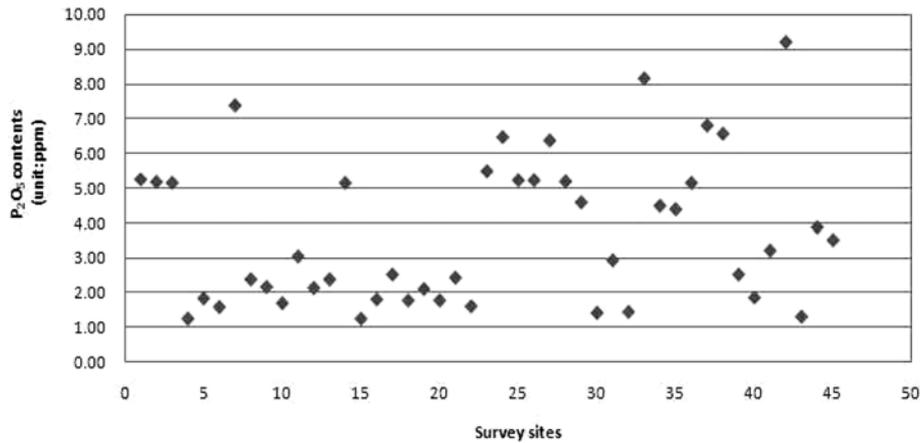


Figure 3. P₂O₅ contents in the soil of Young-il Erosion Control District.

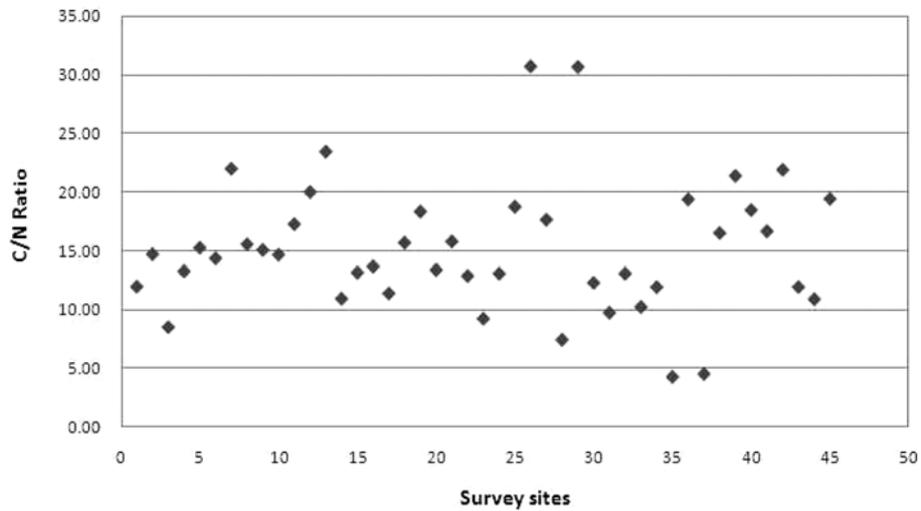


Figure 4. C/N ratio in the soil of Young-il Erosion Control District.

인산흡수율이 높기 때문으로 생각된다(Figure 3).

양이온치환용량, 보수력, 토양구조 등의 토양의 이화학적 특성을 지배하는 토양탄소의 함량은(Page *et al.*, 1982) 전체 조사지평균 1.6±1.0%로 우리나라 산림토양(평균 A 층 4.5%)보다 낮게 나타났다. 사방사업이 실시된 지 30년이 경과하였음에도 불구하고 유기물의 함량이 적은 것은 모재인 이암으로 인하여 유기물의 유입이 쉽지 않았으며 토양침식 등으로 인하여 유기물의 축적이 적은 것으로 판단된다. 또한 유기물층의 형성이 느린 것도 토양내 유기물함량이 적은 이유이다. 토양의 견밀도(1.5이상)와 토양구조가 세립질로 공극발달이 어렵고 유기물이 표층에서 분해되어도 무기양분의 부족으로 토층 내 집적이 어렵기 때문으로 판단된다.

적은 유기물 함량과 더불어 전질소의 함량(평균 0.11±0.05%)도 아주 낮게 나타났다. 토양의 산성화로 인한 질산화작용이 감소하고 수목이 이용할 수 있는 유기물의 함량이 낮음으로 일어나는 당연한 결과라 할 수 있다. 전질소의 함량과 탄소의 함량은 사방오리나무 임분이 가장 높았

으며 리기다소나무 임분에서 가장 낮은 값을 보였다. 사방오리나무는 비료목이라 불릴 정도로 산림내 토양의 양분 축적에 기여하고 있는 것으로 판단된다. 탄질률은 해송 임분이 17.2±4.4로 가장 높게 나타났으며 낙엽송이 11.7±3.1로 가장 안정된 탄질률을 나타내었다(Figure 4).

치환성양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)의 함량은 우리나라 산림토양의 함량과 비슷한 수치를 나타내었으며 특히 Ca²⁺ 함량은 산림토양의 평균 2.44 cmol/kg보다 높은 함량인 4.33±3.08 cmol/kg를 나타내었다. 치환성 양이온함량은 Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺ 순으로 나타나 일반적으로 산림토양에서 치환성 양이온의 함량순서와 같은 결과를 나타내었다.

토양 pH가 낮음에도 불구하고 양이온 치환용량(C.E.C)은 평균 13.21±4.10 cmol/kg 으로 높게 나타났다. 일반적으로 양이온 치환용량은 토양내 유기물이나 점토함량과 밀접한 관계가 있으며(이수욱, 1981; Page *et al.*, 1982; Armson, 1977; 조성진 등, 2001), 정진현 등(2003)은 양이온치환용량이 모암에 따라 함량 차이를 나타낸다고 보고하였다. 조사지역의 양이온 치환용량은 유기물함량 보다

Table 3. A comparison of soil physicochemical properties on soil layers in the Young-il erosion control district (\pm standard deviation).

	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	C(%)	N(%)	C/N	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ (cmol _c /kg)	Na ⁺	CEC
A layer	60.6 \pm 13.7	18.9 \pm 9.6	20.6 \pm 8.8	5.0 \pm 0.6	1.5 \pm 0.9	0.1 \pm 0.1	14.5 \pm 5.1	4.0 \pm 2.1	3.4 \pm 1.9	1.7 \pm 1.1	0.4 \pm 0.2	0.4 \pm 0.3	12.0 \pm 3.6
B layer	59.2 \pm 12.1	20.6 \pm 8.7	20.2 \pm 6.7	5.0 \pm 0.5	1.7 \pm 1.1	0.1 \pm 0.1	15.5 \pm 5.7	3.5 \pm 2.1	4.9 \pm 3.5	1.5 \pm 1.4	0.4 \pm 0.2	0.3 \pm 0.3	13.9 \pm 4.3

는 모암의 영향을 많이 받은 것으로 판단된다. 양이온 치환용량은 사방오리나무 임분이 17.40 \pm 1.22 cmol_c/kg 로 가장 높았으며 소나무, 리기다 소나무순으로 높았으며 낙엽송의 임분에서 가장 낮게 나타났다(Table 2).

조용찬 등(2009)은 본 연구대상지역인 포항 영일지역의 산림생태계는 실국시대(1910~1945년)이후 매우 심하게 훼손되었고, 1970년대초 영일사방사업을 통해서 지역 경관 및 생태계가 안정화되었으나, 산불과 같은 지속적인 교란은 지역 조림 식생의 회복을 더디게 하거나 후퇴시키는 결과를 나타낸다고 지적하였다. Table 3에서 나타난 것과 같이 A층의 토양양분이 B층보다 많은 것이 일반적이나(정진현 등, 2002), 조용찬 등(2009)의 지적처럼 영일사방사업지의 지속적이고 지역적인 교란에 의해 층위간 토양양분의 차이가 나타나지 않았다. 또한 토양단면조사에서 나타난 것과 같이 일부지역은 A층이 출현하지 않는 곳도 많았다. 임분 간의 차이는 pH와 전질소함량은 낙엽송 임분이 가장 높고 양이온치환용량은 사방오리나무 임분에서 가장 높게 나타났다. 결론적으로 오래전부터 황폐를 거듭해온 영일지구의 성공적인 사방사업을 실시하였지만, 사방사업의 극대 효과는 얻지 못하는 실정이며 따라서 토양환경의 안정화는 여전히 이루어지지 않고 있다고 판단된다.

토양의 물리성은 30년이 경과되어 어느 정도 개선되었으나 경제수종을 식재할 만큼 발달하지는 못했으며 토양양료 또한 임목 정상생육에는 충분하지 못하므로 지속적인 시비가 필요하다. 또한 오랜 기간에 걸쳐 형성된 모암의 영향으로 산사태 등 많은 위험요소를 지니고 있다. 따라서 박재현(2007)은 리기다소나무 임분에서 산림사업이 토양의 물리성의 개선과 계류수질의 완충효과에 영향을 한다고 보고한 것처럼 영일사방사업지의 임분에 따른 무육과 갱신 등 지속적인 산림 관리를 통하여 더욱 더 안정된 토양환경을 유지·보존하여야 할 것이다.

인용문헌

1. 경상북도. 1997. 영일지구사방사업사. 경상북도. 286pp.
2. 기상청. 1971-2000. 기상연보. 기상청.
3. 박재현. 2007. 리기다소나무 임분에서 산림관리작업이 토양의 물리성 및 산림의 수질정화기능에 미치는 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 10(2): 61-70.

4. 산림청. 1995. 산림입지조사요령. 86pp.
5. 조용찬, 김준수, 이중효, 이현호, 마호섭, 이창석, 조현재, 배관호. 2009. 아까시나무림에서 인공 숲틈 처리에 대한 졸참나무 식재목 및 하층식생의 초기 반응. 한국임학회지 98(1): 94-105.
6. 윤을수, 정연태, 손일수, 정기열, 이동창. 2002. 한국 동남해안지대에 분포된 영일통의 모재와 생성학적 특성. 한국토양비료학회지 35(3): 137-144.
7. 윤성호, 김진섭, 옥수석, 홍현근, 김형식. 1994. 영일반도 일원의 화산암류에 대한 암석학적 연구. 한국토양비료학회지 15(2): 126-138.
8. 이수욱. 1980. 한국삼림토양에 관한 연구(I). 한국임학회지 47: 52-61.
9. 이수욱. 1981. 한국삼림토양에 관한 연구(II). 한국임학회지 54: 25-35.
10. 이현규. 2003. 사방시공지 식물사회의 생태학적 변화에 관한 연구(V). 한국환경복원녹화기술학회지 6(5): 59-69.
11. 정영관, 홍병화, 김종만. 1980. 토양의 화학적 성질과 임목생장과의 관계. 한국임학회지 46: 10-20.
12. 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6): 694-700.
13. 정진현, 김춘식, 구교상, 이충화, 원형규, 변재경. 2003. 우리나라 산림토양의 모암별 이화학적 특성. 한국임학회지 92(3): 254-262.
14. 조성진 외 10인. 1990. 삼정 토양학, 향문사, 396pp.
15. 조현재. 2005. 영일사방사업지 산림식생의 구성적 특성과 천이경향. 한국임학회지 94(6): 453-461.
16. 주성현. 1981. 영일사방사업지의 토양단면 및 식생구조의 변화. 경북대학교 석사학위논문. 14pp.
17. 홍성진. 1982. 영일사방사업지의 삼림생태학적 연구. 한국임학회지 58: 41-47.
18. Armonson, K.A., 1977. Forest soils; Properties and processes. Univ. of Toronto press. 1-163.
19. Cho, Y.C. 2009. Restoration ecological assessment and improvement plan on a large scale afforestation practiced at the Young-il, southeastern Korea. PhD Dissertation, Seoul Women's University, Seoul.
20. Page, A.L., Baker & Roscoe, D.E. and Ellis, Jr. 1982. Methods of soil analysis; Chemical and Microbiological properties, Madison, Wisconsin, U.S.A. 539-693.
21. SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Ver. 6 edit. Cary NC, USA. 378pp.

(2009년 6월 22일 접수; 2009년 7월 27일 채택)