

사방시공지 식물사회의 생태학적 변화에 관한 연구(V)*
- 사방시공 후 9~26년 간의 변화 -

이 현 규¹⁾

¹⁾ 상지대학교 산림과학과

Studies on the Ecological Change of the Plant Community
in the Erosion-Controlled and Rehabilitated Areas*
- During 9~26 Years After Erosion Control Works -

Lee, Hyun-Kyu¹⁾

¹⁾ Dept. of Forest science, Sangji University.

ABSTRACT

Most denuded mountain areas in Korea were completely stabilized by the successful work of the 1st and 2nd 10-year Forest Development Plans which targeted the reforestation of denuded forest lands. The objectives of this study are (1) to estimate the depth of organic horizon in the soil profile, (2) to investigate the change of vegetation structure, (3) to estimate the change of biomass in the erosion controlled and rehabilitated mountain areas with the passage of time. This study was carried out as the 5th times. The first study began in the year of 1985, the second study was in the year of 1988, the third study was in the year of 1992, 4th was in the year of 1998 and 5th was in the year of 2002. The first study started in the study sites which elapsed 9 years after erosion control works.

The results of the study were as follows : The increase rate of soil thickness was estimated to $Y_{(cm)}=2.906\log_{(yr)}-3.2476(r^2=0.917)$ during 26 years after erosion control works.

The important value of pines decreased to 14.7% on upper layer. But, the important value of alders, which did not plant on erosion control work increased to 27.1%.

The decrease of whole crown projection indicates that pines, and alders were heavily injured by pine leaf gall midge in the year of 1993, 1995 years and *Agelastica coerulea* Baly in the year of 1986, 1987 years at Yoju-gun.

The young growth of pines and alders not appeared on the soil surface which elapsed 26 years after erosion control works. On the lower layer, oaks occupied over 50% in I.V, RD, RC, RF.

* 이 논문은 2002년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

In process of years, the increase of biomass estimated to be $Y_{(t/ha)}=0.7505X_{(yr)}^{1.6335}$ ($r^2=0.9712$) for 26 years after erosion control works.

Key words : *Ecological change, Erosion control work, Biomass.*

I. 서 론

해방 후 혼란한 사회구조와 전쟁 등으로 우리나라의 산지는 도벌, 남벌 등에 의한 인위적인 황폐화, 또한 대부분의 산지 토양이 화강암과 화강편마암으로 침식되기 쉬운 지질로 이루어졌고, 계절적으로 7, 8월에 편중된 지역적인 집중호우로 인하여 산지의 황폐를 가속시켰다. 1950년대 황폐산지는 68만 ha로 우리나라 전체 산지의 10%를 차지할 정도이었으나, 1차, 2차 치산녹화 사업을 성공적으로 수행하여 현재에는 거의 모든 황폐산지가 복구되었다. 그러나 사방사업 후 사방지의 식생이 잘 성장되고 관리가 영속적으로 되어야 그 지역이 안정된다(최경, 1986). 사방사업 후 시간이 경과됨에 따라 산지의 피복이 증가될 지라도, 사방사업의 사후 관리를 위해서는 토양층의 변화, 식생구조의 변화 또는 Biomass의 변화 등을 계속적으로 관찰할 필요가 있다(이현규, 1985; 1992). 또한 산복공사 시공지에서 식생회복을 위해서는 지형과의 관계를 사면형에 따라 피복형성 과정을 연구할 필요가 있다(강위평, 1984). 그리고 사면나지 등을 속히 녹화 보호 안정시킬 수 있는 효과적인 녹화공법들의 개발이 필요하다(우보명, 1974).

사방사업 후 사후 관리와 식생회복 과정을 연구한 것은 홍성천(1982)이 경상북도 영일지역의 대면적황폐지(4,538ha)를 조사 연구한 것으로 73년부터 77년까지 5개년 간 38억원을 투자하여 사방사업을 완료한 영일 사방지를, 사방사업 후 3년, 6년, 9년 등 연도가 지남에 따라 산림 토양단면과 인공으로 조성된 식생구조가 변화하는 것을 연구한바, 시간이 경과함에 따라 지역 향토 수종인 참나무류와 준극성상인 소나무의 치묘 빈도가 증가 되었다고 보고하였다.

최근에 우보명 등(1995)은 산사태지에서 자연

적인 식생착생 및 식생회복 과정을 구명하기 위하여 경기도 용인, 화성군 지역에서 산사태 복구공사 시행지(14개소)와 복구공사 비시행지(14개소)를 대상으로 연구를 수행한 바 산사태지에서 총 61종의 식생이 출현하였으며, 산사태지의 식생회복 녹화에는 초기 착생력이 크고 적응력이 큰 참싸리, 새, 억새, 쭉, 고사리, 산딸기, 망초, 국수나무 등과 같은 자생종 활용이 효과적이라고 보고하였다. 사방지에 파종되었던 아까시나무의 천이 과정도 관심이 가는데, 윤중원 등(1999)은 아까시나무 조립지에 출현한 주요종의 경쟁상태와 천이경향을 분석한 결과 천이의 진행에 따라 향토수종인 참나무류, 단풍나무류, 벗나무류 등이 혼재하는 숲으로 천이될 것으로 예측되었다. 사방지의 물질량변화를 파악하기 위해서는 각 수종의 물질량변화를 알아야 하는 데, 김갑덕 등(1985)은 아까시나무 인공림의 물질생산에 관한 연구를 경기도 용인군의 아까시나무 8, 13, 20년생 임분에서 지상부의 현존량 및 년 순생산량을 분석·추정하였다. 지상부의 현존량은 8년생이 36.72t/ha, 13년생은 69.28t/ha, 20년생은 118.67t/ha 이라고 보고하였다. 또한 이경학 등(2002)은 소나무, 잣나무, 리기다소나무, 낙엽송, 상수리나무, 신갈나무 등 우리나라 주요 6수종에 대하여 개체수목의 수간중량을 추정하는 식을 개발하였다.

본 연구는 사방시공 후 시간이 경과함에 따라 화강암지대 토양의 유기물층 변화와 식생구조 변화, 그리고 식생의 물질량 변화를 조사·분석하여, 사방시공지의 사후 관리 및 식재기술에 기여하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1976년에 사방 시공한 경기도 여주군 여주읍 능현리(37°20' N, 127°40' E)를 조사지(28.5ha)

로 선정하여, 1985년 조사를 시작으로 1988년에 2번째 조사를 하였고, 1992년에 3번째 조사 1998년에 4번째, 2002년에 5번째로 생태적 특성을 조사하였다. 조사구는 1985년 당시에 조사구는 사방시공 후 9년이 경과한 지역으로 이번 조사는 사방시공 후 26년 된다.

조사지역의 대부분은 화강암지대이며, 평균 온도는 10.8℃이고, 평균 강우량은 1,205mm 이었다(이현규, 1985). 조사방법은 기 조사되어 발표된 것과 비교를 위해서 이미 조사된 방법을 계속 수행하였다. 토양층의 유기물층 깊이 조사는 조사구 내의 표본지를 임의 선정하여 사진촬영과 그림으로 수행하였다. 이곳이 사방지역으로 인위적 계단식 토양위에 식재 및 파종을 하여 반복적인 사방조림을 한 곳이므로 식생조사는 Belt-Transect 방법으로 하였다. 조사구 내의 인위적으로 피해를 받지 않은 경사면에 Belt-Transect(50m×2m)를 설정하였다. 식생구조를 측정하기 위하여, 하층식생과 상층식생으로 나누었으며, 수목이 50cm이하인 경우를 하층식생으로 구분하였으며, 50cm 이상인 경우를 상층식생으로 구분하였다. 산림군집의 구조분석을 하기 위하여, 상·하층식생별 상대피도, 상대밀도, 상대빈도를 측정하였다. 상대피도(relative coverage)는 각 수종의 피복도를 100분율로 표시하였다. 피도는 조사구 내에 투영되는 면적을 측정하고, 수관투영이 중복될 때에는 중복되는 양을 모두 포함시켜 측정하였다. 상대밀도(relative density)는 조사구 내 모든 수종의 밀도합계와 어느 수종의 밀도를 100분율로 표시하였다. 상대빈도(relative frequency)는 조사구를 5m 간격으로 10 등분하여 소 조사구를 설정하고, 소조사구에 나타나는 각 수종의 빈도를 측정하였다, 또한 상대중요치(important value; $IV = \frac{RD+RC+RF}{3}$)를

측정하여 비교·분석하였다.

Biomass조사는 조사구내 표본구(2m×2m)의 모든 식물을 채취하여 50cm별로 층위를 나누어 생중량을 구하고, 목본식생은 수간, 가지, 잎으로 나누어 생중량을 측정하였다. 각 조사구의 시료를 실험실로 옮겨 10일간 기건시킨 후, 100℃ 건조기에 10일간 건조하여 항중량이 되었을 때 건중량을 구하여, 건조율을 구하고 물질량 산출의 환산지수로 사용하였다. Table 1은 사방시공지의 일반적인 환경요인과 시공 당시의 종자파종량과, 묘목식재량을 나타내고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양유기물층의 변화

Figure 1은 사방시공 후 시간이 경과함에 따라 사방시공지의 토양유기물층(O, O₂ 층)과 A1 층이 변화된 것을 나타냈다. 낙엽층(O 층)의 깊이는 사방시공 후 9년이 경과되었을 때부터 26년이 경과될 때까지 3cm(± 0.5cm)로 큰 변화가 없는 것으로 나타남을 알 수 있다. 반면에 부식층은 기 조사된 결과보다 0.5cm(± 0.2cm) 정도 증가되었음을 알 수 있다.

이런 결과는 최 경(1987)의 보고에 의한 사방시공 후 10년이 경과되었을 때 유기물층의 깊이가 2cm가 되었다는 것과, 홍성천(1982)의 사방시공 후 20년이 경과되면 유기물층의 깊이가 4cm가 된다는 보고와 비교하면, 본 조사지의 결과는 이들보다 유기물층의 깊이가 깊고 시간이 경과될수록 유기물층이 증가됨을 의미한다. 또한, 사방시공 후 16년이 경과되었을 때 A₁층이 발현되고, 점차 증가되어 사방시공 후 26년에는 2cm(± 0.5)가 됨을 알 수 있다.

Table 1. Environmental conditions and afforestation of investigated area.

Environmental condition		Afforestation			
Aspect	SE	Number of seedling/ha		Weight of seeds sown(kg/ha)	
Slope(°)	20	<i>Alnus</i> spp.	3,500	<i>Lespedeza</i> spp.	4.7
Altitude(m)	110	<i>Robinia puseudoacacia</i>	500	<i>Robinia puseudoacacia</i>	3.1
Soil texture	LS	<i>Pinus rigida</i>	1,000	<i>Grass</i>	12.2

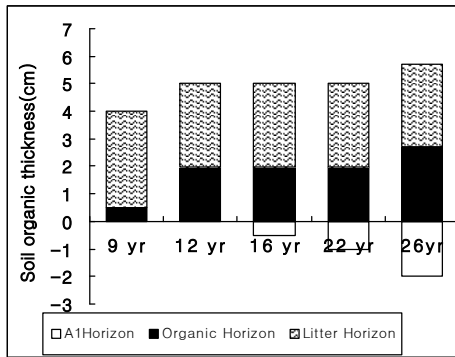


Figure 1. Change of thickness of organic horizon from 9 to 26 years.

계속적인 조사에서 얻어진 결과(이 1985; 1992; 1998) 사방시공 후 16년 동안 유기물층의 변화를 추정하여 보니 $Y_{(cm)}=0.339X_{(yr)}-0.917$ ($r=0.871$) 라는 직선식의 추세식을 구하였었는데, 이번 조사와 4번째 조사를 비교 검토한 결과 Figure 2와 같이 $Y_{(cm)}=2.906\log X_{(yr)}-3.2476$ ($r^2=0.917$)이라는 추세식을 구할 수 있었다. 이는 사방시공 후 15년이 경과할 때까지는 급격히 유기물층이 증가되나 15년 이후부터는 시비, 하역작업 등사후 관리의 부족으로 인해 점증적으로 증가되었음을 의미한다.

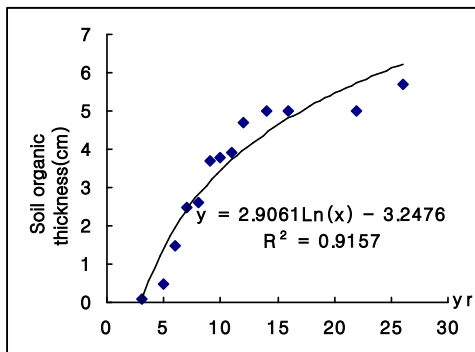


Figure 2. Change of thickness of organic horizon after erosion control work.

Figure 3은 사방시공 후 26년이 경과한 토양 단면을 촬영한 사진인데, 낙엽층은 리기다소나무의 잎과 참나무류의 잎이 주로 있으며, 부식층은 검은 부분으로 나타나고, 그 밑에 A1층이 있음을 알 수 있다.



Figure 3. Photograph of soil profile in 26 years after erosion control work.

2. 사방 조림지의 산림구조 분석

사방 시공지의 산림구조 분석은 사방 시공 후 9년이 경과된 1985년에 조사를 시작하여 12년이 경과된 1988년 조사, 16년이 경과된 1992년 조사, 22년이 경과된 1988년, 그리고 26년이 경과된 2002년 조사까지 상대밀도(relative density), 상대빈도(relative frequency), 상대피도(relative coverage)를 아래 Figure 4, 5, 6 등에 표시하였다.

조사 지역은 사방조림지이므로 시공시 황폐된 산지를 인위적으로 복원한 곳이다. 시공 시 주요 조림 및 파종된 수종은 오리나무류(*Alnus spp.*), 소나무류(*Pinus spp.*), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*), 싸리류(*Lespedeza spp.*) 등이었다. 그러나 시간이 경과됨에 따라 참나무류(*Quercus spp.*)가 주요 수종으로 나타나고 있어 5 수종을 중심으로 조사하였다. 그 밖에 다른 수종은 통계의 편이성을 위하여 기타 수종으로 모아 표시하였다.

Figure 4는 상층식생 상대밀도의 변화를 나타낸 그림으로, 1985년에 조사된 사방 시공 후 9년이 경과되었을 때에는 소나무의 상대밀도가 56.8%로 가장 높게 나타나고 있으나, 점차 감소되어 시공 후 16년에는 37.4%가 되고, 26년이 경과된 2002년 조사에는 8.3%가 되었다. 반대로 사방시공시 식재되지 않았던 참나무류의 상대밀도는 시공 후 9년이 경과되었을 때 5.6%에서 점증되어 26년이 경과되었을 때에는 30.6%로 상대밀도가 가장 높은 수종이 되었다. 사방조림용으로 이용된 오리나무류와 싸리나무류는 점

증적으로 감소되고, 아까시나무는 20% 내외에서 증감을 나타내고 있다. 기타 수종으로는 철쭉류, 노간주나무, 산초나무 등이 나타나고 있고 그 위치가 증가됨을 알 수 있다. 이번에 조사된 조사구 내의 총 개체수는 71개이었다.

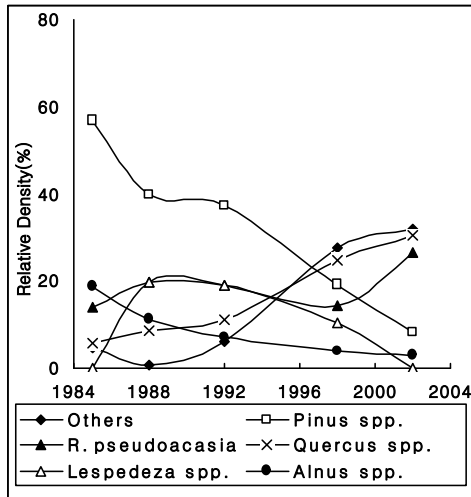


Figure 4. Change of vegetation by relative density on upper layer.

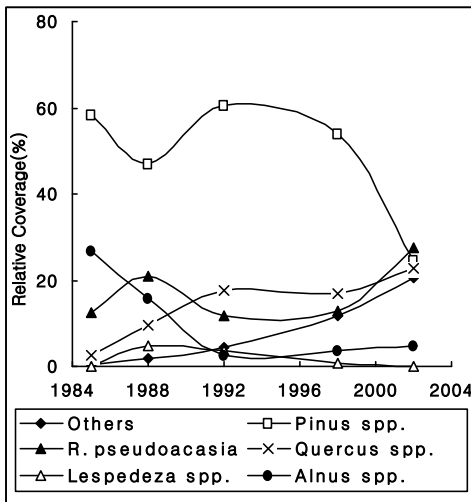


Figure 5. Change of vegetation by relative coverage on upper layer.

Figure 5는 상층식생 상대피도를 나타낸 그림인데, 소나무류의 개체수 감소와 이 지역의 솔잎혹파리 피해 등으로 소나무류의 상대피도는 사

방 시공 후 22년이 경과 할 때까지는 50 ~ 60%를 유지하다가 급격히 감소되어, 사방 시공 후 26년이 경과되었을 때에는 24.7%까지 감소되었다. 상대적으로 아까시나무의 상대피도가 22년 경과 후 12.9%에서, 26년 경과된 2002년 조사에는 27.4%로 배 이상이 증가되었음을 알 수 있다. 그리고 사방 시공시 식재되지 않은 참나무류가 사방 시공 후 9년 경과되었을 때에는 2.4%에서 점점 증가되어 16년이 경과되었을 때에는 17.5%가 되고, 26년이 경과되었을 때에는 22.9%까지 증가되었다. 반대로 오리나무류는 9년이 경과된 1985년 조사에서는 22.9%나 차지하던 상대피도가 오리나무잎벌레 피해 등으로 16년이 경과되었을 때에는 2.4%가 되고, 26년이 경과되었을 때에도 4.6% 밖에 되지 않았다. 또한, 사방 초기에는 상대피도가 높았던 싸리류는 감소되어 26년이 경과되었을 때에는 상층 식생의 위치에서는 나타나지 않았다. 그 밖에 기타 수종은 산초나무, 철쭉류 등으로 어느 정도의 위치를 차지하나 소나무, 아까시나무 및 참나무류의 아래에 있는 2차 하층림을 형성하고 있었다.

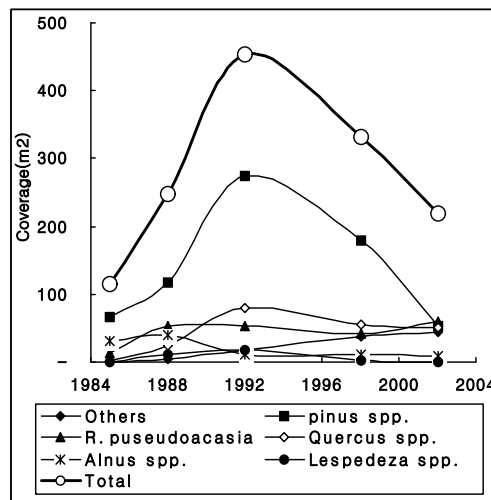


Figure 6. Change of whole crown projection area from 9 to 26 years.

Figure 6은 조사구(2m×50m=100m²)에서 조사된 각 수종별 수관투영면적을 시간이 경과되면서 변화되는 과정을 알 수 있게 나타낸 그림이다.

Figure 6의 맨 위에 있는 곡선은 조사구 내의 모든 수종의 투영면적을 합한 것으로 특히 소나무 수관투영면적에 크게 좌우됨을 알 수 있다. 사방 시공 후 9년이 경과된 전체의 수관 면적은 115.4m²로, 사방 시공 후 10여년이 경과되면 사방지의 수관투영면적이 포화점에 이르는 경향이 있다(이현규, 1986; 1992) 라는 보고와 비슷하다.

사방 시공 후 수관투영면적은 점점 증가되어 16년에는 453.9m²가 되었다. 이는 사방 시공 후 3년에서 16년 동안에 증가되는 추세선이 $Y_{(cm)} = 23.884X_{(yr)} - 21.754 (r=0.816)$ 인 직선식으로 추정된다는 기 조사보고(이현규, 1992; 1998)와 같은 경향을 나타내고 있다. 그래서 황폐지를 우선 회복하는 사방의 효과를 충분히 나타내는 자료가 있었으나, 사방 시공 22년이 경과되었을 때 수관투영면적이 331.5m², 26년이 경과되었을 때에는 218.9m²로 급격히 작아지고 있음을 알 수 있다. 이런 결과는 오리나무의 성목이 1986년, 1987년에 오리나무잎벌레에 극심하게 피해를 본 결과와 1990년 초 여주, 이천지방의 솔잎혹파리 피해로 소나무의 수관투영면적이 급격히 감소되었기 때문으로 판단된다. 이는 아까시나무와 참나무류의 중요치가 상대적으로 높아졌다고 해도 사방지의 울폐도를 지배하는 소나무의 수관투영면적에는 아직 미치지 못하므로 사

방지의 병해충 방지 등 지속적인 사후 관리가 필요함을 나타내 주고 있다.

사방 시공지는 인위적으로 식생구조를 조성한 지역으로 특히 황폐된 산지에 계단식 지형을 조성하여 그 위에 반복적으로 리기다소나무, 오리나무류, 싸리나무, 아까시나무 등 사방조림수종을 식재 및 파종한 곳이다. 따라서 사방시공지의 상대빈도는 시간이 경과되어도 큰 변화를 나타내지 않는 경우이나, Figure 7에서 보듯이 소나무류와 오리나무류는 솔잎혹파리 피해와 오리나무잎벌레 피해 등으로 점점 감소되고 있다. 아까시나무는 시간의 경과에 따라 증감을 이루고 있으며, 참나무류는 사방시공 후 22년이 경과할 때에는 18.5% 이었던 것이 26년이 경과되어서는 27.8%로 상대빈도가 가장 높은 수종이 되어 개체수의 증가뿐만 아니라 앞으로 사방시공지의 우점종으로 될 것이다.

사방조림지의 식생천이는 인위적 식생조성이므로 천이의 현상이 빠르게 진행되었는데, 사방 시공 초기에는 아까시나무, 오리나무류의 상대중요치가 높았고(이현규, 1985; 1992), 사방 시공 후 10여년이 지나면서 리기다소나무 및 소나무의 상대 중요치가 현격히 높았다(이현규, 1998; 1999). 그러나 Figure 8에서 보듯이 사방 시공 후 9년이 경과되었을 때 소나무류의 상대 중요치가 49.4%에서 점차 낮아져 22년이 경과되고, 26년이 되어서는 소나무의 중요치가 급격히 감소되어 14.7%까지 내려갔다. 오히려 사방 시공시 식재하지도 않은 참나무류가 점증적으로 증가하여 26년이 경과된 후에는 상대중요치가 27.1%로 소나무, 아까시나무를 누르고 가장 높은 위치를 차지하는 수종이 되었으며, 앞으로 참나무류의 상대중요치는 계속 증가되리라 예상할 수 있다. 이는 경기도 지방의 적송림이 솔잎혹파리의 피해를 받으면 종적구성의 변화를 초래하여, 참나무류의 중요치가 증가한다는 기 조사보고(임경빈 등, 1980)와 일치하나 이 지역은 참나무류의 중요치 증가에 의한 상대적 감소인가, 아니면 사방시 인위적으로 조림한 리기다소나무의 개체수가 많았기 때문에 밀식에 의한 개체 도태일 수도 있어, 추후 연구

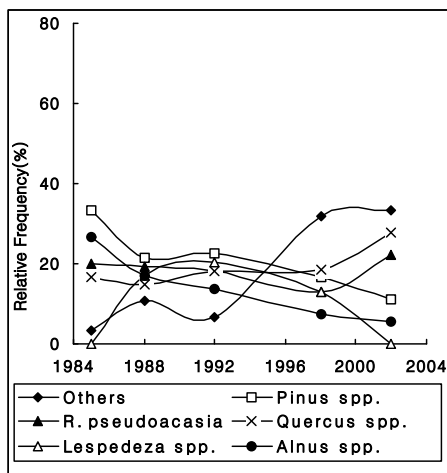


Figure 7. Change of vegetation by relative frequency on upper layer.

가 필요한 과제이다. 그리고 아까시나무는 천 연하종으로 식생회복이 쉬운 수종이므로 상대적 증감이 이루어지고 있다. 오리나무류는 1986년에서 1987년 사이 경기도 일부 지역에 널리 퍼져 큰 피해를 입힌 오리나무잎벌레 피해 영향으로 사방 시공 후 9년이 경과되었을 때 24.1%의 중요치가 점차 감소되어 26년이 경과된 2002년에는 4.3% 밖에 되지 못하였다. 그 밖에 기타 수종으로 진달래류(*Rhododendron* spp.), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*), 노간주나무(*Juniperus rigida*) 등이 있으나 아직은 한 개체의 수종으로 중요치는 낮은 편이다. 또한 싸리류도 관목류이기 때문에 상층식생에서 중요치는 낮다.

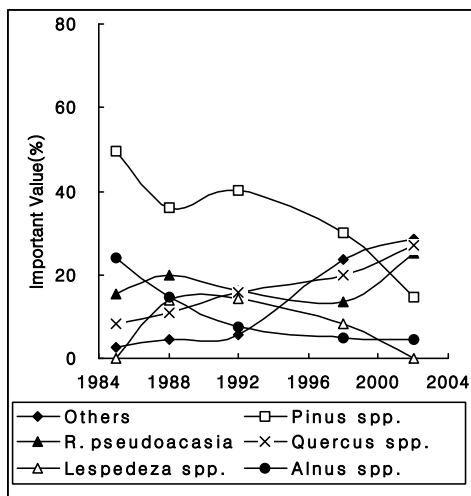


Figure 8. Change of vegetation by important value on upper layer.

하층식생구조라는 것은 50cm 이하의 지피식물과 같은 의미를 가지는데, 이는 사방 시공 초기에는 모든 수목의 수고가 작기 때문에 상층식생에 큰 영향을 주었으나, 20여년이 경과되어 수고가 9m 이상을 차지하는 경우에는 상층식생에 큰 영향을 미치지 못하는 편이다. 그러나 사방 시공지의 차기 후계림의 형성에 의미를 가질 수 있으므로 Figure 9에서 분석한 결과를 검토하여 보면, 사방 시공 초기에 파종한 싸리류의 상대중요치가 60% 정도를 차지하였으나(이

현규, 1985), 사방 시공 후 9년이 경과되었을 때에는 28%에서 26년이 지난 2002년 조사에서는 상대중요치가 0%로 싸리류의 치수를 발견하지 못했다. 26년이 경과된 후에는 소나무의 치수 발생도 없었고, 오리나무류의 치수도 없었다. 그러나 아까시나무는 증감을 반복하며 15% 내외의 상대중요치를 차지하고 있었다. 그리고 기타 수종은 진달래류(*Rhododendron* spp.)와 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*)로 각 15% 내외를 차지하고 있다. 특히 하층식생에서 중요한 결과는 참나무류의 상대중요치가 사방시공 후 9년이 경과되었을 때 11.7%에서 16년이 경과되었을 때 21.3%, 22년이 경과되었을 때 48.8%, 26년이 경과되었을 때 56.3%로 각각 급격한 증가를 나타내고 있었다. 이 것으로 앞으로 중부지방의 사방조림지에서도 참나무류가 우점종을 이룰 것으로 판단할 수 있다.

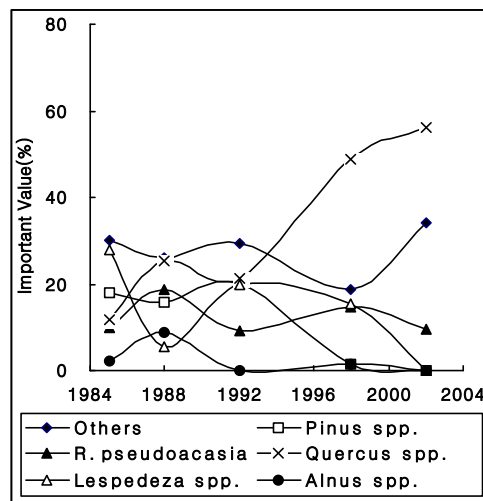


Figure 9. Change of vegetation by important value on upper layer.

Figure 10의 Phytography는 한 수종에 대한 천이과정의 변화 양상을 시각적으로 보여주는 식생분석에 의한 접근 방식으로, 사방 시공 후 9년에서 26년 동안 5차례 조사에서 얻어진 자료를 가지고 상대피도, 상대밀도, 상대빈도와 상대중요치의 변화를 종합하여 나타낸 그림이다. 그림 첫줄과 둘째 줄에 나열된 Phytography는 참나무

류와 소나무류의 상층부의 변화를 나타낸 그림이며, 아래 셋째와 넷째 줄은 수고 50cm 이하인 하층부의 변화를 나타내고 있다. 이번 조사 결과는 사방 시공시 식재 및 잔존하고 있던 소나무류와, 사방 시공 시에는 과중이나 식재를 하지 않은 향토 수종인 참나무류의 생태적 변화를 주로 검토하기 위하여 두 개의 수종을 선택하였다. 상대피도, 상대밀도, 상대빈도, 상대중요치의 각 영역별 상대치를 사각형으로 나타내 검게 표시하였다. 우선 상층부를 보면, 소나무류의 검은 사각형 면적이 시간이 경과하면서 작아지고 있고, 반대로 참나무류는 작은 사각형에서 점점 증가되어 26년이 되었을 때 소나무류 보다 면적이 큼을 알 수 있다. 기 조사 보고 된 자료(이현규, 1985; 1992; 1998; 1999)와 이번 조사 자료를 종합하면 사방초기 2, 3년까지는 초본류의 중요성이 크며, 그 후 4, 5년이 경과할 때까지는 싸리류와 오리나무 등이 중요하며, 그 후 점차 소나무류의 상대중요성이 커지나, 사방 시공지에 있어서 10여년이 경과되어 소나무의 중요성이 점차 감소되고, 사방시공 후 25년이 되어서는 향토수종인 참나무류의 생태적 중요성이 증가됨을 알 수 있다.

그림 아래 하층의 참나무류의 사각형은 작은 점에서 점점 증가되어 26년이 경과되어서는 모든 영역에서 50%를 넘어서고 있음을 알 수 있으며, 반대로 소나무류는 22년이 경과되었을 때 전혀 치수가 없고, 26년이 경과되었을 때에도 치수가 없어 사방 시공 후 20여년이 경과되어서는 소나무의 천연하종이 어렵다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 하층부 참나무류의 증가는 시간이 경과되면 상층부에 연결될 것이므로 앞으로 참나무류의 중요성이 증대될 것이다.

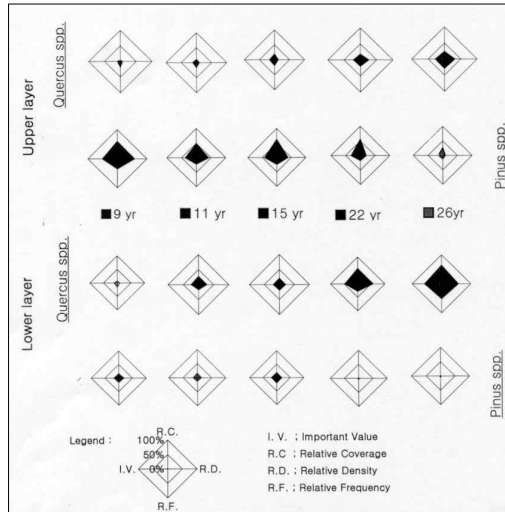


Figure 10. Phytophany of *Pinus spp.* and *Quercus spp.* from 9 to 26 years after erosion control work.

3. Biomass의 分析

Table 2는 사방시공 후 시간이 경과함에 따라, 사방시공지의 식물물질량의 변화를 알아보기 위한 표로서, 식물을 줄기, 가지, 잎, 초본류로 나누어 물질량의 분포를 구하였다. 또한, 사방 시공지 식물의 연생산량 변화를 알아보기 위하여, 조사구 내에서 얻어진 자료를 가지고 면적을 ha로 환산하여 나타내었다.

사방시공 후 26년이 경과된 2002년 조사 결과 물질량의 분포를 보면 줄기가 65.2%로 기 조사의 분포와 큰 차이가 나지 않으나, 가지가 19.7%로 기 조사보다 작아지고, 잎이 15.1%로 증가를 보이는데 이는 소나무가 약화되고 참나무류의 중요치가 증가되는 과정에서 참나무류의 잎이 증가되었기 때문으로 추정된다. 한편 22년에서 26년 동안의 4년 사이에 2.1t/ha 밖에 물질량이

Table 2. Rate of dry weight from tree and herb by the elapsed years after the erosion control work.

Years	Stem(%)	Branch(%)	Leaf(%)	Herb(%)	Dry weight(t/ha)
9	61.2	22.4	15.1	1.3	30.24
12	68.8	25.3	5.9	0	53.34
16	63.8	25.0	11.2	0	62.50
22	66.5	22.9	10.6	0	132.78
26	65.2	19.7	15.1	0	134.88

증가되지 않았는데. 이는 심각한 소나무의 병충해, 그리고 리기다 소나무의 도태 등 사방 시공지의 지속적인 관리 부족으로 나타났다. 사방지의 산림도 연생장량 증가로 유도하여야 하기 때문에 사후 관리 기간을 연장할 필요가 있다. Figure 11은 기 조사된(이현규, 1986; 1992; 1998; 1999) 물질량 자료와 이번 조사 자료를 종합하여 얻어진 그림으로 사방시공지의 물질량 변화를 나타내고 있다. 여기에서 얻어진 추세선은 $Y_{(t/ha)} = 0.7505X_{(yr)}^{1.6335}$ ($r^2=0.9712$)이었다.

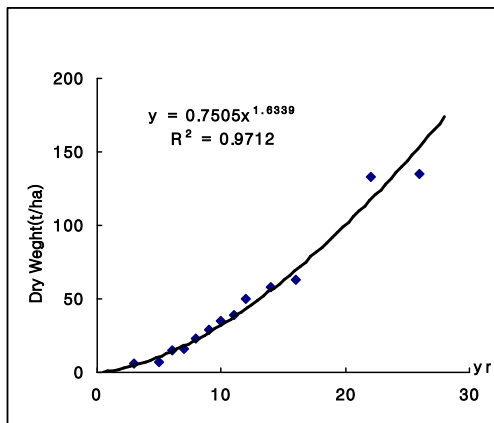


Figure 11. Change of dry weight in the elapsed years after the erosion control work.

Figure 12는 사방 시공 후 9년, 12년, 16년, 22

년, 26년 경과된 생체량을 공간적으로 분석하기 위하여 나타낸 그림이다. 이 그림에서 시간이 변하면서 수고의 성장을 알 수 있으며, 층위별 줄기, 가지, 잎의 생체량 분포를 알 수 있다.

사방시공 후 9년이 되었을 때 사방 시공지의 수고가 4.5m이었고, 12년이 지나서 6m이고, 16년이 경과하여 6.5m, 22년이 지나서 8m, 26년이 지나서 9m가 되었다. 기 조사에서 얻어진 결과(이현규, 1998)는 사방시공 초기부터 16년이 경과함에 따라 식물사회의 수고가 변하는 추세선이 $Y(m)=0.278X(yr)+2.750(r=0.934)$ 이었고, 또 다른 보고(이현규, 1999)는 22년이 경과되면서 얻은 식이 $Y(m)=0.2737X(yr)+2.876(r^2=0.8689)$ 이었다. 그러나 이번 조사에서 얻어진 수고 9m는 기존의 추세식에서 추정할 수 있는 9.9m에 부족함을 알 수 있다.

또한 생체량의 공간적 배분을 종합적으로 분석한 결과 사방 시공 후 5년 이하에서는 줄기의 생체량 분포가 대부분이며, 줄기와 잎의 생체량 분포는 적음을 알 수 있다. 사방시공 후 10년이 되면서 부터 가지와 잎의 생체량 분포가 뚜렷해졌다.

Figure 12의 사방 시공지에서 시간이 경과되면서 사방지 식물사회의 생태적 변화와 물질 생산구조를 알 수 있는 생체량의 수직적 분포를 보면, 수간, 가지, 잎의 생체량 합이 층위별

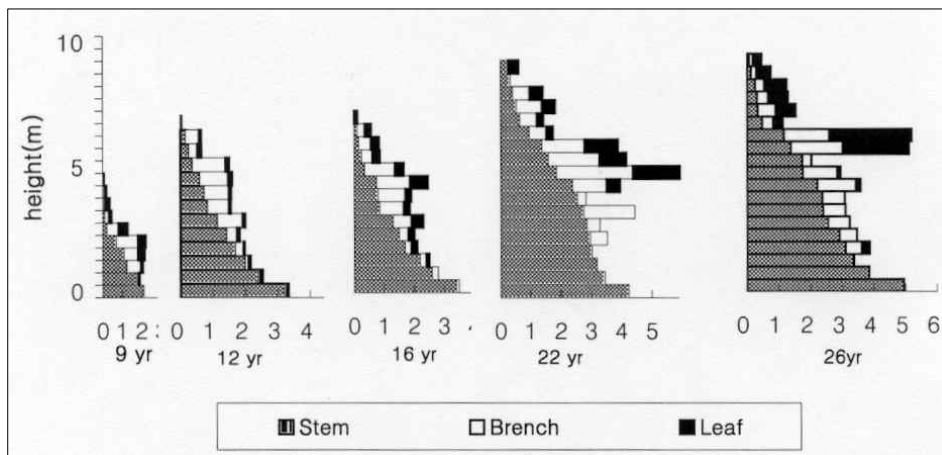


Figure 12. Profile structure diagram of the stand biomass, tree height by the elapsed years after the erosion control work.

로 다른데, 항상 최하위층의 생체량의 합이 가장 많았다. 그 다음으로 수간, 가지, 잎의 생체량이 많은 층을 보면, 사방시공 후 시간이 경과되면서부터 점차적으로 상향되는 것을 알 수 있다. 이것으로 광합성을 형성하는 주요 층위가 상부로 이동됨을 알 수 있다. 사방 시공 시 주요 수종으로 파종되었던 싸리류는 수고가 2m 내외이므로 광합성을 형성하는 데는 10여년 후에는 중요성이 점점 상실되고, 22년 때에는 소나무의 잎이 광합성을 형성하는 주요수종으로 그 층위의 높이가 5m이었는데, 26년 조사에서는 소나무 보다 참나무류 잎이 광합성을 형성하는 주요수종으로 부각되며, 그 높이가 6m 및 6.5m로 이동되었음을 알 수 있었다.

IV. 결 론

사방시공 후 시간이 경과하면서 시공지 식물 사회의 생태학적 변화를 연구하기 위하여 경기도 여주군 내에서 사방시공 후 9년, 11년, 16년, 22년, 그리고 26년에 조사하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 사방시공 후 26년 동안에 토양 낙엽층(O₁, O₂ 층)의 깊이는 점진적으로 증가되어 $Y_{(cm)} = 2.906 \log_{(yr)} - 3.2476 (r^2 = 0.917)$ 이라는 추세식을 구하였다. 또한, 사방시공 후 15년이 경과 할 때까지는 급격히 유기물층이 증가되나 15년 이후부터는 사후 관리 등으로 인해 점증적으로 증가됨을 알 수 있었다.

2. 사방시공 후 26년이 되어서는 소나무의 중요치가 급격히 감소되어 14.7%까지 내려갔다. 오히려 사방 시공시 식재하지도 않은 참나무류가 점증적으로 증가하여 26년이 경과된 후에는 상대중요치 27.1%로 가장 높은 위치를 차지하는 수종이 되었으며, 앞으로 참나무류의 상대중요치는 계속 증가되리라 예상할 수 있다.

3. 수관투영면적이 26년이 경과되었을 때에는 218.9m²로 급격히 감소하였다. 이런 결과는 1986년, 1987년에 오리나무잎벌레의 피해와 1990년 초 여주, 이천지방의 솔잎혹파리 피해로 소나무의 수관투영면적이 급격히 감소되었

기 때문이다. 따라서 병 해충 예방 및 방지를 위한 사방지의 사후 관리 기간을 연장 하여야 한다.

4. 26년이 경과된 후에는 소나무류, 오리나무류, 싸리류의 상층부 상대중요치가 0%로 치수를 거의 발견할 수가 없었다.

5. 하층의 참나무류는 모든 산림구조 분석 영역에서 50%를 넘어서고, 참나무류의 증가는 시간이 경과되면 상층부에 연결될 것이므로 앞으로 참나무류의 중요치가 증대될 것이므로 사방조림 수종에 향토수종인 참나무류의 도입 방안을 강구할 필요가 있다.

6. Biomass의량은 사방시공 후 26년에 134.88 t/ha이 되었다. 시간이 경과되면서 얻어진 Biomass의 변화 추세선은 $Y_{(t/ha)} = 0.7505X_{(yr)}^{1.6335} (r^2 = 0.9712)$ 이다.

인 용 문 헌

- 강위평. 1984. 산복사방공사시공지에 있어서 지형과 식생회복. 한국임학회지 64 : 42-46.
- 김갑덕 · 김태욱 · 이경제 · 김준선. 1985. 아까시나무조림지의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 68 : 60-68.
- 우보명. 1974. 황폐산지의 속성녹화공법개발에 관한 연구. 한국임학회지 24 : 1-24.
- 우보명 · 전기성 · 최형태 · 정도현. 1995. 산사태지의 식생 회복과정에 관한 기초적 연구-용인, 화성지역을 대상으로 -. 한국임학회지 84(1) : 31-40.
- 윤충원 · 오승항 · 이준혁 · 주성현 · 홍성천. 1999. 아까시나무 조림지에서 천이의 예측과 조림학적 제어. 한국임학회지 88(2) : 229-239.
- 이경학 · 손영모 · 노대균 · 권순덕. 2002. 우리나라 주요 6수종의 수간중량 추정식. 한국임학회지 91(2) : 206-202
- 이현규. 1985. 사방시공지 식물사회의 생태학적 변화에 관한 연구 - 경기 여주지역을 중심으로 -. 동국대학교 박사학위논문. 86pp.
- 이현규. 1992. 사방시공지 식물사회의 생태학적

- 변화에 관한 연구(II)- 경기 여주지역을 중심으로-. 한국임학회지. 81(4) : 303-309.
- 이현규. 1998. 사방시공지 식물사회의 생태학적 변화에 관한 연구(III). 상지대학교 논문집 제19집 325-336.
- 임경빈 · 박인협 · 이경재. 1980. 경기도 지방 해충피해 적송림의 식물사회학적 연구. 한국임학회지 50 : 56-71.
- 최경 · 최정용 · 우보명. 1987. 사방지 식생천이와 토양변화에 관한 연구 - 중부화강암지대를 중심으로-. 임시연보 35 : 54-68.
- 홍성천. 1982. 영일사방사업지에 삼림생태학적 연구. 한국임학회지 58 : 41-47.
- Lee, hyun kyu. 1999. Studies on the Ecological Change of the Plant community in the Erosion Controlled and Rehabilitated Areas (IV) -during 9~26 years after erosion control work-. Jour Sangji Univ. 21 : 247-257.

接受 2003年 8月 2日