

채취산지별 물푸레나무 종자의 온도에 대한 발아반응 비교

최충호^{1*} · 서병수² · 탁우식³ · 조경진³ · 김장수³ · 한상억³

¹경기도산림환경연구소, ²전북대학교 농업생명과학대학, ³국립산림과학원 산림유전자원부

Comparison of Seed Germination Response to Temperature by Provenances in *Fraxinus rhynchophylla*

Chung Ho Choi^{1*}, Byeong Soo Seo², Woo Sik Tak³, Kyung Jin Cho³,
Chang Soo Kim³ and Sang Urk Han³

¹Gyeonggi-do Forest Environment Research Institute, Osan 447-290, Korea

²Faculty of Forest Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

³Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

요약: 산지별 물푸레나무 종자의 산지이동시 생태적 조건에 대한 적응력을 예측하고 직파조립 및 포지양묘 시 최대의 발아효과를 얻고자 5~35°C의 범위에서 온도에 대한 발아반응을 조사한 결과, 발아율, 발아속도에서 채취산지간 차이가 관찰되었다. 인제에서 채취한 종자가 저온(5~15°C)에서 발아율이 우세하였으며, 고온(30~35°C)에서는 강릉의 종자가 우세하였다. 또한 발아율 값에 의한 2차 회귀식 모델에서 도출된 기준온도, 최대온도 및 적정온도는 4개 산지간 다양하게 나타났는데, 인제가 가장 낮았고 강릉이 가장 높게 나타났다. 발아속도에 근거한 주요 온도 추정 모델 역시 산지간에 다양하게 나타났다. 기준온도의 경우 횡성이 가장 낮았으며 강릉이 가장 높았다. 최대온도 및 적정온도는 인제에서 가장 낮게 나타났으며, 역시 강릉에서 가장 높게 나타나 발아에 영향을 미치는 주요 온도들의 경우 저온산지보다 비교적 고온인 산지에서 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 유묘생산을 위한 파종시 주요 온도를 고려할 때 2차 회귀모델과 선형모델 중 어느 것을 선택할 지는 유묘생산시의 목표에 달려있다. 즉 유묘생산량에 초점을 두었다면 2차 회귀모델을, 출현속도나 균일성에 초점을 두었다면 선형모델을 선택함이 바람직할 것이다.

Abstract: The germination responses of *Fraxinus rhynchophylla* seeds collected from four provenances to constant temperature were investigated over the range 5~35°C. Difference among seeds in percentage and rate of germination and cardinal temperatures was observed. The seeds from Inje had high germination percentage at low temperature (5~15°C) whereas those from Gangneung had high germination percentage at high temperature (30~35°C). Three cardinal temperatures viz., the base (T_b), the maximum (T_m) and the optimum (T_o) for germination percentage and germination rate varied among four provenances. T_b , T_m and T_o for *F. rhynchophylla* seed germination as estimated by the quadratic models were the lowest in Inje while those were the highest in Gangneung. The cardinal temperatures (T_b , T_m and T_o) were estimated by linear sub- and supra-optimal models for germination rate as a function of temperature response. T_b was the lowest in Hoengseong while that was the highest in Gangneung. T_m and T_o were the lowest in Inje while those were also the highest in Gangneung. That is, the seeds from the provenance where the annual mean temperature was high had the higher cardinal temperatures (T_b , T_m and T_o) as compared to seeds from the provenance where the annual mean temperature was low.

Key words : germination rate, cardinal temperature, provenance, seed

서론

식물은 서식지의 다양한 환경요인, 특히 온도 변화에 적응하면서 대처해 나갈 수 있는 전략을 세우며, 이 온도 요

인은 종자의 발아에서부터 생장과 결실에 이르기까지 생존에 큰 영향을 준다. 즉, 각각의 식물들은 그들이 처한 서식지 환경과 온도변화에 적응, 순화하며 성장하고 번식한다(이호준 등, 1995). 고등식물에 있어 번식의 첫 단계는 종자의 성공적인 발아와 유묘형성이라고 할 수 있는데, 이는 그 종의 분포와 생존, 번식여부를 결정하는 시기이기

*Corresponding author
E-mail: seedchoi@gg.go.kr

때문이다(Thompson, 1970). 종자발아를 조절하는 환경요인 중 온도는 온대지역에 있어서 발아시기를 결정하는 가장 중요한 요인으로 밝혀졌으며, 또한 이러한 발아시기의 선택에 있어서 다양한 생리적 기작이 존재함이 입증되었다(Bewley와 Black, 1982; Washitani와 Takenaka, 1984; Baskin과 Baskin, 1985, 1988).

대부분의 식물 종에 있어서 종자는 집단 및 산지 간 또는 개체 간에 다양한 발아력을 나타낸다(Benowicz 등, 2000, 2001; Gera 등, 2000; Sivakumar 등, 2002; Thomsen과 Kjær, 2002; Mkonda 등, 2003). 이러한 변이의 원인으로서 일부는 유전적 origin 때문일 수 있지만 대부분 종자가 성숙되는 산지의 조건 때문으로 알려져 있다. Gutterman (2000)이 보고한 바에 의하면 종자의 발아력은 종자가 성숙할 동안의 모수(mother tree)의 나이, 종자의 위치 등 모수적 요인(maternal factor)을 비롯하여 일장, 온도, 광질, 고도와 같은 환경적 요인에 의해 뚜렷하게 영향을 받는다고 하였다.

발아율, 종자활력 등의 종자특성과 관련된 산지간 변이의 자료는 집단유전을 위한 연구에서 뿐만 아니라 고품질의 묘목을 생산하는데 있어서 매우 유용하다. 왜냐하면 다른 산지나 다른 고도에서 종자를 채취하였을 때 활력이나 발아율, 묘목생장 및 biomass가 차이가 날 수 있다는 것이 증명되었기 때문이다(Isik, 1986; Todaria와 Negi, 1995; Chauhan 등, 1996). 더욱이 현재 우리나라의 산지 조림을 위한 종자채취는 국가관리체제로 전환되어 각 지방산림청 및 시·도가 채종립 또는 채종임분에서 직접 종자를 채취하고 저장하여 이용하고 있다. 또한 OECD/CFRM 규범에서는 번식자원의 최소 요건으로서 종자산지의 경우 산지가 확인(source-identified)되었거나 선발(selected)된 임분에서 채취되어야 하며, 번식자원의 기본재료로서 최소조건의 하나는 그 산지의 생태적 조건에 잘 적응하고 있을 것으로 규정하고 있다(OECD Trade and Agriculture Directorate, 2007). 그러나 경우에 따라서 산지간 종자이동이 발생하고 있기 때문에 본 연구와 같이 종자 및 발아특성에 대한 산지간 변이가 구명된다면 무분별한 종자 산지이동에 따른 득묘율의 감소를 막고 건전한 산림육성을 할 수 있을 것이다.

물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)는 물푸레나무과(Oleaceae)에 속하는 낙엽활엽교목으로서 우리나라 전역에 분포한다(김태욱, 1999). 그 수피는 진피라고 불리며 눈병과 이질 등에 특효약으로 사용되었으며 소염, 수렴, 해열 등의 효능이 있는 것으로 알려져 있다(김창민 등, 1998). 목재는 나이테가 뚜렷하고, 무겁고 단단하며 탄력이 좋아 운동기구재로 많이 쓰인다. 그 외에도 가구재, 합판재, 차량재, 펄프재로 좋으며, 수피는 염료용으로도 이용되고 있어 우수한 물푸레나무의 육성·조림이 필요하게 되었고 2006년 현재 수종별 조림실적에 있어 활엽수

내에서 상수리나무, 자작나무에 이어 3번째로 많은 조림 면적을 차지하고 있다(산림청, 2007).

따라서 본 연구는 산지별 물푸레나무 종자의 온도에 대한 발아반응을 조사함으로써 산지이동시 종자의 생태적 조건에 대한 적응력을 예측하고 직파조림 또는 포지양묘 시 최대의 발아효과를 얻는데 도움을 주고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구를 수행하기 위하여 2007년 충북 충주, 강원 횡성, 강릉, 인제의 채종임분에서 채취한 물푸레나무 종자를 각각 이용하였으며, 각 산지의 최근 5년간 연평균 온도는 Table 1과 같다.

2. 발아반응 조사

산지별 종자의 온도에 대한 발아반응을 분석하기 위해 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C로 설정된 chamber에 50립씩 4반복으로 치상하였다. 실험은 24시간 광조건에서 수행되었으며 매일 발아조사를 실시하였다. 이때 유근이 2mm 이상 신장된 것을 발아된 것으로 간주하였으며, 10일

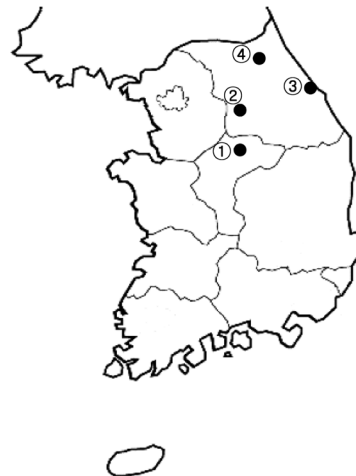


Figure 1. Location map of seed collection sites.
① Chungju, ② Hoengseong, ③ Gangneung, ④ Inje

Table 1. Change of annual mean temperatures for the latest five years in four provenances. (unit : °C)

| Year | Chungju | Hoengseong | Gangneung | Inje |
|------|---------|------------|-----------|------|
| 2003 | 11.6 | 10.9 | 12.7 | 10.1 |
| 2004 | 12.4 | 11.4 | 14.1 | 10.7 |
| 2005 | 11.2 | 10.4 | 12.9 | 10 |
| 2006 | 11.5 | 11.4 | 13.1 | 10.6 |
| 2007 | 12.11 | 11.5 | 13.9 | 11.3 |
| Mean | 11.8 | 11.1 | 13.3 | 10.5 |

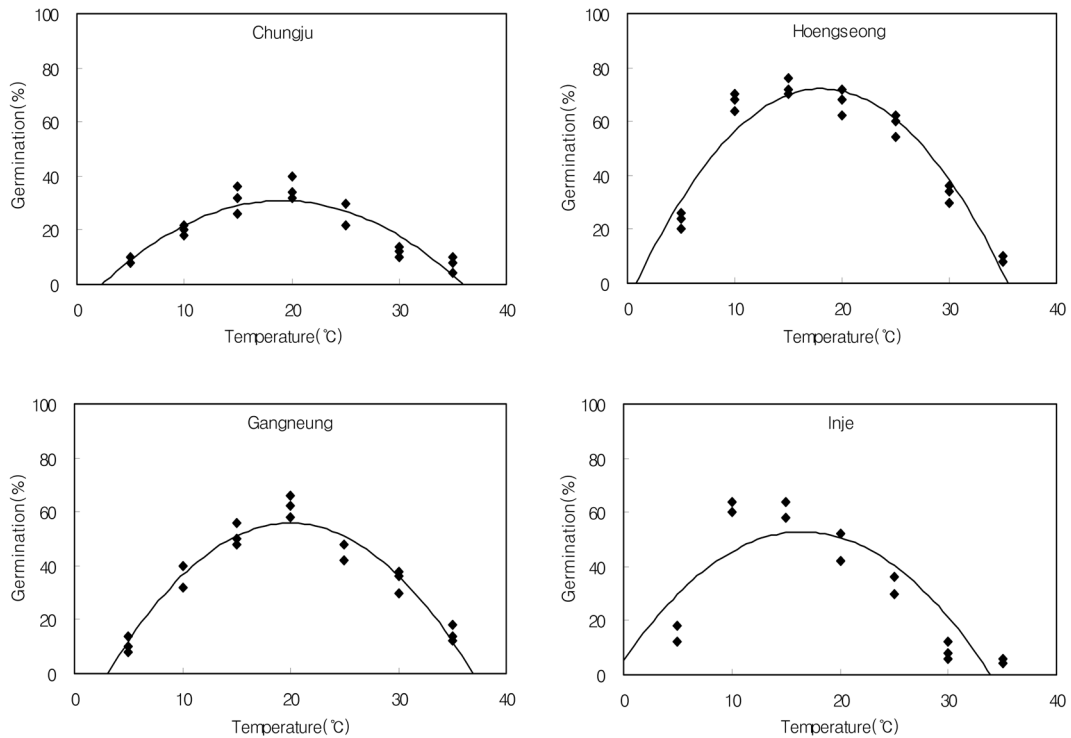


Figure 2. Germination (%) of *Fraxinus rhynchophylla* seed by provenances at different temperatures.

동안 더 이상 발아하지 않는 시점을 종료시점으로 하였다. 발아조사 데이터를 이용하여 발아율(germination percentage)과 상대 발아율(relative germination percentage), 발아속도(germination rate)를 산출하였다(Ren과 Tao, 2004). 이때 상대 발아율을 계산하기 위한 종자의 활력은 1%의 tetrazolium 용액에 절단된 종자를 치상하여 24시간 경과 후 조사하였다. 발아속도는 누적발아곡선의 percentile 값이 90%가 되는 일수의 역수로 계산하였다. 또한 종자 발아에 있어 중요한 온도조건인 기준온도(base temperature, T_b), 최대온도(maximum temperature, T_m), 적정온도(optimum temperature, T_o)를 일반적으로 이용되고 있는 발아율을 이용한 2차 회귀 분석모델과 발아속도를 이용한 선형 회귀분석모델로서 비교하였다(Hardegree, 2006a,b; Hardegree와 Winstral, 2006).

Germination percentage =

$$\frac{\text{Number of germinating seeds}}{\text{Number of seeds initiated}} \times 100$$

Relative Germination percentage =

$$\frac{\text{Number of germinating seeds}}{\text{Number of viable seeds initiated}} \times 100$$

결과 및 고찰

충주 등 4개 산지에서 채취한 물푸레나무 종자를 온도 별로 치상한 결과, 발아율에 있어 각각 온도조건에서 차

이를 나타내었다(Figure 2). 충주의 경우 20°C에서 35.3%로 가장 높은 발아율을 나타내었으며 35°C에서 7.3%로 가장 낮았다. 횡성에서는 15°C에서 72.9%의 발아율로 가장 높았던 반면 35°C에서는 8.7%로 가장 낮은 수치를 보였다. 강릉은 충주와 마찬가지로 20°C에서 가장 높은 발아율을 나타내었으나 5°C에서 가장 낮은 발아율을 나타내어 고온보다 저온에서 취약함을 드러내었다. 연 평균 기온이 가장 낮은 인제의 경우 10°C와 15°C에서 가장 높은 발아율을 나타내었으며 35°C에서 가장 낮은 발아율을 보였다. 또한 30°C에서도 8.7%를 보여 대체적으로 30°C 이후 발아율이 급감하던 타 산지에 비해 인제가 더 고온에 대한 내성이 약함을 보여주었다.

온도는 대부분 종에 있어서 발아율과 발아속도를 결정하는 것으로 알려져 있으며(Heydecker, 1977; Bewley와 Black, 1982), 종자의 발아율은 대개 특정한 온도범위 내에서 일정하게 유지되고, 이 범위를 벗어나게 되면 매우 급격히 감소한다고 한다(Thompson, 1970). 또한 종자 발아의 온도 선택은 종에 따라 다양하며, 같은 속의 식물에서도 발아 적온에 큰 차이를 보이기도 한다. *Allium* 속 식물의 경우 온난형은 20~25°C를 발아적온으로 하는 반면 한냉형은 5~13°C를 발아적온으로 한다. 이와 같이 온도에 대한 발아 반응이 일정하지 않은 것은 종자 내 물질대사의 질적·양적인 특성에 차이가 있기 때문이다(靑葉, 1967).

온도에 따른 발아율을 산지간 비교하기 위해 상대 발아율을 조사한 바, 5°C에서는 횡성의 종자가 25.6%로 상대

Table 2. Relative germination (%) of *F. rhynchophylla* seed by provenances at different temperatures.

| Temperature (°C) | Chungju | Hoengseong | Gangneung | Inje | C.V. |
|------------------|----------|------------|-----------|----------|------|
| 5 | 14.4±1.9 | 25.6±3.4 | 16.0±4.6 | 20.9±4.5 | 26.4 |
| 10 | 33.3±3.3 | 74.0±3.4 | 56.0±6.9 | 81.7±3.0 | 35.1 |
| 15 | 52.2±8.4 | 79.9±3.4 | 77.0±6.2 | 80.8±4.5 | 18.8 |
| 20 | 58.9±6.9 | 74.0±5.5 | 93.0±6.0 | 59.1±7.5 | 22.6 |
| 25 | 41.1±7.7 | 64.5±4.6 | 66.0±5.2 | 44.3±4.5 | 24.2 |
| 30 | 20.0±3.3 | 36.6±3.4 | 52.0±6.2 | 11.3±4.0 | 60.2 |
| 35 | 12.2±5.1 | 9.5±1.3 | 22.0±4.6 | 6.1±1.5 | 54.9 |
| C.V. | 54.6 | 53.2 | 44.4 | 76.0 | |

발아율이 가장 높았으며, 충주의 종자가 14.4%로 가장 낮았다. 10°C와 15°C에서는 인제가 각각 81.7%, 80.8%로 가장 높게 나타난 반면, 충주가 각각 33.3%, 52.2%로 가장 낮게 나타났다. 또한 20°C 이상의 온도에서는 강릉이 상대 발아율이 가장 높게 나타났으며, 충주와 인제가 낮은 수치를 보였다. 대체적으로 인제의 종자가 저온(5~15°C)에서 발아율이 우세하였으며, 고온(30~35°C)에서는 강릉의 종자가 우세하였다(Table 2). 한편, 여러 온도 범위에 대한 민감성을 조사하기 위해 변이계수(coefficient of variation)를 산출하여 분석한 결과 강릉>횡성>충주>인제 순으로 온도에 대한 적응성을 나타내었다. 강릉은 변이계수 44.4%로 다양한 온도 범위에서 비교적 잘 적응하여 발아한 반면, 인제는 76.0%로 온도간 변이 폭이 심하였다. 산지간 변이는 30°C에서 60.2%로 가장 크게 나타났으며, 15°C에서 18.8%로 가장 작게 나타났다. 즉, 발아환경이 15°C일 경우 산지간 별다른 차이를 보이지 않고 대체적으로 모든 산지에서 유사한 발아율을 나타내며, 30°C일 경우 고온 산지의 종자는 높은 발아율을 나타내는 반면 저온 산지의 종자는 매우 낮게 나타나는 등 산지별 발아율 차이가 현저하게 나타날 것이다.

산지별 종자의 온도에 대한 영향을 조사하고자 발아율에 대해 회귀분석을 실시한 결과 나타난 회귀식, r^2 값, 주요 온도는 Table 3과 같다. 4개 산지 모두 r^2 값은 통계적 유의성이 인정되었다($p<0.05$). 기준온도(T_b)는 -0.9~3.0°C로 산지간 다양하게 나타났는데, 인제가 -0.9°C로 가장 낮았으며 강릉이 3.0°C로 가장 높았다. 최대온도(T_m)에서도

인제가 34.0°C로 가장 낮고 강릉이 36.9°C로 가장 높았는데, 이는 Marisol과 Johnson(2008)이 미국 North Dakota 지역에서 관목인 *Cuphea* 종자를 조사하였을 때 나타난 33.1~37.2°C 보다 변이 폭이 좁았다. 2차 회귀식에서 도출된 적정온도(T_o) 역시 16.6~20.0°C로 다양하였는데, 인제가 가장 낮은 반면, 강릉이 가장 높게 나타났다. 위 결과에서 나타난 바에 의하면 대체로 연 평균 기온이 낮은 지역이 기준온도, 최대온도 및 적정온도가 낮고 연 평균 기온이 높은 지역이 기준온도, 최대온도 및 적정온도가 높은 경향을 나타내었다. 종자의 온도에 대한 발아 반응은 종에 따라 분포지에 따라 적정온도가 달라지는데, 열대지방에 분포하는 식물은 대부분 적정온도가 높고 한대지방에 분포하는 식물은 적정온도가 낮다(田川, 1982). 또한 동일 종간에도 분포지에 따라 온도에 대한 발아 반응에 변이가 있는 것으로 밝혀졌는데(Grime 등, 1981; 이호준, 1979), 이호준(1991)은 종자의 이러한 변이를 여러 환경에서 생존하기 위한 생태적 전략이라고 하였다. Sterns와 Olson(1958)도 위도가 다른 두 지역에 분포하는 *Tsuga canadensis* 종자의 경우 온도에 따른 발아 반응이 다르다고 하였으며, Peacock과 McMillian(1965)도 위도가 다른 *Prosopis* 속 식물 종자를 채취하여 파종한 결과 발아에 생태적 변이가 있다고 보고한 바 있다. 또한 산지간 종자 반응의 차이가 생기는 원인으로 Tekrony(2003)는 종자 발아 및 활력이 종자가 충분히 건조된 생리적 성숙 후의 환경 조건에 영향을 받기 때문이라고 하였으며, Bewley와 Black(1994) 및 Gutterman(1992)은 각각 집단 유전적 특성과 모수 환경의 영향 때문이라고 하였다.

발아속도에 근거하여 주요 온도를 추정하는 선형모델은 Table 4에서 보는 바와 같이 산지 간에 다양하게 나타났다. 기준온도는 횡성이 2.1°C로 가장 낮았으며, 강릉이 3.2°C로 가장 높았다. 최대온도에서는 인제가 36.9°C로 가장 낮았고, 강릉이 39.1°C로 가장 높아 산지 간 순위에서는 앞에서 언급했던 2차 회귀식 모델과 유사하였다. 적정온도 역시 17.6~26.0°C 사이에서 다양하게 나타났는데, 인제가 가장 낮고 강릉이 가장 높아 산지간 순위에서 2차 회귀식 모델과 유사하였다. 앞의 2차 회귀식 모델과 비교하

Table 3. Quadratic regression equations, r^2 value and cardinal temperatures (T_b , T_m and T_o) for influence of temperature on *F. rhynchophylla* seed germination in four provenances.

| Provenance | Regression equations | r^2 | T_b^a | T_m | T_o |
|------------|--------------------------------|-------|---------|-------|-------|
| Chungju | $y = -0.109x^2 + 4.18x - 9.1$ | 0.82* | 2.3 | 36.0 | 19.2 |
| Hoengseong | $y = -0.24x^2 + 8.69x - 6.6$ | 0.92* | 0.8 | 35.4 | 18.1 |
| Gangneung | $y = -0.194x^2 + 7.75x - 21.7$ | 0.92* | 3.0 | 36.9 | 20.0 |
| Inje | $y = -0.174x^2 + 5.76x + 5.3$ | 0.73* | -0.9 | 34.0 | 16.6 |

^aBase (T_b), maximum (T_m), and optimum (T_o) temperatures (°C), respectively.

* : $p<0.05$.

Table 4. Regression equations, r^2 and cardinal temperatures (T_b , T_m and T_o) by linear sub- and supra-optimal models in four provenances for germination rate for *F. rhynchophylla* seed as a function of temperature response.

| Provenance | Function type | Model | r^2 | T_b^a | T_m | T_o |
|------------|---------------|------------------------|-------|---------|-------|-------|
| Chungju | Sub-optimal | $y = 0.0021x - 0.006$ | 0.95* | 3.0 | - | 22.6 |
| | Supra-optimal | $y = -0.0027x + 0.102$ | 0.96* | - | 37.8 | |
| Hoengseong | Sub-optimal | $y = 0.0016x - 0.003$ | 0.88* | 2.1 | - | 21.4 |
| | Supra-optimal | $y = -0.0019x + 0.072$ | 0.92* | - | 37.7 | |
| Gangneung | Sub-optimal | $y = 0.0019x - 0.006$ | 0.94* | 3.2 | - | 26.0 |
| | Supra-optimal | $y = -0.0033x + 0.129$ | 0.84* | - | 39.1 | |
| Inje | Sub-optimal | $y = 0.0018x - 0.005$ | 0.93* | 2.6 | - | 17.6 |
| | Supra-optimal | $y = -0.0014x + 0.052$ | 0.90* | - | 36.9 | |

^aBase (T_b), maximum (T_m), and optimum (T_o) temperatures (°C), respectively.

*: $p < 0.05$.

였을 때, 기준온도나 최대온도는 선형모델에서 산지간 변이폭이 좁게 나타난 반면, 적정온도는 선형모델에서 변이폭이 더 넓게 나타났다. 또한 2차 회귀식 모델과 선형 모델에서 각각 도출된 주요 온도를 비교하였을 때 기준온도는 강릉에서, 최대온도는 충주에서, 적정온도는 인제에서 차이가 가장 적었다. 그러나 인제는 기준온도 및 최대온도에 있어서 2차 회귀식 모델과 선형모델의 차이가 가장 컸으며, 적정온도에 있어서는 강릉이 가장 크게 나타났다.

또한 유묘생산을 위한 종자 파종시 발아를 위한 주요 온도를 고려 할 때 2차 회귀모델과 선형모델 중 어느 것을 선택해야 할지 판단해야 하는데, 이는 전적으로 유묘를 생산하고자 할 때의 목표에 달려있다. 다시 말하면, 유묘의 생산량에 목표를 두었다면 유묘 출현 속도가 늦거나 다소 불균일할지라도 2차 회귀식에 근거한 모델을 선택함이 좋을 것이며, 생산량을 고려하지 않고 유묘의 출현 속도나 균일성에 초점을 둔다면 후자인 선형모델을 선택함이 바람직하다고 사료된다. Hardegree(2006a)와 Marisol과 Johnson(2008)의 연구에서도 위 2가지 모델에 대해 발아에 영향을 미치는 주요 온도를 예측할 때 이용한다고 하였으며, 다만 발아속도의 예측이 주(主) 목적인 연구에서 후자의 방법을 주로 이용한다고 하였다.

온도는 식물생육 뿐만 아니라 종자 발아에 있어서 가장 중요한 기후요인이라 할 수 있는데, 우리나라 각 산지 간에는 온도를 비롯한 기후 차이가 존재하고 있다. 즉, 각 산지마다 종자 채취를 위한 모수의 환경이 다르고 종자가 발아하는 환경 조건 역시 차이가 있다. 환경부(2007)가 현재의 지구온난화 추세가 지속될 경우 2020년 기온은 2000년 대비 1.2°C 상승하며, 연평균기온이 2°C 상승할 때 산림기후대는 위도상 150~550 km, 고도는 150~550 m 가량 올라갈 것이라고 발표한 것처럼 지구 온난화로 인한 기후 변화 문제에 직면한 현실에서 미래 산림자원의 원활한 조성을 위해서는 종자 발아에 미치는 온도에 대한 영향을 분석하는 것이 중요하다. 또한 서론에서 언급된 것처럼 OECD/CFRM 규범에서 번식자원의 기본재료로서 최소 조

건의 하나는 산지의 생태적 조건에 잘 적응해야 한다고 규정하고 있기 때문에 유사시 발생하고 있는 종자의 산지 이동시 잘 적응할 수 있는 유사한 생태적 조건을 갖춘 산지임을 확인하는 것 역시 필요하다. 따라서 본 연구와 같이 산지간 종자의 발아특성에 차이가 있음을 증명하고, 여러 가지 다양한 모델을 통한 주요 온도에 대한 산지간 변이의 구명과 적정 조건의 제시 등이 요구되는 바이다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2004. 임업용 종자감정 요령. 국립산림과학원예규 제131호. pp.5-10.
2. 김창민, 신민교, 안덕균, 이경순. 1998. 중약대사전. 도서출판 정담. 7, 8: 4319-4321, 5194-5199.
3. 김태욱. 1999. 한국의 수목. 교학사. p.537.
4. 산림청. 2007. 임업통계연보. 산림청. p.212.
5. 이호준, 조길임, 김용욱, 류병혁. 1995. 분포지역에 따른 애기수영(*Rumex acetocella*) 종자의 발아반응. 한국생태학회지 18(3): 353-366.
6. 이호준. 1979. 질경이(*Plantago asiatica* L.)의 생태형에 관한 연구. 효성여자대학교 연구논문집 21: 3-45.
7. 이호준. 1991. 분포지역에 따른 서양민들레(*Taraxacum officinale* Weber) 종자의 발아습성의 지리적 변이. 건국대학교 기초과학연구소 이학논문집 16: 75-83.
8. 환경부. 2007. 기후변화에 의한 한반도 영향 예측 사례. <http://www.me.go.kr/webdata/bodo070406P.hwp>.
9. 田川日出夫. 1982. 植物の生態. 共立出版. 東京. 191p.
10. 青葉高. 1967. *Allium*屬花きの種子發芽及ぼす溫度特性の影響. 國藝學會雜誌 36: 333-338.
11. Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A Continuum. *Bio-Science* 35: 492-498.
12. Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 1988. Germination ecology of herbaceous plant species in a temperature region. *Amer J. Bot.* 72: 286-305.
13. Benowicz, A., El-Kassaby, Y.A., Guy, R.D. and Ying, C.C. 2000. Sitka Alder (*Alnus sinuata* RYDB.) Genetic diversity in germination, frost hardiness and growth

- attributes. *Silvae Genet.* 49: 206-212.
14. Benowicz, A., Guy, R., Carlson, M.R. and El-Kassaby, Y.A. 2001. Genetic variation among paper birch (*Betula papyrifera* MARSH.) populations in germination, frost hardiness, gas exchange and growth. *Silvae Genet.* 50: 7-13.
 15. Bewley, J.D. and Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. 2nd Ed. Springer-Verlag press. Berlin. Heidelberg and New York. 375p.
 16. Bewley, J.D. and Black, M. 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Perse. New York. pp. 211.
 17. Chauhan, S., Negi, A.K. and Todaria, N.P. 1996. Effect of provenance variation and temperature on seed germination of *Alnus nepalensis*. *Plant Physiology and Biochemistry* 23: 94-95.
 18. Grime, J.P., G. Mason, A.V. Curtis, J. Rodman, S.R. Band, M.A.G. Mawforth, A.M. Neal and S. Shaw. 1981. Comparative study of germination characteristics in a local flora, *Ecology* 69: 1017-1059.
 19. Gera, M., Gera, N. and Ginwal, H.S. 2000. Seed trait variation in *Dalbergia sissoo* Roxb. *Seed Sci. Technol.* 28: 467-475.
 20. Gutterman, Y. 2000. Maternal effects on seed during development. In: Fenner M (ed.). *Seeds. The Ecology of Regeneration in Plant Communities.* 2nd ed. CABI publishing. Wallingford/New York. pp. 59-84.
 21. Hardegree, S.P. 2006a. Predicting germination responses to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97: 1115-1125.
 22. Hardegree, S.P. 2006b. Predicting germination responses to temperature. III. Model validation under field-variable temperature conditions. *Ann. Bot.* 98: 827-834.
 23. Hardegree, S.P. and Winstral, A.H. 2006. Predicting germination responses to temperature. II. Three-dimensional regression, statistical gridding and iterative-probit optimization using measured and interpolated-subpopulation data. *Ann. Bot.* 98: 403-410.
 24. Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: An agronomic view, In A.K. Elsevier (ed.). *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination.* North Holland and Biomedical Press. Amsterdam. pp. 237-282.
 25. Isik, K. 1986. Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten: Seed and seedling characteristics. *Silvae Genet.* 35: 58-67.
 26. Marisol, T.B. and Johnson, B.L. 2008. Seed germination response of cuphea to temperature. *Industrial Crops and Products* 27: 17-21.
 27. Mkonda, A., Lungu, S., Maghembe, J.A. and Mafongoya, P.L. 2003. Fruit- and seed-germination characteristics of *Strychnos cocculoides* an indigenous fruit tree from natural population in Zambia. *Agroforest. Syst.* 58: 25-31.
 28. OECD Trade and Agriculture Directorate. 2007. OECD scheme for the certification of forest reproductive material moving in international trade. Paris. p.26.
 29. Peacock, J.T. and McMillan, C. 1965. Ecotypic differentiation in *Prosopis* (mesquite). *J. Ecol. Syst.* 16: 179-214.
 30. Ren, J. and Tao, L. 2004. Effects of different pre-sowing seed treatments on germination of 10 *Calligonum* species. *For. Ecol. and Manag.* 195: 291-300.
 31. Sivakumar, V., Parthiban, K.T., Singh, B.G., Gnanambal, V.S., Anandalakshmi, R. and Geetha, S. 2002. Variability in drupe characters and their relationship on seed germination in teak (*Tectona grandis* L.F.). *Silvae Genet.* 51: 232-237.
 32. Sterns, F. and Olson, J. 1958. Interactions of photoperiod and temperature affecting seed germination in *Tsuga canadensis*. *Amer. J. Bot.* 45: 53-58.
 33. Tekrony, D.M. 2003. Precision is an essential component in seed vigor testing. *Seed Sci. Technol.* 31: 435-447.
 34. Thompsen, K.A. and Kjær, E.D. 2002. Variation between single tree progenies of *Fagus sylvatica* in seed traits, and its implications for effective population numbers. *Silvae Genet.* 51: 183-190.
 35. Thompson, P.A. 1970. Characterization of the germination responses to temperature of species and ecotypes. *Nature* 225: 827-831.
 36. Todaria, N.P. and Negi, A.K. 1995. Effect of elevation and temperature on seed germination of some Himalayan tree species. *Plant Physiology and Biochemistry* 22: 178-182.
 37. Washitani, I. and Takenaka, A. 1984. Mathematics of the seed germination dependency on time and temperature. *Plant, Cell and Environ.* 7: 359-362.