

북한산림복구용 종자 변온침지 처리를 통한 발아특성 연구*

최종오¹⁾ · 박용진²⁾

¹⁾ 강릉원주대학교 환경조경학과 학생 · ²⁾ 강릉원주대학교 환경조경학과 교수

A Study on Germination Characteristics through Seed Variable Immersion for Restoration of North Korea Forest*

Choi, Jong-O¹⁾ and Park, Yong-Jin²⁾

¹⁾ Department Landscape Architecture, Gangneung Wonju National University, Student,

²⁾ Department Landscape Architecture, Gangneung Wonju National University Professor.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the germination characteristics through the temperature change treatment compared to the general room temperature immersion treatment of the native species, the *Larix kaempferi*, and the *Berula platyphyllavar. japonica* seeds, and to obtain basic data for the production of healthy seedlings with high productivity and efficiency. As a result, the germination rate of the larch seeds showed a significant difference according to room temperature and temperature immersion treatment, and the average germination days of the birch seeds showed a significant difference according to room temperature immersion and temperature immersion treatment. On the other hand, there was no significant difference in germinal uniformity. The results of the study are as follows. First, the results of the analysis of the fallen leaves were the highest germination rate in the treatment of 1.5 days of hot water and 1.5 days of cold water, the fastest germination rate, the lowest average germination day, and the highest germination uniformity. This is the best result in most items, and the change temperature immersion treatment of hot and cold baths was superior to the conventional room temperature immersion treatment. Second, the results of birch tree showed that the germination rate was the highest in 1.5 days of hot water and 1.5 days of cold water. The average germination day is 1.5 days of cold water 1.5 days of hot water 1.5 days, but the difference between 1.5 days

* 본 논문은 2021년 산림청의 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

First author : Choi, Jong-O, Department Landscape Architecture, Gangneung Wonju National University, Student,
Tel : +82-33-640-2355, E-mail : giographic@hanmail.net

Corresponding author : Park, Yong-Jin, Department Landscape Architecture, Gangneung Wonju National University Professor,
Tel : +82-33-640-2355, E-mail : yjpark@gwnu.ac.kr

Received : 24 December, 2021. **Revised** : 23 February, 2022. **Accepted** : 18 February, 2022.

of hot water and 1.5 days of cold water is 0.01 days. The highest germinated uniformity was found in 1.5 days of cold water and 1.5 days of hot water. As a result, in the case of larch and birch, the seed temperature immersion (1.5 days of hot water, 1.5 days of cold water) treatment is superior to the existing three-day immersion treatment in various analysis methods, and it is expected that productivity and efficiency can be improved at a low cost in a short period of time at the seedling production site through seeds.

Key Words : North Korea, Forest Restoration, Seeds, Variable Temperatures, *Larix kaempferi*

I. 서 론

1. 연구배경

산림청에서는 종자공급원 확충 및 양묘시설 현대화로 종묘생산체계를 개선하여 고품질 종자 및 묘목을 안정적으로 공급하고 있다. 경제림 조성을 위한 산림용 종자생산을 위해 주요 조림수종인 낙엽송 등 침엽수를 집중 생산하고 있다. 또한 결실주기 등 기후영향에 대응하고 남북산림협력 종자 확보를 위한 비축 증대를 통해 우량종자를 생산 비축하고 있다. 그리고 종묘산업 생산성 향상을 위한 연구로 낙엽송 1년 생 용기묘 생산기술, 기상재해 대응 낙엽송 생산 온실 연구 등 다양한 연구 및 제도 개선을 추진 중에 있다(The Forest Service, 2019).

한편, 북한의 주요 조림수종에 대해서 살펴보면, 먼저 용재림 조성을 위한 수종으로 소나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무, 아까시나무 등이 있는바 과거 용재림 조림면적 중 약 79%가 일본잎갈나무로 알려져 있다(Yoon et al, 1999). 또한 주요 활엽수종은 자작나무, 참나무류, 피나무 등이 있다.

북한 산림복구를 위해서는 목재를 생산할 수 있고 연료재로서 이용할 수 있는 일본잎갈나무 등이 지원되어야 한다는 기존 연구사례 등이 있다(Choi et al, 2017).

이러한 여건 속에서 남북산림협력을 위한 대북용 종자 생산성과 관련하여 연구가 미흡하고, 낙엽송은 종자결실주기가 5~7년으로 길고 주

기성이 일정하지 않는 등 개화결실이 불량하여 종자생산에 많은 어려움이 있다. 이에 따라 종자부족과 장기저장 종자 사용에 따른 낮은 발아율 등의 문제점이 도출되고 있으며, 저장기간 동안 점차적으로 활력을 잃게 되는 경우가 발생하게 되고 결국 종자로서 기능을 상실하게 된다(Kim et al, 2020).

발아율을 높이는 기존 선행 연구를 보면, 먼저 음나무는 변온습사저장 후 지베렐린 처리에서 발아율이 가장 높은 결과가 나왔다(Kim et al, 2003). 완도호랑가시나무는 3개월간의 온·습적 처리에 이어 2개월간의 냉·습적 처리한 시험구에서 발아율이 높게 나타났다(An et al, 2003). 두중나무의 경우 25°C (8시간), 8°C (16시간) 등 온도변화 처리시 가장 높은 발아율을 나타냈다(Jung et al, 2003).

황칠나무는 종자의 발아율을 향상시키기 위해 가을과중은 40°C 온탕에 90분, 120분간 침지하며, 봄과중은 10°C의 온도에 60~90일정도 저장한 후 과중하면 발아율이 향상된다(Choi et al, 1998). 여우꼬리풀의 경우 발아에는 2주 이상의 저온습윤 처리한 종자의 경우 높은 발아율이 나타났다(Choi et al, 2014).

작살나무의 경우 저온처리(습윤, 4°C) 기간을 8, 12주로 처리 한 후 15/25°C에서 발아 실험한 결과, 무 처리구에 비해 발아율이 약 47% 향상되었다(Lee et al, 2011).

낙엽송의 침종 처리별 선행 연구를 보면, 3일간 침종 처리한 종자가 가장 높은 발아율이 조

사되었다. 또한, 온도에 따른 종자의 발아실험결과 25°C에서 가장 높게 조사되었다(Kim et al, 2020).

자작나무의 경우 유럽과 미국, 캐나다 등의 자작나무류에 대한 종자 수명과 종자 저장기간에 따른 활력에 대한 자료(Heit, 1967; Brinkman, 1974; Bonner, 2008, Karrfalt, 2008)가 있지만 우리나라의 자작나무 종자는 발아율과 효율이 현저히 낮음에도 불구하고 종자발아와 관련된 연구는 미미한 실정이다.

이렇게 종자의 발아율을 높이기 위해 다양한 수종에서 온도변화 및 습도처리 등의 방법을 주로 사용하고 있다.

특히 낙엽송의 경우 3일간 침종과 25°C에서 가장 높은 발아율이 조사되었으나, 다른 수종의 발아율 향상을 위해 변온처리에 대한 선행연구 자료가 없어, 새로운 연구방법이 필요한 실정이다.

따라서 음나무, 완도호랑가시나무, 두중나무, 작살나무 등 변온습윤처리에 따른 발아율 향상 관련 조사 및 분석방법을 적용하여 연구할 필요성이 있다고 판단된다.

2. 연구목적

주요 대북지원용 종자인 낙엽송, 자작나무를 일반적인 종자전처리 방법인 상온침지처리와 비교하여 변온 침지처리를 통해 발아율 등을 향상시키고, 양묘현장에서 쉽게 활용할 수 있는 발아촉진 기술이 필요한 실정이다.

실험방법은 선행연구결과 낙엽송 종자는 3일간 침종에서 높은 발아율이 나타나서 본 연구에서도 3일간 실험을 하고자 하며, 온도에 따른 낙엽송 종자의 발아실험결과, 25°C에서 적정발아온도로 판단된다는 결과에 따라 같은 조건으로 실험하고자 한다.

본 연구는 기존의 실험실 조건에서 연구되는 논문이 아니라 실제 양묘현장에서 종자전처리를 실시, 파종, 육묘하는 방법으로 실시하였으며, 특별한 비용 없이 발아특성을 연구하여 경

제적인 기술을 개발하는데 목적이 있다.

따라서 다른 종자전처리 방법과 비교하여, 묘목생산 효율성을 증대하기 위해 주요 대북지원 수종인 낙엽송, 자작나무의 종자를 변온침지처리를 통해 발아촉진기술을 규명하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 공시 식물 및 재료 선정

본 실험에는 주요 북한지원수종인 낙엽송, 자작나무를 중심으로 발아특성을 연구하기 위해 종자 변온침지 처리별 종자 발아율 테스트를 실시하였으며, 대조구는 일반적으로 양묘현장에서 사용되는 종자 상온 침지처리법으로 실시하였다. 구체적인 실험재료의 선정 및 방법은 다음과 같다.

공시 식물로 선정된 종자는 주요 북한지원수종인 낙엽송과 자작나무로 선정하였다. 종자는 산림청 소속 국립산림품종관리센터에서 저장중인 북한지원용 산림종자를 사용하였다.

낙엽송 종자와 자작나무 종자는 2020년 경기도 연천군 우량임분에서 생산된 종자이다. 2가지 종자는 남북산림협력용으로 별도 저장된 종자이며, 주관기관인 국립산림품종관리센터에서 2021년 6월 11일에 각 수종별 200g씩 수급하였다. 각 수종별로 건사저온 저장하여 시험에 이용하였다.

발아시험은 경상북도 울진군에 소재한 비닐 온실에서 수행되었으며, 낙엽송은 종자 105립씩 3반복 난피법으로 배치하여 105구 포트에서 인공상토에 파종하였다. 그러나 자작나무는 미립종자로 1립 구분이 어려워 귀이개를 통해 1회 파는 종자량을 기준으로 하였다.

발아는 유근이 돌출되어 나오는 것으로 조사하였으며 발아율, 발아속도, 평균발아일수, 발아균일도를 조사하였다. 재료는 종자 처리별로 전처리하여 포트에 파종한 최종 발아수를 조사하였다. 그러나 자작나무는 1구당 먼저 발아된 발

Table 1. List of plants used in germination experiments.

Genus name	Scientific name	Korean name
<i>Larix</i>	<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carrière	낙엽송(일본잎갈나무)
<i>Betula</i>	<i>Betulaplatyphylla</i> var. <i>japonica</i> (Miq.) H. Hara	자작나무

아개체만 자료로 사용하였다. 낙엽송, 자작나무 종자 전처리에는 6월 16일에 시행하였고, 종자 파종은 6월 19일에 실행하였으며, 7월 14일 최종 발아조사를 종료하였다.

2. 종자 전처리

파종하기 전 수종별로 종자를 상온 3일 침지처리, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 처리, 냉탕 1.5일 온탕 1.5일 처리 등 3가지 방법으로 전처리를 한다.

상온침지처리에는 온도 20°C 에 종자를 침지하고, 온탕처리에는 범씨발아기를 이용하여 25°C 를 설정하고, 공기발생기를 사용한다. 냉탕처리에는 냉장고에서 5°C 로 설정하여 종자를 침지한다.

종자 전처리 실험온도의 선정 사유는 다음과 같다. 먼저 상온침지온도는 대개 20±5°C 를 의미하며, 기존 양묘현장에서 일반적으로 침지 처리하는 상온온도인 20°C 를 기준으로 실험하였다.

냉탕·온탕 온도는 발아율 향상을 위한 선행연구와 비슷한 조건으로 실시하였다. 두중나무, 작살나무 발아율이 향상된 온도인 냉탕침지온도 4~8°C 범위에서 5°C 를 기준으로 실험하였으며, 온탕침지온도는 기존 낙엽송 선행연구의 동일 조건인 25°C 를 기준으로 실험하였다.

3. 조사방법

전처리된 낙엽송, 자작종자를 포트 용기 105 구를 사용하여 파종하였다. 전처리조건별(상온, 온탕 냉탕, 냉탕 온탕)로 파종포트 3개씩 배치하였으며, 종자별 3반복 난괴법으로 배치하여 전용인공상토로 파종하였다.

인공상토는 양묘현장에서 일반적으로 사용되고, 시중에서 판매되고 있는 산림용 전용상토를 사용하였으며, 각 처리구의 원활한 종자 발아를

위하여 모든 처리구는 비닐온실에서 온도와 습도를 유지하였으며, 주간 8시간은 20~30°C 조건에서 관리하였으며, 야간 16시간은 15~20°C 온도 범위로 관리하였다. 기타 관수 및 잡초관리는 관행에 준하였다.

발아는 종자가 수분을 흡수하여 배가 휴면으로부터 벗어나, 낮은 상태의 대사작용이 최적상태로 변하여 생장이 재개되어 종피를 뚫고 유근이 나오는 과정으로 조사하였다.

파종 후, 매일 발아된 종자 개수를 조사하여 발아율(Germination rate, GR), 평균발아일수(Mean germination time, MGT), 발아균일도(Germination uniformity, GU), 발아속도(Germination speed, GS)를 아래의 식을 이용하여 구하였다(Coolbear et al., 1984; Edwards, 1934; Gordon, 1971; Scott et al, 1984).

$$\bullet \text{ GR} = (N/S) \times 100$$

; N : 총 발아수, S : 총 공시 종자수

$$\bullet \text{ MGT} = \sum (T_x \cdot N_x) / N$$

; N : 총 발아수, N_x : 조사 당일 발아수, T_x : 치상 후 조사일수

$$\bullet \text{ GU} = \sum [(MGT - T_x)]^2 \cdot N_x / N - 1$$

; N : 총 발아수, N_x : 조사 당일 발아수, T_x : 치상 후 조사일수

$$\bullet \text{ GS} = \sum (N_x / T_x)$$

; N_x : 조사 당일 발아수, T_x : 치상 후 조사일수

4. 통계분석방법

각 처리구 결과에 대한 통계적 유의성을 검증하기 위해 일원배치분산분석(ANOVA)을 수행



Figure 1. *Ledgeria japonica* germinated light stalk (left), birch germinated light stalk (right)

하였다. 분산분석에 사용된 처리구별 데이터의 평균(M), 표준편차(SD), F(통계량), P(유의확률), 사후분석 기법(poct-hot)으로는 Scheffe(셰페) 사후분석기법으로 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 낙엽송

발아는 종자가 수분을 흡수하여 배가 휴면으로부터 벗어나, 낮은 상태의 대사작용이 최적상태로 변하여 생장이 재개되어 종피를 뚫고 유근이 나오는 과정을 의미한다.

본 실험의 3반복 평균값을 계산한 결과 상온에서 3일간 침지한 낙엽송은 20.63%로 가장 낮았으며, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 처리한 낙엽송이 26.98%로 가장 높은 발아율로 나왔으며, 냉탕 1.5일 온탕 1.5일이 20.64%의 발아율로 그 다음이었다.

이는 기존 발아 연구에서 낙엽송 종자(Kim, 2014)는 25°C에서 발아율이 가장 높게 나타난 것으로 조사되어, 본 실험과 유사한 경향이었다.

처리구별 발아속도(GS)는 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 처리한 낙엽송이 1.80로 가장 빨랐으며, 상온에서 3일간 처리가 1.29로 그 다음이었다. 냉탕 1.5일 온탕 1.5일 처리는 1.23으로 가장 늦었다.

평균발아일수(MGT)는 온탕 1.5일 냉탕 1.5일이 16.38로 가장 빨랐으며, 상온 3일 처리한 17.47일로 그 다음이었으며, 냉탕 1.5일 온탕

1.5일 18.16일로 가장 늦게 조사되었다.

발아균일도(GU) 또한 상온 3일침지에서 6.85로 가장 낮은값이 조사되었으며, 냉탕 1.5일 온탕 1.5일에서 8.24로 다음이며, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 9.73으로 가장 높은값이 조사되었다.

발아속도와 균일성은 유묘의 강건성과 생육 격차를 결정짓는 중요한 요소이며(Perry, 1987), 이는 발아세의 개념으로 정의되어 있다(AOSA, 1983). 발아세는 종자의 퇴화와도 밀접한 관련이 있어 종자의 퇴화가 진행될수록 발아세의 저하가 발아능(seed viability) 보다 앞서 진행된다고 한다(Delouche & Caldwell, 1960). 발아균일도는 발아의 분산을 나타내는 공식으로 그 값이 작을수록 일시에 발아하는 것을 의미하며, 보다 효율적인 유묘 생산관리가 가능하다고 한다(Jeon et al., 2013).

이러한 시험결과는 기존 상온침지처리보다 변온침지처리가 종자발아에 큰 영향을 준다는 것을 시사한다.

기존 선행 연구수종인 음나무, 완도호랑가시나무, 작살나무 등과 같이 종자의 변온처리가 발아율이 향상되는 유사한 결과를 나타냈다.

종자 침종처리에 대한 관련논문으로 Yang et al.(2008)은 차나무 종자를 대상으로 실험에서, 차나무 품종에 따라 침종기간(1,2,3,4일)에 대한 종자의 발아율 차이가 있는 것으로 보고하였다.

이와 같이 종자의 침종처리가 발아율을 높이는 원인에 대해서도 보고되었는데, Yoo and

Table 2. A comprehensive list of germination tests for larch

repeat- ing	treatment	6. 27	28	29	30	7.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	s
one-re- peat	room temperature 3 days immersion	0	0	0	0	0	2	0	2	3	0	5	2	0	3	2	0	19
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	0	1	0	3	1	6	4	0	1	3	4	2	1	0	0	1	27
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	1	0	0	0	0	0	3	4	5	0	2	2	1	1	3	3	25
two-re- peat	room temperature 3 days immersion	1	0	0	2	0	2	1	2	5	2	1	7	0	0	0	0	23
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	0	0	2	4	2	5	3	1	3	2	0	1	2	3	1	0	29
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	0	0	0	1	0	0	3	1	2	5	0	7	1	0	0	1	21
three-re- peat	room temperature 3 days immersion	0	0	0	3	0	3	1	2	5	3	1	4	1	0	0	0	23
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	0	0	1	1	1	1	7	1	6	1	3	4	2	0	1	0	29
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	0	0	0	1	1	1	1	0	5	2	4	2	0	1	1	0	19

Kim(1998)은 미선나무 종자를 대상으로 한 실험에서 정지된 상태보다 흐르는 물에 의한 처리에서, 물의온도가 15°C보다 30°C에서 발아율이 높은 경향을 보였다고 하였다. 이러한 처리에 의한 높은 발아율은 미선나무 종피내에 존재하는 발아억제물질은 따뜻한 물에 잘 용해되는 물질로 추정하였으며, 흐르는 물에서 발아억제물질의 용탈이 촉진되고, 또한 산소가 공급되어 발아억제물질이 산화되거나 변성됨으로 인해 배의 발육이 촉진되기 때문인 것으로 판단하였다.(Kim et al, 2020)

처리구별에 따른 차이를 알아보기 위해 분석한 결과, 유의수준 5%에서 발아수($p=0.019<0.05$), 발아율($p=0.018<0.05$), 발아속도($p=0.010<0.05$)에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 먼저 발아율을 살펴보면, 온탕 1.5일+냉탕 1.5일에서 가장 발아율이 높게 나타났고, 사

후분석 결과 상온 3일 침지와 온탕 1.5일+냉탕 1.5일에서 집단 간 차이가 있는 것으로 나타났다.

발아속도의 경우 온탕 1.5일+냉탕 1.5일에서 가장 높은 발아속도를 보이고 있고, 냉탕 1.5일+온탕 1.5일, 상온 3일 침지 순으로 나타났으며, 사후분석 결과 온탕 1.5일+냉탕 1.5일은 다른 두 집단 간에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

평균발아일수, 발아균일도는 유의한 차이는 없으나, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 처리가 가장 좋은 결과값을 나타냈다.

2. 자작나무

본 실험의 3반복 평균값을 계산한 결과 상온에서 3일간 침지한 자작은 51.75%로 가장 낮았으며, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 처리한 자작이 74.92%로 가장 높은 발아율로 나왔으며, 냉탕 1.5일 온탕

Table 3. Analysis of 3 repeat analysis by birch treatment area

repeating	treatment	germination number	germination rate(%)	germination rate	average germination days	germinal uniformity
one-repeat	room temperature 3 days immersion	19	18.10	1.031	18.842	6.396
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	27	25.71	1.747	16.111	9.765
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	25	23.81	1.409	18.600	12.520
two-repeat	room temperature 3 days immersion	23	21.90	1.420	16.870	7.983
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	29	27.62	1.901	16.034	12.413
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	21	20.00	1.181	18.190	5.726
three-repeat	room temperature 3 days immersion	23	21.90	1.417	16.696	6.168
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	29	27.62	1.757	17.000	7.000
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	19	18.10	1.103	17.684	6.479

1.5일이 59.04%의 발아율로 그 다음이었다.

이러한 시험결과도 낙엽송과 마찬가지로 기존 상온침지처리보다 변온침지처리가 종자발아에 큰 영향을 준다는 것을 시사한다.

Oh et al.(1991)의 연구에서 자작나무 종자의 온도별 발아실험을 15~35℃ 온도조건에서 5℃ 간격으로 실시한 결과, 5℃에서는 0.4%의 발아율을 보이고 25~30℃에서 18%대로 가장 높은 발아율을 보여, 본 실험에 비해 발아율은 낮지만 발아적온에 있어서는 본 실험과 비슷한 경향을 보였다. 또한 Vanhatalo et al.(1996)의 연구에서 저온처리하지 않은 European white birch(*B. pendula*) 종자의 온도별 발아율이 30℃에서 가장 높았으며, 5℃에서 22일간 저온처리 한 종자는 25℃에서의 발아율이 30℃에서의 발아율인 50%에 가깝게 높아져 변온처리가 발아율이 증가시키는 경향을 보였다.

처리구별 발아속도(GS)는 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 처리한 자작이 6.18로 가장 빨랐으며, 냉탕 1.5일 온탕 1.5일이 4.84로 그 다음이었다. 상온 3일처리는 3.65로 가장 늦었다.

평균발아일수(MGT)는 냉탕 1.5일 온탕 1.5일이 13.47 가장 빨랐으며, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일이 13.48일로 그 다음이었으며, 상온에서 3일 처리가 15.46으로 가장 늦게 조사되었다.

발아균일도(GU) 또한 상온 3일침지에서 6.35로 가장 낮은값이 조사되었으며, 냉탕 1.5일 온탕 1.5일에서 8.98로 가장 높은값이 조사되었으며, 온탕 1.5일 냉탕 1.5일 6.84로 그 다음으로 조사되었다.

이러한 결과는 낙엽송과 마찬가지로 기존 상온침지처리보다 변온침지처리가 종자 발아에 큰 영향을 준다는 것을 시사한다.

처리구별에 따른 차이를 알아보기 위해 분석한 결과, 유의수준 5%에서 평균발아일수($p=0.027 < 0.05$)에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 발아율과 발아속도는 유의한 차이가 없지만 온탕 1.5일 냉탕 1.5일에서 가장 높은 발아율과 발아속도로 조사되어 종자의 생산성과 효율성이 향상되는 것으로 조사되었다.

Table 4. Germination test table for each birch treatment area

repeating	treatment	6.28	29	30	7.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	s
one-repeat	room temperature 3 days immersion	0	0	2	3	6	7	3	3	1	1	2	0	1	0	1	0	30
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	4	9	0	7	5	4	3	2	5	2	2	1	0	0	2	0	46
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	16	12	13	3	6	4	5	0	1	1	1	2	0	0	1	0	65
two-repeat	room temperature 3 days immersion	4	1	9	11	17	8	7	4	19	2	1	0	0	1	0	0	84
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	18	13	19	9	8	12	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	92
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	12	5	6	6	4	8	3	3	7	0	0	1	0	0	1	0	56
three-repeat	room temperature 3 days immersion	2	0	3	5	11	7	4	1	12	0	2	1	0	1	0	0	49
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	7	31	15	14	6	12	4	4	5	0	0	0	0	0	0	0	98
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	8	13	6	8	4	13	1	2	1	2	5	2	0	0	0	0	65

Table 5. Analysis of 3 repeat analysis by birch treatment area

repeating	treatment	germination number	germination rate(%)	germination rate	average germination days	germinal uniformity
one-repeat	room temperature 3 days immersion	30	28.57	1.95	15.80	6.89
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	46	43.81	3.30	14.76	12.27
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	65	61.90	5.31	12.83	8.68
two-repeat	room temperature 3 days immersion	84	80.00	5.76	15.04	5.82
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	92	87.62	7.40	12.83	4.38
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	56	53.33	4.28	13.77	9.21
three-repeat	room temperature 3 days immersion	49	46.67	3.25	15.53	6.35
	1.5 days of hot water + 1.5 days of cold water	98	93.33	7.84	12.85	3.88
	1.5 days of cold water + 1.5 days of hot water	65	61.90	4.94	13.82	9.06

IV. 결 론

본 연구는 대북지원수종인 낙엽송, 자작나무 종자의 일반적인 상온침지처리와 비교하여 변온처리를 통해 발아 특성을 조사하여, 생산성과 효율성이 높은 건전한 묘목생산의 기초 자료를 확보하기 위한 목적으로 발아실험을 시행하였다. 그 결과 통계적으로 낙엽송 종자의 발아율, 발아속도는 상온·변온침지처리에 따라 유의한 차이가 나타났으며, 자작나무 종자의 평균발아일수는 상온·변온침지처리에 따라 유의한 차이가 나타났다. 반면 발아균일도 등은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 연구결과를 종합해보면 다음과 같다.

먼저 낙엽송 결과값을 분석하면 온탕 1.5일+냉탕 1.5일 처리에서 발아율이 가장 높으며, 발아속도가 가장 빠르고, 평균발아일수가 가장 낮았으며, 발아균일도가 가장 높은 값이 조사되었다. 이는 대부분 항목에서 가장 좋은 결과로서 온탕, 냉탕의 변온침지처리가 기존 상온침지 처리보다 우수한 결과가 도출되었다.

두 번째로 자작나무 결과값을 분석하면 온탕 1.5일+냉탕 1.5일처리에서 발아율이 가장 높으며, 발아속도도 가장 빠른 결과가 조사되었다. 평균 발아일수는 냉탕 1.5일 온탕1.5일이 가장 빠른 결과이나, 온탕 1.5일+냉탕 1.5일과의 차이가 0.01일로 미비한 수준이다. 발아균일도는 냉탕 1.5일+온탕 1.5일에서 가장 높은 값이 조사되었다.

결과적으로 낙엽송, 자작나무의 경우에는 종자변온침지(온탕 1.5일, 냉탕 1.5일)처리가 기존 상온 3일 침지처리보다 발아율 등 다양한 분석방법에서 우수한 결과가 도출되어, 종자를 통한 양묘생산현장에서 단기간의 적은비용으로 생산성과 효율성을 향상할 수 있을 것으로 기대된다.

이는 북한산림복구에 쓰이는 종자 전처리방법으로 사용되도록 연구성과를 공유하여 남북산림협력사업에 도움을 줄 것으로 판단된다.

다만 본 연구결과 통계적 유의성이 나타나지 않은 항목을 검증하기 위해 변온처리 온도별, 온탕 3일간, 냉탕 3일간 전처리 항목을 추가하여 다양한 조건에서의 비교 분석이 필요하다.

향후 종자 온탕 3일간, 냉탕 3일간, 침지온도 및 처리시간별 다양한 처리를 통해 종자활력 유지와 발아율 향상 등을 위한 연구가 지속되어야 할 것이다.

References

- AOSA, 1983. Seed Vigor Testing Handbook: Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysts, Zurich, Switzerland.
- An YH, Kim KG, Choi CH, 2003. A Study on the Promoting Germination of Seeds of Wando Horticultural Trees. Korean Forest Society No. 12 Vol.1
- BonnerFT, 2008. Storage of Seeds. In The Woody Plant Seed Manual.
- BrinkmanKA, 1974. Betula L. Birch. In Seeds of Woody Plants in the United States. Schopmeyer CS. pp.252-257. ed. USDA Forest Service, Washington D.C.
- Choi HH, Bae SW, Lee SG, Sellger B, Lee WK. 2017. Selecting forest species for each purpose to support North Korea's forest restoration, Study on Unification, Vol. 29, NO. 1, 2017, Peace Research Institute. p.37-56.
- Choi EG, Kim HJ, Jeong MJ, Ku JJ, 2014. The effect of Cold Stratification and GA3 Treatments on the Seed Germination of Aletris glabra Bureau & Franch
- Choi SK, Lee JI, Kim SK, 1998. Effect of Low Temperature and Hot-Water Treatment on Germination of Seeds in Dendropanax morbifera
- CoolbearP, FrancisA and Griersond. 1984. The effect

- of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds . Journal of Experimental Botany.35: 1609-1617
- DeloucheJC and CaldwellWP, 1960. Seed vigor and vigor tests. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts.50: 124-129.
- Forest Service Regulations, 2020. Execution of seedling business. No. 684 of Forest Service
- Forest Service, 2019 Forest Resources Business Plan, Forest Service, Forest Resources Division
- GordonAG, 1971. The germination resistance test a new test for measuring germination quality of cereals .Canadian Journal of Plant Science.51: 181-183.
- HeitCE, 1967. Propagation from seed: 11. Storage of deciduous tree and shrub seeds. American Nurseryman.126: 12-13, 86-94.
- JeonKS, SongKS , KimCH , YoonJH and KimJJ . 2013. Effects of seed pre-treatment and germination environments on germination characteristics of *Ligularia fischeri* seeds . Protected Horticulture and Plant Factory.22: 262-269.
- Jung YS, 1983. Effect of Variable Temperature Treatment on the Germination Promotion of Seeds of Dumbbiana. Total of Middle-earth Humanities No. 2,
- Korea Science and Technology Academy. 2014, "Selection of Forest Species Appropriate for North Korean Forest Ecology and Environmental Change", Forest Service (in Korean with English summary).
- KarrfaltRP, 2008. *Betula L.* Birch. In The Woody Plant Seed Manual. Bonner FT and Karrfalt RP.pp.303-310. eds. USDA Forest Service, Washington D.C.
- Kim JH, Sung HI, Choi KS, Kim JJ, Won CO, Song KS, 2020. Germination Characteristics of Laminar Seeds during Storage Period. Research on the Agricultural Life Environment of Gangwon Province No. 32 Vol. 2,
- Kim YH, 2005. A Study on the Ecological Restoration of the Deforestation Area in North Korea. Book 9 of the North Korean Research Society, Vol. 2,
- Kim SH, Lee CH, Chung HG, Jang YSM Park HS, 2003. Germination Characteristics of Seeds of Mt. S. and GA3 Concentrations.
- Lee KC, Kim MS, kim HJ, Kim YH, 2011. Effect of Temperature and cold Treatment on Seed Grmination in *Callicarpa japonica* Thunb.
- OhMY, OhJS, LeeMB and SungJH. 1991. Characteristic of seed germination and seedling growth of broad-leaved species - *Quercus acutissima*, *Fraxinus rhynchophylla*, *Betula platyphylla japonica*. KFRI Journal of Forest Science.42: 1-9.
- PerryDA, 1987. ISTA Handbook of Vigour Test Methods. 2nd ed. International Seed Testing Association,Zurich, Switzerland.
- ScottSJ, JonesRA and WilliamsWA . 1984. Review of data analysis methods for seed germination . CropScience.24: 1160-1162.
- VanhataloV, LeinonenK, RitaH and NygrenM . 1996. Effect of prechilling on the dormancy of *Betula pendula* seeds. Canadian Journal of ForestResearch.26: 1203-1208.
- Yang HB, Lee SC, Kim SL, Lee SL, Lee JH, Kim YG, Song KJ, 2008. Effect of Seed Storage and Sowing on Seed Germination in Tea. Journal of Tea Society, Vol.14, No. 2,
- Yoo YK, Kim KS, 1998. The Effect of Several Pretreatments on Seed Germination in the Korean Horticultural Society, Vol. 39, Vol.1
- Yoon, YC, Park DK, Hong SG, 1999, North-South Cooperation Tasks and Promotion Strategy in the Forest Sector, North Korea Research Society, Volume 3, No. 2,