

화전 후 목밭의 식생 천이에 따른 식물량, 순 일차 생산성 및 P/B 비의 변화

이 규 송

강릉대학교 자연과학대학 생물학과

Changes of Biomass, Net Primary Productivity and P/B Ratio during Abandoned Field Succession after Shifting Cultivation in Korea

Lee, Kyu Song

Department of Biology, Kangnung National University Gangneung, 210-702, Korea

ABSTRACT: Changes of the biomass, net primary productivity and P/B ratio during abandoned field succession after shifting cultivation were investigated in Pyoungchang, Gangwon-Do, Korea. Aboveground standing biomass of herb species showed the maximum value (3.8 ton/ha) in the 5 year old-field, and decreased thereafter. Litter dry weight was depicted as a parabola form showing the gradual increment during the first 50 years and slight decrease thereafter. Basal area tended to increase logarithmically during abandoned field succession. Tree density showed the gradual increment during the first 15 years and decreased thereafter by the self-thinning process. In the later successional stage (80 years old-field), the shoot density distribution of the tree species by DBH class showed the reverse J shaped curve and *Quercus mongolica* dominated. Total standing biomass increased slowly in the earlier successional stages and later successional stages, and increased rapidly during the mid-successional stages (10~50 years old-field). Total standing biomass in the 5, 10, 20, 50 and 80 years old-fields were estimated 5, 14, 75, 251 and 373 ton/ha, respectively. Annual net primary productivity were depicted as a parabola form showing the gradual increment during the first 35 years and declined thereafter. The increment rates of the annual net primary productivity in the earlier successional stages showed the higher value than mid-successional stages. The annual net primary productivities in the 5, 10, 20, 35, 50 and 80 years old-field were estimated 8.6, 9.3, 12.9, 15.1, 13.7 and 3.6 ton/ha/yr, respectively. The estimated P/B ratio tended to decrease exponentially during abandoned field succession. The estimated P/B ratio in the 5, 10, 20, 50 and 80 years old-field were 0.60, 0.39, 0.19, 0.06 and 0.01, respectively. These results were fairly in accordance with the bioenergetics model during the forest succession projected by Odum(1969).

Key words: Abandoned field, Biomass, Net primary production, NPP, Old-field, P/B ratio, Shifting cultivation, Succession

서 론

생태 천이는 일정 지역의 생태계에서 시간 경과에 따라 종조성, 생물량, 생산성, 종다양성 등의 생물요인과 비생물 요인이 점진적으로 변화하는 과정으로서 이에 대한 과학적 이해는 자연과 인간 사이에 벌어지는 보전과 개발에 대한 갈등을 해소하는데 도움을 줄 수 있다 (Odum 1969, Connell and Slatyer 1977). 전 국토의 65%를 차지하는 산림생태계는 전쟁, 인구의 증가 및 산업화로 인한 개발, 솔잎혹파리와 소나무재선충과 같은 병충해 피해, 화전 경작, 남벌, 산불, 대기오염 등으로 인해 많은 훼손이 진행되어 왔다(이 1995). 최근에는 생태학의 주요 연구 주

제가 된 기후의 변화에 따른 향후 산림 생태계의 구조와 기능의 변화 방향에 대한 관심이 증가하고 있다(홍 2005). 산림의 훼손은 산림의 경제 자원을 상실시킬 뿐만 아니라 생물 종 다양성의 감소, 물의 저장, 대기 정화, 홍수, 산 사태 및 토양 유실 방지와 같은 공익적 가치를 저하시키기 때문에 훼손된 산림 생태계의 복구, 복원 및 관리에 대한 관심이 증가하고 있다(오 1997, 이와 박 2005, 홍 등 2005).

최근까지 훼손된 산림을 복원하는 데 가장 많이 이용되는 방법은 조림이다(이와 김 1998, 강원도 2005). 과거 산림 훼손지에 대한 녹화 조림의 국내외 성공 사례가 많지만(호 1979, 이 등 1979, Ashby 1987), 자연보전과 관련된 생태학이 발달하면서 파괴된 산림에 대하여 무조건적으로 조림하기보다는 자연의 회

* Corresponding author; Phone: +82-33-640-2311, e-mail: leeks84@kangnung.ac.kr

복력에 맡기거나 자연의 원리를 중시한 조립 사례들이 늘고 있다. 미국의 엘로스턴 국립공원 지역의 경우 산불 이후 자연 방치에 의해 식생이 회복되고 있는 사례가 보고되고 있고, 호주의 경우에도 자연의 회복력에 의존하는 경우가 많이 보고되고 있다. 또한 조립을 할 경우에도 적지적수의 원칙에 대한 논쟁과 산불 피해 지역에서 관행적으로 이루어지는 화재목 벌목이 이후의 복원 과정을 저해한다는 보고들에 대한 논쟁이 벌어지기도 한다(동해안 산불피해지 공동조사단 2000, 홍 등 2005, Greene et al. 2006). Horn (1976)은 자연지역의 보전과 파괴된 식생의 복원 과정에서 인간의 관리가 필요하지 않은 조건을 발견하는 것이 중요하다고 하였고, Gross (1987)는 파괴된 군집의 복원에 군집 구조와 구성 요인들 간의 기능적인 관계를 재창조하는 것이 중요하다고 하였다. Ashby (1987)는 보다 효율적인 산림 복원을 위해서는 산림의 천이 과정 중 필수적이지 않은 단계를 건너뛰어 복원시킬 수 있는 방안을 찾는 과정이 중요하다고 하였다. 따라서 훼손된 산림 생태계의 적절한 복원 및 관리를 위해서는 훼손된 산림지역에서 일어나는 자연적인 천이 과정에 대한 구체적인 이해가 필요하다고 할 수 있다.

특정 지역에서 식생 천이 과정 동안에 일어나는 현존 생물량과 순 일차 생산성의 변화에 대한 이해는 기후 변화 및 산림에 대한 인간의 간섭으로 인한 산림 생태계의 기능(물질 순환과 에너지 흐름) 변화 연구에 기초가 된다(Odum 1969). 따라서 특정 지역의 산림 생태계를 효과적으로 관리하기 위해서는 그 지역의 기후 조건에서 식생 천이가 진행되는 동안에 식물량의 축적과 연간 순 일차 생산성이 어떻게 변화하는 지에 대하여 정확하게 파악할 필요가 있다. 국내에서는 초지, 발달 중간 단계의 산림이나 성숙림 및 조림지 등에서 현존 식물량과 순 일차 생산량이 단편적으로 평가된 적은 있지만, 산림의 교란 초기부터 후기까지 현존량과 순 일차 생산량의 변화를 평가한 자료가 거의 없는 실정이다(김과 윤 1972, 김 등 1982, 박 1985, 박과 김 1989, 박과 문 1994, 김 등 1995, 박 등 1996, 김 등 1996, 이 2004).

목발은 버려진 연도를 확실히 알 수 있고, 주변과의 경계가 뚜렷하며, 전 세계에 분포하고 있기 때문에 지리적으로 다른 목발의 연구 결과들을 비교할 수 있는 장점이 있다(Osboronova et al. 1990). 우리나라에서도 과거에 많은 화전이 이루어졌고, 최근에는 농촌 인구의 감소와 농업 경쟁력의 상실로 인하여 많은 경작지가 방치되고 있다(Lee and Kim 1995a, b). 과거의 화전 경작은 대부분 산림 지역에서 이루어졌기 때문에 화전 경작지에서 일어나는 식생 천이에 대한 연구는 우리나라 산림 발달 과정을 이해하는데 큰 도움을 줄 수 있다(Kang 1982, 이 1995).

본 연구에서는 우리나라 냉온대 활엽수림을 대표하는 산림 생태계에서 인간의 간섭으로부터 산림의 기능이 회복되는 과정을 파악하기 위하여 과거 화전으로 인하여 산림 훼손이 심하게 발생하였던 강원도 평창군 일대에서 화전 후 목발의 식생천이에 따른 식물 현존량과 순 일차 생산성의 변화를 파악하고자 하였다.

조사지 개황

본 연구의 조사지는 강원도 평창군 진부면의 수항리, 화의리, 마평리 및 막동리 일대(37° 30' ~ 37° 35' N, 128° 30' ~ 128° 35' E)로서 조사된 모든 목발은 남북으로 10 km 이내 동서로 5 km 이내에 위치하고 있다. 본 조사지의 연평균 기온과 강수량은 각각 6.3°C와 1,894 mm로 냉온대 낙엽활엽수림대의 기후 특성을 나타내고 있다(Yim and Kim 1983). 이 지역의 모암은 고생대 트라이아스기에 형성된 퇴적암으로 역질사암, 조립사암, 사질 셰일 및 셰일로 구성되어 있다. 이 지역에서 과거 화전이 이루어진 지역의 토양은 토심이 얇고, 배수가 양호하며 유기물과 자갈을 다량 함유하고 있는 암쇄토이다(이 1995, Lee and Kim 1995a). 본 조사 지역은 과거에 대규모로 화전 경작이 이루어졌던 지역으로 1918년도에는 전체 면적의 약 1/3이 화전 경작지이었다(Lee and Kim 1995a). 본 조사지역에서 1973년도까지 화전 정리사업으로 국유림에 분포하는 모든 화전이 정리되었고(호 1975), 1990년대까지 민유림 지역의 화전도 모두 정리되었다(Lee and Kim 1995a). 최근에는 일정고도 이하의 계곡부에만 경작지가 분포하고 있는데, 농촌 인구의 감소와 노령화 및 농업경쟁력의 저하 등으로 인하여 다수의 목발이 산재하고 있다.

본 조사 지역의 식생 경관은 조림지, 방치 목발 및 여러 유형의 자연림이 모자이크상으로 혼재되어 있다. 과거에 화전이었던 곳에는 대부분 소나무, 일본잎갈나무 및 잣나무조림지가 넓게 분포하고 있고, 조림을 하지 않고 방치된 목발에는 식생의 발달 단계에 따라 천이 초기 단계의 초지, 관목림, 소나무림 및 신갈나무림이 형성되어 있다. 과거에 화전 경작이 이루어지지 않은 산림지역은 계곡부에 활엽수혼합림이, 저지대에 소나무림이나 소나무-신갈나무혼합림이, 그리고 고지대의 사면상부와 능선부에는 신갈나무림이 넓게 분포하고 있다(이 1995).

연구 방법

본 연구를 위하여 지형 조건이 유사하고, 인위적인 관리나 간섭이 적으며, 폐경연도가 확실한 일정 규모 이상의 14개 목발을 선정하였는데, 각 목발의 상세 정보는 이(1995) 및 Lee와 Kim (1995a, b)에 기술되어 있다. 각 목발의 폐경연도는 주민들의 말을 청취하여 참조하고, 그 목발에서 가장 빠르게 정착한 것으로 추정되는 목본 5그루를 선정하여 지표면으로부터 30 cm 위에서 생장추를 이용하여 나이테를 추출한 다음 측정된 나이테 수에 2년을 더하여 추정하였다(이 1995).

낙엽 건중량은 각 목발에 20 cm × 20 cm 크기의 방형구 5개를 설치하고 그 안의 모든 낙엽을 수거하여 80°C 항온 건조기에서 48시간 이상 건조시켜 건중량을 구하였다. 초본종의 지상부 식물량은 각각의 목발에 50 cm × 50 cm 크기의 방형구 20개를 설치하여 방형구 안의 식물체를 수확하여 구하였다.

목본의 매목 조사는 6~25년차 목발에서 각각 5개의 5 m × 5 m 방형구를 설치하고, 50~80년차 목발에서 20 m × 20 m 방

형구를 설치하여 조사하였다. 매목 조사 결과를 이용하여 흉고 단면적을 구하였고, 상대생장법(박 1985, 박과 김 1989, 이 등 2004)을 이용하여 목본의 지상부 식물량을 추정하였다. 상대생장식을 적용하는데 있어서 직경 60 mm 이하의 교목과 관목은 이 등(2004)의 식을 이용하였는데, 이 등(2004)이 제시하지 않은 수종에 대해서는 형태가 유사한 수종의 상대생장식을 적용하였다. 직경 60 mm 이상의 수종에 대해서는 박(1985) 및 박과 김(1989)이 제시한 상대생장식을 이용하였다. 모든 목본 수종의 지하부 식물량은 박(1985) 및 박과 김(1989)이 제시한 상대생장식을 이용하였고, 초본의 지하부 식물량은 초본 지상부 현존량에 1/4을 곱하여 추정하였다(Johnson and Risser 1974).

연 순 일차 생산성을 계산하기 위하여, 목발의 경과 년 수에 따른 총 지상부 식물량의 변화 및 초본과 목본의 지하부 식물량의 변화식을 유도하여 연간 식물량의 증가량을 계산하였다. 연간 낙엽 생산량은 Kimmins (1987)에 의해 제시된 온대 낙엽 활엽수림에서 지하부를 제외한 총 순일차 생산량에서 연간 유기물생산량이 차지하는 비율인 65%를 적용하여 구하였다. 연간 순 일차 생산성은 연간 식물량의 증가량과 연간 낙엽 생산량을 합산하여 구하였다. 낙엽 생산량 산출시 신갈나무가 우점하는 70년차 이상의 목발은 점봉산의 신갈나무 성숙림에서 3년간 실측된 연간 낙엽생산량의 평균값인 3.43 ton/ha/yr를 최소값으로 적용하였다(이도원 등 1997). 6년차 이내의 목발에서는 Odum (1960)이 밝힌 목발 천이 초기의 식물 현존량순 일차 생산성의 비(2년차 이내는 0.9, 3~6년차 목발은 0.6)를 실측한 식물 현존량에 적용하여 순 일차 생산성을 구하였다.

결과 및 고찰

지상부 초본 식물량과 낙엽 현존량의 변화

Table 1은 목발의 방치 후 경과 년 수에 따른 지상부 초본 식물량의 변화를 나타낸 것이다. 전체 지상부 초본 식물량은 4~5년차 목발에서 3.7~3.8 ton/ha로 가장 많았고, 15~25년차에서 1~2 ton/ha로 감소하였으며, 50~80년차에서 0.3 ton/ha 이하를 나타내었다. 일년생 초본 식물량은 방치 당해연도에 가장 높은 값을 나타낸 후 3년차까지 매우 빠르게 감소하였고, 이년생 초본 식물량은 1~6년차 목발에서 가장 많았으나 지소에 따른 차이가 컸으며 10년차 이상에서 급속히 감소하였다. 다년생 초본 식물량은 4년차까지 빠르게 증가한 후 감소하여 5~25년차 목발에서 1~2.5 ton/ha의 값을 나타내었다.

목발의 방치 후 경과 년 수에 따른 낙엽량의 변화는 50년차 목발까지 빠르게 증가한 다음 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 1). 5년차 목발에서 낙엽량은 2 ton/ha 내외를, 10년차 목발에서 3~4 ton/ha를, 20년차 목발에서 6 ton/ha 내외를, 50년차 목발에서 9 ton/ha 내외를, 그리고 80년차 목발에서 6 ton/ha를 나타내었다.

50년차 목발까지 낙엽량이 증가했다가 감소하는 이유는 숲의 성장에 따른 낙엽 생산량과도 관련이 있지만 낙엽의 구성비

율에 따른 분해속도가 영향을 주기 때문이다. 낙엽층의 구성성분이 분해 속도가 상대적으로 느린 소나무의 낙엽으로 구성되어 있는 50년차 목발까지는 낙엽의 축적율이 크지만 이후 수관층에서 우점하던 소나무가 고사하고 신갈나무 등으로 바뀌면서 낙엽층의 구성성분이 분해가 용이한 참나무의 낙엽으로 바뀌기 때문이다(Lee and Kim 1995a). 곽(1986)은 6.25동란 후 재생된 신갈나무림(약 35년 경과)의 임상에 축적된 낙엽량이 6.8~9.9 ton/ha라고 보고하였다. 본 조사지에서 측정된 30 - 70년차 목발의 그것은 이와 비슷한 값을 나타내었다.

Table 1. Changes of aboveground standing biomass (ton/ha) of herb species during abandoned field succession

Years since abandonment	Annual	Biennial	Perennial	Total
0.5	1.385	0.004	0.001	1.389
1	0.734	1.617	0.310	2.661
2	0.233	1.111	0.132	1.474
3	0.009	1.417	1.849	3.276
4	0.012	0.581	3.177	3.769
5	0.016	1.800	1.995	3.812
6	0.003	1.450	1.532	2.985
10	0.020	0.715	2.490	3.226
13	0.005	0.010	2.470	2.490
15	0.002	0.015	0.999	1.011
20	0.038	0.071	1.729	1.837
25	0.000	0.000	1.511	1.511
50	0.004	0.000	0.270	0.273
80	0.002	0.000	0.219	0.221

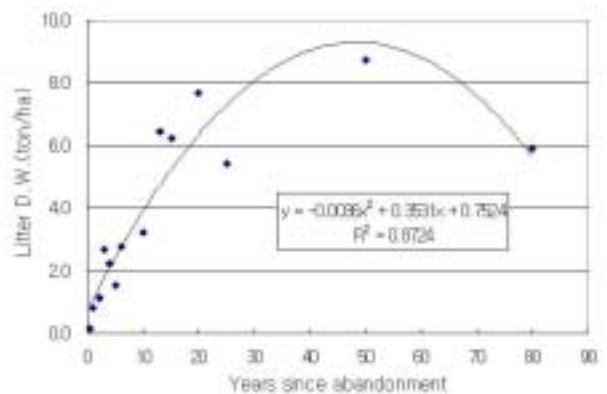


Fig. 1. Changes of biomass of litter layer during abandoned field succession (Modified from Lee and Kim 1995a).

교목성 목본의 흉고 직경 등급 분포의 변화

Table 2는 교목성 목본의 침투가 본격적으로 이루어지는 6년차 목밭부터 80년차 목밭까지 교목성 목본의 흉고 직경 등급별 분포를 나타낸 것이다(Lee and Kim 1995b). 총 교목성 목본 밀도는 15년차 목밭까지 빠르게 증가하여 10,720 본/ha를 나타내고, 이 후에 경과 년 수의 증가에 따라 감소하는 경향이었다. 흉고 직경 5 cm 미만의 교목성 목본 밀도는 15년차 목밭에서 최대값을 나타내었고, 5~20 cm 범위의 목본 밀도는 20년차 목밭에서 최대값을 나타내었으며, 20~30 cm 범위의 목본 밀도는 50년차 목밭에서 최대값을 나타내었다. 30 cm 이상의 목본 밀도는 50년차 목밭에서 125 본/ha이었고, 80년차 목밭에서 250 본/ha이었다.

13년차와 20년차 목밭은 비슷한 연차의 목밭보다 교목성 목본의 밀도가 높았고, 목본의 성장속도도 연차가 비슷한 다른 목밭에 비하여 보다 빨랐다. 이들 목밭에서 교목의 밀도와 성장속도가 빠른 이유는 다른 목밭 지소들이 대부분 사면 중상부에 위치한 것에 비하여 두 목밭이 계곡부에 인접하고, 면적 규모가 상대적으로 작으며, 목밭의 모양이 긴 모양을 나타내고 있기 때문이다(Lee and Kim 2005a). 일반적으로 목밭의 면적 규모가 작고 긴 모양일 경우 주변 지역으로부터 교목의 침투가 용이하다. 또한 계곡부에 목밭이 위치할 경우 습한 조건을 좋아하고 맹아 발생이 많은 버드나무류의 침투가 많아져 소나무가 많이 침투한 비슷한 연차의 목밭보다 단위면적당 줄기 수가 많아지는 것이 일반적이다. 이것은 규모가 작고 긴 모양의 계곡부 목밭이 큰 규모의 사면부 목밭보다 목본의 침투와 성장에 유리하기 때문에 목밭이 숲으로 회복되는 속도가 빠르다는 것을 의미한다(Bazzazz 1968, Horn 1976, Harrison and Werner 1982, Inouye et al. 1987, 이 1995).

10~25년차 목밭에서 교목성 목본의 흉고 직경 등급에 따른 분포는 역 J자형을 나타내어 향후 정상적인 숲으로의 발달과정을 잘 나타내었다. 50년차 목밭에서 교목성 목본의 흉고 직경

분포는 10~20 cm급 목본이 많은 불록형을 나타내어 어린 유식물의 공급이 적었다. 그 이유는 수관층에서 맹아 발생이 활발한 수종이 적고, 입상층으로 유입되는 빛이 현저히 적으며, 낙엽층에 분해가 잘 되지 않는 소나무잎 성분이 많아 낙엽층이 두껍게 발달해 있어서 새로운 유식물의 정착과 생장이 용이하지 않기 때문이다(Fig. 1, Lee and Kim 1995a). 80년차 목밭은 신갈나무가 우점하고 있으며 교목성 목본의 흉고 직경 분포가 역 J자형으로 안정한 모양을 나타내고 있는 것으로 보아 향후 신갈나무 순림으로 유지될 것으로 예측되었다(Lee and Kim 1995b).

목본의 흉고단면적과 지상부 식물량의 변화

Fig. 2는 목밭의 방치 후 경과 년 수에 따른 목본의 흉고 단면적과 지상부 식물량의 변화를 나타낸 것이다. 경과 년 수에 따라 목본의 흉고 단면적은 지수 함수적으로 증가하는 경향을 나타내었는데, 10년차에서 5 m²/ha 이하를, 20년차에서 20 m²/ha 내외를, 50~80년차에서 35~45 m²/ha를 나타내었다. 목본의 지상부 식물량은 10년차 목밭까지 완만하게 증가하다가 10~50년차 사이에 빠르게 증가하고, 50년차 이상에서 다시 완만하게 증가하는 경향을 나타내었다. 목본의 지상부 식물량은 10년차 목밭에서 10 ton/ha 이하를, 20년차에서 50 ton/ha 내외를, 30~40년차에서 100~150 ton/ha를, 50년차에서 200 ton/ha를, 그리고 80년차에서 291 ton/ha를 나타내었다.

방치 후 10년 이내의 단계에서 목본의 흉고 단면적과 지상부 식물량은 동해안의 산불 피해 지역에서 천이 진행에 따라 조사된 목본의 흉고단면적과 지상부 식물량보다 다소 낮았고, 목본의 정착이 완료된 10년차 이후부터는 그 증가 속도가 방치된 산불 피해 지역보다 큰 것으로 나타났다(Nakagoshi et al. 1987, 이 등 2004). 목본의 발달에 있어서 산불 피해 지역과의 이러한 차이는 목밭이 산불 피해 지역보다 목본의 정착이 느리지만 일단 목본이 정착하고 나면 토양, 지형 및 수분 등의 입지 조건이 동해안의 산불 피해 지역보다 수목의 성장에 유리하기 때문이다.

Table 2. Shoot density distribution of the tree species by DBH class during abandoned field succession (No./ha)

Years since abandonment	DBH class (No./ha)						Total
	0.5~5 cm	5~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	
6	480						480
10	1,680	400					2,080
13	7,520	800	160				8,480
15	9,120	1,520	80				10,720
20	2,960	2,080	800	240			6,080
25	1,200	560	320				2,080
50	225	300	600	350	125		1,600
80	1,300	375	300	250	200	50	2,475

팩(1986)은 본 조사지와 인접한 평창군 남병산에서 6.25 당시 화재 후 방치된 신갈나무림(방치 후 약 35년 경과)에서 지상부 목본의 식물량을 150~170 ton/ha로 추정하였는데, 이것은 본 조사의 30~40년차 목발에서 추정되는 값보다 다소 큰 것이다. 비슷한 지역에서 방치후 35년이 경과한 시점에서 산불 피해지가 목발보다 식물량이 많은 것은 목발에 비해 산불 피해 지는 맹아로 인한 목본의 정착속도가 빠르고 성장할 수 있는 기간이 길기 때문이다. 점봉산에서 목발 기원의 약 40~50년생 소나무림에서 추정된 지상부 목본 식물량은 171 ton/ha으로(이규송 미발표 자료) 본 조사지의 40~50년차 목발의 추정치와 거의 비슷하였다(Fig. 2). 이러한 결과들은 산불 피해지와 목발이 동일 기 후조건과 입지조건에 위치한다면 목본의 정착 시기에 따른 차이 때문에 지상부 목본의 생물량이 산불 피해지가 목발보다 다소 빠르게 증가한다는 것을 의미한다. 김 등(1982)은 서어나무, 졸참나무 및 신갈나무가 우점하는 지리산 피아골의 11개 극상 임분에서 평균 지상부 목본 식물량을 174 ton/ha (110~270 ton/ha 범위)로 추정하였다. 또한 점봉산의 신갈나무 성숙림

의 지상부 목본 식물량은 266 ton/ha로 추정되었다(이규송 미발표 자료). 본 조사지에서 방치 후 80년이 경과한 목발의 지상부 목본 식물량은 291 ton/ha로 추정되었는데, 이 값은 지리산의 극상 임분과 점봉산의 신갈나무 성숙림의 그 것보다 다소 많은 값이다. 따라서 목발의 경우 방치 후 80년 정도가 되면 극상림 수준의 지상부 목본 식물량이 축적된다고 할 수 있다.

초본과 목본의 지하부 식물량의 변화

Fig. 3은 목발의 방치 후 경과 년 수에 따른 초본과 목본의 지하부 식물량의 변화를 나타낸 것이다. 초본의 지하부 식물량은 3~10년차에서 0.8 ton/ha 이상으로 최대값을 나타낸 후 시간 경과에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 목본의 지하부 식물량은 지상부 목본의 식물량의 변화와 비슷하게 시간 경과에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 목본의 지하부 식물량은 10년차 목발에서 2 ton/ha 이하를, 20년차에서 15 ton/ha 내외를, 30~40년차에서 30 ton/ha 내외를, 50년차에서 50 ton/ha를 그리고 80년차에서 80 ton/ha 내외를 나타내었다.

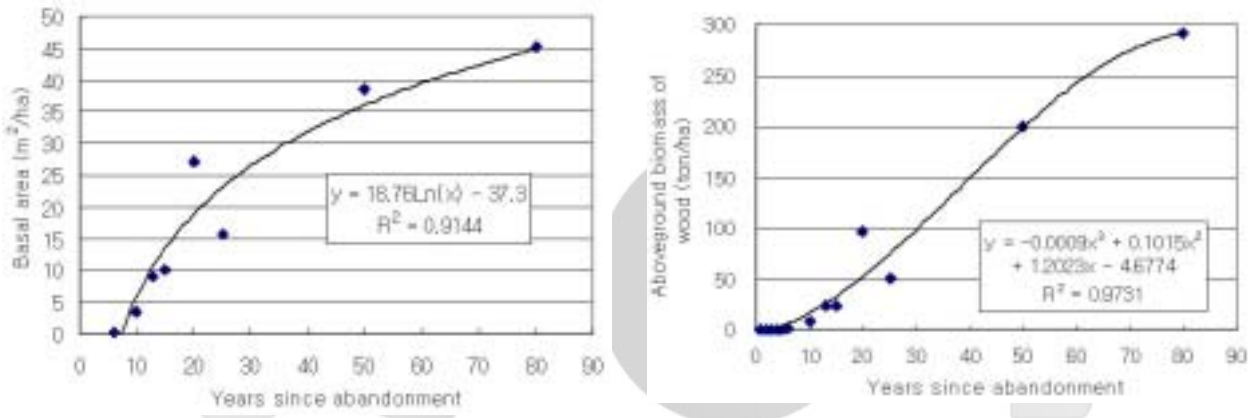


Fig. 2. Changes of basal area (m²/ha) in the breast height (1.3m) and aboveground standing biomass (ton/ha) of woody plants during abandoned field succession.

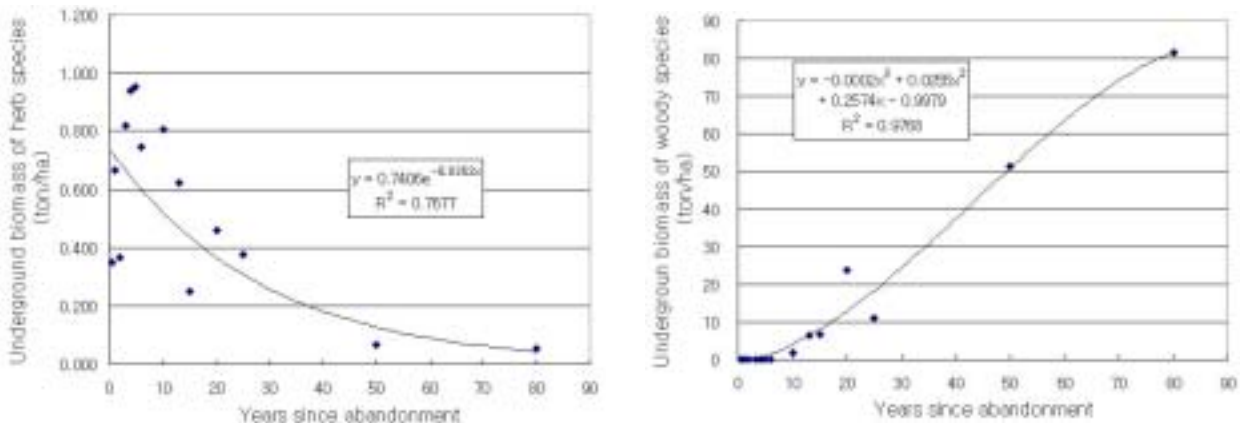


Fig. 3. Changes of the underground standing biomass (ton/ha) of herb and woody species during abandoned field succession.

유(1994)는 경기도 광릉에서 극상림인 졸참나무-서어나무림의 목본 지하부 식물량을 65.3 ton/ha로 추정하였는데, 본 조사지에서 추정된 80년차 목발의 그것은 81.7 ton/ha로 경기도 광릉 극상림의 목본 지하부 식물량보다 1.25배가 많았다.

총 식물 현존량의 변화

Fig. 4는 경과 년 수에 따라 초본과 목본의 지상부 및 지하부 식물량을 합한 총 식물현존량의 변화를 나타낸 것이다. 총 식물현존량은 10년차까지 완만하게 증가하다가 10~50년차 사이에 빠르게 증가하고, 50년차 이상에서 다시 완만하게 증가하는 경향을 나타내었다. 총 식물 현존량은 10년차 목발에서 15 ton/ha 이하를, 20~30년차에서 50~120 ton/ha의 범위를, 30~40년차에서 150 ton/ha 내외를, 50년차에서 250 ton/ha를 그리고 80년차에서 373 ton/ha를 나타내었다.

Whittaker와 Likens (1975)는 온대 낙엽활엽수림, 온대 초원지대 및 관목림의 식물 현존량이 각각 60~600 ton/ha, 2~50 ton/ha 및 20~200 ton/ha의 범위(평균 각각 300, 16 및 60 ton/ha)에 분포한다고 하였다. 본 연구의 결과를 이들과 비교하면 15년차 이내의 목발의 식물 현존량은 온대 초원지대의 그것과 비슷한 범위를 나타내었고, 20~40년차 목발의 식물 현존량은 관목림의 그것과 비슷하였으며, 40년차 이상 목발의 식물 현존량은 온대 낙엽활엽수림의 평균치와 비슷하였다. 박 등(1996)은 경기도 광주 지역의 32~38년생 굴참나무림, 상수리나무림, 떡갈나무림 및 신갈나무림의 식물 현존량을 각각 87.0, 122.7, 38.6 및 72.1 ton/ha로 추정하였다. 박과 문(1994)은 전라도의 26~29년생 상수리나무림, 굴참나무림 및 졸참나무림의 식물현존량을 각각 164.0, 158.9 및 115.3 ton/ha로 추정하였으며, 같은 지역에서 36년생 신갈나무림의 식물현존량을 118.8 ton/ha로 추정하였다. 본 조사지에서 약 30~40년차 목발의 식물 현존량은 150 ton/ha 내외로 추정되었다. 이 값은 경기도 광주 지역의 32~38년생 참나무림과 전라도 지역의 굴참나무림과 상수리나무의 그것보다 높았고, 전라도 지역의 굴참나무림과 상수리나무의 그것

과 비슷한 것이다. 80년차 목발의 식물 현존량은 지리산 피아골 극상림에서 추정된 178 ton/ha보다 약 2.1배 많았고(김 등 1982), 경기도 광릉의 졸참나무-서어나무 극상림에서 추정된 287 ton/ha보다 1.3배가 많았다(유 1994). 30~40년차 목발의 식물 현존량이 다른 지역의 참나무림보다 많고, 완전하게 극상에 도달하지 못한 80년차 목발의 식물 현존량이 지리산이나 광릉의 극상림에 비해 많은 것은 경사가 완만하고, 토심이 깊으며, 수분이 부족하지 않은 입지조건에 위치하고 있고, 정착한 목본의 밀도가 높아서 아직까지도 경쟁이 일어나고 있는 과정이며, 목본의 활력도가 좋아 고사목이나 숲틈의 형성이 활발하지 않기 때문으로 생각된다(유 1994, 이 1995, Table 2).

순 일차 생산성(NPP)과 P/B 비율의 변화

연간 순 일차 생산성을 계산하기 위하여 Table 1의 초본 지상부 건중량과 Fig. 2의 목본 지상부 건중량 자료를 이용하여 경과 년 수에 따른 총 지상부 건중량의 변화식을 다음과 같이 유도하였다.

$$\text{총 지상부 식물량(B)} = -0.0009\text{Yr}^3 + 0.099\text{Yr}^2 + 1.2106\text{Yr} - 2.007$$

$$(R^2 = 0.97, n=14)$$

Fig. 3의 초본과 목본의 지하부 건중량의 변화식과 총 지상부 식물량의 변화식을 이용하여 연간 식물량의 증가량을 계산하였다. 연간 낙엽 생산량은 Kimmins (1987)에 의해 제시된 낙엽활엽수림에서 총 순일차 생산량(지하부 생산량 제외)에서 연간 유기물 생산량이 차지하는 비율인 65%를 적용하여 구하였다(Fig. 5). 신갈나무가 우점하는 70년차 이상의 목발의 경우 점봉산의 신갈나무 성숙림에서 실측된 연간 낙엽 생산량인 3.43 ton/ha/yr를 최저값으로 적용하였다(이 등 1997). 연간 낙엽 생산량은 35년차까지 빠르게 증가하여 약 9 ton/ha/yr로 최대값을 나타낸 후 감소하는 경향으로 추정되었다(Fig. 5).

Fig. 6은 목발의 방치 후 경과 년 수에 따른 연 순 일차 생산성(NPP)의 변화를 추정한 것이다. 연간 순 일차 생산성은 1년간

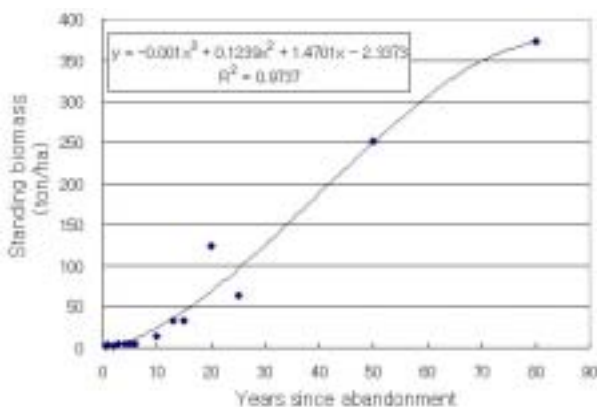


Fig. 4. Changes of the total standing biomass (ton/ha) during abandoned field succession.



Fig. 5. Changes of the estimated annual litter production (ton/ha/yr) during abandoned field succession.

식물량의 증가량과 연간 낙엽 생산량을 합산하여 구하였다. 2년차 이내 목발과 3~6년차 목발의 순 일차 생산량은 각각 목발의 식물 현존량을 0.9와 0.6으로 나누어 추정하였다(Odum 1960). 연간 순 일차 생산성은 10년차 이내에서 가장 빠르게 증가하여 2년차 이내의 목발에서 2~4 ton/ha/yr를, 5년차 이내의 목발에서 8 ton/ha/yr 내외를, 그리고 10년차 목발에서 9~10 ton/ha/yr를 나타내었다. 목본의 정착과 성장이 본격적으로 이루어지는 10년차부터 35년차까지 순 일차 생산량은 점차적으로 증가하여 35년차에서 15 ton/ha/yr의 최고치를 나타낸 다음 점차적으로 감소하여 60년차에서 10 ton/ha/yr 내외를 나타내고, 80년차에서 4 ton/ha/yr 내외로 안정화하는 경향을 나타내었다.

Fig. 7은 목발의 방치 후 경과 년 수에 따른 연 순 일차 생산량과 총 식물 현존량의 비인 P/B 비율의 변화를 추정한 것이다. P/B 비율은 천이가 진행됨에 따라 지수 함수적으로 감소하는 것으로 추정되었다. 5, 10, 20, 50 및 80년차 목발에서 추정된

P/B 비율은 각각 0.60, 0.39, 0.19, 0.06 및 0.01이었다.

Kwak과 Kim (1992)은 6.25 동란시 화재로 파괴된 후 재생한 평창 지역 신갈나무림(약 35년 경과)의 연 순생산성을 12.7 ton/ha/yr로 추정하였고, 김과 윤(1972)은 춘천 지방에서 소나무림과 신갈나무림의 순 일차 생산성을 각각 12.7 및 8.7 ton/ha/yr로 추정하였으며, 박(1985)은 백운산 지역의 천연 산림생태계의 순 일차생산량을 11.5 ton/ha/yr로 추정하였다. 박 등(1996)은 경기도 광주 지역의 32~38년생 굴참나무림, 상수리나무림, 떡갈나무림 및 신갈나무림의 순 일차 생산성을 각각 6.47, 6.06, 3.52 및 7.49 ton/ha/yr로 추정하였다. 박과 문(1994)은 전라도의 26~29년생 상수리나무림, 굴참나무림 및 졸참나무림의 순 일차생산성을 각각 25.0, 23.2 및 14.5 ton/ha/yr로 추정하였으며, 같은 지역에서 36년생 신갈나무림의 식물현존량을 12.6 ton/ha/yr로 추정하였다. 본 조사지에서 약 30~40년차 목발의 순 일차 생산성은 15 ton/ha/yr 내외로 추정되었다. 이러한 값은 다른 지역의 신갈나무림이나 졸참나무림보다 다소 높은 것이고 전라도 지역의 상수리나무림과 굴참나무림에 비하여 낮은 값이다. 유(1994)는 경기도 광릉의 잣나무와 젓나무가 우점하는 침엽수림과 극상에 도달한 활엽수림의 순 일차 생산성을 각각 12.1 및 3.0 ton/ha/yr로 추정하였다. Whittaker와 Likens (1975)는 온대 낙엽활엽수림, 온대 초원지대 및 관목림의 순 일차 생산성이 각각 6~25 ton/ha/yr, 2~15 ton/ha/yr 및 2.5~12 ton/ha/yr의 범위(평균 각각 12, 6 및 7 ton/ha/yr)에 분포한다고 하였다. Kira와 Shidei (1967)은 일본 침엽수림과 활엽수림의 순 일차생산량이 각각 4~25 ton/ha/yr과 5~20 ton/ha/yr의 범위에 있다고 보고하였다. 본 연구의 결과를 이들과 비교하면 대체적으로 비슷한 범위에 분포하는 것을 확인할 수 있다. 80년차의 목발의 순 일차 생산량은 Whittaker와 Likens (1975) 및 Kira와 Shidei (1967)이 제시한 값보다 다소 낮았고, 경기도 광릉의 극상인 졸참나무림의 그것보다(유 1994)는 다소 높은 것으로 보아 거의 극상림 수준의 순 일차 생산성을 나타낸다고 할 수 있다.

Odum (1969)은 산림의 식생 천이에서 순 일차 생산성이 천이 초기 단계로부터 약 30년까지 빠르게 증가하고 이후 점차적으로 감소하여 총 생물량의 증가가 천이 후기에 둔화된다는 삼림천이과정에 따른 생물 에너지론 모형을 제시하였다. 또한 Odum (1969)은 천이 초기 단계에서 P/B 비율이 커지고 후기 단계에 낮아진다는 가설을 제시하였다. 본 연구의 결과들은 Odum (1969)의 가설과 잘 일치되었다. 순 일차 생산성의 증가는 단위시간당 생물량의 축적이 증가한다는 것을 의미하고, 단위 시간당 생물량 축적이 크다는 것은 생태계 내에서 많은 양분들이 생물체로 이동한다는 것을 의미한다. 본 연구에서 천이 중기에 해당하는 미성숙 단계에서 순 일차 생산성이 가장 크게 나타난 것은 성숙한 생태계보다 미성숙 생태계에서 생태계 내 양분들이 보다 빠르게 생물체로 이동한다는 것을 의미한다(Vitousek and Reiners 1975).



Fig. 6. Changes of the estimated net primary productivity (ton/ha/ha) during abandoned field succession.

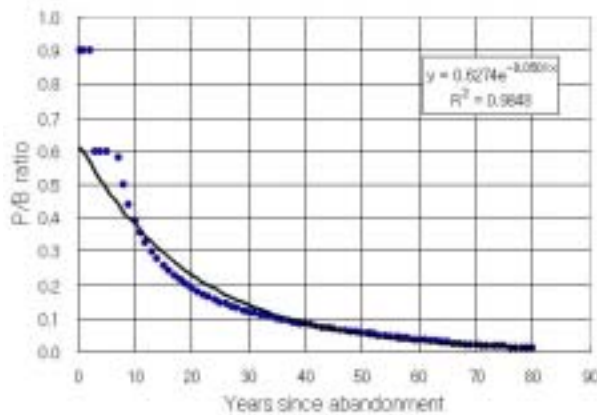


Fig. 7. Changes of the estimated ratio of the P/B (net primary productivity/total standing biomass) during abandoned field succession.

적 요

강원도 평창군 일대에서 화전 후 목밭의 식생 천이에 따른 식물량, 순 일차 생산성 및 P/B 비의 변화를 조사하였다. 초본의 지상부 식물량은 5년차 목밭에서 3.8 ton/ha로 가장 많았다. 낙엽 건중량은 50년차 목밭까지 증가한 다음 감소하는 포물선형 변화를 나타내었다. 천이가 진행됨에 따라 흉고 단면적은 로그 함수적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 교목의 목본 수는 15년차 목밭까지 빠르게 증가하다가 경과 년 수에 따라 자가 속음질 과정을 거쳐 감소하는 경향이였다. 80년차 목밭에서 DBH 등급에 따른 목본의 분포는 역 J 자형을 나타내었고, 우점종은 신갈나무이었다. 식물 현존량은 천이 초기와 후기 단계에서 완만한 증가를 나타내었고, 중기 단계인 10~50년차 목밭에서 빠르게 증가하였다. 5, 10, 20, 50 및 80년차 목밭의 식물 현존량은 각각 5, 14, 75, 251 및 373 ton/ha로 추정되었다. 연간 순 생산성은 초기 35년간 점진적인 증가 후 감소하여 점차 안정화하는 경향을 나타내었다. 연간 순 일차 생산성의 증가 속도는 천이 중기 단계 보다 초기 단계에서 빠르게 증가하였다. 5, 10, 20, 35, 50 및 80년차 목밭의 순 일차 생산성은 각각 8.6, 9.3, 12.9, 15.1, 13.7 및 3.6 ton/ha/yr이었다. P/B 비율은 천이가 진행됨에 따라 지수 함수적으로 감소하는 것으로 추정되었다. 5, 10, 20, 50 및 80년차 목밭에서 추정된 P/B 비율은 각각 0.60, 0.39, 0.19, 0.06 및 0.01이었다. 이러한 결과는 Odum (1969)이 제시한 삼림천이 과정의 생물 에너지론과 잘 부합하였다.

인용문헌

- 강원도. 2005. 2000년 동해안 산불피해지 산림복구 p 289.
- 곽영세. 1986. 신갈나무 숲의 연순생산성과 영양원소 순환. 서울대학교 이학석사 학위논문. p 50.
- 김종성, 손요환, 김진수. 1995. 양평지역 리기다소나무, 낙엽송, 졸참나무의 allometry와 임관동태 연구. 한국임학회지 84(2): 186-197.
- 김종성, 손요환, 임주훈, 김진수. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지하부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 416-425.
- 김준호, 윤성모. 1972. 삼림의 생산구조와 생산력에 대한 연구 II. 춘천지방의 소나무림과 신갈나무림의 비교. 한국식물학회지 15: 71-78.
- 김준호, 임영득, 조도순, 고성덕, 민병미. 1982. 지리산 피아골 극상림의 군락구조, 식물량 및 1차생산성에 관한 연구. 한국자연보존협회 조사보고서 21: 53-73.
- 동해안 산불피해지 공동조사단. 2000. 동해안 산불 피해지역 정밀조사보고서 I, II.
- 박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3): 323-330.
- 박인협. 1985. 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 농학박사학위논문. p 45.
- 박인협, 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 83(2): 246-253.
- 박인협, 이돈구, 이경준, 문광선. 1996. 참나무류의 성장 및 물질생산에 관한 연구(I) - 경기도 광주지방의 굴참나무, 상수리나무, 떡갈나무, 신갈나무 천연 임분을 대상으로 -. 한국임학회지 85(1): 76-83.
- 오정수. 1997. 산림생태계의 환경형성 기능 평가. 서울여자대학교 생태연구소 설립기념 심포지움 "환경문제의 생태학적 접근" 자료집. pp 82-90.
- 유영한. 1994. 광릉의 낙엽수림과 침엽수림 소유역 생태계내 무기 영양소의 유입과 유출. 서울대학교 이학박사학위논문. p 142.
- 이규송, 김준호. 1998. 조림이 초기 목밭 식생천이에 미치는 영향. 강릉대학교 환경과학연구소논문 1(1): 31-39.
- 이규송, 박상덕. 2005. 산불지역 숲의 발달과 토양유실의 변화. 방재정보 7(4): 18-33.
- 이규송, 정연숙, 김석철, 신승숙, 노찬호, 박상덕. 2004. 동해안 산불피해지에서 산불 후 경과 년 수에 따른 식생 구조의 발달. 한국생태학회지 27(2): 99-106.
- 이규송. 1995. 진부 (강원도 평창군) 일대 화전 후 목밭의 식생 천이 기구. 서울대학교 이학박사학위논문. p 236.
- 이도원, 조도순, 이준호, 박종화. 1997. 생물다양성 보전을 위한 점봉산 자연보전지구의 생태적 구조와 기능 분석. 한국과학재단. p 313.
- 이도형. 2004. 흉고직경과 수고에 의한 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)의 지상부와 지하부 생체량 추정. 한국임학회지 93(3): 242-250.
- 이우철, 김종진, 전상근. 1979. 강원도의 화전적지에 있어서 제 2차 천이의 초기군락발달에 관한 연구. 자연보전연구보고서 1: 145-166.
- 호을영. 1975. 강원도 화전정리 사업에 수반되는 문제점 분석에 관한 연구. 한국임학회지 28: 50-66.
- 홍보람. 2005. 점봉산 산림 식생의 장기생태모니터링을 위한 기초조사. 강릉대 교육대학원 교육학석사 학위논문. p 90.
- 홍선기, 강호정, 김은식, 김재근, 이은주, 이재천, 이점숙, 임병선, 정연숙, 정홍락. 2005. 생태복원공학 - 서식지와 생태공간의 보전과 관리. 라이프사이언스. 서울. p 310.
- Ashby WC. 1987. Forests. In: Restoration ecology (Jordan III WR, Gilpin ME, Aber JD, eds). Cambridge University Press, New York. pp 89-108.
- Bazzaz FA. 1968. Succession on abandoned fields in the Shanee hills southern Illinois. Ecology 49: 924-936.
- Connell JH, Slatyer RO. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. Am. Nat. 111: 1119-1124.
- Greene DF, Gauthier S, Noel J, Rousseau M, Bergeron Y. 2006. A field experiment to determine the effect of post-fire salvage on seedbeds and tree regeneration. Front Ecol Environ 4(2): 69-74.
- Gross KL. 1987. Mechanism of colonization and species persistence in plant communities. In: Restoration ecology (Jordan III WR, Gilpin ME, Aber JD, eds). Cambridge University Press, New York. pp 173-188.
- Harrison JS, Werner PA. 1982. Colonization by oak seedlings into a heterogeneous successional habitat. Can J Bot 62: 559-563.
- Horn HS. 1976. Succession. In: Theoretical ecology : Principles and applications (May RM, ed). Saunders, Philadelphia. pp 187-204.
- Inouye RS, Huntly NJ, Tilman D, Tester JR, Stillwell M, Zimmel KC. 1987. Old-field succession on a Minnesota sand plain. Ecology 68: 12-26.
- Johnson FL, Risser RG. 1974. Biomass, annual net primary production

- and dynamics of six mineral elements in a post oak-black oak forest. *Ecology* 55: 1246-1258.
- Kang SJ. 1982. Ecological studies on the burned fields in Korea. Tohoku Univ. Ph. D. Thesis. p 103.
- Kimmins JP. 1987. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company, New York. p 531.
- Kira T, Shidei T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystem of the western pacific. *Jap J Ecol* 17: 70-87.
- Kwak YS, Kim JH. 1992. Nutrient cyclings in mogolian oak (*Quercus mongolica*) forest. *Korean J Ecol* 15(1): 35-46.
- Lee KS, Kim JH. 1995a. Seral changes in environmental factors and recovery of soil fertility during abandoned field succession after shifting cultivation. *Korean J Ecol* 18(2): 243-253.
- Lee KS, Kim JH. 1995b. Seral changes in floristic composition during abandoned field succession after shifting cultivation. *Korean J Ecol* 18(2): 275-283.
- Nakagoshi N, Nehira K, Takahashi F. 1987. The role of fire in pine forests of Japan. In: *The role of fire in ecological systems* (Traubaud L, ed). SPB Academic Publishing, Hague. pp 91-119.
- Odum EP. 1960. Organic production and turnover in old field succession. *Ecology* 41:34-49.
- Odum EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- Osboronova J, Kovarova M, Leps J, Prach K. 1990. Succession in abandoned field - Studies in central Bohemia, Czechoslovakia -. *Geobotany* 15. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p 168.
- Vitousek PM, Reiners WA. 1975. Ecosystem succession and nutrient retention: A hypothesis. *BioScience* 25: 376-380.
- Whittaker RH, Likens GE. 1975. The biosphere and man. In: *Primary productivity of the biosphere* (H. Lieth H, Whittaker RH, eds). Springer-Verlag, New York. pp 305-328.
- Yim YJ, Kim SD. 1983. Climate-diagram map of Korea. *Korean J Ecology* 6: 261-272.

(2006년 3월 19일 접수; 2006년 6월 12일 채택)

K C I