

ORIGINAL ARTICLE

## 대나무 저온 피해의 현황과 원인

김현희\* · 구재균<sup>1)</sup> · 김다빈<sup>2)</sup> · 공우석<sup>3)</sup>

전남연구원, <sup>1)</sup>국립생태원, <sup>2)</sup>에코나우, <sup>3)</sup>기후변화 생태계연구소

### Low-Temperature Damage to Bamboo: Current Status and Causes

Hyun-Hee Kim\*, Jae-Gyun Koo<sup>1)</sup>, Da-Bin Kim<sup>2)</sup>, Woo-Seok Kong<sup>3)</sup>

Agricultural and Fishing Community Revitalization Department, Jeonnam Research Institute, Naju 58217, Korea

<sup>1)</sup>Climate Change and Carbon Research Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

<sup>2)</sup>Educational Center, Econow, Seoul 06752, Korea

<sup>3)</sup>Climate Change Ecosystem Research Institute, Seoul 06264, Korea

#### Abstract

Using climate data, this study aimed to analyze the causes of low-temperature damage to bamboo, which occurred mainly in Chungcheongnam-do and Jeollabuk-do, Korea, during the winter of 2020. Temperature observation data provided by the Korea Meteorological Administration were used as raw data, and areas that suffered low-temperature damage were compared to those that did not. The results showed that the unprecedented low-temperature damage to bamboo was caused by a strong cold wave that occurred from January 7 to 10, 2021. During this period, the temperatures reached their lowest levels in the past 30 years. In particular, the temperatures in Chungcheongnam-do and Jeollabuk-do were significantly lower than those in Gangwon-do. Various regional temperature analyses were conducted, and an average temperature of  $-10^{\circ}\text{C}$  over 3 days and an average minimum temperature of  $-15^{\circ}\text{C}$  during the cold wave were determined as the criteria for bamboo to suffer low-temperature damage. Furthermore, regional differences in average temperature had a greater impact on low-temperature damage to bamboo than did minimum temperature. This study presents quantitative criteria for low-temperature bamboo damage through a regional comparison.

**Key words** : Distribution of bamboo, Winter temperature, Cold wave, Comparison between regions, Damyanggun

#### 1. 서론

한반도 남부 지방을 중심으로 어렵지 않게 볼 수 있는 대나무과(Bambusaceae)는 전 세계적으로 127속 1,680속 이상이 보고되었다(Clark and Oliveira, 2018). 일부 연구에서는 우리나라의 대나무를 단 6종으로 보고하고 있으나(Bystriakova et al., 2003), 국립생물자원관 국가생물종목록(2020)에 따르면 현재

우리나라에는 4속 12종의 대나무가 분포하는 것으로 기재되어 있다(Table 1). 또한 국립수목원 국가표준식물목록(2017)에는 4속 13종을 다루며, 이보다 앞서 한만도에 분포하는 대나무류의 환경요인에 관한 생물지리학적 연구에서는 총 5속 18종을 언급하였다(Kong, 1985).

우리나라 대나무 면적은 총 20,162 ha로 전체 산림 면적 6,298,134 ha의 0.32%를 차지한다. 지역별로 전

Received 6 August, 2024; Revised 30 September, 2024;

Accepted 2 October, 2024

\*Corresponding author : Hyun-Hee Kim, Agricultural and Fishing Community Revitalization Department, Jeonnam Research Institute, Naju 58217, Korea  
Phone : +82-61-931-9344  
E-mail : hyunheekim24@gmail.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

라남도(8,042 ha)와 경상남도(6,102 ha)가 압도적으로 그 면적이 넓으며(전국 대비 70.2%), 이어 전라북도(1,674 ha), 경상북도(1,643 ha), 충청남도(1,530 ha) 순이다. 충청남도를 포함한 영·호남 지역의 대나무는 우리나라 전체 대나무 면적의 94.2%를 차지한다. 시·군 별로는 경상남도 하동군이 1,056 ha로 가장 넓으며, 담양군(874 ha), 진주시(859 ha), 보성군(698 ha), 순천시(666 ha), 장흥군(571 ha), 산청군(540 ha), 거제시(519 ha), 사천시(513 ha)가 500 ha 이상이다(Korea forest service, 2020) (Fig. 1).

땅속줄기를 통해 빠르게 번식하는 대나무는 최근 수

요 감소와 관리 소홀로 인해 숲 주변을 잠식하고 있으며, 기후변화에 따른 기온 상승으로 향후 그 분포 북한계선의 북상도 예상된다(Heo et al., 2006; Wi et al., 2015; Yoo et al., 2017; Yoo, 2018). 대나무류 분포에 관해 Kong(2001)은 한반도 대나무류 분포 북한계선을 서해 백령도에서 황해도 장수산, 멸악산, 경기도 용문산, 명지산, 함경남도 추애산, 평안북도 후창, 묘향산, 함경북도 명천에 이르는 것으로 보고하였으며, 그 중 왕대속은 충청남도 서산, 칠갑산, 계룡산, 전라북도 전주, 지리산, 경상북도 금오산, 충청북도 소백산, 강원도 설악산, 금강산, 고성군 삼일포에 이른다고 하였다.

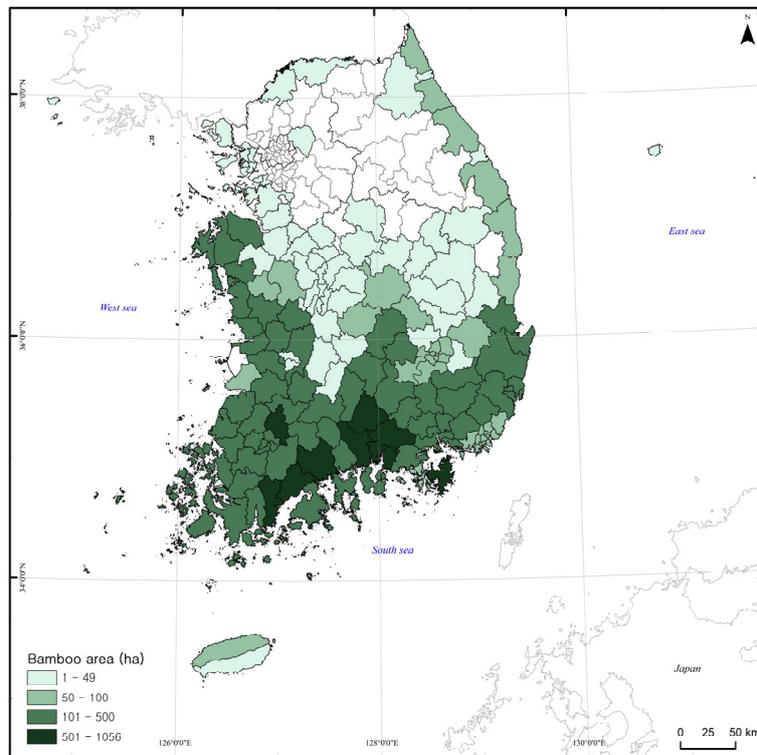


Fig. 1. Status of bamboo area by region in Korea (source: Korea Forest Service. Basic forest statistics 2020).

Table 1. Bamboo species distributed in South-Korea

(source: National list of species of Korea (2020). National Institute of Biological Resources)

Genus name(Korean name)	Scientific name(Korean name)
<i>Phyllostachys</i> (왕대속)	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (왕대), <i>Phyllostachys compressus</i> (관음죽), <i>Phyllostachys edulis</i> (죽순대), <i>Phyllostachys nigra</i> var. <i>henonis</i> (숯대), <i>Phyllostachys nigra</i> (오죽), <i>Pleiolobus simonii</i> (해장죽)
<i>Pseudosasa</i> (이대속)	<i>Pseudosasa japonica</i> var. <i>purpurascens</i> (자주이대), <i>Pseudosasa japonica</i> (이대)
<i>Sasa</i> (조릿대속)	조릿대( <i>Sasa borealis</i> ), 고려조릿대( <i>Sasa coreana</i> ), 섬조릿대( <i>Sasa kurilensis</i> ), 제주조릿대( <i>Sasa quepaertensis</i> )

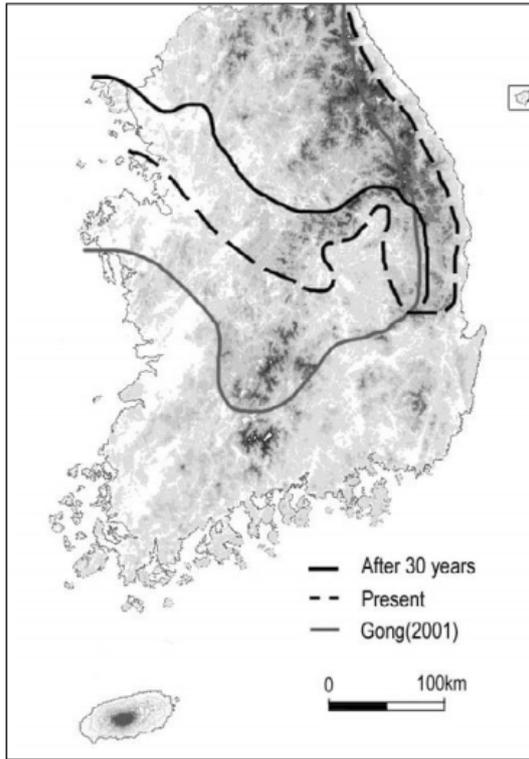


Fig. 2. Changes in the northern boundary of *Phyllostachys* sp. by Heo(2006) compared to Kong(2001) (Source: paper of Heo(2006)).

그리고 Heo et al.(2006)은 왕대속의 북한계선이 앞선 Kong(2001)의 연구보다 북상한 경기도 화성시 서신면, 평택시 포승면, 아산시, 천안시, 충청북도 청주시, 보은군, 옥천군, 영동시, 경상북도 상주시, 문경시, 예천군, 영주시, 안동시, 청송군 그리고 동해안을 따라 강원도 고성군까지를 분포역으로 제시하였다(Fig. 2).

한편 2020년 겨울(2020년 12월~2021년 2월) 충청남도과 전라북도를 중심으로 대나무의 잎과 줄기가 노란색으로 변하는 동해(凍害) 현상이 광범위하게 발생하였다. 사철 푸른 대나무가 넓은 지역에서 색이 변해 말라죽은 듯한 모습을 보이는 것은 이례적인 현상이다. 이는 직전 겨울 강한 한파에 따른 저온 피해로 추정되며 뿌리가 얼지 않는다면 늦은 봄 새잎이 나면서 원래 모습으로 회복된다. 과거에도 대나무 저온 피해에 관한 보고들이 있었으나 대부분 대나무 잎이 노란색이나 갈색으로 변한 현상을 단순 보도(산림청 보도자료 2001년 4월 27일 자, 담양시 신문 2006년 4

월 19일 자, 영남일보 2013년 4월 29일 자)하는 수준이었고, 구체적인 관련 연구를 논의한 사례는 많지 않다. 2020년 겨울 대나무 저온 피해는 과거 사례와 비교하여 그 범위가 넓어 더욱 주목된다. 본 연구는 2020년에서 2021년으로 넘어가는 한반도 겨울 기온이 예년과 비교해 어떤 차이가 있었기에 충청남도와 전라북도를 중심으로 광범위한 대나무 저온 피해가 발생하였는지를 살펴보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서는 지난 30년 동안의 기온 자료를 원자료로 활용하고 대나무 저온 피해가 발생한 2020년 겨울 기온 분포를 전국 단위에서 비교 분석하여 대나무 저온 피해의 원인을 찾고자 한다. 특히 2020년 12월부터 2021년 2월까지의 기온 자료를 시공간적으로 살펴보고 피해가 발생한 지역과 그렇지 않은 지역의 기온 자료를 비교해 봄으로써 대나무 저온 피해 현상의 원인을 역추적하였다.

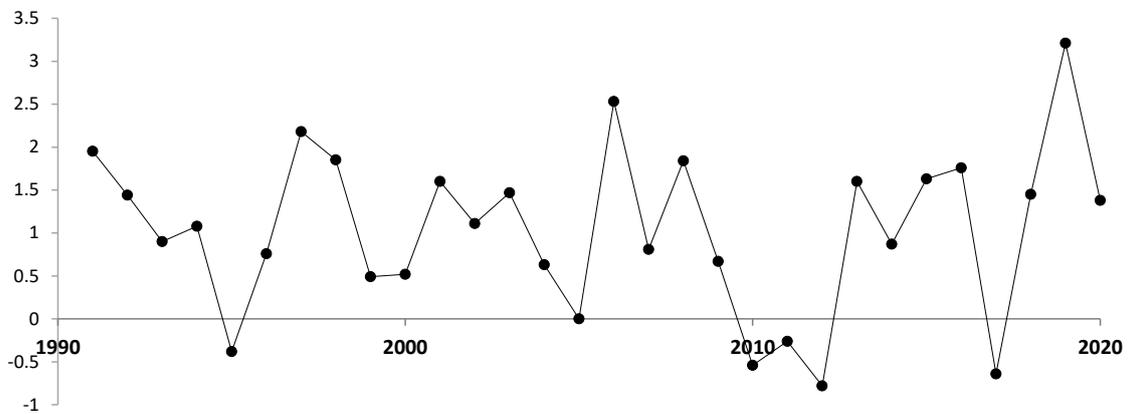
연구진은 2021년 2월 초 충청남도와 전라북도 일대에서 광범위하게 발생한 대나무 저온 피해 현상을 처음 관찰하였다. 이후 보다 구체적인 지역별 상황을 파악하기 위하여 총 5회에 걸쳐 대나무가 자생하는 중남부 및 동해안 지역을 중심으로 현장 답사를 진행하였다. 시·군 단위로 이동하며 지역별 대나무 피해 현황을 현장에서 직접 확인하였다. 그리고 일부 지역에서는 지역 주민과의 면담을 통해 대나무 저온 피해와 관련된 의견을 청취하였다(Table 2).

현지 조사와 함께 대나무 자생지의 겨울철 기온 자료를 분석하였다. 해당 자료는 기상청에서 제공하는 종관기상관측(ASOS) 자료 중 겨울(12월~2월) 기온 자료(평균기온, 평균 최저기온, 극 최저기온)다. 시간 범위는 1991년 12월부터 2021년 2월까지로 지난 30년의 12월, 1월, 2월 기온 관측자료를 대상으로 하였으며, 12월을 기준으로 해당 해의 겨울로 통일하였다. 예로 2020년 12월~2021년 2월은 2020년 겨울로 분류하였다.

겨울 기온 분석을 위한 공간적 범위는 북한을 제외한 한반도 전 지역을 대상으로 하였으며, 대나무가 자생하는 주요 지역을 시·군 단위로 구분하여 살펴보았다. 전국 및 도 단위에서의 분석은 기본적으로 지난 30년간의 종관기상관측(ASOS) 자료(102곳)를 인용하였다. 그러나 시·군 단위에서 종관기상관측 자료가 없는 일부 지역의 경우 방재기상관측(AWS) 자료를 대신 활용하였다.

**Table 2.** Field survey schedule and area

Date (2021)	Survey area
March 3~5	Cheonan, Gongju, Nonsan
March 21~24	Muju, Jinan, Jangsu, Hamyang, Sancheong, Hadong, Gwangyang, Suncheon, Gokseong, Gwangju, Damyang, Jangseong, Jeongeup, Jeonju
April 7~11	Jinju, Uiryeong, Haman, Goseong, Tongyeong, Geoje, Gimhae, Changwon, Changyeong, Cheongdo, Miryang, Yangsan, Ulsan, Pohang, Yeongdeok, Uljin, Samcheok, Donghae, Gangneung, Yangyang, Sokcho, Goseong
April 10	Jincheon, Cheongju, Ochang
April 13~15	Hwaseong, Pyeongtaek, Dangjin, Yesan, Hongseong, Boryeong, Cheongyang, Buyeo, Seochon, Gunsan, Gimje, Buan, Gochang, Yeonggwang, Gwangju, Naju, Hampyeong, Yeongam, Gangjin, Jangheung, Boseong, Goheung, Suncheon, Gwangyang, Gurye, Namwon, Hamyang, Geochang, Hapcheon, Seongju, Gumi, Gimcheon, Sangju

**Fig. 3.** Photos of bamboo (*Phyllostachys* sp.) damage from low temperatures. Left and center: Hogye-ri, Sagok-myeon, Gongju-si, Chungcheongnam-do (photographed on March 21, 2021); Right: Obong-ri, Taein-myeon, Jeongeup-si, Jeollabuk-do (photographed on March 23, 2021).**Fig. 4.** Average winter temperature in Korea over the past 30 years (x-axis: year, y-axis: °C).

저온 피해가 발생한 지역과 그렇지 않은 지역 간 비교를 위해 선정된 지역은 충청남도 서산, 보령, 부여, 논산, 서천, 전라북도 전주, 부안, 정읍, 임실, 남원, 전라남도 장성, 담양, 나주, 해남, 장흥, 보성, 순천, 경상남도 거창, 합천, 산청, 의령, 진주, 하동, 남해 총 24곳

이다. 이들 지역 중 논산, 서천, 하동, 담양, 나주는 방재 기상관측(AWS) 자료를 활용했고, 나머지 지역은 모두 종관기상관측(ASOS) 자료를 이용했다. 대나무 저온 피해가 발생한 지역은 충청남도와 전라북도 그리고 전라남도의 장성과 담양까지 총 12곳이며, 나머지 12곳은

저온 피해가 발생하지 않았거나 일부 지역에서만 확인 되는 곳이다.

지역 간 기온 비교를 위해 확보한 기온 자료는 1991년 12월부터 2021년 2월까지 12월, 1월, 2월을 선택적으로 확보하였으나, 일부 지역의 경우는 관측 시작 시점이 다르다. 논산과 서천은 1998년 12월부터 2021년 2월까지의 관측자료를 인용하였다. 더욱 자세한 지역별 기온 비교를 위해 10일 간격으로 총 9개의 구간(12월 1일~10일, 11일~20일, 21일~31일, 1월 1일~10일, 11일~20일, 21일~31일, 2월 1일~10일, 11일~20일, 21일~28일)으로 겨울 기온을 세분화하여 분석하였다.

그리고 본 연구에서는 대나무가 깃대종(flagship species)이며 저온 피해지역 중 가장 남쪽 지역이라 할 수 있는 전라남도 담양군과 주변 지역의 해당 기간 기온 자료를 별도로 구분하여 분석하였다. 전라남도 담양군은 우리나라에서 대나무로 상징되는 지역임과 동시에 2021년 1월 광범위한 대나무 저온 피해가 발생한 지역 중 위도상 가장 남쪽에 해당된다. 따라서 담양군의 기온 자료는 대나무 저온 피해 발생지역과 그렇지 않은 지역의 경계에 해당 되는 부분으로 해당 지역의 기온 값을 구체적으로 살펴 본다면 저온 피해 발생에 영향을 준 기온 값을 더 자세하게 분석할 수 있을 것으로 판단하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 대나무 저온 피해 현황

현지 조사를 통해 확인한 대나무 저온 피해 현황은 다음과 같다. 서해안을 따라서는 충청남도 서산부터 전라북도 고창까지 피해가 확인되었으며, 전라남도 영광부터 피해 정도가 확연히 감소했다. 내륙으로는 전라남도 장성, 담양, 곡성까지 피해가 확인되었고, 곡성을 지나서부터는 그 피해가 감소했다. 또한 광주광역시를 기점으로 남쪽은 피해가 거의 발생하지 않았다. 경상남도는 거창, 함양, 산청에서 일부 저온 피해를 확인하였으나, 충청남도, 전라북도와 같은 대규모 저온 피해를 찾아볼 수는 없었다. 전통적으로 대나무가 많이 분포하는 하동, 진주, 사천에서는 피해가 발생하지 않았다. 김천, 상주, 구미, 성주 등 경상북도 내륙도 일부 지역에서 저온 피해가 확인되었으나, 전반적인 대나무의 생육 상태는 양호하였다. 동해안의 경우 강릉을 기점으로 북쪽으로 고성까지 구간에서 일부 대나무 숲의 저온 피해를 확인하였다. 현지 조사를 통해 2020년 겨울 대나무 저온

피해는 전라남도 영광군에서 광주광역시, 구례군을 기점으로 북쪽의 호남 및 충남 지역에 집중적으로 발생했으며, 내륙으로는 소백산맥을 기준으로 서쪽 지역에 피해가 집중되었음을 확인하였다. 이는 특정 식물이 한파라는 기후 이벤트에 반응한 결과로 일종의 지역 및 기후 지표종(indicator species)으로서의 역할을 한 것으로 볼 수 있다(Fig. 3).

#### 3.2. 기온

지난 30년간(1991년~2020년) 우리나라 겨울(12월, 1월, 2월) 일 평균기온은 1.04℃, 일 평균 최저기온은 -3.65℃였으며, 1년 중 기온이 가장 낮았던 극 최저기온은 평균 -10.44℃였다. 2019년은 평균기온(3.21℃), 최저기온(-1.2℃), 극 최저기온(-7.92℃) 모두 가장 높은 해였으며, 평균기온(-0.78℃)과 극 최저기온은 2012년(-13.42℃), 최저기온(-5.5℃)은 2010년이 지난 30년 중 가장 낮은 해였다. 본 연구에서 주목하는 2020년 겨울(2020년 12월~2021년 2월)은 평균기온 1.38℃, 최저기온 -3.68℃, 극 최저기온 -12.12℃였다. 평균기온은 예년과 비교하여 0.34℃ 높았으며, 최저기온은 0.03℃ 낮아 예년과 비슷하다. 하지만 극 최저기온은 예년보다 -1.68℃ 낮아 상대적으로 그 차이가 컸다(Fig. 4).

지난 30년간 겨울 기온을 월별로 살펴보면 12월은 평균기온 1.68℃, 최저기온 -2.86℃, 극 최저기온 -9.60℃이다. 1월은 평균기온 -0.39℃, 최저기온 -4.93℃, 극 최저기온 -11.89℃이며, 2월은 평균기온 1.79℃, 최저기온 -3.18℃, 극 최저기온 -9.88℃였다. 2020년 겨울은 12월 평균기온 0.87℃, 최저기온 -3.77℃, 극 최저기온 -11.42℃로 예년에 비해 추웠다. 2021년 1월은 평균기온 -0.53℃, 최저기온 -5.60℃, 극 최저기온 -16.08℃로 예년과 비교하여 기온이 낮았다. 특히 극 최저기온은 예년에 비해 4.19℃나 낮아 1월 중 강한 한파가 일시적으로 발생하였음을 알 수 있다. 평균기온 -4.59℃, 최저기온 -9.56℃로 지난 30년 중 압도적으로 추웠던 2011년 1월도 극 최저기온은 -15.02℃로 2021년 1월보다는 높았다. 2021년의 1월 극 최저기온 -16.08℃는 지난 30년 중 가장 낮다. 2021년 2월은 평균기온 3.79℃, 최저기온 -1.65℃, 극 최저기온 -8.85℃로 예년에 비해 기온이 높아 따뜻했던 달이었다(Table 3).

이러한 결과를 토대로 2020년 겨울은 전반적으로 예년과 비슷한 수준의 추위였으나, 2021년 1월 중 예년에 없던 강한 한파가 일시적으로 발생한 것으로 보인다. 실제 지난 30년간 기온 자료와 비교했을 때 2020년

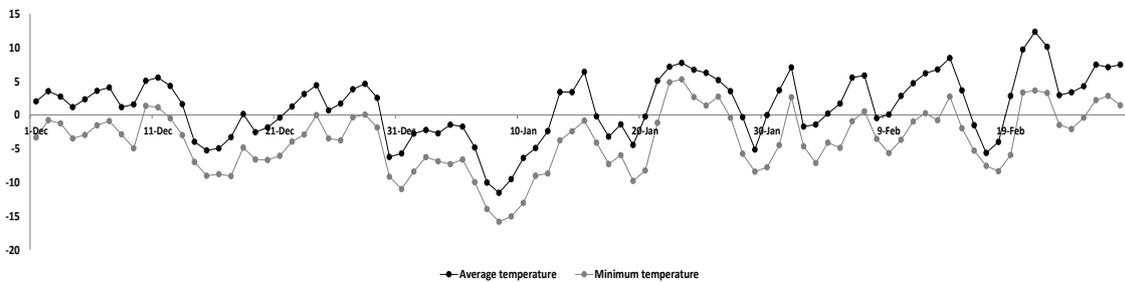
**Table 3.** Monthly temperatures in winter 2020 compared to observations from the past 30 years (unit: °C)

	December 2020		January 2021		February 2021	
	A	B	A	B	A	B
Average Temperature	1.68	0.87	-0.39	-0.53	1.79	3.79
Minimum temperature	-2.86	-3.77	-4.93	-5.60	-3.18	-1.65
Extremely Low Temperature	-9.60	-11.42	-11.89	-16.08	-9.88	-8.85

A: Average over the past 30 years, B: Average for winter 2020

**Table 4.** The coldest day in the last 30 years(The gray part is cold wave between January 7th and 10th, 2021)

Region	Average Temperature	Minimum temperature	Region	Average Temperature	Minimum temperature
Seosan	2021.01.09. -12.9°C	2021.01.09 -19.7°C	Geochang	2021.01.08 -11.8°C	1994.01.24 -18.9°C
Boryeong	2021.01.08. -13.0°C	2021.01.09 -17.2°C	Hapcheon	2021.01.08 -10.7°C	2021.01.08 -16.6°C
Buyeo	2021.01.08 -15.3°C	2021.01.09 -21.2°C	Sancheong	2021.01.08 -10.0°C	2018.01.27 -14.6°C
Nonsan	2021.01.08 -14.4°C	2013.01.03 -22.6°C	Uiryeong	2021.01.08 -10.3°C	2011.01.16 -17.0°C
Seocheon	2021.01.08 -15.1°C	2005.12.18 -20.8°C	Jinju	2021.01.08 -9.10°C	1997.01.24 -18.9°C
Jeonju	2021.01.08 -12.4°C	2021.01.08 -16.5°C	Hadong	2021.01.08 -8.30°C	2021.01.08 -13.3°C
Buan	2021.01.08 -13.2°C	1999.12.21 -19.2°C	Namhae	2021.01.08 -7.20°C	2021.01.08 -11.5°C
Jeongeup	2021.01.08 -13.6°C	2021.01.08 -17.6°C	Naju	2021.01.08 -11.2°C	2011.01.02 -16.3°C
Imsil	2021.01.08 -16.0°C	2021.01.08 -22.8°C	Haenam	2021.01.08 -11.6°C	2021.01.08 -17.1°C
Namwon	2021.01.08 -13.9°C	1994.01.24 -21.9°C	Jangheung	2021.01.08 -9.10°C	2021.01.08 -15.3°C
Jangseong	2021.01.08 -11.6°C	2021.01.08 -15.5°C	Boseong	2021.01.08 -11.9°C	2021.01.08 -18.1°C
Damyang	2021.01.08 -12.3°C	2021.01.08 -19.1°C	Gwangyang	2021.01.08 -8.0°C	2018.01.27 -13.2°C



**Fig. 5.** Changes in winter temperatures (y-axis: °C) in Korea in 2020 (x-axis: December 1, 2020 to February 28, 2021).

겨울은 평균기온으로는 17번째, 최저기온으로는 14번째로 추위 평균 수준이었다. 하지만 극 최저기온은 2012년, 2017년, 2005년에 이어 4번째로 기온이 낮았다. 특히 최한월인 1월의 기온이 상대적으로 낮아 강한 한파의 영향을 받았음을 알 수 있다. 전국 95곳의 관측 지점에서 2021년 1월 극 최저기온이 관측된 시점은 1월 7일 4곳, 1월 8일 69곳, 1월 9일 20곳, 1월 10일 1곳이었으며, 경상북도 봉화만 유일하게 1월 19

일에 극 최저기온이 관측되었다. 이를 통해 2021년 1월 7일부터 10일까지 전국은 강한 한파의 영향을 받았음을 알 수 있다.

Table 4는 충청남도과 전라북도 그리고 전라남도 와 경상남도 주요 지역의 지난 30년간 총 2,700일 중 가장 추웠던 날과 그 평균기온과 최저기온이다. 평균 기온 기준 24곳 모두 지난 2021년 1월 초에 있었던 한 파가 가장 추웠던 것으로 기록되었다. 최저기온도 일부

지역을 제외하면 2021년 1월 초 한파가 가장 추웠다. Table 4에서 다루지 않았지만 두 번째와 세 번째로 추운 날을 고려하면 2021년 1월 초 한파는 전 지역이 포함되는 역대급 한파라 해도 과언이 아니었다. 이와 같은 결과를 토대로 충청남도과 전라북도를 중심으로 발생한 대나무 저온 피해는 2021년 1월 7일부터 3일간 지속되었던 극심한 한파에 의한 것으로 단정할 수 있다. 당시 우리나라 전체 기온 변화를 살펴보면 1월 7일부터 10일 사이 강한 한파가 있었으며, 1월 8일에는 평균기온  $-11.5^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-15.8^{\circ}\text{C}$ 로 추위가 절정이었다(Fig. 5).

### 3.3. 지역 간 비교

2021년 1월 발생한 대나무 저온 피해의 가장 큰 지리적 특징은 충청남도와 전라북도 전역에서 그 현상을 광범위하게 확인할 수 있는 점이다. 반면 전라남도와 경상남도는 상대적으로 피해가 덜하거나 발생하지 않았다. 이와 같은 지역별 차이를 비교하기 위하여 먼저 최한월 기온을 도 단위에서 비교하였다.

총 95곳의 관측 지점에서 기록된 도별 최한월 평균 기온, 평균 최저기온, 평균 극 최저기온은 Table 6과 같다. 지난 30년간 최한월 평균기온은 낮은 순서에서 높은 순서대로 강원도, 충청북도, 경기도, 충청남도, 전라북도, 경상북도, 경상남도, 전라남도, 제주도 순이며, 이는 최저기온과 극 최저기온의 순서와도 일치한다. 2021년 1월의 경우 평균기온과 최저기온은 예년과 비교하여 크게 다르지 않았으나, 극 최저기온은 극 단적인 차이를 보여준다. 충청남도가  $-19.68^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았으며, 전라북도가  $-19.27^{\circ}\text{C}$ 로 다음이다. 강원도가  $-19.15^{\circ}\text{C}$ 로 충청남도와 전라북도보다 극 최저기온이 높았다는 점이 매우 주목된다. 이를 통해 강한 한파가 충청남도와 전라북도를 중심으로 발생하였음을 알 수 있다(Table 5).

구체적인 지역 간 차이를 비교하기 위하여 대나무 저온 피해가 발생한 지역과 그렇지 않은 지역 각 12곳씩 총 24곳을 선정하였다. 피해가 발생한 지역은 서산, 보령, 부여, 논산, 서천, 전주, 부안, 정읍, 임실, 남원, 장성, 담양으로 광범위한 저온 피해가 확인된 지역들이다. 반면 부분적으로 피해가 발생하였거나 피해가 발생하지 않은 곳으로 거창, 합천, 산청, 의령, 진주, 하동, 남해, 나주, 해남, 장흥, 보성, 광양을 선정하였다.

2020년 겨울 저온 피해가 발생한 12곳의 평균기온은  $0.99^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-4.14^{\circ}\text{C}$ 였으며, 피해가 발생하지 않은 12곳은 평균기온  $2.07^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-3.71^{\circ}\text{C}$ 로 두 지역 간 최저기온 보다 평균기온의 차이가 더 컸다.

예년과 비교하여 피해가 발생한 지역은 평균기온과 최저기온 모두 2020년 겨울 기온이 높았다. 피해가 발생하지 않은 지역의 경우 평균기온은 예년에 비해 높았으나, 오히려 최저기온은 낮았다. 이는 지난 겨울 기온이 전반적으로 추웠다기보다는 강한 한파가 일시적으로 영향을 줬고, 특히 평소 겨울철 최저기온이 높았던 남부 지방의 경우 그 영향이 더 컸던 것으로 보인다(Table 6).

대나무류 저온 피해 발생지역 12곳과 그렇지 않은 지역 12곳의 겨울 기온을 12월부터 2월까지 10일 간격 9구간으로 세분화하여 분석하였다. Table 8은 12월부터 2월 말까지 10일 단위의 평균기온을 예년 자료와 2020년 겨울 자료와 비교한 결과이다. 2020년 겨울 기온은 12월 상순과 중순에는 예년과 비교해 조금 기온이 낮았고, 하순에는 예년과 기온이 비슷하다. 강한 한파가 있었던 1월 상순은 예년과 비교해 기온이 큰 폭으로 떨어졌는데 특히 저온 피해가 발생한 지역의 기온이 그렇지 않은 지역보다 더 낮았다. 한파 이후 기온은 예년 수준으로 곧바로 회복되었으며, 1월 하순은 한파 때와는 정반대로 예년과 비교해 기온이 상당히 높았다. 특히 대나무 저온 피해 지역의 기온이 그렇지 않은 지역보다 더 높아 1월 8일경에 있었던 한파와는 완전히 대조적이다. 이후 2월은 예년과 비교해 기온이 높았다. 이런 결과를 통해서도 대나무 저온 피해는 1월 7일부터 10일 사이에 있었던 한파가 그 원인이라는 것이 다시 한번 확인된다. 더불어 피해가 발생했던 지역의 기온이 그렇지 않았던 지역보다 더 크게 떨어진 것도 알 수 있다(Table 7).

시간 범위를 조금 더 좁혀 한파 기간 중 가장 추웠던 당일과 그날 전후 3일 그리고 5일 기준 피해 발생지역과 그렇지 않은 지역의 기온을 비교했다. 광범위한 대나무 저온 피해가 발생한 지역의 최저점일 평균기온은  $-13.64^{\circ}\text{C}$ , 최저기온 평균  $-19.02^{\circ}\text{C}$ 였다. 최저점일 기준 3일 평균값은 평균기온  $-11.91^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-17.73^{\circ}\text{C}$ 이며, 5일 평균값은 평균기온  $-9.69^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-15.7^{\circ}\text{C}$ 였다. 저온 피해가 없었던 지역의 최저점일 평균기온은  $-9.9^{\circ}\text{C}$ , 최저기온 평균  $-15.41^{\circ}\text{C}$ 였다. 최저점일 기준 3일 평균값은 평균기온  $-8.41^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-14.33^{\circ}\text{C}$ 이며, 5일 평균값은 평균기온  $-6.69^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-12.85^{\circ}\text{C}$ 였다. 두 지역의 기온 차는 최저점일에 가장 컸으며(평균기온  $3.74^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $3.61^{\circ}\text{C}$  차이), 3일 평균(평균기온  $3.5^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $3.4^{\circ}\text{C}$  차이) 그리고 5일 평균(평균기온  $3^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $2.85^{\circ}\text{C}$  차이) 값일수록 그 차이는 감소하였다(Table 8).

**Table 5.** Temperatures by province in winter 2020(B) (December 2020, January 2021, February 2021) compared to temperature data from the past 30 years(A) (unit: °C)

	Average Temperature		Minimum temperature		Lowest Temperature	
	A	B	A	B	A	B
Gyeonggi-do	-2.73	-3.01	-7.2	-7.99	-14.76	-18.69
Gangwon-do	-3.08	-3.44	-8.06	-8.84	-15.99	-19.15
Chungcheongnam-do	-1.5	-1.66	-6.34	-7.01	-13.87	-19.68
Chungcheongbuk-do	-2.84	-3	-7.89	-8.64	-15.52	-18.86
Jeollabuk-do	-0.98	-0.64	-5.66	-5.76	-13.3	-19.27
Jeollanam-do	1.52	1.87	-2.35	-2.7	-8.45	-13.22
Gyeongsangbuk-do	-0.59	-1.05	-5.36	-6.31	-12.35	-15.36
Gyeongsangnam-do	1.42	1.38	-3.36	-3.8	-9.75	-13.59
Jeju-do	6.04	6.7	3.11	3.45	-1.54	-3.48

**Table 6.** Comparison of average and minimum temperatures in areas with and without bamboo cold damage (unit: °C)

	Average Temperature		Minimum temperature	
	30-year average	2020년	30-year average	2020년
Damaged area	0.48	0.99	-4.4	-4.14
No-damaged area	1.89	2.07	-3.45	-3.71

**Table 7.** Comparison of 10-day temperature(°C) between regions with and without bamboo cold damage

		Average Temperature						Minimum temperature					
		Damaged region			No-damaged region			Damaged region			No-damaged region		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Dec.	1st~10th	2.69	1.85	-0.84	3.73	2.80	-0.93	-2.13	-2.73	-0.60	-1.56	-3.26	-1.70
	11th~20th	1.05	-0.80	-1.85	2.35	0.20	-2.15	-3.60	-5.11	-1.51	-2.96	-5.32	-2.36
	21st~31st	0.08	0.43	0.35	1.42	1.14	-0.28	-4.63	-4.13	0.50	-3.83	-4.22	-0.39
Jan.	1st~10th	-1.00	-6.22	-5.22	0.54	-3.72	-4.26	-5.84	-11.85	-6.01	-4.70	-9.33	-4.63
	11th~20th	-0.78	-0.66	0.12	0.74	0.62	-0.12	-5.43	-6.03	-0.60	-4.34	-5.59	-1.25
	21st~31st	-0.95	4.00	4.95	0.53	4.45	3.92	-5.69	-0.67	5.02	-4.49	-0.61	3.88
Feb.	1st~10th	-0.47	1.30	1.77	1.18	2.58	1.40	-5.37	-4.03	1.34	-4.30	-3.43	0.87
	11th~20th	1.21	2.69	1.48	2.70	3.83	1.13	-4.06	-2.83	1.23	-3.05	-2.50	0.55
	21st~28th	3.30	6.60	3.30	4.64	7.70	3.06	-2.20	0.77	2.97	-1.23	1.73	2.96

A: Temperature over the past 30 years B: Winter temperature in 2020 C: Temperature differences (B-A)

**Table 8.** Comparison of 3-day and 5-day averages based on the lowest and lowest temperatures of the winter 2020 (unit: °C)

	Damaged region		No-damaged region	
	A	B	A	B
Lowest temperature day	-13.64	-19.02	-9.9	-15.41
3-day average based on lowest temperature day	-11.91	-17.73	-8.41	-14.33
5-day average based on lowest temperature day	-9.69	-15.7	-6.69	-12.85

A: Average Temperature, B: Minimum temperature

### 3.4. 담양군의 대나무

전라남도 담양군의 대나무 면적은 874 ha로 하동군(1,056 ha)에 이어 우리나라에서 두 번째로 넓다. 특히 2015년 세계 대나무 박람회 개최되었고, 깃대종(flagship species)으로서 대나무의 지위는 다른 어떤 지역보다 확고하다. 2021년 1월 담양군에서도 대나무 저온 피해가 광범위하게 발생하였다. 죽녹원을 비롯한 대나무를 주제로 한 유명 관광지과 일반 산지 및 도로 주변에서 누렇게 변한 대나무를 쉽게 확인할 수 있었다(Fig. 6). 대나무로 상징되는 담양군의 대나무 저온 피해 발생은 타 지역과 비교해 그 의미가 작지 않다. 이러한 담양군의 과거 겨울 기온 자료와 2020년 겨울을 비교한다면 대나무 저온 피해 발생 원인을 대략적이거나 역추적할 수 있을 것으로 본다.

담양군의 기온 관측 자료(AWS)는 지난 1998년 12월 1일부터 2021년 2월까지 총 23년간의 자료를 확보하였다. 이 시기 평균 겨울 기온은 1.36°C였으며, 평균 최저기온은 -4.12°C이다. 평균기온이 가장 기온이 낮았던 해는 2012년 겨울(-0.56°C)이었으며, 가장 따뜻했던 해는 2019년 겨울(3.50°C)이었다. 평균 최저기온은 2010년 겨울이 -6.07°C로 가장 추웠으며, 2019년 겨울이 -1.88°C로 가장 높았다. 지난 2020년 겨울 평균기온은 1.63°C, 평균 최저기온은 -4.24°C로 평균기온의 경우 지난 23년 중 10번째로 따뜻했으며, 평균 최저기온은 13번째로 추웠다. 또한 2020년 겨울 중 평균기온인 1.36°C보다 낮았던 날은 34일로 2011년 54일, 2012년 57일과 비교하면 많지 않았다. 최저기온도 마찬가지로 평균 최저기온인 -4.12°C보다 추웠던 날은 2020년 46일로 2009년 54일, 2010년 55일, 2011년 56일, 2012년 59일 등에 비하면 역시나 적다. 이러한 자료를 근거로 2020년 담양의 겨울 기온은 전반적으로 예년 수준의 추위로 결코 추운 겨울은 아니었다.

그러나 1월 7일부터 10일까지 지속된 한파는 예년과 완전히 달랐다. 1월 6일 -3.1°C였던 담양의 평균기온은 7일 -9.9°C로 떨어졌고, 8일 -12.3°C로 가장 낮았다. 9일 -10.7°C, 10일 -7.6°C였다. 2021년 1월 8일 평균기온은 지난 23년 중 가장 낮았고, 9일이 바로 다음이다. 이전 가장 추웠던 날은 2003년 1월 22일 -10.6°C였다. 담양의 평균기온이 이틀 연속 -10°C 이하는 이때가 처음이었다. 최저기온의 경우 그 차이는 더욱 극명하다. 1월 6일 -8.1°C였던 최저기온은 7일 -18.1°C로 10°C가 낮아졌으며, 8일 -19.1°C로 가장 낮았다. 그리고 9일 -16.7°C, 10일 -15.2°C였다. 해당 한파 이전 담양군의 최저기온이 -15°C 이하로 떨어진

것은 지난 23년간 단 6회였으며, 2015년 1월 25일 -16.2°C가 가장 낮았다. 2021년 1월 한파 기간 중 최저기온은 4일 연속 -15°C 이하였으며, 지금까지 -15°C 이하가 이틀 이상 지속된 날은 이때가 처음이었다.

### 3.5. 겨울 기온과 대나무 분포

대나무의 저온 피해 원인은 주로 대나무의 생리적, 구조적 특징과 관련이 있다. 특히 동결과 해동 과정에서 대나무의 섬유질과 세포에 변화가 발생하고 그로 인해 물리적 강도에 변화가 생긴다(Wu et al., 2021). 또한 저온에 노출될 때 광합성률은 감소하고 세포막 손상이 관찰된 것으로 보고된바 있다(Wu et al., 2023; Wu et al., 2024). 우리나라에서 대나무류는 1월 일 평균 최저기온이 -8°C 이하에서는 왕대속과 이대속이 그리고 -18°C 이하에서는 조릿대속을 포함한 모든 대나무류가 분포하지 않는다(Kong, 1985). 또한 최저 생존 기온을 최저 -10°C로 보는 견해도 있으며, 그 이하의 환경에서는 잎 세포의 물이 동결해 부피팽창을 하고 광합성 능력이 떨어진다(Ryu, 2005).

그렇다면 대략 어느 정도 기온에서 대나무 저온 피해는 발생하는 것일까? 저온 피해지역 중 가장 남쪽에 해당하는 담양군과 그 주변 지역의 기온 자료를 비교해 봄으로써 대략적인 기온 현황을 살펴보았다. 유례없는 저온 피해가 광범위하게 발생한 담양의 경우 가장 추운 날을 기준으로 3일간 평균기온이 -10.97°C, 최저기온 -17.97°C였다. 반면 관측 이래 가장 추웠지만 저온 피해가 발생하지 않은 경상남도 하동군은 평균기온 -6.73°C, 최저기온 -12.3°C로 담양과의 기온 차가 확연하다. 하동에서 담양으로 이동하면서 순천, 석곡, 옥과를 지나게 되는데, 곡성군 석곡면까지는 대나무 저온 피해가 보이지 않았다. 석곡면을 지나 북쪽으로 향하면서 서서히 노랗게 변한 대나무가 보이기 시작하며 옥과면에서는 그 정도가 확연하다. 한파 기간 순천의 평균기온은 -7.07°C, 최저기온 -10.97°C였으며, 석곡면 평균기온 -9.47°C, 최저기온 -15.73°C 그리고 저온 피해가 보이기 시작하는 옥과면 평균기온 -11.87°C, 최저기온 -18.47°C였다. 더불어 저온 피해가 확인된 장성군의 경우 평균기온 -10.23°C, 최저기온 -15.13°C였으며, 피해가 발생하지 않은 나주시는 평균기온 -9.47°C, 최저기온 -15.87°C였다. 나주의 경우 장성보다 최저기온은 낮았으나, 평균기온은 높았다.

담양을 중심으로 주변 지역의 기온을 살펴보면 대략 3일 평균기온 -10°C 이하, 평균 최저기온 -15°C 이하의 지역에서부터 본격적인 저온 피해가 발생한 것으로 보인다. 이와 같은 조건을 동해안에 적용했을 때 대



Fig. 6. Low-temperature damage to bamboo in Damyang-gun. Damyang-gun Gyosan-ri village (left), Juknokwon (middle), and bamboo inside Juknokwon (right) (photographed on March 23, 2021).



Fig. 7. Comparison of bamboo (*Phyllostachys* sp.) recovering from low-temperature damage. The two photos on the left were taken in Damyang-gun, Jeollanam-do, and the two photos on the right were taken in the Magoksa area of Gongju-si, Chungcheongnam-do.

나무 저온 피해가 확인된 속초(평균기온  $-11.77^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-15.5^{\circ}\text{C}$ )와 그렇지 않았던 강릉(평균기온  $-9.8^{\circ}\text{C}$ , 최저기온  $-13.67^{\circ}\text{C}$ )의 기상자료 관측값에도 부합된다. 하지만 기상 관측 장비가 설치된 지점별 환경 차이 등도 고려되어야 하기 때문에 본 연구에서 제시하는 기온 값은 2021년 1월 한파에 대한 최점일 3일 기준 평균값으로 한정해 다룰 필요도 있다.

더불어 최저기온보다는 평균기온에 좀 더 주목할 필요가 있다고 본다. 대나무 저온 피해가 발생한 전주와 장성의 일 평균기온은  $-10.97^{\circ}\text{C}$ 와  $-10.23^{\circ}\text{C}$ 였고, 일 평균 최저기온은  $-15.27^{\circ}\text{C}$ 와  $-15.13^{\circ}\text{C}$ 였다. 반면 대나무 저온 피해가 없었던 나주와 해남의 경우 일 평균기온이  $-9.47^{\circ}\text{C}$ 와  $-9.23^{\circ}\text{C}$ 였으나 일 평균 최저기온은 전주와 장성보다 낮은  $-15.87^{\circ}\text{C}$ 와  $-15.67^{\circ}\text{C}$ 였다. 위도상 남쪽인 나주와 해남의 3일 평균 최저기온이 더 낮았다. 이와 같은 결과는 특정 온도 이하에 얼마나 노출되었는가가 저온 피해에 큰 영향을 주는 것으로 추론이 가능하다. 즉 최저기온의 경우 일시적인 기온 하강에 따른 것이기 때문에 지속 시간이 평균기온보다는 덜 반영한다고 하겠다. 이런 점에서 평균기온 값에 대한 중요성이 최저기온 보다 더 크다고 하겠다.

저온 피해가 발생한 지역과 그렇지 않은 지역 각 12곳에 대한 2020년 겨울 평균기온과 최저기온을 비교(Mann-Whitney test)한 결과 평균기온은 두 집단(피해가 발생한 지역과 그렇지 않은 지역)의 유의한 차이가 확인되었으나( $p=0.000$ ), 최저기온( $p=0.185$ )은 그렇지 않았다. 이러한 결과를 통해서도 집단 간 평균기온의 차이가 저온 피해 발생에 더 큰 영향을 주었을 것으로 유추할 수 있다.

#### 4. 결론

이 연구는 2020년 겨울(2020년 12월 ~ 2021년 2월) 충청남도과 전라북도를 중심으로 광범위하게 발생한 대나무류 저온 피해 현황을 기온 관측자료를 통해 살펴보고 그 특징을 분석하고자 하였다. 일반적으로 연평균 기온과 강수량은 대나무 분포를 결정하는데 가장 중요한 환경 변수다(Li et al., 2019; Shi et al., 2020). 이번 연구에서는 현지 조사를 통해 충청남도과 전라북도 전 지역, 전라남도 영광, 장성, 담양, 곡성까지 대나무 저온 피해가 광범위하게 하게 발생한 것을 확인하였으며, 동쪽으로는 소백산맥의 서쪽을 중심으

로 피해 분포역이 명확하게 구분됨을 확인하였다. 경상남북도 일부 지역과 동해안 강릉 북쪽 지역에서도 대나무류 저온 피해가 일부 확인되었으나, 충청남도와 전라북도와 같은 극심한 피해 양상은 볼 수 없었다.

본 연구에서 주목한 2020년 12월부터 2021년 2월까지는 예년과 비교하여 그 기온이 평년 수준의 겨울이었다. 그러나 2021년 1월 7일부터 10일까지 전국적으로 매우 강한 한파가 있었고, 이때 충청남도와 전라북도 대부분의 대나무에 저온 피해가 발생했다. 당시 한파는 우리나라 많은 곳에서 지난 30년간 가장 추웠던 날로 기록되었다. 특히 당시 충청남도와 전라북도의 기온이 경기도와 강원도 보다 낮았다는 것은 매우 이례적이었다.

이번 연구에서는 당시의 기온 자료를 지역별로 비교 분석하여 한파가 절정에 이른 날을 기준으로 대략 3일 평균기온  $-10^{\circ}\text{C}$  이하, 평균 최저기온  $-15^{\circ}\text{C}$  이하를 대나무 저온 피해 발생 조건으로 제시하였다. 그러나 일시적으로 찾아오는 겨울철 한파는 그 강도와 기간이 항상 다르고 지역별로도 차이가 커서 해당 조건을 모든 지역의 대나무에 적용할 것인가는 의문이다. 이는 본 연구의 한계점으로 지적할 수 있다. 그럼에도 불구하고 이 연구는 2021년 1월의 사례로 대략적인 기온 조건을 제시함으로써 앞으로 한파에 따른 대나무 저온 피해를 예측하고 또 향후 자료와 비교할 수 있는 선행 연구로서 의미를 가진다고 판단한다.

한파 발생의 기간과 강도 그리고 지역별 지리적 특성 등을 고려하기 위해서는 실험실 내에서 실험적 연구를 통한 정량적 수치를 산출해 극복할 수 있을 것으로 본다. 그리고 후속 연구를 통해 살펴볼 또 하나의 내용으로 저온 피해 이후 대나무 숲이 저온 피해 이전으로 회복되는 시간에 관한 연구도 흥미로운 주제가 될 것으로 본다. 담양을 포함한 저온 피해지역 대부분은 2021년 봄부터 새잎이 나면서 빠르게 회복되었다. 그러나 위도가 높은 일부 지역은 그 회복 속도가 상대적으로 느린 것도 확인되었다. 충청남도 지역의 대나무 회복 속도는 전라북도보다 상대적으로 느렸다. 특히 충청남도 공주시 사곡면 호계리 일대의 경우 2021년 1월 이후 1년이 지난 2022년 3월까지도 이전 모습으로 회복되지 못했고 최근에서야 새잎이 자라기 시작한 것을 확인하였다(Fig. 7). 그리고 전라북도 정읍시 태인면 오봉리와 낙양리 일대 대나무 숲의 경우 같은 마을이라도 회복 정도에 차이가 있었다. 이와 같은 결과는 한파 정도에 따라 이듬해 회복되는 양상이 달라질 수 있음을 보여주며, 같은 지역일지라도 대나무 숲 주변 미기상 현황에 따라 회복 차이가 다르다는 것이

확인되어 지역 간 환경 변수가 적지 않은 것으로 판단된다.

대나무 저온 피해는 병충해와는 달리 뿌리까지 얼지 않는다면 빠르게 회복되기 때문에 미관상 문제 외에는 큰 경제적 손실이나 종다양성의 감소 등 심각한 문제는 아니라고 본다. 그러나 최근 기후변화에 따른 이상기후의 지표가 될 수 있다는 점이 주목되며, 대나무가 아닌 다른 식물종들에게도 심각한 기후 재해로 다가올 수 있다는 점을 간과해서는 안 될 것이다. 겨울 중 갑자기 찾아오는 한파는 사전 예측이 쉽지 않기 때문에 이와 관련된 연구는 대부분 사후 연구 중심으로 이루어질 수밖에 없다. 이 때문에 예측하기 어려운 기후재해 발생 이전에 관련 자료를 축적해두는 등의 선제적인 보전 전략이 필요해 보인다.

## REFERENCES

- Bystriakova, N., Kapos, V., Lysenko, I., 2003, Distribution and conservation status of forest bamboo biodiversity in the Asia-Pacific Region, *J. Biodivers. Conserv.*, 12, 1833-1841.
- Clark, L. G., Oliveira, R. P., 2018, Diversity and evolution of the new world bamboos, In *Proceedings World Bamboo Congress, Mexico*.
- Heo, I. H., Kwon, W. T., Chun, Y. M., Lee, S. H., 2006, The impact of temperature rising on the distribution of plant-in case of bamboos and Garlics-, *J. Environ. Impact Assess*, 15, 67-78.
- Kong, W. S., 1985, A Phytogeographical study on the distribution of bamboos in the Korean Peninsula, *J. Ecol. Environ.*, 8, 89-98.
- Kong, W. S., 2001, Spatio-temporal distributional changes of bamboo, *JKGS*, 36, 444-457.
- Korea forest service, 2020, Basic forest statistics.
- Korea national arboretum, 2017, Checklist of vascular plants in Korea.
- Li, X., Mao, F., Du, H., Zhou, G., Xing, L., Liu, T., Han, N., Liu, Y., Zhu, D., Zheng, J., Dong, L., Zhang, M., 2019, Spatiotemporal evolution and impacts of climate change on bamboo distribution in China, *J. Environ. Manage.*, 248, 1-10.
- National Institute of Biological Resources, 2020, National list of species of Korea.
- Ryu, S. H., 2005, Forest vegetation of the Korean Peninsula(2): Bamboo community, *Forest and Culture*, 14, 9-12.
- Shi, P., Preisler, H. K., Quinn, B. K., Zhao, J., Huang, W., Roll, A., Cheng, X., Li, H., Holscher, D., 2020, Precipitation is the most crucial factor determining the distribution of moso bamboo in Mainland China, *Glob. Ecol. Conserv.*, 22, 1-15.

- Wi, H. R., Kim, S. Y., Kim, H. Y., Yu, H. J., Park, J. Y., Song, Y. S., Yang, A. Y., Yoo, H. M., 2015, A Study of vegetation changes according to future climate change focus on crop of the warm temperate zone and crop of subarctic regions, *The Journal of Applied Geography*, 32, 1-25.
- Wu, J., Wang, X., Fei, B., Xu, X., Lian, C., Chen, H., 2021, The mechanical properties and thermal conductivity of bamboo with freeze-thaw treatment, *J. Wood Sci.*, 67, 66.
- Wu, P. R., Hwang, S. G., Chen, C. L., Lin, H. L., 2024, Effects of storage duration and temperature on browning and quality of postharvest bamboo shoots, *Horticulturae*, 10, 616.
- Wu, Y., Li, J., Yu, L., Wang, S., Lv, Z., Long, H., Zhai, J., Lin, S., Meng, Y., Cao, Z., Sun, H., 2023, Overwintering performance of bamboo leaves, and establishment of mathematical model for the distribution and introduction prediction of bamboos, *Front. Plant Sci.*, 14, 1255033.
- Yoo, B. O., 2018, Evaluation of bamboo resources in Korea and implications, *National institute of forest science*, 102, 1-26.
- Yoo, B. O., Park, J. H., Park, Y. B., Jung, S. Y., Lee, K. S., Kim, C. S., 2017, Assessment of expansion characteristics and classification of distribution types for bamboo forests using GIS, *Journal of the KAGIS*, 20, 55-64.

- 
- Researcher. Hyun-Hee Kim  
Agricultural and Fishing Community Revitalization  
Department, Jeonnam Research Institute  
hyunheekim24@gmail.com
  - Research fellow. Jae-Gyun Koo  
Climate Change and Carbon Research Team, National  
Institute of Ecology  
93koojg126@nie.re.kr
  - Project Manager & Researcher. Da-Bin Kim  
Educational Center, Econow  
duro11@naver.com
  - Director of the Institute. Woo-Seok Kong  
Climate Change Ecosystem Research Institute  
wskong@khu.ac.kr