

구주소나무 적응성검정 시험 -22개 산지 36년생 결과-

유근옥*, 한무석, 김인식, 이주환, 이재천

국립산림과학원 임목육종과

Adaptation Test of Scotch Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Korea -Thirty-six-year-old Growth Performance of Twenty-two Provenances-

Keun Ok Ryu*, Mu Seok Han, In Sik Kim, Ju Hwan Lee and Jae Cheon Lee

Division of Forest Tree Improvement, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

Abstract - This study was conducted to select superior provenances of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) well adapted to Korean environment for timber production. In 1976, twenty-two provenances of Scots pine were introduced from Sweden and the seeds were sown in seed beds in March. After one year, the seedlings were transplanted to nursery beds. The resulting 1-1 seedlings of 22 provenances were planted at Whaseong in 1978. Randomized complete block design with 3 replications were used for test plantation. Each provenance was planted with 20-tree row plot in each block and at a spacing of 1.8×1.8 m. The growth performance of each provenance was monitored up to 33-years after planting. There were significant differences among provenances in volume growth. F3001 provenance showed the best volume growth of 33-years after planting (0.160 m³), which was 2.2 times greater than that of the lowest provenance W2027 (0.072 m³). The ranking of provenances was stabilized after 14 years. Comparing to reference tree species, Japanese red pine (*Pinus densiflora*), all Scots pine provenances showed poor growth performance. In other words, volume growth of Japanese red pine at age 28 and 33 were 2.1 and 3.3 times greater than that of Scots pine, respectively. Moreover, survival rate of Scots pine was lower than that of Japanese red pine. Based on these results, it was suggested that Scots pine was not suitable to Korean environments. The cause of maladaptation of Scots pine and the implications of introduction breeding were discussed.

Key words - Introduction breeding, Growth performance, Provenance test, Exotic trees

서 언

향토수종들은 자연도태에 의해 주어진 환경조건에 적응하며 진화해온 관계로 자생지에 대한 적응성이 높은 반면 대부분의 외래수종들은 향토수종보다 적응 및 생장이 저조한 편이다. 그러나 경우에 따라서 도입수종이 향토수종보다 높은 적응성을 보이면서 생장이 우수한 사례도 다수 보고되고 있다(Zobel, 1979, 1981). 자국의 마땅한 향토수종이 부족했던 뉴질랜드에서는 미국서부 지방의 라디아타소나무(*Pinus radiata*)를 도입하여 성공함으로써 임업선진 국가로 도약하였으며, 이태리, 루마니아 등에서 미국의 스트로브잣나무(*Pinus strobus*) 등을 도입하여 성공한 사례

가 있다(Zobel *et al.*, 1987).

외래수종을 도입하는 경우 향토수종보다 생장이 우수해야 함은 물론 목제품의 부가가치가 높은 수종을 선택해야 한다. 즉, 다양한 향토수종들이 존재하고 생장이 우수하더라도 경제적 가치가 낮은 경우에는 부가가치가 높은 외래수종을 도입하여 활용하는 방안을 모색할 필요가 있다. 또한 최근에는 기후온난화로 인한 향토수종들의 생산성 저하 문제가 대두되고 있어 미래 기후조건에 적합한 외래수종 도입의 당위성이 커지고 있다.

우리나라에서도 외국수종 중 우리나라 기후풍토에 적응하는 경제조림수종을 발굴할 목적으로 1958~1986년까지 38개국에서 412종을 도입하였는데, 318종은 부적수종으로 판명되어 기각되었으며 테다소나무(*Pinus taeda*), 이태리

*교신저자(E-mail) : koryu95@forest.go.kr

포플러(*Populus euramericana* 'I-214', 'I-476'), 스트로브잣나무 등 7개 수종을 경제조림수종으로 보급된 바 있다 (Han *et al.*, 1987).

외래수종을 도입하여 실패하는 유형은 조림 후 즉시 실패와 지연된 실패로 구분된다. 즉시 실패의 사례는 매우 많지만 일반적으로 그 결과를 논문 등으로 발표하지 않기 때문에 관련된 정보를 얻기가 어려운 편이다. 지연실패는 식재 초기에는 좋은 활착률과 생장을 보이지만 중·후기 생장에서 향토수종 보다 생장이 저조하여 기각되는 경우이다. 이것은 높은 위도와 높은 해발의 산지를 낮은 해발이나 낮은 위도에 식재하거나 지중해성 기후에서 자라는 나무를 대륙성 기후에 식재했을 때 나타난다(Zobel *et al.*, 1987).

구주소나무(*Pinus sylvestris*)는 Eurasia의 대표적인 용재수종으로 구주전역에서부터 시베리아까지 걸친 넓은 천연분포를 하고 있으며 지리적인 변이가 다양하고 많은

지역품종을 가지고 있다(Eiche and Andersson, 1974). 구주소나무에 대한 연구는 1821년에 France의 Vilmorin이 북부 유럽 여러 나라에서 종자를 채취 수집하여 집단으로 식재한 결과, 종자산지간에 생장 및 특성에 많은 변이가 있음을 발표하였고, 분포지역의 환경에 따른 지리적 변이들이 유전적인 영향으로 일어난다는 사실이 밝혀져 그 후 세계 각국에서 많은 산지시험을 실시하여 생장, 형태 및 화학적 특성 등에 대한 보고가 있다(Rudolf and Slabaugh, 1958; Schreiner *et al.*, 1962; Steinbeck, 1966; Wright and Bull, 1963; Wright *et al.*, 1966).

우리나라에서는 1924년부터 구주지역으로부터 소량의 구주소나무 종자를 도입하여 몇 개소에 시험 식재한 결과 생육 상황이 유망한 것으로 평가되었다. 이에 국립산림과학원에서 1963년부터 92개 산지의 종자를 도입하여 13개소에서 시험을 실시하였으며 유시생장과 조림활착률에 있

Table 1. Geographic data of Scots pine provenances

No.	Seedlot No.	Provenance	Lat. (N)	Long. (E)	Alt.
1	F 3001	Model, Vallnäs, Sweden	57° 36'	2° 37'	210 m
2	H 3001	Venzelholm, Sweden	57 43	2 29	140
3	G 1001	Kalkhult, Sweden	56 52	2 42	210
4	G 3001	Malaskogen, Sweden	56 59	2 56	180
5	H 2001	Fagerhult, Sweden	57 30	2 16	125
6	H 2007	Norrhult, Vena, Sweden	57 32	2 12	110
7	F 2001	Bröttjehaga, Sweden	57 47	3 12	230
8	F 1000	Eckersholmskrp, Sweden	57 35	3 51	210
9	X 2004	Pelartallen, 1:6, Sweden	60 24	1 20	90
10	X 4013	Trekanten, Sweden	60 25	1 22	95
11	X 4000	Gammelstilla 5:8, Sweden	60 27	1 26	100
12	X 2009	Beraga 3:4, Sweden	60 31	1 13	80
13	W 2025	Lakostjärnarna, Sweden	60 01	4 48	510
14	W 2018	N:hammarsbyn 3, Sweden	61 30	4 47	420
15	X 4010	Ahs 6:7, Sweden	60 28	1 05	80
16	E 4017	Basteberg VIII:18, Sweden	58 03	2 52	160
17	W 4100	Drevdegen 53, Sweden	61 47	5 37	750
18	G 2004	Applaryd, Sweden	56 53	2 17	170
19	W 2027	Närsjön, Lima, Sweden	61 11	5 11	575
20	W 4030	Engelsfors 4, Sweden	60 32	1 54	165
21	H 2003	Klövådal, järeda, Sweden	57 25	2 24	100
22	X 4011	Åhs 6:5, Sweden	60 28	1 05	80
Reference	<i>P. densiflora</i>	Pyung chang, Korea			

어서 산지 간에 차이가 있음을 보고한 바 있다(Hwang and Kwon, 1969; Han *et al.*, 1982).

본 논문에서는 우리나라 기후풍토에 적응성이 높고 생장이 우수한 구주소나무 우수산지 발굴을 목적으로 도입한 스웨덴산 22개 산지에 대한 시험결과를 보고하고자 한다. 그리고 결론적으로 지연 실패의 사례인 구주소나무의 도입 육성 경위를 살펴봄으로써 향후 외래수종의 도입 및 적응성 검정 시 고려해야 할 사항에 대해 논의하고자 했다.

재료 및 방법

본 시험을 위해 1976년 스웨덴에서 구주소나무 22개 산지의 종자를 도입하였으며, 강원 평창에서 채취한 소나무 종자를 비교로 사용하였다(Table 1). 공시재료의 양묘는 1976년 4월 산림유전자원부(경기 수원) 구내 포지에서 m² 당 20 g씩 파종하여 1-0묘를 생산하였으며, 1977년 4월 이들을 이식하여 1-1묘(2년생)를 산지 당 60본씩 생산하였다. 시험림은 1978년 4월에 경기도 화성시 매송면 어천시험림에 조성하였는데 시험지의 토양 및 기후조건은 Table 2와 같다. 시험지는 반복 당 20본씩 난괴법 3반복으로 조성하였으며 식재간격은 1.8 × 1.8 m 간격으로 하였다. 생육

상황 조사는 식재 당년의 조림 활착률 조사를 시작으로, 식재 후 33년까지 이루어졌다.

결과 및 고찰

종자특성 및 포지생장

구주소나무 스웨덴 22개 산지 종자특성을 조사한 결과, 평균 종자 실중은 6.3 g(4.8~10.0)으로 종자산지 간에 통계적인 유의성을 인정할 수 있었으며, 원산지 자료(Wilson and McQuilkin, 1965)에 의하면 종자의 품질에 많은 변이가 있어 실중은 평균 6.04 g(4.09~13.4)으로 보고되고 있어 정상적인 종자로 판단되었으며 국내 소나무 종자의 평균 실중 8.5 g에 비하여 작은 편이었다.

구주소나무 22개산지 원산지의 위도, 경도, 해발고와 종자특성의 상관관계를 분석한 결과, g당 입수는 부의 상관, 실중과는 정의 상관관계를 보여 해발이 높은 산지의 종자가 큰 것으로 나타났다(Table 3). 이는 Han *et al.*(1991)이 발표한 세로티나소나무(*P. serotina*) 산지시험에서 북쪽산지인 South Carolina와 Virginia주의 종자가 남쪽산지인 Florida산지보다 작았다는 결과와 유사한 경향이었다. 그러나, Ryu(1998)가 발표한 스트로브잣나무(*P. strobus*)의 경우 남쪽산지인

Table 2. Climate and soil conditions of test plantation at Whaseong

Plantation	Annualmean temper.	Relative humid.	Annual precip.	Duration sun shine	No. of foggy days	Mechanical analysis			
						Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
Hwaseong	10.7	74	1,132	2,254	41	39.4	34.4	26.2	L

Plantation	pH	O.M.	T.N	Avail. _{P₂O₅} (p · p · m)	C.E.C (me/100g)	Exchangeable (me./100g)			
						K ⁺	N ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Hwaseong	5.1	1.81	0.07	3.36	9.46	0.19	0.04	0.58	0.34

Table 3. Correlation coefficients between geographic data and seed quality of provenances

	latitude	longitude	altitude	Cleaned seeds per 100 g	No. of seeds per g	No. of seeds per ℓ
Cleaned seeds per 100g	0.08194	-0.3095	-0.24773			
No. of seeds per g	-0.21681	-0.6595*	-0.69723*	0.26137		
No. of seeds per ℓ	-0.28389	-0.48843	-0.5491*	0.21532	0.82423*	
Weight per 1,000 seeds	0.30396	0.69274	0.77811*	-0.26417	-0.96716*	-0.78939*

** and * : Significance at 1% and 5% level, respectively.

Georgia산지가 북쪽산지인 Minnesota과 Wisconsin산지보다 무거웠다는 결과와 상반되는 것으로 소나무류는 수종마다 산지에 따른 종자 크기의 변이가 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

구주소나무 묘고 생장은 1년생에서 5.7~11.1 cm(평균 7.6), 2년생에서 12.1~16.1 cm(평균 13.7)를 보였으며, 분산분석결과 22개 산지 간에 통계적인 유의성을 인정할 수 있었다(Table 4). 파종묘 1년생 묘고 생장에서 가장 양호한 생장을 보인 E4017산지는 11.1 cm로 전체 산지 평균에 비하여 146% 우수하였으며, 가장 저조한 생장을 보인 H3001산지보다는 약 2배 정도 생장이 우수하였다. 종자무게와 포지 묘고 생장과의 상호관계를 구명하기 위하여 단순상관

을 분석한 결과, 유의한 차이를 확인할 수 없었는데, Ryu (1998)가 발표한 스트로브잣나무에서는 종자의 실중이 무거웠던 Georgia산지가 종자가 가벼운 Minnesota산지 종자보다 185%의 높은 묘고 생장을 하였다는 결과와 대조적이었다.

파종묘 1년생에서 가장 우수한 생장을 보였던 E4017산지와 W4030산지는 이식묘 2년생 묘고 생장에서는 중하위권으로 하락하고, 1년생에서 중위와 하위그룹의 생장을 보였던 G3001산지와 F3001산지가 우수한 생장을 보이는 순위 변동을 보였다.

비교수종으로 사용한 국내 소나무 생장은 공시된 구주소나무 1년생 묘고 생장에서는 E4017산지를 제외한 모든 산지들보다 양호한 생장을 보였으며, 구주소나무 22개산지

Table 4. Height growth of seedlings of Scots pine provenances in nursery

Height growth (cm)					
Provenances	1-0 seedlings	Duncan test -5%	Provenances	1-1 seedlings	Duncan test -5%
Sweden E4017	11.1		Sweden F3001	16.1	
Sweden W4030	9.6		Sweden G3001	15.3	
Sweden X4000	9.4		Sweden H2007	15.1	
Sweden H2007	9.0		Sweden W4100	14.7	
Sweden G2004	8.6		Sweden X2009	14.6	
Sweden W2027	8.5		Sweden H3001	14.6	
Sweden W2025	8.0		Sweden W2025	14.5	
Sweden W4100	7.8		Sweden H2001	14.3	
Sweden X4011	7.8		Sweden W2027	14.1	
Sweden G3001	7.8		Sweden G1001	14.1	
Sweden H2003	7.7		Sweden X4010	13.8	
Sweden X2004	7.7		Sweden H2003	13.5	
Sweden X4013	7.5		Sweden F1000	13.4	
Sweden F1000	7.0		Sweden E4017	13.3	
Sweden H2001	6.7		Sweden W2018	13.1	
Sweden F2011	6.6		Sweden X4011	13.0	
Sweden F3001	6.4		Sweden X4000	13.0	
Sweden G1001	6.4		Sweden X4013	12.6	
Sweden X2009	6.4		Sweden W4030	12.3	
Sweden W2018	6.1		Sweden X2004	11.5	
Sweden X4010	6.0		Sweden F2011	12.1	
Sweden H3001	5.7		Sweden G2004	12.1	
Mean	7.41		Mean	13.18	
<i>P. densiflora</i>	10.9		<i>P. densiflora</i>	18.4	

전체평균 묘고 생장은 7.6 cm(5.7~11.1)이었으며, 평장 산지 소나무 묘고는 10.9 cm이었다.

2년생 묘포장 이식묘목의 묘고 성장에서는 구주소나무의 모든 산지들이 국내 소나무보다 저조한 성장을 보였다. 구주소나무 전체평균 묘고는 13.7 cm(12.1~16.1)인데 반하여 국내 소나무는 18.4 cm로 나타나 국내 소나무가 가장 우수한 성장을 보였다.

식재조림지에서 수령별 성장 및 생존율

산지 및 수령별 성장을 비교하기 위해 식재 후, 14, 25, 33년생의 단목 재적생장을 조사한 결과, 산지 간 재적생장에서 통계적인 유의성을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 식재 후 14년생에서 가장 우수한 단목재적생장을 보인 산지는 F3000산지로 0.025 m³, 가장 불량한 성장을 보인 W2027 산지는 0.010 m³으로 2.5배의 성장차이를 보였으며, 식재

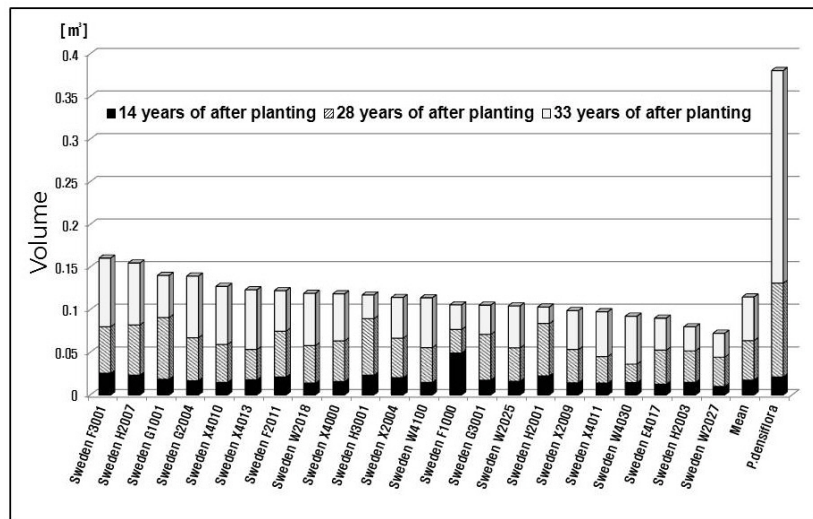


Fig. 1. Volume growth of 22 Scots pine provenances at 14, 28 and 33 years after planting.

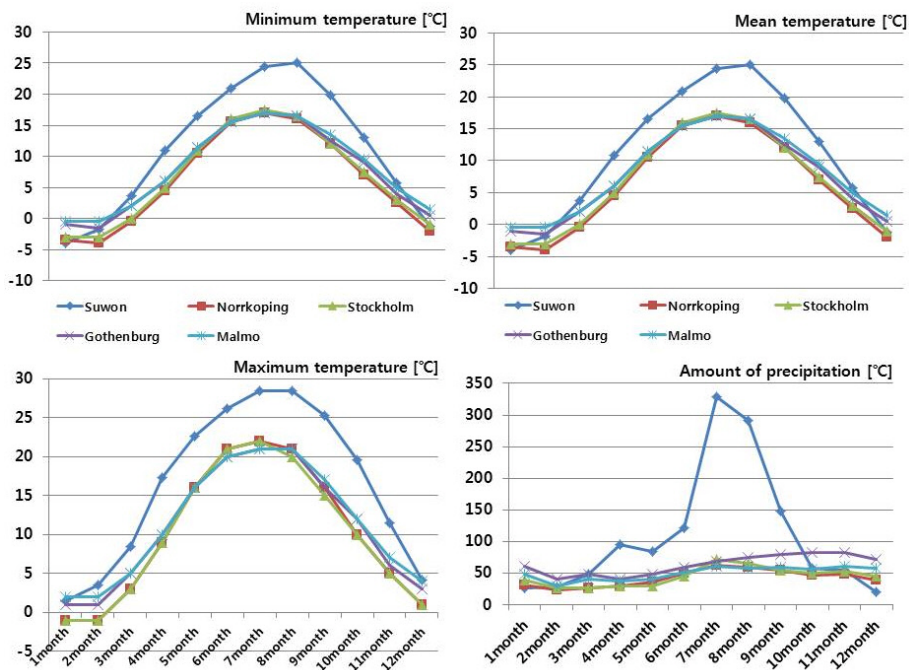


Fig. 2. Climatic data of test site and 22 provenances of Sweden. The data were represented by those of the nearest town.

후 28년생에서는 가장 우수한 산지는 G1001산지로 0.091 m³, 불량산지는 W4030산지로 0.036 m³로 2.5배 성장차이를 보였다. 식재 후 33년 생장에서 가장 우수한 성장을 보인 산지는 F3001산지로 0.160 m³, 불량산지는 W2027산지가 0.072 m³로 2.2배의 산지간의 성장차이를 보였다. 이와 같이 수령이 14년생에 접어들면서 우수했던 산지들이 수령 33년생에서도 지속적으로 우수하였으며, 불량했던 산지들도 유사하였다.

식재 후 33년생에서 최상위권의 성장을 보여주는 F3001산지는 포지 파종묘(1년생) 생장에서는 하위권의 성장을 보였으나, 이식묘(2년생)에서부터 우수한 성장을 보이기 시작하여 33년생까지 가장 우수한 성장을 지속하였다(Table 4). 이와 대조적으로 파종묘(1년생)에서 가장 우수한 묘고 성장을 보였던 E4017산지는 이식묘(2년생)에서는 중하위권으로 떨어지면서 식재 후, 14, 28, 33년생에서도 지속적으로 최 하위권의 성장을 유지하면서 식재 후, 33년 생 생존율에서도 가장 불량한 그룹으로 조사되었다. 이와 같이 수령이 증가하면서 산지간의 성장차이가 심하게 나타나는 원인은 근본적으로 유전적인 영향도 있겠으나, 수령이 증가하면서 원산지와 조립지 기후의 차이에서 오는 생리적인 스트레스로 쇠약해진 임목이 병충해 피해 등으로 정상적인 성장을 하지 못했기 때문에 판단된다(Fig. 2).

우량한 외래수종 및 산지를 선발하는 과정에서 생리적인 특성은 임목의 개량에서 주로 이용되는 형태적인 특성보다

대단히 중요하다고 하였으며, 선발육종에서 우량한 수종이나 산지선발에서 임목의 표현형을 기본으로 하고 있으나, 도입육종에서는 철저한 강도의 시험을 거치는 생리적인 특성에 의한 성패의 결정을 우선으로 강조하고 있다(Zobel and Talbert, 1984). 이와 같이 외래수종에서 생리적인 특성은 일반적으로 생존율, 성장 그리고 적응력과 관련되어 있어 성공 가능성이 유망한 외래수종을 확대 보급하는데 지리적인 품종(산지)을 결정하는 열쇠로 이용되고 있으며 외래수종 도입 성패를 좌우한다.

비교수종으로 식재한 강원 평창산지 소나무 성장과 비교할 때, 식재 후 14년생의 스웨덴 22개 산지 평균재적생장은 0.019 m³(0.010~0.025)로 국내소나무의 0.021 m³에 비하여 90.5%로 약간 저조한 성장을 보였으며, 28년생에서는 0.062 m³(0.044~0.091)로 국내소나무의 0.131 m³에 비하여 47.3%의 저조한 성장을 보였고, 33년생에서는 0.114 m³(0.072~0.160)로 국내소나무의 0.380 m³에 비하여 30%로 불량한 성장을 보였다. 이와 같이 구주소나무 22개 산지들을 도입하여 시험한 결과, 초기에는 적응 가능한 수종으로 판단되었으나 원산지보다 온화하고 강수량이 여름에 집중되는 우리나라 기후풍토에 적응하지 못하고 쇠퇴하는 과정에서 보여주는 지연된 실패 사례로 판단된다(Fig. 2).

외래수종을 도입하여 새로운 환경에서 순응하는 과정에서 생존율은 유전적인 요인 및 환경경사(cline)등이 복합적으로 나타나는 현상으로 나무의 생명력과 활력을 설명할

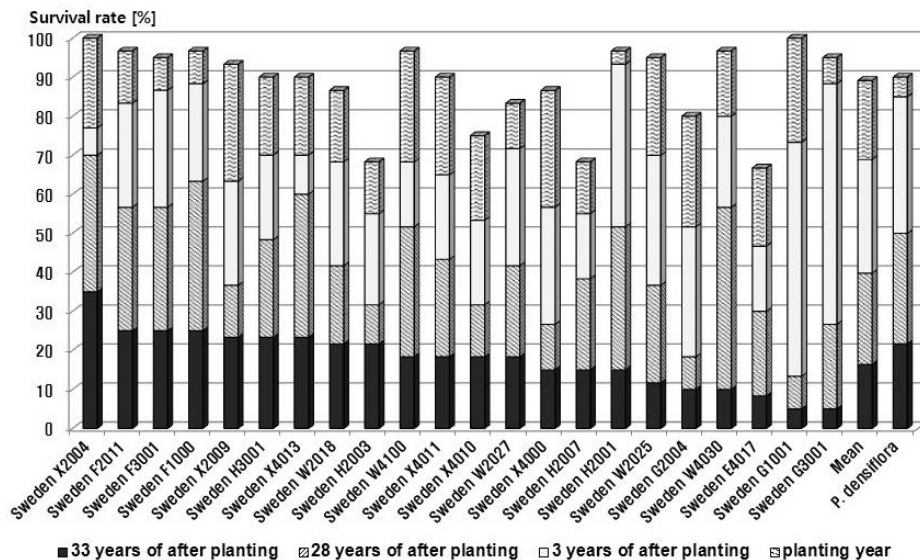


Fig. 3. Survival rate of 22 provenances of Scots pine at 1, 3, 25 and 33 years after planting.

수 있다(Beuker *et al.*, 1998; Montero *et al.*, 2001).

구주소나무 스웨덴 22개 산지를 수원 화성시 매송면 어천시험림에 2년생(1-1묘)을 조림하여 식재당년, 식재 후 3년, 25년, 33년의 구주소나무 산지별 생존율을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 식재 당년 구주소나무 스웨덴 22개 산지 평균 조림활착률은 88%(67~100)의 우수한 결과를 보였다. 가장 우수한 조림활착률의 산지는 스웨덴 X2004와 G1001산지는 100%이었으며, 불량산지는 스웨덴 E4017산지로 67%의 저조한 활착률을 보여 통계적인 유의성을 인정할 수 있었다.

식재 후 33년에서의 구주소나무 스웨덴 22개 산지 평균 조림생존율은 17.8%(5~35)이었으며 가장 우수한 생존율을 보인 X2004산지가 35%로 가장 우수하였고, 불량한 산지는 G1001과 G3001산지로 5%의 저조한 생존율을 보여 산지들 간의 차이를 보였다. 식재 후 33년생에서 불량한 생존율을 보인 G1001산지는 식재 후 3년까지는 77%의 양호한 생존율을 유지하다가 식재 후 28년부터 급격히 생존율이 떨어지는 경향을 보였다.

비교수종으로 조림한 평창산지 소나무의 식재 후 당년 조림활착률, 식재 후 3년, 28년, 33년의 생존율은 90%, 85%, 50%, 22%인데 반하여 구주소나무 22개산지 평균 생존율은 89%, 70%, 42%, 18%로 국내 소나무의 생존율보다는 떨어지나 유사한 경향을 보여주는 것으로 판단될 수 있다.

그러나 Fig. 4와 같이 구주소나무 반복간의 생존율에서 G3001, E4017, G2004 등의 산지들은 심한 차이를 보여주고 있으나 국내 소나무는 반복별로 유사한 생존율을 보여주고 있어 식재 후 28년, 33년 재적 성장에서도 구주소나

무 평균보다 205%, 333%의 우수한 성장을 보이고 있다.

이러한 현상은 Fig. 2와 같이 구주소나무는 원산지와 다른 조림지의 기후풍토에서 오는 생리적인 스트레스에 시달렸으나, 토착수종인 소나무는 전혀 스트레스를 받지 않은 것으로 외래수종을 도입하여 실패하는 사례 중에서 대표적인 지연된 실패로 판단된다. 이와 같이 외래수종을 도입하여 실패하는 지연된 실패사례의 특성으로 구주소나무에서 나타난 현상은 수령이 증가하면서 생리적인 스트레스에 의해 약해진 구주소나무 개체목들에게 나타난 현상은 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye), 거품벌레(*Aphrophora flavipes* Uhler), 푸사리움 가지마름병(*Fusarium circinatum*) 등의 병충해의 집중적인 침범으로 고사되는 것이 관찰되었다.

Zobel and Talbert(1984)은 미국 동북지방에서 많은 포플러 교잡종을 개발하여 미국 동남지역에 식재하였는데, 초기 2~3년 동안은 놀라운 성장을 보이다가 10년 후에는 많은 나무들이 죽거나, 아직 살아 있어도 활력을 잃고 잎이 작아지며 상층부의 정아와 가지들이 고사하는 등 문자 그대로 다 허물어졌다(fall apart)고 보고한 바 있다. 또 다른 지연된 실패 사례로는 유카리나무를 지표에서 몇 센티미터 밖에 되지 않는 심토에 식재했을 때로 1년은 잘 자라다가 초두부가 말라 죽는(top dieback)현상을 보였으며, 4~5년 후에는 남아 있는 임분도 비효율적이었던 보고가 있다(Zobel *et al.*, 1987).

외래수종 지연실패의 유형 중 하나는 우수한 생존율과 성장을 보였으나 목재의 재질이 변질되어 실패하는 경우이다. 아열대나 열대지역의 소나무류 목재는 대부분 단단하지 못

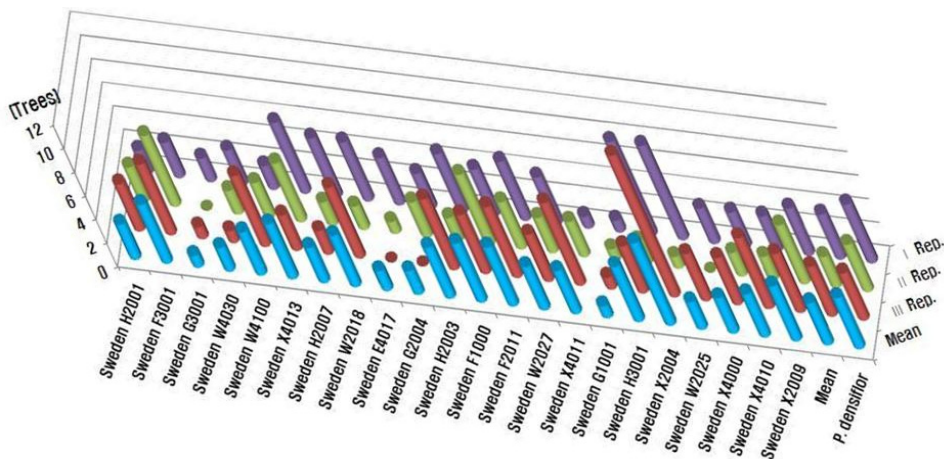


Fig. 4. Survival rate among three replications of 22 provenances of Scots pine at 1, 3, 25 and 33 years after planting.

Table 5. Correlation coefficients between height growth at different ages and geographic factors of seed origin

	Survival			height			
	3yrs	5yrs	36yrs	10yrs	17yrs	28yrs	36yrs
Latitude	0.10475	-0.21975	0.27165	-0.53381*	-0.41434	-0.46077*	-0.09875
Longitude	0.10841	0.23797	0.04502	-0.12438	-0.13627	-0.14648	-0.24202
Altitude	0.20290	0.15825	0.05967	-0.22188	-0.21616	-0.21164	-0.16458
	Volume			DBH			
	17yrs	28yrs	36yrs	10yrs	17yrs	28yrs	36yrs
Latitude	-0.44419*	-0.71310**	-0.33446	-0.63006**	-0.50149*	-0.67118**	-0.33299
Longitude	0.03108	-0.04459	-0.18444	-0.17934	0.00238	0.01297	-0.14597
Altitude	-0.16786	-0.21501	-0.16822	-0.30187	-0.20997	-0.16693	-0.14675

하다. 이 문제를 해결하기 위하여 온대지방의 소나무 수종을 아열대 혹은 열대지역에 도입하여 식재한 사례가 보고되고 있다. 일례로 온대지역에서 생육하는 카르비아소나무를 식재하여 해안지역의 몇 개 지역에 나누어 식재하여 단단한 목재 혹은 펄프용재를 생산하고자 하였으나, 대단히 낮은 비중의 목재가 생산되어 실패하였다(Zobel, 1981). 또한 이와 유사한 지역에서 비중이 높은 소나무 목재를 생산할 목적으로 엘리오타이소나무(*Pinus elliottii*)를 도입·식재하였으나 대부분의 생산목재가 바람직한 생산재가 아니었다(Kellison 1981). 우리나라에서도 높은 해발고도에서 자생하는 잣나무(*Pinus koraiensis*)를 낮은 위도와 해발에 조립하여 바람직한 목재를 생산하지 못한 대표적인 지연된 실패 사례이다.

구주소나무 원산지의 지리적인 조건과 조립지에서 수령별 생존율과 생장의 단순상관을 조사한 결과(Table 5), 높은 위도의 자생지에서 낮은 위도의 조립지로 이동되면서 생리적인 스트레스로 인하여 생존율에서는 모든 산지들이 통계적인 유의성을 찾을 수 없었다. 그러나 수고생장에서는 10, 28년생, 흉고직경생장에서는 17, 28, 36년생, 재적생장에서는 10, 17, 28년생에서 부의 상관을 보여 높은 위도에서 도입된 산지들이 저조한 생장을 보였으며, 종자 원산지의 경도와 해발에서는 통계적인 유의성이 나타나지 않았다.

이와 유사한 시험결과를 도출한 우리나라에서의 사례는 루마니아, 프랑스, 체코, 유고슬로바키아 등에서 도입한 독일가문비나무(*Picea abis*) 16개 산지(Han and Lim, 1983), 북미에서 도입한 banks소나무(*P. banksiana*) 10개 산지(Shim et al. 1986)의 산지시험에서 고위도 산지들이 저조한 생존율을 보였으며, 원산지의 경도와 해발에서는 통계

적인 유의성이 나타나지 않았다.

이와 같은 결과를 종합 검토하면 수형 및 재질이 우수한 세계적인 명품목인 구주소나무는 우리나라보다 기후적으로 한랭한 지역에 분포하는 수종으로 초기에는 적응이 가능하였으나 수령이 증가하면서 생리적인 스트레스로 인한 쇠퇴현상으로 실패한 것으로 판단된다.

우리나라에서 외래수종을 도입하여 시험한 결과 중에서 북미와 캐나다에 분포하는 사탕단풍나무(*Acer saccharum*), 은단풍나무(*A. saccharinum*), 붉은단풍나무(*A. rubrum*)를 도입하여 시험한 결과에서도 10~20년생까지는 잘 적응하여 생장을 하였으나, 그 이후 생리적인 스트레스에 의하여 내병·충성에 의한 저항력이 떨어져 고사하여 실패한 사례도 있다(Han et al., 1987).

그러나 낮은 위도 혹은 저 해발고도의 산지를 높은 위도 혹은 고 해발고도 지역에 식재하는 경우, 성공한 사례는 있다. 이동의 범위에서는 열대지방에서 온대지방 혹은 온대지방에서 한대지방 등의 극단적인 이동은 불가능하겠으나, 온대남부에서 온대북부정도의 근거리 수종 이동은 가능하다. 우리나라에서 시험한 성공사례 수종들은 테다소나무(*Pinus teada*), 편백(*Chamaecyparis obtusa*), 삼나무(*Cryptomeria japonica*), 백합나무(*Liriodenron tulipifera*), 낙우송(*Taxodium distichum*) 등이 성공한 대표적인 수종이다.

결론적으로 생장, 재질 등이 우수하여 국내·외 목재시장에서 경쟁력 있는 외래수종을 도입하여 육성하고자 할 때는 우리나라 조립지보다 높은 위도 혹은 고 해발에서 생육하는 수종의 도입은 금기사항으로 수종 이동의 지표로 숙지해야 할 것이다.

적 요

스웨덴으로부터 구주소나무 22개 산지 종자를 도입하여 우수산지 선발을 목적으로 36년간 경기도 수원 지방에서 시험한 결과, 식재 후 33년 생장에서 가장 우수한 생장을 보인 산지는 F3001산지로 0.160 m³, 불량산지는 W2027산지가 0.072 m³로 2.2배의 산지간의 성장차이를 보여 통계적인 유의성을 인정할 수가 있었다. 수령 및 산지간의 생장의 순위는 식재 후 14년생에 접어들면서 우수했던 산지들이 수령 33년생에서도 지속적으로 우수하였으며, 불량했던 산지들도 동일한 경향이였다. 비교수종으로 식재한 강원 평창산지 소나무 성장과 비교할 때, 식재 후 구주소나무 14년생 22개 산지 평균재적생장은 국내소나무와 유사한 생장을 보였으나, 식재 후, 28년생과 33년생 단목 재적생장에서 국내소나무가 구주소나무에 비하여 205%와 333% 우수한 생장을 보였다. 외래수종을 도입하여 새로운 환경에서 순응하는 과정에서 유전적인 요인 및 환경경사 등이 복합적으로 표현되는 생존율에서 비교수종으로 사용한 국내소나무의 식재 후 당년 조림활착율, 식재 후 3년, 28년, 33년의 생존율은 90%, 85%, 50%, 22%인데 반하여 구주소나무 22개산지 평균생존율은 89%, 70%, 42%, 18%로 국내소나무의 생존율보다는 떨어지나 유사한 생존율을 보였다. 그러나 구주소나무의 생존율의 상태는 산지별로 반복간의 생존율에서 심한 차이를 보여 전수 고사한 반복이 나타나는 등 정상적인 밀도를 유지하지 못하고 비정상적인 생장으로 쇠퇴하고 있었다. 결론적으로 구주소나무는 원산지보다 온화한 남쪽지방인 우리나라 기후풍토에서 생육하면서 심각한 생리적인 스트레스에 의하여 정상적인 생장을 하지 못하고 허약해진 개체목들은 2차적으로 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye), 거품벌레(*Aphrophora flavipes* Uhler), 푸사리움 가지마름병(*Fusarium circinatum*) 등의 병충해의 집중적인 침범으로 고사하여 외래수종 도입 실패의 대표적인 지연된 실패로 판단하여 시험을 종료하였다.

인용문헌

Beuker E., E. Valtonen and T. Repo. 1998. Seasonal variation in the frost hardiness of Scots pine and Norway spruce in old provenance experiments in Finland. *Forest Ecol. Manag.* 107:87-98.

- Eiche, V. and E. Andersson. 1974. Survival and Growth in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Theor. Appl. Genet.* 44:49-57.
- Han, Y.C., C.S. Lim and K.Y. Lee. 1982. Provenance Test of Scotch Pine (*Pinus sylvestris* L.): Growth performance and some characteristics at age of 15 years. *Res. Rep. Inst. For. Gen. Korea* 18:47-53 (in Korean).
- Han, Y.C. and C.S. Lim. 1983. Seedling height of 16 provenance of *P. abies* (L.) Karst. in Korea. *Res. Rep. Inst. For. Gen. Korea* 19:81-86 (in Korean).
- Han Y.C., K.O. Ryu, J.C. Lee, G.H. Goo and C.C. Noh. 1991. Adaptation trial of pond pine in Korea. *Res. Rep. Inst. For. Gen. Korea* 27:53-59 (in Korean).
- Han, Y.C., K.Y. Lee, G.O. Ryu, M.S. Park and S.Y. Shim. 1987. List of introduced exotic tree species in Korea. *Research Note* 25:1-15 (in Korean).
- Hwang, J.W. and H.M. Kwon. 1969. Provenance test of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Korea: Survival and growth performance in juvenile age. *Res. Rep. Inst. For. Gen. Korea* 7:91-99 (in Korean).
- Montero, G., I.C. Cañellas, M. Ortega and D. Rio. 2001. Result from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain). *Forest Ecol. Manag.* 145:151-161.
- Rudolf, P.O. and P.E. Slabaugh. 1958. Growth and development of 10 seed sources of Scots pine in Lower Michigan(15 year-results). *U.S.For. Lake States For. Exp. Sta. Tech. Note* 532:1-2.
- Ryu, K.O. 1998. Growth Performance and needle characteristics of *Pinus strobus* L. by provenances. M.S.D Thesis. Chungbuk National Univ. p. 38 (in Korean).
- Schreiner, E.J., E.W. Littlefiled and E.J. Eliason. 1962. Results of 1938. IUFRO Scotch pine provenance test in New York. *Northeastern For. Exp. Sta. Station Paper.* 166:1-23.
- Shim, S.Y. Y.C. Han and S.K. Hyun. 1986. Height growth of 10 provenances of jack pine (*Pinus banksiana* L.) at age of 10 in Chunseong area. (Voluntary paper) The 18th IUFRO world congress, Sept. 7-21, Ljubljana, Yugoslavia. p. 665.
- Steinbeck, K. 1966. Site, height and mineral nutrient content relations of Scotch pine provenances. *Silvae Genet.* 15:42-49.
- Wilson, R.W. and W.F. McQuilkin. 1965. Silvics of forest trees of the United States. *In* Fellows, H.A. (ed.), U. S. Department of Agriculture Handbook 271. Washington DC, USA. pp. 329-337.

- Wright, J.W. and W.I. Bull. 1963. Geographic variation in Scotch pine: Results of a 3-year Michigan Study. *Silvae Genet.* 12:1-25.
- Wright, J.W., S.S. Pauley and R.B. Polk. 1966. Performance of Scotch pine varieties in the north central region. *Silvae Genet.* 15:101-110.
- Zobel, B.J. 1979. Florestas baseadas em exóticas (forestry based on exotics). *Bol. Tec.* 2:22-30. Zobel, B.J. 1981. Wood quality from fast grown plantations. *Tappi* 64:71-74.
- Zobel, B.J., G.V. Wyk and P. Stahl. 1987. Genetic improvement of exotic developing and using land race genetic \times environment interaction. *In* Wiley, J. and Sons (eds.), *Growing Exotic Forests*, Wiley Interscience, New York, USA. p. 508.
- Zobel, B.J. and J. Talbert. 1984. Provenance, seed source, and exotic. *In* Wiley, J. and Sons (eds.), *Applied Forest Tree Improvement*. Wiley Interscience, New York, USA. p. 505.

(Received 23 August 2012 ; Revised 13 December 2012 ; Accepted 17 December 2012)