

일본잎갈나무 천연갱신지의 종자 결실 및 벌채 유형별 종자 비산 특성

정준모¹ · 김현섭^{2*} · 정상훈¹

¹국립산림과학원 산림기술경영연구소, ²산림청 산림정책과

Seed Fructification and Seed Dispersal Characteristics by Harvest Types in Natural Regeneration Sites of *Larix kaempferi*

Junmo Chung¹, Hyun Seop Kim^{2*} and Sanghoon Chung¹

¹Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

²Forest Policy Division, Korea Forest Service, Daejeon 35208, Korea

요약: 본 연구는 일본잎갈나무 인공림에서 천연하종갱신을 이용한 후계림 조성 방법을 제안하고자 수행되었다. 이를 위해 2016년 경기도 가평에 모수작업과 개별작업을 실시하여 시험지를 조성하고, 2014년에 조성된 경상북도 봉화의 시험지와 함께 천연갱신지의 종자결실 및 종자낙하 특성을 분석하였다. 그 결과, 결실이 좋은 해에 V영급 일본잎갈나무의 개체목당 종자 수는 690,340립이며, 모수가 ha당 25본인 일본잎갈나무 천연갱신지에서는 ha당 1,380만립의 종자가 결실되는 것으로 추정되었다. 종자의 비산은 9월부터 시작되었으며, 11월까지 낙하된 종자의 발아율은 종자품질 기준인 40%를 넘는 것으로 나타났다. 갱신유형별 종자 낙하량은 보잔목작업, 모수작업, 개별작업 순이었고, 보잔목작업이 종자의 균등한 비산에 유리한 것으로 나타났다. 따라서 일본잎갈나무의 천연갱신을 위한 벌채와 갱신상 조성 시기는 종자가 비산하는 9월 이전이 효과적이고, 보잔목작업이 균일한 종자공급에 유리한 방법인 것으로 판단된다.

Abstract: This study proposed a field-applicable natural regeneration method using natural seeding to afforest a secondary growth forest after felling in *Larix kaempferi* plantations. In 2016, an experimental site was established using seed-tree and clear-cutting methods in Gapyeong, Gyeonggi-do, South Korea. Characteristics of seed fructification and inflow in the natural regeneration site were analyzed along with an experimental site in Bonghwa, Gyeongsangbuk-do, which was established in 2014. As a result, the number of seeds per individual tree of V age class *L. kaempferi* was 690,340 seeds in a good year, with an estimated 13.8 million seeds per ha fruited in natural regeneration sites of *L. kaempferi* with 25 seed-trees per ha. Seed dispersal began in September and germination rates of seeds dispersed until November were greater than 40%. Reserved seed-tree sites showed the highest amount of seed inflow, followed by the seed-tree site and clear-cut site in descending order. The reserved seed-tree method performed better than other methods for evenly scattering seeds. Therefore, the timing of logging and seedbed generation for natural regeneration of *L. kaempferi* is estimated to be most effective before September when seeds are purposefully scattered using the reserved seed-tree method as an effective method for uniform seed supply.

Key words: *Larix kaempferi*, natural regeneration, seed dispersal, seed inflow, seed fructification

서론

우리나라의 산림은 자원 수탈, 전쟁 등으로 황폐화된 후 집중적인 치산녹화 사업으로 녹화에 성공하였다. 현재 우리나라의 산림에서 많은 산림면적을 가지고 있는 주요 침엽수종은 소나무, 일본잎갈나무로 전체 침엽수 면적의 78%를

차지하고 있다(Korea Forest Service, 2020). 이 중 일본잎갈나무는 1960년대 이후 72만ha 이상 조림되었고 현재 산림면적은 약 27만ha로 전체 침엽수면적의 11.7%를 차지하고 있다(Korea Forest Service, 2020). 최근에는 일본잎갈나무의 목재 수요가 증가하고 벌기에 도달한 산림면적이 늘고 있어 주요 수확 대상으로 벌채되고 있으며 목재 수확량이 증가함에 따라 재조림이 늘어나고 있다. 하지만 목재수확지의 재조림은 인공조림에만 의존하고 있는 실정이며, 한 해 약 2만ha 면적에 인공조림을 시행하는데, 들어가는 비용이 1천3백억원 정도인 것으로 나타났다(Korea Forest

* Corresponding author

E-mail: khs0607@korea.kr

ORCID

Hyun Seop Kim  https://orcid.org/0000-0003-3914-6085

Service, 2019). 일본잎갈나무는 생장이 빠르고 재질이 우수하며, 건축재로서 수요가 많아 후계림 조성 대상수종으로의 요구도가 높다. 따라서 인공조림을 통한 재조림을 시행하고 있지만 이에 필요한 종자공급이 부족하고 묘목생산율도 낮아 조림면적 확대에 문제점으로 부각되고 있다. 종자 풍흉주기가 5~6년, 대풍은 12년(Lee et al., 2012)으로 알려진 일본잎갈나무의 최근 5년간 채종원 종자생산량은 대풍이었던 2016년을 제외하면 매년 2~58 kg으로 수요에 비해 종자생산량이 부족할 실정이다(Korea Forest Service, 2020). 이와 같은 이유로 산림청에서도 인공조림과 병행한 천연하종갱신과 맹아갱신 같은 조림을 적지에 실현하고자 계획하고 있다(Korea Forest Service, 2019).

천연갱신은 지역에 잘 적응된 종으로 생물학적으로 건강한 산림을 조성할 수 있고, 조림 비용은 인공조림의 약 절반의 비용으로 재조림을 할 수 있어(Food and Agriculture Organization, 2018) 유럽과 북미 등지에서는 이미 기술이 확립되어 사용중이다. 일본도 2034년까지 조림면적의 48.2%를 천연갱신 하겠다는 계획을 시행하고 있다(Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2018). 그러나 천연갱신을 통한 조림은 인공조림에 비해 오랜 시간과 상대적으로 많은 지식과 기술을 필요로 하여 일부 국가를 제외한 대다수의 국가에서 산림 갱신을 위한 방법으로 제대로 인식되거나 사용되지 못하고 있는 실정이다. 우리나라도 산림경영을 목적으로 현장에서 실제로 시행된 사례는 드물며, 천연갱신에 대한 시업 및 관리방안에 관한 연구도 부족한 실정이다. 지금까지 소나무 천연갱신에 대한 연구(Hyun, 1943; Kim et al., 1987; Kim et al., 1989; Bae, 1994; Park and Lee, 1996; Na et al., 2010)는 일부 시도되었으나 지속적이거나 종합적이지 못했고, 일본잎갈나무 천연갱신과 관련된 연구는 거의 전무한 수준이다. 그러나, 소나무와 일본잎갈나무 수확 별채지는 향후에도 계속 증가될 것으로 예상되고 있어 이 수종들에 대한 천연갱신 기술 확보는 매우 시급한 실정이다. 본 연구는 이와 같은 상황에서 천연갱신 기술 개발에 필요한 종자결실과 공급에 관한 기초를 파악하고자 일본잎갈나무 천연하종갱신 연구를 위해 조성한 시험지에서 종자결실량, 종자 유입량 및 유입패턴 그리고 종자품질 등을 조사하고 분석하였다. 해외에서는 다양한 수종의 오랜 연구를 통해 목본식물 종자 매뉴얼을 제작하고(USFS, 2008), Nathan et al. (2019)은 다양한 수종의 종자 산포 방법에 관한 메커니즘을 보고하였다. 또한 일본잎갈나무 천연갱신지에서의 하종량과 종자 비산범위에 관한 다양한 연구가 이루어졌다(Ougi et al., 2005; Masahiko et al., 2016; Oya et al., 2020). 하지만, 국내에서는 Lee et al.(2012)의 일본잎갈나무 종자의 결실증진에 관한 연구를 제외하면 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 일본잎갈나무 천연갱신의 성공 가능한 방법을 제시하기 위해 갱신지에서의 종자 결실 및 별채유형별 종자 비산 특성을 구명하고자 하였다. 종자 비산을 연구하기 위해서는 공간 패턴을 측정하고, 생성되는 메커니즘을 탐구하여 현상학적 모델이나 기계론적 모델 등의 개발이 필요하지만(Levin et al., 2003), 본 연구지는 천연갱신 처리방법에 따른 유형별 효과 분석을 위한 사이트이기에 큰 규모의 종자 비산 패턴을 정량화하여 세밀한 종자 비산 모델 개발을 위한 연구에는 맞지 않아 가장 일반적인 방법인 종자수집망을 이용하여 연구를 수행하였고, 일본잎갈나무 천연갱신 시업체제 마련을 위한 기초 정보를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지 및 갱신상 조성

연구대상지는 수확기에 접어든 V영급 일본잎갈나무 임지에서 경사가 완만하고 방위, 경사, 토양조건 등의 차이가 심하지 않아 천연갱신지 처리 분석에서 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 임목의 생육상태와 형질이 우수한 곳을 대상지를 선정하였다. 종자결실 예찰 결과, 종자결실이 좋은 것으로 판단된 2016년에 경기도 가평군 조종면 운악리에 시험지를 신규 조성하였고, 경북 봉화군 소천면 서천리에 2014년 조성된 시험지를 지역적 차이 등을 비교하기 위한 대상지로 선정하였다(Figure 1). 연구대상지의 개황은 Table 1과 같고, 임황은 Table 2와 같다.

시험지의 기상특성은 기상청(Korea Meteorological Administration)의 관측소와 자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS) 중 각 시험지별 근거리에서 위치한 3개소를 선택하여 과거 10년간(2006~2015)의 기상 측정자료를 분석하였다. 가평 시험지의 연평균 기온은 10.5°C, 연평균 강수량은 약 1,000 mm, 종자비산 예상 시기인 9월에서 이듬해 4월까지의 최대풍속은 6.0 m/s이며, 풍향은 정온(0.5 m/s 이하)이 약 24%, 남풍이 27% 정도의 횡수로 관찰되었다(Figure 2). 봉화 시험지의 연평균 기온은 10.1°C, 연평균 강수량은 1,202 mm, 종자비산 시기의 9월에서 이듬해 4월까지의 풍향은 정온이 22%로 가장 많았으며 남서풍과 북동풍이 각각 13%로 나타났다. 최대풍속은 4.4 m/sec이었다(Figure 2).

가평 시험지의 별채유형은 단목 모수작업, 3분 군상 모수작업, 보잔목작업, 30 m 대상개별작업과 대조구를 배치하였고, 봉화 시험지는 단목 모수작업, 3분 군상 모수작업, 보잔목작업, 15 m 대상개별작업, 30 m 대상개별작업, 20 m 군상개별작업, 30 m 군상개별작업, 40 m 군상개별작업 그리고 대조구를 배치하였다(Table 3).

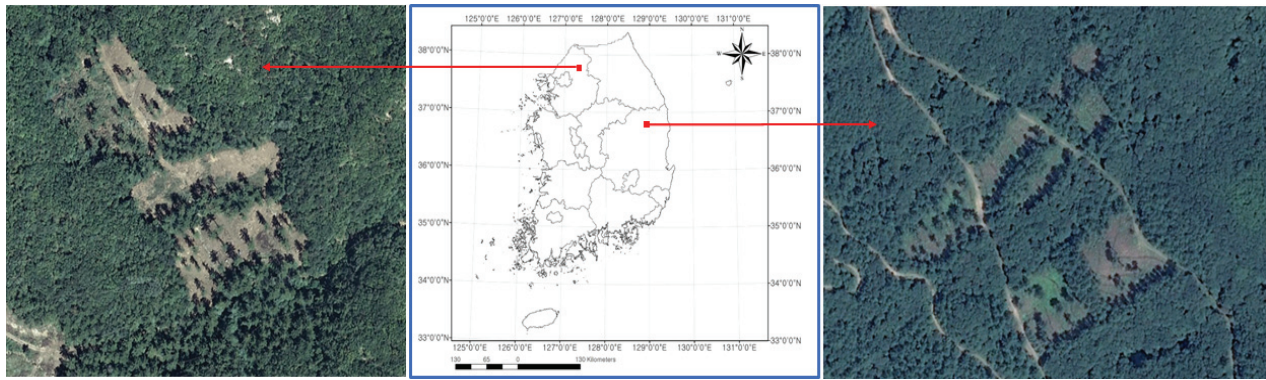


Figure 1. Location of Gapyeong(L) and Bonghwa(R) experimental site.

Table 1. Geographical features in Gapyeong and Bonghwa experimental sites.

Location	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Location in mountain
Gapyeong	SE	3205~3270	3~25	Bottom
Bonghwa	SW	760~845	13~28	Side

Table 2. Forest stand conditions of *Larix kaempferi* in Gapyeong and Bonghwa experimental site before harvest.

Site	Density (trees ha ⁻¹)	DBH (cm)	Height (m)	Clear-length (m)	Basal area (m ² ha ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Crown area (m ² ha ⁻¹)	Stand age-class
Gapyeong	165	37.2	27.4	12.4	17.9	148.0	7,368	V
		31.6~41.1	26.6~28.3	11.7~13.9				
Bonghwa	348	34.9	25.5	11.1	34.3	379.8	13,575	V
		23.0~51.6	18.1~34.5	4.9~17.6				

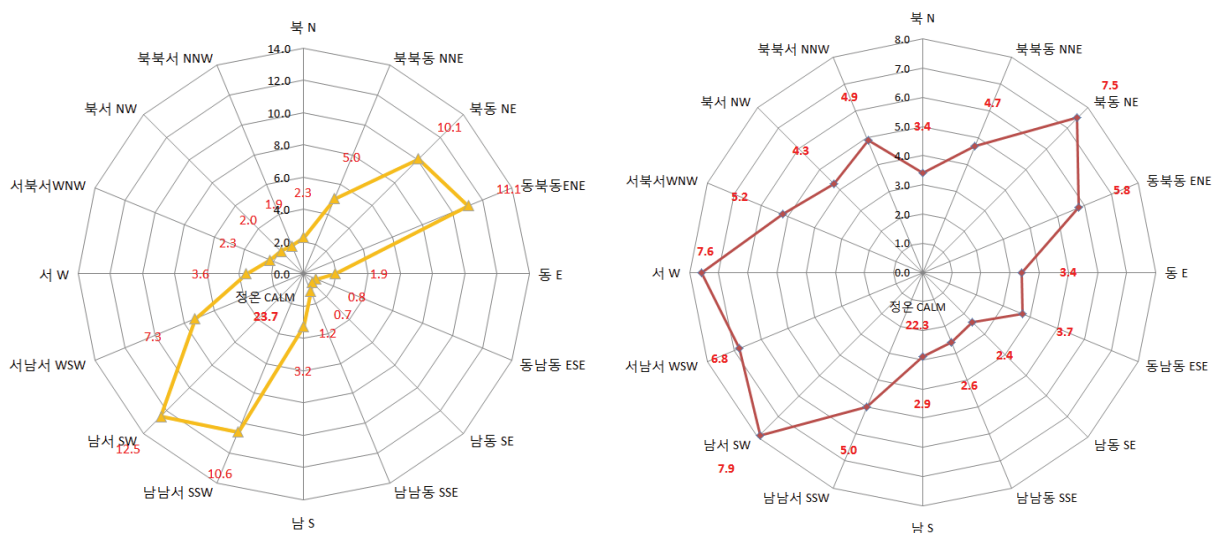


Figure 2. Wind direction and speed of seed scattering seasons in Gapyeong(L) and Bonghwa(R) experimental site.

Table 3. Treatments for natural regeneration in Gapyeong and Bonghwa experimental sites.

Methods	Gapyeong		Bonghwa	
	treatment	area (ha)	treatment	area (ha)
Seed tree	remained 20 trees ha ⁻¹ (Uniform)	0.40	remained 20 trees ha ⁻¹ (Uniform)	0.49
	remained 20 trees ha ⁻¹ (Group of three)	0.78	remained 20 trees ha ⁻¹ (Group of three)	0.43
Reserved tree	remained 40 trees ha ⁻¹	0.35	remained 50 trees ha ⁻¹	0.46
Strip cutting	cutting width 30 m	0.47	cutting width 15 m, 30 m	0.47
Patch cutting	-	-	cutting width 20 m, 30 m, 40 m	0.23
Control	non-treatment	0.40	non-treatment	0.40

Table 4. Growth characteristics of sample trees for cone and seed productivity survey by individual tree in Gapyeong site.

Sample tree	DBH (cm)	Height (m)	Number of Branches (N tree ⁻¹)	Branch diameter (cm)	Branch length (m)
1	41.4	26.4	68	4.8±2.3	4.1±2.0
2	37.3	29.4	67	4.0±1.3	3.1±1.3
3	31.2	25.9	53	3.6±1.5	2.5±1.2
mean	36.6	27.2	62	4.1±1.7	3.3±1.5

2. 연구방법

1) 종자 결실 및 하종량 조사

종자결실이 좋았던 2016년에 일본잎갈나무 천연갱신지를 조성한 가평 시험지의 종자 결실량을 조사하였다. Broome and Poulson(2006)은 쌍안경을 사용한 시야법(Field-of-view method)으로 침엽수 수관부의 구과 밀도를 조사하였고, Dobbs et al.(1976)은 종자비산 시기 이전에 임분 내에서 6 그루의 나무를 대상으로 각 9개의 구과를 평가하여 전체 종자의 수를 추정할 수 있다고 제안하였다. 본 연구에서는 일본잎갈나무 종자비산 시기 이전인 2016년 8월에 가평 천연갱신 연구대상지에서 천연하종갱신을 위한 모수 선택 기준에 부합하는 형질이 우수하고 결실이 좋은 개체목 3본을 선정하였다. 선정된 개체목은 정확한 조사를 위해 주변에 바닥재를 깔고 그 위에 굴삭기와 기계톱을 이용하여 별도하고 가지의 개수, 위치, 크기 그리고 가지당 구과 수를 조사하였고 구과는 전수 수집하였다. 구과당 종자량은 개체목당 100개의 구과를 임의로 선정하여 인편수와 구과 내부의 종자를 추출하여 집계하였다(Table 4).

천연갱신 처리 유형에 따른 하종량 조사는 단면적 0.25 m² (직경 56.5 cm, 높이 70 cm)인 원형 종자 수집망을 연구대상지에 설치하여 조사하였다. 종자 수집망은 처리별 대상지의

크기와 형태를 고려하여 가평 시험지에 108개, 봉화 시험지에 132개 설치하였고, 2016~2019년까지 4년간 당년 9월부터 이듬해 4월까지 종자 수집망을 주기적으로 수거하여 대상지에 유입된 하종량을 집계하였다.

2) 종자 품질 검사

가평과 봉화 시험지에서 2016년 9월부터 2017년 4월까지 월별 수집된 일본잎갈나무 종자의 품질 검사를 위해 국립산림품종관리센터에 의뢰하여 천립중과 발아율을 조사하였다.

3) 통계분석

구과 및 종자 결실량은 공시목 3개체의 산술 평균값을 적용하였고, 시험지별 벌채유형 및 시기별 종자 낙하량의 유의성은 분산분석(ANOVA)를 이용하여 검증하였으며, 통계적으로 유의성이 인정되는 평균값의 차이는 Duncan multiple range test ($p < 0.05$)를 통해 비교하였다. 연도별, 벌채 유형별 유입 종자의 분포 균일성은 변이계수(Coefficient of variation, CV)로 비교하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS 18.0을 이용하였다.

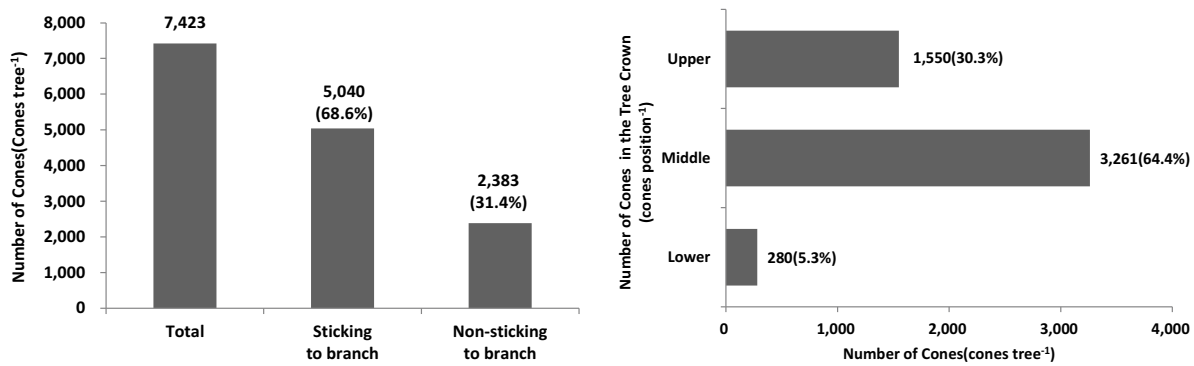


Figure 3. Quantity of cones for V age-class *Larix kaempferi* individual tree in study site of Gapyeong.

Table 5. Estimated seed productivity per individual tree of Vage-class *Larix kaempferi* in Gapyeong experimental site.

Sample tree	Number of cones per tree	Size of cones		Number of scales per cone	Number of seeds per cone	Number of seeds per tree
		Length (mm)	Width (mm)			
1	8,818	28.3±2.1	15.9±1.1	60±5.9	85±20.2	749,530
2	7,200	28.8±3.3	16.3±2.0	64±4.7	99±17.9	712,800
3	6,252	26.5±2.8	14.4±1.4	50±14.3	96±24.9	600,192
mean	7,423	27.9±2.7	15.6±1.5	58±8.3	93±21.1	690,339

결과 및 고찰

1. 종자 결실 및 낙하 특성

1) 종자 결실량

2016년 8월에 가평 시험지에서 선정된 3개 공시목의 임목당 구과수는 평균 7,423개(6,252~8,818개)이다. Broome et al.(2016)은 결실이 좋은 해에 일본잎갈나무(*L. kaempferi*) 임목당 3,000~5,000개의 구과가 열리는 것으로 보고하였고, 본 연구에서의 구과수가 많은 것으로 나타나 구과결실이 상대적으로 더 양호했던 것으로 판단된다. 공시목별 수관부 높이를 3등분하여 위치별 구과수를 집계한 결과, 수관부 하부에는 5.3%, 중앙부는 64.4%, 상부에는 30.3%의 구과가 분포하는 것으로 나타났다(Figure 3). 일본잎갈나무의 구과는 수관부 전체에 발생하며 활력이 떨어지는 가지의 아래쪽 수관부보다는 활력있는 가지와 상부 수관부에 가장 많이 결실된다는 보고(Owens and Blake, 1985; Fletcher, 1992; Philipson, 1997)와 유사하였고, 하부가지의 구과수가 상대적으로 적은 것은 연접한 나무와 중첩되어 수광량이 부족하고 기류순환이 불리하여 종자결실과 결과지 확보가 불량했기 때문으로 판단된다(Kim et al., 2015).

구과당 인편수는 평균 58±8.3개(50~64개)로 30~40개(Farrar, 1995), 50~60개(Korea National Arboretum, 2009), 42.6~46.3개(Bryntsev et al., 2020)의 기존 보고들과 유사하거나 일부 차이를 보였다. 구과당 종자수는 평균 93±21.1개로 조사되어 인편수 대비 종자수 추정치는 80% 수준으로

나타났다(Table 5). Lee et al.(2012)은 일본잎갈나무 구과당 종자수를 평균 60개로 보고하였고, United States Department of Agriculture(1990)는 서부낙엽송(*Larix occidentalis*)의 구과당 80개의 종자가 있을 수 있지만 평균은 그 수의 절반 정도라고 보고하였다. 가평시험지에서 조사한 구과수와 실종자수로 종자결실이 양호했던 2016년도 V영급 일본잎갈나무의 종자수를 추정할 결과, 개체목당 약 69만립의 종자가 결실된 것으로 추정되었다(Table 5). Matsuo (2008)은 일본잎갈나무 모수가 ha당 25본일 때 약 600만립의 종자가 결실된다고 보고한 바 있으며, 가평 시험지 모수의 개체수를 ha당 25본으로 가정하면 약 1,380만립/ha의 종자가 결실되었을 것으로 추정되어 본 시험지의 종자결실량이 2배 이상 많았다. United States Department of Agriculture (1990)은 동일 임분 및 수령의 서부낙엽송 개체목에서도 흉고직경에 따라 종자생산량에 많은 차이가 나타남을 보고하였다.

2) 종자 낙하량

2016년 9월부터 2017년 4월까지의 월별 종자 낙하량은 가평 시험지에서 9월에 종자 낙하가 시작되어 10월까지 20.6%가 하중되었다. 11월에 19.1%로 하중량이 가장 많았으며 10월부터 이듬해 2월까지의 낙하량이 전체의 84.5%로 나타났다(Figure 4). 봉화 시험지는 종자 낙하가 시작되어 10월까지 22.4%가 하중되었고, 11월이 28.6%로 가장 많았으며 12월에 21.1%가 하중되어 전체의 72.1%가

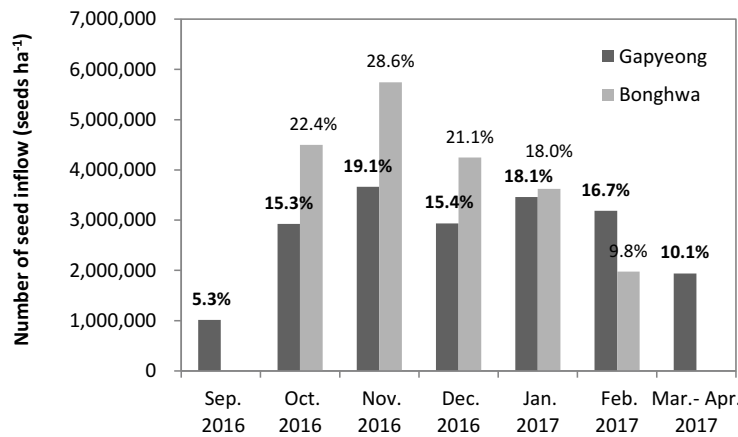


Figure 4. Number of seed inflow in Gapyeong and Bonghwa experimental site by month (Sep. 2016~Apr. 2017).

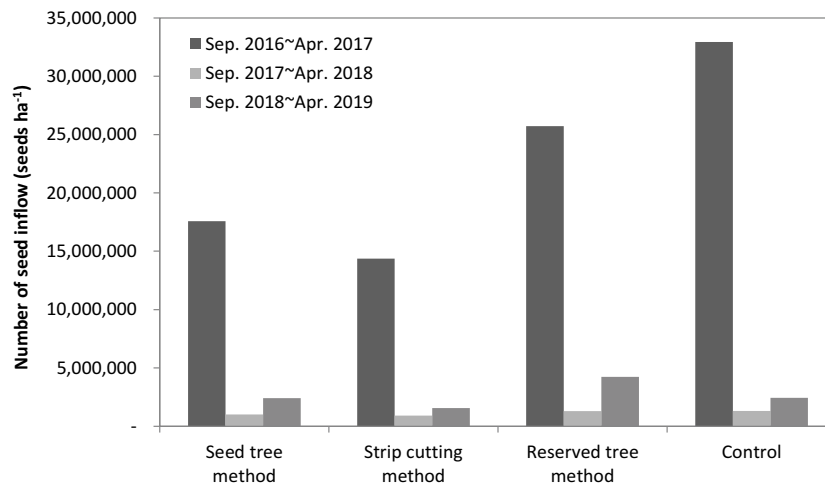


Figure 5. Annual variation of seed fall amount by cutting methods in Gapyeong experimental site.

낙하되었다(Figure 4). Nixon and Worrell(1999)은 일본잎갈 나무의 종자 낙하시기를 10월~4월로 보고하였고, United States Forest Service(2008)는 9~10월에 종자가 성숙되어 겨울동안 비산된다고 하였다. 월별 종자 낙하량은 Ougi et al.(2005)은 11월에 가장 많고, Oya et al.(2020)의 10월과 11월에 종자 하중량이 많고 그 후 감소한다는 기존 연구 보고와 동일하였다. 시험지별 최대 하중량을 보인 시기는 동일했지만, 가평 시험지는 10월부터 2월까지 유사한 하중량을 보였고 봉화 시험지는 최대 하중량을 보인 11월 이후 감소하는 월별 하중량 변화 경향의 차이를 보였고, 이것은 United States Department of Agriculture(1990)의 서부낙엽송(*Larix occidentalis*) 구과는 수분함량에 따라 개별목에서 동시에 열리지만 동일 임분에서도 임목마다 상당히 다르며 기상조건에 따라 한 달 이상 차이가 날 수도 있다는 보고와 같이 시험지별 국지 기후 차이에 따른 것으

로 사료된다.

연도별 종자 낙하량은 가평 시험지가 조사 1회기에 무처리구에서 32,940천립/ha의 종자가 낙하되어 처리구 18,312천립/ha보다 1.8배 많았다(Figure 5). 벌채유형별 종자 낙하량은 보잔목작업이 25,733천립/ha로 가장 많았고 모수작업 17,588천립/ha, 대상개별 14,365천립/ha 순으로 나타나 대상지에 종자를 공급하는 모수의 숫자에 따라 공급되는 종자량의 차이를 확인할 수 있었다(Figure 5). 조사 2회기인 2017년 9월부터 2018년 4월까지의 하중량은 전년 대비 처리구에서는 5.6%, 무처리구 4.0%의 수준으로 감소하여 일본잎갈나무 종자결실의 풍흉이 확인되었다(Figure 5). 조사 3회기인 2018년 9월부터 2019년 4월까지의 하중량은 전년대비 처리구는 2.5배, 무처리구는 1.8배 증가한 것으로 조사되었다(Figure 5).

봉화 시험지 조사 1회기의 종자 낙하량은 처리구가

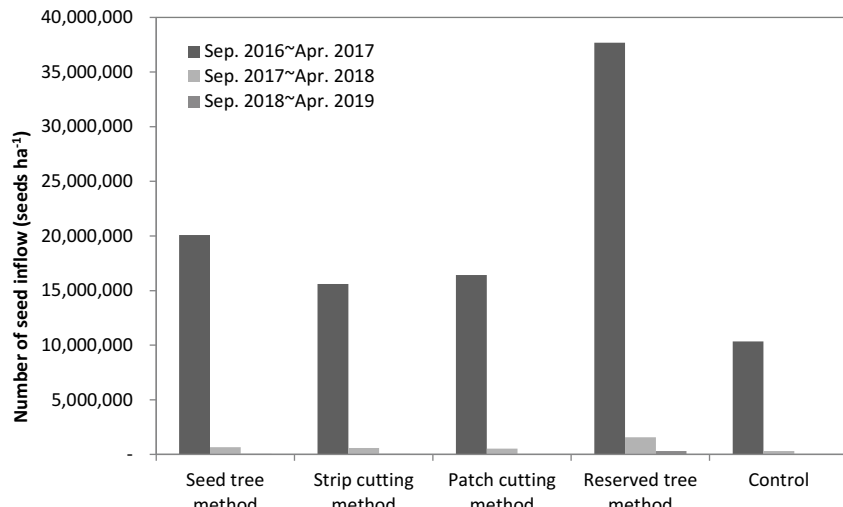


Figure 6. Annual variation of seed fall amount by cutting methods in Bonghwa experimental site.

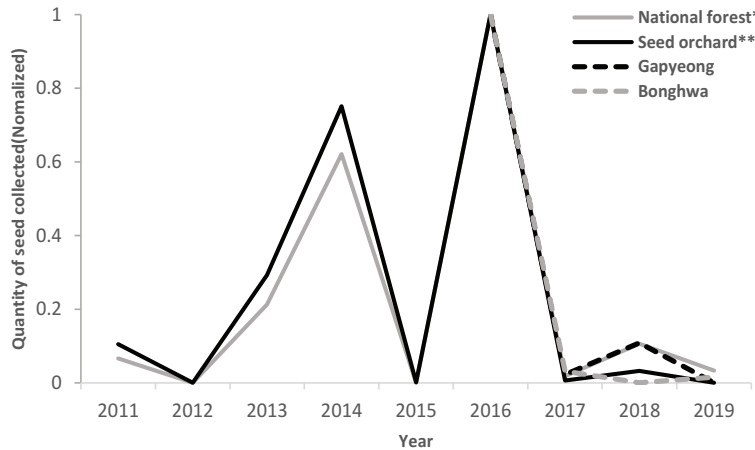


Figure 7. Comparison of seed year and quantity of seed collected among Gapyeong study site, Bonghwa study site, national forest and seed orchard.

* Managed forest of Korea Forest Service (KFS)

** Seed orchard of National Forest Seed and Variety Center(NFSV)

20,539천립/ha로 무처리구의 10,340천립/ha에 비해 2배 많았다. 처리별 종자 낙하량은 보잔목작업이 37,677천립/ha로 가장 많았고 모수작업 20,080천립/ha, 군상개별 16,428천립/ha, 대상개별 15,601천립/ha 순으로 나타나 가평 시험지와 유사한 경향을 보였으나 대조구의 종자 낙하량이 가평 시험지의 1/3 수준으로 현저히 적었다(Figure 6). 2017년 9월부터 2018년 4월까지의 하종량은 전년 대비 처리구는 3.5%, 무처리구 3.0% 수준으로 나타났다(Figure 6). 2018년 9월부터 2019년 4월까지의 하종량은 전년 대비 처리구는 54.8%, 무처리구는 1.7% 수준으로 나타났다(Figure 6).

일본잎갈나무의 종자생산 풍흉주기 변화를 비교하기 위해 국립산림과 채종원에서의 종자 채집량과 가평 및 봉화 시험지의 하종량을 비교하였다. 산림청이 국립산림에서

2011년부터 2019년까지 채취한 종자량과 국립산림품종관리센터 채종원에서 2013년부터 2019년까지 채취한 종자량 그리고 가평과 봉화 시험지의 2016년부터 2019년까지의 하종량을 정규화(normalization)하여 비교한 결과, 최근의 일본잎갈나무 종자 결실 풍작은 2014년과 2016년이었고, 2012년, 2015년, 2017년은 종자 결실이 적었던 것으로 나타났다(Figure 7). 일본잎갈나무의 풍흉주기는 4~8년 주기(United States Forest Service, 2008), 3~4년 주기(Broome et al., 2016), 풍작은 5~6년에 대응은 12년 주기(Lee et al., 2012) 그리고 일본 5개 지역에서 8년간 조사한 연구에서는 풍작 2회는 1개 지역, 풍작 1회 1개 지역이고 나머지 3개 지역에서는 풍작이 없었던 것(Tamura et al., 2012) 등 다양한 보고가 있어 풍흉주기와 종자결실 요인

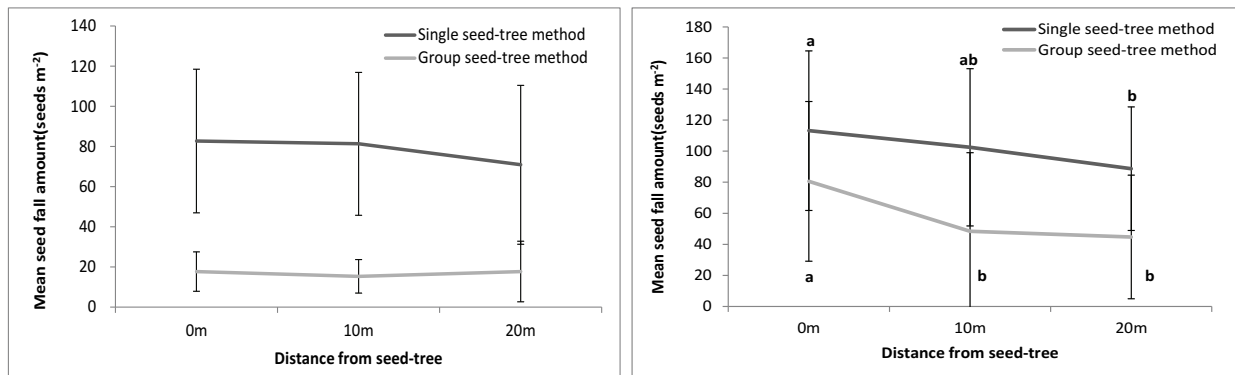


Figure 8. Seed fall pattern of seed-tree method in Gapyeong(L) and Bonghwa(R) experimental site (Sep. 2016~Apr. 2017). Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P<0.05$).

에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 하지만, 본 연구의 결과에서는 우리나라의 일본잎갈나무 종자 결실 주기는 일부 지역적 차이도 보이지만, 거리가 상당히 떨어진 조사지들 사이에서 종자 풍흉주기의 유사성이 나타나는 것으로 사료되어, 향후 전국 단위에서의 주기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

종자 낙하와 관련하여 봉화시험지 무처리구의 종자 낙하량이 가평 시험지보다 매 조사 회기마다 적게 나타났는데, 이것은 두 시험지의 벌채 전 임분구조를 통해 살펴보면 가평 시험지의 ha당 임분밀도가 165본/ha, 수관면적이 7,368 m²이고, 봉화 시험지의 ha당 임분밀도가 348본/ha, 수관면적이 13,575 m²인 점을 들 수 있다(Table 2). 이것은 Wang and Zhou(1989)가 양수성 수종의 성숙림 갱신 능력은 임령보다 울폐도의 영향이 크다고 언급하였으며, 그 이유는 울폐도의 증가에 따라 광조건이 달라지기 때문이며 양수성 수종의 갱신에서 상층 울폐도가 0.7을 초과하면 갱신에 적합하지 않음을 보고한 결과와 유사하다. 따라서, 일본잎갈나무 천연갱신을 위한 종자 결실을 늘리기 위해서는 갱신작업 착수 전 임분밀도 조절을 통해 울폐도를 낮추어 광조건과 통기를 원활하게 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3) 벌채유형별 종자 낙하 특성

종자 낙하량이 많았던 2016년 9월부터 2017년 4월까지 벌채유형별 종자 낙하 패턴을 분석한 결과, 가평 시험지의 모수작업지는 단목배치구의 종자 낙하량이 군상배치구보다 많은 것으로 나타났고, 모수로부터 거리에 따른 종자낙하량은 유의적 차이를 보이지 않았다(Figure 8). 봉화 시험지의 모수작업지는 종자 낙하량이 군상배치구보다 단목배치구가 많아 가평시험지와 동일하였고, 모수로부터 거리에 따른 종자 낙하량은 단목배치의 경우 모수의 수관아래에서는 m²당 약 115개의 종자가 낙하된 반면, 모수로부터 20m 떨어진 지점에서는 약 90개의 종자가 낙하되었고,

군상배치는 각각 80개와 45개의 종자가 낙하되어 단목배치와 군상배치 모두 거리에 따른 종자유입량의 유의적 차이를 보였다(Figure 8).

보잔목작업지의 종자 낙하 패턴은 주변 모수림과 갱신지 안쪽의 많은 잔존 모수들로 다른 갱신 작업지에 비해 갱신상 전체에 종자유입량이 많은 것으로 나타났다(Figure 9). 수림대로부터의 거리별 종자유입량은 가평시험지의 경우, 거리별 종자유입량에 유의적 차이가 있었고 우측지역에서 종자유입량이 상대적으로 많은 경향을 보였는데 이것은 평지인 우측지역과 경사지인 좌측지역의 국지지형 차이에 의한 영향으로 사료된다(Figure 9). 봉화 시험지는 모수림의 아래와 갱신상 가운데 지점의 종자 낙하량이 m²당 약 270립 정도로 나타나 모수작업지 보다 종량이 많았고, 모수림으로부터 거리별 종자유입량에 유의적 차이는 없었지만 우측과 좌측의 종자유입량이 상대적으로 조금 차이를 보였는데 이것은 종자 비산시기 풍향의 영향으로 판단된다(Figure 9).

대상개별지는 두 시험지 모두 모수림 수관 아래가 갱신상 중앙보다 종자 낙하량이 유의하게 많은 것으로 나타났다(Figure 10). 등고선 방향으로 대상개별을 실시한 가평 시험지는 갱신지 상·하부 모수림 수관 아래(0 m)의 종자 낙하량이 m²당 75~93립으로 나타났고 갱신상의 가운데 지점(15 m)은 m²당 50립 정도가 낙하되었다. 모수림으로부터 상·하부 7.5 m 지점의 종자유입량 차이는 대상지 사면 경사와 종자비산시기 풍향의 영향으로 판단된다(Figure 10). 등고선의 수직방향으로 대상개별을 실시한 봉화 시험지는 갱신지 좌·우측 모수림 수관 아래(0 m)의 종자 낙하량이 m²당 80~110립이었고 갱신상의 가운데 지점(15 m)은 m²당 53립이 낙하되었으며 보잔목작업지와 동일한 우측과 좌측의 종자유입량 차이는 종자 비산시기 풍향의 영향으로 판단된다(Figure 10).

봉화 시험지에만 조성된 직경 40 m 군상개별지는 종자

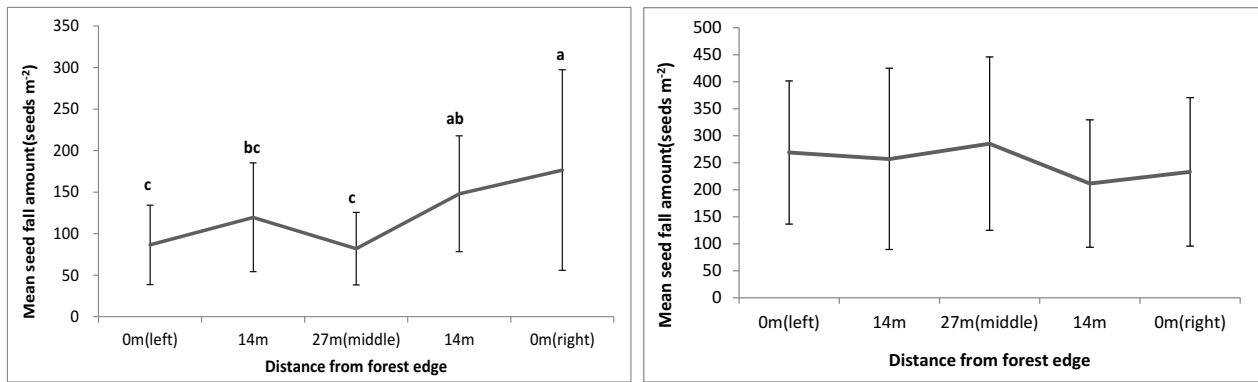


Figure 9. Seed fall pattern of reserve seed-tree method in Gapyeong(L) and Bonghwa(R) experimental site (Sep. 2016~ Apr. 2017). Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P<0.05$).

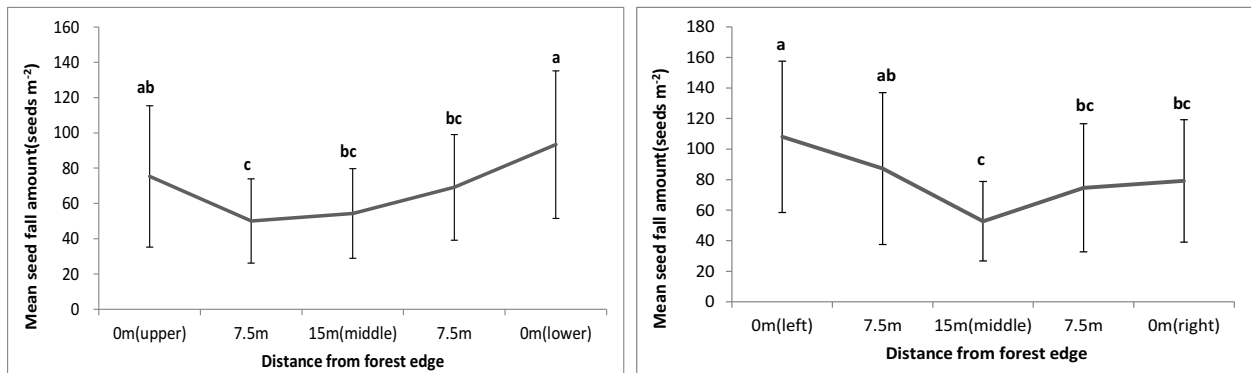


Figure 10. Seed fall pattern of strip-cutting method in Gapyeong(L) and Bonghwa(R) experimental site (Sep. 2016~ Apr. 2017). Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P<0.05$).

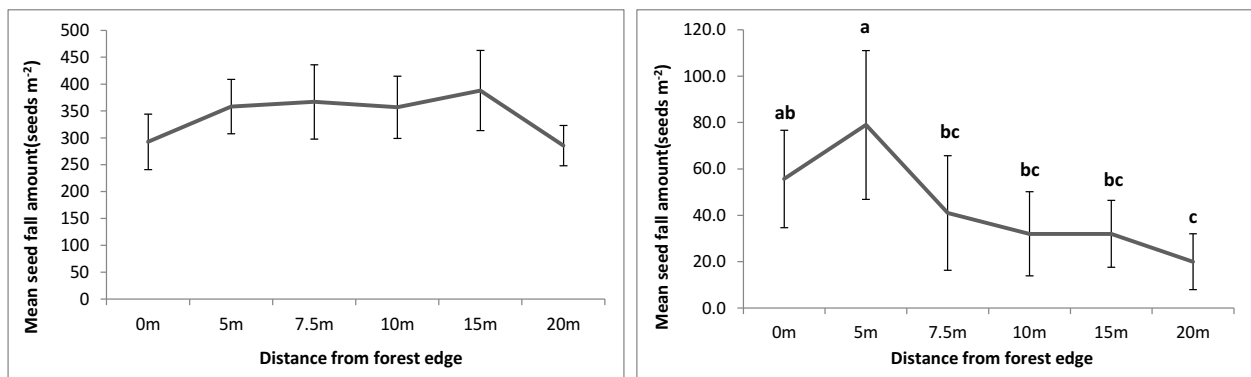


Figure 11. Seed fall pattern of patch-cutting method by seed good year(L) and poor year(R) in Bonghwa experimental site. Seed good and poor years are 2016~2017 and 2017~2018, respectively. Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons($P<0.05$).

결실 풍황에 따라 종자 낙하 패턴이 다르게 나타났다. 종자결실이 풍작이었던 2016~2017년의 모수림으로부터 거리에 따른 종자 낙하량은 수관 아래(0 m)가 m²당 290립이었고 갱신상 중심부인 20 m 지점에서 m²당 285립으로 거리에 따른 유의적 차이가 없었으나, 결실이 흉작이었던

2017~2018년의 종자 낙하량은 모수림의 수관에서 5 m 지점이 m²당 80립으로 가장 많았고 이후 감소하여 20 m 지점에서는 m²당 20립으로 거리에 따른 유의한 차이를 보였다(Figure 11). Masahiko et al.(2016)은 일본잎갈나무 종자 풍황에 따른 종자비산 거리와 종자낙하량 변화를 보고

Table 6. Comparison of uniformity of seed inflow by year at the study site using coefficient of variation (CV).

Site	Year			
	2016~2017	2017~2018	2018~2019	2019~2020
Gapyeong	45.8	64.4	79.8	89.2
Bonghwa	51.4	89.4	174.6	157.8

Table 7. Comparison of the uniformity of seed inflow by natural regeneration methods of the study site using the coefficient of variation (Sep. 2016~Apr. 2017).

Site	Method							
	Seed tree			Strip clearcut		Patch clearcut		
	Uniform	Group	Reserve	15m	30m	20m	30m	40m
Gapyeong	27.9	39.0	26.2	-	34.5	-	-	-
Bonghwa	30.0	66.3	25.0	25.5	41.0	21.2	24.8	38.4

하였는데 본 연구결과와 유사하였다.

Korea Forest Research Institute(1985)은 평균 수고 15 m의 소나무 모수림 임연부로부터 5 m 간격으로 종자망을 설치하고 종자 낙하량을 조사한 결과 모수로부터 거리가 멀어질수록 종자 낙하량은 급격하게 감소하였고, 모수의 수고와 동일 거리 이상에서는 낙하 종자가 발견되지 않았다고 보고하였다. 본 연구에서도 모수작업지와 대상개별지에서 유사한 낙하 패턴을 보였는데 이는 모수의 균일한 배치를 통해 보완 가능할 것으로 판단된다. Matsuo(2008)은 일본잎갈나무의 천연갱신을 위해서는 경사와 풍향 및 풍속을 고려한 벌채 폭과 방향 설정이 중요하다고 보고하였는데, 본 연구에서도 모수 또는 모수림의 수관 아래에서 종자 낙하량이 많았고 특히, 대상개별은 수림대의 어느 한 쪽의 수관 아래에서 더 많은 종자 낙하량을 보였고 갱신상 가운데 지점은 낙하량이 적은 것으로 나타나 종자 비산시기의 풍속과 풍향의 영향을 받은 것으로 판단되었다. 적정 갱신상의 폭 또는 개별 면적과 관련해서는 Tatsuo et al.(2004)이 일본잎갈나무는 광 요구가 큰 수종으로 정지작업 등 천연갱신에 수반된 작업을 실시할 경우, 모수 수고의 최대 2배 이내의 폭으로 갱신상을 조성할 것을 제시하였는데, 모수 수고와 동일 거리 이상에서는 낙하 종자가 없었던 Korea Forest Research Institute(1985)의 연구결과와 유사하였다. Mashhiko et al.(2016)은 종자 결실 흉작시에는 모수로부터 46 m, 풍작시에는 100 m까지를 일본잎갈나무 천연갱신 가능범위로 제시하여, 우리나라 일본잎갈나무 평균 수고를 25 m로 가정하면 적정 개별 폭은 50 m 이내일 것으로 판단된다.

천연갱신 대상지에 유입된 연도별 종자의 분포 균일성 비교를 위한 변이계수(CV)는 Table 6과 같다. 가평시험지는 2016년~2017년의 변이계수가 45.8로 종자 분포 균일

성이 가장 좋았고, 2017년~2018년, 2018년~2019년 그리고 2019년~2020년 순으로 나타났다. 봉화시험지는 2016년~2017년에 변이계수가 51.4로 가장 좋았고, 2017년~2018년, 2019년~2020년 그리고 2018~2019년 순이었다. 연도별 종자 분포 균일성 변화는 시험지의 연도별 종자량 변화 추세와 유사하였고, 종자 결실이 가장 좋았던 2016~2017년에 종자 분포 균일성도 가장 높게 나타나 종자 풍황에 따라 일본잎갈나무 모수로부터의 종자 비산거리와 밀도가 변화한다는 Masahiko et al.(2016)의 결과와 유사하였다.

갱신 유형별 종자 분포 균일성 비교를 위한 변이계수(CV)는 Table 7과 같다. 종자 결실이 좋았던 2016년 9월~2017년 4월까지의 가평시험지 종자 분포 균일성은 보잔목작업이 26.2로 가장 좋았고 모수단목작업, 대상개별작업 그리고 모수군상작업 순으로 나타났다. 봉화시험지는 20 m 군상개별작업이 21.2로 가장 좋았고 30 m 군상개별작업, 보잔목작업, 15 m 대상개별작업이 우수하였으며 모수군상작업이 66.3으로 가장 낮은 결과를 보였고, 가평시험지와 동일한 처리에서는 동일한 순위를 보였다. 갱신 유형별 종자 분포 균일성은 벌채 면적이 작고, 종자 공급을 위한 모수림으로 둘러싸여 있거나 인접한 모수와의 거리가 가까울수록 좋은 결과를 보였고, Oya et al.(2020)은 벌채 폭이 좁을수록 모수와의 거리가 가깝고 모수의 밀도가 높아져 평균 종자 밀도가 높지만 벌채 폭의 확대와 함께 감소한다고 하였다.

4) 낙하 종자의 품질 분석

2016년 9월부터 2017년 2월까지 시험지별로 낙하된 종자를 매월 수거한 종자의 품질을 검사한 결과, 평균 천립중은 봉화 시험지가 3.5 g, 가평 시험지가 2.9 g으로 나타나 봉화 시험지의 낙하 종자가 더 충실한 것으로 검사되었

Table 8. Thousand seeds weight(g) of *Larix kaempferi* by month during the seed dispersal season in the study sites.

Site	2016				2017		mean
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	
Gapyeong	2.9	3.2	3.2	3.3	2.3	2.6	2.9b
Bonghwa	3.4	4.2	4.2	2.9	3.3	3.1	3.5a
Mean	3.2	3.7	3.7	3.1	2.8	2.9	3.2

Small letters indicate significant differences among month ($P<0.05$).

Table 9. Comparison of germination rate(%) of *Larix kaempferi* seeds collected monthly at the season of seed dispersal in the study sites.

Site	2016				2017		Means
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	
Gapyeong	44.5±5.1a	40.3±1.9a	43.5±8.1a	27.8±4.6b	19.5±8.6b	12.8±2.1c	31.4±5.1
Bonghwa	56.0±5.9a	57.0±7.7a	55.0±4.1a	43.0±2.9b	38.0±7.9b	17.3±3.6c	42.1±5.2
Means	50.3±5.5a	48.7±4.8a	49.3±6.1a	35.4±3.8b	28.8±8.3b	15.1±2.9c	37.9±5.2

Small letters indicate significant differences among month($P<0.05$).

다(Table 8). 일본잎갈나무 종자의 충실도와 관련하여 Qu et al.(2008)은 중국 상안지역 일본잎갈나무 종자의 천립중이 3.7 g이라고 보고하여 봉화 시험지의 결과와 유사하였다. 계절별로는 9월에서 11월 낙하된 종자의 천립중이 12월에서 2월에 낙하된 종자보다 더 무거운 경향을 보였다(Table 8). 그러나 Lee et al.(2012)은 임목의 종자 품질은 생장상태, 생육 환경 조건, 유전적인 요소 등이 복합적으로 관여하기 때문에 몇 가지 요인으로 종자 충실도를 판정하는 것은 쉽지 않다고 보고하였다.

종자의 발아율은 시험지 간 차이가 있었는데 봉화 시험지 종자의 평균 발아율은 42.1%로 종묘사업실시요령(Korea Forest Service, 2015)에서 제시하는 일본잎갈나무 발아율 기준인 40%를 충족하는 것으로 나타났으나 가평 시험지 종자의 평균 발아율은 31.4%로 기준에 부합하지 않았다(Table 9). 그러나 발아율을 월별로 분석한 결과에서는 가평과 봉화 시험지 모두 9월에서 11월까지 낙하된 종자의 발아율이 40%를 상회하였고 특히, 봉화 시험지는 9월부터 11월까지 낙하된 종자의 발아율이 평균 56%를 보이고 있는데(Table 9), 이는 우리나라 채종원산 일본잎갈나무 종자의 평균 발아율인 48.6% 보다 7.4% 양호한 결과이다(Lee et al., 2012). 두 시험지의 평균 발아율은 12월부터 40% 이하로 감소하여 이듬해 2월에 낙하된 종자의 발아율은 15%를 보였다(Table 9).

위의 결과로 천연갱신 작업과의 연계성을 살펴보면 종자의 천립중과 발아율은 9월부터 11월까지 낙하된 종자에서 양호하였는데 이는 일본잎갈나무 천연갱신을 위한 벌채와 갱신상 조성 작업이 종자 비산 시기 이전에 완료되어

야 우량한 종자를 대상지에 많이 유입될 가능성이 높을 것으로 판단된다.

결론

최근 우리나라는 벌기에 도달하고 목재 수요가 많은 일본잎갈나무의 수확이 증가하고 있으며 후계림 조성을 위한 재조림도 증가하고 있다. 그러나 일본잎갈나무 후계림 조성은 아직까지 묘목식재를 통한 인공조림에만 전적으로 의존하고 있으며 종자 수급의 불균형과 저조한 묘목생산 효율성으로 어려움을 겪고 있어 후계림 조성방안 다변화 요구가 커지는 실정이다. 본 연구에서는 천연갱신을 통해 일본잎갈나무 후계림 조성기술 개발을 위해 가평의 V영급 일본잎갈나무 임분에 천연갱신 시험지를 조성하였고, 천연갱신 시험지에서의 종자 결실량, 종자 낙하량 및 유형, 그리고 종자 품질을 조사하였다.

종자 결실량은 풍작 시 일본잎갈나무 개체목당 평균 종자수는 690,340립이며, ha당 25본의 일본잎갈나무 모수를 가진 천연갱신지를 가정할 때 ha당 약 1,380만립의 종자가 결실되는 것으로 추정되었다. 조사 결과, 모수작업, 보잔목작업, 대상개별 벌채지에서 ha당 1,831만립의 종자가 하종되었고, 보잔목작업, 모수작업, 대상개별 순으로 천연갱신지 갱신상에 고르게 낙하되는 것으로 나타났다. 종자의 비산은 9월부터 시작되었으며, 10월부터 이듬해 2월까지 84.5%가 하종되었다. 종자비산시기 처음부터 11월까지 낙하된 종자의 발아율은 종묘사업 실시요령의 기준인 40%를 넘는 것으로 나타났다. 따라서 일본잎갈나무 천연

갱신을 위한 벌채와 갱신상 조성은 9월 이전에는 마쳐야 천연갱신 성공 가능성을 높일 수 있을 것으로 판단되었고, 천연갱신지의 균일한 종자 분포를 위한 방법에서는 보잔 목작업과 모수작업이 유리할 것으로 판단되었다. 추후에는 일본잎갈나무 종자 풍흉에 따른 종자낙하량과의 관계 및 종자 비산 한계거리, 모수립으로부터의 거리와 종자발아율과의 관계 등에 대한 연구가 필요할 것을 사료된다.

References

- Bae, S.W. 1994. Structure and tending method for naturally regenerated young *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. Stands. Journal of Korean Forest Society 83(1): 50-62.
- Broome, A. and Poulson, E. 2006. Validation of forest condition monitoring programme (ICP-Forest, level 1) cone index scores by measuring cone density using a field-of-view method. Forestry 79(2): 159-166.
- Broome, A., Summers, R.W. and Vanhala, T. 2016. Understanding the provision of conifer seed for woodland species. Forestry Research, Research Note 23, pp. 12.
- Bryntsev, V.A., Lavrenov M.A., Vasiliev S.B., Savchenkova V.A. and Nikitin V.F. 2020. Comparative analysis of variability of morphological characteristics of European and Japanese Larches with their hybrids. IOP Conference Series: Earth Environmental Science 574: 012007.
- Dobbs, R.C., Edwards, D.G.W., Konishi, J. and Walinger, D. 1976. Guideline to collecting cones of BC conifers. A BC Forest Service. Canadian Forestry Service Joint Report No. 3, pp. 98.
- Food and Agriculture Organization. 2018. Advancing the role of natural regeneration in large-scale forest and landscape restoration in the Asia-Pacific region. FAO. Bangkok. pp. 126.
- Farrar J.L. 1995. Trees of the northern United States and Canada. Fitzhenry and Whiteside Ltd. Ottawa, Canada. pp. 502.
- Fletcher, A.M. 1992. Flower, fruit and seed development and morphology. In Seed Manual for Forest Trees. A.G. Gordon (ed.). Forestry Commission Bulletin No. 83: 59-70.
- Hyun, S.K. 1943. The effect of light and soil water as a basic factor in the natural regeneration of pine trees. Bulletin of the Government Forest Experiment Station 35. pp. 65.
- Kim, D.K., Kim, J.W., Park, S.G., Oh, M.Y. and Yoo, J.H. 1987. A study on the growth analysis and establishment of optimal density management standards of natural pine seedling stands. Forestry Research Institute Annual Report 34: 32-40.
- Kim, H.S., Chung, J.M. and Jung, D.H. 2015. Characteristics of seedlings by cutting methods in natural forest of *Pinus densiflora*. Proceedings of the 2015 Autumn Meeting of the Korean Forest Society. Jeju. pp. 108.
- Kim, S.K., Kim, J.W., Park, S.G., Kim, D.K., Oh, M.Y., Yoo, J.H. and Lee, G.S. 1989. A study on the seedling germination and growth characteristics in natural regeneration of Japanese red pine by chemical site preparation. Forestry Research Institute Annual Report 38: 46-55.
- Korea Forest Research Institute. 1985. Study on natural forest tending. Experimental Research Report. KFRI. Seoul, pp. 278.
- Korea Forest Service. 2015. Seedling business practice method. KFS. Daejeon. pp. 109.
- Korea Forest Service. 2019. Detailed plan for major tasks in 2019. KFS. Daejeon. pp. 109.
- Korea Forest Service. 2020. Statistical yearbook of forestry 2020. KFS. Daejeon. pp. 448.
- Korea National Arboretum. 2009. A field guide to trees & shrubs. Korea National Arboretum. Pocheon. pp. 725.
- Lee, W.Y., Park, E.J., Han, S.U. and Park, B.S. 2012. Characteristics of flowering fruits and the enhancement of seed fruits of Larch trees. National Institute of Forest Science. Research Note No.457. Seoul, pp. 82.
- Levin, S.A., Muller-Landau, H.C., Nathan, R. and Chave, J. 2003. The ecology and evolution of seed dispersal: a theoretical perspective. Annual Review of Ecology and Systematics 34: 575-604.
- Masahiko, N., Satoshi, H., Takaaki, T., Nobuo, I., Mika, T. and Michiyasu, Y. 2016. Width of felling suitable for natural regeneration of Japanese Larch. Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute No. 53: 1-6.
- Matsuo, T. 2007. Study on natural regeneration of Japanese Larch. <https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/syo/iwatehokubu/kyouiku/pdf/research5.pdf>
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. 2018. National forest plan. MAFF. Tokyo. pp. 34.
- Na, S.J., Woo, K.S., Kim, C.S., Yoon, J.H., Lee, H.H. and Lee, D.H. 2010. Comparison of above-ground growth characteristics between naturally regenerated and planted stands of *Pinus densiflora* for. *erecta* Uyeki in Gangwon Province. Journal of Korean Forest Society 99(3): 323-330.
- Nathan, R., Katul, G.G., Horn, H.S., Thomas, S.M., Oren, R., Avissar, R., Pacala, S.W. and Levin, S.A. 2008. Mechanisms of Long-Distance Dispersal of Seeds by Wind. Nature 418: 409-413.
- Nixon, C.J. and Worrell, R. 1999. The potential for the natural regeneration of conifers in Britain. Forestry Commission Bulletin 120. pp. 68.

- Ougi, D., Mabuchi, T. and Okano, T. 2005. Fundamental study on the operation for natural regeneration of Japanese Larch. Kyoto University. Proceedings of the 2005 Scientific Meeting of Field Science Education of Forest Biosphere Section: 66-69.
- Owens, J.N. and Blake, M.D. 1985. Forest tree seed production. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service. Information Report P1-x-53, pp. 161.
- Oya, S., Shimizu, K. and Imai, S. 2020. Establishment of innovative operation technology utilizing natural regeneration of Japanese Larch. Bulletin of the Nagano Prefectural Forestry Research Center 34: 11-20.
- Park, P.S. and Lee, D.K. 1996. Factors affecting the early natural regeneration of *Pinus densiflora* S. et Z. After Forest Works at Mt. Joongwang Located in Pyungchang-gun, Kangwon-do. Journal of Korean Forest Society 85(3): 524-531.
- Philipson, J.J. 1997. Predicting cone crop potential in conifers by assessment of developing cone buds and cones. Forestry 70(1): 87-96.
- Qu, W.J., Zhang, Y.J. and Wang, M. 2008. Investigation and analysis of the natural regeneration effect of the Korean Larch. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology 5: 59-60.
- Tamura, A., Yamada, H., Fukuda, Y., Yano, K., Abe, M., Ubukata, M., Sato, S., Sato, A. and Nishioka, N. 2012. Examination of factors influencing flowering intensity of boreal conifers in hokkaido breeding region. Boreal Forest Research 60: 51-54.
- Tatsuo, A., Taichi, I., Katsutosi, K., Yoshihiro, N., Kitamura, M. and Ryosuke, K. 2004. Research on natural regeneration technology in artificial forests. Forest and Forestry In frastructure Improvement Division. Research Report Heisei 15: 77-103.
- United States Department of Agriculture. 1990. Silvics of North America Volume 1: Conifers. Agriculture Handbook 654, USDA Forest Service, Washington, DC. pp. 681.
- United States Forest Service. 2008. The woody plant seed manual. Agriculture Handbook 727, USDA Forest Service. Washington, DC. pp. 1223.
- Wang, R.Q. and Zhou, G.Y. 1989. Natural regeneration and developing prospects of Japanese Red Pine Forest in Shandong Peninsula. Chinese Journal of Ecology 8(2): 18-22.

Manuscript Received : October 26, 2020

First Revision : May 24, 2021

Second Revision : June 24, 2021

Accepted : June 25, 2021