

온대 낙엽활엽수림과 상록침엽수림내의 미기후 및 토양 환경 특성

서상욱 · 민윤경 · 이재석

건국대학교 이과대학 생명과학과

A Study on the Microclimate and Soil Characteristics in Temperate Deciduous and Evergreen Coniferous Forest

SUH, Sang-Uk · Youn Kyung MIN · Jae-Seok LEE

Department of Biological Sciences, College of Science, Konkuk University, Seoul, Korea

ABSTRACT

We investigated differences in microclimate and soil characteristics about evergreen coniferous and temperate deciduous hardwood forest that different with dominant species. In March of 2005, LAI(Leaf Area Index) of the evergreen coniferous and the deciduous hardwood forest were totally different in July but after bud burst, the gap was really small such as 5.08 and 4.44. Litter production of evergreen coniferous forest was higher than in deciduous hardwood forest($742.2 \pm 313.0 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ and $503.8 \pm 124.2 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$). The amount of litter accumulation in the forest floor was also higher than in deciduous forest($2,796.0 \pm 1,040.6 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ and $503.8 \pm 124.2 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$). Organic matter content of soil was higher in all evergreen cinuferous forest except 0~5 cm soil depth. The solar radiation was $0 \sim 53 \text{ Wm}^{-2}$ in evergreen coniferous forest and $0 \sim 566 \text{ Wm}^{-2}$ in deciduous hardwood forest evergreen coniferous and deciduous hardwood evergreen forest showed $-9.43 \sim 3.33^{\circ}\text{C}$ and $-11.38 \sim 5.15^{\circ}\text{C}$ with atmospheric temperature, $-0.47 \sim -2.28^{\circ}\text{C}$ and $-3.47 \sim 3.25^{\circ}\text{C}$ with soil temperature (5 cm) in February, $19.47 \sim 27.72^{\circ}\text{C}$ and $19.98 \sim 28.48^{\circ}\text{C}$, with atmospheric temperature $19.15 \sim 20.47^{\circ}\text{C}$ and $19.98 \sim 21.70^{\circ}\text{C}$ with soil temperature(5 cm) in July, respectively. Daily variation of atmospheric temperature and soil temperature were similar to that of solar radiation. Also in July after bud burst the difference between two forest floor has astonishingly decreased compared to that in february before bud burst in both solar radiation and temperature. The relative humidity in forest floor was higher in evergreen coniferous forest(43%) which had LAI than in deciduous hardwood forest(40.5% in October, 2004). Although there was no big difference in soil density, there existed a dissimilarity in soil environmental elements between two forest floor. Both organic matter contents and maximum water holding capacity were higher in evergreen coniferous forest than deciduous hardwood forest.

Key words : Evergreen coniferous forest, leaf area index, light environment, temperate deciduous forest, soil environment

서 론

임상에 도달하는 광량의 차이는 임관의 우점종에 의해 크게 좌우된다. 일반적으로 우점종에 의한 임관의 구조적 차이는 시간적, 공간적 변화에 따라 엽면적지수(leaf area index)의 변화를 가져오며(Wirth *et al.*, 2001), 이는 임상의 광환경에 크게 영향을 미친다. 광환경은 잎의 광합성과 수분평형(Chazdon and Pearcy 1986a, 1986b)에 중요한 영향을 주어(Canham *et al.*, 1994 ; Connell *et al.*, 1997 ; Lieberman M. *et al.*, 1995 ; Midgley *et al.*, 1995) 식물의 성장을 좌우하며(Wayne and Bazzaz, 1993 ; Ackerly, 1997), 결국 임상의 특징적 종조성 차이에 반영된다.

우점종의 차이는 또한 임상의 토양환경에도 크게 영향을 준다. 이에 관한 수목의 성장과 토양의 환경인자에 관한 연구는 과거부터 수많은 학자들에 의해 연구되어 왔다. 수목의 내적 외적 영향에 의한 복잡한 생리작용의 개입으로 인해 관계규명이 단순하지는 않으나(박, 1993 ; 이, 1980 ; 정 등, 1980), 수목 성장과 토양의 성질은 밀접한 관계가 있다(Chung and Ramm, 1990 ; Jenny, 1980)는 의견이 지배적이며, 특히 토양의 수분조건(Bazzaz, 1969 ; Zedler and Zedler, 1969), 유기물함량 등의 공간적 이질성은 식물군집을 구성하는 주요한 조절요인이 된다(Robertson *et al.*, 1988 ; Tragmar *et al.*, 1987).

한편 산림생태계에 있어 그 크기와 에너지 흐름의 대부분은 임상의 구성요소들에 의해 나타나며 산림의 복잡성은 임상에서 빛이나 수분, 영양성분 같은 자원들을 이용하는데 영향을 준다. 이러한 우점종의 차이에 따른 간접적 영향과 함께 우점종 자체가 지면에 공급하는 litter 등의 질적, 양적 차이를 통하여 토양미생물의 활성, 무기화 과정, 호흡속도 등 산림생태계의 물질순환과도 밀접한 관련이 있다. 결국, 산림생태계에서 물질순환과 에너지 흐름의 형태는 임관을 구성하는 요소인 우점종의 차이에서 출발하며(Coniferous Forest Biome Modeling Group, 1977 ; Goldstein *et al.*, 1974), 그로 인해 발생할 임관우점종의 직간접적 영향에 의해 물질과 에너지 순환의 규모와 속도가 결정된다고 볼 수 있다(Marks, 1974 ; Bormann and Likens, 1979 ; Carlson and Groot, 1997).

본 연구에서는 우점종의 생태적 특성이 다른 온대 낙엽활엽수인 상수리나무림과 침엽수림인 잣나무림을 선정하여, 임관의 엽면적지수와 임상에 공급되는 litter량 등의 생태학적 특성을 알아보고, 광량, 자 밀도, 일사량, 기온 및 지온 등으로 대표되는 임상의 미기상환경 및 토양환경의 특성을 찾아냄과 동시에 물리화학적 환경요인의 차이에 따른 임상의 종조성 및 구성종의 양적관계에 대한 특성을 파악하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 조사지는 충청북도 괴산군 불정면 외령리에 속하며, 지리적으로는 북위 북위 36° 56'과 동경 127° 50'에 위치하고 있고 전 면적은 약 174 ha에 이르며, 기상청 충주관측소에서 1971~2000년까지 최근 30년간 관측기상자료에 따르면 연평균 기온은 11.2℃, 강수량은 1,187.8 mm, 습도는 72.4%이다. 관측지의 고도는 상록침엽수림과 낙엽활엽수림이 각각 해발 410m와 260m였다.

이 지역은 산불과 화전경작 등 인위적 교란이 강했던 지역이었으나 70년대, 일본잎갈나무(*Larix leptolepis*(S. et Z.) Gordon)와 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill)가 임분의 약 39% 인공식재되어 유지되

고 있고, 1984년 건국대학교에서 연습림으로 인수한 후 기타 지역에 1985~1986년간에 걸쳐 잣나무를 조림하였으며 자연천이가 진행되어 현재의 참나무류와 소나무가 우점하는 임분으로 형성되었다(정 등, 1987). 조사지의 상록침엽수림은 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)가, 낙엽활엽수림은 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.)와 졸참나무(*Quercus serrata* Thunb.)가 우점하는 혼합림으로 평균 출현종은 29종과 18종이었다(Appendix 1).

2. 엽면적지수 측정과 Litter 생산량 추정

2005년 3월과 7월 임관분석기(LAI-2000, Li-Cor)로 엽면적지수를 측정하였다. 각각의 군락에 전년도 공급된 litter량을 추정하기 위하여 2005년 3월, 상록침엽수와 활엽수의 각 군락에서 50 cm × 50 cm의 방형구를 3군데 선정하였다. 아직 부패가 일어나지 않고 색이 그대로 남아있는 미분해 낙엽은 회수하였고, 또한 분해가 진행 중인 유기물층을 따로 분리하여 수집한 후 실험실에서 80℃ 건조기에서 48시간 건조하여 무게를 칭량하여 단위면적으로 환산하였다.

3. 임상의 미기상 요인 측정

1) 일사량, 광량자밀도

임관을 투과한 임상의 일사량을 측정하기 위해 지표로부터 30 cm 위치에 일사계(MS-100 Eko)와 광량자계(LI-190SA, Li-cor)를 수평으로 설치하여 2005년 2월 12~18일에, 7월 14~20일에 각 7일씩 데이터로거(Thermodac EF 5020A, ETO denki)에 연결한 후 30초마다 측정한 데이터를 10분 간격으로 평균하여 기록하였다.

2) 임상의 기온, 지온과 상대습도 측정

각 임상의 지온은 열전대(T-CC, 0.32 mm, Nimomiva)를 이용, 0, 5, 10, 20 cm의 깊이에 설치하여 측정하였으며, 기온의 경우 지온 측정에 사용한 동일 종류의 열전대로 태양복사 차단 쉘 내에 설치하였다. 지온 및 기온측정용 열전대는 데이터로거(Thermodac EF 5020A, ETO denki)에 연결하여 일사량 및 광량자 밀도의 측정기간과 동일하게 측정하였다. 군락간의 상대습도는 조사지 선정시기인 2004년 10월 약 1.5 m의 높이에서 아스만 온도계를 사용하여 비교하였다.

4. 토양 환경 요인 조사

Litter를 수거한 방형구와 같은 곳에서 0 cm에서 30 cm 깊이까지 각 5 cm 단위로 토양샘플관($\phi=5$ cm, $h=5.1$ cm)을 이용하여 깊이별로 샘플관과 그 주변의 토양을 채취하였다. 채취한 샘플관의 무게를 측정한 후 80℃ 건조기에서 48시간 건조시킨 무게를 측정하여 토양 함수량(soil water contents)을 구하고, 또한 건조토양의 중량으로부터 밀도(soil bulk density)를 구하였다.

유기물 함량(organic matter contents)은 채취 토양을 2 mm의 체로 쳐 얻은 2 mm 이하의 토양만을 도가니에 넣고 800℃의 전기로에 넣어 4시간 동안 작열시킨 후, 작열 전과 작열 후의 토양 무게 차이를 작열 전 토양 무게로 나눈 값을 백분율로 나타내어 얻는다.

최대용수량(maximum water holding capacity)은 샘플관 두 개를 연결하여, 밑면을 4점의 거즈로 막은 후 2 mm 이하의 토양을 채워 증류수를 넣은 접시에 올려놓은 후 윗부분을 불투수성 랩으로 덮어 증발을 막는다. 토양이 물을 더 이상 흡수할 수 없을 때 두 샘플관의 가운데 토양을 약 15g 채취하여 건조시켜 건조 전과 후의 토양 무게 차이를 건조 후 토양무게로 나누어 100을 곱하여 얻는다.

결과 및 고찰

1. Litter 생산

50 cm × 50 cm의 방형구에서 얻은 litter(Table 1)로 추정된 2004년 피산의 litter 생산량은 상록침엽수림에서 $742.2 \pm 180.7 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었고, 낙엽활엽수림이 $503.8 \pm 71.7 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 낙엽활엽수의 litter 생산량은 1998~1999년 및 1999~2000년의 2년간 광릉 천연활엽수림(북위 37° 45'과 동경 127° 10')에서 수집한 litter의 평균량인 $562.8 \pm 2.4 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (김 등, 2003)였던 것과 비교할 때 유사한 수준이라고 하겠다. 본 조사지역의 경우에서 두 군락간의 litter 생산량은 상록침엽수림이 낙엽활엽수림의 생산량보다 1.47배 더 많았다. 낙엽분해층 역시 상록침엽수림이 $2,796.0 \pm 600.8 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 낙엽활엽수림이 $1,936.4 \pm 262.3 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 나타나 litter의 공급이 낙엽활엽수림에 비하여 상록침엽수림에서 1.44배 더 많이 나타났으며, 이는 다른 온대활엽수림인 광릉 litter 평균량 $562.8 \pm 2.4 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (김 등, 2003)과 비슷한 수준으로 토양의 탄소축적량이 상록침엽수림에서 더 많이 나타난 요인의 하나로 추정된다.

2. 군락의 미기상 요인

두 관측지의 엽면적지수는 상록침엽수림과 낙엽활엽수림에서 신엽이 개엽하기 전인 2005년 3월에 각각 3.09와 0.66, 7월에는 5.08과 4.44로 상록침엽수림의 엽면적지수가 당해년도 신엽의 개엽과 관계 없이 항상 더 크게 나타났다. 상록침엽수림의 경우 3월과 7월과의 엽면적지수의 차이가 그다지 크게 나타나지 않았으나 낙엽활엽수림의 경우에는 개엽 전인 3월에 비하여 개엽 후인 7월의 엽면적지수가 6.7배의 증가가 일어났다.

임상의 상대습도는 상록침엽수림에서 43%, 낙엽활엽수림에서 40.5%로 상록침엽수림에서 약간 높게 나타났다. 상록침엽수림의 엽면적지수가 낙엽활엽수림에 비하여 높기 때문에 임상 내의 수분 증발률은 반대로 더 적은 것으로 보이며 이는 군락의 계층구조가 2, 3층으로 덮여 있는 구역에서 나지나 그렇지 않은 곳보다 상대적으로 높은 습도를 보였다는 윤(2003)의 결과와 일치한다.

또한 계절별로 달라지는 엽면적지수의 변화는 상록침엽수림과 낙엽활엽수림의 일사량, 광량자밀도

Table 1. Mass of litterfall input

Community \ Layer	Litter layer ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	Fermentation layer ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)
Coniferous forest	742.2 ± 180.7	$2,796.0 \pm 600.8$
Deciduous forest	503.8 ± 71.7	$1,936.4 \pm 262.3$

의 변화로 이어져 Fig. 3과 같이 전체적으로 낙엽활엽수림이 상록침엽수림보다 월등히 많은 차이를 보인다고 생각된다. 2월의 일사량과 광량자 밀도를 살펴보면 임관 내 잎이 거의 없는 낙엽활엽수림과 나지의 변화가 거의 같은 양상을 보였으며 일사량은 나지와 비교하여 상록침엽수림은 최대 591 Wm^{-2}

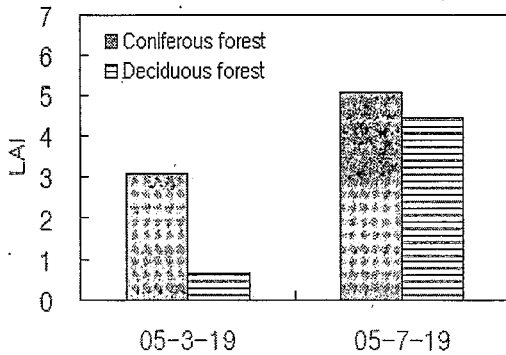


Fig. 1. Seasonal variation of LAI.

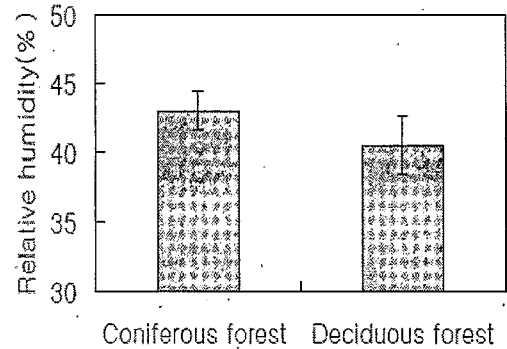


Fig. 2. Relative humidity.

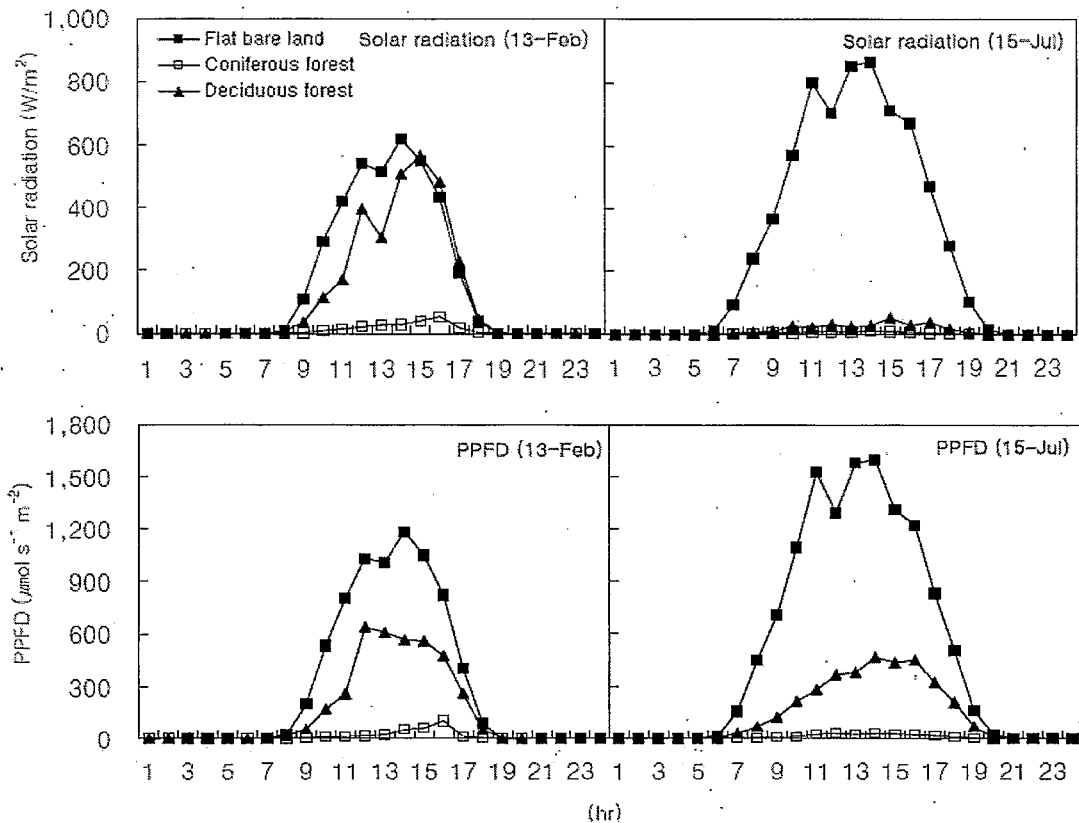


Fig. 3. Seasonal variation of solar radiation and PPFD.

낙엽활엽수림과는 최대 248 Wm^{-2} 의 차이를 나타냈고, 광량자 밀도는 나지와 비교하여 상록침엽수림에서는 최대 $1,128 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, 낙엽활엽수림과는 최대 $616 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 의 차이를 보였다. 일사량과 광량자 밀도 모두 오전 8시부터 증가하기 시작하여 오후 3시 이후 감소하다가 오후 5시를 기점으로 오후 6시에는 급격하게 수치가 떨어졌다. 7월의 경우 낙엽활엽수림의 엽면적지수 증가로 인하여 일사량과 광량자밀도는 겨울인 2월 나지와 같은 양상을 보이던 것과는 대조적으로, 상록침엽수림의 결과와 비슷한 경향을 나타냈다. 7월 나지와 상록침엽수림, 나지와 낙엽활엽수림의 일사량, 광량자밀도의 차이는 각각 855 Wm^{-2} 와 839 Wm^{-2} 그리고 $1,562 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 와 $1,238 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 로, 상록침엽수림과 낙엽활엽수림과의 차이는 현저하게 줄어든 것을 볼 수 있다.

이 시기에는 오전 6시부터 일사량이 증가하기 시작하여 오후 3시부터 감소하기 시작하나 오후 9시가 되어야 완전히 0에 가까워지는 것을 보아 2월의 관측일과 이 날의 일조시간을 추정할 수 있다.

실제 측정은 2월과 7월 모두 7일씩 이루어졌으나, 임상의 특징에 따른 비교를 위해 맑고 구름의 양이 비슷한 날을 선택하여 1일 0시부터 24시까지의 데이터를 시간별로 평균내어 비교하였으며 구름의 양은 기상청의 충주지방 일별 자료를 참고하였다.

3. 군락의 지온 및 기온의 일 변화

임상의 지온 및 기온을 겨울(2005년 2월 12~17일)과 여름(2005년 7월 14~20일) 각 7일씩을 측정하여, 그 중 맑은 날인 2월 12일과 7월 15일을 선택, 0~24시까지 24시간의 데이터를 이용하여 각 한 시간의 평균값을 구하여 비교하였다(Fig. 4).

기온과 지온 모두 전반적으로 13~17시 사이에 최대값을 보였다. 2월 나지의 기온은 최저 -16.4°C 에서 최고 9.5°C 로 23.6°C 의 변화를 나타냈고, 상록침엽수림은 $-9.48 \sim 3.33^{\circ}\text{C}$ 로 12.81°C 의 기온변화를, 낙엽활엽수림은 $-11.4 \sim 5.2^{\circ}\text{C}$ 로 16.53°C 의 기온 차이로 나지 기온의 변화폭이 현저히 컸다. 7월의 경우, 시간에 따른 온도 변화의 추이는 2월과 비슷하게 나타났으며, 2월과 마찬가지로 나지의 기온은 최저 19.6°C 에서 최고 35.2°C 로 15.6°C 의 차이를, 상록침엽수림은 $19.5 \sim 27.4^{\circ}\text{C}$ 로 8.3°C , 낙엽활엽수림의 $19.3 \sim 22.5^{\circ}\text{C}$ 로 9.15°C 의 일일 기온차를 보여 나지의 일일 기온 변화가 다른 군락에 비해 컸다. 나지의 경우, 깊이 따라 지온의 일 변화가 가장 컸는데, 2월의 일일 온도차가 0 cm(지표)에서 27.97°C , -20 cm에서는 0.72°C , 7월에는 0 cm(지표)에서 11.40°C , -20 cm에서 3.40°C 로 깊이가 깊어질수록 시간에 따른 온도의 차이가 적어졌으며 이는 조사대상군락 모두 동일한 결과를 보였다. 2월에는 상록침엽수군락의 시간에 따른 기온 및 지온 차이가 나지나 낙엽활엽수군락에 비하여 적게 나타났고, 이는 2월에도 수목의 잎이 떨어지지 않는 상록침엽수군락의 특성으로 군락 내 임상이 외부환경의 영향을 적게 받기 때문인 것으로 보인다. 또한 낙엽활엽수림의 엽면적 지수가 높아져 상록침엽수림과의 차이가 좁혀진 7월은 낙엽활엽수림과 상록침엽수림 두 군락간의 일일 온도차가 0 cm(지표)에서 최고 1.4°C 로 군락간 차이가 2월의 0 cm(지표) 일일 온도차인 7.1°C 에 비해 그 차이가 크게 감소하였으며(Fig. 1), 이러한 군락간 임상의 온도 차이 역시 엽면적지수의 영향을 받는 것으로 보여진다. 나지의 경우 다른 군락에 비해 기온과 토양 깊이에 따른 변화가 현저하게 나타났으며, 여름인 7월에 기온과 깊이에 따른 지온의 변화가 더 적었다. 특히 기온과 0 cm(지표)의 온도는 2월에 기온이 0 cm(지표)보다 전반적으로 낮으나 7월에는 반대로 기온이 0 cm(지표)의 온도보다 높게 나타났는데 이는 토양의 비열이 공기보다 큰 것으로 보여진다.

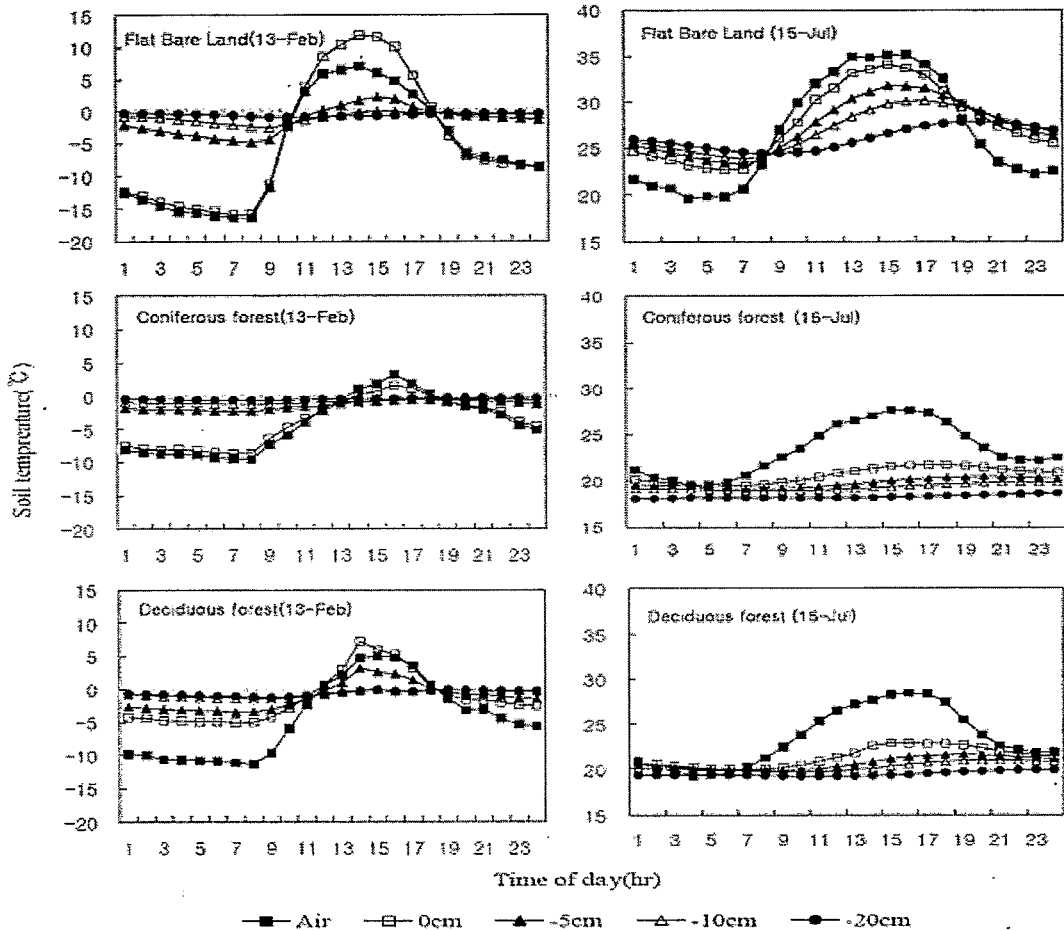


Fig 4. Diurnal variations of soil and air temperatures.

2월의 나지, 상록침엽수림, 낙엽활엽수림은 모두 오전 8시 경부터 온도가 증가하기 시작하여 나지와 낙엽활엽수림은 오후 2시에, 상록침엽수림은 오후 4시에 최고 온도를 나타낸 후 7시~8시경까지 감소하기 시작하며, 7월에는 2월보다 한 시간 앞선 오전 7시경부터 온도가 증가하기 시작하여 3시~5시경에 최고 온도를 나타낸 후 오후 9시 경에 감소속도가 느려지는 것으로 보아 기온의 변화로 계절에 따른 일조시간을 예상할 수 있다.

4. 토양환경 요인

토양환경요인으로서 토양함수량, 토양밀도, 최대용수량, 유기물함량을 조사하였다(Table 2). 0~30 cm까지 각 5 cm 단위로 측정한 결과, 토양 밀도는 0~5 cm 및 15~20 cm층에서 상록침엽수림이 더 높게 나타났으며, 그 외의 부분에서는 낙엽활엽수림의 토양밀도가 더 크게 나타났다. 그러나 실험 오차 범위를 고려할 때 상록침엽수림과 낙엽활엽수림 사이의 밀도차는 10~15 cm층까지는 거의 없는 것으로 보인다. 상록침엽수림과 낙엽활엽수림 모두 토양의 깊이가 깊어질수록 토양의 밀도가 커진 것으로 보아

Table 2. Comparison of soil properties between coniferous forest and deciduous forest

	Coniferous forest					Deciduous forest				
	Density (gm^{-3})	W.C. (%)	S.R. (%)	O.M.C (%)	M.S.W.C (%)	Density (gm^{-3})	W.C. (%)	S.R. (%)	O.M.C (%)	M.S.W.C (%)
0~5	1.19±0.11	23.05±0.02	74.21±3.55	6.68±0.50	49.56±6.28	1.11±0.10	27.47±0.03	84.85±1.50	7.77±1.10	42.26±3.11
5~10	1.29±0.01	18.31±0.02	80.59±6.47	6.12±0.41	42.63±2.99	1.33±0.04	22.73±0.01	77.03±3.03	6.28±0.66	40.07±4.30
10~15	1.30±0.12	18.91±0.02	82.70±5.04	6.28±0.46	41.74±3.97	1.32±0.08	23.75±0.00	82.97±5.85	5.79±0.20	38.11±1.23
15~20	1.41±0.06	19.95±0.03	86.08±3.55	6.14±0.77	42.36±2.61	1.35±0.02	22.97±0.01	80.80±9.96	5.74±0.14	37.45±0.76
20~25	1.37±0.07	20.84±0.02	86.96±4.36	6.77±0.66	42.97±2.95	1.54±0.05	22.07±0.01	77.01±5.99	5.78±0.34	38.15±0.83
25~30	1.34±0.10	19.19±0.02	84.85±5.36	6.70±0.92	42.39±4.00	1.54±0.00	22.99±0.01	75.80±8.57	5.45±0.21	35.18±0.55

* W.C.: Water contents, S.R.: Soil relative rate, O.M.C.: Organic matter content, M.S.W.C.: Maximum soil water capacity

공극의 크기가 작고 토양이 단단해지는 구조를 가지고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 물리적 성질이 양호한 토양은 공극률이 높으며, 특히 산림토양의 경우 경작지의 토양에 비하여 공극률이 높게 나타난다(진 등, 1994)고 알려져 있다.

토양함수량은 전반적으로 활엽수림에서 더 크게 나타났다. 이는 광릉 낙엽활엽수림에서 TDR 토양 수분 센서를 사용한 20 cm의 함수량이 $19.9 \pm 5.3\%$ (임 등, 2003) 인 것과 크게 다르지 않았다. 김(2002)은 상록침엽수림은 낙엽 분해속도가 활엽수림보다 느려 토양공극 발달이 나쁘고, 바늘처럼 좁은 낙엽들은 빗방울의 충격으로부터 토양공극을 잘 보호하지 못한다고 하였으며 허와 주(2002)는 대구 팔공산에서 실시한 연구에서 공극률이 활엽수림에서 평균 52.2%, 상록침엽수림에선 평균 48.1%를 나타낸다고 하였다. 토양공극이 발달한 경우 토양은 더 많은 수분을 함유할 수 있으므로 함수량이 더 높게 나오게 되며, 낙엽활엽수림의 토양함수량이 높게 나타난 실험결과와 일치한다고 할 수 있겠다.

토양의 비율과 최대용수량은 상록침엽수림의 토양에서 전반적으로 더 크게 나타났다. 전체 토양 중 2 mm 이내의 토양이 차지하는 비율을 나타낸 토양비율이 클수록 입자가 고운 토양의 함량이 많다는 것이므로 최대 용수량 역시 증가하는 것으로 추정된다. 상록침엽수림의 토양비율은 토심이 깊어질수록 증가하는 것으로 보아 토심이 깊어지면서 입자 크기 2 mm 이상인 자갈의 비율이 상대적으로 적어지는 것으로 보이거나 낙엽활엽수림의 경우 깊어질수록 비례하거나 반비례하는 등의 일관성 있는 결과를 볼 수 없었다. 그러나 토양함수량과 최대용수량은 토심에 따른 변화 양상이 거의 비슷한 것을 볼 수 있다. 특히 최대용수량은 토양의 보수능을 예측할 수 있게 한다(진 등, 1994).

유기물 함량의 경우, 0~10 cm는 활엽수림이 약간 높게 나타났으나 그 이하의 깊이에서는 상록침엽수림에서 높게 나타났다. 침엽수림의 경우 좁은 엽면적으로 인해 빗물이 토양 내로 스며드는 것을 방해하여 토양의 공극률을 줄이는 특성이 있기 때문에(김, 2002), 토양함수량은 활엽수림에서 모두 높게 나타났다.

결 론

우점종이 서로 다른 낙엽활엽수림과 상록침엽수림에서 엽면적지수는 개엽 전인 2005년 3월과 개엽

후인 7월에 상록침엽수림과 낙엽활엽수림에서 각각 3.09와 0.66, 5.08과 4.44로 상록침엽수림이 낙엽활엽수림에 비해 변화의 폭은 적었으나 엽면적지수가 높게 나타났다. Litter 생산량은 상록침엽수림이 낙엽활엽수림에 비하여 1.47배 많았으며 전체 낙엽층도 낙엽활엽수림보다 1.44배 더 많이 나타났다. 개엽 전인 2월의 낙엽활엽수림은 일사량이 상록침엽수림과 최대 527 Wm^{-2} , 나지와는 248 Wm^{-2} 의 차이를 보였고 광량자밀도의 경우, 상록침엽수림과는 최대 $623 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, 나지와는 $621 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 의 차이를 보여 나지와 같은 경향성을 보였으며, 엽면적지수가 높아진 7월에는 상록침엽수림과 경향성을 같이 했다. 각 군락의 지온과 기온을 측정 한 결과 상록침엽수림의 온도 변화가 낙엽활엽수림보다 기온과 지온 모두 적게 나타났으며, 모든 군락에서 5 cm 깊이의 토양부터는 지하로 내려갈수록 기온의 변화에 영향을 덜 받아 완만한 변화를 보였다. 낙엽활엽수림과 상록침엽수림의 두 군락의 차이는 토양환경에서도 나타나, 밀도는 군락 간의 큰 차이는 없었으나 토양함수량은 낙엽활엽수림에서 높았고, 토양비율, 유기물함량과 최대용수량은 전반적으로 상록침엽수림에서 낙엽활엽수림보다 높았다. 상록침엽수림과 낙엽활엽수림의 출현종 수는 평균 18종과 29종로 낙엽활엽수림에서 많이 나타나 임상환경의 차이가 반영된 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 2004년도 한국자연보전협회의 지원을 받아 수행하였다.

인용문헌

- 김춘식, 임종환, 신준환. 2003. 광릉 천연활엽수림의 낙엽낙지와 낙엽분해에 따른 양분동태. 한국농림기상학회지 5(2): 87-93.
- 공우석 외 12인. 2002. 백두대간의 자연과 인간. 산악문화. 서울.
- 문형태, 유진상. 1996. 곰솔과 밤나무 낙엽의 분해와 분해과정에 따른 영양염류의 동태. J. Nat. Sci. 5: 63-69.
- 박남창. 1993. 삼림 토양의 이화학적 성질과 잣나무, 낙엽송, 소나무, 강송임분의 지위지수와와의 관계. 경상대학교 박사학위논문.
- 신영오. 1992. 토양생태계와 토양자원. 한림저널사. 서울.
- 유영한, 남궁정, 이윤영, 김정희, 이종영, 문형태. 2000. 광릉 시험림 내의 낙엽의 분해와 분해과정에 따른 영양염류의 변화. 한국임학회지 89(1): 41-48.
- 윤용한. 2003. 수림의 계층구조가 녹지내의 기온 및 습도에 미치는 영향. 환경생물학회지 21(2): 120-125.
- 이수복. 1980. 한국삼림토양에 관한 연구(I). 한국임학회지 54 :25-35.
- 임종환, 신준환, 김광택, 천정화, 오정수. 2003. 광릉 활엽수천연림의 산림식생구조, 입지환경 및 탄소 저장량. 한국농림기상학회지 5(2):101~109.
- 정영관, 홍병화, 김종만. 1980. 토양의 화학적 성질과 임목생장과의 관계. 한국임학회지 46:10-20.
- 정윤수. 1987. 건국대학교 괴산 연습림의 입지환경에 관한 연구. 건국대학교 동화외번역연구소(구 건

- 국대학교 중원인문연구소) 논문집 6권: 407-7421.
- 정운수, 윤광배, 박헌. 1987. 건국대학교 피산 연습림의 삼림자원개발에 관한 연구. 건국대학교 동화와 번역연구소(구 건국대학교 중원인문연구소) 논문집 6권: 405-406.
- 진현오, 이명중 외 3인 공저. 1994. 삼림토양학. 향문사.
- Ackerly, D. 1997. Allocation, leaf display, and growth in fluctuating light environments. In: Bazzaz, F.A., Grace, J.(Eds.), Plant Resource Allocation. Academic Press, San Diego: 231-264.
- Barton, D. Clinton. 2003. Light, temperature, and soil moisture responses to elevation, evergreen understory, and small canopy gaps in the southern Appalachians. Forest Ecology and Management. Volume 186 (Issues 1-3): 243-255.
- Bazzaz, F.A. 1969. Succession and species distribution in relation to erosion in southern Illinois. Trans. III. state. Acad. Sci. 62: 430-435.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie. 3. Aufl, Springer-Verlag. 3rd Vienna. New York. 865p.
- Canham, C.D., A.C. Finzi, S.W. Pacala and D.H. Burbank. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: Interspecific variation in light transmission by canopy tree. Can. J. For. Res. 24 : 337-349.
- Chazdon, R.L. and R.W. Pearcy. 1986a. Photosynthetic responses to light variation in rainforest species, I. Induction under constant and fluctuating light conditions. Oecologia 69: 517-523.
- Chazdon, R.L. and R.W. Pearcy. 1986b. Photosynthetic responses to light variation in rainforest species, II. Carbon gain and photosynthetic efficiency during lightflecks. Oecologia 69: 524-531.
- Chung, Y.G. and C.W. Ramm. 1990. Relationships between soil-site properties and bamboo(*Phyllostachys bambusoides*) growth. Kor. J. For. 79(1): 16-20.
- Connell, J.H., M.D. Lowman and I.R. Noble. 1997. Subcanopy gaps in temperate and tropical forests. Aust. J. Ecol. 22: 163-168.
- Doran, J.W., L.N. Mielke and J.F. Power. 1990. Microbial activity as regulated by soil water-filled pore space. In Transactions of the 14th International Congress of Soil Science. Symposium III-3; Ecology of Soil Microorganism in the Microhabitat Environments. pp.94-99.
- Goldstein, R.A., J.B. Mankin and R.J. Luxmoare. 1974. Documentation of PROSPER: a model of atmospheresoil-plant water flow. Document No. EDFB-IBP-73-9. Oak Ridge National Laboratory. National Technical Information Service, Springfield.
- Jenny, H. 1980. The Soil resource: Ecological studies. V. 37 Springer-Verlag.
- Lieberman, M., D. Lieberman and G.S. Hartshorn. 1995. Canopy closure and the distribution of tropical tree species at La Selva, Costa Rica. J. Trop. Ecol. 11: 161-178.
- Linn, D.M. and J.W. Doran. 1984. Effects of water-filled pore space on carbondioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. Soil Science Society of American Journal 48: 1267-1271.
- Midgley, J.J., M.C. Cameron and W.J. Bond. 1995. Gap characteristics and replacement patterns in the Knysna Forest. J. Veg. Sci. 6: 29-36.

- Raich, J.W. and W.H. Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus. Ser. B, Chem. Phys. Meteorol.* 44:81-99.
- Rainer Wirth, Bettina Weber and Ronald J. Ryel. 2001. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. *Acta Oecologica* 22(Issues 5-6):235-244.
- Robertson, G.P., J.R. Crum and B.G. Ellis. 1993. The spatial variability of soil resources following long-term disturbance. *Oecologia* 96 (4): 451.
- Takuo Nagaike. 2002. Differences in plant species diversity between conifer(*Larix kaempferi*) plantations and broad-leaved (*Quercus crispula*). *Forest Ecology and Management* 168: 111-123.
- Trangmar, B.B., R.S. Yost, M.K. Wade, G. Uehara and M. Sudjadi. 1987. Spatial variation of soil properties and rice fields on recently cleared land. *Soil Science Society of America Journal* 51(3): 668-674.
- Wayne, P.M. and F.A. Bazzaz. 1993. Birch seedling responses to daily time courses of light in experimental forest gaps and shadehouses. *Ecology* 74: 1500-1515.
- Zendler, J.B. and P.H. Zendler. 1969. Association of species and their relationship to microtopography within old fields. *Ecology* 50: 432-442.

요 약

임상의 미기상 및 미기후적 차이는 임관을 구성하는 우점종에 따라 크게 영향을 받으며, 그로 인해 임상의 구성종 및 토양환경 차이에까지 영향을 미친다. 본 연구는 임관 구성 우점종이 서로 다른 낙엽활엽수림과 상록침엽수림에 대해 임상의 미기후학적 및 토양학적 특성의 차이를 조사하였다. 상록침엽수림과 낙엽활엽수림의 엽면적지수는 개엽 전인 2005년 3월에 각각 3.09와 0.66으로 두 군락간의 큰 차이를 보였으나, 개엽 후인 7월에는 5.08과 4.44로 그 차이가 현저하게 줄어들었다. Litter 생산량은 상록침엽수림이 $742.2 \pm 313.0 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 낙엽활엽수림의 $503.8 \pm 124.2 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 에 비하여 높았으며 임상에 축적된 A₀층의 총유기물량도 $2,796.0 \pm 1,040.6 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 낙엽활엽수림의 $1,936.4 \pm 454.3 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 보다 높았다. 토양의 유기물 함량도 0~5 cm 깊이를 제외하고는 모두 상록침엽수림에서 높게 나타났다. 2월의 상록침엽수림과 낙엽활엽수림의 최대일사량은 각각 53 Wm^{-2} 와 566 Wm^{-2} , 7월에는 12 Wm^{-2} 와 53 Wm^{-2} 로 겨울인 2월에 더 큰 차이를 나타냈다. 2월 상록침엽수림과 활엽수의 기온은 $-9.4 \sim -3.3^{\circ}\text{C}$, $-11.4 \sim -5.2^{\circ}\text{C}$, 지온(5 cm)은 $-0.5 \sim -2.3^{\circ}\text{C}$ 와 $-3.5 \sim -3.3^{\circ}\text{C}$, 7월의 기온은 $19.5 \sim 27.8^{\circ}\text{C}$ 와 $20.0 \sim 28.5^{\circ}\text{C}$, 지온(5 cm)은 $19.15 \sim 20.47^{\circ}\text{C}$ 와 $19.98 \sim 21.70^{\circ}\text{C}$ 로 일 변화에서 일사량과 유사한 경향을 보였으며, 두 임상간의 기온 차이는 지온에 비해 현저히 크게 나타난다. 또한 일사량과 기온 모두 두 임상간의 차이는 개엽 후인 7월이 개엽 전인 2월에 비해 현저하게 낮았다. 임상의 상대습도는 2004년 10월 상록침엽수림에서 43%, 낙엽활엽수림에서 40.5%로 엽면적지수가 높은 상록침엽수림에서 약간 높게 조사되었다. 토양환경의 경우 밀도는 큰 차이가 없었으나, 토양함수량은 낙엽활엽수림에서, 토양비율, 유기물함량과 최대용수량은 상록침엽수림에서 높게 나타났다.

검색어 : 광환경, 낙엽활엽수림, 상록침엽수림, 엽면적지수, 토양환경

Appendix 1. Species composition of deciduous hardwood forest and evergreen coniferous forest

	Deciduous forest		Coniferous forest	
Serial Number	1	2	3	4
Altitude(m)	340	340	355	355
Slope aspect	nw89	sw34	sw73	sw80
Slope degree	17	15	11	20
Quadrat size(m)	10*10	10*10	10*10	15*10
Height of tree-1 layer(m)	12	15	10	10
Coverage of tree-1 layer(%)	90	75	95	95
Height of tree-2 layer(m)	7	5	-	-
Coverage of tree-2 layer(%)	20	20	-	-
Height of shrub layer(m)	2	1	0.5	1.5
Coverage of shrub layer(%)	40	40	0	5
Height of herb layer(m)	0.7	0.4	0.3	0.5
Coverage of herb layer(%)	60	65	0	10
Number of species	30	28	16	26
T1-layer				
<i>Pinus koraiensis</i> S. et Z.(잣나무)			5.5	5.5
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.(상수리나무)	5.5	3.3		
<i>Quercus variabilis</i> Bl.(굴참나무)	1.1	++		
<i>Quercus serrata</i> Thunb.(줄참나무)		1.1		
T2-layer				
<i>Quercus variabilis</i> Bl.(굴참나무)				++
<i>Quercus serrata</i> Thunb.(줄참나무)	5.5	++		
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.(상수리나무)	5.5			
<i>Quercus mongolica</i> Fisch.(신갈나무)		2.2		
S- layer				
<i>Quercus serrata</i> Thunb.(줄참나무)	1.1	1.1		
<i>Quercus mongolica</i> Fisch.(신갈나무)		2.2		
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> S. et Z.(산초나무)			1.1	++
<i>Quercus aliena</i> Bl.(갈참나무)	1.1			++
<i>Ligustrum obtusifolium</i> S. et Z.(쥐똥나무)	++			
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.(싸리나무)	++			
<i>Prunus sargentii</i> Rehder(산벚나무)	++			
<i>Sasa borealis</i> (Hack.) Makino(조릿대)		1.1		
<i>Quercus dentata</i> Thunb.(떡갈나무)		++		
<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. Bl.(난티잎 개암나무)		++		
H- layer				
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> S. et Z.(산초나무)	++	++	1.1	1.1
<i>Impatiens textori</i> Miq.(물봉선)	r		++	r
<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth.(쑥)		++	++	++
<i>Smilax sieboldii</i> Miq.(청가시덩굴)			++	++
<i>Rubia akane</i> Nakai(꼭두서니)			++	++
<i>Commelina communis</i> L.(닭의장풀)			1.1	++
<i>Quercus mongolica</i> Fisch.(신갈나무)		1.1	++	

Appendix 1. Continued

	Deciduous forest		Coniferous forest	
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.(상수리나무)		1.1	++	
<i>Carex humilis</i> Leyss.(산거울)	2.2	2.2		
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.(오이풀)	++	++		
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> Underw. (고사리)	++	++		
<i>Liriope platyphylla</i> Wang et Tang(맥문동)			++	++
<i>Elsholtzia splendens</i> Nakai(꽃향유)			++	
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pampan.) Hara(쑥)			++	
<i>Akebia quinata</i> Decne.(으름넝쿨)			++	
<i>Rubus idaeus</i> var. <i>concolor</i> Nak.(나무딸기)			++	
<i>Rhus verniciflua</i> Stokes(옻나무)			++	
<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge(산딸기)				++
<i>Lindera obtusiloba</i> Bl.(생강나무)				++
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) Roem. et Schult.(주름조개풀)				--
<i>Quercus serrata</i> Thunb.(졸참나무)				++
<i>Clematis apiifolia</i> A.P. Dc.(사위질빵)				++
<i>Robinia pseudo-acacia</i> L.(아까시)				++
<i>Viola collina</i> Bess.(둥근털제비꽃)				++
<i>Indigofera kirilowii</i> Max.(땅비짜리)				--
<i>Dioscorea japonica</i> Thunb.(참마)				++
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (S. Et Z.) Planch.(담쟁이)				--
<i>Prunus sargentii</i> Rehder(산벚나무)				++
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> Ohwi(둥굴레)	++			
<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.(큰기름새)	1.1			
<i>Aster scaber</i> Thunb.(참취)	++			
<i>Viola mandshurica</i> W. Becher(제비꽃)		++		
<i>Pyrola japonica</i> Klenze(노루발)		1.1		
<i>Peucedanum terebinthaceum</i> Fisch.(기름나물)	++			
<i>Quercus dentata</i> Thunb.(떡갈나무)		1.1		
<i>Ligustrum obtusifolium</i> S. et Z.(쥐똥나무)		++		
<i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.(꿩의다리)	++			
<i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i> Nakai(솔나물)	++			
<i>Ligularia fischeri</i> (Ledeb.) Turcz.(곰취)	1.1	2.2		
<i>Rosa multiflora</i> Thunb.(철레꽃)	++			
<i>Platycodon grandiflorum</i> (Jacq.) A. Dc.(도라지)	++			
<i>Allium thunbergii</i> G. Don(산부추)	++			
<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i> Nakai (미역취)	++			
<i>Adenophora triphylla</i> var. <i>japonica</i> Hara(잔대)	++			
<i>Melica onoei</i> Fr.(썰새)		3.3		
<i>Clematis mandshurica</i> Rupr.(으아리)		++		
<i>Potentilla freyniana</i> Bornm.(세잎양지꽃)		++		
<i>Asparagus officinalis</i> L.(아스파라가스)		r		
<i>Acer mono</i> Max.(고로쇠나무)		r		
<i>Dictamnus dasycarpus</i> Turcz.(백선)		++		