

이끼의 농지보전공학적 의의

Engineering Aspect of Bryophytes in Soil and Water Conservation

홍 성 구 (한경대)

Hong, Seong Gu

Abstract

Over twenty thousand types of bryophytes are existed in the world. Bryophytes are generally considered to be primitive plants and seriously neglected by even in botany area. Bryophytes includes mosses, liverworts, and hornworts. They thrive in humid environments and require water to survive. Some types, however, can recover after serious dehydration, even after years of complete dehydration. They generally absorb water and nutrients not from roots which is called rhizoids, but through entire body. The rhizoids are nonchlorophyllose filamentous branches and attach the body to substratum such as soil and rocks. The attachment of mosses in soil surface provides a good protection from soil erosion by runoff water. In this presentation, reviewed and discussed are ecological characteristics and engineering perspectives of mosses, particularly with respect to soil and water conservation.

I. 서론

선태류에는 이끼류(선류; moss, Musci), 우산이끼류(태류; liverwort, Hepaticae), 그리고 뿔이끼류(각태류; hornwort, Anthocerotae)가 있다. 흔히 발견할 수 있는 이끼는 솔이끼나 우산이끼로서 그 종류가 20,000여 종에 이르는 것으로 알려져 있다(Schofield, 1985). 이끼는 주로 습한 지역에 서식하며 조건이 맞는 경우에는 바위나 건물의 콘크리트에도 서식한다. 녹색식물로서 클로로필 a, b를 가지며, 세포벽, 전분 등을 갖는다. 우리 나라에서도 쉽게 관찰되는 이들 이끼는 그늘지고 습한 지역에서 친근하게 접할 수 있다. 특히 나무나 관목이 서식하는 경사가 급한 곳에서도 이끼가 서식하는 것을 볼 수 있는데, 강우시 유출수가 생겨 토양침식이 발생하더라도 이끼가 서식하는 곳은 침식이 전혀 일어나지 않는 것을 관찰할 수 있다. 이끼가 토양 표면에 고착되어 지표수에 의한 토립자의 침식을 막기 때문이다. 또한 토양 표면에서의 이끼의 번식은 토양수분유지와 같은 다른 식생이 번식할 수 있는 조건을 만들어 줄 수 있다. 이끼로 덮인 지역은 쉽게 풀과 같은 고등식생이 번성하는 것을 관찰할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이끼의 식물학적 구조와 생태학적 특성을 고찰하고 농지 또는 토양의 침식방지를 위한 방안으로서의 활용 가능성을 살펴보고자 한다.

II. 이끼의 구조와 식물학적 특성

2000년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(2000년 10월 14일)

1. 이끼의 식물학적 지위와 종류

가. 식물학적 지위

이끼는 비교적 하등한 원시적 식물로 분류된다. 고등 식물이 가지는 관속조직이 없는 유일한 육상식물이다. 일반적인 식물과는 달리 물, 양분 및 각종 무기염류를 각 조직으로 멀리 수송할 능력이 없기 때문에 대체로 크기가 작다. 일부 선태류를 제외하고는 대부분 성장과 생식을 위해 습한 환경을 선호한다. 선태식물문의 세가지 종류(선강, 태강, 각태강)의 생활형태는 서로 유사하다.

2. 이끼의 구조와 번식

이끼의 구조는 헛뿌리 혹은 가근(rhizoid), 잎이 분화된 경엽체로서 줄기, 그리고 잎으로 나눌 수 있다. 가근은 단지 식물체를 고정시키는 역할만 하고 고등식물과 같이 수분흡수 기능은 거의 하지 않는다. 줄기는 물이나 영양분의 이동을 위한 통도조직으로서의 기능은 하지 않는다. 암수가 서로 분리되어 자성과 웅성 배우체로 존재한다. 웅성기관에서 생산된 정자는 물을 통해서 동일 식물체 또는 다른 식물체상의 자성기관의 장란기에 도달하여 수정된다. 수정의 결과 생긴 접합자는 포자체인 이끼류로 성숙하게 된다. 포자체 자루 끝의 포자낭 속에서 포자들이 성숙되면 포자낭은 다양한 기작으로 포자를 방출한다. 포자는 바람 또는 비에 의해서 다른 장소로 이동되고 발아하여 원사체로 발달하게 된다. 원사체는 수분이 많은 환경에서 잘 자라며, 녹색 조류처럼 보이는 눈을 형성하고, 각 눈은 자라서 잎이 많은 배우체 식물로 성장하게 된다.



a) *Eurhynchium striatum*

b) Structure of moss

Figure 1. Generic structure of mosses

선태류의 성장형태는 각 개체의 성장형태와 개체군의 성장형태를 바탕으로 구분된다. 각 개체의 성장형태는 수직형(Orthotropic)과 수평형(Plagiotropic)으로 나눌 수 있다. 수직형은 줄기가 부착된 매체에 수직하게 성장하는 종류이고 수평형은 싹이 매체에 수평방향으로 성장하는 것들이다. 개체군의 성장형태는 단년생(annuals), 단초형(Short turfs), 장초형(Tall turfs), 쿠션

형(Cushions, Polster), 매트형(Mats), 웨프트형(wefts), 꼬리형(tails), 걸이형(Pendants), 팬형(fans), 가지형(dendroids) 등으로 나눌 수 있다(Magdefrau, 1982). 쿠션형은 수직방향의 아주 많은 수의 싹이 자라는 것이 특징이며, 매트형은 바위나 수피의 표면에 수평의 싹들이 가근에 의해서 단단히 고정된 종류이다. 웨프트형은 개체군이 층을 이루어 직조형태를 이루는 종류이며, 걸이형은 나무가지 등에 성장하여 줄기나 싹이 길게 매달려 있는 형태이다. 꼬리형은 걸이형에 비해 다소 짧은 싹들이 꼬리처럼 형성되는 종류이며, 팬형은 꼬리형과 유사하나 평평한 잎의 구조를 갖는다. 가지형은 토양에 주로 서식하며 배우체의 상부에 수평방향으로 큰 잎과 많은 싹들이 자라는 형태를 가진다.

III. 이끼의 생태학적 특성

1. 수분과 양분

선대류의 수분흡수는 고등식물에 비해 비교적 다양한 방법으로 이루어진다. 선대류는 완전히 건조된 상태에서도 사멸하지 않고, 수분이 공급되면 다시 급속하게 광합성을 하여 성장을 지속한다. 일부는 가근을 통해서 수분을 흡수하지만 대부분의 선대식물은 식물체의 표면 전체를 통해서 수분을 흡수한다(During, 1992). 영양분은 수분과 유사한 방법을 통해서 흡수된다. 수분전달체계에 따라서 이들은 Endohydric과 Ectohydric의 두가지로 구분할 수 있다. Endohydric류는 수분 이동이 세포와 같은 조직의 체내에서 주로 이루어지며, Ectohydric류는 조직 외부에서 모세관현상에 의해서 이루어진다. Endohydric류에서는 수분이 토양과 같이 바닥에서 흡수되어 있거나 증발이 이루어지는 기관으로 이동되나, Ectohydric류에서는 수분이 식물체 전체에서 흡수되거나 손실되어 빠른 속도로 수분 이동이 이루어진다. 따라서 Endohydric류는 습하고, 통기성이 좋으며 양분이 풍부한 곳에서 서식한다. 이들은 소택지와 같은 곳에서 많이 발견되며 나지에서도 군락을 형성한다. 반면에 Ectohydric류는 바위와 같이 불투수성 매체에서 많이 발견되며 토양에서 서식하더라도 토양과의 부착이 느슨하다.

선대식물이 흡수할 수 있는 수분량은 종류에 따라서 크게 다르다. 이들은 대체로 건조 중량의 50 - 2000%의 수분을 흡수할 수 있는 것으로 알려져 있다(Schofield, 1985). 맑은 날 햇볕에 의해서 마른 이끼는 약 5% 수준의 수분을 갖는다. 건조된 상태에서는 100℃ 이상뿐 만 아니라 -196℃의 온도에서 일정시간 경과 후에도 생존이 가능하다

아주 높은 양이온치환용량으로 인해 이끼류는 낮은 농도의 양분까지도 흡수가 가능하다. 따라서 강수 중에 포함된 각종 양분을 흡수할 수 있으며, 종종 주위에 서식하는 고등식물로부터 흘러내리는 물 속의 양분까지도 흡수한다. 양분의 이동은 수분의 이동과정과 거의 유사하다.

2. 주변환경과의 관계

선대류가 양분, 토양온도, 토양수분, 토양의 미생물활동 등의 주변 환경에 미치는 영향은 지역의 식물상의 총 생체량의 비율을 고려하면 상대적으로 크다(Sveinbjornsson and Oechel, 1992). 특히 극지와 같은 극한 기상조건에서의 생산성은 다른 고등식물에 비해서 훨씬 크다. 선대식물의 성장과 관련된 주변환경에는 낙엽이나 부엽토, 토양 미생물에 의해서 방출되는 이산화탄소, 수분, 그리고 주변의 미기상(microclimate)등이 있다. 낙엽은 햇볕을 가리거나 이끼의 성장에 물리적으로 영향을 미치게 되며, 이들이 분해되면서 생성되는 각종 화학물질은 이끼의 성장을 방해할 수도 있다. 반면에 낙엽으로부터 방출되는 양분은 이끼의 성장에 도움을 주기도

한다. 이끼로 덮인 지역에서는 수목의 종자가 발아되는 조건이 좋기도 하지만, 발아 후 뿌리가 토양에 도달하지 못해 더 이상 성장하지 못할 수도 있다. 유럽의 연구에서는 일부 선대식물과 특정 종자식물과의 상호 관계를 밝힌 바도 있다(Schofield, 1985).

이끼가 서식하는 지역의 위치에 따라서 광투과량은 개방된 지역에 비해 적게는 10-20%수준으로 낮을 수 있다. 주변에 고등식물의 식생밀도가 아주 높아서 이들에 의한 빛의 차단량이 많은 경우에는 이끼류가 받을 수 있는 광량은 더욱 낮을 수 있다. 대기로부터 이끼에 도달하는 수분량은 주변 식생조건에 따라서 달라지며, 식생의 종류에 따라서 도달하는 수분의 형태도 다르다. 예를 들어 침엽수의 경우 잎에서 떨어지는 형태의 빗물이 많고 가지나 수피를 통해 흘러 내리는 빗물의 양이 적으나, 활엽수는 이와 반대이다. 지역에 따라서는 안개나 이슬이 필요한 수분 공급원이 되기도 한다. 이끼가 접하는 이산화탄소의 농도는 토양에서 생성되는 양이 다르기 때문에 지역에 따라서 그게 다를 수 있다.

3. 이끼의 활용

인류가 이끼를 다양한 용도로 활용해 온 것은 각종 문헌을 통해서 알 수 있다. 13세기 경 영국에서는 과일이나 야채를 보관하기 위해서 이끼를 이용해왔으며, 유럽의 일부지역에서는 배를 만드는데 물이 새지 않도록 하기 위한 재료로서 사용했다(Richardson, 1981). 집을 짓는데 필요한 건축자재로서, 베개나 매트리스의 재료로서, 미국 대륙의 인디언들은 흙착용도나 등불의 심지로도 이용하였다. 특히 *Sphagnum*류는 오랜동안 상처 처치용 붕대(dressing)로 이용되어 왔다. 면붕대가 자중의 4-6배의 수분을 흡수할 수 있는데 반해 *Sphagnum*류는 자체의 건조 중량의 16-20배의 액체를 흡수할 수 있는 장점이 있고, 다공성이며, 미약하지만 부패를 방지하는 성질을 가지기 때문이다(Richardson, 1981). 현재 국내에서는 인삼을 보관하는 용도로서 사용하고 있으며, 분재용으로도 많이 이용하고 있다.

IV. 이끼의 농지보전공학적 의의

1. 토양의 피복효과

이끼류에 의한 토양의 피복과 이에 따른 토양보전효과에 관련된 연구는 거의 없는 실정이다. 다만 지의류와 이끼류를 포함한 소위 미소생물상(microbiotic/microphytic crust)이 가지는 토양보전 효과에 대한 연구는 제한적으로 보고되고 있다(Evans and Johansen, 1999). 이들 결과에 의하면 지의류, 곰팡이, 그리고 이끼류가 토양표면에 서식함에 따라서 토양은 결속되고 따라서 토양침식에 대한 저항력이 증가한다는 것이다. 토양의 결속은 이들 미소생물상 중 일부 Cyanobacteria가 분비하는 polysaccharides의 화학적 토양 고결과 이끼류의 가근에 의한 물리적 토양결속의 두가지에 의하는 것으로 설명되고 있다.

2. 토양수분

선대류(일부 지의류 포함)가 성장하는 곳에서의 수문 관계는 명확하지는 않다(Evans and Johansen 1999). 선대류가 성장하는 곳에서 침투량이 증가한다는 결과가 있는 반면에 이들 식생을 제거하는 경우 침투량이 오히려 증가한다는 상반된 결과도 있기 때문이다. 연구결과가 극히 제한된 수이지만, 선대식물상으로 인해 수분증발로 인한 토양수분의 손실 또한 상반된 결론을 보이고 있다. 토양수분 손실이 줄어드는 것은 이끼류가 건조되면서 토양을 피복하여 수분증

밭이 억제하기 때문이라고 설명하고 있다. 선태식물상이 토양 수분 및 지표유출수량에 미치는 영향은 식생의 존재유무 이외에 인접 지형, 토성 등의 여러 가지 조건을 고려해야 할 것으로 판단된다.

3. 토양침식방지

이끼류를 포함한 미소생물상과 지표수에 의해 발생하는 토양유실에 관련된 연구는 역시 아직 명확하지 않다. 미소생물상과 관련된 침투수량과 토양유실량에 관한 최근의 연구결과로서, Williams et al.(1995)은 미국의 유타에서 수행한 실험결과를 바탕으로 미생물상이 존재하는 경우 그렇지 않은 경우에 비해 면상(interrill) 침식량이 감소하는 반면 침투수량의 증가는 없는 것으로 결론을 지었다. 물론 미생물상의 우점종이 cyanobacteria였기 때문에 이끼류 식생 단독에 의한 결과로 볼 수는 없다.

비교적 습하고 햇빛이 다소 약한 곳에서 서식하는 이끼류를 관찰해 보면 토양표면을 피복, 토양유실을 억제하는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. Figure 2는 솔이끼의 하나인 *Eurhynchium striatum* 이 토양침식에 저항하여 생존하고 있는 것을 보여주고 있다. 주변의 토양이 심하게 침식되었음에도 불구하고 이끼가 덮인 곳의 아래 부분에서는 토양 침식이 거의 발생하지 않고 있음을 볼 수 있다.(Figure 2-b). 적어도 이끼가 성장하는 곳에서는 토양유실이 억제됨을 판단할 수 있다. 따라서 경사면에 다른 초본류나 기타 고등식물이 서식할 수 없는 조건에서 토양보전을 위한 대안으로서 이끼를 활용하는 것이 가능하다고 판단된다.

그러나 가근이 토양에 침투하여 물체를 접착할 수 있는 깊이는 아주 얇기 때문에 이끼만을 이용하여 토양침식을 얼마나 효과적으로 제어할 수 있는지는 아직 분명하지 않다. 이끼가 서식하는 지역에 있어서 식생에 의한 유출수 흐름의 경로 변화, 유출수량의 변화 등이 토양 유실의 변화에 미치는 영향이 정량적으로 평가되어야 할 것이다. 토양보전을 위한 선태식물의 적용가능성이 평가에는 이들 식생의 인장 및 전단력 등 공학적 특성조사와, 다른 고등식물의 성장환경 조성 등의 생태학적 기능의 조사가 선행되어야 할 것이다.



a) crust in mild slope



b) crust in steep slope

Figure 2. Surface protection by moss cover from runoff erosion.

V. 요약 및 결론

원시적인 식물로서 선태류는 다른 고등식물과는 달리 관속조직이 없다. 선태류가 가지는 헛뿌리 혹은 가근은 수분과 양분흡수 기능은 하지 않고 몸체를 토양이나 바위에 부착시키는 기능을 한다. 선태류는 극한 조건에서도 생존이 가능하다. 수중에 오랜동안 잠기거나, 완전히 건조된 상태에서도 회복하여 생존이 가능하고, 건조된 상태에서는 식물이 생존하지 못하는 온도 조건에서도 회복, 생존이 가능하다.

토양보전 측면에서 일부 선태류는 토립자를 단단히 결속하며 토표면을 피복하여 유출수에 노출되지 않도록 한다. 이끼류에 피복된 토양은 쉽게 침식되지 않음을 관찰할 수 있다. 주변의 토양이 심하게 침식되었음에도 불구하고 피복에 의한 토표면은 그대로 유지됨을 알 수 있다. 이끼류를 토양침식 방지를 위한 방안으로서 활용하기 위해서는 정량적인 평가가 요구된다. 이끼류 식생대 주변에서의 유출특성과 토양유실량 등의 평가가 필요하다. 이끼류의 생존특성을 활용한다면 생태환경 측면에서 유리한 생물공학적 토양보전공법으로 적용이 가능하다고 판단된다.

참고문헌

- During, H. F., 1992, Ecological classifications of bryophytes and lichens, in *Bryophytes and Lichens*, R. D. Evans, R. D. and J. R. Johansen, 1999, Microbiotic crusts and ecosystem processes, *Critical Review in Plant Science* 18(2):183-225.
- Lichens in a Changing Environment, edited by J. W. Bates and A. M. Farmer. Oxford Science Pub.
- Magdefrau, K., 1982, Life-forms of Bryophytes. in *Bryophyte Ecology* edited by A. J. E. Smith. Chapman and Hall Ltd.
- Proctor, M. C. F., 1982, Physiological Ecology : Water relations, light and temperature responses, Carbon balance, in *Bryophyte Ecology* edited by A. J. E. Smith. Chapman and Hall Ltd.
- Richardson, D. H. S., 1981, *The Biology of Mosses*, Blackwell Scientific Pub.
- Schofield, W. B., 1985, *Introduction to Bryology*, Macmillan Pub. Co.
- Sveinbjornsson, B. and W. C. Oechel, 1992, Controls on growth and productivity of bryophytes : environmental limitations under current and anticipated conditions. in *Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*, edited by J. W. Bates and A. M. Farmer. Oxford Science Pub.
- Williams, J. D., J. P. Dobrowski, and N. E. West, 1995, Microphytic crust influence on interrill erosion and infiltration capacity. *Transactions of ASAE* 38(1):139-146.