


벌채 유형별 일본잎갈나무 천연 치수의 발생 및 성장특성 분석

정준모 · 김현섭 *

국립산림과학원 산림기술경영연구소

Occurrence and Growth Characteristics of Natural Seedlings by Harvest Type in a *Larix kaempferi* Forest

Junmo Chung and Hyunseop Kim *

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

요약: 본 연구는 일본잎갈나무 천연갱신 치수의 성장특성을 분석하여 현장 적용 가능한 갱신 방법을 제안하기 위해 수행되었다. 이를 위해 경기도 가평과 경상북도 봉화에 모수작업과 개별작업을 실시하여 시험지를 조성하고, 종자 유입, 천연 치수의 발생과 성장 특성을 분석하였다. 그 결과 갱신유형별 종자 낙하량은 보잔목작업, 모수작업, 개별작업 순으로 많았고, 치수 발생율은 처리구(벌채, 지면긋기)가 평균 2.4%, 무처리구 0.3%로 처리구가 무처리구에 비해 8.0배 많았다. 처리구의 갱신 1년차 6월의 치수량은 약 47만본/ha이었고 갱신 3년차 10월의 치수량은 약 78천본/ha이었으며, 치수의 평균 크기는 근원경 6.5 mm, 수고 50.4 cm이었다. 이에 따라 천연갱신에 의한 일본잎갈나무 후계림 조성은 종자결실과 낙하 시기에 맞추어 벌채와 지면긋기를 실시하면 성공 가능성이 크고, 일본잎갈나무의 빠른 성장을 고려하면 효과적인 갱신기술이 될 것으로 판단된다.

Abstract: We analyzed the growth characteristics of naturally regenerated seedlings of *Larix kaempferi* in order to propose a field-applicable regeneration method. Experimental sites were established at Gapyeong in Gyeonggi-do and at Bonghwa in Gyeongsangbuk-do. We analyzed seed inflow features, occurrence, and growth characteristics of natural seedlings for three years. The reserved seed-tree site produced the greatest number of inflow seeds and followed by seed-tree site and clear-cut site. In addition, the reserved seed-tree method was found to be more efficient than other methods in evenly scattering seeds. The rate of seedling occurrence at treatment sites (e.g., harvesting and scratching) was 2.4%, which is 8.0 times higher than the seedling occurrence (0.3%) at the non-treatment sites. There were approximately 470,000 seedlings per hectare at the treatment sites in June of the first year after regeneration and approximately 78,000 seedlings per hectare in October of the third year. The average diameter of the root collar of the seedlings in the third year was 6.5 mm, and the average height of the seedlings was 50.4 cm. These results indicate that it is possible to create a secondary forest of *L. kaempferi* by natural regeneration if harvesting and scraping are implemented during seed fructification. Considering the rapid growth of *L. kaempferi* shown in this study, the proposed method would be an efficient reforestation technique.

Key words: *Larix kaempferi*, natural regeneration, seed inflow, seed germination, seedling growth

서론


조림은 숲을 만들고 키우는 것으로 목재를 수확한 후 묘목을 심는 인공조림과 자연적으로 떨어지는 종자나 임목의

재생력으로 숲을 만드는 천연갱신으로 나뉜다(Lee et al., 2010). 우리나라는 산림을 녹화하기 위해 1·2차 치산녹화 사업, 산지자원화 10개년 계획, 제4차 산림기본계획, 그리고 제5차 산림기본계획을 시행하여 산림을 조성하였고 이를 위한 주요 이행수단은 인공조림이었다. 그리고 그 추세는 현재까지 이어지고 있다(Na et al., 2010). 인공조림은 대면적을 단기에 자원화 할 수 있지만 많은 노동력과 비용을 필요로 한다. 반면 천연갱신은 자연적인 종자의 공급과

* Corresponding author

E-mail: khs0607@korea.kr

ORCID

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

치수 발생을 이용한 것으로 조림 비용을 절감할 수 있는 장점이 있다(Yim, 1991). 천연갱신의 비용 절감에 대하여 Wang et al.(1993)은 잎갈나무 천연갱신으로 조림 비용의 40~50%를 절감할 수 있고 유령림의 성장속도도 빠르다고 보고하였고, Tatsuo et al. (2004)은 일본잎갈나무의 조림방법에 따른 7년간의 투입비용 분석 연구를 통해 천연갱신에 들어간 비용이 인공조림의 35% 수준이었다고 보고하였다. 독일에서는 천연갱신이 핵심 조림기술로 활용되고 있으며, 천연갱신된 유령림 면적이 2002년 80.5%에서 2015년에는 85.0%로 증가하였다(Federal Ministry of Food and Agriculture, 2015). 그러나 조림 비용이 절감되고 자연친화적 조림기술인 천연갱신을 조림 현장에 적용하기 위해서는 천연갱신에 대한 메커니즘의 이해와 다양한 기술적인 선결 과제가 있다. 천연갱신을 성공시키는 것은 하나의 복잡한 과정으로 종자의 기원과 품질, 토양 및 식생조건, 입지별 미기후에 영향을 크게 받는다.

우리나라의 천연갱신 연구는 일제강점기에 소나무림 천연갱신에 관한 연구(Hyun, 1943)로 시작되었다. 그 후 소나무의 천연갱신 연구는 지속적으로 이어지진 못했지만 최근까지 다양한 연구가 국내에서도 시도되었다. 그러나 주요 조림 수종이며 목재의 수요가 증가하고 있는 일본잎갈나무는 최근에는 벌채와 조림이 크게 증가하여 조림면적은 62만ha로 전체의 36%를 차지하여 단일 수종으로는 가장 많다(Korea Forest Service, 2018). 따라서 천연갱신과 인공조림을 병용하면 산림조성 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 우리나라에서는 지금까지 일본잎갈나무 천연갱신을 시도한 사례가 없고 특히, 종자 유입과 치수발생 메커니즘의 이해나 현장 적용 기술에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 우리나라와 지리적으로 인접한 일본과 중국에서는 일본잎갈나무 천연갱신 연구가 활발히 수행되었고 근래에도 다양한 연구를 통해 현장 적용 기술을 고도화하고 있다.

따라서 본 연구는 우리나라 일본잎갈나무의 천연갱신 치수 발생과 성장특성 구명을 통해 성공 가능한 천연갱신 방법을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지 및 갱신상 조성

연구대상지는 수확기에 접어든 V영급 일본잎갈나무 임지 중 경사가 완만하여 천연갱신에 적합할 것으로 판단되는 임지를 선정하였으며, 처리에 따른 효과 분석의 편차를 최소화하기 위해 방위, 경사, 해발, 토양 조건이 유사한 임지를 선정 기준으로 하였다. 사전 예찰을 통해 종자 결실량이 많았던 2014년에 경북 봉화군 소천면 서천리 그리고, 2016년에 경기도 가평군 조종면 운악리에 일본잎갈나무 천연갱신 시험지를 조성하였으며, 2016년에 봉화 시험지는 갱신상을 재정비 하였다(Figure 1).

종자결실의 풍흉 주기는 산림청이 전국단위로 집계한 종자 생산량과 국립산림품종관리센터 3개 채종원의 종자 생산량 그리고 본 연구 시험지의 종자 수집량을 정규화하여 비교한 결과, 시험지를 조성한 연도의 종자 결실이 풍년인 것을 확인하였다(Figure 2). 연구대상지의 개황은 Table 1과 같고, 임황은 Table 2와 같다.

시험지의 기상특성은 인근에 위치한 기상청 AWS의 10년간의 기상자료를 분석하였다. 가평 시험지의 연평균 기온은 10.5°C, 연평균강수량은 약 1,000 mm, 종자비산 시기의 최대풍속은 6 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, 연평균강수량은 1,202 mm, 종자비산 시기의 풍향은 정온이 22%로 가장 많았으며 남서풍과 북동풍이 각각 13%로 나타났다. 최대풍속이 4.4 m/sec이었다(Figure 3).

가평의 벌채유형은 모수작업, 보잔목작업, 개별작업이며 잔존수림대와 대조구를 배치하였고 봉화는 모수작업, 보잔목작업, 개별작업이며 잔존수림대와 대조구를 배치하였다(Table 3).

가평의 지면급기는 굴삭기와 인력을 활용하여 A층이 노출되도록 실시하였다. 풀베기는 갱신 1년차인 2017년에 2회(6월, 8월), 갱신 2년차와 3년차에는 각각 1회(7월)를 실시하

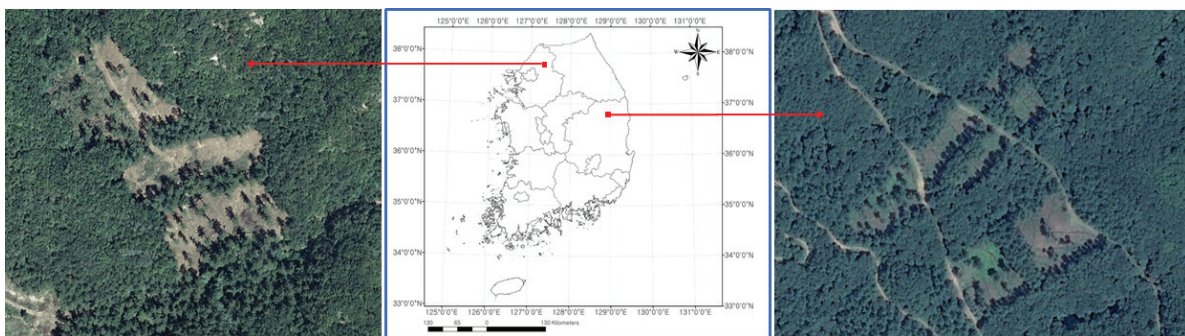


Figure 1. Location of Gapyeong (L) and Bonghwa (R) experimental site.

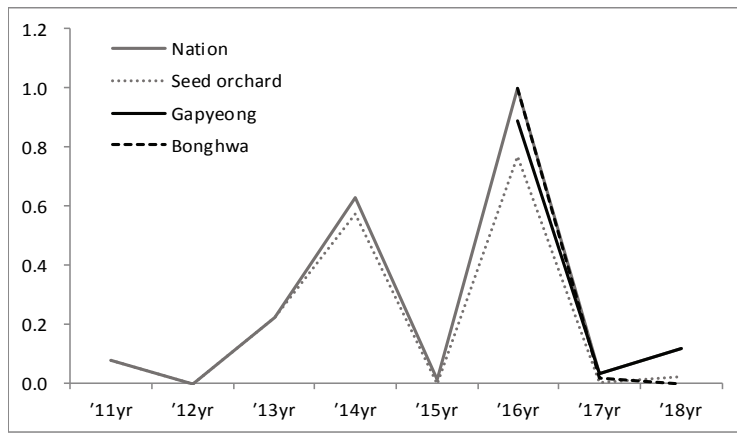


Figure 2. Verification of fruiting cycle in Gapyeong and Bonghwa experimental site compares to nation and seed orchard.

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

Location	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Location in mountain
Gapyeong	SE	320~370	3~25	Bottom
Bonghwa	SW	760~845	13~28	Side

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

Location	Density (tree 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	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				

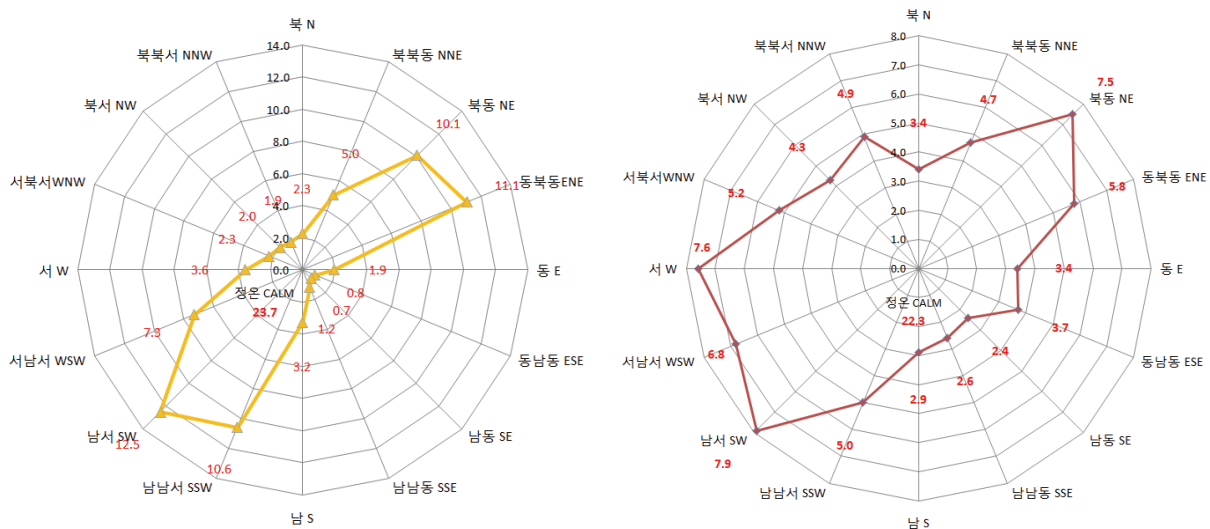


Figure 3. Wind direction and speed of seed scattering seasons in Gapyeong (L) and Bonghwa (R) experimental site.

Table 3. Treatments in Gapyeong and Bonghwa experimental sites.

Cutting methods	Gapyeong		Bonghwa	
	Treatment	Area (ha)	Treatment	Area (ha)
Seed tree	Remained 20 trees/ha (single)	0.40	Remained 20 trees/ha (single)	0.49
	Remained 20 trees/ha (group)	0.78	Remained 20 trees/ha (group)	0.43
Reserved tree	Remained 40 trees/ha	0.35	Remained 50 trees/ha	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
Non treatment	-	0.40	-	0.40

였다. 봉화는 2016년 8월에 풀베기와 지면급기를 다시 실시하였고, 갱신 1년차인 2017년에 2회(6월, 8월), 갱신 2년차에 1회(7월), 갱신 3년차 부터는 풀베기를 실시하지 않았다. 무처리구는 벌채와 지면급기, 풀베기를 실시하지 않았다.

2. 연구방법

1) 종자 낙하량 조사

벌채유형과 처리에 따른 종자 하중량 조사를 위해 0.25 m²의 종자망을 가평 시험지 108개(모수작업 72개소, 보잔목작업 15개소, 대상개벌 15개소, 대조구 6개소), 봉화 시험지 132개(모수작업 60개소, 보잔목작업 15개소, 대상개벌 24개소, 군상개벌 27개소, 대조구 6개소)를 설치하였다. 조사기간은 2016년 9월부터 2017년 4월까지 종자를 수거하여 집계하였다.

2) 치수 발생 및 성장특성 조사

벌채유형과 처리에 따른 치수의 발생 및 성장특성 조사를 위해 가평 시험지에는 1 m²의 고정 조사구 117개소를 설치하였고, 봉화 시험지에는 1 m²의 고정 조사구 120개소를 설치하였다. 조사 시기는 매년 6월과 10월에 치수량, 근원경, 수고를 반복 조사하였다.

3) 통계분석

시험지별 벌채유형 및 시기별 종자 낙하량, 치수량, 치수 생존율, 치수 크기의 유의성은 ANOVA를 이용하여 검증하였으며, 통계적으로 유의성이 인정되는 평균값의 차이는 Duncan multiple range test (p < 0.05)를 통해 비교하였다. 분석에 활용한 통계분석 프로그램은 SPSS 18.0이다.

결과 및 고찰

1. 종자 낙하 특성

1) 시기별 종자 낙하 특성

종자 낙하 시기는 2016년 9월부터 2017년 4월까지의 기간 중 가평 시험지는 9월 5.3%를 시작으로 10월부터 12월까지 49.8%가 낙하되었다(Figure 4). 봉화 시험지는 10월부터 12월까지 3개월 동안 전체 종자 유입량의 72.1%가 낙

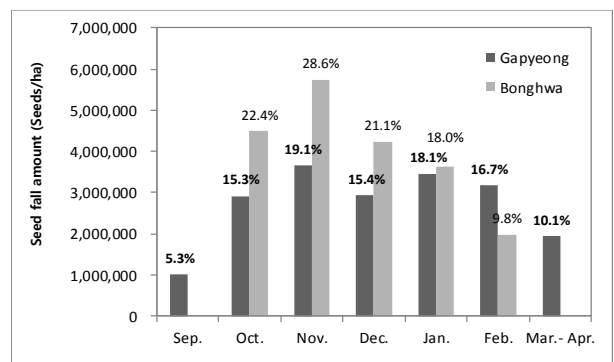


Figure 4. Monthly seed fall amount of Gapyeong and Bonghwa experimental site (Sep. 2016 ~ Apr. 2017).

하되었다(Figure 4). 비율의 차이는 있지만 가평과 봉화 시험지 모두 11월 하중량이 19.1%와 28.6%로 가장 많은 것으로 나타났다(Figure 4). Nixin과 Worrell(1999)은 낙엽송 종자 비산 시기를 10월에서 이듬해 4월까지로 보고하였고, Kisanuki(2000)는 종자 비산이 11월에 시작하여 이듬해 2월 이후에도 계속되는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다.

종자 낙하량은 가평 시험지가 무처리구 32,940천립/ha의 종자가 낙하되어 처리구 18,312천립/ha보다 1.8배 많았다(Figure 5). 봉화 시험지의 종자 낙하량은 처리구가 20,539천립/ha로 무처리구의 10,340천립/ha에 비해 2배 많았다(Figure 6).

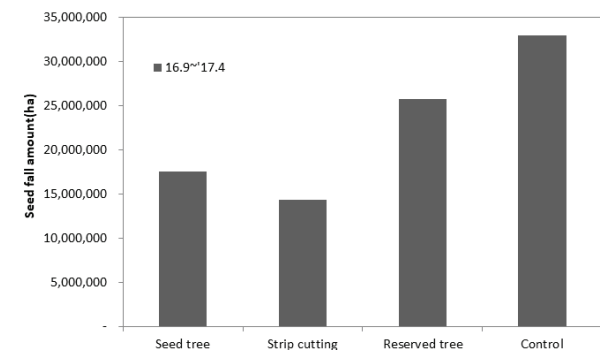


Figure 5. Seed fall amount by cutting methods in Gapyeong experimental site (Sep. 2016 ~ Apr. 2017).

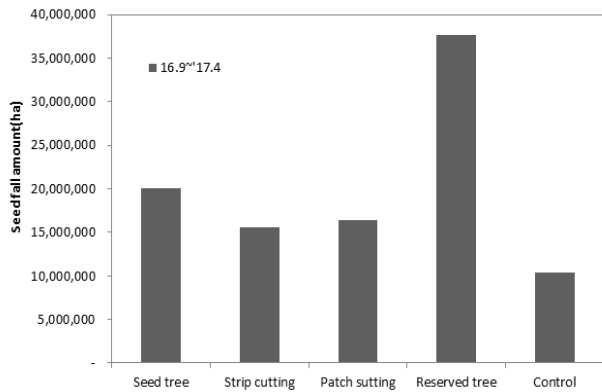


Figure 6. Seed fall amount by cutting methods in Bonghwa experimental site (Sep. 2016 ~ Apr. 2017).

2) 벌채유형별 종자 낙하 특성

가평시험지의 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). 봉화시험지는 보잔목작업이 37,677천립/ha로 가장 많았고 모수작업 20,080천립/ha, 군상개별 16,428천립/ha, 대상개별 15,601천립/ha 순으로 나

타나 가평 시험지와 유사한 경향을 보였으나 대조구의 종자 낙하량은 가평 시험지의 1/3 수준으로 적었다(Figure 6).

벌채유형별 종자 낙하 패턴을 분석한 결과, 가평 시험지의 모수작업지는 단목배치구의 종자 낙하량이 군상배치구 보다 많은 것으로 나타났고 거리에 따른 종자낙하량은 큰 차이를 보이지 않았다(Figure 7). 반면, 봉화 시험지 모수작업지의 경우 단목배치구의 종자 낙하량이 군상배치구 보다 많고 모수로부터 거리에 따른 종자 낙하량은 단목배치와 군상배치 모두 유의적 차이가 있었다. 두 시험지 모두 군상배치구가 단목배치구보다 종자낙하량이 적었는데 그 이유는 모수 배치 유형에 따른 모수간 간격의 차이 때문으로 판단되었다.

보잔목작업지의 종자 낙하 패턴은 비교적 고르게 낙하되는 것으로 나타났다(Figure 8). 가평 시험지는 갱신상의 위치에 따라 유의적 차이를 보였는데 이는 지형적 특성에 의한 차이로 판단되었다.

대상개별지는 등고선 방향으로 대상개별을 실시한 가평 시험지와 등고선의 수직방향으로 대상개별을 실시한 봉화 시험지 모두 모수림의 수관 아래 종자 낙하량이 갱신상의 가운데 지점 보다 유의하게 많은 것으로 나타났다 (Figure 9).

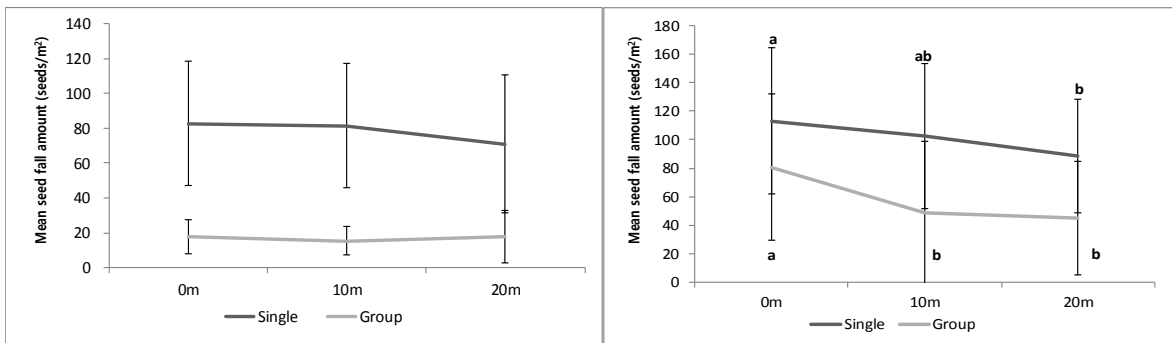


Figure 7. Seed fall pattern of seed-tree method in Gapyeong (L) and Bonghwa (R) experimental site (Sep. 2016 ~ Apr. 2017). Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P < 0.05$).

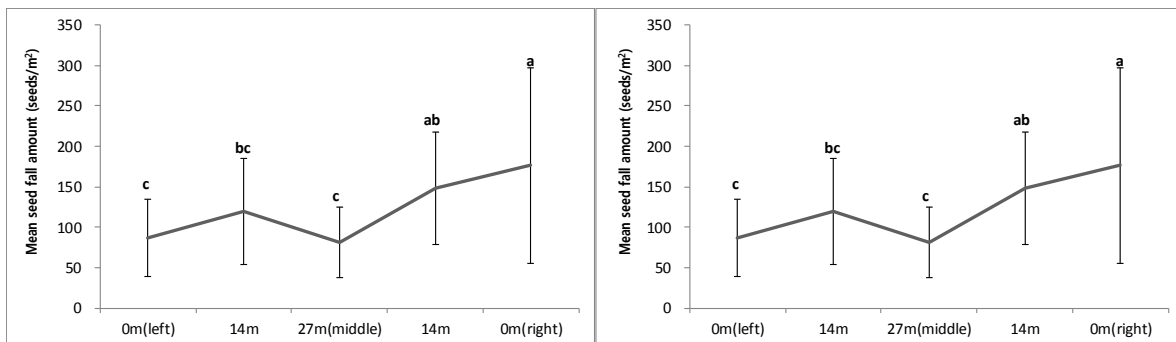


Figure 8. Seed fall pattern of reserved seed-tree method in Gapyeong (L) and Bonghwa (R) experimental site (Sep. 2016 ~ Apr. 2017). Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P < 0.05$).

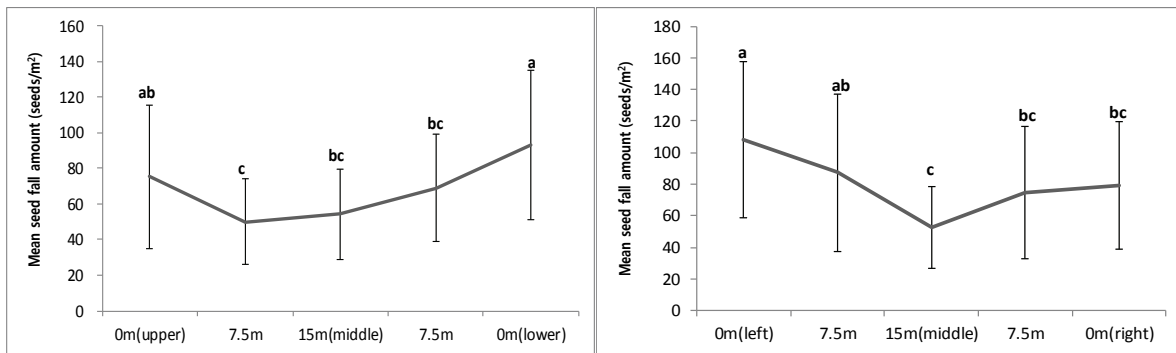


Figure 9. Seed fall pattern of strip-cutting method in Gapyeong(L) and Bonghwa(R) experimental site(Sep. 2016 ~ Apr. 2017). Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P < 0.05$).

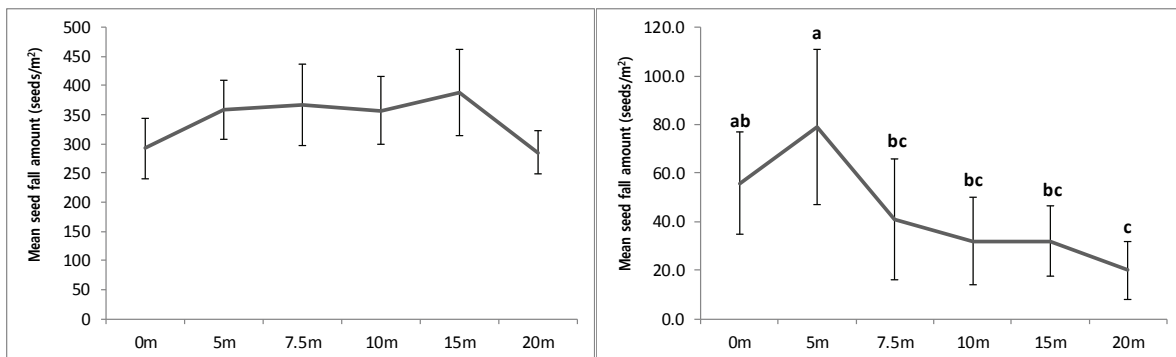


Figure 10. Seed fall pattern of patch-cutting method by seed rich year(L) and bad year(R) in Bonghwa experimental site. Seed rich and bad years are 2016 and 2017, respectively. Small letters indicate significant differences among distances with in same seasons ($P < 0.05$).

봉화 시험지의 군상개별지는 모수립의 거리에 따른 낙하량은 모수 수관 아래와 갱신상 중심부가 거리에 따른 하중량 차이가 없었다(Figure 10). 종자 낙하량은 다른 벌채유형보다 많은 것으로 나타났고 이것은 상대적으로 가까운 모수간이 거리와 위치 특성 때문으로 판단되었다.

Matsuo(2008)은 일본잎갈나무의 천연갱신을 위해서는 대상지의 경사와 풍향 및 풍속을 고려한 벌채 폭과 방향 설정이 중요하다고 보고하였고, 본 연구에서도 벌채유형에 따라 종자가 유입되는 경향이 다른 것이 확인되었다. 따라서 천연갱신 대상지에 균일하고 안정적인 종자 공급을 위해서는 적절한 모수의 배치를 고려해야 할 것으로 판단되었다.

3. 천연갱신 치수 성장특성

1) 치수의 발생과 생존율

가평 시험지의 치수발생량은 갱신 1년차인 2017년 3월부터 치수 발생 상황을 점검한 결과 6월에 정점을 보였으며 치수량은 처리구가 471,629본/ha, 무처리구가 83,300본/ha로 처리구가 5.7배 많은 것으로 조사되었다(Table 4). 10월에는 처리구는 175,236본/ha, 무처리구는 12,200본/ha

로 치수량이 감소하였고 처리구가 무처리구에 비해 14.3배 많은 치수량을 보였다(Table 4). 가을에 무처리구의 상대적으로 높은 치수량 감소는 이는 무처리구 상층임관에 의한 일조량 부족과 주변 하층식생과의 경쟁 등의 생육환경 차이에 의한 것으로 판단된다. Toshimitsu et al.(2007)은 열상간벌을 통한 V영급 일본잎갈나무의 천연하중 갱신에서 결실이 보통인 해에는 ha당 7만본, 풍년인 해에는 ha당 40만본 이상의 치수가 발생한다고 보고하였고, Igarashi et al.(1987)은 일본 북해도 지역에서 종자결실이 좋은 해에 일본잎갈나무림 소개부를 정지하여 이듬해에 87,500~477,500본/ha의 일본잎갈나무 치수가 발생하였다고 보고하여 본 연구의 결과와 유사하였다.

가평 시험지에서의 갱신 1년차 결과로는 종자 낙하량은 무처리구가 처리구보다 1.8배 많았으나 종자낙하량 대비 6월 치수 발생율은 처리구가 2.4%, 무처리구 0.3%로 나타났다. 6월 치수량 대비 치수의 10월 생존율은 처리구의 경우, 37.1%이고, 무처리구의 경우 14.7%이었다. 종자낙하량 대비 10월의 생존율은 처리구는 0.96%, 무처리구는 0.04%의 생존율을 보여 처리구에 비해 무처리구에서 종자 낙하량은 많았지만 극히 저조한 치수발생율과 생존율

Table 4. Annual seedlings amount and survival rate of Gapyeong experimental site.

Cutting methods	Seed fall amount (1,000/ha)	Regeneration 1st yr					Regeneration 2nd yr			Regeneration 3rd yr	
		Jun. 2017		Oct. 2017			Jun. 2018	Oct. 2018		Oct. 2019	
		Seedling amount (1,000/ha)	Occurrence rate (%)	Seedling amount (1,000/ha)	Survival rate* (%)	Survival rate** (%)	Seedling amount (1,000/ha)	Seedling amount (1,000/ha)	Survival rate*** (%)	Seedling amount (1,000/ha)	Survival rate*** (%)
Seed-tree	17,588	621	3.5	208	33.4	1.18	189	104	-	80	77.6
Strip cutting	14,365	219	1.5	86	39.2	0.60	93	76	88.4	63	82.7
Reserved seed-tree	25,733	574	2.2	232	40.4	0.90	255	210	90.5	149	70.8
Means of treatment	18,312	472	2.4	175	37.2	0.96	179	104	89.5	78	74.6
Control	32,940	83	0.3	12	14.7	0.04	13	11	95.5	4	38.1

* relative survival rate compare with seedling amount at Jun. 2016.

** relative survival rate compare with seed fall amount.

*** relative survival rate compare with seedling amount of last October.

Table 5. Annual seedlings amount and survival rate of Bonghwa experimental site.

Cutting methods	Seed fall amount (1,000/ha)	Regeneration 1st yr					Regeneration 2nd yr			Regeneration 3rd yr	
		Jun. 2017		Oct. 2017			Jun. 2018	Oct. 2018		Oct. 2019	
		Seedling amount (1,000/ha)	Occurrence rate (%)	Seedling amount (1,000/ha)	Survival rate* (%)	Survival rate** (%)	Seedling amount (1,000/ha)	Seedling amount (1,000/ha)	Survival rate*** (%)	Seedling amount (1,000/ha)	Survival rate*** (%)
Seed-tree	20,080	97,708	0.49	64,583	66.1	0.32	22,083	16,458	16.8	11,667	70.9
Strip cutting	15,601	37,083	0.24	17,500	47.2	0.11	4,583	2,917	7.9	1,667	57.1
Patch cutting	16,428	47,778	0.29	21,852	45.7	0.13	10,370	7,778	16.3	5,926	76.2
Reserved seed-tree	37,677	168,000	0.45	80,667	48.0	0.21	18,000	8,000	4.8	2,000	25.0
Means of treatment	20,539	87,642	0.43	46,150	52.7	0.22	13,759	8,788	11.4	5,315	60.5
Control	10,340	13,333	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-

* relative survival rate compare with seedling amount at Jun. 2016.

** relative survival rate compare with seed fall amount.

*** relative survival rate compare with seedling amount of last October.

을 보였다(Table 4). 갱신 2년차 치수 생존율은 전년 10월 대비 모수작업지 50.2%, 대상개별지 88.4%, 보잔목작업지 90.5%, 무처리구가 95.5%의 생존율을 보였다. 모수작업지의 생존율이 저조한 것은 집중호우로 인해 갱신상이 피해를 입었기 때문이며 피해가 없는 정상 처리구는 약 90%의 치수 생존율을 보였다(Table 4). 갱신 3년차 10월의 치수생존율은 모수작업지 77.6%, 대상개별지 82.7%, 보잔목작업지 70.8%, 무처리구 38.1%인 것으로 분석되었다. 그리고 갱신 처리구에는 평균 78천본/ha의 치수가 생육하고 있었다(Table 4). Matsuo(2008)은 일본 북해도의 V영급 일본잎갈나무 임분에서 천연갱신 후, 갱신 2년차에 약 70% 생존,

3년차에 52%의 치수가 생존한다고 보고하였다. 이 연구결과와 비교해보면 본 연구의 치수발생량과 생존율이 더 양호하였는데 이는 갱신상 조성 작업과 풀베기 작업 차이에 따른 결과로 판단된다.

봉화 시험지 갱신 1년차의 6월의 치수량은 처리구가 87,642본/ha, 무처리구가 13,000본/ha로 처리구가 6.6배 많았다. 10월에는 처리구는 46,150본/ha으로 감소하였고 무처리구는 생존 치수가 없었다(Table 5). 가평 시험지와 비교해보면 종자낙하량은 봉화 시험지가 많았으나 6월의 치수발생량, 10월의 치수 생존량이 4배 가량 적은 것으로 나타났다. 이는 봉화 시험지가 2014년에 조성된 후 종자결실 시

기의 불일치로 3년이 경과하여 하층식생 피도가 급격히 높아졌기 때문에 판단된다. 또한 Toshimitsu et al.(2007)은 V영급 일본잎갈나무 임분을 대상으로 열상간벌을 실시하여 천연갱신을 하였고 갱신 1년차에 일본잎갈나무 치수 발생량이 ha당 7만본이 넘었으나 조릿대 등 하층식생이 번무하여 갱신 3년차에는 ha당 600본의 치수만 생존했으며, 조릿대 등 하층식생이 침입한 곳과 그렇지 않은 곳의 치수는 지상부의 충실도와 뿌리발달에 차이가 있음을 보고하였다. 따라서 천연갱신에 의한 일본잎갈나무 치수 발생을 높이기 위해서는 예찰을 통해 종자결실이 많은 해에 갱신작업에 착수해야 할 것으로 사료된다. 갱신 2년차 치수 생존율은 전년 10월에 비해 모수작업지 16.8%, 대상개별지 7.9%, 군상개별지 16.3%, 보잔목작업지 4.8%이며 무처리구는 치수가 없었다(Table 5). 하층식생의 영향으로 가평 시험지와 달리 생존율이 저조한 것으로 나타났다. 갱신 3년차 10월의 치수량은 처리구 평균 5.3천본/ha의 치수가 생육하고 있었고 전년 10월 대비 처리구의 평균 생존율은 60.5%로 전년의 11.4%에 비해 높아졌다(Table 5).

Sasaoka et al.(1999)은 천연갱신을 통한 일본잎갈나무 복층림 조성과 관련하여 갱신 2년차에 ha당 30,000본, 3년차에는 수고 10cm이상의 치수가 27,000본, 4년차에는 수고 25cm 이상의 치수가 22,500본, 4~6년차에 부분적으로 우량 치수를 선발한 후 갱신 7년차에 안정된 복층 임분에서 하층의 우량 개체를 ha당 400본 이상 형성할 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 가평 시험지는 갱신 3년차 10월에 78천본/ha의 치수량을 보여 갱신이 성공적으로 이루어진 반면 봉화 시험지는 5.3천본/ha의 치수량을 보여 갱신이 비교적 어려운 것으로 판단되었다. 이에 따라 가평 시험지의 종자 낙하량, 치수 발생을 및 생존율을 토대로 천연갱신 방안을 고찰하면 사전 예찰을 통한 종자결실 풍흉 확인, 종자 낙하 전 상층목 벌채와 하층식생 제거 및 지면급기 등 갱신상 조성을 완료하면 일본잎갈나무의 천연갱신 성공 확률을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

2) 갱신 연차별 치수의 성장

가평 시험지 갱신 1년차 치수의 성장은 근원경과 치수고 모두 처리구가 무처리구 보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 치수발생 초기인 6월 조사에서는 처리구와 무처리구에서 모두 근원경과 치수고 성장이 유사하였으나 10월 조사 결과에서는 무처리구에 비해 처리구의 치수 성장이 우수하였고 1년생 치수이지만 처리구 간에도 근원경과 치수고의 성장차이가 나타났다[Figure 11(A)]. 갱신 2년차 10월의 처리구 2년생 치수의 평균 크기는 근원경이 3.4 mm, 평균 수고가 22.2cm이었으며[Figure 11(B)], 갱신 3년차 10월의 처리구 3년생 치수의 평균 근원경과 수고는

6.5 mm, 50.4 cm이었고 무처리구는 3.6 mm와 26.8 cm인 것으로 나타났다[Figure 11(C)].

일반적으로 하층식생과의 경쟁에서 우위를 차지하는 높이를 수고 50 cm로 여기는데 갱신 3년차의 평균 수고가 50 cm에 도달하여 갱신 4년차에는 풀베기를 생략할 수 있는 가능성을 보여주었다.

봉화 시험지의 갱신 1년차 6월의 치수 크기는 근원경과 수고 모두 처리구와 무처리구 간에 차이가 없었으며, 10월 조사에서는 무처리구에 생존 치수가 없어 비교가 불가능하였다[Figure 12(A)]. 10월 조사에서는 대상개별지의 근원경과 수고가 작았으나 모수작업, 군상개별, 보잔목작업에서는 성장의 차이가 많지 않았다[Figure 12(A)]. 그러나 가평 시험지와 비교할 때는 6월에는 근원경과 치수의 크기가 유사하나 10월에는 봉화 시험지의 치수가 상대적으로 저조한 성장량을 보이는 것으로 분석되었는데(Figure 13), 이는 하층식생의 번무에 의한 치수 생육환경 악화에 의한 것으로 판단된다. 갱신 2년차 10월의 처리구 내 치수의 평균 크기는 근원경이 1.9 mm, 수고가 13.6 cm로 나타났다[Figure 12(B)], 갱신 3년차 10월의 처리구 내 치수의 평균 크기는 근원경이 5.0 mm, 수고가 37.3 cm로 나타나 [Figure 12(C)] 동일 수령의 가평 시험지 치수의 평균 근원경 6.5 mm, 수고 50.4 cm보다 작았다(Figure 13).

Hwang et al.(2015)은 일본잎갈나무 주벌 수확지 내에 재조림한 일본잎갈나무 조림목 수령 3년생의 크기가 평균 근원경 15 mm, 수고 130 cm이라고 보고하였는데 가평 시험지의 동일 수령 치수의 평균 크기는 근원경 6.5 mm, 수고 50.4 cm로 나타나 갱신 초기에는 인공조림목과 성장 차이가 큰 것으로 확인되었다. 그러나 Akira et al.(2011)은 일본잎갈나무 천연 치수의 비대생장이 인공조림목 보다 열등한 것은 천연갱신된 치수의 밀도가 높기 때문이며 갱신 5년차에 천연 치수의 수고생장이 인공조림목과 유사해지고 갱신 10년차에는 재적 생장이 인공조림목을 추월한다고 보고하였다.

3) 벌채유형별 치수의 성장

가평 시험지의 벌채유형별 갱신 3년차 10월의 치수 생육상황을 분석한 결과, 모수(립)으로부터 거리에 따른 치수량은 통계적으로 유의하지는 않지만 감소 경향을 보였다. 모수작업지는 모수로부터 10m 와 20 m 지점이 수관 아래인 지점보다 많았고[Figure 14(A)], 대상개별지는 사면 아래쪽에 있는 수림대의 수관 아래 지점부터 7.5 m 지점, 15 m 지점으로 거리에 따른 감소 경향을 보였다 [Figure 14(B)]. 보잔목 작업지는 갱신상의 위치에 따른 치수량의 차이는 없었고 벌채유형 중 가장 많은 치수량을 보였다[Figure 14(C)].

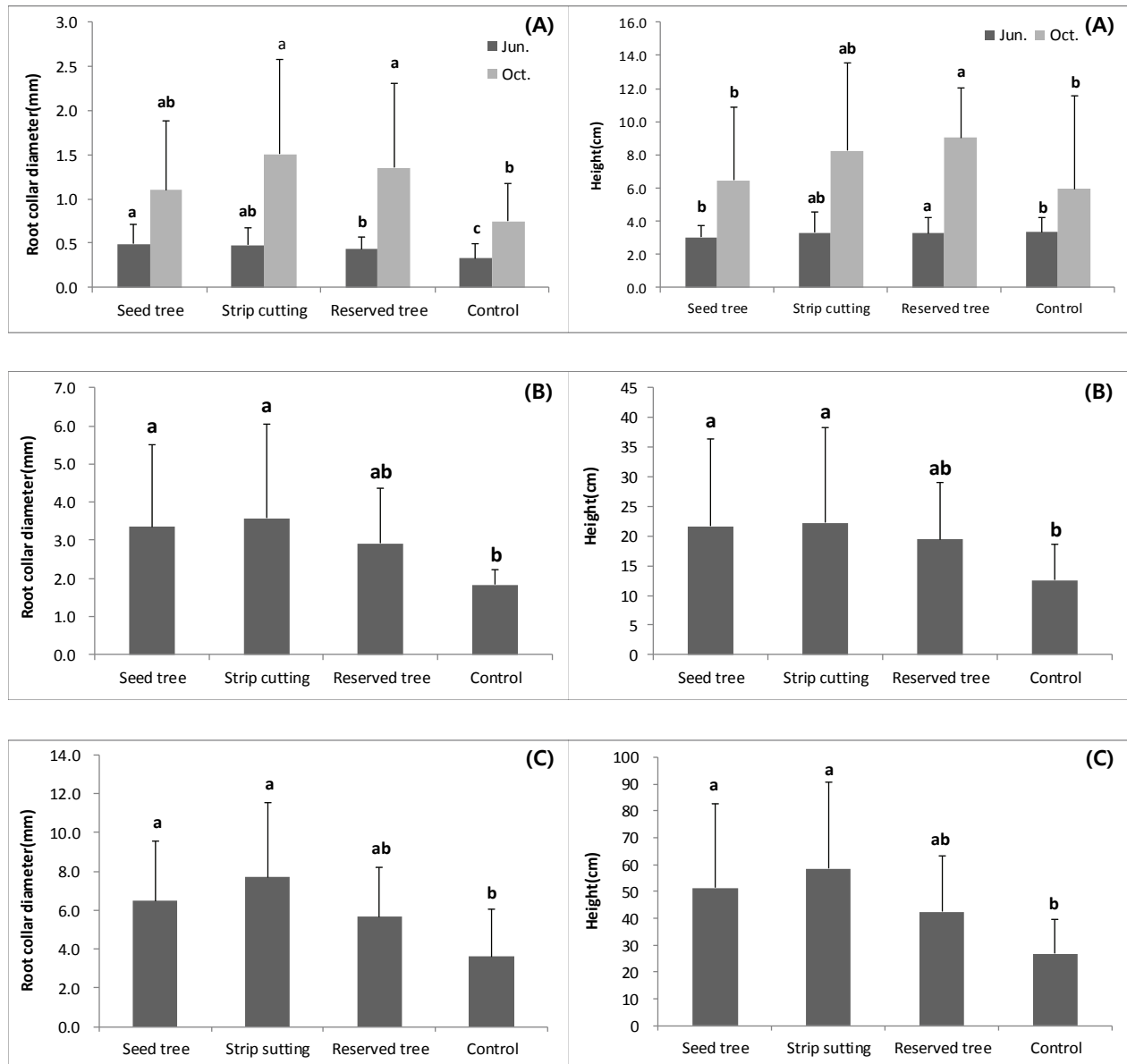


Figure 11. Root collar diameter (L) and height (R) of naturally regenerated seedlings by cutting methods in Gapyeong experimental site. Small letters indicate significant differences among cutting methods ($P < 0.05$). Vertical bars present SD of the mean. (A) 1 year old seedlings, (B) 2 years old seedlings, (C) 3 years old seedlings.

벌채유형별 치수 분포의 균일성을 알기 위해 치수량의 변이계수를 분석한 결과 보잔목작업지 54.1, 모수작업지 97.0, 대상개벌지 107.9의 순으로 나타나 치수 분포의 균일성은 보잔목작업지가 가장 양호하였다. 보잔목작업지의 균일한 치수 분포는 잔존 모수의 개체수가 많아 모수간 간격이 좁기 때문으로 판단되었다.

벌채유형에 따른 성장량의 차이도 나타났다. 가평 시험지는 갱신 1년차에는 근원경과 수고에서 처리구와 무처리구의 차이가 확연한 것으로 나타났으나 갱신 2년차부터는 처리구간의 성장차이도 발생하였다. 갱신 3년차에는 모수

작업지와 대상개벌지의 근원경과 수고가 보잔목작업지보다 양호한 것으로 나타났다. 봉화 시험지의 갱신 3년차 벌채유형별 성장량은 근원경과 수고에서 모수작업지가 가장 양호하고 보잔목작업지가 상대적으로 가장 저조하였다(Figure 12).

모수 또는 모수림으로부터 거리에 따른 치수의 성장량에서도 통계적 차이가 나타났다. 모수작업지는 모수의 수관 아래 지점보다 10 m와 20 m 지점의 근원경과 수고 생장이 더 양호하였고 특히, 수고는 31.9 cm, 당년 수고 생장은 13.0 cm의 차이를 보였다(Figure 15(A)). 대상개벌지도

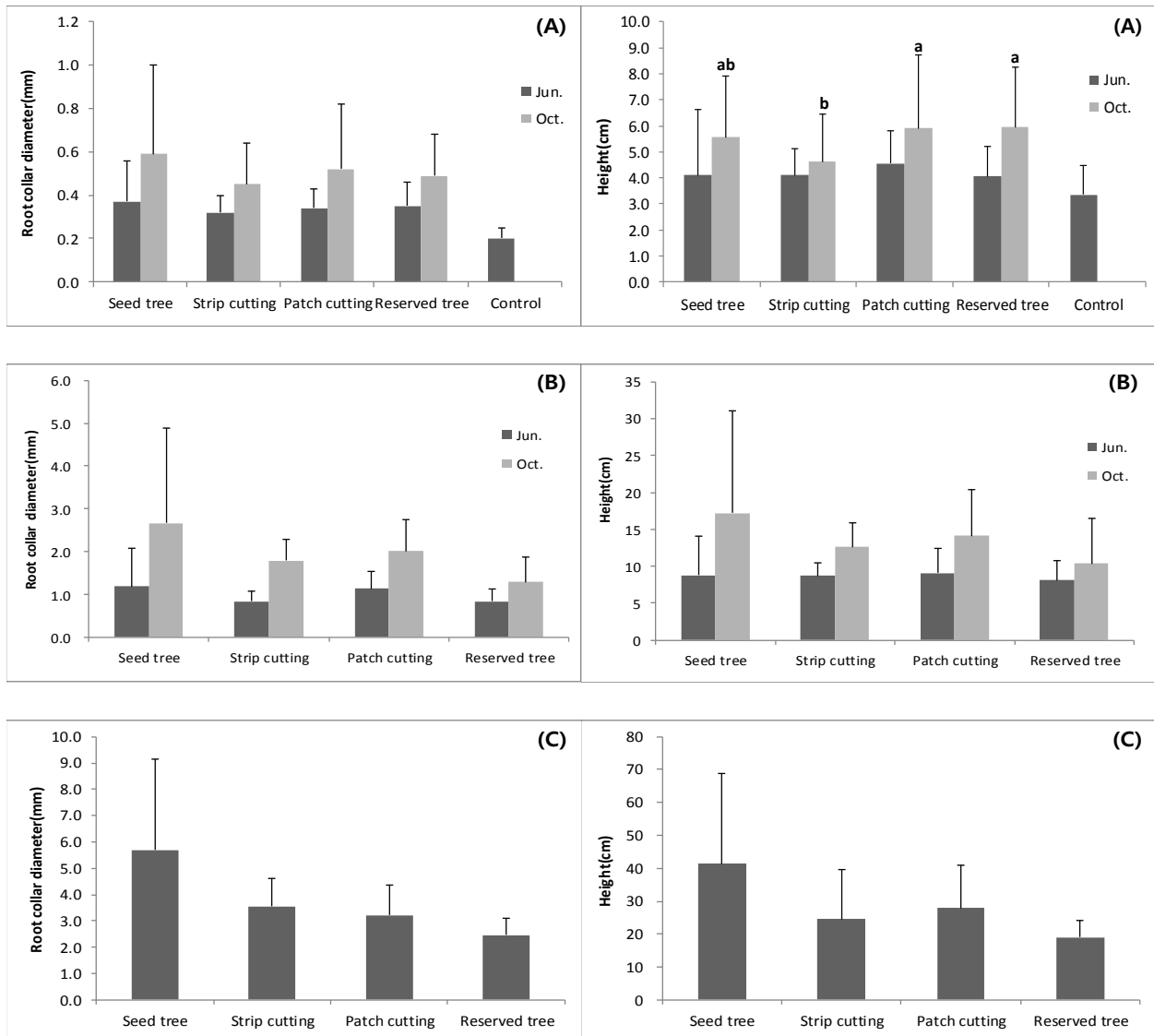


Figure 12. Root collar diameter (L) and height (R) of naturally regenerated seedlings by cutting methods in Bonghwa experimental site. Small letters indicate significant differences among cutting methods ($P < 0.05$). Vertical bars present SD of the mean. (A) 1 year old seedlings, (B) 2 years old seedlings, (C) 3 years old seedlings.

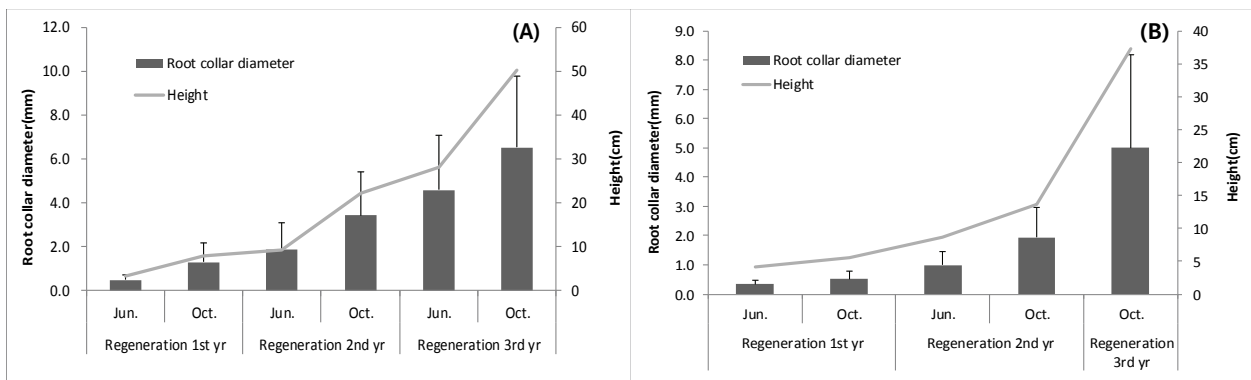


Figure 13. Annual growth for root collar diameter and height of regenerated seedlings in experimental sites. (A) Gapyeong, (B) Bonghwa.

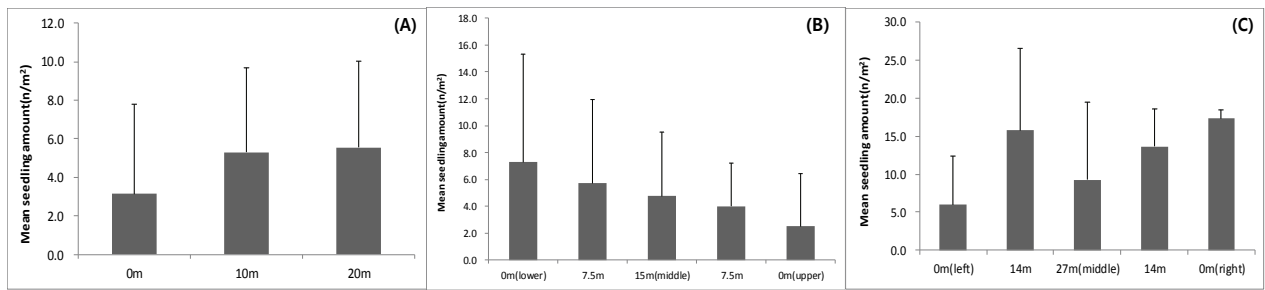


Figure 14. Seedling amount depend on distance from seed source by cutting methods of 3 years old seedlings in Gapyeong experimental site. Vertical bars present SD of the mean. (A) Seed-tree method, (B) Strip cutting method, (C) Reserved seed-tree method.

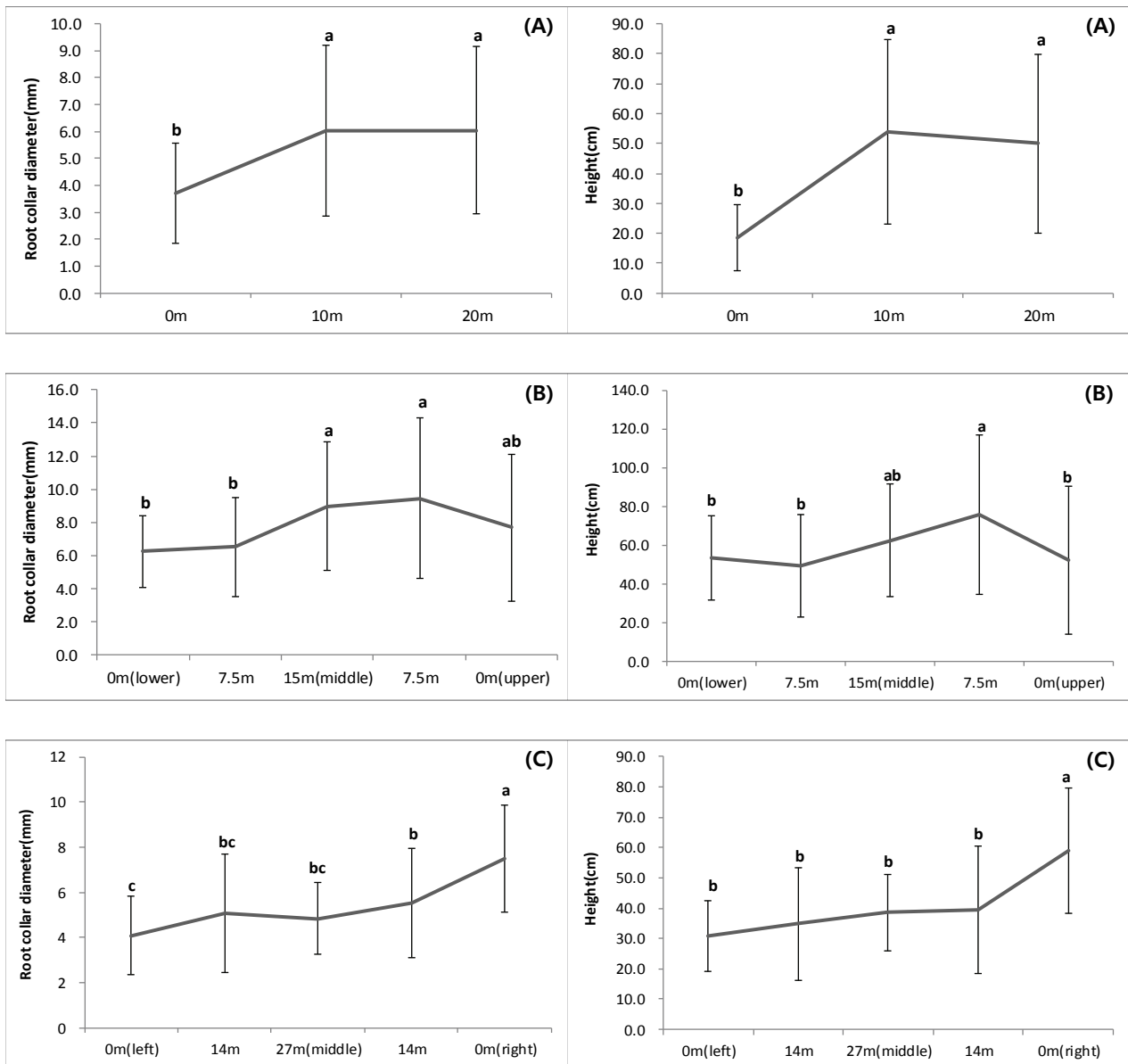


Figure 15. Root collar diameter (L) and height (R) of 3 years old seedlings by cutting methods in Gapyeong experimental site. Small letters indicate significant differences among distance from seed source ($P < 0.05$). Vertical bars present SD of the mean. (A) Seed-tree method, (B) Strip cutting method, (C) Reserved seed-tree method.

모수립의 수관 아래보다 갱신상의 가운데 지점의 근원경과 수고가 양호하였고 그 차이는 각각 3.2 mm와 22.3 cm 이었다[Figure 15(B)]. 가평 시험지 보잔목작업지는 갱신상의 전체적으로 근원경 생장이 다른 지점보다 낮게 나타났으며, 수고 성장도 일부 경사지를 제외한 대부분의 지점에서 다른 벌채유형보다 불량한 것으로 나타났다[Figure 15(C)]. 벌채유형에 따른 치수량과 성장 특성을 요약하면 보잔목작업지는 치수 분포의 균일성은 가장 양호하였으나 성장량은 가장 저조하였으며, 대상개별지는 치수 분포의 균일성은 가장 불균일하였으나 성장량이 가장 양호하였고, 모수작업지는 치수 분포의 균일성과 성장량이 3개 벌채유형 중 상대적으로 적정한 것으로 나타났다.

공통적인 특징은 모수 또는 모수립(수림대)의 수관 아래 지점은 피음의 영향으로 생장이 저조하다는 점과 거리가 멀어질수록 즉, 피음의 영향을 덜 받을수록 생장이 양호하다는 점이다. 이는 일본잎갈나무 천연갱신 치수의 균일한 분포와 양호한 성장촉진을 위해서는 벌채유형별 치수 성장특성을 고려한 벌채 및 모수배치 방안 모색이 필요함을 시사한다.

결 론

V영급 일본잎갈나무임분의 종자 낙하량은 풍년 시 모수작업, 보잔목작업, 대상개별 등 벌채지에서 ha당 1,831만립의 종자가 낙하되었고, 보잔목작업, 모수작업, 대상개별작업, 균상개별작업 순으로 갱신상에 고르게 낙하되는 것으로 나타났다. 종자의 비산은 9월부터 본격화 되었으며, 이듬해 2월까지 84.5%가 낙하하였다. 종자낙하 시기를 고려했을 때, 일본잎갈나무 천연갱신을 위한 벌채와 갱신상 조성은 8월 또는 늦어도 9월까지의 마쳐야 천연갱신 성공 가능성을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

종자 낙하량 대비 치수 발생율은 벌채 후 지면균기를 실시한 처리구가 평균 2.4%, 무처리구 0.3%로 처리구가 무처리구에 비해 8.0배 많았다. 그리고 결실 풍년인 해에 벌채와 지면균기를 할 경우 갱신 1년차 6월의 치수 발생량은 약 47만본/ha, 풀베기를 실시한 후 10월 생존 치수량은 약 18만본/ha이었다. 갱신 3년차 10월의 치수량은 약 78천본/ha이었으며, 보잔목작업, 모수작업, 대상개별작업 순으로 치수량이 많았다. 갱신 3년차 10월의 치수 평균 크기는 근원경 6.5 mm, 수고 50.4 cm이었고, 치수 분포의 균일성은 보잔목작업이 가장 양호하였고 대상개별이 가장 불균일하였다. 반면, 치수의 크기는 대상개별작업과 모수작업, 보잔목작업 순으로 나타났다. 이에 따라 모수작업이 치수 분포의 균일성과 성장특성을 고려할 때 천연갱신에서 적합한 벌채유형일 것으로 판단되었으며, 목재수확의 효율

성을 고려할 때 대상개별과 모수작업의 융합도 고려할 수 있을 것으로 판단되었다.

References

Akira, K. and Chiharu, S. 2011. Natural regeneration of Japanese larch at the piedmont of Mt. Asama. Nagano Prefectural Forestry Research Center Technical Informaion 139: 10-15.

Federal Ministry of Food and Agriculture. 2015. The Forests in Germany. Bundesanstalt Für Landwirtschaft Und Ernährung. pp. 50.

Hwang, J.H., Cho, M.S. and Yang, A.R. 2015. Development of silviculture technology for the renewal species of major artificial forests. Research Report 15-10. National Institute of Forest Science. Seoul. pp. 119.

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.

Igarashi, T., Yajima, T., Matsuda, K., Natsume, S. and Takikawa, S. 1987. Natural regeneration in the japanese larch plantation. Research Bulletins of the College Experiment Forests Hokkaido University 44(3): 1019-1040.

Kisanuki, H. 2000. Study on the morphological and ecological characteristics of the genus *Larix* with special reference to its molecular phylogeny. Bulletin of the University of Tokyo Forests 104: 63-145.

Korea Forest Service. 2018. Statistical Yearbook of Forestry 2018. Korea Forest Service. Daejeon. pp. 444.

Lee, D.K., Kwon, K.W., Kim, J.H. and Kim, G.T. 2010. Silviculture. Hyangmunsa. Seoul. pp. 334.

Matsuo, T. 2007. Study on natural regeneration of japanese larch. <https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/syo/iwatehokubu/kyouiku/pdf/research5.pdf>.

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. (In Korean with English abstract)

Nixon, C.J. and Worrell, R. 1999. The potential for the natural regenerationof conifers in britain. Forestry Commission Bulletin 120. Edinburgh Forestry Commission.

Sasaoka, E., Yajima, T., Shibuya, M., Takahashi, K., Nakamura, F. and Shimizu, O. 1999. Stand structure and regeneration process of a natural *Larix kaempferi* stand on Mt. Komagatake, Hokkaido. Journal of the Japanese Forestry Society 81(1): 22-28. (In Japanese with English Abstract)

- Tatsuo, A., Taichi, I., Katsutosi, K., Yoshihiro, N., Kitamura, M. and Ryosuke, K. 2004. Research on natural regeneration technology in artificial forests. Research Report Heisei 15. Forest and Forestry Infrastructure Improvement Division. Tokyo. pp. 77-103.
- Toshimitsu, K. and Masami, S. 2007. Development of Larch Multi-layered forest by Natural Seeding Regeneration. https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/kikaku/pdf/20happyou_04.pdf
- Wang, Z.L., Xu, F.Q., Wang, G. and Ding, M.X. 1993. Discussion on the technology of regeneration in larch plantation. Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology 1993(1): 19-22. (In Chinese)
- Yim, K.B. 1991. The point of silviculture. Hyangmunsa. Seoul. pp. 347.

Manuscript Received : October 26, 2020

First Revision : November 16, 2020

Accepted : November 19, 2020