

韓國産 가문비나무 自生集團의 毬果, 種子 및 發芽特性 變異

송정호*, 장경환, 김두현, 임효인

국립산림과학원 산림자원육성부

The Variation of Cone, Seed and Germination Characteristics of *Picea jezoensis* (Siebold & Zuccarini) Carrière Populations in Korea

Jeong-Ho Song*, Kyung-Hwan Jang, Du-Hyun Kim and Hyo-In Lim

Department of Forest Resources Development, Korea Forestry Research Institute, Suwon 441-847, Korea

Abstract - This study was conducted to investigate the variation of cone, seed and germination characteristics among populations and among individuals within populations of *Picea jezoensis*(Siebold & Zuccarini) Carrière distributed in Korea. Cone collected from 25 trees in two natural populations(Mt. Jiri and Mt. Dokyu) and their thirteen cone and seed characteristics as well as three germination behaviors were analyzed. Statistical analysis showed significant differences among populations and among individuals within populations in 9 traits except for seed breadth, seed weight, index of seed wing and mean germination time. Generally, morphological variation of cone and seed wings from Mt. Jiri population has smaller and longer than those of Mt. Dokyu population. Percentage of sound seeds and Tetrazolium test from Mt. Jiri population showed 1.79 and 1.87 higher values than Mt. Dokyu population, respectively. The maximum germination percentage was obtained at the optimum temperature of 20 °C and in this case, mean germination time and germination rate showed 7.5 days and 2.9 ea./day, respectively. In seed germination behaviors, percentage(40.7%) and rate(0.90 ea./day) of germination in Mt. Jiri population were more higher and faster than those of Mt. Dokyu population(17.7%, 0.37 ea./day). According to correlation analysis, *P. jezoensis* populations with small restricted distribution may have been reduced because seed qualities were correlated with increased levels of inbreeding and disproportion flowering.

Key words - *Picea jezoensis*, Natural population, Variation, Cone, Seed, Germination

서 언

가문비나무(*P. jezoensis*(Siebold & Zuccarini) Carrière)는 우리나라를 비롯하여 러시아, 중국, 일본에 분포하고 있으며(Lee, 1990; Krestov and Nakamura, 2002; IUCN, 2010), 수고가 40~50 m이고 지름이 1 m에 달하는 상록교목으로 재질이 무게에 비하여 강할 뿐만 아니라 냄새가 없고 섬유장이 길며 수지의 함량이 적어서 건축재, 기구재, 펄프재 등으로 적합한 조림수종이다(Lee, 1990).

가문비나무는 기후적으로 한랭한 지역의 해발 약 1,500 m 이상 지역에서 정상주변 능선과 사면에 국소적으로 집단을 형성하며 부식토가 많고 습기가 적당히 있는 곳에 분포한다. 남한지역에서는 덕유산, 지리산 및 계방산의 암석과

토양유기물이 많은 산정의 능선과 계곡부에서만 자생할 정도로 그 규모가 작고 파편화(fragmentation)되어 있을 뿐만 아니라 최근 기후 온난화 등으로 서식지 환경의 악화와 개체군의 고사 및 치수발생의 어려움 등 산림쇠퇴의 징후를 보이고 있어 가문비나무 천연림이 점차 소멸되어 가고 있는 실정이다(Kobayashi *et al.*, 1997; Fujiwara *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2008; KNA, 2009).

세계자연보존연맹(IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resource)의 적색 목록(Red List) 평가기준에 의하면 약관심종(LC, Least Concern)으로 구분되어 멸종의 위협정도가 높지 않은 것으로 보고되고 있으나(IUCN, 2010), 우리나라 가문비나무에 대해 IUCN에서 제시한 평가기준을 적용한 결과 멸종의 위험이 증대되고 있는 취약종(Vulnerable, VU)으로 분류

*교신저자(E-mail) : sjh8312@forest.go.kr

되고 있어 적극적인 보존대책이 요구되고 있다(KNA, 2009). 가문비나무에 대한 연구를 살펴보면, Kobayashi *et al.* (1997)은 일본 홋카이도 산업지역 가문비나무의 연륜연대학적 분석을 통해 환경오염과 수분스트레스에 대한 생장쇠퇴 현상을 보고하였으며, Nakagawa *et al.* (2003)은 가문비나무의 개엽시기는 조림지에서 종자산지의 고도에 따른 경사변이가 관찰되지 않았으나 조림지 환경에 따라 많은 차이를 보이며 조림지에서 霜害(spring frost damage)의 피해가 큰 문제가 되고 있는 것으로 보고하였다. Iijima and Shibuya(2009)는 가문비나무의 천연갱신이 종자산지뿐만 아니라 환경적인 영향도 많이 받으며, 홋카이도 지역에서 천연갱신은 임상(林床, forest floor)이 아닌 광조건의 쓰러진 고사목에서만 이루어지고 있음을 보고하였다. Potenko(2007)는 러시아 12개 집단을 대상으로 동위효소 분석을 실시한 결과 대부분의 유전변이는 집단내 개체간 차이로부터 기인하며, 다른 침엽수나 가문비나무류와 비교했을 때 적은 유전변이를 보유하고 있는 수종으로 보고하였다. Aizawa *et al.* (2007)은 러시아, 중국, 한국(지리산 집단), 일본에 분포하는 가문비나무 33개 천연집단의 미토콘드리아 DNA변이를 조사한 결과 한국의 지리산 집단이 다른 지역에서는 발견할 수 없는 독특한 미토콘드리아 DNA변이를 갖는다고 보고하였다. 특히, 우리나라 가문비나무 천연집단에 대해 Lee *et al.* (2008)은 동위효소 분석을, Moriguchi *et al.* (2009)은 미토콘드리아와 엽록체 DNA변이를 조사한 결과 계방산 집단의 경우 덕유산과 지리산 집단에서 발견할 수 없는 독특한 유전구조를 가지고 있어 보존 가치가 매우 높은 것으로 보고하였다. 또한 Song *et al.* (2009)도 7개 침엽형질에 대한 변이분석을 실시한 결과 대부분의 형질이 집단내 개체간 보다는 집단간 차지하는 분산성분이 큰 것으로 나타났으며, 계방산 집단이 지리산과 덕유산 집단과는 다른 별개의 유집군을 형성하는 것으로 보고하였다. 이와 같이 우리나라 가문비나무 집단은 세계적으로 독특한 유전적인 특성과 구조를 가지고 있어 그 보존 가치가 매우 높으므로 우리나라 전체 집단을 대상으로 현지내외의 보존 대책을 마련하는 것이 바람직할 것이다.

현재 덕유산과 지리산 가문비나무 집단은 국립공원 특별보호지역으로서 보호·관리되고 있으며, 유전구조가 특이하여 보존가치가 매우 높은 계방산집단의 경우는 유전자 보존을 위하여 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률에 의거 2010년 산림유전자원보호구역으로 지정되어 현지내외 보존림으로서의 역할을 하고 있다(Lee *et al.*, 2008). 그러나 고산수종인 가문비나무는 현재 급격하게 가속화되고 있는 온난화 현상에 의한 개체수 감소, 고립화 현상, 개화 및 종자결실의 저하를 가져와 유전자원 소멸을 초래할 가능성이 매우 높으므로 자생지 보존과 더불어 시설저장이나 자생지 환경과 유사한 피난처 조성 등 현지외의 보존의 중요성이 더욱 증대되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 우리나라 가문비나무 천연집단의 현지외 유전자원 보존전략 수립을 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 구과, 종자 및 발아특성에 대한 집단간 및 집단내 개체간 변이를 구명하는데 있다.

재료 및 방법

공시재료

가문비나무 천연집단(덕유산집단, 지리산집단)을 대상으로 2009년 9월 구과결실이 좋고 생장, 건강도 등이 양호한 성목에서 채집을 행하였으며, 지리산 15개체, 덕유산 10개체 총 25본의 개체목에서 구과를 채취하여 사용하였다 (Table 1).

구과, 종자, 발아특성 조사

채취된 구과는 개체목별로 20개씩 임의로 구과의 길이, 폭, 무게 및 구과지수(길이/폭)를 조사하였다. 또한 구과의 중간부위에서 20립씩 종자의 길이, 폭, 무게 및 지수(길이/폭), 종자날개의 길이, 폭 및 지수(길이/폭)에 대한 특성을 각각 조사하였다(Table 2). 종자충실율은 절단법(Embryo excision)을, 종자활력은 테트라졸리움법(Tetrazolium test)을 이용하여 각각 구과별로 10립씩 3반복 조사하였다.

발아특성 조사를 위하여 실험전 1% sodium hypochlorite

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

Populations	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Sample trees (ea.)
Mt. Dokyu	35° 51'	127° 44'	1,500	10
Mt. Jiri	35° 17'	127° 04'	1,610	15

용액에 5분 정도 침지한 후 증류수로 깨끗이 세척하였다. 치상은 종자를 2일간 침수처리 한 후 Petri-dish에 여과지(Whatmann No. 2) 2매를 깔고 멸균수를 넣어 적습상태가 유지된 조건의 종자 발아상에서 각각의 처리당 25립씩 4반복으로 처리하였다. 발아적온은 광조건 하의 15, 20, 25, 30 °C 조건에서, 집단별 개체별 발아특성은 조사된 발아적온에 각각 치상하여 조사하였다. 종자의 활력은 발아개시 후부터 유근이 2 mm 이상 출현하였을 때를 발아한 것으로 간주하고 매일 발아된 종자의 개수를 조사하여 Scott *et al.*(1984)의 방법으로 발아율(GP = Germination Percentage), 평균발아소요일수(MGT = Mean Germination Time) 및 발아속도(GR = Germination Rate)를 산출하였다.

자료분석은 SAS/STAT(ver. 6.12; SAS Institute Inc, 1996) 프로그램을 이용하여 집단간 및 집단 내 개체간 유의성에 대해 ANOVA Analysis에 의한 분산분석을, 종자 및 구과특성이 종자활력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상관분석(Simple correlation analysis)을 실시하였다.

Table 2. Cone and seed characteristics measured on all specimens

Traits	Abbreviation
Cone Length (mm)	NL
Cone Width (mm)	CWI
Cone Weight (g)	CWE
Cone Index (Length/Width)	CI
Seed Length (mm)	SL
Seed Breadth (mm)	SB
Seed Weight (g)	SW
Seed Index (Length/breadth)	SI
Length of Seed Wing (mm)	LSW
Width of Seed Wing (mm)	WSW
Index of Seed Wing (Length/Width)	ISW
Percentage of Sound Seeds (%)	PSS
Tetrazolium test (%)	TTC

Table 3. Anova analysis for cone and seed characteristics of *P. jezoensis*

	CL	CB	CW	CI	SL	SB	SW	SI	LSW	WSW	ISW	PSS	TTC
AP	161.5**	560.9**	77.3**	35.1**	76.9**	0.2	3.2	29.9*	26.8**	21.1**	0.7	1177.5**	349.8**
AIWP	44.2**	19.5**	42.0**	24.3**	15.2**	5.3**	6.2**	6.4**	25.8**	16.5**	15.4**	213.9**	47.5**

AP: Among populations, AIWP: Among individuals within populations, *: Significant at p<0.01, Abbreviation is given in Table 2.

결과 및 고찰

구과 및 종자 특성

가문비나무 구과는 원통형 또는 원통상 타원형으로 밑으로 처져 달리며, 종자는 난형으로서 끝이 둥근 형태를 나타냈다. 구과 및 종자의 13가지 특성들에 대한 집단간 및 집단내 개체간 변이는 종자폭, 종자무게 및 종자날개 지수 특성을 제외한 나머지 특성들에서 집단간 유의적인 차이를 보였으며, 집단내 개체간에는 모든 특성들에서 통계적인 유의성이 인정되었다(Table 3).

집단 특성을 살펴보면 구과길이, 구과폭, 구과무게, 종자길이, 종자지수, 날개길이, 날개폭 특성들은 덕유산 집단이 지리산 집단에 비해 1.01~1.09배 정도 형질이 우수한 특성을 보인 반면 구과지수, 종자날개지수, 충실율, TTC 활력 특성들은 상반된 경향을 보였으며, 종자폭, 종자무게 및 종자날개지수 특성들에서는 유사한 경향을 나타냈다. 대체적으로 구과 및 종자날개의 형태적 특성은 지리산집단이 작기는 하지만 긴 경향을 보인 반면 종자특성은 덕유산 집단이 크며 긴 형태를 나타냈다. 또한, 종자충실율과 TTC 활력은 덕유산 집단에 비해 지리산 집단이 각각 1.79배와 1.87배 정도 우수하여 집단간의 차이를 나타냈다.

가문비나무의 구과 및 종자의 평균특성은 각각 구과길이 34.8 mm, 구과폭 15.8 mm, 구과무게 4.22 g, 구과지수 2.22 mm, 종자길이 3.09 mm, 종자폭 1.62 mm, 종자지수 1.92, 종자무게 0.01 g, 날개길이 7.25 mm, 날개폭 3.11 mm, 날개지수 2.35, 충실율 15.6%, TTC 활력 39.5%로 나타났다(Table 4). 특히, 형질특성에 대한 변이계수 값을 살펴보면 종자무게, 구과무게, 충실율 및 TTC 활력 특성들이 36.3%~45.6% 범위로 집단내 개체간 차이가 큰 형질들로 나타났으며, 나머지 특성들은 10.0~16.4%의 비교적 변이가 작은 값을 나타냈다.

Thomas *et al.*(2006)은 *Pinus strobus* 종자특성에서, Ganatsas *et al.*(2008)은 *Pinus pinea* 구과, 종자 및 발

Table 4. Average values for cone and seed characteristics of *P. jezoensis* populations

Populations		CL	CWI	CWE	CI	SL	SB	SW
Mt. Dokyu	Mean	36.8	17	4.58	2.16	3.19	1.63	0.01
	S.D.	6.8	1.6	1.9	0.4	0.34	0.18	0.01
	C.V.(%)	18.5	9.6	41.5	16.4	10.5	10.8	43.6
Mt. Jiri	Mean	32.9	14.5	3.85	2.27	2.99	1.62	0.01
	S.D.	4.7	1.5	1.2	0.3	0.3	0.19	0.01
	C.V.(%)	14.2	10.4	31.1	11.4	10.1	11.5	47.5
Mean	Mean	34.8	15.8	4.22	2.22	3.09	1.62	0.01
	S.D.	5.7	1.6	1.6	0.3	0.32	0.18	0.01
	C.V.(%)	16.4	10	36.3	13.9	10.3	11.2	45.6
Populations		SI	LSW	WSW	ISW	PSS	TTC	
Mt. Dokyu	Mean	1.98	7.39	3.18	2.34	11.2	27.5	
	S.D.	0.24	0.7	0.32	0.3	4.1	8.9	
	C.V.(%)	12.2	9.4	10.1	12.9	36.5	32.2	
Mt. Jiri	Mean	1.86	7.11	3.05	2.36	20	51.4	
	S.D.	0.25	0.93	0.45	0.35	10	23.8	
	C.V.(%)	13.3	13.1	14.7	15	50.1	46.3	
Mean	Mean	1.92	7.25	3.11	2.35	15.6	39.5	
	S.D.	0.24	0.81	0.38	0.33	7.1	16.3	
	C.V.(%)	12.8	11.3	12.4	13.9	43.3	39.3	

Abbreviation is given in Table 2.

Table 5. Average values for seed germination behaviors of *P. jezoensis* in different temperatures

Temperature (°C)	Germination percentage (%)	Mean Germination Time (days)	Germination Rate (ea./days)
10	31.3 ± 0.3	18.0 ± 2.8	0.9 ± 0.9
15	24.0 ± 0.1	8.1 ± 0.5	1.5 ± 0.9
20	39.0 ± 0.4	7.5 ± 0.2	2.9 ± 2.6
25	35.3 ± 0.2	8.3 ± 2.3	2.8 ± 2.1
30	28.5 ± 0.2	11.6 ± 6.7	0.6 ± 0.6

아특성에서 집단간 및 집단내의 개체간에 유의적인 차이가 있음을 보고한 바 있어 본 연구결과와 동일한 경향을 나타냈다. 또한 국내 가문비나무 천연집단을 대상으로 Song *et al.*(2009)은 대부분의 침엽특성들이 집단내 개체간 보다는 집단간 변이정도가 큼을, Lee *et al.*(2008)은 유전다양성을 추정할 결과 다른 침엽수나 가문비나무류와 비교했을 때 적은 유전변이를 보유하고 있으며, 대부분의 유전변이는 집단내 개체간 차이로 기인한 것으로 보고한 바 있다.

발아 특성

가문비나무 종자의 발아패턴을 살펴보면 대체적으로 치상 후 4일부터 최초 발아가 시작되었으며 치상 후 10일 정도면 거의 발아가 완료되는 것으로 나타났다(Fig. 1). 발아에 미치는 온도조건의 영향은 20 °C에서 가장 높은 39.0%

의 발아율을 보였으며, 이때의 평균발아일수는 7.5일로 가장 짧았으며, 발아속도도 2.9개/일로 가장 높게 나타나 가문비나무의 종자 발아적온인 것으로 추정된다(Table 5).

가문비나무의 발아적온에서 집단간 및 집단내 개체간 변이를 조사한 결과 발아율과 발아속도 특성에서만 집단간 및 집단내의 개체 간에 유의적인 차이가 인정되었다(Table 6). 발아율은 지리산 집단이 40.7%로 덕유산 집단 17.7%에 비해 2.3배 정도 활력이 높은 것으로 나타났으며, 발아속도는 지리산 집단이 0.90개/일로 덕유산 집단 0.37개/일에 비해 2.4배 정도 빠른 것으로 나타났다(Fig. 2). 발아특성에 대한 변이계수 값은 발아속도 57.1%, 발아율 55.1%로 집단내 개체간 변이가 큰 형질로 나타난 반면 평균발아속도는 14.6%의 비교적 낮은 변이폭을 보였다. 특히, 발아율이 증가할수록 발아속도가 빨라지는 정의 상관관계를 나

Table 6. Values of analysis variance for germination behaviors

Sources	Germination Percentage	Mean Germination Time	Germination Rate
Among populations	0.277*	4.206	1.511*
Among individuals within populations	0.099**	3.869	0.561**

* and ** mean statistically significant at p<0.05 and p<0.01.

Table 7. Simple correlation analysis among germination behaviors

Variables	Mean Germination Time	Germination Rate
Germination Percentage	-0.194	0.951**
Mean Germination Time		-0.362

** : Significant at p<0.01.

Table 8. Simple correlation analysis between seed qualities and morphological characters

	CL	CB	CW	CI	SL	SB	SW	SI	LSW	WSW	ISW	PSS
PSS	-0.203	-0.422	-0.185	0.148	-0.497*	-0.138	-0.189	-0.428*	-0.277	-0.026	-0.262	-
TTC	-0.438*	-0.518*	-0.366	-0.068	-0.411	-0.094	0.063	-0.334	-0.173	-0.039	-0.091	0.253

Abbreviation is given in Table 2, * : Significant at p<0.05.

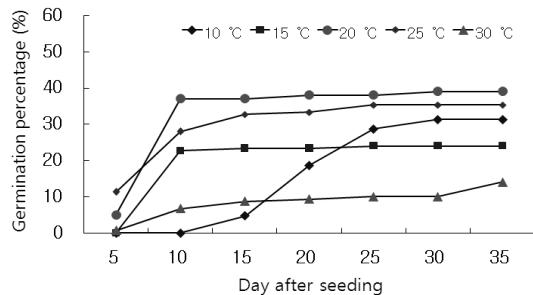


Fig. 1. Effect of temperature on seed germination of *P. jezoensis*.

타냈다(Table 7). 임목종자 품질 기준에 따르면 가문비나무는 58% 발아율을 보이는 것으로 보고되고 있는데 본 연구결과에서는 다소 낮은 값을 나타내었으며 집단간 및 연도 간에 차이가 큰 것으로 나타났다(FRI, 1994).

종자 및 구과특성과 종자활력에 대한 상관분석

종자 및 구과특성이 종자활력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상관분석을 실시한 결과 충실율은 종자 길이가 길어지고 종자지수가 커질수록, TTC 활력은 구과의 길이와 폭이 커질수록 각각 낮아지는 부의 상관관계를 나타냈다(Table 8). 일반적으로 임목종자는 종자의 중량이 무겁고 형태가 큰 개체일수록 발아특성이 양호하며 초기생장도 우

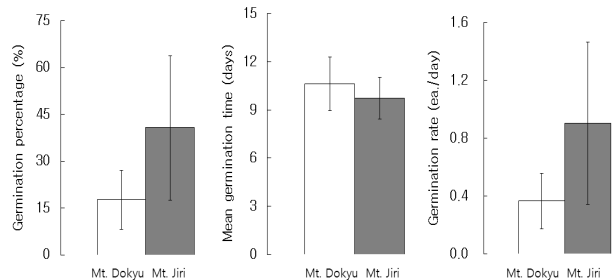


Fig. 2. Seed germination behaviors of *P. jezoensis* populations.

수한 것으로 보고되고 있으나(Khan *et al.*, 1999; Navarro and Guitian, 2003; Choi *et al.*, 2007) 본 연구결과에서는 상반된 경향을 나타내었다. Ganatsas *et al.*(2008)은 소나무속에 대한 연구에서 종자의 활력은 구과 및 종자의 형태적 특성보다는 임분의 연령, 수관의 울폐도 및 임분의 서식환경에 따라 차이가 난다고 보고하였으며, Baskin and Baskin(1998)은 가문비나무속의 종자발아에 영향을 미치는 요인으로 위도, 고도 및 토양의 습도를 보고한 바 있다. 또한 Park *et al.*(2010)은 한국, 중국, 러시아 및 일본 등 동아시아 가문비나무 집단들에 대한 구과의 형태적 특성은 북부 집단들이 남부 집단들에 비해 구과가 크고 폭이 넓은 경사변이를 보고한 바 있다. 국내 가문비나무 천연집단이

그 규모가 작고 파편화(fragmentation)되어 있을 뿐만 아니라 지구온난화 등 서식환경의 악화로 인해 특정 개체의 편중개화 및 근친교배 현상으로 소멸을 초래할 가능성이 매우 높은 것으로 추측할 수 있다.

적 요

우리나라 가문비나무 천연집단의 구과, 종자 및 발아특성에 대한 집단간 및 집단내 개체간 변이를 조사하였다. 지리산과 덕유산 집단의 25개 개체목에서 구과를 채취하여 13가지 구과 및 종자특성과 3가지 발아특성에 대하여 분석하였다. 분산분석 결과 종자의 폭 및 무게, 종자날개지수 및 평균발아일수 특성을 제외한 9개 형질들에서 집단간 및 집단내 개체간에 유의적인 차이가 인정되었다. 변이계수 값은 구과와 종자의 무게, 충실율, TTC, 발아율 및 발아속도 형질들에서 29.7%~57.1% 범위의 높은 값을 보였으며, 나머지 형질들에서는 10% 내외의 비교적 변이가 작음으로 나타났다. 대체적으로 형태적 특성은 지리산집단의 경우 구과 및 종자날개가 작으며 긴 경향을 보인 반면 덕유산 집단이 종자가 크고 긴 형태를 나타냈다. 종자충실율과 TTC 활력은 지리산 집단이 덕유산 집단에 비해 각각 1.79배, 1.87배 정도 우수한 집단간 차이를 나타냈다. 가문비나무의 종자발아에 미치는 온도조건의 영향을 보면 발아적온은 20℃였으며, 이때의 평균발아일수는 7.5일, 발아속도는 2.9개/일로 나타났다. 지리산 집단의 경우 평균발아율이 40.7%, 발아속도가 0.90개/일로서 덕유산 집단(17.7%, 0.37개/일)보다 발아특성이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 구과, 종자 및 발아특성에 대한 상관분석 결과 국내 가문비나무 천연집단은 종자활력이 한정된 분포에 따른 근친교배 및 특정 개체의 편중개화 현상에 많은 영향을 받는 것으로 추정되어 소멸을 초래할 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다.

인용문헌

Aizawa, M., H. Yoshimaru, H. Saito, T. Katsuki, T. Kawahara, K. Kitamura, F. Shi and M. Kaji. 2007. Phylogeography of a northeast Asian spruce, *Picea jezoensis*, inferred from genetic variation observed in organelle DNA markers. *Molecular Ecology* DOI:10.1111/J.1365-294X.2007.0339x.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1998. *Seeds Ecology, Biog-*

eography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego. p. 181-237.

Choi, C.H., K.J. Cho and W.S. Tak. 2007. Seed characteristics and germination properties according to change of cone production in *Pinus densiflora* stands. *J. of Kor. Forest Society* 96(3):317-324 (in Korean).

Forest Research Institute (FRI). 1994. *Forest Tree Seeds and Nursery Practice.* Research Library 91. p. 51 (in Korean).

Fujiwara, T., N. Okada and K. Yamashita. 1999. Comparison of growth response of *Abies* and *Picea* species to climate in Mt. Norikura, central Japan. *The Japan Wood Res. Soc.* 45:92-97.

Ganatsas, P. and T. Marianthi and C. Thanos. 2008. Seed and cone diversity and seed germination of *Pinus pinea* in Strofylia Site of the Natura 2000 Network. *Biodivers Conserv* 17:2427-2439.

Iijima, H. and M. Shibuya. 2009. Evaluation of suitable conditions for natural regeneration of *Picea jezoensis* on fallen logs. *Journal of Forest Research* DOI 10.1007/s10310-009-0133-9.

IUCN. 2010. *IUCN Red List of Threatened Species.* Version 2010.2. <www.iucnredlist.org> (2010.8.4).

Khan, M.L., P. Bhuyan, U. Shankar, and N.P. Todaria. 1999. Seed germination and seedling fitness in *Mesuaferrea* L. in relation to fruit size and seed number per fruit. *Acta Oecologia* 20:599-606.

Kobayashi, O., R. Funada, K. Fukazawa and J. Ohtani. 1997. Abrupt growth changes in Norway spruce and Yezo spruce near an industrial district in Hokkaido, Japan. *Trees-Structure and Function* 11(3):183-189.

Korea National Aboretum (KNA). 2009. *Rare Plants Data Book in Korea.* GEOBOOK Pub. Co. Seoul. p. 332 (in Korean).

Krestov, P.V. and Y. Nakamura, 2002. Phytosociological study of the *Picea jezoensis* forests of the Far East. *Folia Geobotanica* 37(4):441-473.

Lee, C.B. 1990. *Dendrology.* Hangmoon Pub. Co., Seoul. p. 331 (in Korean).

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. *J. Kor. Forest Soc.* 97(2):187-195 (in Korean).

Moriguchi, Y., K.S. Kang, K.Y. Lee, S.W. Lee and Y.Y. Kim. 2009. Genetic variation of *Picea jezoensis* populations in South Korea revealed by chloroplast, mitochondrial

- and nuclear DNA markers. J. Plant Res. 122:153-160.
- Nakagawa, M., T. Hirokawa, T. Shima, S. Ogasawara and A. Kurahashi. 2003. Effect of seed source elevation on bud opening of Yezo spruce (*Picea jezoensis*). J. Forest Res. 8(4):267-270.
- Navarro, L. and J. Guitian. 2003. Seed germination and seedling survival of two threatened endemic species of the northwest Iberian peninsula. Biological Conservation 109:313-320.
- Park, Y.D., K.S. Chang, G.S. Jin, H. Kim and C.S. Chang. 2010. Cone morphological variation of the *Picea jezoensis* complex in Eastern Asia. J. of Kor. Forest Society 99(2):235-243.
- Potenko, V.V. 2007. Allozyme variation and phylogenetic relationships in *Picea jezoensis* (Pinaceae) Populations of the Russian Far East. Biochemical Genetics 45(3):291-304.
- SAS Institute Inc. 1996. SAS/STAT User's Guide, version 6.12 SAS Institute. USA.
- Scott, S.J., R.A. Jones and W.A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sci. 24:1160-1162.
- Song, J.H., S.D. Hur, K.S. Kang, B.H. Yang and J.J. Lee. 2009. The variation of needle characteristics of *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carriere populations in Korea. Kor. J. Plant Res. 22(1):31-36 (in Korean).
- Thomas, L.N., C.P. William and E.M. Andree. 2006. Natural variation in seed characteristics of eastern white pine (*Pinus strobus* L.). New Forests 32:87-103.
- (접수일 2010.9.28; 수락일 2010.11.22)