

리기테다 秀型木 次代들의 耐寒性에 對한 選拔¹

朴 文 漢² · 孫 聖 仁² · 全 桂 相³

Selection of Pitch-loblolly Hybrid Pine Plus Tree Progenies for Cold-hardiness¹

Mun Han Park² · Sung In Sohn² · Gae Sang Jhun³

要 約

1983~'84年度의 겨울동안 1年生 리기테다 秀型木의 風媒次代들에 對한 耐寒性 選拔이 自然狀態에서 이루어졌다. 이때 生存한 個體들을 京畿道 半月, 忠南 大德, 慶南 梁山 地方에 植栽하고 2年後인 1985年 가을에 3年生 樹高와 1986年 봄에 凍害狀態를 調査하였다. 京畿道에서는 凍害被害率이 5.6%이고 忠南에서는 22.6%로 選拔을 안 거친 比較區 9.3%, 43.3%보다 各各 實際凍害被害率 3.7%와 20.7%, 百分率로 換算해서 40.0%, 47.8%의 效果를 거두었다. 또한 1年生 때 凍害被害率이 높았던 家系들이 3年生 때에도 역시 凍害를 많이 받는 것으로 나타났다. 3年生 樹高에서는 家系間 差異가 없었고 環境變異의 誤差分散이 지나치게 커 아주 낮은 遺傳力($h^2=0.04$)을 보였다.

ABSTRACT

One-year-old seedlings of open-pollinated progenies of pitch-loblolly hybrid pine plus trees were selected for cold-hardiness during cold winter of 1983-1984.

Survived trees were planted in three locations. Two years later, the ratio of cold-damaged trees and 3rd year heights were recorded. The ratio of the cold-damage trees among screened progenies were 5.6% in Kyunggi and 22.6% in Chungnam, while 9.3% and 43.3%, respectively, in unscreened control plot. Severely damaged families at one-year-old seedling stage also suffered heavy cold damage after two years.

Not much differences were observed between families in 3rd year height.

Key word: pitch-loblolly hybrid pine; cold-hardiness;

緒 論

리기테다소나무 育種에 있어서 가장 큰 問題는 1代雜種 種子의 大規模 生産과 耐寒性을 들 수 있다. 그동안 雜種種子의 量産을 위한 많은 努力에도 불구하고 確實하고도 값싼 어떤 方法도 開發되고 있지

못한 實情이며 그 代案으로 F_2 種子 利用 可能性이 提示되고 있다.^{2,3} F_2 利用에 따른 問題點은 이미 報告된 바 있지만⁴ 그 利用을 뒷받침 하기 위한 大規模 造林成績은 아직 未浴한 狀態이다. 林木育種研究所에서는 1958년부터 大規模 交雜을 試圖하여 전국에 70餘ha의 純粹한 리기테다 1代雜種소나무를 植栽한 바 있으며 그 生長을 認定받아 1973年度

¹ 接受 10月 6日 Received on October 6, 1986.

² 林木育種研究所 Institute of Forest Genetics, Suwon, Korea.

³ 林業試驗場 Forest Research Institute, Seoul, Korea.

부터는 그 중優秀한 個體를 選拔, 秀型木으로 告示한 바 있다. 1985年度 現在 總 150 本の 秀型木이 選拔되었고 그 중 一部는 接木하여 採種園을 造成하고 있다.³⁾ 이 採種園에서 생산되는 F₂ 種子 利用은 實際普及段階까지 와 있지만 이들 F₂ 世代의 生長 및 이에 따르는 諸般 問題들은 아직 研究가 未洽한 狀態이다.

리기테다소나무의 耐寒性은 F₁ 에서도 問題點으로 指摘되고 있지만 分離의 可能性을 內包한 F₂ 世代에서는 더욱 큰 問題로 생각할 수 있다.

리기테다소나무 秀型木 40 本으로부터 種子를 採取하여 育苗하는 途中 1983~'84年度의 酷寒으로 인해 平均 50% 以上の 幼苗들이 凍害로 枯死하였다. 이 때문에 耐寒性에 對한 自然스런 選拔이 이루어지게 되었으며 生存한 幼苗들은 全國 3 個地域에 植栽되어 이들의 生長과 耐寒力을 繼續 觀察할 수 있게 되었다.

材料 및 方法

1982年 가을 리기테다 秀型木 40 本으로부터 種子를 採取하여 1983 年 봄 播種하였다. 이들 播種 苗는 正常的인 生長을 하여 그 苗高가 平均 18cm에 이르러 겨울을 맞이하였다. 一般의 忠南北 以北地方에서는 리기테다 育苗時 越冬用 vinyl tunnel을 씌우는 것이 바람직한 것으로 되어 있지만 이들 播種 苗는 그대로 露地에 放置하여 結果의 耐寒性에 對한 選拔이 가능하게 되었다. 1983~'84 年度 겨울은 例年에 比해 相當한 低溫을 보여 平年보다 3℃ 程度 낮은 溫度를 記錄했다(Table 1).

Table 1. Monthly average minimum temperature at Suwon

	December	January	February
1973-'83	-6.6°C	-9.5°C	-6.9°C
1983-'84	-8.2°C	-13.0°C	-9.9°C

1984年 봄에 家系別로 凍害率을 調查하고 殘存 個體들을 모아 京畿道 半月, 忠南 大德, 慶南 梁山 3 個地域에 1 家系當 10 本式 3 反復으로 植栽하였다. 殘存本數의 부족으로 各 地域에 동일본수를 植栽하지 못했고 또 成績調查時 殘存率이 50% 未滿인 家系를 除外한 바 慶南에 31 家系, 忠南에 15 家系, 京畿에 20 家系로 세 地域에 같이 植栽 조사된 家系는 13 家系에 不過했다. 이 중 京畿道 半月

植栽地는 3 反復의 殘存率이 너무 낮아 凍害 調查만 1 反復과 2 反復에서 實施하였고 生長調查는 結局 2 個地域으로 縮小되었다. 1985年度 가을 3 年生 樹高를 調查하였고 1986年度 봄에 凍害狀態를 調查하였다. 凍害調查는 두 사람이 같이 調查하여 輕微한 被害木은 除外시키고 어느 程度 被害를 입거나 凍害나 乾害로 枯死한 個體들을 被害木으로 看做하였다. 凍害率은 被害木/全體木의 比率로 計算하였다. 이때 植栽地 近處地域에 植栽된 비슷한 樹齡의 리기테다 幼苗들의 凍害狀態도 調查한 바 京畿地域에서는 1983 年度 1-0 苗 F₂ 造林地와 忠南地域에서는 1983 年度 1-1 苗 F₂ 造林地로 이들은 播種 苗時 vinyl tunnel 속에 있었던 關係로 樹齡으로 1~2年 差異가 있지만 耐寒性으로는 選拔을 거치지 않았기 때문에 比較區로 삼았다. 京畿地方을 除外한 忠南과 慶南植栽地의 3 年生 樹高 成績은 個體木의 遺傳力을 正確히 求하기 爲해서 2 個地域 3 反復에 한 反復當 5 本式을 拔萃 computer 에 入力했다. 實際 plot 當 10 本式 植栽된 것이지만 missing plot을 없게 하기 爲해 두번째 나무부터 차례로 5 本을 選拔 使用했다. 實際 이들의 平均值와 plot mean과는 別 差異를 보이지 않았다. 이때 使用한 model 은 다음과 같다.

$$X_{ijkl} = \mu + I_i + r_{j(i)} + f_k + (lf)_{ik} + (rf)_{j(i)k} + e_{ijkl}$$

即 X_{ijkl} = i 番째 地域의 j 番째 反復의 k 番째 家系의 l 番째 나무의 樹高

- μ = 全體平均
- I_i = i 番째 地域의 效果
- $r_{j(i)}$ = i 番째 地域에서 j 番째 反復의 效果
- f_k = k 番째 家系의 效果
- $(lf)_{ik}$ = i 番째 地域과 k 番째 家系와의 相互作用
- $(rf)_{j(i)k}$ = 反復과 家系間의 相互作用 (experimental error)

e_{ijkl} = plot 內 誤差(sampling error)
 여기서 家系는 任意效果(random effect)로 看做하고 地域은 固定效果(fixed effect)로 看做했다. 使用한 分散分析의 期待值 및 個體遺傳力을 求하는 方法은 Table 2 와 같다.⁹⁾

忠南地域에 植栽된 家系들의 1 年生 幼苗들의 圃場에서의 苗高(A)와 凍害率(B) 그리고 이들의 3 年生 때의 樹高(C)와 凍害率間의 關係를 알아 보기 爲해 Spearman의 rank correlation을 調查하였는데 이때 使用한 公式은 다음과 같다.

Table 2. Analysis of variance for the third year height of the open pollinated progenies of pitch-loblolly hybrid families

Source	d.f	E (MS)
Locations (L)	$l - 1$	
Reps/Locations	$l(r-1)$	
Families (F)	f	$\sigma^2 + t\sigma_{R/L.F}^2 + t \cdot r \cdot l\sigma_F^2$
L x F	$(l-1)(f-1)$	$\sigma^2 + t\sigma_{R/L.F}^2 + t \cdot \frac{l}{l-1} \sigma_{LF}^2$
Reps/Locations x F	$l(r-1)(f-1)$	$\sigma^2 + t\sigma_{R/L.F}^2$
Within plot	$l.r.f.(t-1)$	σ^2

l : No. of locations

r : No. of replications

f : No. of families

t : No. of trees per plot

σ^2 : Sampling error

$\sigma_{R/L.F}^2$: Experimental error

$\sigma_{L.F}^2$: Variance of interaction between locations and families

σ_F^2 : Family variance

$$h_1^2 = \frac{4 \cdot \sigma_F^2}{\sigma^2 + \sigma_{R/L.F}^2 + \sigma_{L.F}^2 + \sigma_F^2}$$

$$r_s = 1 - \frac{\sigma \sum d_i^2}{(n-1)n(n+1)}$$

여기서 r_s 는 Spearman의 相關係數

d_i 는 i 번째 家系의 序列의 差

n 은 總 家系數이다.

結果 및 考察

리기테다 F_2 家系의 3年生 樹高는 忠南 大德에서 41.3cm였고 慶南 梁山에서 37.7cm로 地域間에 큰 差異를 보이지 않았다(Table 3).

耐寒性에 있어서는 京畿道 半月에서 5.6%가 凍害 被害를 受는데 비해 忠南에서는 22.6%가 凍害를 受은 것으로 나타났다. 이때 各 植栽地 近處에 있는 比較區 即 幼苗時 vinyl tunnel 속에서 越冬한 F_2 個體들의 凍害率은 京畿地方이 9.3%, 忠南에서 43.3

%, 京畿地方보다는 忠南에서 그 被害가 甚했음을 보여 준다. 比較區에 비해 일단 選拔을 거친 個體들은 京畿道地方에서 3.7%, 忠南에서는 20.7%程度 凍害를 受게 受은 것으로 判明되었고 이를 百分率로 表示하면 京畿에서 40%, 忠南에서 47.8%로 比較區에 비해 어느 程度 選拔의 效果를 거둔 것으로 보여 진다. 京畿道에 植栽된 家系들이나 忠南에 植栽된 家系들의 1年生 때 凍害率을 比較하면 各各 46.8%, 43.1%로 特別히 耐寒性에 差異가 있는 것 같지는 않다. 一般的인 常識으로는 緯度가 높은 京畿地方에서 더 被害를 受을 것으로 생각되지만 리기테다 F_1 에서도 發表된 바와⁴⁾ 같이 緯度의 差異보다 生長에 더 大影響을 미치는 것으로 方位 및 바람맞이의 與否 等 局所的인 要因이 더 크게 作用하는 것으로 理解될 수 있다.

家系別 耐寒力은 大端한 變異를 보였다. 京畿地

Table 3. Third-year height and the percentage of cold-damaged trees planted in three locations

	Third year		First year		% of cold-damaged trees of control plot ^c
	Height (cm)	% of cold-damaged trees	Height (cm)	% of cold-damaged trees	
Banwol, Kyunggi	- ^a	5.6	17.7	46.8	9.3
Daeduck, Chungnam	41.3	22.6	17.7	43.1	43.3
Aangsan, Kyungnam	37.7	- ^b	18.0	48.3	

^a : Survival of the third replication was too low to be included in statistical analyses.

^b : No cold-damaged trees.

^c : Control trees planted in the same area. They were protected in a vinyl tunnel during winter period at nursery bed.

Table 4. Third-year height and the percentage of cold-damaged trees of cold-resistant and cold-susceptible families at the first year

	First year		Third year	
	% of cold-damaged trees	Height (cm)	% of cold-damaged trees	Height (cm)
Cold-resistant families	34.3	16.5	17.9	39.8
Cold-susceptible families	51.9	19.0	28.6	42.8

方에서는 特別히 慶北 23號와 24號가 凍害의 大部分을 차지하여 各各 45%, 50%를 記錄하고 있다. 이들 家系는 1年生 幼苗時에도 그 被害率이 各各 75%, 68%로 耐寒性이 아주 낮은 group에 屬하고 있다. 被害率이 比較的 높은 忠南地域에서 各家系別 凍害率은 6.7%~50%의 變異를 보였다. 이들을 大略 두 group으로 나누어 생각할 때 幼苗時 耐寒性이 平均보다 높은, 即 凍害率 47% 以下の 家系들이 역시 3年生 때에도 平均 凍害率 17.9%로 耐寒性이 弱한 group의 28.6%보다 10.7% 耐寒性이 優秀한 것을 알 수 있다(Table 4).

1年生 때의 凍害率을 基準해서 耐寒性 group에 屬한 家系들의 苗高平均은 16.5cm인데 反해 耐寒性이 弱한 나머지 家系들의 苗高平均은 19cm였다. 即 1年生 때의 苗高만 가지고 推定하면 花粉樹인 테다소나무를 보다 많이 닦은 家系가 역시 耐寒性이 弱한 것 처럼 推定된다. 3年生 때에도 이들 group間에 平均苗高에는 3cm 程度의 差異가 있지만 百分率로 表示할 때 그 差異는 1年生과 比較하여 미미한 數值이다. 즉 일단 選拔을 거친 家系들은 group間에 凍害率의 差異는 어느 程度 보이지만 樹高에는 別 差異가 없는 것으로 나타났다.

苗高와 凍害率, 또 1年生 때와 3年生 때의 結果를 더 자세히 分析하여 서로간의 相關關係를 調査한 結果(Table 5)를 보면, 1年生 때의 苗高와 凍害率과의 相關關係는 $r = 0.55$ 로 5% 水準에서 有意性

Table 5. Spearman's coefficients of rank correlation between first and third-year seedling height and the percentage of cold-damaged trees

		(B)	(C)	(D)
First year	Height (A)	0.548*	0.114	0.173
	% of cold-damaged trees (B)		0.414	0.024
Third year	Height (C)			0.012
	% of cold-damaged trees (D)			

* Significance at 5% level.

이 認定되었다. 即 1年生 때 苗圃에서 形質發現이 正確하다면 (環境因子가 고르므로) 이때 좋은 生長을 하는 個體가 一般의으로 耐寒性도 弱하다는 結論을 誘導하게 된다.

그러나 소수이긴 하지만 京畿 7號 等 苗高가 上位 group 이면서도 凍害率이 낮은 家系가 發見되기도 한다. 과연 耐寒性이 遺傳的 形質인가의 問題는 論難의 對象이겠지만 樹木에서는 樹種別로 견디는 最低溫度가 각각 다르다는 報告와⁷⁾ 같은 樹種內에서도 産地間 耐寒性의 差異를 發見한 것 등이 報告되고 있다.⁸⁾ 리기테다소나무의 경우 耐寒性이 良好한 리기테다소나무와 耐寒性이 弱한 테다소나무와의 交雜種인 것을 勘案할 때 이들 F₁ 과 F₂ 에서의 耐寒性 關係를 살펴보는 것은 두 樹種間의 遺傳的 結合 및 分離 等を 說明하는 데 도움을 줄 수 있을 것 같다. 이 實驗結果에 依한다면 일단 幼苗時에라도 選拔을 거친 個體들이나 耐寒性이 弱한 家系들이 역시 3年生 때에도 耐寒性이 弱한 것으로 나타났다. 즉 慶北 23號, 24號는 1年生 때에는 耐寒性이 低調했는데 역시 3年生 때에도 耐寒性이 좋지 않았다. 育種方法의 選擇에 있어 mass selection을 할 境遇 일단 screen 을 거쳐 選拔된 것은 그대로 그 形質을 認定 받을 수 있는 境遇이지만 耐寒性의 境遇는 個體 選拔보다는 家系選拔을 通해 耐寒性의 screen 이 이루어져야 함이 強調되고 있다. 本 實驗의 screen 方法은 人工的인 方法을 使用하지 않고 自然的인 狀態에서 이루어진 것으로 일상적인 溫度 이외의 다른 要因에 對해서는 調査하지 못하였다. 리기테다의 耐寒性에 關與하는 因子中 乾害로 인한 凍害의 加重 可能性이 많이 거론되고 있다. 이에 對한 正確한 結果를 얻기 爲해서는 人工的인 選拔方法을 使用하는 것이 不可避하다. 人工的 screen 方法의 開發을 爲해서는 適切한 低溫과 濕度 및 持續期間 等に 對한 別途의 實驗이 必要하다. 이와 같은 人工 screen 方法은 실제 酷寒에서 screen 하여 實際林地에서의 耐寒성과 比較하여야만 하는데 추운 겨울을 利用한 自然的인 選拔이 容易하지 않은 問題點

Table 6. Analysis of variance of third-year height and estimates of variance components and individual tree heritability

Sources	d.f	M.S	E.V.C.
Locations (L)	1	230.77	
Reps/Locations	4	2783.9	
Families (F)	12	264.4 ^{N.S}	$\sigma^2 F=1.5$
L x F	12	99.2	$\sigma^2 LF=0$
Reps/L x F	48	218.3*	$\sigma^2 R/L:F=19.9$
Within plot	312	118.78	$\sigma^2 = 118.78$ $h_i^2 = 0.04$

* Significance at 5% level

N. S: Nonsignificant

E.V.C.: Estimates of variance components

等 解決하기 어려운 問題들이 많이 있다.

3年生 樹高生長은 地域別, 家系別, 地域과 家系間的 相互作用 等 아무 項目에서도 有意性이 發見되지 않았다(Table 6).

그 理由로 實驗誤差로 解析되는 反復과 家系間的 相互作用이 매우 컸다는 점과 任意誤差 혹은 sampling error로 通하는 plot內的 變異가 매우 컸기 때문이다. 또한 일단 耐寒성으로 선발을 거친 개체들이기 때문에 生長에도 어떤 형태로든 선발이 加해진데도 그 原因을 미루어 볼 수도 있겠다. 그리하여 家系間 얼마간 差異(35.7cm-51.1cm)도 모두 相殺되는 結果를 초래했다. 따라서 遺傳力 $h_i^2 = 0.04$ 라는 낮은 數值로 리기테다 F_2 種子利用을 爲해서는 個體選拔을 거친 F_1 秀型木을 바로 採種園으로 誘導하는 것은 별로 바람직 하지 못하며 이미 造成된 採種園도 가능한 progeny test를 거쳐 間伐을 해 주는 것이 바람직한 것 같다. 種子要求度에 따라 full-sib progeny test를 거친 家系選拔은 못한다 하더라도 經濟性を 勘案해서 half-sib progeny test를 거쳐 家系選拔을 하는 것이 바람직 하다고 思料된다. 이렇게 誤差分散의 規模가 크다는 點은 F_2 世代에서 夏慮했던 分離의 可能性을 排除할 수 없지만 變異가 random이라는 것 뿐이지 變異의 數值(C.V.)가 같은 程度의 다른 data와 比較할 때

特別히 높은 것 같지는 않았다. 이들의 樹齡이 아직 어리고 또 生長에 關與한 環境因子와 遺傳因子와의 相互作用을 分析하기 이전 이들의 生長에 對한 성급한 어떤 結論을 내리는 것도 현명한 일은 아닐 것이다.

引用 文 獻

1. Flimt, H. C. 1972. Cold hardiness of twigs of *Quercus rubra* L. as a function of geographic origin. Ecology 53: 1163-1170.
2. Hyun, S. K. 1972. The possibility of F_2 -utilization in pine hybridization. Proc. IUFRO-SABRAO Joint symposia, Tokyo, C-4(1); 1-10.
3. Institute of Forest Genetics. 1985. Plus trees in Korea. Inst. For. Genet.
4. Jhun, G. S., Park, M. H. and Y. Yang. 1983. Contribution analysis of major environmental factors affecting on the growth of *Pinus rigida* × *P. taeda* F_1 Res. Rep., Inst. For. Gen. Korea, No. 19; 3-9
5. Jhun, G. S. and S. I. Sohn. 1985. Utilization of F_2 seeds in forest tree breeding. Jour. Korean For. Soc. 70; 109-114.
6. Ryu, J. B., Jhun, G. S. and S. K. Hyun. 1984. Seedling height growth and the variation in F_1 and F_2 generations of *Pinus rigida* × *P. taeda*. Korean Jour. Breeding 16 (1); 127-131
7. Sakai, A, and S. Okada. 1971. Freezing resistance of conifers. Silv. Gen. 20; 91-97.
8. Squillace, A. E. and R. R. Silen. 1962. Racial variation in ponderosa pine. For. Sci. Monogr. 2. pp. 27.
9. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw Hill Book Co. Inc. pp. 481.