

낙엽송 클론의 암꽃 개화량 변이

김인식*, 김종한, 강진택, 이병실

국립산림과학원 산림종자연구소

Clonal Variation in Female Flowering of *Larix leptolepis*

In-Sik Kim*, Jong-Han Kim, Jin Taek Kang and Byung-Sil Lee

Forest Seed Research Center, Korea Forest Research Institute, Chungju 380-941, Korea

Abstract - The clonal variation in female flowering was studied in *Larix leptolepis* clone bank, consisting of 116 clones, for three years. The between-year variation was large; i.e. the percentage of flowering grafts and average number of flowering per graft were 28.4~67.2 and 9~176, respectively. Differences in flowering abundance among clones were large and statistically significant in all the years studied. The variance of flowering abundance among clones was increased when flowering was poor. The average of broad-sense heritability of flowering abundance was 0.52. The genetic gain (%G) was estimated at 57.4% when the upper 30% clones were selected. The clonal stability of flowering abundance was compared using average number of flowering and coefficient of variance value of each clone. The clones such as Gyeonggi 9 (29), Kangwon 37 (137), Chungnam 6 (46), Chungnam 14 (414), R11, R8 showed abundant flowering and high stability.

Key words - Seed orchard, Flowering, Heritability, Stability, *Larix leptolepis*

서 언

낙엽송(*Larix leptolepis*)은 일본 원산의 극양수로서 추운지방에서도 잘 적응하며 침엽수 중 幼時生長이 가장 신속한 특징을 가지고 있어 우리나라에서도 주요 조림수종 중 하나로 권장되고 있다. 낙엽송은 목재의 기계적 강도가 높고 내구성이 높아 토목, 건축, 차량, 선박, 가구, 조각재 등으로 널리 이용되어 왔다(안기완, 1997). 최근에는 목재가공 기술의 발달 및 웰빙 추세와 맞물려 집성재를 이용한 실내 장식재나 가구재 수요가 증가하는 추세이며(김 등, 2006; 박, 2000), 종자와 묘목 수요도 함께 증가하고 있다.

낙엽송은 1904년 우리나라에 처음으로 도입되었으며 1959년부터 1980년까지 수형목 145본을 선발하여 1968년부터 1983년까지 270ha의 채종원을 조성하였다. 1977년부터 낙엽송 개량 종자의 생산이 시작되어 2005년까지 1,036kg을 보급한 바 있다(국립산림과학원, 2006). 그러나 결실주기가 5~7년으로 길고 주기성이 일정하지 않는 등 개화결실이 불량하여 채종원에서 종자생산에 많은 어려움이 있다(한 등, 2001). 특히 연도간

종자생산량의 차이가 심해 종자를 전혀 생산하지 못하거나 3~4kg 미만을 생산하는 해가 있는가 하면 1995에는 336kg의 종자를 생산하기도 했다.

이러한 현상은 *Larix*속에서 공통적으로 나타나는 현상으로 국내외적으로 이 문제를 극복하기 위한 원인구명 연구가 이루어진 바 있다(Erickson, 1968; Hall and Brown, 1977; 김 등, 1985; Weins *et al.*, 1987; 김 등, 1989; 이 등, 1995; 한 등, 2001). 특히 Shin과 Karnosky(1995)는 구주잎갈나무 등 4개 수종을 조사하여 수분 후 구과자체가 퇴화하는 현상이 종자결실에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라고 보고한 바 있다. 이와 같은 낙엽송의 개화결실 불량 문제를 극복하기 위해 지금까지 환상박피, 지벨렐린 처리 등 물리, 화학적 방법을 통한 낙엽송의 개화촉진 연구(Stephen, 1991; 신, 1996)와 삼목을 통한 대량증식법 개발 연구(정과 이, 1994; 구와 현, 1995; 구와 현, 1996)가 진행되어 일부 성과가 있었지만 낙엽송 종자 또는 묘목 수요를 충족시키기 위한 현실적 대안으로 활용되지 못하고 있는 실정이다(국립산림과학원, 2006).

따라서 최근에는 최소한의 인력과 예산을 투입하여 낙엽송 개량종자를 대량생산하기 위해 생장우수 클론 중에서 결실량이 많은 개체를 선발하여 채종원을 조성하는 방안이 제기되고 있다

* 교신저자(E-mail) : kimis02@forest.go.kr

Table 1. The percentage of flowering grafts, clonal mean, minimum and maximum values for the number of female flowers in different years

| Year | Percentage of flowering grafts | Number of female flowers/graft | | | |
|------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|--------|
| | | Mean | Min. | Max. | CV (%) |
| 2003 | 67.2 | 20 | 0 | 527 | 254.8 |
| 2004 | 88.8 | 176 | 0 | 1,153 | 111.2 |
| 2005 | 28.4 | 9 | 0 | 527 | 445.4 |

(국립산림과학원, 2006). 이에 본 연구에서는 낙엽송 클론의 개화량 변이 조사 및 유전모수 추정을 통해 낙엽송의 개화관련 형질의 특성을 구명하고 선발육종을 통한 개량 가능성을 검토하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 춘천 소재 낙엽송 클론보존원에서 수행되었는데, 이 클론보존원은 1980년부터 1984년까지 순차적으로 조성되었으며 총 116개의 클론이 보존되어 있다. 클론은 강원(36클론), 경북(24클론), 충남(19클론), 전북(15클론), 경기(9클론), 제주(1클론)에서 선발되었으며 일본산 클론 12개(R1~R12)도 포함되어 있다.

낙엽송 클론의 암꽃 개화량은 2003년부터 2005년까지 3개년에 걸쳐서 실시되었으며 개화량 조사를 위해 클론별로 5개의 조사목(ramet)을 선정하고 방위별로 4개의 조사지를 선정하였다. 각 조사목의 개화량은 조사지당 암꽃 수의 측정치에 전체 가지수를 곱하여 추정하였다.

유전모수 추정에는 개화결실이 불량했던 2005년을 제외한 2003년과 2004년의 자료만을 사용하였으며, 자료의 정규분포 가정을 만족시키기 위해 원자료를 로그변환($\ln(x+1)$)하였다. 분산성분을 구하여 암꽃 개화량에 대한 광의의 유전력(broad-sense heritability; $h^2 = \sigma^2 / (\sigma^2 + \sigma^2/r)$)을 구하였으며, 이 수치를 이용하여 선발차에 따른 유전획득량($\Delta G = Sh^2$)을 추정하였다. 클론별로 평균 개화량과 변이계수(coefficient of variance)를 구하여 암꽃 개화량의 안정성(stability)을 비교하였다.

결과 및 고찰

암꽃 개화량 변이

낙엽송의 클론별 암꽃 개화량은 조사연도 간에 많은 차이를 보여주고 있는데, 2003년에는 전체 클론 중 67.2%가 개화하였으며, 개화클론 중 대부분(85.9%)은 60개 미만의 개화량을 보였으며 20개 미만으로 저조한 클론이 57.7%에 달했다. 이에 비해 2004년에는 전체 클론 중 88.8%가 개화하였으며 개화 클론 중 63.6%가 100개 이상의 개화량을 보였고 300개 이상인 클론도 19.2%에 달했다. 2005년에는 전체 클론 중 28.4%만이 개화

였으며 개화량도 대부분 20개 미만이었다. 연도별 변이계수를 비교해 보면 개화량이 많은 해일 수록 클론 간 변이폭이 작은 경향이었다(Table 1).

임목에서 개화량의 연년변이는 주로 기후인자에 의한 영향으로 설명되는데, 화아가 분화되는 시기에 고온이 유지될 경우 개화량이 많아지는 경향이 있다(Nikkanen and Ruotsalainen, 2000). 낙엽송에 대한 연구에서도 전년도의 고온, 건조 및 일조량이 결실에 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(김 등, 1989; 이 등, 1995). 이처럼 개화량의 연년변이에 기후인자가 크게 영향을 미치고 있지만 한 장소에 조성된 채종원내에서도 클론간에 개화량에 많은 차이가 존재하기 때문에(Kjær, 1996; Bilir et al., 2002), 채종원의 종자관리 측면에서 기후인자 요인 분석 및 모니터링을 통한 종자생산량 예측 연구와 클론별 개화량 변이에 따른 종자생산 및 유전적 다양성 변화에 대한 검토가 병행되어야 할 것이다.

유전모수 추정

2003년과 2004년도의 암꽃 개화량 조사 자료를 이용하여 분산분석을 실시한 결과, 두 해 모두 클론 간 개화량에 있어 고도로 유의한 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 각 항목의 분산성분을 구하여 광의의 유전력(h^2)을 추정하였는데, 두 조사년도에서 동일하게 0.52로 나타났다(Table 2). 본 분석결과로는 광의의 유전력이 2개 조사년도에서 공히 높은 값으로 나타나고 있어 암꽃 개화량은 강한 유전적 조절을 받고 있는 형질인 것으로 추정되어 선발육종을 통한 개량의 가능성이 있는 것으로 생각된다. 그러나, 유전력은 고정된 값이 아니라 연도별 결실률과 클론별 개화량 변이에 따라서 그 추정치가 달라질 수 있기 때문에(Nikkanen and Ruotsalainen, 2000) 다년간에 걸친 조사·분석을 통해 얻어진 결과를 활용하는 것이 바람직할 것이다.

다결실 클론을 선발하였을 때의 개량효과를 살펴보기 위해 위에서 얻어진 광의의 유전력 수치를 이용하여 선발차(S)에 따른 암꽃 개화량의 개량효과($\Delta G = 0.52S$)를 추정하였는데, 개화량이 적은 2003년의 자료는 개량효과가 과대치로 추정되는 문제가 있어 비교적 개화량이 많았던 2004년의 자료를 기준으로 분석하였다(Table 3).

분석결과, 조사대상 클론의 50%를 선발했을 때의 개량효과(%G)는 전체 평균 대비 34.1%, 상위 30%의 클론을 선발할 경우

Table 2. Anova table for the estimation of environmental and genetic variation

| Source | 2003 | | | | 2004 | | | |
|-----------------------------|------|------------|---------|-------|------|-----------|---------|-------|
| | df | MS | VC | h^2 | df | MS | VC | h^2 |
| Between clones | 115 | 6096.395** | 19843.4 | 0.52 | 115 | 3829.82** | 19843.4 | 0.52 |
| Between ramets within clone | 337 | 1472.565 | 18447.1 | | 325 | 18447.14 | 18447.1 | |

는 57.4%, 상위 10%의 클론을 선발할 경우는 102.8%의 개량효과를 얻을 수 있는 것으로 추정되었다. 그러나 앞서 언급한대로 이 수치는 한 개 연도의 자료에 근거한 것이기 때문에 차후 다년간 연구를 통한 자료의 축적을 통해 보완되어야 할 것이다. 또한 개량효과를 높이기 위해 선발강도를 높이다 보면 차대의 유전다양성이 감소하는 문제가 발생할 수 있기 때문에(Kang, 2001; Bilir *et al.*, 2002) 다개화 클론 선발계획 수립 시 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

클론별 개화량의 안정성

매년 지속적으로 개화가 많이 되는 클론이 있다면 종자생산 측면에서 가장 이상적이겠으나 임목은 결실풍흉 주기에 따라 개화량이 크게 좌우되기 때문에 오히려 풍년인 해에 다량 개화되는 클론을 선발하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 채종원의 종자생산성을 제고하려면 클론 내 ramet간의 개화량의 변이폭이 적은 안정성이 높은 클론을 선택하는 것이 바람직할 것이다. 이에 본 연구에서는 평년 수준의 개화량을 보인 2004년 자료를 이용하여 클론별 평균 개화량 및 변이계수 수치를 이용하여 클론별 개화량의 안정성을 비교하였다(Fig. 1). 분석결과, 경기 9(29), 강원37(137), 충남6(46), 충남14(414)와 일본산 R11, R8 등의 클론이 평균 개화량이 많으면서 안정성이 높은 것으로 나타나 다개화 클론을 이용한 채종원 조성에 활용 가능성이 높은 것으로 생각된다.

낙엽송은 자웅동주이지만 암꽃과 수꽃이 따로 달리기 때문에 화분 생산량과 수분·수정 성패, 차대에 대한 배우자 기여도 등을 고려할 때 단순히 암꽃 개화량만을 고려 대상으로 삼는 것은 문제가 있다. 따라서 앞으로 클론별로 암꽃 뿐 아니라 수꽃 개화량에 대한 조사가 이루어져야 하며 수분 후 구과자체가 퇴화하는 문제(Shin and Karnosky, 1995)를 고려하여 클론별로 구과 분석을 통한 종자생산 효율의 검증도 병행해야 할 것이다(한 등,

2001). 이와 같은 연구가 이루어진다면 개화결실 특성이 우수한 암꽃과 수꽃 다개화 클론으로 채종원을 조성하는 것이 가능할 것으로 기대된다.

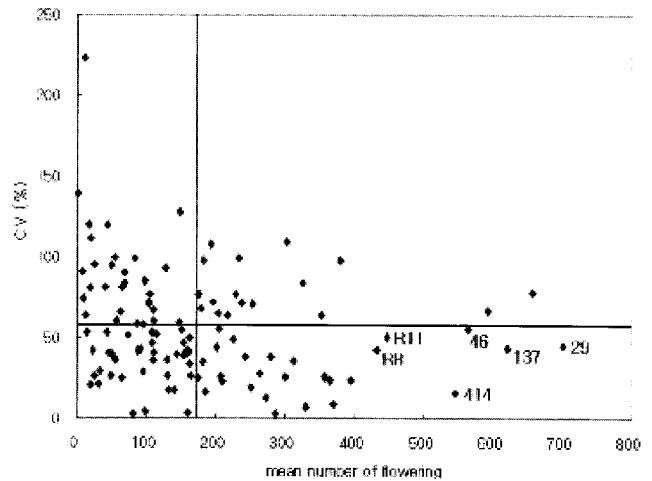


Fig. 1. The biplot of mean number of flowering and coefficient of variance (CV %) value of each clone.

적 요

낙엽송은 결실주기가 길고 개화결실이 불량하여 채종원에서 종자를 생산하는데 어려움이 있다. 최근에는 이 문제를 해결하기 위해 다개화클론을 선발하여 채종원을 조성하는 방안이 제기되고 있다. 이에 본 연구에서는 낙엽송 클론의 개화량 변이 조사, 유전모수 추정 및 안정성 분석을 통해 개화결실 특성이 우수한 클론을 선발하고자 수행되었다. 암꽃 개화량 변이는 1980년부터 1984년에 걸쳐 조성된 강원 춘천 소재 낙엽송 클론보존원에서 2003년부터 2005년까지 116개 클론을 대상으로 조사하였다. 연도별 개체목의 개화율은 28.4~67.2%로 연년변이가 큰 것으로 조사되었으며 개체목 당 평균 암꽃 개화수는 9~176개

Table 3. Estimation of genetic parameters for female flowering traits among clones

| Parameter | Selection criteria | | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | upper 50% (58clone) | upper 40% (46clone) | upper 30% (35clone) | upper 20% (23clone) | upper 10% (12clone) |
| S | 116 | 151 | 194 | 256 | 349 |
| ΔG | 60 | 79 | 101 | 133 | 181 |
| %G | 34.1 | 44.9 | 57.4 | 75.6 | 102.8 |

범위였다. 클론간의 개화량 차이는 모든 조사연도에서 유의한 차이를 보였으며 개화가 불량한 해일 수록 변이폭이 큰 경향이 있었다. 암꽃 개화량에 대한 광의의 유전력은 평균 0.52로서 높게 나타나 강한 유전적 조절을 받고 있는 형질인 것으로 추정되었다. 또한 개화량 순위 상위 30%의 클론을 선발했을 때 기대되는 개량효과(%G)는 57.4%로 추정되었다. 평균 암꽃 개화량과 변이계수를 이용하여 클론별 개화량의 안정성을 분석한 결과, 경기9(29), 강원37(137), 충남6(46), 충남14(414)와 일본산 R11, R8 클론이 평균 개화량이 많고 안정성이 높은 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 암꽃 개화량이 많은 클론을 선발하여 이용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었지만, 낙엽송의 다개화클론 채종원을 효율적으로 조성하기 위해서는 수꽃 개화특성 조사 및 구과분석 등 추가적인 연구가 뒤따라야 할 것이다.

인용문헌

Bilir, N., K. S. Kang and H. Ozturk. 2001. Fertility variation and gene diversity in clonal seed orchards of *Pinus brutia*, *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in Turkey. *Silvae Genetica* 51: 112-115.

Erickson, G. 1968. Temperature response of pollen mother cells in *Larix* and its importance for pollen formation. *Stud. For. Suec.* 63: 1-131.

Hall, J. P. and I. R. Brown. 1977. Embryo development and yield of seed in *Larix*. *Silvae Genetica* 26: 77-84.

Kang, K. S. 2001. Genetic gain and gene diversity of seed orchard crops. Ph. D. Thesis. Swedish University of Agricultural Science, Umea, Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 187. pp. 75.

Kjær, E. D. 1996. Estimation of effective population number in *Picea abies* (Karst.) seed orchard based on flower assessment. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 111-121.

Nikkanen, T. and S. Ruotsalainen. 2000. Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in a norway spruce seed orchard. *Silva Fennica* 34: 205-222.

Shin, D. and D. F. Kamosky. 1995. Factors affecting seed yield in *Larix*. *J. Kor. For. Soc.* 84: 207-217.

Stephen, D. R. 1991. Promotion of Flowering in Western Larch by

Girdling and Gibberellin A_{47} and Recommendations for Selection and Treatment of Seed Trees. Ministry of Forests, British Columbia, Canada, Research Note 105. pp. 13.

Weins, D., C. L. Calvin, C. A. Wilson, C. I. Davern, D. Frank and S. R. Seavey. 1987. Reproductive success, spontaneous embryo abortion and genetic load in flowering plants. *Oecologia* 71: 501-509.

구영본, 현정오. 1995. Hedging 처리에 의한 낙엽송의 삼목 대량 증식과 발근 유전력. *임목연보* 31: 77-96.

_____. 1996. 낙엽송의 삼목발근에 관련된 물질 및 발근과정. *한국임학회지* 85: 300-308.

국립산림과학원. 2006. 임목육종50년. pp. 48-57.

김규식, 권혁민, 심상영, 김영중. 1989. 낙엽송 종자생산에 미치는 수령과 기상인자의 영향. *임목연보* 25: 41-47.

김영모, 송원섭, 김원우, 이구연. 1985. 접목 8년생 일본잎갈나무의 착화 습성. *임목연보* 21: 141-145.

김영숙, 홍순일, 윤정희. 2006. 낙엽송 원주상 소경목의 원목성상과 방부처리성. *목재공학* 34: 52-60.

김용욱, 김준철, 윤양, 노의래. 1999. 낙엽송(*Larix leptolepis*) 성숙 배로부터 부정아 유도 및 식물체 재분화. *식물조직배양학회지* 4: 251-257.

박상범. 2000. 낙엽송 마루판재의 표면강화 처리기술 개발(II). *목재공학* 28: 28-35.

신동일. 1996. 온실에서 자라는 낙엽송의 접목묘와 야외에서 자라는 실생묘로부터 개화유도. *한국임학회지* 85: 532-538.

안기완. 1997. 낙엽송 간벌재의 활용시스템에 관한 연구. - 일본 북해도 하천정 산림조합을 대상으로 -. *산림경제연구* 5(2): 80-88.

이위영, 정덕영, 장석옥, 박문한. 1995. 낙엽송 채종원의 다량착과 현상과 그 원인 규명. *임목연보* 31: 61-67.

정덕영, 이경준. 1994. 삼수의 클론, 모수령, 채취부위 및 발근 촉진제가 낙엽송의 삼목발근에 미치는 영향. *한국임학회지* 83: 205-210.

한상익, 박유현, 송정호, 구영본, 김장수. 2001. 낙엽송자·응화의 개화특성. *한목지* 33: 181-185.

(접수일 2007. 8. 9; 수락일 2007. 9. 5)