

## 우리나라 자생 소나무의 지역에 따른 침엽특성 변이

이철호\*, 신창호, 김규식  
국립수목원 산림자원보존과

### Geographic Variation in Needle Characteristics of *Pinus densiflora* in Korea

Cheul-Ho Lee\*, Chang-Ho Shin and Kyu-Sick Kim

Department of Plant Conservation, Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Korea

**Abstract** - This study was carried out to investigate geographic variation in needle characteristics of *Pinus densiflora*, one of the most economically important tree species in Korea. Needles were collected from 35 natural populations and their morphological and anatomical characteristics were studied. ANOVA showed statistically significant differences among populations as well as among individuals within populations in needle length, needle width, number of stomata row, density of stomata in 0.25mm<sup>2</sup>, number of serrations in 0.5mm, and number of resin ducts. In all these traits, variance components among individuals within populations were larger than those among populations. The density of stomata in 0.25mm<sup>2</sup> increased as the latitudes and elevations of the populations increased, while the number of serrations in 0.5mm decreased as the decrease of latitudes and elevations. The number of resin ducts was higher in inland populations than in coastal populations. The resin duct index appeared to be higher in western populations than in eastern populations. Cluster analysis based on morphological characteristics divided populations into three groups. The third group was composed of populations selected from the Taebaek mountains. The number of serrations in 0.5mm of this group was lower than that of other two groups, while the density of stomata in 0.25mm<sup>2</sup> was higher.

**Key words** - Geographic variation, Needles, *Pinus densiflora*

## 서 언

우리나라에서 소나무는 주요 경제수종으로서 수평으로는 함북 증산(43° 20'N)에서 제주 한라산(33° 20'N) 까지, 수직으로는 최저 표고 10m부터 최고 1,300m까지 분포하여(Chung and Lee, 1965) 국내에서 가장 넓은 분포면적을 차지하고 있다. 소나무 집단은 연속분포로 되어있어 각 집단간에 유전적 이주가 끊임없이 계속되고 곰솔로부터의 유전자 이입이 많이 될 수 있는 수종이라 생각되며 소나무는 산지간에 많은 유전적 변이가 있을 것으로 기대되는 수종이다. 현재까지 소나무의 천연분포와 형태적변이에 대하여 많은 보고(Ahn, 1972; Son et al., 1990)가 있었으나 체계적인 지리적 경사에 의한 산지별 형태적 및 해부학적 변이에 대한 정보는 많지 않은 실정이다.

침엽은 수종을 분류하는데 중요한 특성(Mergan, 1958)중 하나로서 Matziris(1983)는 *Pinus nigra*의 기공밀도, 거치수 등

침엽의 형태적 특성들이 유전영향을 많이 받는 것으로 보고하였으며, Piedra(1984)는 *Pinus tecunumanii*의 기공열수와 기공 밀도가 위도에 따라 경사유전하는 것으로 보고하였다. 우리나라 소나무 침엽에 대한 연구로는 Uyeki(1928)가 소나무 침엽의 기공열은 한 나무에서도 한 쌍의 침엽에 있어서도 그 수가 다르다고 하였으며, Choi 등(1970)은 소나무 수형목 침엽 표면의 기공열수, 거치수, 수지구수에서도 clone간에 차이가 있다고 하였다. 그리고 Yim and Kim(1975)은 소나무 천연림 집단간에 차이가 있다고 하였으며, Hyun 등(1967)은 강원도 지역 소나무 집단이 잡종성을 띤 것으로 보고하여 소나무의 산지간 유전적 변이가 높을 가능성을 제시하였다.

본 연구는 소나무 천연림 35집단에 대한 침엽특성과 지리적 변이를 조사하여 침엽특성간 연관관계를 구명함으로써 우리나라 향토수종인 소나무 유전자원의 다양성 보존 및 안정적 복원을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 수행하였다.

\*교신저자(E-mail) : chlee63@foa.go.kr

## 재료 및 방법

### 공시재료

본 시험에 사용된 재료는 북위 38° 08'인 인제에서 북위 34° 31'인 해남까지 30' 간격(약 55km)으로 그리고 동경 126° 21'인 태안부터 129° 17'인 삼척까지 30' 간격(약 45km)으로 교차되는 35개소에서 20년 이상 되는 천연림 집단을 선정하였다(Fig. 1). 집단 내에서 개체목 상호간 거리는 100m 이상을 두고 집단을 대표할 수 있는 평균목 20본을 시험목으로 선정하였다.

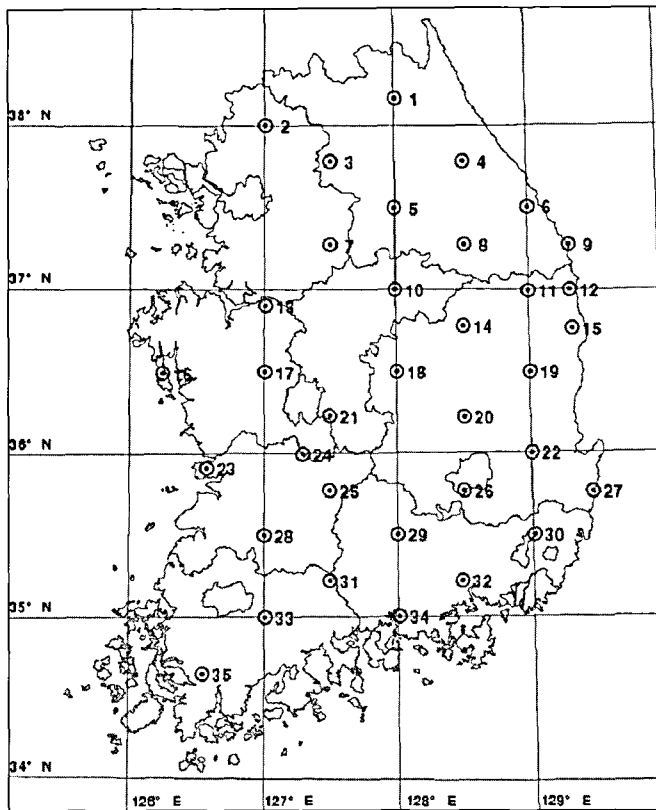


Fig. 1. Locations of natural populations in *Pinus densiflora* need for this study.

### 조사방법

침엽은 시험목 남향의 역지에서 채취 즉시 고정액(FAA)에 넣어 실험실로 가져와 개체목별 무작위로 10개의 침엽을 조사하였

다. 침엽길이는 1mm 단위까지 침엽폭은 0.1mm 단위까지 digimatic caliper로 측정하였다. 기공열수와 기공밀도는 40배의 실체 현미경으로 침엽 뒷면을 조사하였다. 거치수는 40배의 실체 현미경으로 침엽 중간 부분을 조사하였다. 침엽의 중간 부위에서 hand sectioning으로 횡단면을 얻었고 120배의 현미경으로 주·부 수지구 수와 위치를 조사하였다. 그리고 수지구 지수(resin duct index)는 중위 수지구 수/전체 수지구 수로 계산하였다.

### 통계처리

분산성분을 구하기 위하여 Table 1과 같은 분산분석 양식을 사용하였다(Salazar, 1983).

## 결과 및 고찰

### 침엽의 변이

소나무 천연림 35집단에 대한 침엽의 형태적 특성을 조사한 바 침엽길이는 4.5~11.9cm(평균 8.8cm)이었으며 침엽폭은 0.9~1.4cm(평균 1.2cm)이었다. 기공열수는 4.2~11.4열(평균 7.0열)이었고 0.25mm<sup>2</sup>당 기공밀도는 11.8~30.2개(평균 20.5개)이었으며 0.5mm당 거치밀도는 8.1~19.7개(평균 13.4개)이었다. 수지구수는 2.8개~17.8개(평균 7.5개)이었으며 수지구지수는 0.008~0.108(평균 0.044)이었다(Table 2).

침엽길이가 긴 인제와 진안집단은 10.2cm로서 전 집단의 평균보다 15.9% 더 길었으며, 침엽 길이가 짧은 하동과 고령집단은 7.8cm, 7.9cm로서 전 집단의 평균보다 12.8%, 11.4% 더 짧았다. 침엽폭이 넓은 인제와 정선집단은 1.3mm로서 전 집단의 평균보다 8.0% 더 넓었으며, 침엽폭이 좁은 구미와 포항집단은 1.1mm로서 전 집단의 평균보다 8.0% 더 좁았다. 기공열수가 많은 정선집단은 8.1개로서 전 집단의 평균보다 15.7% 더 많았으며, 기공열수가 적은 밀양집단은 6.0개로서 전 집단의 평균보다 16.7% 더 적었다. 기공밀도가 높은 정선집단은 22.8개로서 전 집단의 평균보다 11.2% 더 높았으며, 기공밀도가 낮은 안동집단은 18.1개로서 전 집단의 평균보다 13.3% 더 낮았다. 0.5mm당 거치수가 많은 곡성집단은 15.5개로서 전 집단의 평균보다 15.7% 더 많았으며, 거치수가 적은 정선집단은 11.9개로서 전 집단의 평균보다 12.6% 더 적었다. 수지구 수가 많은 태안 집단

Table 1. Analysis of variance and expected mean squares

Sources of variation	d.f.	Expected mean squares
Population (P)	(P-1)	$\sigma_N^2 + n\sigma^2_{TP} + nt\sigma^2_P$
Trees (T) in P	P(T-1)	$\sigma_N^2 + n\sigma^2_{TP}$
Needles (N) in T in P	PT(N-1)	$\sigma_N^2$

Table 2. Analysis of needle characteristics in *P. densiflora* from 35 locations

	Mean	S.E.	Minimum	Maximum
Needle length (cm)	8.8	1.3	4.5	11.9
Needle width (mm)	1.2	0.1	0.9	1.4
Number of stomata row	7.0	1.1	4.2	11.4
Density of stomata per 0.25mm <sup>2</sup>	20.5	2.9	11.8	30.2
Number of serration per 0.5mm	13.4	1.8	8.1	19.7
Number of resin canal	7.5	1.7	2.8	17.8
Resin duct index	0.044	-	0.008	0.108

은 8.7개로서 전 집단의 평균보다 16% 더 많았으며, 수지구수가 적은 구미, 밀양집단은 6.0개로서 전 집단의 평균보다 20.0% 더 적었다. 수지구 지수가 높은 봉화집단은 0.108로서 전 집단 평균보다 2.5배 더 높았으며, 수지구지수가 낮은 구미집단은 0.008로서 전 집단 평균보다 5.5배 더 낮았다.

침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 기공밀도, 거치수, 수지구수에 대한 분산분석 결과 집단간, 개체간에 많은 차이가 있었다. 지분 실험법(nested design)에 의하여 집단간, 개체간 분산구성비로 변이를 구한 결과 침엽길이의 집단간 변이는 13.5%, 개체간 변이는 61.2%이었으며, 침엽폭의 집단간 변이는 17.4%, 개체간 변이는 50.1%이었다. 기공열수는 집단간 11.9%, 개체간 37.3%이었으며, 기공밀도는 집단간 7.7%, 개체간 25.1%이었다. 그리고 거치수의 집단간 변이는 10.8%, 개체간 변이는 37.6%이었으며, 수지구수의 집단간 변이는 11.6%, 개체간 변이는 59.6%로 분석되어 침엽의 모든 특성에서 개체간의 변이가 집단간의 변이보다 더 크게 나타났다(Table 3).

Fowler(1964)는 *Pinus resinosa*의 거치수에 있어 집단간에 차이가 있다고 보고하였으며, Calamassi 등(1988)은 *Pinus burtia*의 침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 수지구수가 집단간, 집단내의 개체간에 차이가 있다고 보고하였다. 그리고 Salazar(1982)는 *Pinus caribaea*의 침엽길이, 기공열수, 거치수, 수지구수가 집단간, 집단내의 개체간에 많은 차이가 있음을 보고하였는데 본 시험결과 집단간 집단내 개체간에 차이가 있는 것과 유사하였다. 그러나 Fowler(1964)는 *Pinus resinosa*의 연구에서 기공열수는 산지간에 유의차가 없다고 보고하여 본 시험

과 상이한 결과를 보였는데 이는 수종의 차이에서 오는 결과로 생각된다.

### 상관분석

소나무 각 산지의 침엽특성간 상관관계는 Table 4와 같다. 침엽길이가 긴 집단은 기공열수와 수지구수가 많았으며, 기공밀도가 높았다. 침엽폭이 넓은 집단은 기공열수와 수지구수가 많았으며, 기공밀도와 수지구지수가 높았다. 그리고 침엽길이는 동부지역의 집단들보다는 서부지역의 집단들이 길었으며, 침엽폭은 표고가 낮은 지역의 집단들보다는 표고가 높은 지역의 집단이 더 넓었다. 기공열수가 많으며 기공밀도가 높은 집단들은 침엽길이, 침엽폭, 기공밀도, 수지구수가 더 많았다. 그리고 기공열수는 표고가 낮은 집단들보다는 표고가 높은 집단들이 많았고, 기공밀도는 남부지역의 집단들보다는 북부지역의 집단들이 많았으며, 표고가 낮은 지역의 집단들보다는 표고가 높은 지역의 집단들이 더 높았다. 거치수가 많은 집단들은 침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 기공밀도가 낮았다. 그리고 북부지역의 집단들보다는 남부지역의 집단들이 많았으며, 표고가 높은 지역의 집단들보다는 표고가 낮은 지역의 집단들이 거치수가 더 많았다. 수지구 수가 많은 집단은 침엽길이, 침엽폭, 기공열수가 많았다. 그리고 해안에서 거리가 먼 내륙지역의 집단들보다는 해안에서 거리가 가까운 지역의 집단들이 수지구 수가 더 많았다. 수지구 지수가 높은 집단들은 침엽폭이 넓었으며, 수지구 지수는 동부지역의 집단들보다는 서부지역의 집단들이 더 높았다.

Table 3. Analysis of variance for needle characteristics

Variable	Mean square			Variance component(%)		
	Population	Tree	Error	Population	Trees	Error
Needle length	3792.00**	1482.00**	59.00	13.5	61.2	25.3
Needle width	0.46**	0.07**	0.01	17.4	50.1	32.5
Number of stomata row	60.97**	9.66**	1.16	11.9	37.3	50.8
Density of stomata	371.60**	66.70**	14.10	7.7	25.1	67.2
Number of serration	144.90**	25.20**	3.00	10.8	37.6	51.6
Number of resin canal	94.23**	20.94**	1.06	11.6	59.6	32.5

\*\* indicates significance at 1% level.

Table 4. Correlation between morphological traits of needles and locations of natural populations

	Needle length	Needle width	Number of stomata row	Density of stomata	Number of serration	Lati.	Longi.	Alti.	Distances from the nearest coast
Needle length	-	-	-	-	-	0.061	-0.422*	0.168	-0.082
Needle width	0.488**	-	-	-	-	0.312	-0.135	0.424*	-0.348*
Number of stomata row	0.381*	0.866**	-	-	-	0.322	-0.201	0.357*	-0.336*
Density of stomata	0.324	0.627**	0.868**	--	-	0.398*	-0.103	0.364*	-0.293
Number of serration	-0.011	-0.256	-0.216	-0.176	-	-0.345*	-0.129	-0.344*	-0.218
Number of resin canal	0.436**	0.661**	0.664**	0.576**	0.225	0.095	-0.073	-0.208	-0.412*
Resin duct index	0.230	0.406*	0.369*	0.182	0.158	-0.195	-0.400*	-0.105	-0.265

\*\* and \* indicate significance at 1% and 5% levels, respectively.

Calamassi 등(1988)은 *Pinus brutia*의 침엽길이, 침엽두께, 기공열수, 기공밀도와 경도간에 상관관계가 있다고 하였으며, Salazar(1983)은 *Pinus caribaea*의 수지구수와 위도간에 상관관계가 있다고 보고하였는데 본 시험결과 기공밀도, 거치수, 수지구수가 위도, 경도와 상관관계가 있는 것과 유사한 결과를 나타내었다.

**유집분석**

침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 기공수, 수지구수와 수지구 지수로 유집분석을 실시한 바 다음과 같이 3개군으로 구분되었다 (Fig. 2).

제 I 군은 내륙지역의 집단들로 침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 기공수, 거치수, 수지구수, 수지구지수가 적은 충주, 천안, 문경, 고령, 하동등 10개 집단이 포함되어있으며, 제 II 군은 해안지역의 집단들로 침엽의 거치수가 다른 집단에 비하여 가장 많았으나 다른 침엽의 특성은 I 군과 III 군의 중간정도인 연천, 나주, 해남, 포항, 경주 등 11개 집단이 포함되어있다. 그리고 제 III 군은 I, II 군에 비하여 거치수는 적었으며 기공밀도가 높은 태백산맥 주위의 집단들로 인제, 홍천, 삼척, 봉화, 울진등 14개 집단이 포함되어 있는데 특이한 곳은 서해안에서도 비교적 건전한 성장을 하는 곳으로 알려진 태안군 안면집단과 부안군 변산반도 집단이 포함되어있다.

Uyeki(1928)는 우리나라의 소나무를 6가지의 생태형으로 분류하였는데 그중 태백산맥 주위의 소나무를 강송(*Pinus densiflora* for *erecta*)이라고 명명하였다. Kim 등(1993)은 강송에서 소나무와 구별이 될만한 뚜렷한 유전적 차이가 발견되지 않음을 보고하면서 강송의 특성과 이용가치를 명확히 구명하기 위하여 산지시험의 필요성을 역설하였다. 본 시험에서도 태안군 안면도 집단과 부안군 변산반도 집단이 강송의 집단과 같은 군으로 구분되어 이에 대하여는 산지시험에 대한 유전분석(동위효소 또는 DNA)으로 구명되어야 할 것으로 생각된다.

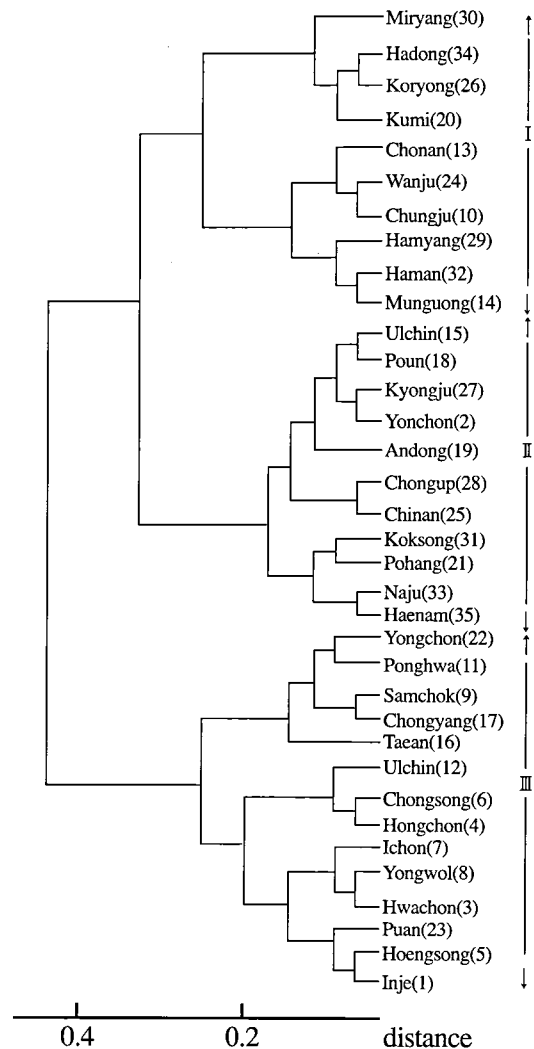


Fig. 2. Cluster analysis of natural populations with morphological traits of needles.

이상과 같은 결과들을 종합하여 볼 때 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

소나무 천연림 35집단에 대한 침엽의 형태적 특성을 조사한

바 침엽길이는 4.5~11.9cm(평균 8.8cm)이었으며, 침엽폭은 0.9~1.4cm(평균 1.2cm)이었다. 기공열수는 4.2~11.4열(평균 7.0열)이었고, 0.25mm<sup>2</sup>당 기공밀도는 11.8~30.2개(평균 20.5개)이었으며, 0.5mm당 거치밀도는 8.1~19.7개(평균 13.4개)이었다. 수지구수는 2.8개~17.8개(평균 7.5개)이었으며, 수지구 지수는 0.008~0.108(평균 0.044)이었다. 침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 기공밀도, 거치수, 수지구수가 집단간, 개체간에 많은 차이가 있었으며, 개체간의 차이가 집단간의 차이보다 더 컸다. 기공밀도는 남부지역의 집단들보다는 북부지역의 집단들이 높았으며, 표고가 낮은 지역의 집단들보다는 표고가 높은 지역의 집단들이 더 높았다. 거치수는 북부지역의 집단들보다는 남부지역의 집단들이 많았으며, 표고가 높은 지역의 집단들보다는 표고가 낮은 지역의 집단들이 더 많았다. 수지구수는 해안에서 거리가 먼 내륙의 집단들보다는 해안에서 거리가 가까운 집단들이 많았다. 그리고 수지구지수는 동부지역의 집단들보다는 서부지역의 집단들이 더 많았다. 침엽의 특성에 대한 유집분석 결과 3개 군으로 구분되었으며, 제Ⅲ군은 I, II군에 비하여 거치수는 적으며 기공밀도가 높은 태백산맥 주위의 집단들이었다.

### 적 요

우리나라의 대표적 향토수종인 소나무 침엽의 지리적 변이를 알아보기 위하여 남한 전 지역을 대상으로 위도와 경도를 30' 간격으로 교차되는 35집단을 선정하고 침엽을 채취하여 형태적 특성을 조사하였다.

침엽길이, 침엽폭, 기공열수, 기공밀도, 거치수, 수지구수가 집단간, 개체간에 많은 차이가 있었으며, 개체간의 차이가 집단간의 차이보다 더 컸다. 기공밀도는 남부지역의 집단들 보다는 북부지역의 집단들이 더 높았으며, 표고가 낮은 지역의 집단들 보다는 표고가 높은 지역의 집단들이 기공밀도가 더 높았다. 거치수는 북부지역의 집단들 보다는 남부지역의 집단들이 더 많았으며, 표고가 높은 지역의 집단들 보다는 표고가 낮은 지역의 집단들이 더 많았다. 수지구 수는 해안에서 거리가 먼 내륙의 집단들 보다는 해안에서 거리가 가까운 집단들이 더 많았다. 그리고 수지구 지수는 동부지역의 집단들 보다는 서부지역의 집단들이 더 높았다. 침엽의 형태적 특성으로 유집분석 결과 3개 군으로 구분되었으며 제Ⅲ군은 I, II군에 비하여 거치수는 적고, 기공 밀도가 높은 태백산맥 주위의 집단들이었다.

### 인용문헌

Ahn, K. Y. 1972. Studies on the species crossabilities in the genus *Pinus* and principal characteristics of F<sub>1</sub> hybrids. J. Kor. For. Soc. No. 16: 1-

- 32.
- Baldwin, H. I., E. J. Eliason and E. Donald. 1973. IUFRO Norway spruce provenance tests in New Hampshire and New York. *Silv. Genet.* 22(4): 93-114.
- Calamassi, R., S. R. Puglisi and G. G. Vendramin. 1988. Genetic variation in morphological and anatomical needle characteristics in *Pinus brutia* Ten. *Silv. Genet.* 37(5,6): 199-206.
- Chaisurisri, K., D. G. W. Edwards and Y. A. El-Kassaby. 1992. Genetic control of seed size and germination in sitka spruce. *Silv. Genet.* 41(6): 348-355.
- Choi, S. K., K. C. Kim, C. S. Hwang and K. B. Yim. 1970. The differences in number of resin canal, number of stomata row and serration density of needle between plus tree clones of *Pinus densiflora*. *Res. Rep. For. Gen. Res. Inst. Korea* 8: 7-14.
- Christophe, C. and Y. Birot. 1979. Genetic variation within and between populations of Douglas-fir. *Silv. Genet.* 28(5,6): 197-206.
- Chung, T. H. and W. C. Lee. 1965. A study of Korea woody plant zone and favorable region for the growth and proper species. *Sungkyunkwan University Dissertation* 10: 329-435.
- Fowler, D. P. 1964. Effects of inbreeding in red pine; *Pinus resinosa* Ait. *Silv. Genet.* 13(6): 170-177.
- Houston, D. B. and D. R. Houston. 1994. Variation in American beech(*Fagus grandifolia* Ehrh.): Isozyme analysis of genetic structure in selected stands. *Silv. Genet.* 43(5,6): 277-284.
- Hyun, S. K., K. H. Koo and K. Y. Ahn. 1976. Introgressive hybridization in red pine in the eastern part of South Korea. *Res. Rep. For. Gen. Res. Inst. Korea* 5: 43-52.
- Kim, Z. S., S. W. Lee, J. W. Hwang and K. W. Kwon. 1993. *Pinus densiflora* -can it be treated genetically as a distinct group-. *J. Kor. For. Soc. No.* 82(2): 166-175.
- Matziris, D. I. 1984. Genetic variation in morphological and anatomical needle characteristics in the black pine of peloponnesos. *Silv. Genet.* 33(4,5): 164-169.
- Mergen, F. 1958. Genetic variation in needle characteristics of slash pine and in some of its hybrids. *Silv. Genet.* 7(1): 1-9.
- Piedra, T. E. 1984. Geographic variation in needles, cones and seeds of *Pinus tecunumanii* in Guatemala. *Silv. Genet.* 33(2,3): 72-79.
- Salazar, R. S. 1982. Genetic variation in needles of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. from natural stands. *Silv. Genet.* 32(1,2): 52-59.
- Schlarbaum, S. E. and W. T. Bagley. 1981. Intraspecific genetic variation of *Quercus rubra* L., northern red oak. *Silv. Genet.* 30(2,3): 50-56.

- Son D. S., C. Y. Kwon and S. J. Park. 1990. The characteristics of selected trees of putative hybrid pines between *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora*. J. Kor. For. Soc. No. 79(2): 127-137.
- Stephan, B. R. and M. Liesebach. 1996. Results of the IUFRO 1982 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Southwestern Germany. Silv. Genet. 45(5,6): 342-349.
- Uyeki, H. 1928. On the physiognomy of *Pinus densiflora* growing in Korea and silvicultural treatment for its improvement. Bull. Agri. & For. Coll. Suwon. Chosen 3. pp. 263.
- Welis, O. O. 1985. Geographic variation in green ash in the southern coastal plain of the United States. Silv. Genet. 35(4): 165-169.
- Yim, K. B. and Z. S. Kim. 1975. The variation of natural population of *Pinus densiflora* S. et Z. in Korea. J. Kor. For. Soc. No. 28: 1-20.

(접수일 2007. 3. 15 ; 수락일 2007. 7. 29)