

한국산 가문비나무 자생집단의 침엽특성 변이

송정호*, 허성두, 강규석, 양병훈, 이정주

국립산림과학원 산림유전자원부

The Variation of Needle Characteristics of *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carriere Populations in Korea

Jeong-Ho Song*, Seong-Doo Hur, Kyu-Suk Kang, Byeung-Hoon Yang and Jung-Joo Lee

Division of Forest Genetic Resources, Korea Forestry Research Institute, Suwon 441-847, Korea

Abstract - The aim of this study was to examine geographic variation to support a genetic resource conservation plan of rare endemic *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carriere. Three populations of *P. jezoensis* were analysed using multivariate analysis for 7 characteristics of needle morphology. In the morphological characters, seven characters of needle were 15.11 mm (needle length), 1.43 mm (needle width), 0.42 mm (needle thickness), 10.9 (length / width of needle), 3.6 (width / thickness of needle), 0.47 mm (Distance between resin duct and vascular), 17.4 ea. (number of stomata row), respectively. Nested analysis showed that there were statistically significant differences among populations as well as among individuals within populations in 6 quantitative characters. In 5 of 7 characters, variance components among populations were higher than those among individuals within populations. Cluster analysis using complete linkage method showed two groups (Mt. Gyebang populations was genetically distinct from the other two populations) to Euclidean distance 0.4. Among principal components, primary 2 principal components appeared to be major variables because of the loading contribution of 100%.

Key words - *Picea jezoensis*, needle, multivariate analysis, conservation

서 언

가문비나무속(Genus *Picea*) 식물은 북반구의 온대와 한대에 45종이 있으며, 우리나라에는 도입종인 독일가문비(*Picea abies* (L.) H. Karst.)와 더불어 자생종인 종비나무(*P. koraiensis* Nakai), 풍산가문비나무(*P. pungsanensis* Uyeki ex Nakai), 가문비나무(*P. jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carriere)가 있다(Lee, 1990).

이중 가문비나무는 우리나라를 비롯하여 러시아, 중국, 일본에 분포하고 있으며, 높이가 40~50 m이고 지름이 1 m에 달하는 상록교목이다. 잎은 편평한 선형 예두이고 횡단면이 능형으로 두드러진 것이 특징이다. 열매는 길이 4.0~7.5 cm의 구과로 원주형이며 밑으로 늘어지고 처음에는 상향하고 있다가 나중에는 하향하게 되며, 9~10월에 녹색으로 익는다. 종자는 난형 원두이고 길이 24~30 mm

로서 흑갈색이 돌며 날개는 긴 타원형으로서 길이 7 mm 정도이다(Lee, 1990).

가문비나무는 기후적으로 한랭한 지역의 해발 약 1,500 m 이상 지역에서 정상주변 능선과 사면에 국소적으로 집단을 형성하여 분포하며 부식토가 많고 습기가 적당히 있는 곳을 좋아한다. 재질이 무게에 비하여 강할 뿐만 아니라 냄새가 없고 섬유장이 알맞게 길며 수지의 함량이 적어서 건축재, 기구재, 펄프재 등으로 적당한 조림수종이다. 남한지역에서는 덕유산, 지리산, 계방산의 암석이 많고 토양유기물이 많은 산정의 능선과 계곡부에만 자생할 정도로 그 분포가 매우 제한적이다.

가문비나무는 IUCN(세계자연보존연맹)의 분류기준에 의하면 Least Concern에 속하여 멸종의 위협정도가 높지 않은 것으로 보고되고 있으나(IUCN, 2006), 우리나라에 분포하고 있는 가문비나무 천연집단의 경우 그 규모가 작고 파편화(fragmentation)되어 있을 뿐만 아니라 기후 온난화 등으로 서식지 환경이 악화되어 보존대책의 마련이

*교신저자(E-mail) : SJH8312@forest.go.kr

시급한 실정이다(Lee *et al.*, 2008).

기후변화에 따라 우리나라 자생수종들이 맞게 될 상황은 한반도의 중 다양성 보전 측면에서 매우 중요한 문제이며, 온난화가 진행될수록 이들 고산수종들은 피난할 장소를 찾지 못하고 도태되거나 멸종될 것이다(Httenschwiler and Smith, 1999; IPCC, 2001). 최근 가문비나무는 서식환경의 악화와 개체목의 고사 및 치수발생의 어려움 등 산림쇠퇴의 징후를 보이고 있어 천연림이 점차 소멸되어 가고 있는 실정으로 유전자다양성 보존을 위한 적극적인 대책 마련이 요구되어지고 있다(Lee *et al.*, 2008).

따라서 본 연구는 우리나라의 덕유산, 지리산, 계방산에 분포하는 가문비나무 천연집단의 유전자원보존 전략 수립을 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 침엽형질의 변이 정도를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료는 지리산, 덕유산, 계방산에 분포하는 가문비나무 천연집단을 대상으로 2007년 9월 유전적 동질성을 고려하여 집단별 30 개체씩 각 개체목별로 20 m 이상의 거리를 두고 생장, 건강도 등이 양호한 성목에서 채취하였다(Table 1). 집단 당 최소한 30에서 50정도의 개체로부터 재료가 수집된다면 지역간의 유전적 차이를 충분히 포함할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Ledig, 1992). 침엽은 수관 1/3 하단부의 역지의 정단당년주지 중앙부위에서 10엽씩을 취하여 각 개체별 특성조사에 사용하였다. 조사항목은 침엽의 길이, 폭 및 두께 등 5개의 형질이며(Table 2), 이중 기공열수는 침엽의 중앙부위 裏面(평면부)을 통과하는 수를

검정하였고, 수지구의 위치는 침엽의 중앙부위에서 유관속과 수지구와의 거리를 현미경 70배율 하에서 측정하였다.

자료분석은 SAS/STAT(ver. 6.12; SAS Institute Inc. 1996) 프로그램을 이용하여 집단간 및 집단 내 개체간 유의성에 대해 Nested design에 의한 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 집단간의 유연관계는 유집분석(Complete linkage cluster analysis)을, 제 특성에 대한 유집군의 유형은 주성분분석(Principal component analysis)을 적용하였다.

결과 및 고찰

침엽특성

가문비나무 3개 천연집단의 7가지 침엽특성들에 대한 평균값과 변이계수 값은 Table 3과 같다. 침엽길이는 전체 평균 15.11 mm로 나타났으며, 집단평균은 계방산집단이 19.18 mm로 가장 크게 나타났으며 덕유산과 지리산집단은 각각 13.81 mm와 12.35 mm를 나타냈다. 침엽폭은 전체 평균 1.43 mm였으며, 집단평균은 덕유산집단이 1.52 mm로 가장 컸으며 지리산집단 1.49 mm, 계방산집단 1.28 mm로 나타났다. 침엽두께는 전체평균 0.42 mm로 나타났으며, 덕유산집단이 0.54 mm로 가장 컸으며 지리산집단 0.42 mm, 계방산집단 0.31 mm로 나타났다. 침엽길이/폭은 전체평균 10.9였으며, 계방산집단이 15.1로 가장 크게 나타났다. 침엽폭/두께는 전체평균 3.6이었으며, 계방산집단이 4.2로 가장 크게 나타났다. 유관속과 수지구와의 거리는 전체평균 0.47 mm로 집단간에 유사한 값을 나타냈다. 기공열수는 전체평균 17.4개로 나타났으며, 지리산집단이 18.5개로

Table 1. Location of *P. jezoensis* populations sampled

Populations	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Number of parents
1 Mt. Gyebang	37° 43'	128° 27'	1,150	30
2 Mt. Dokyu	35° 51'	127° 44'	1,500	30
3 Mt. Jiri	35° 19'	127° 43'	1,800	30

Table 2. Morphological traits measured on all specimens

Traits	Codes
Needle length (mm)	NL
Needle width (mm)	NW
Needle thickness (mm)	NT
Distance between resin duct and vascular (mm)	DSV
Number of stomata row (ea)	NSR

Table 3. Average values for needle morphological traits in 3 populations of *P. jezoensis*

Pop.	NL	NW	NT	NL/NW	NW/NT	DSV	NSR
1	19.18 ^A (15.9)	1.28 ^C (9.6)	0.31 ^C (18.7)	15.1 ^A (16.6)	4.2 ^A (16.4)	0.47 ^A (12.8)	16.4 ^C (12.8)
2	13.81 ^B (17.0)	1.52 ^A (13.6)	0.54 ^A (21.1)	9.3 ^B (21.8)	2.9 ^C (20.5)	0.46 ^A (17.5)	17.2 ^B (16.5)
3	12.35 ^C (16.9)	1.49 ^B (10.1)	0.42 ^B (19.3)	8.3 ^C (16.2)	3.7 ^B (22.9)	0.47 ^A (14.4)	18.5 ^A (10.4)
Mean	15.11 (16.6)	1.43 (11.1)	0.42 (19.7)	10.9 (18.2)	3.6 (19.9)	0.47 (14.9)	17.4 (13.2)

Pop., Code, and () : As in Table 1, 2 and Coefficient of variation, respectively.

** : Different letters indicate Duncan's multiple range tests (Significant at $p < 0.01$).

가장 컸으며 덕유산집단 17.2개, 계방산집단 16.4개로 나타났다.

가문비나무의 7가지 침엽형질에 대한 변이계수 값을 살펴보면 대체적으로 20% 내외의 비교적 작은 값을 나타냈으며, 집단별로는 덕유산집단의 침엽형질의 변이가 다소 높은 것으로 나타났다.

가문비나무보다 다소 낮거나 비슷한 고산지대에 분포하며 형태적으로 비슷한 침엽특성을 보이는 분비나무와 구상나무는 침엽의 길이, 폭, 두께, 침엽길이/폭, 수지구거리, 기공열수 특성에 있어 분비나무의 경우 각각 18.17 mm, 1.75 mm, 0.39 mm, 10.51, 0.53 mm 및 14.1개, 구상나무의 경우 각각 14.13 mm, 1.87 mm, 0.46 mm, 7.74, 0.45 mm 및 12.0개로 가문비나무의 특성과는 많은 차이를 나타냈다(Song *et al.*, 2007).

조사된 7가지 침엽특성들에 대한 상관분석 결과 침엽길이와 침엽길이/폭 특성에서만 정의 상관($r=0.997^*$)을 보였으며, 지리적 분포에 있어서는 위도만 침엽길이($r=0.997^*$)와 침엽길이/폭($r=1.0^{**}$) 특성과 높은 정의상관을 나타냈다.

대체적으로 침엽 특성 중 침엽길이, 침엽길이/폭, 침엽 폭/두께에서는 계방산집단이 우수한 것으로 나타났으며, 침엽의 폭과 두께는 덕유산집단이, 기공열수는 지리산집단이 가장 많은 특성을 보였다. 전체적으로 계방산집단의 침엽은 다소 길고 가늘며 얇은 반면 덕유산과 지리산집단의 가문비나무의 침엽은 다소 짧고 넓으며 두꺼운 것으로 나타났다. 기공열수는 산지나 입지환경조건 등에 따라 많은 차이를 보이며 건조한 지역에 비해 수분이 양호한 지역이 많은 것으로 알려져 있는데(KFRI, 1999), 지리산이나 덕유산의 가문비나무집단에 비해 계방산집단은 작은 기공열수를 보여 다소 건조한 환경조건을 갖추고 있음을 알 수 있다.

다변량 분석

7가지 양적특성들에 대한 집단간 및 집단 내 개체간의 유의적인 차이에 대한 Nested 분산분석을 실시한 결과는 Table 4와 같다. 분산분석 결과 유관속과 수지구와의 거리 특성을 제외한 6가지 침엽 특성들에서 집단간 및 집단내의

Table 4. Summary of Nested analysis of variance for needle morphological traits in *P. jezoensis*

Variable	Mean square			Variance component(%)		
	AP	AIWP	Error	AP	AIWP	Error
NL	3577.47**	57.90**	1.28	65.4	28.2	6.4
NW	5.16**	0.11**	0.02	40.5	20.0	39.5
NT	4.29**	0.03**	0.01	66.7	12.0	21.3
NL/NW	3788.20**	31.84**	1.52	75.5	16.3	8.2
NW/NT	141.23**	1.86**	0.33	51.8	15.3	32.9
DSV	0.005	0.017**	0.003	0.0	31.7	68.3
NSR	261.00**	35.61**	2.45	12.7	50.2	37.1

AP: Among populations, AIWP: Among individuals within populations, **: Significant at $p < 0.01$, Codes for the morphological traits are given in Table 2.

개체 간에 1% 유의수준에서 통계적인 고도의 유의성이 인정되었다. 특히, 침엽의 길이, 폭 및 두께와 침엽길이/폭, 침엽폭/두께 특성은 총 분산 가운데 집단이 차지하는 비율이 집단 내 개체가 차지하는 분산성분보다 높은 것으로 나타났다으며, 유관속과 수지구와의 거리, 기공열수는 집단 내 개체가 차지하는 분산성분이 집단이 차지하는 분산성분에 비해 큰 것으로 나타났다.

대체적으로 가문비나무의 침엽특성은 대부분 집단간 차지하는 분산성분이 집단내 개체가 차지하는 분산성분에 비해 크게 나타남으로써 각 집단이 위치한 지역의 환경 인자에 의해 많은 영향을 받는 것으로 추정되었다. 이는 분비나무와 구상나무의 침엽의 형태적 특성의 경우 대부분 집단 내 개체간 차지하는 분산성분이 높은 것으로 나타난 반면 수지구의 위치, 기공열수와 같은 해부학적특성들은 환경 인자에 더 많은 영향을 받는다는 보고(Song *et al.*, 2007)와 우리나라 자생 소나무의 침엽특성 변이는 침엽길이 등 6개 형질에서 모두 개체간 변이가 집단간의 변이보다 더 크게 나타났다는 보고(Lee *et al.*, 2007)와는 상이한 경향을 나타냈다. 또한 희귀수종 모감주나무 집단의 엽형변이는 대부분 개체 간보다는 집단간 차이에 기인한다는 결과와(Lee *et al.*, 1997) 유사한 경향을 나타냈다.

7가지 침엽특성에 의한 유집분석을 실시한 결과는 Fig. 1과 같다. 덕유산과 지리산집단이 Euclidean distance 0.4에서 1차적으로 유집된 후 계방산집단과 2차적으로 유집된 결과를 보여 덕유산집단과 지리산집단들의 개체들이 서로 유연관계가 높은 것으로 사료된다. 이는 위도 및 해발고 분포 특성상 덕유산과 지리산은 매우 비슷한 반면 계방산은 두 집단들과 비교해 높은 위도와 낮은 고도에 분포하고 있

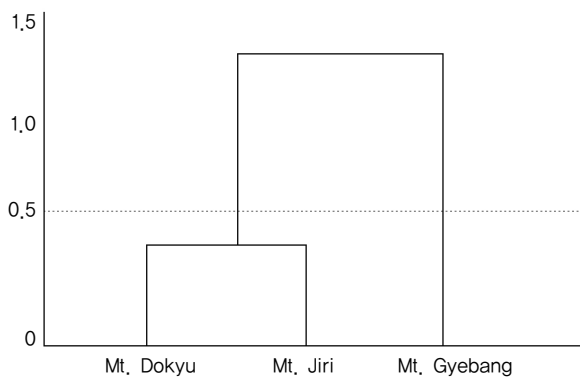


Fig. 1. Dendrogram by complete linkage method using needle traits for *P. jezoensis*.

어 각 집단이 위치한 환경적인 영향을 많이 받은 것으로 사료되며 Nested 분석 결과와도 일치한다. 이러한 결과는 Lee *et al.*(2008)이 가문비나무 천연집단의 Isozyme 분석에서 전체 유전변이 가운데 집단간 차이는 4.7%로 대부분의 유전변이는 집단내 개체간 차이로부터 기인한 것으로 보고한 결과와는 다소 상이하나 유전적 거리에 의한 유집 분석 결과 계방산집단이 별개의 그룹을 형성하여 지리산과 덕유산집단과는 상이한 독특한 유전구조를 갖는다는 결과와는 일치한다.

집단간의 유연관계에 대한 7가지 침엽 형질들의 기여도를 추정하기 위한 주성분분석 결과는 Table 5와 같다. 제2주성분까지가 Eigenvalue 1.0 이상으로 전체 변이의 100%를 설명하고 있음을 알 수 있다. 제1주성분의 기여율은 75.7%로 침엽길이, 침엽길이/폭 인자가, 제2주성분의 기여율은 24.3%로 유관속과 수지구와의 거리, 기공열수 인자가 가문비나무 침엽 특성 분류에 중요한 정보를 주는 요인으로 나타났다.

수종별 엽의 형태적 특성에 대한 주성분분석 결과 노각나무는 제5주성분까지 91.3%(Kim *et al.*, 2005), 마가목은 제2주성분까지 88.1%(Kim *et al.*, 2003), 음나무는 제4주성분까지 79.4%(Ahn *et al.*, 2002), 분비나무와 구상나무는 제3주성분까지 66.0%(Chang *et al.*, 1997)였다는 보고와 비교해 가문비나무는 전체 분산에 대한 설명력이 매우 높으며 수종 간에 많은 차이를 나타냈다.

Table 5. Results of principal component analysis of needle traits for *P. jezoensis*

Variable	Prin1	Prin2
NL	0.4016	-0.2924
NW	-0.4332	0.0549
NT	-0.4062	-0.2717
NL/NW	0.4125	-0.2402
NW/NT	0.3911	0.3338
DSV	0.2832	0.5816
NSR	-0.2877	0.5747
Eigenvalue	5.3005	1.6994
Difference	3.6011	1.6994
Proportion	0.7572	0.2428
Cumulative	0.7572	1.0000

Codes for the morphological traits are given in Table 2.

결론

가문비나무의 유전자원보존 전략 수립을 위해 3개 천연 집단의 지리적 위치에 따른 침엽의 형태적 특성을 조사한 결과 6가지 특성들에서 집단간 및 집단내의 개체 간에 통계적인 고도의 유의성이 인정되었다. 침엽은 수종을 분류하는데 중요한 특징 중의 하나이며, 가문비나무의 평균생장은 침엽길이 15.11 mm, 침엽폭 1.43 mm, 침엽두께 0.42 mm, 침엽길이/폭 10.9, 침엽폭/두께 3.6, 유관속과 수지구거리 0.47 mm, 기공열수 17.4개로 나타났다. 전체적으로 침엽 특성 중 침엽길이, 침엽길이/폭, 침엽폭/두께에서는 계방산집단이 우수한 것으로 나타났으며, 침엽의 폭과 두께는 덕유산집단이, 기공열수는 지리산집단이 가장 많은 특성을 보였다. 침엽특성들에 대한 변이계수 값은 대체적으로 모든 형질들에서 20% 내외의 비교적 낮은 값을 나타냈다. 지리적 위치에 따른 상관에서는 위도에서만 침엽길이($r=0.997^*$)와 침엽길이/폭($r=1.0^{**}$) 특성과 각각 높은 정의 상관을 보였다.

Nested 분산분석 결과 침엽의 길이, 폭 및 두께와 침엽 길이/폭, 침엽폭/두께 특성은 총분산 가운데 집단이 차지하는 비율이 집단내 개체가 차지하는 분산성분보다 높은 것으로 나타나 집단이 위치한 지역의 환경인자에 많은 영향을 받는 것으로 추정되었다.

집단간 유연관계는 거리지수 0.4에서 계방산집단이 지리산과 덕유산집단과 별개의 상이한 그룹을 형성하여 유전 변이분석결과에서(Lee et al., 2008)와 동일한 경향을 나타냈다. 유집군의 유형은 제2주성분까지가 전체 변이 100%를 설명하였다. 제1주성분의 기여율은 75.7%로 침엽길이, 침엽길이/폭 인자가, 제2주성분의 기여율은 24.3%로 유관속과 수지구와의 거리, 기공열수 인자가 가문비나무 침엽 특성 분류에 중요한 정보를 주는 요인으로 나타났다.

이상과 같이 가문비나무 유전자원의 현지내외 보존은 침엽길이 특성이 우수하고 동위효소 유전변이분석에서 다른 집단들과는 상이한 독특한 유전변이 구조를 갖는 계방산집단(Lee et al., 2008)을 우선으로 하는 것이 바람직하다. 그러나 계방산 가문비나무의 집단은 지리산과 덕유산 집단들에 비해 그 분포면적이 대단히 협소하며, 개화결실이 불량하여 종자에 의한 번식이 거의 없는 실정이므로 지구온난화에 따른 개체수 감소, 고립현상 등을 감안할 때 가문비나무 전체 집단을 대상으로 현지내외보존을 진행 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

적요

가문비나무의 유전자원 보존 전략 수립을 위해 3개 집단의 지리적 위치에 따른 침엽의 7가지 형태적 특성에 대한 변이를 조사하고 다변량분석을 실시하였다. 침엽의 평균생장은 침엽길이 15.11 mm, 침엽폭 1.43 mm, 침엽두께 0.42 mm, 침엽길이/폭 10.9, 침엽폭/두께 3.6, 유관속과 수지구와의 거리 0.47, 기공열수 17.4개로 나타났다. Nested 분산분석 결과 유관속과 수지구와의 거리 특성을 제외한 6가지 양적특성들에서 집단간 및 집단 내 개체 간에 유의적인 차이를 보였으며, 대부분의 형질들은 총 분산 가운데 집단 내 개체 간 보다는 집단간 차지하는 비율이 큰 것으로 나타났다. 7가지 양적특성들에 대한 집단간 유연관계는 거리지수 0.4에서 계방산집단이 지리산과 덕유산집단과는 별개의 상이한 그룹을 형성하였으며, 유집군의 유형은 제2주성분까지가 전체 변이의 100%를 설명하였다.

인용문헌

- Ahn, Y.S., S.H. Kim, H.K. Jung, Y.S. Jang, Y.C. Choi and K.I. Oh. 2002. The variation of leaf characters among natural populations of *Kalopanax septemlobus* Koidz. Journal of Korean Forest Society 91(6): 755-764.
- Chang, C.S., J.I. Jeon and J.O. Hyun. 1997. An analysis of morphological variation in *Abies koreana* Wilson and *A. nephrolepis* (Traut.) Maxim. of Korea (Pinaceae) and their phylogenetic problems. Journal of Korean Forest Society 86(3): 378-390.
- Httenschwiler, S. and W.K. Smith. 1999. Seedling occurrence in alpine treeline conifers: A case study from the central Rocky Mountains, USA. Acta Oecologica 20(3): 219-224.
- IPCC. 2001. Technical summary-Climate change 2001: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-Technical Analyses. pp. 73.
- IUCN. 2006. IUCN Red List of Threatened Species. WWW. iucnredlist.org.
- Kim, S.H., Y.S. Jang, H.G. Chung, H.S. Park, and K.J. Cho. 2003. Leaf morphological characteristics of *Sorbus commixta* Hedl. selected populations. Journal of Korean Forest Society 92(5): 488-486.
- Kim, Y.J., K.C. Kim, B.S. Lee, G.Y. Lee, K.J. Cho, J.T. Kang and T.D. Kim. 2005. The variation of leaf characters in 6 natural populations of *Stewartia koreana* Nakai. Journal of Korean Forest Society 94(6): 446-452.

- Korea Forest Research Institute (KFRI). 1999. *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. Samwo Pub. Co. Seoul. pp. 205.
- Ledig, F.T. 1992. A comprehensive strategy for the conservation of forest genetic resources. pp. 325-344. In: New Horizons in Agricultural Sciences. Proceedings of the International Symposium on The Development of Natural Resources and Environmental Preservation. October 13-18., 1992, Korea University, Seoul, Korea.
- Lee, C.H., C.H. Shin and K.S. Kim. 2007. Geographic variation in needle characteristics of *Pinus densiflora* in Korea. Korean Journal of Plant Resources 20(4): 336-341.
- Lee, S.W., B.H. Yang, S.D. Hur, J.J. Lee, J.H. Song and Y. Moriguchi. 2008. Genetic diversity and structure of natural populations of *Picea jezoensis* in South Korea. Journal of Korean Forest Society 97(2): 187-195.
- Lee, S.W., S.C. Kim, W.W. Kim, S.D. Han and K.B. Yim. 1997. Characteristics of leaf morphology, vegetation and genetic variation in the endemic populations of a rare tree species, *Koelreuteria paniculata* Laxm. Journal of Korean Forest Society 86(2): 167-176.
- Lee, C.B. 1990. Dendrology. Hangmoon Pub. Co., Seoul. pp. 331.
- Song, J.H, J.J. Lee, K.Y. Lee, J.C. Lee and Y.Y. Kim. 2007. Variation in needle morphology of natural populations of *Abies nephrolepis* Maxim. and *A. koreana* Wilson in Korea. Journal of Korean Forest Society 96(4): 387-392.

(접수일 2008.9.5; 수락일 2009.1.10)