

집적한 산림표토의 환경조건이 매토종자와 토양동물에 미치는 영향

Effects of Soil Water and Temperature on Buried Seed and Soil Animal in the Stacked Forest Topsoil

박석곤¹ · 신현탁² · 이명훈³

¹규슈대학교 열대농학연구센터, ²경상남도산림환경연구원, ³영남대학교 조경학과

서론

산림표토를 이용하는 식생복원기법은 매토종자의 식생회복 잠재력을 활용하는 것으로서 외부로부터의 식생도입에 의한 유전자 교란방지와 자원리사이클이 가능하다(Hosogi and Kameyama). 또한 이 기법은 표토내 선구종의 발아와 생장으로 조기에 기존식생과 유사한 식생복원이 가능할 뿐만 아니라 토양내의 서식하는 지렁이, 공생균근균 등의 토양동물이나 미생물까지도 이식, 복원됨으로서 자연환경개발에 따른 지역생태계의 교란을 최소화시킨다는 점에서 주목받고 있다(오구균 등, 2008).

대규모 택지조성이나 도로개발 등의 공사현장에서는 채취한 산림표토를 식재기반 조성까지 일정기간동안 임시보관해야 하고, 그 기간 중의 토양동물이나 미생물, 매토종자 등의 사멸, 표토성질 악화 등에 의해 표토의 자연회복 잠재력이 저감될 가능성이 있다(高取 등, 1975). 현재, 공사공정 단계상 필요한 표토 보관방법과 자연회복 잠재력의 지속성과의 관계에 관한 실증적 연구는 미흡한 상태다.

한편, ソン과 薛(2004), 山辺와 小倉(2004)는 산림이 훼손된 지역에 표토이식한 후에 青木(1995)가 제안한 토양동물에 의한 자연도평가법으로 자연환경을 효과적으로 평가하였다. 땅속에 사는 동물 즉, 토양동물(soil animals)은 원시림에서 대도시까지 어디든지 분포하면서 종수와 개체수가 많으며, 특정 계절이나 시각에 관찰할 수 있는 지상동물과 달리 연중조사가 가능하다. 특히, 환경의 변화에 단기간에 민감하게 반응하여 종조성이 변화는 동물적 특성과 정주성이 높은 식물적 특징을 동시에 갖추고 있어 환경지표생물(indicator)로서의 자연환경평가 및 진단이 가능하다

(青木, 1995).

본 연구에서는 산림표토를 활용한 식생복원기술을 개발하기 위해서 채취한 표토를 쌓아올려 보관할 때 산림표토의 온도와 수분의 조건이 매토종자 및 토양동물에 미치는 영향을 밝히고, 적절한 표토보관에 대한 방법을 모색하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 산림표토의 채취 및 집적

일본 규슈대학교 후쿠오카연습림내의 상록활엽수림에서 낙엽층을 제거한 A0층과 A1층의 표토를 채취해, 표토전체를 섞어 물리적 구조를 균질하게 했다. 목재로 만든 집적컨테이너(가로 90cm×세로 90cm×높이 150cm)를 야외에 설치해 이 산림표토를 쌓아 올렸다. 집적컨테이너의 측면부는 두께 4cm의 스트로폼으로 감싸서 외부로부터의 열전도를 차단했다. 집적컨테이너의 윗부분 표토로 빗물이 스며들어 하층부로 자연배수가 되도록 하였다. 산림표토의 채취는 2004년 5월 24-27일, 표토집적은 2004년 5월 29일에 실시했다.

2. 토양온도 및 토양수분센서 설치

산림표토를 쌓아올릴 때 깊이별 10cm, 50cm, 100cm, 150cm의 지점에 온도센서(Thermo Recorder TR-51)와 토양수분센서(EC-20 ECHO)를 매설해, 10분 간격으로 토양의 온도와 수분을 측정했다. 집적컨테이너에서 각 깊이별로 15일 간격으로 토양시료를 채취해 체적함수율(volumetric

water content)을 구한 다음에 토양수분센서로 측정된 데이터를 보정해 집적컨테이너의 체적함수율을 계산하였다. 또한, 실험 내에 설치된 기상측정장치에서 측정된 기온과 강수량 데이터를 이용해 일일평균기온과 일일강수량을 계산했다.

3. 종자매장 실험

집적한 표토내의 환경 조건이 매토종자에 미치는 영향을 명확히 알기 위하여 종가시나무와 가시나무의 종자를 집적 깊이별(10cm, 50cm, 100cm, 150cm)로 100개씩 매장하여 3개월 후에 종자 생존율을 조사했다. 매장한 종자를 각 깊이별 산림표토에서 꺼내어 육안으로 종자 배아와 배젖의 부패여부를 판단하여 생존율을 산출했다. 단, 종자 생존여부를 판단하기 어려운 경우에는 인큐베이터에서 발아실험을 실시했다.

4. 토양동물 조사 및 표토환경 평가

산림표토의 집적기간 동안 토양동물의 변화를 알기 위해서 표토의 채취직후, 표토의 집적직후, 집적 1개월, 2개월, 3개월 후에 집적깊이별로 토양동물의 출현종과 개체수를 조사했다. 기간 및 깊이별로 토양시료 2L를 채취하여 육안으로 식별 가능한 대형토양동물은 흡충관과 핀셋으로 잡아 모았다. 그리고 육안으로 식별이 어려운 중형토양동물의 경우에는 시료를 툴그렌(Tullgren)장치에 집어넣어 72시간 동안 토양동물을 추출해 70% 에탄올에 보관하였다.

추출된 토양동물은 靑木(1995)가 제안한 토양동물군을 조사하여 토양의 환경을 평가하였다. 이 평가법은 토양동물 32종을 환경의 조건에 따라 출현하는 종을 3그룹으로 구분해 자연환경의 자연도를 판정하는 방법이다. 즉, A그룹의 토양동물(장님거미목, 왕지네목, 복족류, 노래기강, 땅지네목, 개미사돈과, 애기네강, 옆새우아목, 돌좀목, 육산갯강구의 10종)은 비교적 환경이 양호한 곳에서 주로 발견되는 것으로 환경저항성이 매우 낮아서 소멸되기 쉽다. B그룹의 토양동물(얇은뱅이목, 지렁이강, 좀붙이목, 총채벌레목, 흰개미목, 집게벌레목, 나미목-유충, 도롱이벌레과, 딱정벌레-성충, 바구미과, 딱정벌레-유충, 노린재목, 먼지벌레과의 12종)은 환경저항성이 중간정도이며, C그룹의 토양동물(톡토기목, 응애목, 공벌레, 파리목-유충, 애지렁이과, 개미과, 딱

정벌레목 반날개과의 8종)은 환경에 대한 저항성이 강해 어느 곳에서도 잘 견디는 종들이다. 환경에 민감한 A그룹의 토양동물이 출현하면 가산점 5점, B그룹에는 3점, C그룹에는 1점을 각각 주어 전체 모두 토양동물종이 출현하면 100점이 된다. 양호한 천연림이나 이차림 등의 환경에는 자연도가 100점에 가깝지만, 훼손지나 자연환경조건이 열악한 환경에는 0점에 가깝다.

결과 및 고찰

1. 집적표토의 온도 및 수분 변화

집적한 산림표토의 일평균온도는 기온보다 높았다(그림 1). 이것은 집적깊이 10cm지점은 태양의 복사열에 의한 열전도 때문이며, 이 지점의 토양온도 변화는 기온과 유사한 패턴으로 변동했다. 집적깊이 50와 100cm지점의 토양온도가 기온보다 약 7-8℃정도 높았고, 150cm지점에서 약 4℃, 10cm지점에서 3℃정도 높게 측정되었다.

일반적으로 토양은 삼상(고상, 액상, 기상)의 혼합물로 일 반물질에 비해 열전도율은 낮으며, 토양표면에 비해 하층부로 갈수록 온도가 낮아진다(宮崎 등, 2005). 하지만, 본 실험에서는 집적깊이 50cm와 100cm의 지점이 온도가 높아 일반토양과 다른 양상을 보였다.

유기물 함량이 적은 토양과의 온도 차이를 확인하기 위해서 9월초 경에 화강암질 풍화토(마사토) 깊이별로 온도를 측정해, 집적표토와 일일온도 변화를 비교하였다. 마사토에서의 깊이별 온도는 10cm의 지점이 가장 높았고, 하층부로 갈수록 온도가 낮아지는 경향을 보였다(테이타 생략). 집적 표토의 50, 100, 150cm지점은 마사토의 동일한 지점보다 온도가 높았다. 이러한 결과는 산림표토의 유기물 함량이

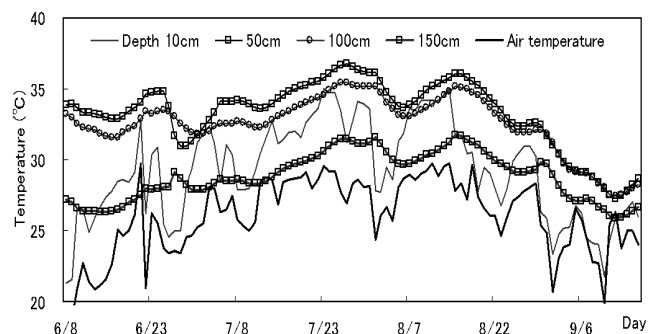


그림 1. 집적한 산림표토에서의 깊이별 토양온도 변화

높아 빗물이 스며들어 유기물 분해가 진행되면서 메탄가스, 황화물과 함께 열이 발생해 토양온도가 높아진 것으로 판단된다. 일반적으로 유기물 분해시 발효기에는 65-80℃까지 상승하는 것으로 알려져 있다(藤原 등, 1998).

집적표토의 체적함수율은 집적한 후 강수에 의해 6월 24일부터 모든 지점에서 상승하였다. 집적깊이 10cm의 체적함수율은 강수가 적은 시기에 25%, 강수가 많은 시기에 50%까지 상승해 변화 기복이 심했다. 이것에 비해 하층부(집적깊이 100cm이하)의 체적함수율은 강수량에 따른 변화기복이 작았으며, 50%이상으로 체적함수율이 높았다.

또한, 하층부의 100cm와 150cm지점에서 체적함수율은 가장 높았고, 그 다음으로 50cm, 10cm순이었다. 표토집적 컨테이너의 구조상 표토지면에 도달한 빗물은 전부 하층부까지 침투하기 때문에 하층부로 갈수록 체적함수율이 높아진 것으로 판단된다. 집적깊이 10cm와 50cm의 토양수분은 모세관수가 표면 증발하여 체적함수율이 감소하기도 했지만, 100cm와 150cm의 체적함수율은 변동이 무디었다(그림2).

토양공극율(porosity)은 보통 50-60%로 이 공간의 일부 분은 수분(액상)이 차지하고, 나머지 공간은 기상율(air filled porosity)로 대기와 가스교환의 통기역할을 담당한다. 하지만, 본 실험과 같이 표토의 체적함수율이 50%이상인 경우에는 공극에 대부분 수분이 차지하고 있어 가스교환이 저해될 가능성이 매우 높다. 가스교환이 저해되면 혐기성 세균의 활동이 개시되어 유기물질은 물론 철이나 망간 등의 무기물질까지도 환원상태로 변한다. 이 물질은 유독성으로 식물생육과 토양동물에 악영향을 미치게 된다(진현오 등, 1994).

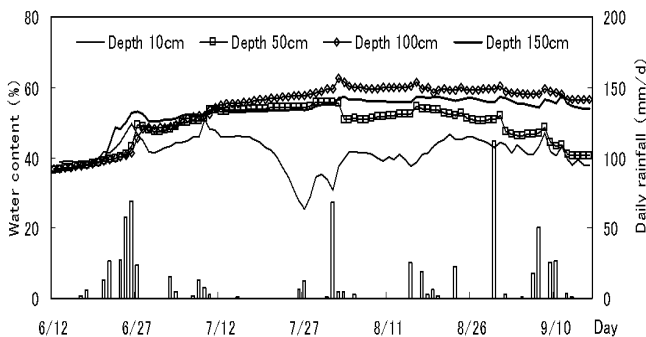


그림 2. 집적표토에서의 깊이별 토양함수율

2. 매장종자의 생존율

집적한 표토에 3개월간 매장한 목본종자의 생존율을 보면, 집적깊이 10cm지점에서 종가시나무의 생존율이 79%, 50cm지점에서는 38%, 100cm와 150cm지점에서는 10% 이하였다. 가시나무의 경우에는 10cm지점의 생존율은 56%이었지만, 그 이하의 지점에서는 대부분 사멸했다(그림3).

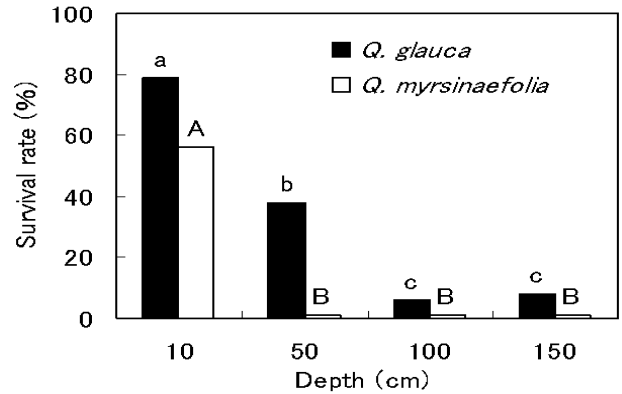


그림 3. 집적표토에서의 매장종자의 생존율

집적깊이 10cm지점에서 종자는 발아율이 높았으며, 그 일부는 집적한 표토의 윗부분까지 새싹이 자라나왔다. 다른 지점에 매장한 종자도 10cm지점과 동일하게 발아했지만 종자의 싹과 배젖이 대부분 썩었다. 집적표토의 토양온도와 수분이 높아 매토종자 발아에는 양호한 조건이었으나, 산소 부족과 함께 환원상태로 유독물질이 발생하여 대부분의 종자에게 악영향을 미쳤을 것으로 보인다.

3. 토양동물의 변화 및 표토환경 평가

집적 직후의 산림표토에서는 22그룹의 토양동물종이 출현했으며, 그의 총개체수는 약 410정도였다. 집적 직후에서는 A그룹의 전 토양동물종과 B그룹의 일부 토양동물종이 사라졌으며, 이때의 토양동물은 12종, 190개체가 출현했다.

집적 후 기간경과에 따른 토양동물종은 집적 1개월 후에 가장 적었으며 시간경과와 동시에 약간 증가해 가는 경향을 보였으며, 토양동물의 개체수는 집적 2개월까지 점차 감소한 후, 3개월부터 조금 늘어나는 경향을 보였다(그림4).

青木(1995)의 토양동물에 의한 자연도 평가는 표토채취

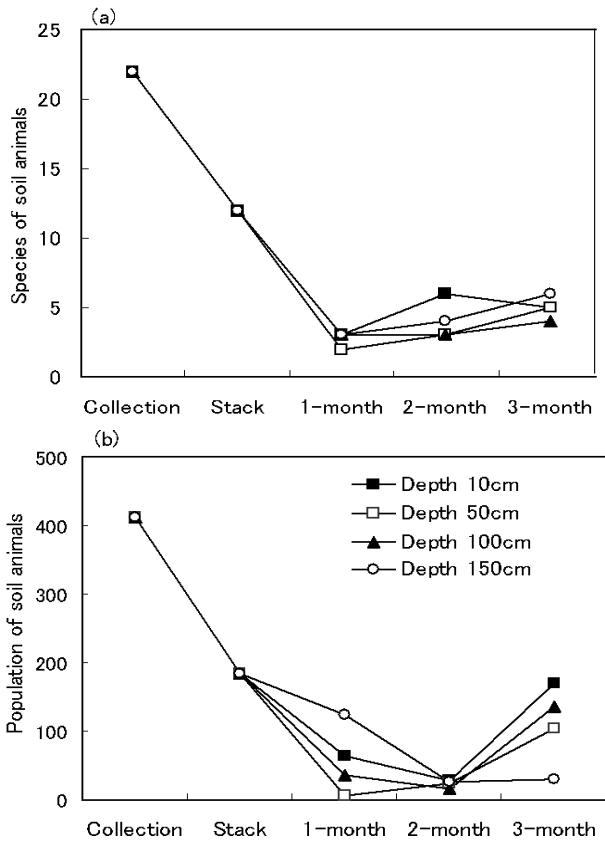


그림 4. 집적표토에서의 토양동물 종수(a)와 개체수(b)의 변화

때에 60점으로, 宋 등(2001)이 조사한 규슈대학 후쿠오카연 습림의 상록활엽수림 자연도와 거의 동일한 수준이었다. 집적 직후의 평점은 20점, 집적 1개월 후의 깊이별 평가는 2-5점, 2개월 후는 3-10점, 3개월 후는 6-10점이었으며, 집적 후에 시간이 경과함에 따라 B와 C그룹의 토양동물종이 출현하는 경향을 보였다(데이터 생략).

일반적으로 서식환경이 다양한 산림토양 내에 토양동물의 종수 및 밀도가 높으며, 토양환경 변화에 토양동물의 출현종이 민감하게 변하는 것으로 알려져 있다(靑木, 1995; 岩田와 喜田, 1997). 본 실험과 같이 표토집적으로 인해 토양수분의 과잉과 토양온도의 상승으로 인해, 토양동물의 서식환경 조건이 악화되거나 서식환경이 단순화되면서 토양동물의 개체수 및 종수가 급격히 감소한 것으로 판단된다. 시간경과 후 환경에 둔감한 B와 C그룹의 토양동물이 증가한 것은 집적표토의 환경조건에 적응해 증가한 것으로 보인다.

4. 고찰

집적한 산림표토의 표면으로부터 침투한 빗물로 인한 토양수분의 증가로 표토내의 유기물이 분해되면서 집적한 산림표토의 온도가 일반토양에 비해 높았다. 집적깊이 10cm 지점에 매장한 종가시나무와 가시나무의 생존율은 60%이상으로 비교적 높았지만, 그 이하의 지점에서는 대부분이 사멸했다. 이는 7월-8월경에 표토내의 30℃이상의 고온과 수분과잉의 원인으로 표토내부가 환원상태로 변해 매토종자의 생명력 유지에 악영향을 미친 것으로 판단된다. 토양동물은 산림에서부터 채취한 표토를 운반, 교반, 집적 등의 과정에서 많은 종이 사라졌고, 집적후의 시간경과에 따른 표토내의 수분과잉과 고온의 열악한 서식환경에 의해 환경변화에 둔감한 종을 제외한 대부분의 토양동물이 사멸하거나 다른 곳으로 이동한 것으로 판단된다.

일본 오사카부(大阪府) 미노오가와(箕面川)댐 수위변동 구역 비탈면을 표토활용으로 식생을 회복한 사례에서는 채취한 표토를 자루에 담아 쌓아 통기와 배수를 원활하게 유지해 1년 이상 보관한 후에 표토를 뿌려 식생복원에 성공하였다(오구균 등, 2008).

본 실험결과와 위 사례를 토대로 채취한 표토의 자연회복 잠재력을 지속시키기 위한 표토의 집적기간, 방법 및 형태, 배수 등의 적절한 대책을 다음과 같이 마련할 수 있다. 우선, 채취한 표토를 복원대상지에 재배치하기까지 기간을 최대한 단축하도록 노력하며, 임시보관 장소는 전체 공사공정상에 지장을 주지 않고, 표토 성질에 악영향을 주지 않는 장소로 선정하도록 해야 한다. 대규모로 표토를 집적하기 위해서는 산형이나 사다리꼴 제방형으로 쌓아올려 표토내부로 빗물이 침투하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 만약, 표토의 수분함량이 높아지면 자연회복 잠재력 저하와 함께 표토 재배치 작업이 어려워지면 표토가 서로 뭉쳐 공극을 저하 등 물리적 성질이 악화될 것이다. 따라서 집적표토의 기울기는 가능한 빠르게 표면으로 빗물이 흘러내리도록 상정한 다. 이 빗물은 집적지 주위에 임시로 도랑으로 배수되도록 하며, 대형으로 표토를 집적할 때에는 하부에 암거를 설치해야 할 것이다. 또한, 집적된 표토표면은 다짐처리하거나 차광막을 덮어 집적표토의 붕괴, 비사 등을 방지해야 할 것으로 생각된다.

결론

대규모 택지개발, 골프장 등의 토지개발과 도로공사 현장에서 발생하는 산림표토를 활용하기 위해서는 공사공정상 일정기간 임시보관이 필요하다. 이때 적절한 방법으로 표토를 보관하지 않으면 집적표토 내에 빗물침투로 토양수분이 과잉되고, 유기물 분해로 토양온도가 상승해, 매토종자와 토양동물에 악영향을 미쳐 산림표토가 갖고 있는 본래의 자연회복 잠재력이 저하된다. 따라서 표토의 자연회복 잠재력을 유지하기 위해서는 표토에 대한 적절한 집적방법 및 형태, 배수 등의 대책을 마련해야 할 것이다.

인용문헌

Hosogi, D. and A. Kameyama(2006) Timing for the planting method using deciduous forest topsoil in suburban Tokyo, Japan. *Ecological Engineering* 26:123-131.

ソンゼエタク, 薛孝夫(2004) 造成樹林の生態系回復の指標としての林床植生および土壌動物相の有効性. *日本緑化工學*

會誌 30:21-26.

岩田進午, 喜田大三(1997) 土の環境圏. 株式會社フジ・テクノシステム. 1388pp.

高取和城, 安原勳(1975) 多摩ニュータウンにおける表土利用計畫. 建設の機械化. 300:21-25.

山辺正司, 小倉 功(2004) 表土移植により生息する土壌動物相と自然環境復元効果について. *日本緑化工學會誌* 30(1):247-248.

青木淳一(1995) 土壌動物を用いた環境診断: 自然環境への影響予測-結果と調査マニュアル. 千葉縣環境調整課. 271pp.

宋ゼエタク, 薛孝夫, 須田陵一(2001) 青木式土壌動物評価から見た樹林の自然性, 日本造園學會九州支部平成13年度福岡大會:19-20.

藤原俊六郎, 小川吉雄, 安西徹郎, 加藤哲郎(1998) 土壌肥料用語事典. 農山漁村文化協會. 338pp.

오구균, 박석곤, 송재탁, 정종일(2008) 자연재생과 환경정비를 위한 생태조경공학. 광일문화사(편역). 495pp.

진현오, 이명중, 신영오, 김정제, 김상근. 1994. 삼림토양학. 향문사. 325pp.