

## 소나무 우량 임분의 구과 생산량에 따른 종자 및 발아 특성

최충호\* · 조경진 · 탁우식  
국립산림과학원 산림유전자원부

### Seed Characteristics and Germination Properties according to Change of Cone Production in *Pinus densiflora* Stands

Chung Ho Choi\*, Kyung Jin Cho and Woo Sik Tak

Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

**요약:** 종자 공급 방안 개선에 필요한 기초 자료 획득을 위해 소나무 우량 임분 3개소를 대상으로 2003년부터 2006년까지 구과 생산량에 따른 종자 및 발아 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 구과 생산량은 2년을 주기로 하여 풍·흉 상태를 보였다. 주요 종자 특성 중 종자 생산 능력과 충실 종자율은 대체적으로 구과 생산량과 유사한 경향을 보인 반면 성숙 종자율과 종자 효율은 반대 경향을 나타내었다. 종자 특성과 구과 생산량과의 회귀 분석 결과에서도 종자 생산 능력( $R^2=0.682$ ,  $p<0.01$ )과 충실 종자율( $R^2=0.161$ , non-significant)은 정(+)의 경향을, 성숙 종자율( $R^2=0.418$ ,  $p<0.05$ )과 종자 효율( $R^2=0.308$ , non-significant)은 부(-)의 경향을 나타내었다. 발아 특성에 있어서 발아율은 대체적으로 구과 생산량과 유사한 경향으로 나타났으나, 평균 발아 일수는 반대의 경향을 보였다. 회귀분석 결과에서도 발아율은 구과 생산량과 정(+)의 관계( $R^2=0.576$ ,  $p<0.01$ )를 보인 반면, 평균 발아 일수는 부(-)의 관계( $R^2=0.400$ ,  $p<0.05$ )를 보여 구과 생산량이 많은 시기에 이를 채취하여 사용할 때 발아율도 높고 발아에 소요되는 기간도 짧아져 즉, 발아 효율이 높아짐을 알 수 있었다.

**Abstract:** This study was carried out to obtain the several data for improving the seed supply in *Pinus densiflora*. Seed characteristics and germination properties according to change of cone production from 2003 to 2006 were analyzed in three plus stands of *P. densiflora*. *P. densiflora* showed good production at interval of two years in the periodicity of seed production. Seed potential and percent of filled seed (PFS) among the major seed characteristics showed positive relations to the change of cone production, whereas percent of developed seed (PDS) and seed efficiency showed opposite trend. As a result of regression analysis between seed characteristics and cone production, seed potential ( $R^2=0.682$ ,  $p<0.01$ ) and PFS ( $R^2=0.161$ , non-significant) presented positive correlation with cone production while PDS ( $R^2=0.418$ ,  $p<0.05$ ) and seed efficiency ( $R^2=0.308$ , non-significant) presented negative correlation. In germination properties percent of germination (PG) showed similar tendency to cone production, while mean germination time (MGT) showed opposite tendency. As a result of regression analysis between germination characteristics and cone production, PG showed positive correlation, whereas MGT showed negative correlation. Therefore, we could expect high germination percentage and short period for germination when we harvested cones at good cone production time.

**Key words:** *Pinus densiflora*, cone production, seed, germination, seed potential, filled seed, developed seed, mean germination time

## 서론

우리나라 고유 수종인 소나무(*Pinus densiflora*)는 주요 종자 공급원으로서 채종원을 이용해 왔으나 2000년 이후 고성 산불을 비롯해 총 3,484건, 35,160ha의 대형 산불 및 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*) 등에 의한 산림

병해충(1,781,620ha)의 피해로 다량의 종자가 필요하게 되었다(산림청, 2006). 또한 통일을 대비한 북한 조림용 종자와 피해지 복구를 위한 사방 조림용 종자의 수급이 절실히 요구되고 있어 소나무 종자 생산을 확대시킬 필요가 있으며 그 부족분을 충당하기 위해서는 소나무 채종림이 지정되지 않은 지금 우량 임분에서의 추가 생산이 요구된다. 지금까지 소나무속의 종자 생산에 관해서는 구과식물의 분포가 다양한 북미와 북유럽에서 유무성변식목의 구

\*Corresponding author  
E-mail: freewillow@hanmail.net

과 및 종자수확량 등에 관한 많은 연구가 수행되었다 (Hatcher, 1966; MacArthur, 1966; Ying *et al.*, 1985). 일본에서도 Inoue(1958), Rim and Shidei(1973, 1974)가 소나무와 해송(*P. thunbergii*)의 종자 생산과 갱신 과정에 대해 연구한 바 있다. 또한 구과 생산과 종자 생산에 미치는 여러 가지 요인들에 대한 연구도 많이 수행되었는데 Baker (1959), Daniel *et al.*(1979)은 종자가 발아 후 성장하여 성목 상태에서 종자가 형성될 때까지 영향을 미치는 요인들을 조사하였고, Downs *et al.*(1944)과 Matthews(1963)는 임목의 흉고직경과 수관 면적이 종자 생산에 미치는 영향을 보고한 바 있다. 그러나 본 연구와 같이 소나무의 구과 생산량이 종자 및 발아 특성에 미치는 영향에 대해 분석한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 산불 및 병해충 등 피해지 복구, 복원의 황폐지 복구 등을 위한 다량의 종자 공급 필요성에 의해 잠정적으로 선정된 소나무 우량 임분 중 3개 지역을 선정하여 2003년부터 2006년까지 구과 생산량, 종자 품질 등을 비교 분석함으로써 산림용 종자의 공급 계획 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고자 시행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사대상지

본 연구를 위해 강원도 고성군 현내면 죽정리와 강릉시 연곡면 송림리, 그리고 경상북도 울진군 서면 소광리의 3개 소나무 천연 임분을 선정하여 2003년부터 2006년까지 4년간 구과를 채취하였으며, 이들 임분에 대한 개황은 Table 1과 같다. 고성, 강릉, 울진 임분 내 조사목의 평균 수고는 각각 12.2m(9~13.5m), 11.2m(8.2~14m), 14.7m(11~21m)를 나타냈으며, 평균 흉고직경은 22 cm(16~34 cm), 20 cm(14~30 cm), 27 cm(24~38 cm)를 나타내었다.

### 2. 결실량 조사 및 구과 분석

각 임분의 구과 결실량 조사는 매년 10월 상순경에 실시하였다. 이때 조사목은 20m 이상 간격을 두고 임의로 20분을 선정하였다. 선정된 임목에 대한 구과결실량은 육안으로 조사하였는데, 육안 판별이 불가능한 것에 대해서는 결실지당 평균 구과 수를 구한 후 총 결실지수를 곱하여 산출하였다. 각 임분에서 결실량 조사에 이용된 임목

을 대상으로 분당 5개씩의 병충해를 입지 않은 건전한 성숙 구과를 채취하였다. 채취한 구과는 길이, 폭, 무게를 측정 후 구과 분석에 이용하였다.

구과 분석(毬果分析)은 Bramlett *et al.*(1977) 및 이경준 등(1984)에 의하여 개발된 방법을 약간 변형해서 적용하였는데, 구과의 인편을 밑부분부터 차례로 떼어내서 인편으로부터 종자를 분리하였다. 분리된 인편은 임성인편(稔性鱗片)과 불임성인편(不稔性鱗片)으로 구별하고, 배주의 크기에 따라서 첫 해 및 둘째 해 고사 배주(枯死胚珠)로 구별하였다.

성숙 종자는 수선법에 의해 24시간 침수시킨 후 가라앉은 종자를 충실 종자, 떠있는 종자를 비립 종자로 구분하였다. 또한 충실 종자를 이용하여 발아율을 검정하였는데, 이때 100립씩 5반복으로 온도 25°C, 습도 60%로 조절된 인큐베이터에 치상하였다. 치상된 종자는 24시간 마다 발아 조사를 실시하였는데, 이때 유근이 2 mm 이상 신장한 것을 발아한 것으로 간주하였다. 또한 발아조사 결과를 이용하여 발아율(percent germination, PG)과 평균 발아일수(mean germination time, MGT)를 아래와 같이 계산하였다 (Scott *et al.*, 1984).

$$\text{총 종자 생산량/ha} = \text{분당 구과 수} \times \text{구과당 충실 종자 수} \times \text{임목 본수/ha}$$

$$\text{성숙 종자} = \frac{\text{성숙 종자수}}{\text{종자 생산 능력}} \times 100$$

$$\text{충실(비립) 종자율} = \frac{\text{충실(비립) 종자수}}{\text{성숙종자수}} \times 100$$

$$\text{종자 효율} = \frac{\text{충실 종자수}}{\text{종자 생산 능력}} \times 100$$

$$\text{발아율} = \frac{\text{발아된 종자의 총수}}{\text{치상된 종자의 총수}} \times 100$$

$$\text{평균 발아일수} = \frac{\sum(\text{치상 후 경과 일수} \times \text{검사일예 발아된 종자 수})}{\text{발아된 종자의 총수}} \times 100$$

## 결과 및 고찰

### 1. 구과 결실량

소나무 우량 임분 3개소에서 4년간 구과 결실량을 조사

Table 1. General information of seed sources.

Location	Forest type	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Stand age	No. of trees/ha
Goseong, Gangwon	natural	38° 28'	128° 25'	60	35	520
Gangneung, Gangwon	natural	37° 52'	128° 44'	60	39	440
Uljin, Gyeongbuk	natural	36° 58'	129° 11'	500	45	370

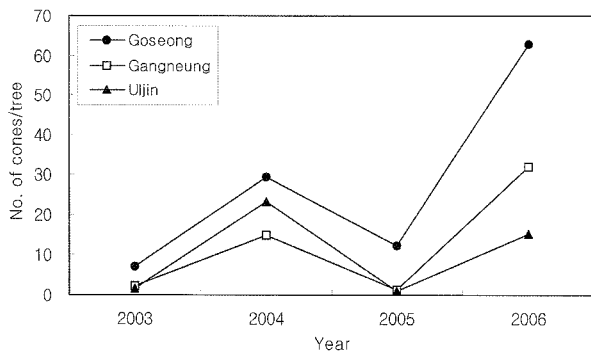


Figure 1. Change of cone production of three *Pinus densiflora* stands.

한 결과 구과 생산량(본당 구과량)은 2003년에 1.8~7.3개, 2004년 14.9~29.3개, 2005년 1.1~12.2개, 2006년 15.3~62.8개로 임분간 및 연도간에 차이가 있음을 알 수 있었으며, 그 결실 주기성 또한 확인할 수 있었다(Figure 1). 구과 생산량은 2년을 주기로 변화하였는데 그 경향이 매우 뚜렷하였다. 임목의 결실 주기성은 기상 및 생리적 특성에 의한 것인데, Owens(1985)는 일반적인 나무의 구과 및 종자 생리는 여러 가지 환경 요인에 의해 영향을 받으므로 구과량과 종자량에서 차이가 발생한다고 하였다. Shearer (1985)도 douglas-fir(*Pseudotsuga menziesii*)와 western larch(*Larix occidentalis*)에서 연도에 따라 임목 당 구과 생산량 차이가 났다고 보고한 바 있으며, Rafael and Gregorio (2007)는 구과 및 종자 생산량이 임목의 활력, 임분의 상태, 해충에 의한 종자의 손실 등에 따라 달라질 수 있다고 하였다. 한편, 임분 간에는 대체적으로 고성 임분이 가장 많은 구과 생산량을 나타냈으며, 강릉과 울진 임분은 연도에 따라 변동이 심하였다. 헥타르 당 총 종자 생산량 역

Table 2. The number of seed production per ha of three *P. densiflora* stands.

Year	Seed source		
	Goseong	Gangneung	Uljin
2003	219,100 <sup>d</sup>	58,561 <sup>c</sup>	52,500 <sup>d</sup>
2004	1,164,593 <sup>b</sup>	432,596 <sup>b</sup>	746,684 <sup>b</sup>
2005	430,930 <sup>c</sup>	38,713 <sup>d</sup>	33,975 <sup>c</sup>
2006	2,771,225 <sup>a</sup>	1,085,503 <sup>a</sup>	505,461 <sup>a</sup>

The different letters indicate significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test in respective stands.

시 세 임분 모두 연도에 따라 심한 차이를 보이며 주기성을 나타내었으며 임분 간에도 차이를 보였다(Table 2). 이는 구과 생산량의 차이 때문에 기인된 결과로 보이며 본 대상지의 경우 임분 밀도의 영향은 크게 작용하지 않았다.

## 2. 구과 분석

구과 분석은 종자 생산과 임분의 관리 상태를 평가하는데 필요한 정보를 제공해 준다. 구과의 실질적인 종자 생산과 잠재적인 종자 생산 능력의 비교가 가능하며 임분의 종자 생산성은 종자의 효율로 표현할 수 있다. 또한 종자 발달의 어떤 단계에서 손실이 일어나며 어떤 유형의 손실이 일어나는지 알 수 있고 이를 정량화 할 수 있다(Bramlett *et al.*, 1977). 3개 임분의 연도별 구과 분석 결과 전반적으로 임분 및 연도 간에 차이가 나타났다(Table 3). 생구과 무게의 경우, 2003년부터 2006년까지 고성 임분에서 9.1~12.6g, 강릉 임분에서 7.4~10.9g, 울진 임분에서 9.9~13.8g으로 세 임분 모두 연도 간 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 생구과 길이는 고성 임분이 3.9~4.3 cm, 강릉 임분이 3.5~4.3 cm, 울진 임분이 3.9~4.8 cm로 고성 임분을 제외한 모든 임분에서 연

Table 3. Cone analysis in *P. densiflora* stands for four years.

Source	Year	Fresh cone			Dry cone weight (g)	No. of scales			Seed potential	No. of aborted ovules			No. of developed seeds		
		Weight (g)	Length (cm)	Width (cm)		Total	Fertile scales	Infertile scales		Total	First-year	Second-year	Total	Empty seeds	Filled seeds
Go seong	2003	10.0 <sup>ab</sup>	4.0 <sup>a</sup>	2.2 <sup>ab</sup>	5.2 <sup>b</sup>	47.0 <sup>d</sup>	25.0 <sup>c</sup>	22.1 <sup>b</sup>	50.1 <sup>c</sup>	26.3 <sup>c</sup>	21.3 <sup>c</sup>	5.1 <sup>c</sup>	23.7 <sup>b</sup>	9.9 <sup>a</sup>	13.8 <sup>b</sup>
	2004	9.1 <sup>b</sup>	3.9 <sup>a</sup>	2.1 <sup>b</sup>	5.1 <sup>b</sup>	81.5 <sup>a</sup>	48.1 <sup>ab</sup>	33.7 <sup>a</sup>	95.0 <sup>ab</sup>	71.0 <sup>a</sup>	35.2 <sup>ab</sup>	34.4 <sup>a</sup>	24.8 <sup>ab</sup>	5.8 <sup>b</sup>	19.0 <sup>ab</sup>
	2005	11.5 <sup>ab</sup>	4.2 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	56.3 <sup>c</sup>	42.7 <sup>b</sup>	13.6 <sup>c</sup>	86.3 <sup>b</sup>	52.0 <sup>b</sup>	27.5 <sup>bc</sup>	24.4 <sup>b</sup>	34.4 <sup>a</sup>	10.9 <sup>a</sup>	23.5 <sup>a</sup>
	2006	12.6 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	2.3 <sup>ab</sup>	6.9 <sup>a</sup>	65.6 <sup>b</sup>	51.0 <sup>a</sup>	14.3 <sup>c</sup>	101.7 <sup>a</sup>	72.6 <sup>a</sup>	43.0 <sup>a</sup>	29.2 <sup>ab</sup>	27.4 <sup>ab</sup>	4.1 <sup>b</sup>	23.3 <sup>a</sup>
Gang neung	2003	10.9 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	2.3 <sup>ab</sup>	6.4 <sup>a</sup>	50.0 <sup>c</sup>	24.3 <sup>b</sup>	25.7 <sup>a</sup>	48.6 <sup>b</sup>	23.3 <sup>d</sup>	17.9 <sup>c</sup>	5.4 <sup>c</sup>	25.3 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	15.3 <sup>a</sup>
	2004	7.7 <sup>bc</sup>	3.5 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	78.8 <sup>a</sup>	50.3 <sup>a</sup>	28.7 <sup>a</sup>	101.1 <sup>a</sup>	85.3 <sup>a</sup>	69.9 <sup>a</sup>	15.3 <sup>b</sup>	16.2 <sup>b</sup>	5.5 <sup>b</sup>	10.7 <sup>ab</sup>
	2005	7.4 <sup>c</sup>	3.6 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	48.7 <sup>c</sup>	29.7 <sup>b</sup>	19.0 <sup>b</sup>	59.6 <sup>b</sup>	44.7 <sup>c</sup>	21.9 <sup>c</sup>	22.8 <sup>a</sup>	14.6 <sup>b</sup>	4.3 <sup>b</sup>	10.3 <sup>b</sup>
	2006	9.3 <sup>ab</sup>	3.7 <sup>b</sup>	2.2 <sup>ab</sup>	4.9 <sup>b</sup>	58.2 <sup>b</sup>	46.9 <sup>a</sup>	11.4 <sup>c</sup>	91.4 <sup>a</sup>	73.9 <sup>b</sup>	51.3 <sup>b</sup>	22.6 <sup>a</sup>	18.2 <sup>b</sup>	4.1 <sup>b</sup>	14.1 <sup>ab</sup>
Uljin	2003	12.4 <sup>ab</sup>	4.8 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	7.4 <sup>ab</sup>	49.3 <sup>b</sup>	29.0 <sup>c</sup>	20.3 <sup>b</sup>	58.1 <sup>c</sup>	16.2 <sup>c</sup>	11.4 <sup>b</sup>	4.7 <sup>c</sup>	41.9 <sup>a</sup>	8.0 <sup>a</sup>	34.0 <sup>a</sup>
	2004	10.5 <sup>b</sup>	4.1 <sup>b</sup>	2.2 <sup>a</sup>	6.2 <sup>b</sup>	71.5 <sup>a</sup>	44.1 <sup>b</sup>	27.4 <sup>a</sup>	88.2 <sup>b</sup>	30.0 <sup>b</sup>	17.0 <sup>b</sup>	13.0 <sup>b</sup>	34.3 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	29.9 <sup>a</sup>
	2005	9.9 <sup>b</sup>	3.9 <sup>b</sup>	2.2 <sup>a</sup>	5.7 <sup>b</sup>	47.8 <sup>b</sup>	31.5 <sup>c</sup>	16.1 <sup>b</sup>	63.3 <sup>c</sup>	24.7 <sup>bc</sup>	15.0 <sup>b</sup>	9.7 <sup>bc</sup>	38.6 <sup>a</sup>	6.4 <sup>ab</sup>	32.3 <sup>a</sup>
	2006	13.8 <sup>a</sup>	4.6 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	10.2 <sup>c</sup>	66.4 <sup>a</sup>	50.6 <sup>a</sup>	15.8 <sup>b</sup>	101.4 <sup>a</sup>	65.9 <sup>a</sup>	42.6 <sup>a</sup>	23.3 <sup>a</sup>	33.1 <sup>a</sup>	3.5 <sup>b</sup>	29.6 <sup>a</sup>

The different letters indicate significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test in respective stands.

도 간에 차이를 보였다. 반면, 생구과의 너비에 있어서는 울진 임분을 제외한 모든 임분에서 연도 간에 차이를 보였다.

임성 인편 수는 고성 임분 25.0~51.0개(평균 41.7개), 강릉 임분 24.3~50.3개(평균 37.8개), 울진 임분 29.0~50.6개(평균 38.8개), 불임성 인편 수는 고성 임분 14.3~33.7개(평균 20.9개), 강릉 임분 11.4~28.7개(평균 21.2개), 울진 임분 15.8~27.4개(평균 19.9개)로 연도 간에 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 이것은 수령은 다르지만 탁우식 등(1990)이 3년간 조사한 소나무 구과의 평균 인편수와 비교했을 때 임성인편 수는 다소 높았으며(각각 39.4개와 34.0개), 비임성 인편 수는 낮은 경향을 보였다(각각 20.6개와 26.1개). 총 고사 배주 수는 고성 임분이 26.3~72.6개, 강릉 임분이 23.3~85.3개, 울진 임분이 16.2~65.9개로 연도간에 많은 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 그 중 1차 고사 배주 수는 고성 임분이 21.3~43.0개(평균 31.8개), 강릉 임분 17.9~69.9개(평균 40.3개), 울진 임분 11.4~42.6개(평균 21.5개), 2차 고사 배주 수는 고성 임분 5.1~29.2개(평균 23.2개), 강릉 임분 5.4~22.8개(평균 16.5개), 울진 임분 4.7~23.3개(평균 12.6개)로 대체적으로 1차 고사 배주 수가 2차 고사 배주 수보다 더 많았다. 이는 탁우식 등(1990)이 조사한 채종원산 소나무와 한상억 등(1999)이 보고한 같은 *Pinus*속 수종인 잣나무보다 다소 높은 수치였다. Bramlett *et al.*(1977)과 이경준 등(1984)은 고사 배주를 1차 고사 배주와 2차 고사 배주로 구분하였는데 1차 고사 배주는 유구과 때 죽은 배주로서 화분 부족과 노린재류(*Leptoglossus corculus*)가 원인이라 하였으며, 2차 고사배주는 종피가 형성되기 전에 죽은 배주로서 노린재류의 가해가 주 원인이라 하였다. 앞서서도 언급한 바와 같이 본 연구에서 나타난 고사 배주 수가 채종원산 소나무 보다 높게 나타났는데, 본 연구 대상지가 종자 공급원 중 가장 하위 단위인 일반 임분(채종임분)임을 감안 했을 때 채종원에 비해 화분 공급량의 부족이나 임분 관리 미흡으로 인한 병해충의 피해 때문에

나타난 현상으로 판단된다. 따라서 이에 대한 문제점은 개화량 조사와 구과 해충 피해(구영본 등, 1993; Shearer, 1985)에 대해 적극적으로 관찰하고 검토한다면 구명될 것으로 사료된다.

구과 당 성숙 종자 수는 고성 임분 23.7~34.4개, 강릉 임분 14.6~25.3개, 울진 임분 33.1~41.9개로 나타났는데 울진 임분만 통계적 유의차가 인정되지 않았다(Table 3). 이 중 충실 종자 수는 고성 임분 13.8~23.5개, 강릉 임분 10.3~15.3개, 울진 임분 29.6~34.0개였으며 비립 종자는 고성 임분 4.1~10.9개, 강릉 임분 4.1~10.0개, 울진 임분 3.5~8.0개로 나타났다. 비립 종자의 경우 세 임분 모두 연도간 차이가 인정되었지만( $p < 0.05$ ), 충실 종자는 고성, 강릉 임분만 연도 간에 차이를 보여주었다. Thomas *et al.*(2006)도 스트로브잣나무(*P. strobus*)를 대상으로 종자 특성의 변이를 조사하였는데, 성숙 종자, 충실 종자, 비립 종자를 비롯한 종자 무게에서 임분 간 및 연도 간에 차이가 나타났다고 보고한 바 있다. 전반적으로 충실 종자가 비립 종자 보다 많았으며, 임분 중에서는 울진 임분이 높은 성숙 종자 및 충실 종자수를 나타냈다( $p < 0.01$ ). 이 또한 채종원산 종자와 비교했을 때 성숙 종자수와 충실 종자수가 낮은 경향을 보였다.

3. 종자 특성 분석

구과 분석에 의하여 각 종자의 특성을 분석한 결과, 최대로 생산할 수 있는 종자 생산 능력은 고성 임분 50.1~101.7립, 강릉 임분 48.6~101.1립, 울진 임분 58.1~101.4립으로 임분 간에는 대체로 유사하게 나타났으나 연도 간에는 심한 차이를 보였다( $p < 0.05$ , Table 3). 또한 연도별 변화 경향에 있어서는 임분 간 다소 차이는 있으나 구과 생산량과 유사하였으며 구과 생산량과의 관계에서 Figure 3과 같은 회귀모형을 나타냈다( $R^2 = 0.682$ ,  $p < 0.01$ ). 구과 생산량과 종자 생산 능력은 정(+)의 관계를 보여 구과 생산량이 많은 시기에 채취된 구과는 많은 임성인편을

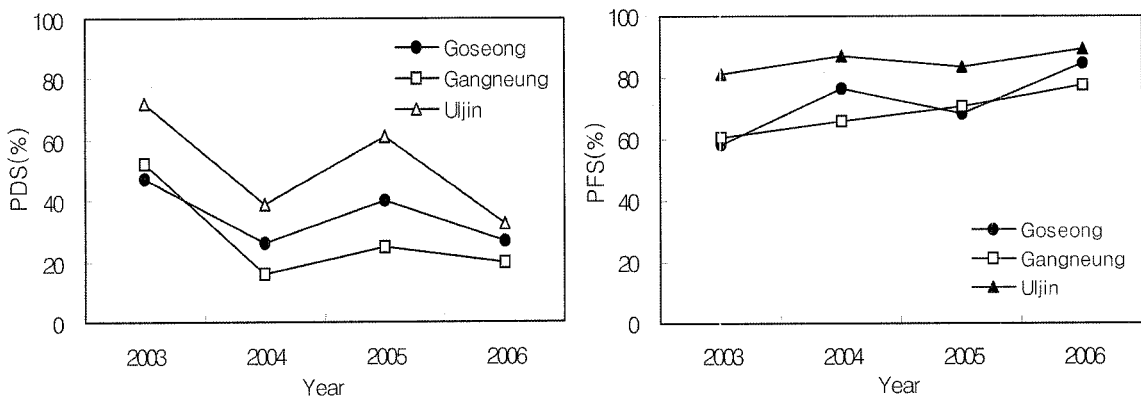


Figure 2. Change of seed characteristics in *P. densiflora* stands for four years. PDS : percent of developed seeds, PFS : percent of filled seeds.

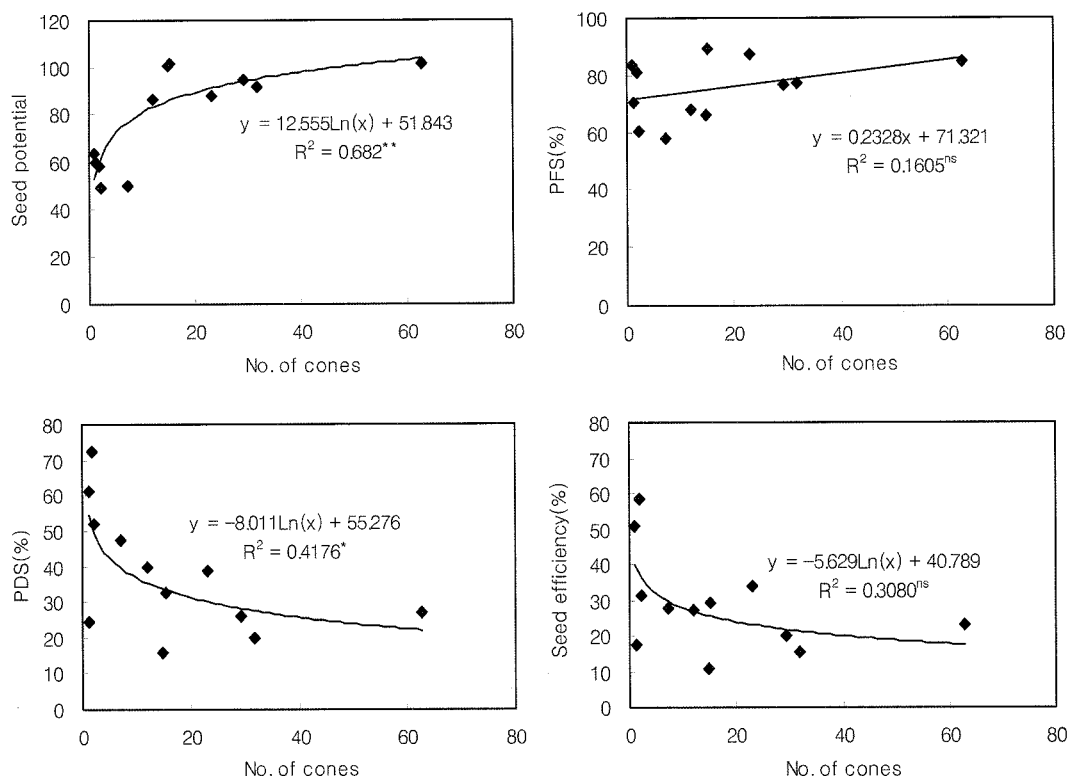


Figure 3. Regression analysis between number of cones per tree and seed characteristics in *P. densiflora* stands. PDS : percent of developed seeds, PFS : percent of filled seeds.

ns : non-significant

\* :  $p < 0.05$

\*\* :  $p < 0.01$

Table 4. Annual variations of seed efficiencies in three *P. densiflora* stands. unit : %

Year	Seed source		
	Goseong	Gangneung	Uljin
2003	27.5 <sup>a</sup>	31.5 <sup>a</sup>	58.5 <sup>a</sup>
2004	20.0 <sup>b</sup>	10.5 <sup>c</sup>	34.0 <sup>b</sup>
2005	27.2 <sup>a</sup>	17.3 <sup>b</sup>	51.0 <sup>a</sup>
2006	22.9 <sup>a</sup>	15.4 <sup>bc</sup>	29.2 <sup>b</sup>

The different letters indicate significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test in respective stands.

보유함을 알 수 있었다. 성숙 종자율 역시 고성 임분 26.1~47.3%, 강릉 임분 16.0~52.1%, 울진 임분 32.7~89.3%로 연도 간에 심한 차이를 나타내었으며(Figure 2), 회귀 분석한 구과 생산량과의 관계에서 약한 부(-)의 경향을 나타내었다( $R^2=0.418$ ,  $p < 0.05$ , Figure 3). 충실 종자율은 고성 임분 58.1~84.9%, 강릉 임분 60.5~77.5%, 울진 임분 81.1~89.3%로 울진 임분을 제외한 두 임분은 연도에 따른 차이에서 유의성이 인정되었으며( $p < 0.05$ , Figure 2) 구과 생산량과의 관계에서는 정(+)의 상관관계를 보였으나 유의성은 인정되지 않았다(Figure 3). 종자 효율은 고성 임분을 제외한 나머지 임분들에서 연도별 차이를 나타냈으나(Table 4) 구과 생산량과는 연관성을 보이지는 않았다( $R^2=0.308$ ,

Figure 3). Bramlett *et al.*(1977)은 southern pine에서의 종자효율이 55% 이상이면 임분 관리 상태가 양호하고, 35~54%이면 종자 생산 잠재력이 손실되었으며, 35% 미만은 과도한 손실을 나타낸다고 하였다. 이에 따르면 본 연구에서의 종자 효율은 전체 평균적으로 45% 이하의 수치를 나타내어 효과적인 종자 생산을 위해서는 효율이 낮은 원인을 구명하고 그에 따른 임분의 개선 및 관리가 필요한 것으로 나타났다.

성숙 종자는 구과가 정상적으로 완전히 자랐을 때 볼 수 있는 종자로서 임분 관리자는 성숙 종자 생산을 극대화시킬 필요가 있는데, 적절한 수분과 구과 해충을 조절하여 성숙 종자 수확량이 잠재 종자의 80~90%에 접근하도록 하여야 한다(Bramlett *et al.*, 1977). 그러나 본 대상지의 경우, 전체적으로 80% 미만이며, 심한 경우 20% 미만이었다. 따라서 전술한 바와 같이 충분한 화분 공급으로 효율적인 수분을 유도하며 구과 해충 방제에 대한 노력이 필요할 것으로 사료된다. 비립종자는 그 원인 구명이 어려우나 일반적으로 배(embryo)의 치사유전자, 구과 해충, 균류 등이 비립을 일으킬 수 있다고 보고되었다(Bramlett *et al.*, 1977). 보통 채종원산 종자는 성숙종자의 15%가 비립이나 본 대상지에서는 임분 및 연도별 차이는 있으나 평균적으로 약 25%에 이른다. 일반적으로 성숙 종자의 15%

Table 5. Correlation coefficients between cone and seed characteristics.

	FCL	FCW	DCwt	Tlsc1	Fsc1	Islc1	SP	TA	FA	SA	DS	PDS	ES	PES	FS	PFS	SE
FCwt	0.472	-0.155	0.921**	-0.133	0.070	-0.401	0.088	-0.193	-0.255	-0.057	0.833**	0.463	0.016	-0.548	0.688**	0.346	0.018
FCL		-0.068	0.276	0.133	0.107	-0.336	0.298	0.218	0.091	0.309	0.177	-0.017	-0.124	-0.452	0.178	0.357	-0.094
FCW			-0.013	0.485	0.099	0.209	0.358	0.396	0.653*	-0.148	-0.143	-0.142	-0.136	0.120	-0.168	0.025	-0.134
DCwt				-0.001	0.134	-0.281	0.146	-0.096	-0.108	-0.040	0.731*	0.336	0.009	-0.614	0.660*	0.338	0.031
Tlsc1					0.152	0.234	0.826**	0.853**	0.691*	0.681*	-0.222	-0.383	0.009	-0.333	0.660*	0.378	-0.387
Fsc1						0.241	-0.088	0.118	0.486	0.097	0.073	-0.693*	0.760**	-0.605	0.558	-0.392	0.799**
Islc1							-0.347	-0.202	0.017	-0.246	-0.138	-0.145	0.403	0.382	0.031	-0.523	0.387
SP								0.924**	0.610*	0.781**	-0.139	-0.217	-0.707	-0.600	-0.318	0.795**	-0.669*
TA									0.809**	0.796**	-0.437	-0.551	-0.525	-0.387	-0.437	0.574	-0.477
FA										0.386	-0.464	-0.739**	-0.061	-0.211	-0.238	0.132	-0.013
SA											-0.224	-0.443	-0.450	-0.526	-0.240	0.611*	-0.405
DS												0.621*	0.183	-0.400	0.827**	0.143	0.161
PDS													-0.320	0.123	0.175	0.229	-0.371
ES														0.691*	0.612*	-0.814**	0.995
PES															-0.672*	-0.999**	-0.194
FS																-0.132	0.625*
PFS																	0.767**

FCwt: fresh cone weight, FCL: fresh cone length, FCW: fresh cone width, DCwt: dry cone weight, DClc1: total scale, Fsc1: fertile scale, Islc1: infertile scale, SP: seed potential, TA: total aborted ovule, FA: first year aborted ovule, SA: second year aborted ovule, DS: developed seed, PDS: percent of developed seed, ES: empty seed, PES: percent of empty seed, FS: filled seed, PFS: percent of filled seed, SE: seed efficiency

\*: p<0.05  
 \*\*: p<0.01

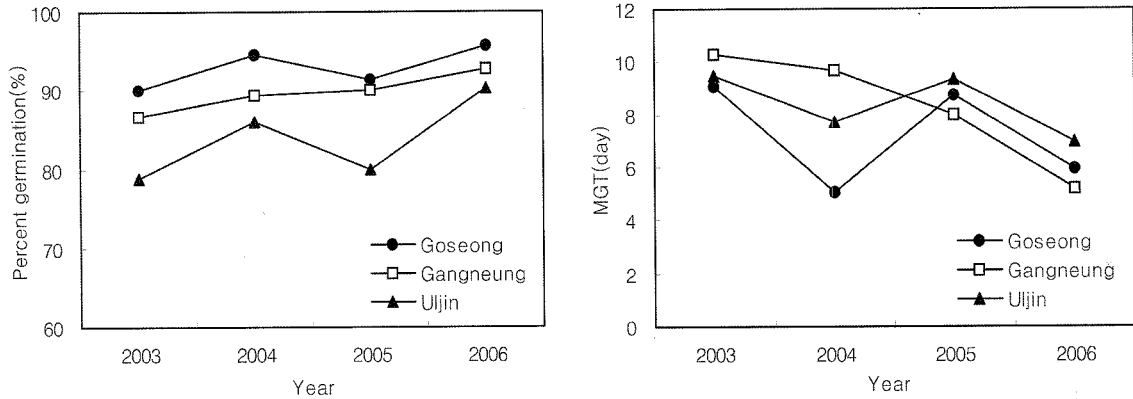


Figure 4. Change of germination characteristics in *P. densiflora* stands for four years. MGT : mean germination time.

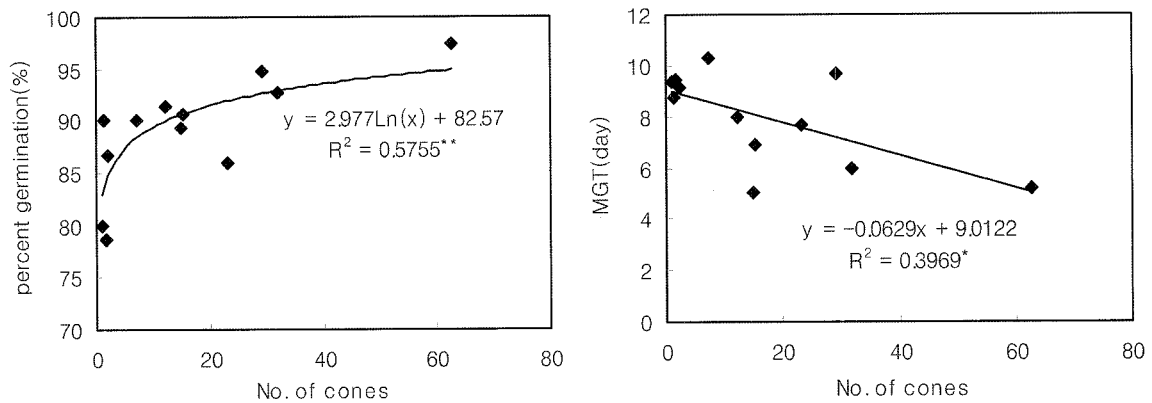


Figure 5. Regression analysis between number of cones per tree and germination characteristics in *P. densiflora* stands.

\* : p<0.05  
\*\* : p<0.01

이상이 비립이면 구과해충의 피해를 의심하고 조절법을 강구하는데, 배의 치사유전자 때문인지 해충의 영향인지 아직까지 정확한 원인을 밝히지 못하였으므로 지속적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

4. 구과 및 종자 특성 간 상관관계

구과 및 종자 특성 간의 상관관계를 분석한 결과(Table 5), 성숙 종자 수는 생구과 무게와 충실 종자 수와 높은 정(+)의 상관을 보였다( $r=0.833, 0.827, p<0.01$ ). 성숙 종자율은 화분공급량의 부족으로 인해 생기는 첫 해 고사 배주수와 높은 부(-)의 상관을 보여( $r=-0.739, p<0.01$ ) 종자의 성숙에 있어 수분의 효율성을 높이기 위해 다량의 화분공급이 필요한 것으로 판단된다. 다량의 화분 공급을 위해서는 화분 비산을 원활하게 해준다거나 개화량을 증진시키는 방안을 고려해 볼 수 있는데, 전자(前者)의 경우 임분 밀도를 낮추는 간벌 등이 적절한 방안이 될 수 있으며, 후자의 경우 수형 조절(김중환 등, 2004), 전정(이욱 등, 2005), 호르몬 처리 및 광주기 조절(Dahanayake and Galwey, 1999) 등의 방법을 이용할 수 있다. 그러나 수종마다 생리적 기작이 다르므로 적정 처리 방법을 구명 후 실시하여야 할 것이다. 한편, 종자 생산 능력은 충실 종

자율과, 임성 인편 수는 종자 효율과 높은 정(+)의 상관을 나타내기도 하였다( $r=0.795, 0.799, p<0.01$ ).

5. 발아 특성

구과 분석 후 선별된 충실 종자를 이용하여 발아 실험을 한 결과 발아율의 경우 연도에 따라 고성 임분 90.0~97.3%, 강릉 임분 86.7~92.7%, 울진 임분 78.7~90.7%를 나타내어 연도 간 및 임분 간 차이에서 통계적 유의성이 인정되었다( $p<0.01$ , Figure 4). 또한 연도별 변화에 있어 앞에서 기술한 구과 생산량이나 종자 생산 능력 등과 대체적으로 유사한 경향을 나타내었으며, 발아율과 구과 생산량과의 관계를 회귀 분석한 결과 Figure 5와 같이 정(+)의 관계를 보여주었다( $R^2=0.576, p<0.01$ ). 반면 평균 발아 일수는 발아율과 반대의 경향을 나타내었다(Figure 4). 즉, 발아율이 높을수록 소요되는 발아 일수는 적었는데, 이는 발아 속도(발아세)가 높다는 것을 의미한다. 또한 평균 발아 일수는 고성 임분이 5.2~10.3일, 강릉 임분이 5.0~9.1일, 울진 임분이 6.9~9.5일을 나타내어 이 역시 연도에 따라 심한 차이를 보였다( $p<0.01$ ). 평균 발아 일수와 구과 생산량과의 관계는 부(-)의 경향( $R^2=0.397, p<0.05$ )을 나타내어 구과량이 많은 시기에 종자를 채취하여 파종했을 때 발아에

소요되는 기간이 짧음을 보여주었다(Figure 5).

결과적으로 소나무 임분에서 구과 생산량이 많은 시기에 구과를 채취하였을 때 충실율이 높은 종자를 얻을 수 있으며 이것을 피종하였을 때 발아율이 높고, 발아에 소요되는 일수를 줄일 수 있다. 따라서 이와 같은 사실을 종자 공급 및 양묘에 활용하면 높은 효과를 얻게 될 것이라 사료된다.

## 인용문헌

1. 구영본, 이위영, 조동광. 1993. 잣나무 클론보존원의 유구과 낙과 및 구과해충 피해에 의한 종자손실. 임육연보 29: 135-139.
2. 김종환, 이갑연, 이성규, 장경환, 김기철, 이정주, 허성두, 박유현, 이상봉. 2004. 채종원의 개화량 증진을 위한 유형조절. 한국임학회 학술연구발표논문집. pp.326-328.
3. 산림청. 2006. 임업통계연보. 산림청. pp.188-190.
4. 이경준, 이재순, 이정주, 이석구. 1984. 화분비산량과 구과생존을 조사 및 구과 분석을 통한 채종원의 종자 생산효율의 분석. 임육연보 20: 116-125.
5. 이 욱, 김선창, 김만조, 이문호, 권용희. 2005. 밤나무 절단전정이 개화량에 미치는 영향. 원예과학기술지. pp.52.
6. 탁우식, 권혁민, 김규식, 박유현, 유세걸, 김원우. 1990. 채종원산 소나무, 잣나무, 리기다소나무의 구과생존율과 구과 분석에 의한 종자 생산효율 분석. 임육연보 26: 35-40.
7. 한상익, 유세걸, 정현관. 1999. 구과 분석을 통한 잣나무 채종원의 종자 생산효율 추정. 산림과학논문집 61: 27-32.
8. Baker, F.S. 1959. Principles of Silviculture. McGraw-Hill Book Company. NewYork.
9. Bramlett, D.L., E.W. Belcher, Jr., G.L. DeBarr, G.D. Hertel, R.P. Karrfalt, C.W. Lantz, T. Miller, K.D. Ware, and H.O. Yates III. 1977. Cone analysis of southern pines. A guidebook, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SE-13. 28pp.
10. Dahanayake, S.R. and N.W. Galwey. 1999. Effects of interaction between low-temperature treatments, gibberellin (GA3) and photoperiod on flowering and stem height of spring rape (*Brassica napus* var. *annua*). Annals of Botany 84: 321-327.
11. Daniel, T.W., J.A. Hellima, and F.S. Baker. 1979. Principles of Silviculture. McGraw-Hill Book Company. NewYork.
12. Downs, A.A. and W.E. Macquilkin. 1944. Seed production of southern Appalachian oaks. J. Forestry 42: 913-920.
13. Hatcher, R.J. 1966. Yellow birch regeneration on scarified seed beds under small canopy openings. Forestry Chronicle 42: 351-358.
14. Inoue, Y. 1958. Studies on the special type of the middle forest system of Akamatsu. Bull. Kyushu Univ. Forestry 30: 103-125.
15. MacArthur, J.D. 1966. Comparative survival and growth of fine conifers ridge-planted on a wet site. Forestry Chronicle 42: 143-148.
16. Matthews, J.D. 1963. Factors affecting the production of seed by forest trees. Forestry Abstracts 24: 1-13.
17. Owens, J.N. 1985. Cone and seed biology. pp.14-31. In: Proc. conifer tree seed in the Inland mountain west symposium. USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. INT-203.
18. Rafael C. and M. Gregorio. 2007. Cone and seed production from stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Central Range (Spain). Eur. J. Forest Res. 126: 23-35.
19. Rim, Y.D. and T. Shidei. 1973. A study on the seed production of Japanese red pine and black pine(1). Bull. Kyoto Univ. Forestry 45: 43-51.
20. Rim, Y.D. and T. Shidei. 1974. A study on the seed production of Japanese red pine and black pine(1). Bull. Kyoto Univ. Forestry 46: 75-84.
21. Scott, S.J., R.A. Jones and W.A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science 24: 1160-1162.
22. Shearer, R.C. 1985. Cone production on douglas-fir and western larch in Montana. pp.63-67. In: Proc. conifer tree seed in the Inland mountain west symposium. USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. INT-203.
23. Thomas L.N., C.P. William and E.M. Andree. 2006. Natural variation in seed characteristics of eastern white pine (*Pinus strobus* L.). New Forests 32: 87-103.
24. Ying, C.C., J.C. Murphy and S. Anderson. 1985. Cone production and seed yield of lodgepole pine grafts. Forestry Chronicle 61: 223-228.

(2007년 3월 23일 접수; 2007년 4월 19일 채택)