

## 일본잎갈나무조림지의 생태적 변화와 그 결과를 통해 확인된 복원 효과

김세미 · 안지홍 · 임윤경 · 피정훈 · 김경순  
이호영<sup>1</sup> · 조용찬<sup>2</sup> · 배관호<sup>3</sup> · 이창석<sup>4,\*</sup>

(서울여자대학교 대학원 생물학과, <sup>1</sup>산림청, <sup>2</sup>국립수목원,  
<sup>3</sup>경북대학교 생태환경시스템학부, <sup>4</sup>서울여자대학교 생명환경공학과)

Ecological Changes of the *Larix kaempferi* Plantations and the Restoration Effects Confirmed from the Results. Kim, Se-mi, Ji-Hong An, Yun-Kyung Lim, Jung-Hun Pee, Gyung-Soon Kim, Ho-Young Lee<sup>1</sup>, Yong-Chan Cho<sup>2</sup>, Kwan-Ho Bae<sup>3</sup> and Chang-Seok Lee<sup>4,\*</sup> (Department of Biology, Graduate School of Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea; <sup>1</sup>Korea Forest Service, Daejeon 302-701, Korea; <sup>2</sup>Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Korea; <sup>3</sup>Faculty of Ecology & Environment System, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Korea; <sup>4</sup>Department of Bio and Environmental Technology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea)

Developmental process of vegetation over years after afforestation was analyzed in the Japanese larch (*Larix kaempferi*) plantations with different stand ages. The height and diameter of Japanese larch increased rapidly until 24 years after afforestation and tended to be blunted thereafter. The density of Japanese larch was similar with each other in the 8 and 17 years old stands but was reduced greatly in the 24 years old plantation and changing little thereafter. The floristic composition of the Japanese larch plantation did not show any clear trend depending on stand ages. The differences of species composition among plantation themselves with different ages were bigger than those between plantations and the reference stands, Mongolian oak (*Quercus mongolica*) stands. Japanese larch plantations showed a trend of succession to native vegetation dominated by Mongolian oak based on the results of analysis of frequency distribution by diameter class of major tree species. Species richness and diversity of all plantations were higher than those of the reference vegetation. As were shown in the above mentioned results, it can be evaluated that Japanese larch plantations practiced in the level of the functional restoration achieved successful restoration based on the floristic composition similar to the reference vegetation, the successional trend toward native vegetation, and higher species diversity compared with the reference vegetation.

**Key words** : floristic composition, *Larix kaempferi*, plantation, restoration effect, species diversity

\* Corresponding author: Tel: +82-2-970-5666, Fax: +82-2-970-5822, E-mail: leecs@swu.ac.kr

## 서 론

복원은 적합한 과학적 원리를 이용하여 약화된 자연의 기능을 회복하려는 시도로서 질이 떨어지고, 손상되거나 파괴된 생태계의 회복을 돕는 과정으로 정의할 수 있다 (National Research Council, 1992; Aronson *et al.*, 1993; Berger, 1993; SERI, 2004). 복원은 훼손의 정도에 따라 그 방법이 다르다. 즉, 자연의 회복능력에 맡기는 방법, 최소한의 생물에너지 투입하여 회복을 촉진시키는 방법, 종자의 파종, 묘목의 식재 등 적극적으로 생물에너지를 투입하여 빨리 회복시키는 방법이 있다 (Bradshaw, 1984). 복원의 종류는 그것이 이루어내는 목표에 의해서도 구분할 수 있다 (Bradshaw, 1984; Dobson *et al.*, 1997). 첫째는 복원 (restoration)으로 여기에서 시도하고 있는 것은 정확히 교란이전의 상태로 돌아가는 것이다. 두 번째 가능성은 충분한 복원과 유사한 (그보다는 약간 덜한) 어떤 것을 목표로 삼고 있는데, 우리는 그것을 복구 (rehabilitation)라고 한다. 모든 복원을 사실 복구라고 주장할 수도 있으나 성과보다는 목표를 고려할 때 이와 같이 구분할 수 있다. 여기에서 정의하는 복구는 충분한 복원을 기대하지 않고 아극상 (subclimax)과 같은 수준의 평형상태를 목표로 한다. 세 번째 가능성은 본래의 상태를 회복하는 것이 목표가 아니라 다른 어떤 것으로 대체 (replacement)하여 필요로 하는 기능을 이루어내는 기능적 복원이다.

복원사업에서는 복원 실행 후 설정된 목표와 목적의 달성도 확인 또는 복원 방법의 적용에 따른 예상치 못한 문제점 파악과 대응방안을 구축하기 위하여 모니터링과 평가가 이루어진다. 이러한 평가는 향후 다른 장소에서 유사한 복원 사업을 시행할 때 참고자료로 활용될 수 있기 때문에 중요하다. 복원된 생태계는 그것이 그 이상의 발달을 계속할 수 있을 만큼 충분히 생물 및 비생물 자원을 보유할 때 회복되었고, 회복되고 있다고 할 수 있다. 회복된 생태계는 구조 및 기능적으로 자신을 유지할 수 있다. 그러한 생태계는 환경스트레스와 교란의 일상 범위 내에서 소생할 수 있다. 나아가 그러한 생태계는 생물 및 비생물적 흐름과 문화적 상호작용의 측면에서 인접한 생태계와 상호작용할 수 있다 (SERI, 2004; Lee *et al.*, 2011).

복원된 생태계는 대조생태계와 유사한 종 조성, 자생종으로 이루어진 종 구성, 발달 가능성, 물리적 안정성, 더 큰 생태적 기질 또는 경관과의 조화, 생태계의 건강과 온전함 위협 요인 제거 또는 감소, 정상적인 주기적 스트레

스에 대한 내성 및 소생 능력 확보, 그리고 자기 유지 및 지속 가능성이 확보되었을 때 성공적인 복원을 이룬 것으로 평가한다 (SERI, 2004).

조림은 산불 또는 광범위한 삼림 벌채 등으로 인해 훼손된 삼림의 복원이나 복구를 위한 효과적인 도구로 쓰인다 (Fang and Peng, 1997; Hagggar *et al.*, 1997; Loumeto and Huttel, 1997; Oberhauser, 1997; Zhuang, 1997; Koonkhunthod *et al.*, 2007). 이러한 조림은 생물 종 다양성을 보호하고, 물리, 화학 및 생물학적 상태 변화를 통해 삼림 생태계의 천이를 촉진시킨다 (Parrotta *et al.*, 1997; Koonkhunthod *et al.*, 2007). 또한 임상의 미기후 및 토양의 비옥도에 영향을 미치고, 경쟁적 단자엽식물들을 억제하며, 서식처 공급을 통해 종자 산포자들을 유인하여 자생 목본식물의 재정착을 가속화시킨다 (Joseph, 1997; Parrotta *et al.*, 1997; Mulugeta *et al.*, 2005).

조림의 목적은 목재생산뿐만 아니라 야생종 및 비상업적 식물들을 위한 서식처 제공 및 종 다양성 보존에도 있다 (Kimmins, 1997; Moore and Allen, 1999; Nagaike, 2000; Hartley, 2002). 조림은 황폐화된 지역이나 삼림 벌채 후 주로 이루어지며, 조림수종은 대개 외래종, 비토착종 및 자연적으로는 대규모로 성립되지 않는 자생종으로 이루어진다 (Hartley, 2002). 외래종을 도입하여 조성된 조림지는 훼손된 지역에서 안정된 토양과 자생식물이 이입되기 좋은 환경을 만들어 자생식물의 회복을 도와 (Lugo, 1997), 조림지의 조성연도가 증가할수록 주변의 이차림과 유사한 종 조성을 나타내고, 종 다양성도 유사한 수준으로 늘어나는 경향이 있다 (Sonali, 2001; Howard and Lee, 2003; Nagaike *et al.*, 2003; Godefroid *et al.*, 2005; Nagaike *et al.*, 2006).

우리나라의 삼림생태계는 과거 일제점령기와 한국전쟁 중 심각하게 훼손되었고, 화전, 남벌, 연료원과 퇴비원로의 과도한 이용 및 빈번한 산불 등으로 대부분의 삼림이 황폐화되었다 (Shin, 2005). 이를 복원하기 위해 정부는 리기다소나무, 일본일갈나무 등의 속성수, 아까시나무와 오리나무류의 비료목을 식재하여 훼손된 삼림의 복원에 성공하였다 (Kim, 2004; Lee *et al.*, 2004). 이때 조성된 조림지는 1970년대 이후 삼림자원보호 및 연료혁명으로 인위적 간섭이 급격히 감소하여 자연적 천이과정을 통해 활발하게 발달 중이다 (Korea Forest Research Institute, 2009).

일반적으로 조림의 주목적은 목재나 연료 생산이지만 침식 완화, 탄소 고정 또는 기타 환경, 경제 또는 사회적 편익을 제공하기 위해서도 조성된다 (Brockerhoff *et al.*, 2008). 우리나라에서의 조림은 주로 사방사업으로 시행

되어 온 것으로서 후자의 경우에 해당한다. 그러한 조림의 목적에 훼손된 자연의 치유라는 복원의 개념이 포함되어 있고, 그것을 통해 이루어내는 재해방지 기능은 오늘날의 복원이 추구하는 생태계서비스 기능을 통한 자연의 균형 유지와 환경의 개선이라는 복원의 목적과 맥락을 같이 한다. 조림은 목표에 도달하는 수준에 근거하여 구분한 복원의 종류에 대입하면 기능적 복원에 해당하고, 수행된 방법에 근거하면 적극적 복원에 해당한다고 볼 수 있다(SERI, 2004).

우리나라에서 대규모 조림은 1959년부터 시작되어 1999년까지 훼손된 지역의 약 97%를 복구시켰다(Korea Forest Service, 2000). 조림을 위해 도입된 수종은 대부분 천이 초기 종으로서 오늘날 대부분의 조림지는 성숙림의 모습을 보이고 있다. 따라서 지금은 조림이 가져 온 생태적 효과를 평가하기에 적합한 시기이다. 그럼에도 불구하고 우리나라에서 조림지를 대상으로 생태적 복원 효과 측면에서 평가된 연구는 매우 드물다(Lee *et al.*, 2004; Shin, 2005).

일본잎갈나무는 일본 중부지방의 산지대 상부와 아고산대 하부의 건조지에 주로 분포한다(Miyawaki, 1997, 1984). 이 수종은 속성수로서 우리나라 낙엽활엽수림대의 각지에 식재되어 있다. 따라서 일본잎갈나무는 우리나

라에 조성된 조림수종 중 가장 넓은 면적(424,668 ha)을 차지하고 있다(Korea Forest Service, 2011). 본 연구는 조성연도가 다른 일본잎갈나무조림지의 생태적 변화를 분석하여 그 결과를 복원 효과로 평가하는 데 목적을 두고 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구는 강원도 태백시 일원에 조성된 일본잎갈나무 조림지를 대상으로 수행하였다. 연구대상은 조림 후 8년, 17년, 24년 및 41년 경과된 식분으로 선정하였다(Fig. 1). 식분의 연령은 지상 10 cm 높이에서 채취한 연륜시료의 나이로부터 구하였다.

조사대상 식분은 해당지역의 지형적 위치 때문에 700 m 이상의 지역에서 선정되었다. 조사지소는 주로 동향 사면에서 선정되었다. 그러나 41년생 식분은 해당사면에서 적합한 지소를 찾을 수 없어 동사면과 유사한 생태적 특성을 보이는 북사면에서 선정되었다.

조사지소들이 위치한 강원도 태백시는 북위 37° 03'~37° 20', 동경 128° 52'~129° 06'에 위치하고, 연평균 기온

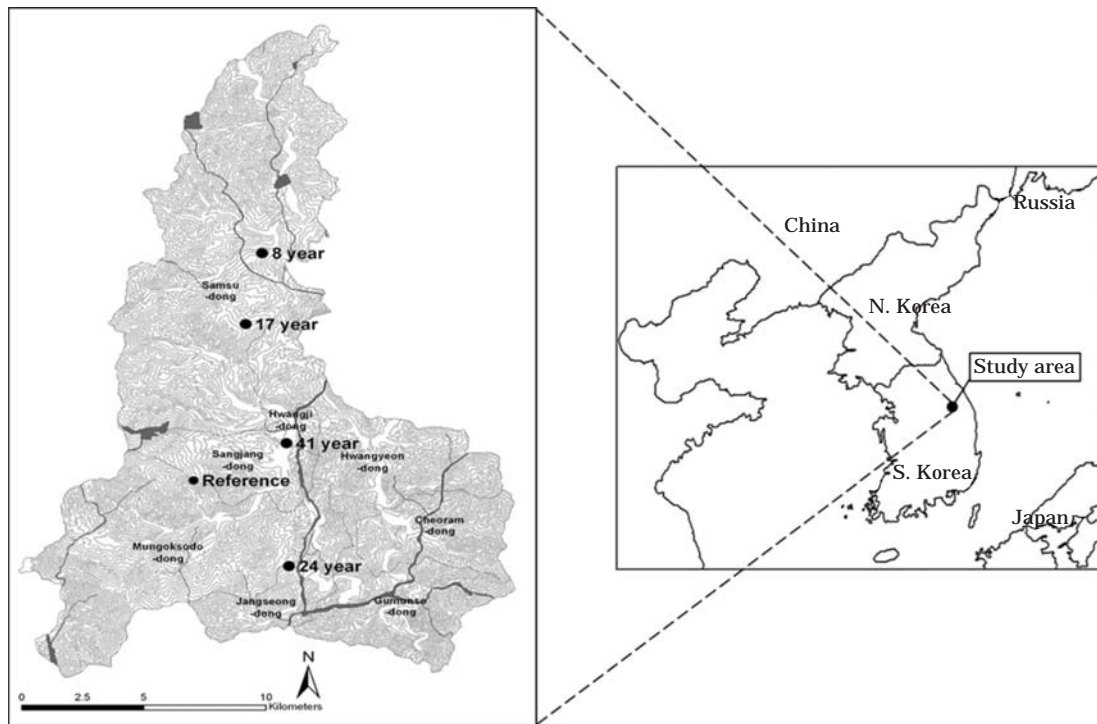


Fig. 1. Map showing the study sites of *Larix kaempferi* plantation and reference stands.

과 강수량은 각각 8.70°C와 1,324.3 mm로 나타났다. 토지 이용유형은 임야가 대부분을 차지하는 (271.62 km<sup>2</sup>, 89.4%) 전형적인 산촌경관의 특성을 보이고 있다(Taebaek City, 2009).

## 2. 조사구 설치

식생 조사를 위한 조사구는 능선부가 포함되지 않도록 사면 상부에 설치하였다. 조사구 크기는 성숙한 식분의 상층 식생 높이를 고려하여 20 m × 20 m 크기로 정하였다. 조사구는 식분의 연령 단계 별로 5개씩 총 20개 설치하였다. 대조구는 해당지역의 잠재자연식생으로 인정되는 신갈나무군락에 정하였다(Kim and Kil, 2000). 대조구에 대한 조사는 20 m × 20 m 크기의 방형구를 5개 설치하여 수행하였다.

해발고도(m), 경도 및 위도는 GPS (GARMIN GPSMAP 60CSx)를 이용하여 측정하였고, 경사도와 방위는 나침반(SUNNTO PM5)을 이용하여 측정하였다.

## 3. 식생 자료 수집 및 분석

식생의 계층구조는 식분의 계층을 임관층, 임관하층, 관목층 및 초본층의 4개 층으로 구분한 후 각 층의 높이 범위와 식피율을 측정하여 작성하였다. 각층의 높이 범위는 거리측정기(Haglof Distance Measurer, DME 201)를 이용하여 측정하였고, 식피율은 해당 높이범위의 식물들이 지면을 덮고 있는 비율을 10% 수준까지 구분하여 목측하였다.

식생조사는 각 조사구에서 Braun-Blanquet (1964)법을 적용하여 수행하였다. 식분별 종 조성을 비교하기 위하여 DCA (Detrended Correspondence Analysis) 서열법을 적용하였다. 수집된 식생자료에서 각종의 피도계급을 그 계급이 나타내는 식피율 범위의 중간 값으로 전환한 후 전체 출현종의 합에 대한 각 종의 상대 값으로 구한 중요치(important value)로 삼았다. 이 과정에서 출현빈도 5% 이하의 종은 제외하였다. 서열분석은 PC-ORD (Version 4.20; McCune and Mefford, 1999) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

식분을 이루는 주요 종의 직경급 분포는 각 조사구에 출현하는 모든 교목성 수종의 근주직경(지상 5 cm)을 측정하여 조사하였다.

종 다양성은 종 순위-우점도 곡선을 작성하여 조사하였고, Shannon 지수( $H'$ ) (Shannon, 1948; Brower and Zar, 1977)에 의한 검토를 병행하였다. 식물의 동정은 Lee (1996), Park (1995) 및 Park (2001)을 따랐다.

## 결 과

### 1. 일본잎갈나무의 성장 및 밀도 변화

일본잎갈나무의 높이 및 직경 생장은 24년생 식분까지 빠른 성장을 유지하고, 그 이후의 생장은 크게 둔화되는 경향이였다. 밀도는 8년생 식분과 17년생 식분에서는 유사한 수준을 유지하였으나 24년생 식분에서 크게 감소하였고 그 이후에는 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 2).

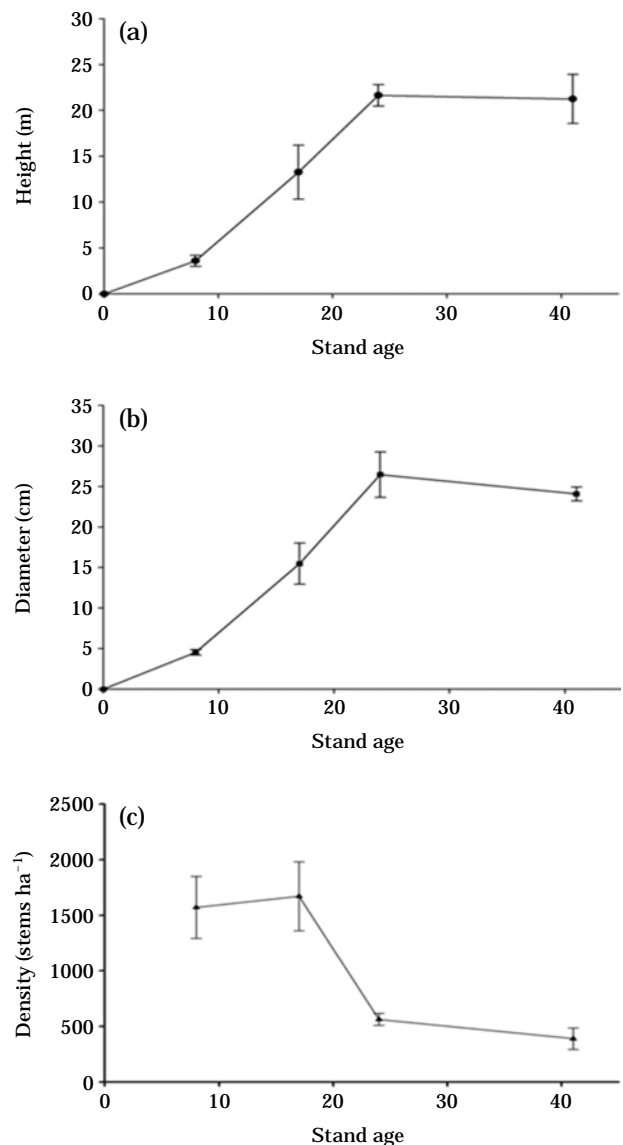
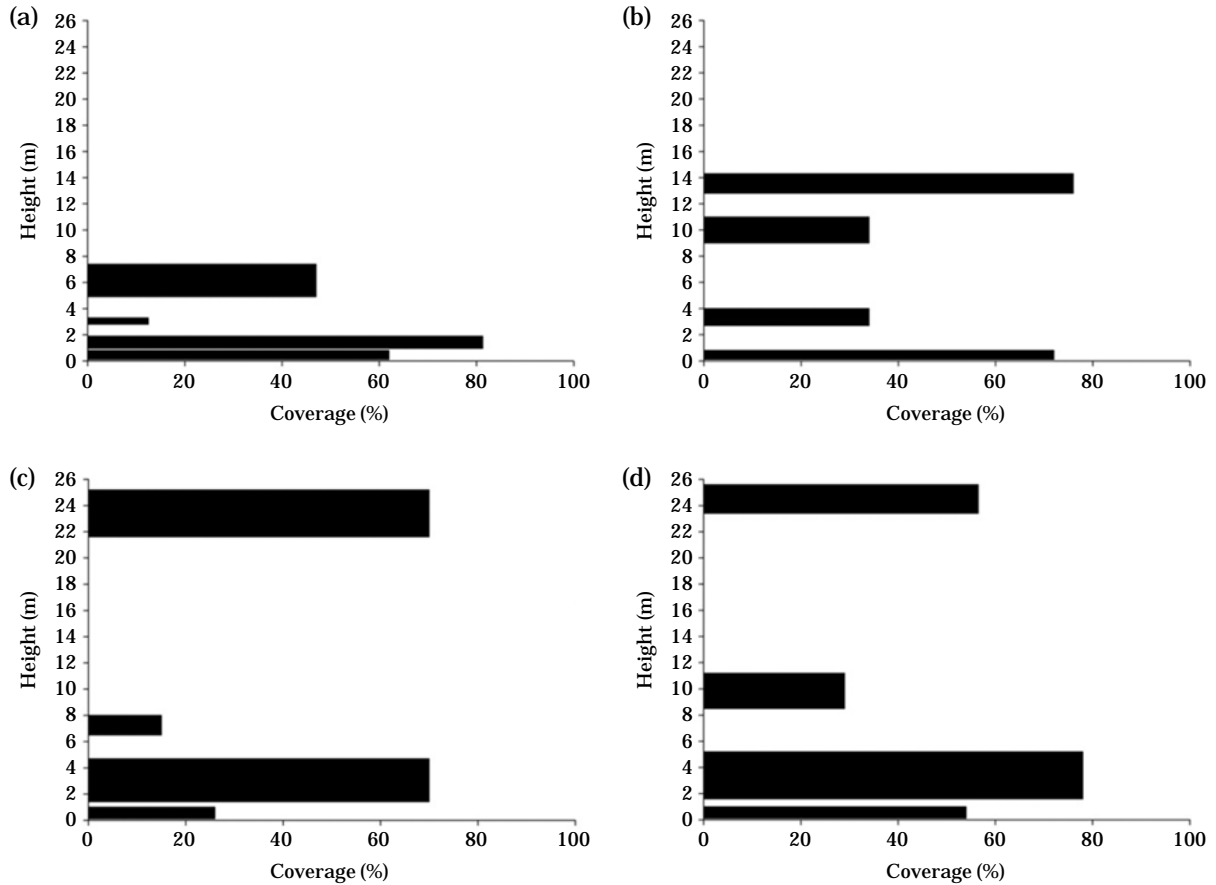


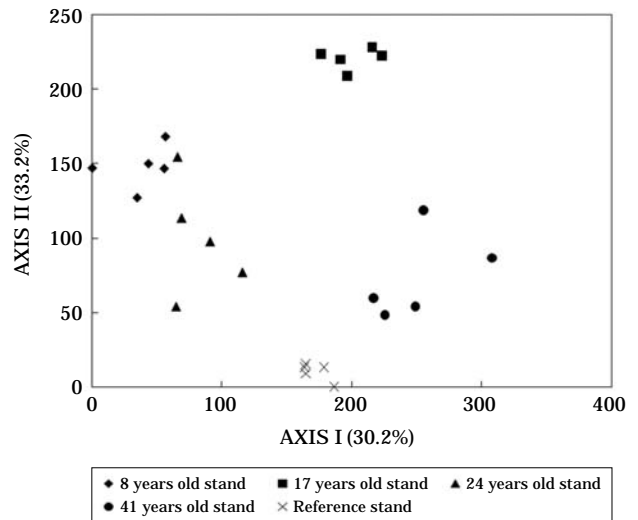
Fig. 2. Changes of height (m), diameter (cm), and density (stems ha<sup>-1</sup>) in the *Larix kaempferi* plantations with stand ages (a: height, b: diameter, c: density).



**Fig. 3.** Canopy profiles of *Larix kaempferi* plantations with different stand ages. The height of the horizontal bars represents the average span of canopy height and the length of each bar indicates the total coverage of all species in the height ranges (a: 8 years old stand, b: 17 years old stand, c: 24 years old stand, d: 41 years old stand).

**2. 식생의 계층구조**

조성연도가 다른 일본잎갈나무조림지의 계층구조를 분석한 결과 (Fig. 3), 임관층의 식피율은 초기 식분을 제외 하면 50% 이상을 유지하였다. 임관하층의 수고는 8, 17, 24 및 41년생 식분에서 각각 2.8~3.3 m, 9.0~11.0 m, 6.5~8.0 m 및 8.5~11.2 m로 변하여 17년생 식분까지 빠르게 증가한 후 지소의 여건에 따라 변동하였다. 임관하층의 식피율은 17년생 식분에서 증가하고 24년생 식분에서 감소하였으며, 41년생 식분에서 다시 증가하여 높이 변화와 유사한 변화를 보였다. 관목층의 수고는 8년생 식분에서는 2 m 이하를 유지하였으나 그 후 다소 증가하여 1.4~5.2 m 사이의 넓은 폭으로 유지되었다. 식피율은 17년생 식분을 제외한 전 식분에서 70% 이상의 높은 식피율을 보였다. 초본층의 수고는 1 m 이하로 큰 변화를 보이지 않았다. 초본층의 식피율은 24년생 식분을 제외한 모든 식분에서 50% 이상의 식피율을 나타내었다.



**Fig. 4.** The result of DCA ordination based on species composition of *Larix kaempferi* plantations and *Quercus mongolica* (reference) stands.

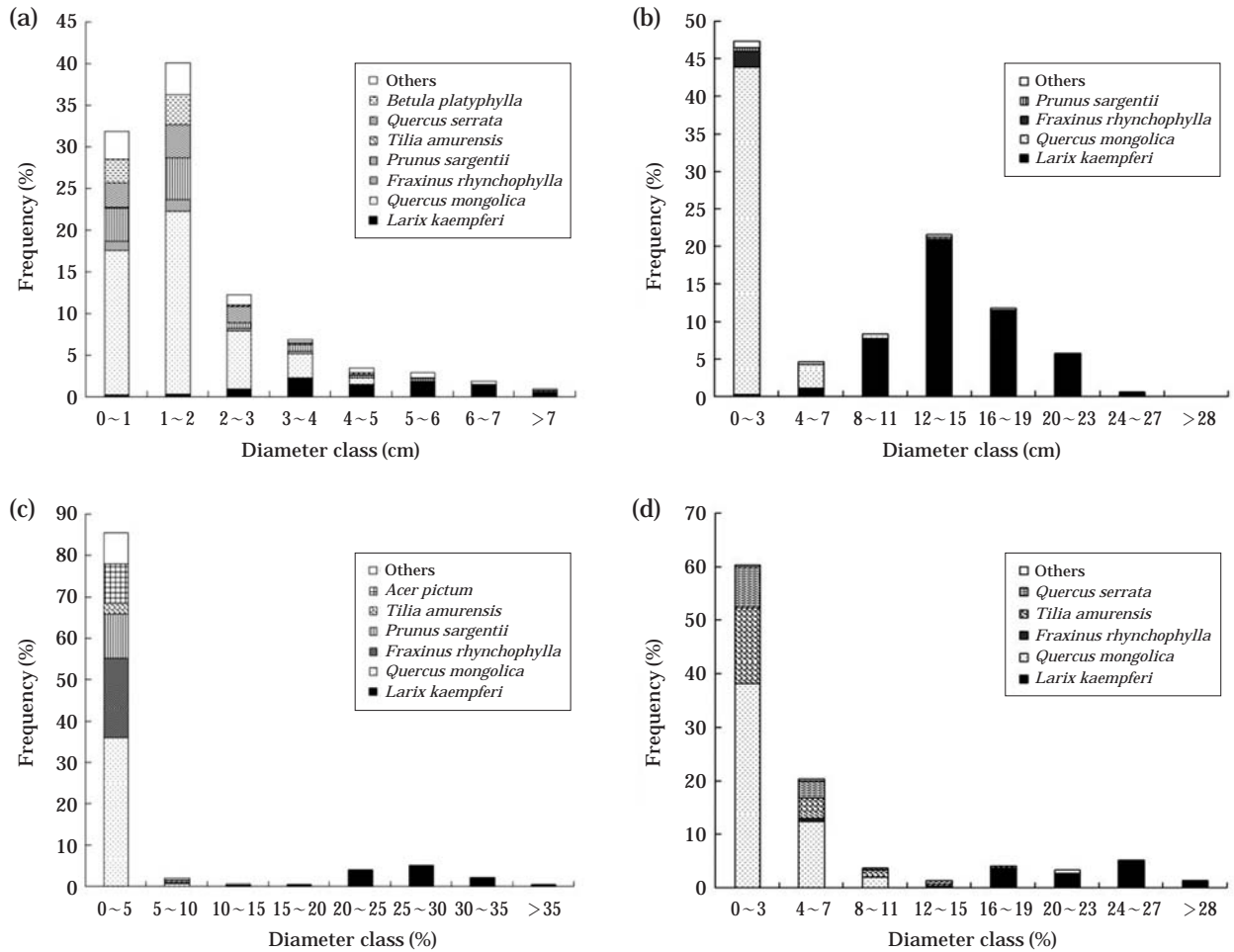


Fig. 5. Frequency distribution diagrams of diameter classes of major tree species in *Larix kaempferi* plantations (a: 8 years old stand, b: 17 years old stand, c: 24 years old stand, d: 41 years old stand).

3. 식생의 종 조성

종 조성 자료에 기초하여 조성연도가 다른 일본잎갈나무 조림지와 대조구의 식분들을 서열화한 결과(Fig. 4), 식분의 배열은 조성연도가 같은 식분들이 서로 가까이 위치하고, 조성연도에 따른 변화는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다. 대부분의 식분들이 대조구의 식분들과 비교적 가까이 위치하여 종 조성의 차이가 크지 않음을 알 수 있었다.

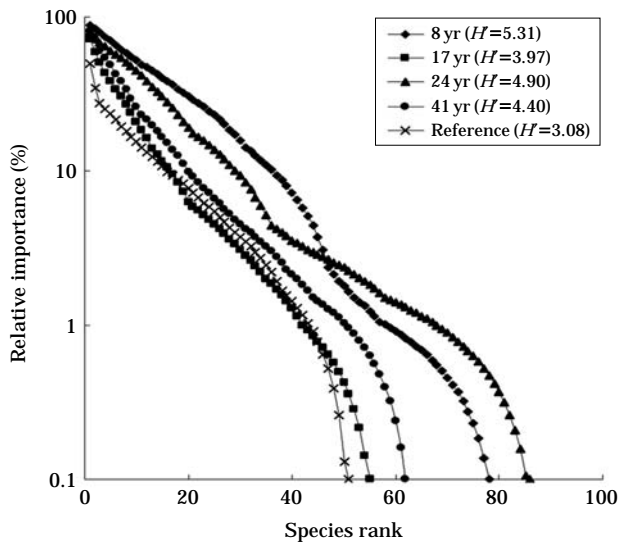
4. 식생의 동태

일본잎갈나무조림지에 출현하는 주요 교목성 수종의 직경급별 빈도분포를 Fig. 5에 나타내었다. 8년생 조림지에서 일본잎갈나무는 0~1 cm 계급으로부터 7 cm 이상 계급 사이에서 정규분포형 분포를 보였다. 반면에 신갈나무는 3~4 cm 이하의 계급에서 역 J자형 분포를 보였다. 17

년생 조림지에서 일본잎갈나무는 0~3 cm 계급으로부터 24~27 cm 계급 사이에서 정규분포형 분포를 보였다. 한편, 신갈나무는 8~11 cm 계급 이하에서 역 J자형 분포를 보였다. 24년생 조림지에서 일본잎갈나무는 5~10 cm 계급으로부터 35 cm 이상의 계급 사이에서 정규분포형 분포를 보였다. 한편, 다른 식물은 0~5 cm 계급에 주로 분포하였는데, 신갈나무, 물푸레나무, 산벚나무 및 고로쇠나무 순서로 큰 비중을 차지하였다. 41년생 조림지에서 일본잎갈나무는 12~15 cm 계급으로부터 28 cm 이상 계급 사이에서 정규분포형 분포를 보였다. 한편, 신갈나무는 8~11 cm 계급 이하에서 역 J자형 분포를 보였다.

5. 종 다양성

일본잎갈나무조림지의 종 다양성은 8년생 식분(H=5.31)이 가장 높았고, 24년생 식분(H=4.90), 41년생 식



**Fig. 6.** Shannon index ( $H$ ) based on vegetation data in *Larix kaempferi* plantations and *Quercus mongolica* (reference) stands.

분 ( $H=4.40$ ) 및 17년생 식분 ( $H=3.97$ ) 순으로 이어졌으며, 대조구의 종 다양성은  $H=3.08$ 로 나타나 모든 조림지의 종 다양성이 대조지소의 것보다 높았다(Fig. 6).

## 고찰

### 1. 대조지소와 비교된 일본잎갈나무조림지의 종 조성

전통적인 천이 이론(Clement, 1916; Odum, 1969)에 의하면, 정착한 식물과 비생물환경 사이의 상호작용의 결과로 종과 환경이 바뀌고, 그러한 변화는 생물환경과 비생물환경 사이에 평형이 이루어질 때까지 진행된다. 즉 식생의 조성은 지소의 환경요인에 대한 식물의 반응으로 결정된다.

본 연구에서는 일본잎갈나무조림지와 해당지역의 천이 후기 식생으로 판단된 신갈나무군락의 종 조성을 비교하여 종 조성의 변화와 천이의 진행 정도를 평가하였다. 조림 후 경과 년 수가 다른 각 지소에서 조사된 식생자료와 대조지소인 신갈나무식분을 서열화한 결과(Fig. 4), 일본잎갈나무조림지의 종 조성은 경과 년 수 증가에 따른 종 조성의 변화가 뚜렷하지 않았다. 그러나 조림지식분과 대조지소인 신갈나무식분 사이의 종 조성 차이는 경과 년 수가 다른 조림지식분 간의 종 조성 차이만큼 크지 않았다. 이러한 결과는 일본잎갈나무조림지의 종 조성이 신갈나무군락의 것과 크게 다르지 않음을 보여주는 결과로

해석할 수 있다. 더구나 조림 초기 유령림에 해당하는 8년생 식분이나 발달 중에 있는 17년생 식분의 종 조성도 보다 성숙한 다른 조림지나 대조구 식분의 종 조성과의 큰 차이를 보이지 않은 것은 조림의 과정에서 기존 식생을 심하게 교란하지 않고 목표로 한 종만 도입하는 형태로 진행된 데서 비롯된 것으로 판단된다. 이러한 약한 교란의 증거는 대조지소보다 높은 종 다양도(Fig. 6)와 모든 연령의 조림 식분들이 유사한 경향을 보인 천이 추세 분석 결과(Fig. 5)에서도 확인되고 있다.

### 2. 일본잎갈나무조림지의 천이 추세

군락을 이루는 주요 종의 크기 계급 분포는 그 군락을 이루는 종의 성립 역사와 천이계열을 반영한다. 직경급 분포도에서 우점종이 역 J자형의 분포를 보일 경우 지속 가능한 군락으로 판단하고, 정규분포를 보일 경우 다른 군락으로 천이가 이루어질 군락으로 판단한다. 대치수종은 우점종과 함께 현재의 군락을 이루고 있는 종으로서 직경급 분포가 역 J자형 분포를 보이는 종으로 간주한다(Lee et al., 2004; Lee et al., 2006; Lee et al., 2008).

본 연구에서 일본잎갈나무조림지의 직경급 분포를 비교한 결과(Fig. 5), 우점종인 일본잎갈나무는 성숙목 계급에 주로 출현하고 유식물 집단에서는 출현빈도가 낮았다. 반면에 참나무류를 비롯한 자생식물은 유식물집단에서 출현빈도가 높은 역 J자형 분포를 보였다. 이러한 결과는 일본잎갈나무군락이 참나무류를 중심으로 한 자생식물군락으로 천이의 진행을 예측하게 한다.

### 3. 일본잎갈나무조림지의 종 다양성

종 다양성은 조림 후 초기 단계인 8년생 식분에서 가장 높은 값을 나타내었고, 그 후 경과 년 수가 늘어남에 따라 감소와 증가를 반복하였다(Fig. 6). 초기 식분의 높은 종 다양성은 조림과정에서 발생한 인위적 간섭이 유입되는 광량을 증가시킨 데 기인한 결과로 해석된다(Halpern, 1989; Miller et al., 1995; Bhuju and Ohaswa, 1999). 17년생 식분에서 종 다양성의 감소는 조림 시 인간간섭으로 잘려나갔던 임상 목본식물의 재 성장에 따라 초본식생이 피압된 데 기인하고, 24년생 식분의 종 다양성 증가는 그들의 지속된 성장으로 목본식물 계층과 초본식물 계층 사이의 높이 차이가 커져 피압 효과가 감소된 데 기인한 결과로 해석된다. 한편, 41년생 식분에서 종 다양성의 감소는 성장한 자생 목본식물과 조림 수종이 함께 상층식생을 이루어 유입 광량을 차단한 데 기인한 결과로 해석된다. 결과적으로 식분 연령에 따라 종 다양성은

다소 변화하는 경향을 보였지만 조림지 식분의 종 다양성이 대조지소의 것보다 높았다. 이러한 결과로부터 일본잎갈나무조림지와 같은 수준의 조림은 종 다양성에 악영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

#### 4. 일본잎갈나무조림지에서 확인된 복원 효과

일제 점령기, 한국전쟁 및 연료를 채취하는 과정에서 과도한 이용으로 황폐해진 삼림을 복구하기 위하여 리기다소나무, 일본잎갈나무 등의 속성수가 식재되었다(Kim, 2004; Lee *et al.*, 2004). 일본잎갈나무는 성장속도가 빨라 삼림피복 조성을 위한 목적으로 해변을 제외한 중부이남 지역에 식재되었다(Korea Forest Service, 2000). 조림 후 경과 년 수가 다른 각 지소의 천이 경향을 분석한 결과, 일본잎갈나무는 후계수가 전혀 출현하지 않고 조성연도가 증가할수록 조림수종의 밀도가 감소하는 반면에 참나무류를 비롯한 자생식물은 지속적으로 후계수가 보충되고 비교적 높은 밀도를 유지하여 참나무류를 중심으로 한 자생수종이 이루는 식생으로 천이가 진행되는 경향을 보였다(Fig. 5).

한편, 종 조성의 경우는 조림지의 발달단계에 따른 경향은 뚜렷하지 않았으나 그 조성이 대조식생의 것과 크게 다르지 않았다(Fig. 4).

생태적 복원이 파괴되기 이전의 건전한 자연 상태를 회복하는 것을 목표로 삼고 있음을 고려할 때(Aronson *et al.*, 1993; SERI, 2004), 일본잎갈나무조림지가 해당지역의 자연식생과 유사한 종 조성을 보이고, 천이의 진행 방향이 자생식생을 향하고 있는 결과는 복원의 효과로 평가할 수 있다. 또 복원의 성공 여부를 결정하는 요인으로 대조생태계와 유사한 종 조성 확보, 외래종이 배제되고 자생종 위주의 식생, 물리적 안정성 확보, 발달 가능성, 주변 경관과의 조화, 자기 유지 가능성 등을 제시하고 있는데(SERI, 2004), 일본잎갈나무조림지는 이러한 조건의 대부분을 충족시키는 것으로 나타나 성공적인 복원을 이룬 것으로 평가할 수 있다.

#### 적 요

조성연도가 다른 일본잎갈나무조림지를 대상으로 조림 후 시간이 경과함에 따라 식생의 발달과정을 분석하였다. 일본잎갈나무의 높이와 직경은 조림 후 24년까지 빠르게 성장하였고, 그 이후 양 생장이 모두 둔화되는 경향이 있었다. 일본잎갈나무의 밀도는 8년생 식분과 17년생 식분에

서는 유사한 밀도를 유지하였으나 24년생 식분에서 크게 감소하였고 그 이후에는 큰 변화를 보이지 않았다. 서열법을 적용하여 비교된 일본잎갈나무조림지의 종 조성은 조성연도에 따라 뚜렷한 변화경향을 나타내지 않았고, 조성연도가 다른 조림지 간의 차이가 대조구와의 차이보다 컸다. 주요 종의 직경급 별 빈도분포를 통해 분석한 결과 일본잎갈나무조림지는 신갈나무가 우점하는 자생식생으로의 천이경향을 보였다. 종 다양성은 모든 연령의 식분들이 대조구의 것보다 높았다. 이상의 결과에서 보여지듯이 일본잎갈나무조림지에서 나타난 대조지소와 유사한 종 조성, 자생식생으로의 천이 경향 그리고 높은 종 다양성은 생태적 복원의 성공을 의미하는 조건으로서 기능적 복원으로 출발한 일본잎갈나무조림지가 성공적인 복원을 이루어낸 것으로 평가할 수 있다.

#### 사 사

본 연구는 산림청 '산림 내 유용식물 및 종 다양성 보전을 위한 생태적 관리기법 개발(과제번호: S121010L020100)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

#### 인 용 문 헌

- Aronson, J., C. Florest, E. Le Floch, C. Ovalle and R. Pontanier. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the south. *Restoration Ecology* **1**: 8-17.
- Berger, J.J. 1993. Ecological restoration and nonindigenous plant species: A review. *Restoration Ecology* **1**: 74-82.
- Bhuj, D.R. and M. Ohsawa. 1999. Species dynamics and colonization patterns in an abandoned forest in an urban landscape. *Ecological Research* **14**: 139-153.
- Bradshaw, A.D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Planning* **11**: 35-48.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag, New York.
- Brockhoff, E.G., H. Jactel, J.A. Parrotta, C.P. Quine, J. Sayer and D.L. Hawksworth (eds.). 2008. Topics in Biodiversity and Conservation 9: Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? Springer, Berlin, Heideberg, New York.
- Brower, J.E. and J.H. Zar. 1977. Field and laboratory method for general ecology. Wm. C. Brown Co, Dubuque, Iowa.



- Clements, F.E. 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institution of Washington, Publication No. 242.
- Dobson, A.P., A.D. Bradshaw and A.J.M. Baker. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* **277**: 515-522.
- Fang, W. and S.L. Peng. 1997. Development of species diversity in the restoration process of establishing a tropical man-made forest ecosystem in China. *Forest Ecology and Management* **99**: 185-196.
- Godefroid, S., W. Massaut and N. Koedam. 2005. Variation in the herb species response and the humus quality across a 200-year-chronosequence of beech and oak plantations in Belgium. *Ecography* **28**: 223-235.
- Haggar, J., K. Wightman and R. Fisher. 1997. The potential of plantation to foster woody regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. *Forest Ecology and Management* **99**: 55-64.
- Halpern, C.B. 1989. Early successional patterns of forest species: interactions of life history traits and disturbance. *Ecology* **70**: 704-720.
- Hartley, M.J. 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *Forest Ecology and Management* **155**: 81-95.
- Howard, L.F. and T.D. Lee. 2003. Temporal patterns of vascular plant diversity in southeastern New Hampshire forests. *Forest Ecology and Management* **185**: 5-20.
- Joseph, M. Wunderle Jr. 1997. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* **99**: 223-235.
- Kim, J.U. and B.S. Kil. 2000. The Mongolian Oak Forest in Korea (Environment, Vegetation and it's Life). Wonkwang University Press, Iksan (in Korean).
- Kim, J.W. 2004. Phytosociological green ecology for Forest, Landscaping, Ecology, Environment. World Science, Seoul (in Korean).
- Kimmins, J.P. 1997. Balancing Act: Environmental Issues in Forestry, second ed. University of British Columbia Press, Vancouver.
- Koonkhunthod, N., K. Sakurai and S. Tanaka. 2007. Composition and diversity of woody regeneration in a 37-year-old teak (*Tectona grandis* L.) plantation in Northern Thailand. *Forest Ecology and Management* **247**: 246-254.
- Korea Forest Research Institute. 2009. Korea national report about sustainable forest management 2009. Korea Forest Research Institute, Seoul (in Korean).
- Korea Forest Service. 2000. Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service, Daejeon (in Korean).
- Korea Forest Service. 2011. Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service, Daejeon (in Korean).
- Lee, C.S., H.J. Cho and H.B. Yi. 2004. Stand dynamics of introduced black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantation under different disturbance regimes in Korea. *Forest Ecology and Management* **189**: 281-293.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin, C.H. Lee, S.M. Lee, E.S. Seol, W.S. Oh and S.A. Park. 2006. Ecological characteristics of Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) forest on Mt. Nam as a Long Term Ecological Research (LTER) site. *Journal of Ecology and Field Biology* **29**: 593-602.
- Lee, C.S., A.N. Lee and Y.C. Cho. 2008. Restoration Planning for the Seoul Metropolitan Area, Korea. pp. 393-419. *In: Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives* (Carreiro *et al.*, eds.). Springer, New York. M.M.
- Lee, C.S., Y.M. Jeong and H.S. Kang. 2011. Concept, direction, and task of ecological restoration. *Journal of Restoration Ecology* **2**: 59-71 (in Korean).
- Lee, T.B. 1996. Illustrated flora of Korea. Hyangmoonsa, Seoul (in Korean).
- Loumeto, J.J. and C. Huttel. 1997. Understory vegetation in fast-growing tree plantation on savanna soils in Congo. *Forest Ecology and Management* **99**: 65-81.
- Lugo, A.E. 1997. Maintaining an open mind on exotic species. pp. 245-247. *In: Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates (Meffe, G.K. and C.R. Carroll, eds.). Inc. Pub., Sunderland, MA.
- McCune, B. and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.20, MJM software Design, Glenden Beach, Oregon, USA.
- Miller, J.H., B.R. Zutter, S.M. Zedaker, M.B. Edwards and R.A. Newbold. 1995. Early plant succession in loblolly pine plantations as affected by vegetation management. *Southern Journal of Applied Forestry* **19**: 109-126.
- Miyawaki, A. 1977. Vegetation of Japan. Gakken. Tokyo (in Japanese).
- Miyawaki, A. 1984. Vegetation of Japan. Jimundang. Tokyo (in Japanese).
- Moore, S.E. and E.L. Allen. 1999. Plantation forestry. pp. 400-433. *In: Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems* (Hunter Jr., M.L., ed.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Mulugeta, L., L. Bekele and T. Demel. 2005. Changes in soil carbon and total nitrogen following reforestation of previously cultivated land in the highlands of Ethiopia. *Ethiopian Journal of Science* **28**: 99-108.
- Nagaike, T. 2000. A review of ecological studies on plant

- species diversity in plantation ecosystems. *Journal of the Japanese Forestry Society* **82**: 407-416.
- Nagaike, T., A. Hayashi, M. Abe and N. Arai. 2003. Differences in plant species diversity in *Larix kaempferi* plantations of different ages in central Japan. *Forest Ecology and Management* **183**: 177-193.
- Nagaike, T., A. Hayashi, M. Okubo, K. Takahashi, M. Abe and N. Arai. 2006. Changes in plant species diversity over 5 years in *Larix kaempferi* plantations and abandoned coppice forests in central Japan. *Forest Ecology and Management* **236**: 278-285.
- National Research Council. 1992. Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy. National Academy Press, Washington D.C.
- Oberhauser, U. 1997. Secondary forest regeneration beneath pine (*Pinus kesiya*) plantations in the northern Thai highlands: a chronosequence study. *Forest Ecology and Management* **99**: 171-183.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* **164**: 262-270.
- Park, S.H. 1995. Colored Illustrations of naturalized plants of Korea. Iljogak, Seoul (in Korean).
- Park, S.H. 2001. Colored Illustrations of naturalized plants of Korea: Possession. Iljogak, Seoul (in Korean).
- Parrotta, J.A., J.W. Turnbull and N. Jones. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* **99**: 1-7.
- SERI (Society Ecological Restoration International Science & policy working Group). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Shin, H.C. 2005. The effects of ecological restoration confirmed in the Pitch pine (*Pinus rigida*) plantation. MA Thesis, Seoul Women's Univ., Seoul (in Korean).
- Sonali, S. 2001. Vegetation composition and structure of *Tectona grandis* (teak, Family Verbanaceae) plantation and dry deciduous forests in central India. *Forest Ecology and Management* **148**: 159-167.
- Taebaek City. 2009. www.taebaek.go.kr.
- Zhuang, X. 1997. Rehabilitation and development of forest on degraded hills of Hong Kong. *Forest Ecology and Management* **99**: 197-201.

(Manuscript received 15 April 2013,

Revised 2 May 2013

Revision accepted 6 May 2013)