

해송 採種園에서 開花特性的 클론 變異¹

韓相億^{2*} · 崔完鏞² · 張經煥² · 金泰壽² · 宋定鎬²

Clonal Variation of Flowering in *Pinus thunbergii* Seed Orchard¹

Sang-Urk Han^{2*}, Wan-Yong Choi², Kyong-Hwan Chang², Tae-Su Kim²
and Jeong-Ho Song²

요 약

본 연구는 1979년에 조성된 해송 채종원에서 6년간(1995~2000년) 개화량을 조사하여 얻은 자료를 토대로 생식과정에 관계된 몇 가지 특성들을 계량화 하고자 하였다.

전체 60개 클론 중 18개 클론(30%)이 차지하는 자화의 상대적인 기여도는 0.37(1999)~0.46(1995), 옹화는 0.44(1999)~0.57(1995)로 자화보다 다소 높게 나타났으며 소수 클론에 의해 편중되는 현상이 다른 수종에 비하여 작게 나타났다. 배우체(v_f , v_s) 수준에서 상대적인 유효집단수는 각각 0.59(1995)~0.91(1999)과 0.56(1995)~0.83(1998), 접합체(v_b) 수준에서는 0.72(1995)~0.93(1999)으로 추정되어 자성배우체가 옹성배우체보다 많게 나타났다. 옹화 개화량에 대한 평균지수는 전체 클론의 73% 이상이 0.4~0.6(0.5 ± 0.1)의 값을 나타내었으며, 연도간에는 73%(1996)~100%(2000)로 다양하게 나타났다. 성적 불균형도(A_s)는 0.09~0.26으로 추정되어 다른 수종에 비해 상대적으로 낮아 높은 유전적 균일성을 나타내었다. 모든 유효집단수 간에는 정의 상관을 보였으며, 성적 불균형도는 모든 유효집단수와 부의 상관을 나타내었다.

ABSTRACT

This study was conducted in an attempt to quantify some traits that may be involved in the reproductive process of *Pinus thunbergii*. During the past 6 years (1995-2000), we surveyed flowering patterns of 60 *P. thunbergii* clones in a seed orchard which was established in Anmyon-do, 1979. From this survey, we estimated clonal contributions of male and female flowers and sexual asymmetry. Among 60 clones, 18 clones (30%) accounted for 0.37 (1999)~0.46 (1995) of clonal contribution in female flowers and 0.44 (1999)~0.57 (1995) of clonal contribution in male flowers. As compared with the previous reports in other pine species, more clones made contributions to reproductive process in *P. thunbergii* seed orchard. The relative effective population numbers for females (v_f) varied from 0.59 (1995) to 0.91 (1999) and those for males (v_s) were between 0.56 (1995) and 0.83 (1998) at gamete level. This showed that the female gametes effectively contribute to the reproductive process more than did the male gametes. The relative effective population numbers at clonal level (v_b) were in the range of 0.72 (1995) and 0.93 (1999). More than 73% of the total clones showed values of 0.4~0.6 (0.5 ± 0.1) in maleness index. The values averaged over all the clones were temporally variable with the range of 73% in 1996 and 100% in 2000. The degree of sexual asymmetry (A_s) ranged from 0.09 to 0.26. These values were relatively low when compared with those of other trees, suggesting that *P. thunbergii* seed orchard remains a high level of homogeneity in the number of male and female. All of the various types of effective population numbers were positively

¹ 接受 2001年 7月 3日 Received on July 3, 2001.

審查完了 2001年 9月 6日 Accepted on September 6, 2001.

² 林業연구원 임목육종부 Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350 Korea.

* 連絡者 E-mail : sanguhan@foa.go.kr

correlated with each other while they were negatively correlated with the degree of sexual asymmetry.

Key words : *Pinus thunbergii*, clonal seed orchard, female flower, male flower, contribution, effective population number, sexual asymmetry.

서 론

해송(*Pinus thunbergii* Parl.)은 우리 나라의 해안가에 오랜 기간 적응해 온 향토수종으로 서해안에서는 백령도, 동해안에서는 원산까지 분포하며 내륙에서는 대전과 상주까지 자라고 있다. 최근 10년간 평균 230ha를 조림하는 수종으로 삼면이 바닷가로 둘러싸인 우리 나라의 경우 조림대상이 많고, 기후 온난화로 조림 가능지역이 늘어날 것으로 기대된다.

임목육종연구소(현 임업연구원 임목육종부)에서는 개량종자 생산을 위하여 1961년부터 1983년까지 수형목 151본을 선발하였으며, 이로부터 접목증식을 통하여 22ha의 채종원을 조성, 2000년까지 약 1.7톤의 개량종자를 생산·보급하였다. 수형목의 증식체로 조성된 채종원은 우량한 종자의 지속적 생산을 위하여 화분에 의한 외부 유전자 이입이 제한된 장소에 유전적으로 우수한 개체들간 상호교배가 이루어 질 수 있도록 관리되어야 한다(Eriksson 등, 1973; Feilberg and Seogaard, 1975). 또한 채종원의 지속적 개량을 위하여 차대검정을 통해 얻어지는 일반조합능력과 같은 유전모수 이외에도 각각의 채종목이 지니고 있는 개화특성과 관련된 클론에 대한 배우자 생산능력과 유전적 균일도, 유전력, 클론별 연도에 따른 개화 반복성과 상관, 자·웅화간의 성적 균형도 등에 관한 정보의 확보가 있어야 할 것이다. 이러한 자료를 토대로 채종원 조성시의 클론 선정 및 배열, 종자생산량 예측, 채종목의 본수 조절 등 적절한 채종원 조성·관리를 할 수가 있다. 그러나 이러한 결과를 채종원 사업에 실용적으로 이용하기 위해서는 이러한 제반 특성들의 계량화가 선행되어야 할 것이다.

이와 같은 중요성 때문에 최근에 침엽수류를 중심으로 채종원에서 개화특성 및 종자 생산과정에 관련된 제반 특성에 대하여 다양한 방법에 의한 계량화 연구가 활발히 진행되고 있다(Griffin, 1982; Matziris, 1994; El-Kassaby and Cook, 1994; Adams and Kunze, 1996; Burczyk and Chalupka, 1997; 한상억 등, 2001). 클론별 기여도 추

정은 자·웅화 개화량 또는 구과수의 조사 자료를 이용하여 채종원 전체의 자·웅화 또는 구과에 대한 특정 클론이 점유하는 비율에 대한 누계도로 나타냈으나 근래에 와서는 집단유전학에서 널리 쓰이는 유효집단수 개념을 응용하여 계량화 하는 방법을 도입하여 많이 적용하고 있다(El-Kassaby and Cook, 1994; Kjær, 1996; Lindgren 등, 1997; Choi 등, 1999).

본 연구는 해송 채종원의 유전간벌, 종자의 유전적 가치를 평가, 전진세대 채종원 조성 등에 필요한 정보를 얻기 위하여 1979년 안면도에 조성된 해송 채종원에서 6년 동안 개화량을 조사하여 얻은 자료를 토대로 연도간 배우체 및 접합체 수준에서 유효집단수에 의한 클론별 기여도와 자·웅화간의 성적 불균형도를 추정하고자 하였으며 종자의 유전적 가치를 평가하는데 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 1961년부터 1977년까지 선발된 해송 수형목으로부터 1978년 2월에 접수를 채취하여 그해 4월에 해송 대목 1-1묘에 접목하였으며, 1979년 4월에 충청남도 태안군 안면읍 중장리(위도: 36° 27', 경도: 126° 22') 소재 임목육종연구소 중부육종장(현 임업연구원 서부임업시험장) 안면육종림에 5m×5m 간격으로 동일 클론이 인접되지 않도록 임의 배열하여 조성된 채종원에서 실행되었다.

개화량 조사는 조성 16년 후인 1995년부터 2000년까지 6년간 60개 클론을 대상으로 클론당 6 ramets에 대한 자웅화 개화량을 유세걸(2000)의 보고에서와 같은 방법으로 조사하였다. 통계분석에 정확성을 기하고자 분산분석은 Steel과 Torrie (1980)의 방법을 이용하여 \log_{10} (조사수+1)로 변수변환 시킨 후 SAS를 이용하여 분석하였다. 유효집단수 및 자웅화간의 성적 불균형도는 Choi 등(1999)의 방법으로 배우체 수준(자성 배우체: v_f , 웅성배우체: v_s) 및 접합체 수준(v_b)에서의 유효집단수와 접합체 수준의 유효집단수를 고려한

자용화간의 성적 불균형도(A_i)를 추정하였다. 클론별 기여율은 Griffin(1982)의 방법으로 추정하였으며, 응화지수의 추정은 Lloyd(1979)의 방법으로 아래의 수식을 이용하였다.

$$\text{Maleness index (A}_i\text{)} = \frac{a_i}{g_i + a_i}$$

식에서, a_i와 g_i는 i 번째 클론의 응화와 자화 개화량에 대한 상대적 비율이다.

결과 및 고찰

1. 연도간 개화 특성 및 유전력

6년간 조사된 해송 60개 클론의 자용화의 개화 특성과 유전력은 Table 1과 같다. 자용화는 모든 해에 걸쳐 클론간 고도의 유의차가 인정되었으며, 연도별 평균 개화량은 응화에서 2000년에 1431.1개로 최대치를 나타내어 자화에 비해 응화에서 많은 번이를 나타내었다. 또한 광의의 유전력은 응화에서 2000년에 0.13으로 최소치를 1995년이 1997년 및 1999년과 마찬가지로 0.30으로 최대치를 나타내었다. 이와 같이 해송의 자용화 개화량은 연도간 풍흉의 차이는 있으나 비교적 안정된 경향을 보이고 있으며, 전반적으로 개화량은 응화의 유전력이 자화의 유전력보다 높게 나타나 응화가 유전적인 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다(김규식, 1989; 유세걸, 2000). 또한 60개 클론 중 전남 34호만 1995년과 1996년에 응화가 개화되지 않은 것으로 나타나 해송은 잣나무(박문한 등, 1987; 한상억 등, 1997)나 소나무(한상억 등, 2001)에서 보고된 내용과는 다르게 비교적 매

년 상당수의 응화와 자화를 생산하는 것으로 나타났다.

지금까지 소나무류의 개화에 대한 클론 특성은 유전적으로 유지되는 것으로 보고되고 있으며 잣나무의 경우 유시단계에서 성숙단계로 전이되는 시기는 접목 8년 후(이상봉, 1990)로 추정하였고 소나무의 경우는 접목 10년 전후(한상억 등, 2001)로 추정하였다. 그러나 해송의 경우는 본 연구에서 유령기의 자료 수집이 미흡하기는 하지만 연도간 풍흉의 차이는 있으나 매년 상당수의 응화와 자화를 생산하는 것으로 나타나 소나무나 잣나무보다 더 빨리 성숙단계로 전이되는 것을 알 수 있었다.

2. 클론별 기여율 및 유호집단수 추정

채종원내에서 연도별로 각 클론이 전체 자용화량에 어느 정도로 균일하게 기여하는가를 추정한 parental-balance 곡선에 의한 누계도는 Figure 1과 같다. 그림에서 직선은 조사대상인 60개 클론이 균일하게 기여한 상태로 이 직선에서 멀어질수록 불균형도, 즉 소수 클론에 의한 지배율이 높음을 의미한다(Griffin, 1982).

6년간의 개화량 조사기간 동안 전체 60개 클론 중 18개 클론(30%)이 차지하는 기여도는 자화에서 전체 개화량의 37~46%를 보였고, 응화에서 전체 개화량의 44~57%를 나타냈다. 김규식(1989)은 본 연구와 동일 조사지에서 유령기인 1988년 전체 클론의 30%가 차지하는 기여도는 자용화에서 각각 46%와 50%로 보고한 바 있어, 자용화 개화량에 대한 기여율은 수령에 따른 차이는 크게 나타나지 않았으나 소수 클론에 의해 편중된 기여

Table 1. The average number of female and male strobili and broad sense heritabilities for 6 years at the *Pinus thunbergii* clonal seed orchard.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Mean±SD	100.4±84.9	95.3±33.7	158.5±56.4	173.8±81.5	95.4±30.5	105.2±48.3
C. V.(%)	84.6	35.4	35.6	46.9	32.0	45.9
Range	10~681	26~189	63~326	35~424	29~187	15~328
H ²	0.18	0.15	0.13	0.34	0.28	0.28
Mean±SD	366.9±331	390.9±337	761.6±432	327.6±175	385.3±196	1431.1±961
C. V.(%)	90.1	86.2	56.8	53.3	50.8	67.2
Range	0~1933	0~1857	120~1983	67~854	55~892	330~5775
H ²	0.30	0.29	0.30	0.25	0.30	0.13

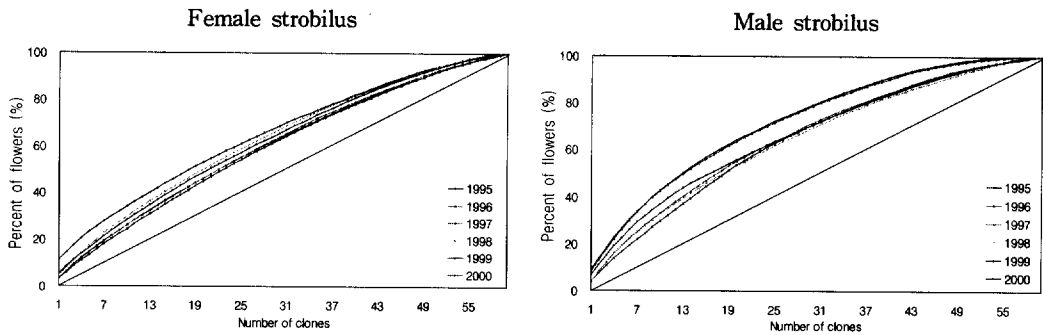


Figure 1. Cumulative production curves for female and male strobilus clones in a seed orchard during the period of 1995-2000. Straight line represents equal contribution by both sexes.

도 현상은 자화에 비해 옹화에서 약간 높게 나타났다. O'Reilly 등(1982)은 *Picea mariana*에서 전체 클론의 33%가 전체 개화량의 52%, 한상억 등(1999)은 소나무에서 전체 클론의 30%가 전체 개화량의 70%, 한상억 등(1997)은 잣나무에서 전체 클론의 20%가 전체 개화량의 49~65%를 차지한다고 보고하였는데 본 연구 결과는 이상의 보고들에 비해 소수 클론에 의해 편중되는 현상이 낮은 것으로 나타났다.

해송 채종원에서 60개 클론의 연도별 개화량 조사에 의해 배우체 및 집합체 수준에서 추정된 유효집단수를 추정된 결과는 Table 2와 같다. 배우체 생산과정에 유효하게 기여하는 상대적 유효집단수(유효집단수/전체클론수)에 있어 자성 배우체(v_f)는 1995년이 0.59로 최저치를 보였으나 1996년부터 2000년까지는 0.82에서 0.91로 비교적 균일한 값을 나타내었다. 또한 옹성 배우체(v_s)도 대체로 낮은 값을 보인 1995년(0.56)과 1996년(0.58)을 제외하고는 1997년부터 2000년까지는 0.69에서 0.83으로 균일한 값을 나타내었다. 전반적으로 자웅화의 개화량은 연도간에 다소 차이는 있으나 다른 수종에 비해 클론별 기여율이 고르게 나타남을 알 수 있다. 또한 조성 후 24년된 소나무

채종원에서 유효집단수는 자성이 0.28~0.83이고 옹성이 0.24~0.93이며, 옹성배우체가 자성 배우체보다 더 균일하게 기여한다는 한상억 등(2001)의 보고와 비교해볼 때 해송의 유효집단수는 높고 비교적 균일한 값을 나타내었으며 기여도도 상반되게 나타나 수종간 개화특성에 따라 차이가 있는 것으로 생각된다.

한편 지금까지 채종원의 개화량과 관련하여 유효집단수의 차이는 연도간의 개화량 변이, 즉 꽃이 많이 핀 해의 유효집단수가 적은 해보다 높게 나타난다고(Askew, 1988; Reynolds and El-Kassaby, 1990; El-Kassaby and Cook, 1994; Kjær, 1996) 보고되었는데 이러한 결과는 보고된 대부분의 연구가 2~3년간의 단기간의 결과라는 점 또는 수종별로 특이하게 나타나는 현상으로 본 연구에서 이러한 경향은 나타나지 않았다. 그러므로 이에 대한 연구가 동일 수종에 대해 다년간 지속된다면 채종원에서 유전다형이나 생산된 종자의 유전적 가치를 평가하는데 보다 신뢰도가 높은 자료를 제공할 수 있어 채종원 사업에 실용적으로 이용할 수 있을 것이다. 한편 채종원내에서 배우체 생산과정에 기여하는 상대적인 유효집단수의 기여율은 누계도 곡선에서와 같은 결과일 수

Table 2. Estimation of relative effective population number at the gamete level (v_f , v_s) and clonal level (v_b) for 6 years at the *Pinus thunbergii* clonal seed orchard in Anmyon-do.

	N	1995	1996	1997	1998	1999	2000
v_f	60	0.59	0.89	0.89	0.82	0.91	0.83
v_s	60	0.56	0.58	0.76	0.78	0.83	0.69
v_b	60	0.72	0.81	0.91	0.89	0.93	0.88

밖에 없지만 이는 해석방법의 차이로 유효집단수에 의한 방법은 계수화가 가능하며 그 적용에 있어서 누계도 방법에 비해 실용성이 높아 근래에 이 방법을 많이 적용하고 있다.

접합체 수준에서 연도별 상대유효집단수(w)는 1995년과 1996년이 각각 0.72와 0.81로 낮은 값을 보인 반면 1997년부터 2000년까지는 0.88~0.93으로 비교적 높은 균일한 값을 나타내어 자웅성 배우체의 유효집단수와 유사한 경향을 보였다. 본 연구에서 얻어진 유효집단수의 변화는 다른 여러 연구에서와 같이 개화가 많이 되는 해에 높은 값을 보인다는(Askew, 1988; Matziris, 1994; Kjær, 1996) 보고와는 다르게 나타났지만, 소나무를 대상으로 보고한 한상억 등(2001)의 결과와는 일치하는 것이다. 또한 한상억 등(2001)은 소나무 채종원에서 접합체 수준에서의 유효집단수는 0.40~0.92로 자성 및 웅성 배우체와 유사한 경향을 보였다고 보고하여 본 연구의 결과와 비교해 유효집단수의 차이는 있으나 동일한 경향을 나타내었다.

3. 상대적 옹화지수 및 자웅화 성적 불균형도 추정

클론별 자웅화의 개화량에 의한 옹화지수는 Figure 2와 같다. 그림에서 옹화지수가 1인 경우는 클론내에서 자화가 전혀 개화하지 않고 옹화만 개화한 것이고, 0인 경우는 자화는 개화하였으나 옹화가 전혀 개화하지 않은 상태로 두 경우 모두 완전한 성적 불균형상태를 의미하는 것이다. 또한 그림에서 직선인 0.5는 자웅화가 같은 양이 개화된 것으로 Table 4에서 자웅화간 성적 불균형도가 0이 되는 완전한 성적 균형상태를 나타낸다.

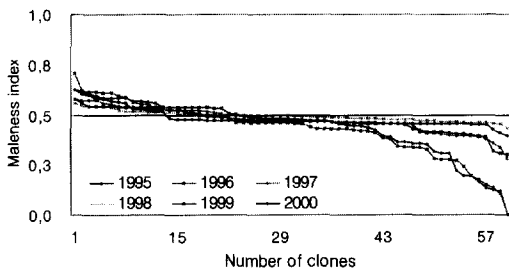


Figure 2. Maleness indices calculated for individual clone based on the observations of proportion of strobilus production for the period of 1995~2000.

6년 동안의 옹화 개화량에 대한 평균지수를 살펴보면 1995년에 82%, 1996에 73%, 1997년에 97%, 1998년에 100%, 1999년에 95%, 2000년에 100%가 0.4~0.6의 값을 나타내 해송은 대체로 자웅화간 완전한 성적 균형을 이루고 있음을 알 수 있으며, 특히 소나무나 잣나무에 비해 자화 및 옹화 개화량이 많고 균일한 것으로 나타났다.

또한 개화가 전혀되지 않은 클론은 옹화에서 1995년과 1996년에 각각 1개의 클론만 나타나 해송의 자웅화 개화량은 연도간 풍흉에 따른 차이는 있으나 비교적 안정되고 균일함을 알 수 있다. Lloyd (1979)에 의하면 자웅화지수는 종자생산량에 기여하는 모수의 클론별 자화 및 옹화의 성적 불균형상태를 나타내며 종자생산량 예측이 가능하다고 하므로 클론별 배우자 생산능력 및 자웅화간의 유전적 균형상태 등을 추정함으로써 생산된 종자의 유전적 가치 평가 및 효율적인 채종원 관리에 유용한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

한편 접합체 수준의 유효집단수를 근거로 추정된 연도별 자웅화간의 성적 불균형도(A_s)는 Table 3과 같다. 1995년이 0.26으로 가장 높은 값을 보였으며 1996년부터 2000년까지는 0.09에서 0.15로 비교적 균일하면서도 낮은 값을 나타내었다. 그러나 가장 높은 성적 불균형도를 보인 1995년의 0.26은 한상억 등(2001)이 보고한 소나무에 비해 상대적으로 낮은 불균형상태를 나타내고 있어 해송은 타 수종에 비해 클론내 자·웅화가 비교적 고르게 개화하고 있음을 알 수 있다.

또한 위의 여러 가지 방법에 의해 추정된 유효집단수가 높을수록 성적 불균형도는 낮은 값을 나타내는 상반된 경향을 보여주고 있는데 이는 Table 7의 상관 분석에서도 알 수 있듯이 자웅성 배우체간 성적 불균형도는 배우체 및 접합체 수준에서의 유효집단수 및 개화량과 부의 상관을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이처럼 성적 불균형도는 배우체 및 접합체 수준에서의 모든 유효집단수와 부의 상관을 나타내 한상억 등(2001)과 Choi 등(1999)이 소나무에서 보고한 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 특히 채종원에서 각 클론이 생산하는 자웅성 배우체의 균형정도는 생산된 종자의 유전적 다양성 및 각 클론이 지닌 특수조합능력에 의한 개량효과 분석 등에 영향을 미치게 되므로 이에 관한 연구가 근래에 여러 가지 관점에서 많이 진행되고 있다.

Table 3. Estimation of degree of sexual asymmetry (A_s) at the *Pinus thunbergii* clonal seed orchard in Anmyon-do during the period of 1995~2000.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
A_s	0.26	0.11	0.10	0.11	0.09	0.15

4. 개화특성간 상관분석

자웅화 개화량에 대한 연도간 단순 및 순위상관 계수는 Table 4, 5와 같다. 자화에 대한 단순상관에서는 1995년과 1997년, 1998년, 1999년 및 2000년간, 순위상관에서는 1995년과 1997년 및 2000년간의 상관을 제외하고는 모든 연도간에 정의 상관을 나타내었다.

또한 옹화에 대한 단순상관에서는 1998년과 1995년 및 1996년간, 순위상관에서는 1997년과 1995년간, 1998년과 1995년 및 1996년간 상관을 제외하고는 모든 연도간에 정의 상관을 보였으며

옹화가 자화에 비해 수령간에 높은 정의 상관관계를 나타내었다. 한상억 등(1997, 2001)은 잣나무와 소나무에서 대부분의 연도간에 단순 및 순위상관에서 높은 정의 상관을 보여 클론간 개화량이 반복성을 보이고 있었으며, 특히 잣나무에서는 개화의 주기성이 나타났으나 소나무에서는 이러한 경향이 나타나지 않았다고 보고하였다. 그러나 본 연구 수종인 해송에서는 이러한 개화의 주기성은 나타나지 않았다. 또한 이들은 옹화가 자화보다 연도간에 높은 정의 상관이 있는 것으로 보고하여 본 연구에서의 유사한 경향을 나타내었다.

Table 4. Simple (above the diagonal) and rank (below the diagonal) correlation coefficients between the number of female strobili during the period of 1995~2000.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1995	—	0.3073*	0.0427	0.1791	0.1878	0.1223
1996	0.8505**	—	0.4089**	0.4362**	0.3213*	0.3482**
1997	0.2297	0.3712**	—	0.5921**	0.4706**	0.4297**
1998	0.5035**	0.5060**	0.5431**	—	0.4335**	0.5106**
1999	0.3229*	0.4008**	0.4298**	0.4825**	—	0.3741**
2000	0.2477	0.2561*	0.4825**	0.6006**	0.4418**	—

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

Table 5. Simple (above the diagonal) and rank (below the diagonal) correlation coefficients between the number of male strobili during the period of 1995~2000.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1995	—	0.9941**	0.4414**	0.2455	0.4763**	0.4332**
1996	0.9899**	—	0.4584**	0.2259	0.4976**	0.4426**
1997	0.2439	0.2689*	—	0.6084**	0.5164**	0.4874**
1998	0.1545	0.1620	0.6449**	—	0.5305**	0.3925**
1999	0.4146**	0.4457**	0.4442**	0.6231**	—	0.5382**
2000	0.3549**	0.3853**	0.5160**	0.5068**	0.6404**	—

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

Table 6. Simple (r_p) and rank (r_s) correlation coefficients between the number of female and male strobili during the period of 1995~2000.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
r_s	0.0307	0.0576	-0.0571	0.1212	-0.1252	-0.0656
r_p	0.2530	0.1158	-0.1212	0.0148	-0.1216	-0.1628

Table 7. Simple correlations between various effective population numbers, yearly averaged number of flowers in female and male, grade of sexual asymmetry and seed orchard ages of a *Pinus thunbergii* clonal seed orchard for 6 years.

	v_f	v_s	v_b	A_s	\bar{x}_f	\bar{x}_s
Age	0.5319	0.6946	0.7690	-0.5029	0.0602	0.6022
v_f		0.6012	0.8399*	-0.9732**	0.1575	0.1484
v_s			0.9235**	-0.7014	0.5547	0.0880
v_b				-0.8712*	0.4035	0.2629
A_s					-0.3259	-0.0053
\bar{x}_f						-0.0764

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

연도별 자웅화간 단순 및 순위상관 계수는 Table 6과 같다. 자웅화간에는 모든 연도에 있어 유의성이 인정되지 않아 해송의 자웅화 개화량은 상호 독립적임을 알 수 있다. 이것은 생리적인 영향보다는 각 클론이 지닌 유전적인 영향을 많이 받는데서 기인되는 것으로 추정된다. 일반적으로 채종원에서 자웅화간 상관관계는 정, 부 및 독립적인 세가지 형태로 나타나는데 위의 결과처럼 독립적인 경우에는 조성된 채종원에서 모든 클론이 전반적으로 균일하게 종자 형성 과정에 기여하는 것으로 이상적인 채종원 조성 및 관리에 중요한 적정 집단의 크기를 유지하기 위한 자배방지 등에 활용할 수 있을 것이다.

채종목의 수령, 개화량, 유효집단수 및 성적 불균형도에 대해 상관분석을 실시한 결과는 Table 7과 같다. 자웅성 배우체(v_f , v_s), 접합체(v_b) 및 성적 불균형도(A_s)의 상호간에는 전반적으로 유의적인 차이를 보였는데 이는 수식에 적용된 인자의 속성상 특징에 기인한 것으로 추정된다. 그러나 수령은 모든 유효집단수 및 개화특성과 어떠한 경향도 보이지 않는 독립성을 나타내어 해송 채종원의 유전적 균일성 또는 유사성은 비교적 수령에는 무관하게 어느 정도 높게 유지되고 있음을 알 수 있다. 또한 평균 자웅화수가 다른 특성과 유의

성을 나타내지 않은 것은 Table 5, 6에 나타난 것처럼 클론에 의한 반복성이 있으나, 전체 개화량은 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 추정된다. 한상억 등(2001)은 소나무 채종목에서 접목 증식 8년 후인 유시단계를 포함한 9년간의 결과에서 수령과 유효집단수간에는 전반적으로 정의 상관관을 보였으나 유시단계인 처음 2년간의 자료를 제외하였을 경우에는 유의차가 나타나지 않았다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 보여 주고 있다. 이것은 위에서 상술된 바와 같이 해송은 소나무나 잣나무보다 더 빨리 성숙단계로 전이되며 각 클론이 매년 많고 고른 개화특성을 보여 본 연구에서도 수령에 따른 어떤 경향성이 나타나지 않은 것으로 사료된다.

이상의 연구결과를 종합하면 해송 채종원에서 자웅화의 개화량은 모든 조사 연도에서 클론간에 고도의 유의차가 인정되었다. 개화유전력은 자화에 비해 옹화에서 높게 추정되어 옹화가 유전적인 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 유효집단수는 자성 배우체가 옹성 배우체보다 많게 나타났으며, 자웅성 성적 불균형도는 다른 소나무류에 비해 상대적으로 낮아 연도간 풍흉의 차이는 있으나 높은 유전적 균일성 및 유사성을 나타내었다. 클론별 자웅화 개화량의 기여율은 자화보다 옹화

에서 높게 나타났으나 소수 클론에 의해 편중되는 현상은 타 수종에 비하여 작게 나타났다. 그러므로 이러한 결과는 채종원에서 유전간별 또는 생산 종자의 유전적 가치를 평가하는데 좋은 척도로 활용될 수 있어 채종원을 합리적으로 관리하는데 유용할 것이다.

인용 문헌

1. 김규식. 1989. 해송 채종원에서 개화, 배우자 생산의 유전적 균일율 및 종자효율에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문 34pp.
2. 박문찬, 이상봉, 김원우, 장대경. 1987. Clone 보존원에 조성된 잣나무 156Clone의 개화변이. 임육연보 23 : 78-83.
3. 유세걸. 2000. 해송 clone 채종원에서 clone별 개화특성. 충북대학교 석사학위논문 32pp.
4. 이상봉. 1990. 잣나무 수형목 Clone의 개화특성. 강원대학교 석사학위논문 58pp.
5. 한상익, 최완용, 탁우식. 1997. 잣나무 클론의 개화특성 변이. 한육지 29(1) : 139-144.
6. 한상익, 장경환, 최완용. 1999. 소나무 채종원에서 개화특성의 클론간 및 연간변이. 산림과학논문집 62 : 17-24.
7. 한상익, 최완용, 장경환, 이봉수. 2001. 소나무 채종원에서 개화특성에 의한 유효집단수 및 성적 불균형도 추정. 한육지 33(1) : 29-34.
8. Adams, G.W. and H.A. Kunze. 1996. Clonal variation in cone and seed production in black and white spruce seed orchards and management implications. Forestry Chronicle 72 : 475-480.
9. Askew, G.R. 1988. Estimation of gamete pool compositions in clonal seed orchard. Silvae Genetica 37 : 227-232.
10. Burczyk, J. and W. Chalupka. 1997. Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard. Annals of Forest Science 54 : 129-144.
11. Choi, W.Y., H.H. Hattemer and H.G. Chung. 1999. Estimation of sexual asymmetry based on effective population number by flowering assessment and its application to an observed data from *Pinus densiflora* clonal seed orchard. FRI. Journal of Forest Science 61 : 33-42.
12. El-Kassaby, Y.A. and C. Cook. 1994. Female reproductive energy and reproductive success in a Douglas-fir seed orchard and its impact on genetic diversity. Silvae Genetica 43 : 243-246.
13. Eriksson, G., A. Jonsson, and D. Lindgren. 1973. Flowering in a clone trail of *Picea abies* Karst. Studia Forestalia Suecica 110 : 45pp.
14. Feilberg, L. and B. Seogaard. 1975. Historical review of seed orchards. In: Seed orchards. Faulkner, R.(ed.), Forestry Commission Bulletin 54, Her Majesty's Stationery Office, London, UK. pp. 1-8.
15. Griffin, A.R. 1982. Clonal variation in radiata pine seed orchards. I. Some flowering, cone and seed production traits. Australian Forest Research 12 : 295-302.
16. Kjær, E. 1996. Estimation of effective population number in *Picea abies* (Karst.) seed orchard based on flower assessment. Scandinavian Journal Forest Research 11 : 111-121.
17. Lindgren D., L.D. Gea and P.A. Jefferson. 1997. Status number for measuring genetic diversity. Forest Genetics 4 : 69-76.
18. Lloyd, D.G. 1979. Parental strategies of angiosperms. New Zealand Journal of Botany 17 : 595-606.
19. Matziris, D. 1994. Genetic variation in the phenology of flowering in black pine. Silvae Genetica 43 : 321-328.
20. O'Reilly, C., W.H. Parker, and J.E. Barker. 1982. Effect of pollination period and strobili number on random mating in a clonal seed orchard of *Picea mariana*. Silvae Genetica 31 : 90-94.
21. Reynold, S. and Y.A. El-Kassaby. 1990. Parental balance in Douglas-fir seed orchard cone crop versus seed crop. Silvae Genetica 39 : 40-42.
22. Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics : A biometrical approach. McGraw-Hill Book Co., N.Y. 633pp.