

잣나무 채종원에서 구과 착과수에 따른 구과 및 종자특성

김인식*, 허성두¹

국립산림과학원 산림유전자원부, ¹국립산림품종관리센터

Cone and Seed Characteristics among Different Cone Abundance Classes in a Seed Orchard of *Pinus koraiensis*

In-Sik Kim* and Seong-Doo Hur¹

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

¹Korea Forest Seed and Variety Center, Chungju 380-941, Korea

Abstract - This study was conducted to examine the relationship between cone abundance and cone/seed characteristics to improve seed quality and seed orchard management of *Pinus koraiensis*. The data was collected from *P. koraiensis* seed orchards at Chungju in 2007. That year was a rich year of cone harvest and the average number of cone per tree was 2.5 times much than that of normal year. We collected the cones from all trees in the sample plot of the seed orchard and investigated morphological characters such as cone length, cone width and cone weight. According to cone abundance per tree, the samples were divided into eight classes and analysed by cone analysis method. There is a decreasing tendency of number of fertile scale, seed potential, percent of filled seeds, seed weight per cone and seed efficiency, when the cone number per tree is increased. Additionally, the implications of the results to seed orchards management of *P. koraiensis* were discussed.

Key words - Cone analysis, Filled seeds, Aborted ovules, Seed potential, Seed efficiency

서 언

대부분의 생물과 마찬가지로 수목도 한정된 자원을 이용하여 생식생장을 하기 때문에 진화적 측면에서 생존을 위해 종자나 열매의 크기와 숫자간의 균형(size-number trade-off)을 유지하고 있다는 것은 잘 알려진 현상이다 (Saki and Harada, 2001). 일반적으로 열매나 종자는 영양소를 독점적으로 이용하는 강력한 수용부(sink)에 해당되기 때문에 줄기, 뿌리, 형성층의 생장을 억제하는 경향이 있으며 자작나무(*Betula papyrifera*)와 미송(*Pseudotsuga menziesii*)의 경우 종자가 많이 달린 나무는 직경생장이 급격하게 감소하며 그 영향이 2년 후까지 지속된다고 한다 (Lee, 1993).

잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)의 경우 수분 후 완숙될 때까지 구과의 이산화탄소 수지는 부의 값으로 구과 생산으로 인해 수목의 성장량 및 탄수화물 함량이 감소된다.

특히, 연간 순호흡소비량은 당년생 구과가 7.23 CO₂g/cone 인데 비해 2년생 구과는 164.8 CO₂g/cone로 무려 22.8배나 높아 구과성숙 및 종자발달에 많은 에너지가 소비되고 있음을 알 수 있다(Han and Kim, 1988).

종자결실이 풍년이 되어 과다착과가 이루어지면 양분을 과다하게 소모함으로써 생리적으로 영양상태의 불균형을 초래하거나 화아발달이 억제되는데 이것이 임목의 결실 주기성을 나타내는 원인 중 하나로 생각되고 있다(Westwood, 1978). 특히, 주간이나 가지의 탄수화물 함량은 종자생산과 직접적인 상관을 가지고 있어 탄수화물 함량이 높을 경우 종자생산량이 많은 반면 그 함량이 낮으면 종자생산량도 적어지게 된다. 또한 열매와 화아간의 생장을 위한 경쟁으로 인해 저장 탄수화물이 고갈됨으로써 종자 풍년 이듬해에는 종자생산량이 감소되는 원인이 된다(Sedgley and Griffin, 1989).

잣나무는 우리나라 고유수종으로 2년에 거쳐서 결실하며(Lee, 1993) 결실주기는 2~3년으로 알려져 있는데, 유

*교신저자(E-mail) : kimis02@forest.go.kr

구과(conelet)의 착과수가 많아지면 모수의 수체 내 양분 소모가 커서 다음해에 쪽정이 수가 많아지는 경향이 있으며(Chon *et al.*, 1984), 착과수는 모수의 흉고직경과 수관 면적이 크고 주간의 분지수가 많을수록 증가한다는 보고가 있어(Chon and Noh, 1983) 착과량은 수체의 영양상태와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 착과량이 많아지면 일반적으로 종자크기와 종자무게가 감소하게 되는데(Saki and Harada, 2001), 종자크기가 묘목의 생장에 영향을 미치는 효과는 수종에 따라 차이가 있지만 잣나무의 경우 종자의 무게와 두께가 클수록 유묘의 성장량이 높았으며(Chon, 1976), 구과와 종자의 크기가 크고 무거울수록 포자와 조립지에서의 생장이 좋은 경향이 있었다(Han and Yi, 1996).

위에서 살펴본 것처럼 임목의 결실주기성으로 인한 종자 생산의 불규칙성은 채종원의 개량종자 보속생산 체계 구축에 제약요인이 되고 있으며(Kim *et al.*, 2008), 풍년의 과다착과는 종자품질 저하, 병충해 발생 증가, 종자채취 및 관리 비용 증가 등의 문제가 발생할 수 있어 채종원에서 인위적으로 개화결실량을 조절하는 방안이 논의되고 있다. 본 연구는 잣나무의 구과 착과량에 따른 구과 및 종자특성의 변화 양상을 구명함으로써 잣나무 채종원의 효율적 관리방안을 도출하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 충북 충주시 수안보 소재 잣나무 클론채종원(1970년 조성, 3.0ha)에서 수행되었는데, 이곳은 채종원의 일반적인 관리방법에 준하여 매년 병충해 방제와 개화축진을 위한 유기질 비료 시비가 이루어지고 있다. 식재간격은 5 m × 5 m이며, 1,050본이 현존하고 있다. 채종원 내 잣나무 개체목들은 개량효과와 유전다양성을 높이기 위해 특정 클론들이 인접하여 중복되지 않도록 임의 배치되어 있다. 1992년과 2001년 2회에 걸쳐 개화축진과 구과채취의 용이성을 목적으로 주간을 절단한 수형조절이 이루어졌다(Kim *et al.*, 2006).

시료채취는 채종원의 종자생산 예측을 위해 설치한 표본 조사구에서 수행했는데 면적은 0.2ha이고 포함된 개체목 수는 80본이다. 본 조사가 이루어진 2007년은 잣 결실이 풍년인 해로 전체 조사목의 96.3%인 77본이 착과되었으며, 본 당 착과수는 3~55개 범위였다. 조사구 내의 77개 착과목에서 병충해를 입지 않은 건전한 평균 구과를 개체

당 3개씩 총 231개 채취하였다.

채취된 구과를 대상으로 구과길이, 구과폭, 구과무게를 측정하였고 구과형상비(=길이/폭)를 구했다. 본 당 구과 착과수에 따라 계급을 나누어 구과분석을 실시했는데, 계급수와 급구간은 아래와 같은 Sturges 공식을 이용하여 구했으며, 계급수는 8, 급구간은 7로 하였다(Chae *et al.*, 1987).

$$k = 1 + 3.32 \log N$$

k: number of class, N: sample size,

log: common logarithm

$$i = (\text{Maximum value of observation} - \text{Minimum value of observation}) / k$$

i: class interval

구과분석을 위해 구과의 모든 인편을 기부로부터 하나씩 떼어내고 구과 내의 모든 종자를 분리했다. 분리된 인편은 모양에 따라 임성인편(fertile scale)과 불임성 인편(sterile scale)으로 구분하고 종자는 성숙종자(developed seeds)와 고사배주(aborted ovules)로 구분하였다. 성숙종자는 충실종자(filled seeds), 비립종자(empty seeds), 상해종자(damaged seeds)로 구분하였으며, 고사배주는 첫째 고사배주(first-year aborted ovule)와 둘째해 고사배주(second-year aborted ovule)로 구분하였다(Lee *et al.*, 1984). 충실종자는 천립중을 측정했으며, 아래의 수식을 이용하여 종자생산능력(seed potential), 성숙종자율(percent developed seeds), 충실종자율 (percent filled seeds), 첫째 및 둘째해 고사배주율(percent aborted ovules), 종자효율(seed efficiency)을 구했다(USDA Forest Service, 1977).

조사된 제반 형질에 대한 통계적 유의성 검정 및 상호관계 구명을 위해 통계 패키지인 SAS 프로그램을 이용하여 분산분석 및 상관분석을 실시하였다.

$$\text{Seed potential} = \text{Fertile scale} \times 2$$

$$\text{Total developed seeds} =$$

$$\text{Filled seeds} + \text{Empty seeds} + \text{Damaged seeds}$$

$$\text{Percentage developed seeds} =$$

$$\text{Total developed seeds} / \text{Seed potential} \times 100$$

$$\text{Percent filled seeds} =$$

$$\text{Filled seeds} / \text{Total developed seeds} \times 100$$

Percent damaged seeds =
 $\text{Damaged seeds} / \text{Total developed seeds} \times 100$

Percent empty seeds =
 $\text{Empty seeds} / \text{Total developed seeds} \times 100$

Percent of 1st-year aborted ovules =
 $\text{1st-year aborted ovules} / \text{seed potential} \times 100$

Percent of 2nd-year aborted ovules =
 $\text{2nd-year aborted ovules} / \text{seed potential} \times 100$

Seed efficiency =
 $\text{Total filled seeds} / \text{Seed potential} \times 100$

결과 및 고찰

구과착과 양상

조사가 이루어진 잣나무 채종원의 착과 본수율과 본 당 구과수는 연도별로 많은 차이를 보이고 있는데, 평년의 경우 착과 본수율은 평균 60% 내외이고 본 당 구과수는 평균 11개 정도인데 비해(unpublished data), 본 시료를 채취한 해는 풍년으로 조사목 80본 중 77본이 착과되어 96.3%의 착과율을 보였으며 본 당 구과수는 평균 27.4개(3~55개)로 평년에 비해 약 2.5배 정도 착과수가 많은 것으로 나타났다(Table 1). 본 당 착과수 계급별 분포를 보면, 계급 IV(17~23)가 상대빈도 0.299로 가장 많았으며, 이로부터 양극단으로 갈수록 빈도가 감소하는 좌측으로 약간 편포된 비대칭형 분포를 나타내고 있다. 본 당 착과수의 가중산술평균은 27.4, 중위수는 25.5, 최빈수는 21.3이었다(Fig. 1).

또한 강원 홍천 소재 45년생 잣나무 일반 임분에서 5년간 조사된 결과에 의하면 가장 착과량이 많은 해는 본 당

구과수가 평균 14.2개, 가장 적은 해는 평균 6.2개로 보고 되었는데(Chong and Chon, 1979a), 본 조사지는 수광 및 양분조건이 양호하며 집약적인 관리가 이루어지는 곳으로 평균 본 당 착과수가 일반 조림지보다 많은 편이며 특히 조사연도는 풍년으로 더 많은 구과가 착과된 상태임을 알 수 있다.

본 조사지에서 평년의 구과 생존율이 80% 수준인데 비해 풍년인 본 조사연도에는 평균 75%로 낮았는데 착과수가 많아짐에 따라 낙과수도 증가한 것을 알 수 있다. 이와 관련하여 잣나무 성숙목에서 착과수와 낙과수간에 정의 상관관계가 있다고 보고된 바 있다(Chong and Chon, 1979b).

구과의 형태적 특성

구과 착과수에 따른 구과의 형태적 특성을 조사한 결과, 구과길이는 평균 13.2 cm(8.8~17.1 cm), 구과폭은 평균 7.3 cm(5.5~9.5 cm), 구과 형상비는 평균 1.8(1.4~2.3), 구과무게는 평균 121.9 g(52.7~265.7 g)이었다. 변이계

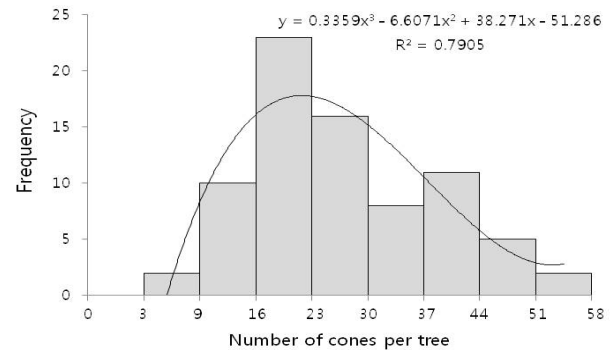


Fig. 1. Distribution of number of cones per tree in the sample plot.

Table 1. Frequency distribution table on number of cones per tree in the plot

Class	Class midpoint	Lower limit	Upper limit	Frequency	Relative frequency	Cumulative frequency
I	6	3	9	2	0.026	2
II	13	10	16	10	0.130	12
III	20	17	23	23	0.299	35
IV	27	24	30	16	0.208	51
V	34	31	37	8	0.104	59
VI	41	38	44	11	0.143	70
VII	48	45	51	5	0.065	75
VIII	55	52	58	2	0.026	77

수를 살펴보면 구과길이 12.2%, 구과폭은 9.8%, 구과형상비 9.8%, 구과무게 33.6%로 구과무게의 변이폭이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다. 분산분석 결과, 구과형상비(구과길이/구과폭)를 제외한 구과길이, 구과폭, 구과무게는 계급 간에 유의한 차이가 인정되었다(Table 2).

본 조사지와 동일한 채종원에서 평년에 조사된 자료에 의하면 구과길이는 평균 16.1 cm, 구과폭은 평균 9 cm, 구과무게는 245 g로 나타나(Kwon *et al.*, 2011), 개화결실이 풍년인 해에는 평년에 비해 평균적으로 구과의 크기와 무게가 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 조사계급 중에서는 계급 I이 구과길이 15.7 cm, 구과폭 8.4 cm, 구과무게 240.7 g으로 평년 수준에 근접하고 있을 뿐이고 나머지 계급은 매우 낮은 수치를 보여주고 있다.

계급별 구과크기의 변화를 살펴보면, 구과길이나 구과폭 모두 계급 I에서 가장 큰 값을 나타냈으며, 변이폭도 가장 작은 것으로 나타났다. 계급 II에서는 계급 I에 비해 구과길이나 구과폭이 크게 감소하였고 이후 계급 III~V까지는 비슷한 수준을 유지하다가 계급 VI 이후부터 다시 소폭으로 감소하는 경향을 나타냈다. 구과무게도 유사한 경향으로 계급 I이 가장 무거운 반면 나머지 계급에서는 비슷한 수준을 보여주고 있다. 계급 I과 계급 II간의 구과길이나 구과폭의 감소율은 각각 17.2%, 15.5%인데 비해 구과무게

의 감소율은 50.1%로 구과크기의 보다 급격한 감소 양상을 나타냈다. 전체적으로 볼 때, 잣나무의 본 당 구과수가 10 개를 넘게 되면 구과크기와 무게가 크게 감소하며, 그 이후 부터는 비슷한 수준으로 유지되는 경향이였다.

계급 평균치에 계급 중심점(midpoint)의 수를 곱한 본 당 구과의 총 무게를 비교해 보면, 계급 I에 비해 계급 II는 1.1배, 계급 III은 1.7배, 계급 IV는 2.3배, 계급 V는 2.9 배, 계급 VI은 3.0배, 계급 VII은 3.2배, 계급 VIII은 3.7 배나 많은 구과 바이오매스를 유지하고 있어 착과량이 많을수록 많은 양분과 에너지를 구과의 유지에 소모하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경우 수목 영양상태의 불균형 초래 및 화아발달 억제(Westwood, 1978) 또는 열매와 화아 간 경쟁으로 인한 저장 탄수화물 고갈로 이듬해 종자생산량이 감소(Sedgley and Griffin, 1989)하는 문제가 나타날 수 있다. 실제 본 조사지에서도 본 당 구과가 30개 이상 착과된 나무에서 양분부족으로 침엽이 노랗게 변하는 현상을 흔히 관찰할 수 있었다.

구과분석

구과 착과량에 따른 구과 및 종자의 특성 변화를 구명하기 위해 구과분석을 실시하였다. 총 인편수는 평균 100.5 개였으며 계급 간에 유의한 차이가 없었으나, 임성 인편수

Table 2. Cone shape and weight of each cone abundance class

Class	Cone characteristics							
	Length (cm)		Width (cm)		Length/width		Weight (g)	
	Mean ± SE	CV (%)	Mean ± SE	CV (%)	Mean ± SE	CV (%)	Mean ± SE	CV (%)
I	15.7 ± 0.23a ^z	3.5	8.4 ± 0.14a	4.1	1.9 ± 0.06a	7.2	240.7 ± 9.23a	9.4
II	13.0 ± 0.32bc	13.4	7.1 ± 0.10bc	8.4	1.8 ± 0.03a	10.0	120.1 ± 6.85b	31.2
III	13.4 ± 0.20b	12.1	7.4 ± 0.08b	9.3	1.8 ± 0.02a	9.4	122.5 ± 4.56b	30.9
IV	13.5 ± 0.20b	10.4	7.4 ± 0.09b	8.8	1.8 ± 0.02a	9.3	122.5 ± 5.82b	32.9
V	13.3 ± 0.27b	9.8	7.4 ± 0.13b	8.5	1.8 ± 0.03a	9.2	122.2 ± 5.38b	21.6
VI	12.8 ± 0.30bc	13.3	7.2 ± 0.14bc	10.9	1.8 ± 0.03a	8.7	107.4 ± 5.43b	29.1
VII	12.6 ± 0.38bc	11.8	6.9 ± 0.16bc	9.0	1.8 ± 0.05a	11.3	97.7 ± 6.10b	24.2
VIII	11.8 ± 0.62c	12.8	6.8 ± 0.45c	16.4	1.8 ± 0.17a	22.7	96.8 ± 8.01b	20.3
Mean	13.2 ± 0.11	12.2	7.3 ± 0.05	9.8	1.8 ± 0.01	9.8	121.9 ± 2.62	33.6
F value	3.98 ^{**y}	-	4.65 ^{**}	-	0.43ns ^x	-	12.09 ^{**}	-

^zDifferent letters indicate significant differences in Duncan's multiple range test (P<0.05).

^y* and ^{**}: significant at the 0.05 and 0.01% level, respectively.

^xns: not significant.

(또는 종자생산능력)는 착과량이 증가할수록 유의하게 감소하는 것으로 나타났다(Table 3). 종자생산능력은 각 구과가 생산할 수 있는 종자 수의 생물학적인 한계를 의미하기 때문에 구과착과량이 증가하면 구과의 종자 생산성이 저하된다고 할 수 있다.

첫해 고사배주율은 평균 32.1개였으며, 계급 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나 구과 착과량에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며, 첫해 고사배주율도 비슷한 경향이였다 (Table 3). 미국 남부소나무류의 채종원에서 적용되고 있는 기준에 의하면 첫해 고사배주율이 10%미만이면 채종원 관리 상태가 양호한 것으로 판단하며, 11~19%인 경우에는 충해나 화분부족의 가능성을 평가해야 하며, 20% 이상이 되면 충해나 화분부족의 원인을 동정하고

관리방안을 개선해야 한다고 적시하고 있다(USDA Forest Service, 1977). 본 조사지의 첫해 고사배주율은 평균 20.0%(13.8~26.9%)로 나타나 위 기준에 따르면 충해나 화분부족의 가능성을 검토하고 개선대책을 마련해야 하는 수준에 해당한다.

첫해 고사배주율 증가의 원인을 정확히 구명하기는 어렵지만 본 조사지는 집약적 관리가 이루어지고 있는 곳으로 주기적인 병충해 방제가 이루어지고 있기 때문에(Chung et al., 2006) 노린재류 등에 의한 충해의 가능성을 완전히 배제할 수는 없지만(Lee et al., 1984), 첫해 고사배주율이 착과량의 많고 적음에 상관없이 조사구 내에서 전반적으로 크게 증가한 상황을 고려할 때 암꽃의 다량개화로 인한 화분부족의 가능성이 높을 것으로 추정된다.

Table 3. Cone analysis data of each cone abundance class

Class	Seed potential (= fertile scale × 2)	First-year aborted ovules	Second- year aborted ovules	Developed seeds			Seed weight per 1,000 grains (g)	Seed efficiency	
				Total developed seeds	Filled seeds	Damaged seeds			Empty seeds
I	158.8 ± 4.54ab ^z	27.5 ± 9.50b (17.3 ± 7.50b) ^x	4.0 ± 0.00c (2.5 ± 0.13b)	127.3 ± 10.74a (80.2 ± 7.06ab)	107.7 ± 5.43a (84.6 ± 3.21a)	1.3 ± 0.33a (1.0 ± 0.26a)	18.3 ± 5.45a (14.4 ± 3.12b)	672.3 ± 29.37a	67.3 ± 3.58a
II	161.6 ± 5.90ab	43.5 ± 7.22a (26.9 ± 2.77a)	3.1 ± 0.40c (1.9 ± 0.25b)	114.9 ± 6.51a (71.1 ± 3.18b)	93.9 ± 6.56a (81.7 ± 2.99ab)	1.3 ± 0.20a (1.1 ± 0.20a)	19.7 ± 2.71a (17.1 ± 2.84ab)	490.6 ± 15.71bc	60.9 ± 3.20a
III	159.0 ± 2.77ab	30.5 ± 2.91b (19.2 ± 1.44b)	3.2 ± 0.31c (2.0 ± 0.19b)	124.4 ± 3.49a (78.2 ± 1.62ab)	91.5 ± 3.72a (73.1 ± 1.94ab)	1.3 ± 0.12a (1.0 ± 0.10a)	32.4 ± 2.66a (25.9 ± 2.14ab)	520.5 ± 11.15b	57.7 ± 1.95a
IV	176.2 ± 3.99a	44.6 ± 4.52a (25.3 ± 2.11a)	3.6 ± 0.44c (2.0 ± 0.30b)	127.9 ± 6.81a (72.6 ± 3.46b)	96.0 ± 5.10a (75.1 ± 2.29ab)	1.3 ± 0.11a (1.0 ± 0.09a)	30.6 ± 3.34a (23.9 ± 2.24ab)	476.8 ± 12.84bc	55.8 ± 2.42a
V	151.6 ± 4.84bc	21.2 ± 2.58b (14.0 ± 1.91b)	3.1 ± 0.33c (2.0 ± 0.33b)	127.3 ± 7.12a (84.0 ± 4.60a)	95.2 ± 7.77a (74.8 ± 5.04ab)	1.3 ± 0.34a (1.0 ± 0.26a)	30.8 ± 5.59a (24.2 ± 4.82ab)	504.3 ± 17.46bc	64.6 ± 2.07a
VI	158.0 ± 3.66ab	26.4 ± 3.54b (16.7 ± 1.57b)	4.5 ± 0.60bc (2.8 ± 0.35b)	127.1 ± 4.42a (80.4 ± 1.98ab)	89.9 ± 6.70a (70.7 ± 4.30b)	1.4 ± 0.41a (1.1 ± 0.30a)	35.8 ± 5.17a (28.2 ± 4.10a)	442.5 ± 14.28cd	59.0 ± 4.15a
VII	153.2 ± 5.64abc	21.1 ± 3.39b (13.8 ± 2.29b)	7.3 ± 1.63a (4.8 ± 1.05a)	124.9 ± 10.78a (81.5 ± 6.03ab)	90.4 ± 10.07a (72.4 ± 5.95ab)	1.3 ± 0.21a (1.0 ± 0.20a)	33.1 ± 7.72a (26.5 ± 5.86ab)	409.0 ± 20.56de	59.0 ± 5.93a
VIII	142.8 ± 1.69c	23.0 ± 7.62b (16.1 ± 5.81b)	6.8 ± 0.31ab (4.8 ± 0.27a)	113.0 ± 7.51a (79.1 ± 4.94ab)	79.7 ± 4.31a (70.5 ± 4.30b)	1.3 ± 0.21a (1.2 ± 0.17a)	32.0 ± 5.33a (28.3 ± 3.12ab)	356.1 ± 18.52e	58.2 ± 2.94a
Average	160.6 ± 1.68	32.1 ± 1.76 (20.0 ± 0.81)	3.9 ± 0.23 (2.4 ± 0.15)	124.3 ± 2.30 (77.4 ± 1.23)	92.9 ± 2.24 (74.6 ± 1.24)	1.3 ± 0.09 (1.0 ± 0.07)	30.4 ± 1.56 (24.4 ± 1.24)	487.1 ± 6.48	59.0 ± 1.24
F value	3.44 ^{**y}	3.92 ^{**} (2.12) ^w	4.84 ^{**} (6.26) ^{**}	0.70ns ^v (2.79) ^{**}	0.43ns (1.26ns)	0.01ns (0.11ns)	1.49ns (1.33ns)	10.54 ^{**}	0.75ns

^zDifferent letters indicate significant differences in Duncan's multiple range test (P<0.05).

^{*} and ^{**}: significant at the 0.05 and 0.01% level, respectively.

^xParentheses in each class column are the percentage of the contents, i.e., percent of 1st-year aborted ovules = 1st-year aborted ovules/seed potential × 100, percent of 2nd-year aborted ovules = 2nd-year aborted ovules/seed potential × 100, percent developed seeds = total developed seeds/Seed potential × 100, percent filled seeds = filled seeds/total developed seeds × 100, percent damaged seeds = damaged seeds/total developed seeds × 100, percent empty seeds = empty seeds/total developed seeds × 100

^wParentheses in F-value column are the F-value of each percent data.

^vns: not significant.

둘째해 고사배주는 대부분 충해가 그 원인인데 둘째해 고사배주율은 전체 평균 2.4%였으며, 계급 I~VI까지는 1.9~2.8% 정도로 비슷한 수준이었으나 계급 VII과 VIII에서는 각각 4.8%로 크게 증가하는 경향을 나타냈다(Table 3). 위에서 언급한 미농무성 기준에 의하면 둘째해 고사배주율은 전반적으로 관리상태가 양호한 수준에 해당하지만 구과 착과량이 많은 계급 VII와 VIII에서 상대적으로 그 비율이 증가한 것을 볼 때, 주기적인 방제가 이루어지지 않는다면 구과 착과수가 많아지면 충에 의한 피해가 증가할 여지가 있음을 보여준다.

한편, 본 조사구와 동일한 채종원에서 수행된 평년의 구과분석 결과(Kwon *et al.*, 2011)를 보면 첫해와 둘째해 고사배주율은 각각 6.1%와 4.0%로 관리상태 양호에 해당하는데 비해 본 조사에서의 첫해 고사배주율은 위 수치보다 약 3.3배 정도 높은 수치를 나타내고 있다. 이러한 결과를 종합해 보면, 결실이 풍년인 해에는 구과 착과량의 많고 적음에 상관없이 채종원 내에서 전반적으로 첫해 고사배주율이 크게 증가하는 경향이며, 둘째해 고사배주율은 적극적

인 방제활동 등 채종원 관리작업을 통해 조절이 가능한 것으로 판단된다.

충실종자율은 평균 74.6%로 나타났으며, 비록 계급 간에 유의한 차이가 인정되지는 않았지만 계급 I과 계급 II의 충실종자율이 각각 평균 84.5%와 81.7%인데 비해서 계급 III~계급 VIII은 70.5~75.1% 범위로 낮게 나타나 구과 착과수가 많아지면 평균적으로 충실종자율이 감소하는 양상임을 알 수 있다(Table 3). 평년인 2007년에 조사된 충실종자율(평균 85.0%)과 2010년에 조사된 충실종자율(평균 87.2%)와 비교하면 계급 I이 비교적 유사한 수준을 유지했을 뿐 나머지 계급에서는 충실종자율이 매우 낮아진 것을 알 수 있다.

각 계급별로 천립중을 조사한 결과, 구과 착과수가 많아질수록 유의하게 종자의 무게가 감소하는 것으로 나타났다(Table 3). 충실종자 1개 당 무게는 동일한 채종원에서 평년인 해에 조사된 0.66 g(Kwon *et al.*, 2011)과 비교했을 때, 계급 I이 0.67 g으로 비슷한 수준을 유지한 반면 계급 II~계급 VIII은 0.36~0.52 g으로 종자의 무게가 크게 감

Table 4. Simple correlation data of some major cone and seed characteristics

	No. of cones per tree	Cone length	Cone width	Cone weight	Seed potential	Percent first-year aborted ovules	Percent second-year aborted ovules	Filled seeds	Percent of filled seeds	Seed weight per 1,000 grains
Cone length	-0.220**									
Cone width	-0.189**	0.615**								
Cone weight	-0.304**	0.660**	0.498**							
Seed potential	-0.153*	0.582**	0.287**	0.388**						
Percent first-year aborted ovules	0.101	-0.150*	-0.038	-0.242**	-0.093					
Percent second-year aborted ovules	0.363**z	-0.042	-0.100	-0.162*	-0.169*	-0.024				
Filled seeds	-0.064	0.335**	0.197**	0.362**	0.451**	-0.406**	-0.208**			
Percent of filled seeds	-0.152*	-0.011	0.055	0.047	0.080	0.004	-0.208**	0.709**		
Seed weight per 1,000 grains	-0.401**	0.511**	0.529**	0.631**	-0.002	0.008	-0.178*	-0.051	0.008	
Seed efficiency	-0.008	0.038	0.041	0.197**	-0.009	-0.766**	-0.147*	0.874**	0.766**	-0.056

*and **: significant at the 0.05 and 0.01% level, respectively.

소한 것으로 나타났다. 특히, 구과착과수가 많아질수록 감소폭이 크게 나타나고 있다. 일반적으로 구과 착과량이 많아지면 종자크기와 종자무게가 감소한다는 연구결과(Saki and Harada, 2001)와 일치되는 경향을 보였다. 잣나무와 같은 대립성 종자는 종자무게와 유묘생장 간에는 정의 상관관을 보이며(Chon, 1976), 구과와 종자의 크기가 크고 무거울수록 포지와 조림지에서의 생장이 좋다는 보고(Han and Yi, 1996)를 고려할 때 결실 풍년으로 구과가 다량 착과되어 평년보다 종자크기와 무게가 감소될 경우 포지와 조림지에서의 유묘 생장이 저조해질 가능성이 있다.

종자효율은 평균 59.0%(58.2~67.3%)였으며, 계급 간에 유의한 차이가 인정되지는 않았지만 평균적으로 구과 착과수가 많아질수록 감소하는 경향을 보여주고 있다(Table 3). 미농무성 기준(USDA Forest Service, 1977)에 의하면 종자효율이 50% 이상이면 관리상태가 양호한 것으로 평가되어 큰 문제가 없다고 생각할 수 있지만 평년인 해에 동일한 채종원에서 조사된 종자효율이 76.5%로 보고된(Kwon *et al.*, 2011) 점을 감안하면 결실 풍년인 해의 종자효율이 매우 낮다는 것을 알 수 있으며, 본 당 착과량이 증가할수록 종자효율의 감소가 크게 나타나고 있기 때문에 채종원산 종자의 품질 관리 차원에서 적정 착과량에 대한 기준 마련이 필요할 것으로 보인다.

상관분석

조사된 구과의 형태적 특성과 구과분석 항목 간의 상호관계를 구명하고자 상관분석을 실시한 결과, 구과 착과수와 구과길이, 구과폭, 구과무게와 부의 상관관을 보여 구과착과수가 많아지면 구과크기와 무게가 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 임성인편수, 종자생산능력, 충실종자수, 충실종자율, 종자무게도 구과 착과수가 많아지면 감소하는 경향을 보였다. 첫째 고사배주율은 구과 착과수에 따른 유의한 상관관이 나타나지 않았지만 둘째해 고사배주율은 구과 착과수가 많아질수록 높아지는 경향을 나타냈다. 종자효율은 구과착과수와 유의한 상관관을 보이지 않았으나 구과무게와는 유의한 정의 상관관을 나타냈으며, 첫째 및 둘째해 고사배주율과는 부의 상관관을 나타냈다(Table 4). 이상의 결과를 볼 때, 구과착과수가 많아지면 종자생산능력, 충실종자율, 종자무게, 종자효율 등 채종원의 종자생산성과 관련된 제반 지표들의 수치가 낮아지는 경향임을 확인할 수 있다. 따라서, 종자결실이 풍년으로 구과가 다량 착과되는 해에

는 평년에 비해 종자의 균일성 및 품질이 저하될 가능성이 높기 때문에 종자선별 시 평년 수준의 종자크기 또는 무게를 가진 종자들만 선별하여 공급하는 방안 또는 전년도 종자예찰 조사 결과를 토대로 잣 종자 보속생산을 위해 적정 수준으로 착과량을 조절하기 위한 적과 처리 등 다각적인 대안 마련이 필요할 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 잣나무의 구과 착과량에 따른 구과 및 종자특성의 변화 양상을 구명함으로써 잣나무 채종원의 효율적 관리방안을 도출하기 위해 수행되었다. 이를 위해 2007년 충주 소재 잣나무 채종원에서 조사를 실시하였는데, 전체 조사목 중 96.3%가 착과되었으며 본 당 구과수는 평균 27.4개였다. 본 당 구과 착과수에 따라 8개의 계급으로 나누어 분석을 했는데, 구과 착과수가 많아질수록 구과길이, 구과폭, 구과무게가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 구과 착과수가 많아질수록 임성인편수, 종자생산능력, 충실종자율, 종자무게, 종자효율은 감소하고 둘째해 고사배주율은 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과를 볼 때 종자결실이 풍년으로 구과가 다량 착과되는 해에는 평년에 비해 종자의 균일성 및 품질이 저하될 가능성이 높다고 판단된다. 특히, 잣나무는 구과와 종자의 크기가 크고 무거울수록 포지와 조림지에서의 생장이 좋다는 보고가 있는 점을 감안할 때, 결실 풍년으로 인해 종자의 평균적인 크기와 무게가 감소되는 경우 향후 조림지에서의 유묘생장도 저조할 가능성이 있다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해 결실이 풍년인 해에는 착과량을 인위적으로 적정수준으로 조절하거나 종자 정선 시 평년 수준의 종자크기 또는 무게를 가진 것들을 선별하여 공급하는 방안 등 다각적인 대처방안을 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

- Chae, Y.A., J.O. Guh, H.S. Suh and Y.M. Lee. 1987. Basic Biometry. Hyangmoon Ltd., Seoul, Korea. pp. 18-34 (in Korean).
- Chong, H.P. and S.K. Chon. 1979a. Cone production of mature tree in Korean white pine (*Pinus koraiensis*). Proceedings of 20th Conference of Korean Forest Society, Seoul, Korea. p. 51 (in Korean).

- _____. 1979b. Cone drop rate of mature tree in Korean white pine (*Pinus koraiensis*). Proceedings of 20th Conference of Korean Forest Society, Seoul, Korea. pp. 51-52 (in Korean).
- Chon, S.K. 1976. Effects of seed size and weight on growth of first-year seedling in *Pinus koraiensis*. J. of Korean For. Soc. 31:48-52 (in Korean).
- Chon, S.K. and Y.H. Noh. 1983. Effects of tree form on number of cone formation in Korean white pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.). J. of Korean For. Soc. 62:19-23 (in Korean).
- Chon, S.K., H.P. Chung and J.K. Hong. 1984. Variation of the number of empty seeds per cone in *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. J. of Korean For. Soc. 65:24-30 (in Korean).
- Chung, S.B., B.M. Song and G.H. Kwon. 2006. Application of sprinkler system for control of cone insects on Korean pine, *Pinus koraiensis* seed orchard. Korean J. Plant Res. 19:93-96 (in Korean).
- Han, S.S. and Y.M. Kim. 1988. Characteristics of photosynthesis and respiration rates in strobili of *Pinus koraiensis* S. et Z. J. of Korean For. Soc. 77:92-99 (in Korean)
- Han, S.U. and J.S. Yi. 1996. Age-age correlation for height growth of open-pollinated progenies of *Pinus koraiensis* in relation to their cone and seed characteristics. Korean J. of Breeding 28:63-68 (in Korean).
- Kim, I.S., J.H. Kim, J.T. Kang and B.S. Lee. 2008. Clonal variation in female flowering of *Larix leptolepis*. Korean J. Plant Res. 21:1-4 (in Korean).
- Kim, J.H., K.W. Jang, J.T. Kang, W.W. Kim and Y.J. Kim. 2006. Seed production and seed orchard management by stem pruning. Korea Forest Research Institute, Research Report 06-18, Seoul, Korea. p. 97 (in Korean).
- Kwon, Y.R., M.W. Seo, K.M. Lee, Y.Y. Kim, K.J. Cho and E.S. Hwang. 2011. Seed production of three Korean pine (*Pinus koraiensis*) seed orchards evaluated by cone analysis. Proceedings of 2011 Joint Conference of Korean Forest Science Societies, Gyeongju, Korea. pp. 1038-1039 (in Korean).
- Lee, K.J., J.S. Lee, J.J. Lee and S.K. Lee. 1984. Estimation of seed production efficiency in seed orchards by measurement of pollen dispersal, cone survival and cone analysis. Res. Rep. Inst. For. Gen. 20:116-125 (in Korean).
- Lee, K.J. 1993. Tree Physiology. Seoul National University Press, Seoul, Korea. pp. 267-311 (in Korean).
- Sakai, S. and Y. Harada. 2001. Sink-limitation and the size-number trade-off of organs: production of organs using a fixed amount of reserves. Evolution 55:467-476.
- Sedgley, M. and A.R. Griffin. 1989. Sexual Reproduction of Tree Crops. Academic Press Inc. San Diego, USA. p. 378.
- Westwood, M.N. 1978. Temperate Zone Pomology. Freeman, W. H. & Company, San Francisco, USA. p. 428.
- USDA Forest Service. 1977. Cone Analysis of Southern Pines -A Guidebook-. General Technical Report SE-13. p. 28.

(Received 19 July 2012 ; Revised 19 November 2012 ; Accepted 3 December 2012)