

한국농림기상학회지 수록 논문에 기반한 산림기상 연구 추세와 전망

문나현¹ · 신만용¹ · 문가현² · 천정화^{3*}

¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림산업연구과, ³국립산림과학원 연구기획과
(2019년 9월 2일 접수; 2019년 9월 24일 수정; 2019년 9월 26일 수락)

Trends and Prospects of Forest Meteorological Studies Based on the Publications in Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology

Na Hyun Moon¹, Man Yong Shin¹, Ga Hyun Moon² and Junghwa Chun^{3*}

¹Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

³Division of Forest Research Planning and Coordination, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

(Received September 2, 2019; Revised September 24, 2019; Accepted September 26, 2019)

ABSTRACT

This study was conducted to review the trends of forest meteorological studies based on the publications for last 20 years in Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology (KJAFM), and to provide insight for future prospect for researches in the field of forest meteorology. A total of 220 papers related to forest meteorology were published in KJAFM for the last 20 years. That corresponds to 33.5% out of all the papers including agricultural meteorology papers. To review the trends of forest meteorology studies, the 220 published papers were classified into seven categories. They are forest meteorology and forest fire, forest meteorology and tree physiology, forest meteorology and forest protection, micrometeorology in mountain area, climate and forest growth, climate and forest vegetation distribution, and climate change and forest ecosystem. Even if there were differences in paper numbers among the seven categories, it was found that various and very specific studies were conducted in the field of forest meteorology for the last 20 years. It was also expected that the accumulation and utilization of various and accurate forest meteorological information would bring remarkable progress of forest meteorological studies in the near future.

Key words: Forest meteorology, Forest climate, Research trends and prospects, Paper review

I. 서 론

농림기상학은 기상조건에 크게 영향을 받는 농림업 그리고 산림 및 농업생태계와 기상의 관계를 구명하기 위해, 기초 및 응용과학을 적용하는 학문분야이다. 한

국농림기상학회는 우리나라 농업 및 임업분야에 특성화된 기상 연구와 정보교류의 필요성에 따라 1999년 3월에 창립되었으며, 같은 해 9월 한국농림기상학회지 창간호를 발간하였다. 특히 학회지 창간 초기 회원들의 적극적인 참여와 학문적 기여를 통해 2002년 12



* Corresponding Author : Junghwa Chun
(chunjh69@gmail.com)

월 학술진흥재단 등재후보지에 선정되었으며, 2005년 12월에는 학술진흥재단 등재지(KCI)에 선정되는 등 매우 짧은 기간 동안에 학술지로서의 학문적 가치를 인정받으면서 성장과 발전을 거듭하여 왔다. 그 결과 한국농림기상학회지는 지난 20년 동안 매년 4회 분기별로 학회지를 발간하여, 2018년 12월 현재 총 20권 78호까지 619편의 논문이 게재되는 등 지속적으로 발전을 거듭하여 왔다.

한국농림기상학회지의 투고규정에는 기상과 기후를 농업과 임업에 적용하는 학제적인 분야의 연구논문, 단보, 그리고 총설을 게재할 수 있다고 논문의 범위를 정하고 있다. 그동안 한국농림기상학회지에 투고되어 게재된 논문의 대부분은 연구논문이 압도적으로 많은데, 연구논문의 구체적인 연구 분야는 학회지의 학문적 특성을 고려하여 식물군락에서의 복사 수송, 증발산, 에너지와 질량 수송, 군락 상하부의 공기의 운동 및 난류, 산불과 기상의 상호작용, 식생분포와 기후, 식물 계절학, 비닐하우스 에너지 수지와 미기후, 기후와 성장과의 관계, 식물 및 동물 관련 생물기상, 그리고 기후변화와 농업 또는 산림생태계 간의 상호작용을 포함하는 등 매우 광범위한 연구 분야를 포괄하고 있다.

농업분야와 마찬가지로 산림분야의 경우 기상 및 기후조건은 산림의 현상을 이해하고, 미래를 예측하는데 필요한 매우 중요한 요소이다. 특히 산림기상과 기후는 산림식생의 분포와 성장에 큰 영향을 미친다. 지난 20년 동안 품질이 높은 산림기상 정보를 수집하기 위한 다양한 노력을 기울인 결과 많은 학문적 발전과 변화를 가져온 것이 사실이다. 즉, 산악기상관측망의 확충, 산림수치기후도의 제작, 기후변화 시나리오의 적용, 그리고 다양한 모델의 개발 및 적용을 통해 산림기상 분야의 연구 범위의 확대는 물론 연구 결과의 품질도 향상시켜 왔다. 이러한 학문 발전의 추세에 따라 한국농림기상학회지에 게재된 산림기상 분야의 논문도 다양한 주제를 다루고 있는데, 산림기상 및 기후 조건에 따른 산림의 성장, 식생분포, 산림생태계의 기작, 산불, 수목의 생리적 현상, 산림보호, 산악지역의 미기후 등이 포함되어 있다.

본 논문은 지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 산림기상 관련 논문을 구체적으로 분석하여 그동안 수행된 산림기상 분야의 연구 추세를 진단함과 동시에 앞으로의 연구 방향을 전망하는 것을 목적으로 하였다. 이를 통해 지난 20년 동안의 산림기상 연구

분야에 대한 평가와 함께 학회 및 학회지의 새로운 발전과 도약에 필요한 정보를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 분석 자료

지난 20년 동안 산림기상 분야에서 수행된 연구의 학문적 추세 분석과 앞으로의 발전 전망을 위해, 본 연구에서는 한국농림기상학회지에 게재된 산림기상 관련 논문을 분석하였다. 한국농림기상학회지에 게재된 논문 중의 일부는 산림기상 분야와 농업기상 분야의 논문으로 명확하게 구분하기가 어려운 것도 포함되어 있다. 본 연구에서는 저자의 연구 분야와 연구 대상 지역을 감안하여 산림기상 및 농업기상 논문으로 구분하였다. 일부 논문의 경우, 저자의 연구분야가 모두

Table 1. Classification of yearly publications in Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology

Year	Forest Meteorology	Agricultural Meteorology	All
1999	10	10	20
2000	5	17	22
2001	11	19	30
2002	13	18	31
2003	18	18	36
2004	9	22	31
2005	20	16	36
2006	15	19	34
2007	11	18	29
2008	8	15	23
2009	7	22	29
2010	7	21	28
2011	11	13	24
2012	13	20	33
2013	12	22	34
2014	20	25	45
2015	14	27	41
2016	11	26	37
2017	3	27	30
2018	2	24	26
Sum	220	399	619

농림기상 분야인 경우에도 산림을 대상으로 수행된 연구 결과는 산림기상 분야의 논문으로 간주하여 분석을 실시하였다.

Table 1은 연도별 총 게재 논문의 편수와 이를 산림기상과 농업기상 논문으로 분류하여 요약한 결과이다. 한국농림기상학회지는 1999년부터 2018년까지 20년 동안 총 619편이 게재되었는데, 이는 연간 평균 약 31편이 발간된 것이다. 그 중에서 산림기상 관련 논문은 총 220편으로 이는 전체의 35.5%에 해당되며, 연간 약 11편이 게재된 것으로 분석되었다. 반면에 농업기상 분야의 논문은 총 399편으로 연간 약 20편의 논문이 게재되어 산림기상 분야보다는 더 많은 논문에 게재된 것으로 확인되었다.

2.2. 분석 방법

지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 논문 중에서 산림기상 관련 논문으로 평가된 총 220편의 논문을 대상으로, 세부 전공분야를 분류하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 한국농림기상학회의 투고 규정에는 학회의 특성에 맞추어 다양한 논문의 범위를 지정하고 있다. 하지만 특정 논문의 경우 투고 규정에 따라 분류하기가 애매한 경우가 있어, 본 연구에서는 산림기상 논문의 범주를 7개 분야로 분류하여 정리하였다.

산림과 관련하여 기상과 기후의 차이는 매우 중요한 의미를 갖는다. 기상은 대기 중에서 일어나는 물리적인 현상을 통틀어 이르는 말로, 어느 장소에서 단기간에 걸친 대기의 변화 상태를 의미한다. 반면에 기후는 날씨의 총체적인 것을 내포하는 개념으로, 넓은 지역 또는 장기간에 걸쳐서 나타나는 대기의 종합 상태를 말하는데, 보통 30년 동안의 평균값을 말하는 평년값으로 나타내는 것이 일반적이다. 이러한 기상과 기후의 차이를 고려하여 기상조건이 산림에 미치는 영향과 관련된 논문의 범위를 산림기상과 산불(Forest Meteorology and Forest Fire), 산림기상과 수목생리(Forest Meteorology and Tree Physiology), 산림기상과 산림보호(Forest Meteorology and Forest Protection), 그리고 산악지역 미기상(Micrometeorology in Mountain Area)의 4개 범주로 분류하였다. 한편 기후와 관련된 산림기상 관련 논문의 범주는 기후와 산림성장(Climate and Forest Growth), 기후와 산림식생분포(Climate and Forest Vegetation Distribution), 그리고 기후변화와 산림생태계(Climate Change and Forest

Ecosystem)의 3개 범주로 분류하였다. 이러한 방법을 통해 지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 산림기상 관련 논문을 총 7개의 세부 연구 분야로 구분하여 분석함으로써, 산림기상 분야의 연구추세를 진단함과 동시에 앞으로의 연구 방향을 전망하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 산림기상 연구의 추세 분석

산림기상 관련 연구 결과에 근거한 논문이 모두 한국농림기상학회에만 게재되는 것은 아니다. 우리나라 산림기상과 관련된 연구 결과는 외국의 저명 학회지뿐만 아니라 국내 유명 학회지인 한국산림과학회지에도 게재되는 경우가 있다. 따라서 한국농림기상학회지에 게재된 논문만으로 산림기상 분야의 전체적인 연구 추세를 평가하는 것이 합당한가에 대한 의문이 있지만, 한국농림기상학회지가 산림기상 분야에 특화된다는 것을 감안하면, 본 논문에서 분석한 내용은 일반적인 추세를 반영한 것으로 해석해도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

Table 2는 1999년부터 2018년까지 한국농림기상학회지에 게재된 산림 기상 관련 논문 220편을 7개의 세부 연구 분야로 구분하여 연도별 발간 결과를 요약한 결과이다. 전체적으로 보면, 산림기상과 수목생리 분야의 논문이 총 54편(24.5%)으로 가장 많고, 기후와 산림생장이 49편(22.3%), 그리고 산악지역 미기상이 47편(21.4%)으로, 이 3개 분야의 논문이 전체의 68.2%를 차지하는 것으로 평가되었다. 반면에 기후변화와 산림생태계 관련 논문은 10편(4.5%)으로 가장 적은 것으로 분석되었으며, 산림기상과 산불이 16편(7.3%), 산림기상과 산림보호가 21편(9.5%), 그리고 기후와 산림식생분포가 23편(10.5%)으로 다른 분야에 비해 상대적으로 적은 편수의 논문이 게재된 것으로 나타났다.

연구 분야별 게재 논문의 연도별 추이를 보면, 많은 게재논문 편수를 나타낸 산림기상과 수목생리, 기후와 산림성장, 그리고 산악지역의 미기상 분야는 지난 20년 동안 연도별로 꾸준히 발표되었지만, 게재 편수가 적은 연구 분야는 연도별 편차가 큰 것으로 나타났다. 이는 해당 연구 분야의 환경과 관련이 있는 것으로 판단된다. 일부 연구 분야는 해당 분야의 연구 필요성이 인식되어 지속적으로 오랜 기간 연구에 필요한 자료가 축적되어 있는 반면, 우리나라의 경우 산불 관련

Table 2. Classification of yearly publications by the study areas of forest meteorology in Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology

Year	Forest Fire	Tree Physiology	Forest Protection	Micro-meteorology in Mountain Area	Forest Growth	Forest Vegetation Distribution	Climate Change and Forest Ecosystem	Sum
1999	0	2	1	2	4	1	0	10
2000	1	1	0	1	2	0	0	5
2001	1	4	1	2	3	0	0	11
2002	0	3	4	2	3	1	0	13
2003	2	6	1	3	2	4	0	18
2004	1	3	1	0	0	4	0	9
2005	1	7	2	4	4	2	0	20
2006	1	4	4	1	2	2	1	15
2007	0	1	0	7	2	1	0	11
2008	0	4	0	2	2	0	0	8
2009	1	3	0	3	0	0	0	7
2010	0	1	0	4	1	1	0	7
2011	1	4	2	1	2	1	0	11
2012	2	1	1	0	7	1	1	13
2013	1	2	0	2	3	2	2	12
2014	2	5	0	5	4	3	1	20
2015	1	1	3	2	4	0	3	14
2016	1	2	0	3	3	0	2	11
2017	0	0	1	1	1	0	0	3
2018	0	0	0	2	0	0	0	2
Sum	16	54	21	47	49	23	10	220

연구나 기후변화 관련 연구와 같은 특정 분야는 최근에 중요성이 이슈화 되었을 뿐만 아니라 자료의 수집 및 분석에 상당한 시간이 소요되기 때문에 상대적으로 연구 결과를 도출하는데 많은 시간이 필요하여 상대적으로 적은 편수의 논문이 게재된 것으로 판단된다.

3.2. 분야별 연구 추세

3.2.1. 산림기상과 산불

산불은 풍속, 습도, 그리고 기온 등의 기상조건과 산불의 연료가 되는 임내 가연성 물질 등 연소 환경과 밀접한 연관이 있다. 우리나라는 짧은 기간 동안 인공적인 산림복원을 성공한 후, 산림이 울창해지면서 건조한 계절에 산불이 빈번하게 발생되고 있다. 이로 인해 산림재해 예방과 관련하여 산불 분야의 연구는 최근 그 중요성이 강조되고 있다. 특히 1996년 강원도

고성지역의 대형 산불을 시작으로 2000년에는 동해안 일대의 초대형 산불이 발생하여 2000년 이후에 산불의 발생, 예측, 복원 방법 등 다양한 연구가 수행되어 왔다.

지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 산불 관련 논문은 총 16편인 것으로 파악되었다. 우리나라 산불 발생 역사상 최대 규모라고 일컬어지는 동해안 산불이 2000년 4월에 발생한 이후, Lim (2000)은 동해안 산불과 기상에 대한 논문을 발표하면서 동해안 산불의 개요 및 원인을 설명하고, 가장 산불에 영향을 많이 미친 기상조건으로 바람의 영향을 언급하였다. 이와 함께 대형 산불방지 대책으로 내화수림대의 조성을 제안하였다. 한편 동해안 산불과 관련하여 Lee *et al.*(2001)은 산불발생인자의 지역별 유형화를 시도하였다. 산불이 발생한 이후 산림복원과 관련된 논문도

게재되었는데, 고성 산불지역의 소나무 치수 자연복원 패턴(Lim *et al.*, 2012)과 복원방법이 미기후에 미치는 영향 등에 대한 연구(Kim *et al.*, 2015)가 수행되었다.

산불을 방지하고 예측하기 위한 산악기상관측시스템의 구축과 산불발생확률모형의 개발, 산불발생지수 등과 같은 연구논문이 산불 관련 논문 16편 중에서 5편이 게재되었다. 이는 산불 발행 이후 다양한 산불 관련 통계자료가 누적됨에 따라 이러한 자료에 근거하여 다양한 예측모형을 개발하고 산불위험지수를 추정하는 등의 연구가 활발히 진행되고 있음을 의미하는 결과이다. 대면적에 발생하는 산불의 특성을 감안하여 유체역학모형을 이용한 산악지역의 상세 바람 흐름 모사 그리고 위성영상을 이용한 산불 피해강도 분석(Won *et al.*, 2014) 등과 같은 과학기술을 접목한 산불 관련 연구도 수행되어 왔다. 그 밖의 연구로는 산불확산과 관련된 논문이 많은데, 지형구조와 임분밀도(Song *et al.*, 2014), 지형조건과 산불의 방향 분석, 산불확산에 미치는 생태학적 요소들 간의 민감도 분석, 산불확산에 영향을 미치는 산림연료와 경사도(Chae and Lee, 2003) 등과 같은 다양한 연구가 수행되었다.

전체적으로 요약하면, 지난 20년 동안 게재된 산림 기상과 산불 관련 연구논문은 총 16편이다. 이 중에서 우리나라에 대형 산불이 발생한 직후인 2000년대 초반에는 산불발생의 원인과 특성에 관련된 논문이 많이 게재되었으며, 2010년 이후에는 산불발생예측모형 개발 등과 같은 방지 대책과 관련된 연구가 주를 이루고 있다.

3.2.2. 산림기상과 수목생리

수목생리는 임목의 성장과 반응에 대한 기본 원리를 다루는 것으로, 광합성과 호흡, 탄수화물 대사, 산림토양과 무기영양, 수분생리와 증산작용, 식물호르몬 등 환경조건에 따른 다양한 대사과정이 포함된다. 이러한 수목생리의 과정에서 기상조건은 중요한 역할을 한다. 지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 산림기상 관련 논문에서 수목생리와 관련된 논문은 총 54편으로 전체의 24.5%를 차지하며, 이는 산림기상 관련 논문의 범주로 구분한 7개 영역 중에서 가장 비율이 높은 것이다.

산림기상과 수목생리 관련 논문은 주로 광 조건과 광합성, 수분 조건과 수분생리, 산림토양, 생리적 특성에 영향을 미치는 다양한 대기조건 등이 포함되어 있다. 먼저 광합성 관련 논문은 총 13편으로 분석되었는

데, 주로 다양한 광도(Je *et al.*, 2006; Son *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2008), 이산화탄소 농도 및 온도 상승(Lee *et al.*, 2014), 그리고 온도 증가와 건조 조건(Kim *et al.*, 2014)과 같은 대기환경 변화에 따른 광합성 반응을 다루고 있다. 또한 특정 지역이나 수종 또는 가로수의 광합성 특성(Kim *et al.*, 2001)을 연구한 논문도 다수 포함되어 있다.

수분생리와 관련된 논문은 총 7편으로 분석되었는데, 임지유형에 따른 소나무의 수분생리 특성(Shin *et al.*, 2004), 산림 내 증발산 특성(Kang *et al.*, 2009), 수분조건의 계절적 변이, 임분조건에 따른 물수지(Choi, 2011) 관련 논문 등 다양한 주제로 연구가 수행되었다. 산림토양과 관련된 논문도 9편이 게재되었는데, 토양 조건과 토양 이산화탄소 방출의 계절적 변화(Baek *et al.*, 2016), 토양 내 탄소 분배(Lee *et al.*, 2005), 한계논지의 토양 발생 이산화탄소와 질소 유효도(Son *et al.*, 2003), 토양 조건에 따른 생리적 변화(Song *et al.*, 2003) 등 다양한 논문이 발표되었다.

그밖에 많은 논문이 대기환경 조건의 변화가 수목의 생리적 특성에 미치는 영향을 다루고 있다. 먼저 대기 중 이산화탄소 농도의 증가에 따른 생리적 특성의 변화(Lee *et al.*, 2013; Ryu *et al.*, 2014)를 다룬 논문이 대표적이며, 다른 많은 논문은 오존, 산성비, 이산화질소, 아황산가스 등 대기오염과 수목생리 현상과의 관계를 구명하였다. 특히 오존과 관련된 논문이 총 10편으로 가장 많은데, 오존 내성 차이에 따른 생리적 변화(Han *et al.*, 2010), 오존 노출에 따른 생리적 기작의 변화(Lee *et al.*, 2005) 등 다양한 논문이 발표되었다. 그 외에도 탄수화물 배분(Han *et al.*, 2006), 입지환경에 따른 유묘의 양분 이용(Kwon *et al.*, 2014) 등 수목생리와 관련된 많은 논문이 게재되었다.

3.2.3. 산림기상과 산림보호

지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 산림 기상과 산림보호 관련 논문은 총 21편이다. 이 논문들을 세부적으로 분류하면 생물환경이 열악한 공단주변, 폐탄광지, 쓰레기 매립지 주변 산림의 환경정화 능력에 대한 논문이 7편인 것으로 분석되었다. 이들 논문은 가로수나 속성수를 이용하여 증금속 등과 같은 오염물질의 흡수 및 제거 가능성에 대한 연구를 다루고 있는데(Woo, 2003; Min *et al.*, 2005), 이 주제와 관련된 논문은 모두 2006년 이전에 게재되었다는 특징을 가지고 있다. 한편 산림보호와 관련하여 토양 산성화,

우박의 피해(Lim *et al.*, 2017), 산성우의 피해(Jin *et al.*, 2002), 그리고 고산지 바람의 영향 등과 같은 다양한 연구가 수행되어 게재된 바 있다.

기상조건과 산림병충해의 관계에 대한 논문도 일부 게재되었는데, 토양 수분과 곤충병원성선충과의 관계(Lee *et al.*, 2006) 등이 발표되었다. 이와 함께 기상조건에 따른 야생동물의 출현 및 이동 등에 대한 논문도 산림보호 분야에 포함되어 있다. 제주도의 조류 출현양상(Kim *et al.*, 2015)과 수도권에서의 산림성 조류의 통로와 연결망 분석(Kang and Park, 2015)이 게재된 대표적인 논문이다. 한편 제주도 노루에 의한 난대림의 피해에 상황에 대한 논문도 포함되어 있다.

3.2.4. 산악지역 미기상

산악지역 미기상 관련 논문은 총 47편으로 산림기상과 수목생리 그리고 기후와 산림생장 다음으로 많은 논문이 게재되었다. 산악지역 미기상 관련 논문은 산악기상 관측망, 플렉스 관측망, 산악지역의 온도조건, 수분조건, 풍속, 탄소순환, 그리고 양분 동태로 구분하여 분석하였다.

우리나라에 설치된 무인자동기상관측망(AWS)은 총 990개소이며, 이 중에서 해발고도 200m 이상의 산악지역에 배치된 산악기상관측망은 203개이다(Yoon *et al.*, 2018). 한국농림기상학회지에는 산악기상관측망의 적정위치 선정(Yoon *et al.*, 2016), 공간분포 특성, 그리고 산악기상관측정보를 이용한 기온 자료의 평가(Jang *et al.*, 2017)에 대한 논문이 게재되었다. 이와 관련하여 Lee *et al.*(2015)은 산림 미기상 해석을 위한 최적모델을 개발하여 논문을 발표하기도 하였다.

플렉스 관측망은 산림생태계와 대기 간의 상호작용으로 일어나는 물질과 에너지 교환 현상을 관측하는 기구이다(Kang *et al.*, 2018). 2000년대 초반부터 플렉스 관측기법이 도입되면서, 우리나라에도 산악지역의 플렉스 관측망이 여러 개 설치되어 국립산림과학원에서 관리하고 있다. 플렉스 관측망을 이용한 연구는 주로 플렉스 타워가 설치되어 있는 광릉 산림에서 많이 수행되었는데, 소구역의 미기후학적 특성(Choi *et al.*, 2005), 국지순환, 야간 자료보정, 토양열의 공간변화 등의 다양한 연구가 수행되었다.

산악 미기상 중에서 온도와 관련된 논문도 일부 발표되었다. 통계적 방법을 적용한 산악지역의 매시기온 공간내삽(Chung and Yun, 2002), 최저기온 공간내삽 모형, 그리고 용문산 산악지역의 봄철 기온 특성에 대

한 연구가 수행되었다. 한편 산악지역의 수분조건과 관련하여 총 21편의 많은 논문이 게재되었다. 산악지역의 생태수문계(Yun *et al.*, 2014), 증발산(Kim and Jeong, 2006), 토양수분(Gwak *et al.*, 2015), 유출량, 토양층 저류량(Jang *et al.*, 2016), 강수, 수질(Kang and Tenhunen, 2010) 등 다양한 주제의 논문이 발표되었다. 산악지역의 풍속과 관련하여 Yoo *et al.*(2010)는 침엽수림의 상부 풍속으로부터 영면변위를 추정하였으며, 수치모델을 이용한 산악지형의 바람장 변화를 모사한 연구(Won and Han, 2013)도 있다. 그 밖의 산악기상 관련 연구로는 산악지역의 복잡지형에서의 탄소순환(Lee *et al.*, 2007)과 강우 이동에 따른 양분동태(Jin *et al.*, 2005)와 같은 연구가 수행되었다.

3.2.5. 기후와 산림생장

산림생장은 분포하는 수종의 유전적 특성과 해당 지역의 입지환경에 영향을 받는다. 임목의 생육에 영향을 미치는 입지환경 중에서 장기간에 걸친 대기의 상태인 기후조건은 산림생장에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 따라서 기후와 산림생장과 관계는 산림기상 분야의 주요 연구 주제로 지난 20년 동안 다양한 연구가 수행되어 왔으며, 그 결과 한국농림기상학회지에 총 49편의 논문이 게재되어 전체 산림기상 관련 논문의 22.3%를 차지하고 있다. 이는 본 연구에서 구분한 7개 분야 중에서 수목생리 분야 다음으로 많은 게재 편수이다.

그동안 한국농림기상학회지에 게재된 기후와 산림생장 관련 논문은 다양한 주제가 포함되어 있다. 이를 요약하면 기후조건이 산림생산력이 미치는 영향과 관련된 논문이 7편, 연륜생장 또는 직경생장과 관계가 7편, 묘목 또는 초기생장과 기후조건 관계가 14편, 그리고 산림탄소와 관련된 논문이 4편으로 분석되었다. 한편 기온, 광조건, 수분조건 등과 같은 세부 기후조건이 산림생장에 미치는 영향을 분석한 많은 논문이 발표되었는데, 이를 구체적으로 보면, 온도와 관련된 논문이 5편, 수분 조건과의 관계가 7편, 광 조건이 4편, 그리고 오존의 영향이 1편인 것으로 나타났다.

산림생산력과 관련된 논문은 주로 기후인자를 포함한 환경인자가 산림생산력에 미치는 영향을 분석한 연구이다. 이를 통해 수종별 적지관정(Shin *et al.*, 2006)이나 지위지수 추정식 개발, 그리고 적지적수도 제작(Moon *et al.*, 2015)과 관련된 연구가 수행되었다. 연륜생장과 관련된 논문은 연륜기후학적 분석기법에 의

해 기후조건이 다양한 수종의 연륜생장에 미치는 영향을 분석한 연구가 주를 이루고 있다(Lee *et al.*, 2005; Shin, 2006; Chung *et al.*, 2015). 임목의 초기생장에 미치는 기후인자의 영향과 관련된 논문의 경우, 유묘생장과 관련된 논문이 8편으로 가장 많은데, 해송(Kim and Han, 2010), 백합나무(Chung *et al.*, 2012), 느티나무(Kim and Lee, 2013) 등 다양한 수종을 대상으로 연구가 수행되었음을 알 수 있다. 한편 개엽시기, 순일차생산, 엽면적지수 등과 관련하여 좀 더 세부적인 기후조건에 영향을 분석한 논문도 있으며, 미기후가 잣나무의 종자형질과 결실량에 미치는 영향에 대한 논문도 발표되었다(Shin *et al.*, 2002). 또한 산림생장과 연관성이 있는 재적, 바이오매스, 그리고 탄소고정량 추정과 관련된 연구도 수행되었다

온도, 수분조건, 광조건, 그리고 오존농도 등과 같은 세부적인 기후조건과 산림생장과 관계에 대한 논문도 다수 게재된 것으로 나타났다. 먼저 온난화와 관련하여 온도 증가가 산림생장에 미치는 영향을 다양한 수종을 대상으로 분석한 논문이 게재되었다. 온도와 이산화탄소 농도 증가가 다릅나무와 백당나무의 성장, 광합성 변화에 미치는 영향을 분석한 연구(Han *et al.*, 2011)와 온도증가에 따른 낙엽송과 거제수나무의 초기생장과 생리 특성의 변화(Han *et al.*, 2012) 등 여러 유사한 연구가 수행되었다. 또한 수분조건과 성장 특성의 분석뿐만 아니라 건조로 인한 소나무 고사현상에 대한 기후적 특성을 분석한 연구(Kang *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017)가 최근 수행된 바 있다. 광조건과 성장과의 관계는 인공피음 처리에 의한 전나무의 성장과 엽록소 함량 변화(Woo *et al.*, 1999)와 유사한 연구가 다른 수종을 대상으로 수행되어 논문이 게재된 바 있다. 이와 함께 오존 농도에 의한 자작나무류 4개 수종의 피해와 성장 반응에 대한 논문도 있다.

3.2.6. 기후와 산림식생분포

기후조건은 산림수종의 분포와 범위를 결정하는 중요한 요소이다. 한국농림기상학회지에 게재된 기후와 산림식생분포의 관계에 대한 논문은 총 23편인 것으로 분석되었다. 이는 다른 분야에 비해 많은 것은 아니나, 2014년까지는 연도별로 꾸준히 이 분야의 논문이 발표되었다. 하지만 최근 몇 년간은 이 분야와 관련하여 발표된 논문이 없는 상태이다. 게재된 논문 중에서 입지환경과 식생구조를 분석한 논문은 총 6편인 것으로 평가되었다. 특정 수종의 입지환경에 따른 식생분

포와 관련된 논문에서는 잣나무(Chung *et al.*, 2003), 소나무, 흑오미자, 히어리 군락(Moon *et al.*, 2004)이 있으며, 광릉 활엽수 천연림에서의 입지환경과 산림식생구조를 분석하거나 또는 속리산과 오대산의 해발고도에 따른 산림군락의 구조분석을 실시한 논문(Yu *et al.*, 2003)은 지역적 특성에 따른 산림식생분포를 분석하였다. 입지환경 중에서 기후인자와의 관계를 분석한 논문도 있는데, 종가시나무, 울릉도 마가목, 그리고 일본 관동지역 2차림지대 등 다양한 수종 및 지역을 대상으로 수행한 연구 결과가 게재되었다.

한편 특정지역을 대상으로 분석한 식생구조 또는 분포에 대한 논문이 9편으로 가장 많은 것으로 나타났다. 이들 논문은 특정지역의 환경특성, 특히 기후환경이 산림식생분포에 미치는 영향을 평가하였는데, 경남 거제시, 함백산, 울릉도, 창원시, 우면산, 강화도, 일월산, 지리산국립공원, 제주도 등 전국적으로 다양한 지역의 식생분포에 대한 연구를 수행하였다. 또한 산림부산물에 속하는 산양삼(Woo and Lee, 2002), 송이버섯, 야생버섯의 발생 및 생육에 대한 최적 환경 또는 기후조건과의 관계에 대한 연구도 수행되어 발간되었다. 이와 함께 위성영상과 수치고도모형을 이용하여 광릉 산림의 공간적 특성을 분석한 논문(Moon *et al.*, 2005)과 우리나라 광역시의 산림 연결성을 비교 분석한 연구(Kang *et al.*, 2014)도 이 분야의 논문에 포함되어 있다.

3.2.7. 기후변화와 산림생태계

기후변화와 산림생태계 관련 논문은 지난 20년 동안 한국농림기상학회지에 게재된 산림기상 논문인 총 220편 중에서 4.5%에 불과한 10편이다. 이는 7개로 분류한 산림기상 연구 분야 중에서 게재된 논문의 편수가 가장 적은 것이다. 기후변화가 산림생태계에 미치는 영향은 매우 중요한 연구 분야이지만, 아직까지는 다른 분야에 비해 이 분야의 연구 실적이 양적인 면에서 미진한 것으로 나타났다. 기후변화와 관련하여 연구를 수행하기 위해서는 관련 자료의 확보가 필수적이다. 우리나라는 2012년 기상청에서 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 평가보고서에 사용될 새로운 기후변화 시나리오를 기반으로 우리나라에 대해 상세기후변화 시나리오를 개발하여 배포하였다(National Institute of Forest Science, 2013). 따라서 기상청에서 배포한 RCP(Representative Concentration Pathway) 기후변화 시나리오를 이용한 연구는 2012년

이후에 집중적으로 수행되었으며, 그 결과 기후변화와 산림생태계 관련 연구논문도 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

기후변화에 따른 산림생태계의 영향을 고찰하면서, 우리나라의 관련 연구현황과 과제를 다룬 논문이 Lim *et al.*(2006)에 의해 발표되면서 기후변화와 관련된 연구의 필요성이 강조되었다. 그 이후 기후변화 시나리오를 적용한 생태권역별·임상별 바이오매스 변화량 예측(Shin *et al.*, 2013), 수종별로 소나무, 신갈나무, 잣나무, 호두나무의 적지분포 및 잠재 분포와 관련된 다양한 연구가 수행되었다(Chun and Lee, 2013; Ko *et al.*, 2014; Chun *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2015; Lim *et al.*, 2016). 한편 Lee *et al.*(2015)은 PRC 8.5 시나리오를 이용하여 소나무림과 굴참나무림의 산림탄소 동태 변화를 예측하였다. 이밖에 기후변화 대응 장기 기후변화 연구시설 설치의 필요성과 관련된 연구도 수행된 바 있다(Lee *et al.*, 2012; Seo *et al.*, 2016).

기후변화와 산림생태계 분야는 다른 산림기상 관련 연구에 비해 게재된 논문의 편수가 적고 기상청에서 RCP 기후변화 시나리오를 배포한 2012년 이후에 연구논문의 발표가 집중되었다. 하지만 기후변화 문제는 현재 진행 중인 가장 핵심적인 환경문제가 되기 때문에 기후변화가 산림생태계에 미치는 영향은 매우 중요한 연구과제가 될 것으로 판단된다. 따라서 이 분야의 연구는 지금보다 훨씬 더 활성화될 것으로 기대되며, 앞으로는 더 많은 이 분야의 논문이 게재될 것으로 예상된다.

3.3. 산림기상 연구의 전망

산림생태계는 산림기상 조건에 많은 영향을 받는다. 따라서 다양한 산림분야의 현상을 정확히 이해하려면 기상조건을 고려한 연구가 수행되어야 한다. 그동안 사용가능한 산림기상 자료의 부족 등과 같은 환경에서도 다양한 분야의 산림기상 관련 연구가 수행되어 왔다. 특히 최근에는 산림기상정보의 중요성을 감안하여 많은 노력을 기울여 왔고, 그 결과 산림수치기후도의 제작, 산림기상관측망의 확충, 산악 지역 내의 플렉스 관측망 설치, 기후변화 시나리오의 적용 등과 같은 산림기상 관련 연구를 활성화시킬 수 있는 조건이 마련되었다.

최근에는 과학기술정보통신부가 국가우주개발 중장기 로드맵에 따라 차세대중형위성 4호의 2023년 발사를 목표로 현재 개발계획을 진행 중에 있다. 소위

농림위성으로 불리는 이 위성은 산림청과 농진청을 주 수요부처로 하고 있어 우리나라 국토에서 매우 큰 면적을 차지하는 산림과 농경지의 원격탐사 모니터링에 획기적인 변화를 가져올 것으로 보인다. 산림청과 농진청이 막대한 예산을 절반씩 부담하면서 개발 중인 농림위성의 탑재체는 다중분광 스캐너(Multi spectral scanner)로서 RGB (Red-Green-Blue), Red-edge, NIR (Near infrared) 등 5개 밴드의 분광해상도와, 5m의 공간해상도로 100km 이상의 촬영폭(Swath)을 지나며, 한반도 전체를 커버하는 영상을 적어도 4~5일 이내에 1회씩 생산 가능하다. 이러한 농림위성의 특징은 기존에 우리나라에서 개발된 위성들과는 크게 차별화되는 요소로서 산림과 농경지의 생물계절적 변화를 매우 높은 시간해상도로 관측할 수 있게 된다. 따라서 생산될 영상의 품질이 확보되고 산출물에 대한 기술개발이 꾸준히 이루어진다면, 그동안 외국의 위성자료에 전적으로 의존해온 에디공분산 기반 산림생태계 생산성 평가의 공간적 확장 연구에 도움이 될 것으로 보인다. 이 외에도 날로 급증하는 등산 인구를 위한 신록(新綠) 지도나, 단풍 지도로부터 국민의 안전을 위한 산림재해 탐지 및 예측에 이르기까지 상당한 긍정적 변화를 가져올 것으로 판단된다. 결과적으로, 앞으로의 산림기상 관련 연구는 다양하고 방대한 시·공간 정보의 융·복합을 비롯해, 급속도로 발전하는 머신러닝 분석기술, 향상된 컴퓨팅 환경 등이 어우러져 과거에 비해 상당한 수준의 발전과 진보가 이루어질 것으로 평가할 수 있다.

특히 미래의 산림기상과 관련된 연구는 과거에 비해 양적인 면에서 뿐만 아니라 질적인 면에서도 더욱 발전할 가능성이 높은 것으로 예측된다. 산악기상관측망의 확충과 플렉스 타워 설치를 통해 누적된 방대한 기상자료는 시공간적 산림기상 자료를 제공하여 산악 미기상 분야뿐만 아니라 산림생장, 산불, 수목생리 등의 연구 활성화에 기여할 것으로 기대된다. 앞에서 분석한 바와 같이 지난 20년 동안의 산림기상 관련 연구를 통해 한국농림기상학회지에 게재된 논문의 편수가 가장 적은 분야는 기후변화와 산림생태계이다. 그러나 기후변화의 중요성을 고려하면, 앞으로는 이 분야와 관련하여 다양한 연구가 수행될 것으로 예상된다. 기후변화에 따른 수종별 잠재분포의 변화 등은 향후 우리나라의 조림정책 수립에 필요한 필수적인 정보로 평가된다. 그동안 제작된 산림수치기후도와 향후 수년 내에 등장할 농림위성 산출물, 10년 이상 축적된 에디

공분산 자료 및 보다 정밀한 기후변화 시나리오의 적용을 통해 다양한 기후변화 관련 연구가 수행될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 논문은 한국농림기상학회지 발간 20주년을 맞이하여 지난 20년 동안 학회지에 게재된 산림기상 관련 논문을 분석함으로써 그동안 수행된 산림기상 분야의 연구 추세를 진단함과 동시에, 앞으로의 산림기상 연구의 방향을 전망하고자 하였다. 산림기상 관련 논문은 총 220편으로 전체 게재된 논문의 35.5%인 것으로 분석되었다. 그동안 구체적으로 어느 분야의 연구가 수행되었는지를 평가하기 위해 전체 220편의 산림기상 논문을 7개 영역으로 분류하여 분석하였다. 분류된 연구 주제는 산림기상과 산불, 산림기상과 수목생리, 산림기상과 산림보호, 산악지역 미기상, 기후와 산림생장, 기후와 산림식생분포, 그리고 기후변화와 산림생태계의 7개 영역이다.

게재된 220편의 산림기상 관련 논문은 앞에서 분류한 7개 영역에 복수로 포함될 수도 있는 주제를 다루고 있어, 일부 논문의 경우에는 분류에 어려움이 있었다. 이러한 경우 가장 유사한 영역에 포함되도록 조치하였으며, 또한 일부 논문의 경우 저자가 산림분야의 연구자가 아님에도 불구하고 산림을 대상으로 산림기상 연구를 수행한 경우가 많았다. 이 경우에는 저자에 상관없이 모두 산림기상 관련 논문으로 취급하여 분류하였다.

전체적으로 보면, 산림기상과 수목생리 관련 논문이 총 54편으로 가장 많고, 기후와 산림생장이 49편, 산악지역 미기상이 47편으로 이 3개 분야의 논문이 전체의 68.2%를 차지하고 있다. 반면에 기후변화와 산림생태계 관련 논문이 10편으로 가장 적었고, 다음은 산림기상과 산불이 16편, 산림기상과 산림보호가 21편, 그리고 기후와 산림식생분포가 23편인 것으로 분석되었다. 이상의 7개 영역의 논문을 세부적으로 분석한 결과, 해당 영역 내에서 다양한 주제의 연구가 수행된 것으로 파악되었다.

산림생태계의 현상은 기상조건과 밀접한 관계를 맺고 있다. 따라서 다양한 산림분야의 연구는 기상조건을 고려하여 수행되어야 좀 더 정확한 결과를 도출할 수 있다. 그동안 사용가능한 산림기상 자료의 부족 등으로 인하여 산림기상 관련 연구에 한계가 있었던 것

이 사실이다. 하지만 최근에 이루어진 산림수치기후도의 제작, 산림기상관측망의 확충, 산악 지역 내의 플릭스 관측망 설치, 기후변화 시나리오의 사용 등은 앞으로 산림기상 관련 연구의 활성화에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 위성영상이나 산림지리정보시스템 등과 같은 과학기술의 접목과 함께 첨단 통계기법의 적용은 산림기상 분야의 연구를 양적 그리고 질적으로 크게 성장시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Baek, G. W., C. G. Jo, and C. S. Kim, 2016: Seasonal variations of soil CO₂ efflux rates and soil environmental factors in *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* stands. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(3), 120-126. (in Korean with English abstract)
- Chae, H. M., and C. Y. Lee, 2003: Analysis of fire direction and pine tree survival using to fire scar formed in tree stem after forest fire. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(1), 30-35. (in Korean with English abstract)
- Choi, H. T., 2011: Effect of forest growth and thinning on the long-term water balance in a coniferous forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**(4), 157-164. (in Korean with English abstract)
- Choi, T. J., J.-H. Lim, J.-H. Chun, D. H. Lee, and J. Kim, 2005: Microclimatological characteristics observed from the flux tower in Gwangneung forest watershed. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 35-44. (in Korean with English abstract)
- Chun, J. H., and C. B. Lee, 2013: Assessing the effects of climate change on the geographic distribution of *Pinus densiflora* in Korea using ecological niche model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 219-233. (in Korean with English abstract)
- Chun, J. H., C. B. Lee, and S. M. Yoo, 2015: Shifts of geographic distribution of *Pinus koraiensis* based on climate change scenarios and GARP model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 348-357. (in Korean with English abstract)
- Chung, D. J., H. R. Kim, and M. Y. Shin, 2003: Characteristics of vegetations structure for prolific open-pollinated progeny stands of *Pinus koraiensis*

- by environmental factor. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(3), 151-157. (in Korean with English abstract)
- Chung, J. M., H. S. Kim, S. T. Lee, K. J. Lee, M. S. Kim, and Y. W. Chun, 2015: Correlation analysis and growth prediction between climatic elements and radial growth for *Pinus koraiensis*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(2), 85-92. (in Korean with English abstract)
- Chung, M. S., S. H. Han, D. H. Kim, J. C. Lee, and P. G. Kim, 2012: Effects of elevated atmospheric CO₂ and nitrogen fertilization on growth and carbon uptake of yellow poplar seedlings. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(3), 108-118. (in Korean with English abstract)
- Chung, U. R., and J. I. Yun, 2002: Spatial interpolation of hourly air temperature over sloping surfaces based on a solar irradiance correction. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**(2), 95-102. (in Korean with English abstract)
- Gwak, Y. S., S. H. Kim, S. W. Jung, Y. G. Lee, J. H. Lee, and S. J. Kim, 2015: Spatial and seasonal variability of soil moisture properties along transect line on a forest hillslope in the Cheong-mi catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(1), 45-57. (in Korean with English abstract)
- Han, S. H., C. Y. Oh, J. C. Lee, and P. G. Kim, 2006: Effects cadmium treatment on carbohydrate allocation and partitioning of five half-sib families of *Betula schmidtii*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(1), 15-21. (in Korean with English abstract)
- Han, S. H., D. H. Kim, G. N. Kim, and J. C. Lee, 2011: Changes on growth, photosynthesis and pigment contents of the *Maackia amurensis* and *Viburnum opulus* var. *calvescens* under enhanced temperature and CO₂ concentration. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**(3), 115-122. (in Korean with English abstract)
- Han, S. H., D. H. Kim, G. N. Kim, J. C. Lee, and C. W. Yun, 2012: Changes on initial growth and physiological characteristics of *Larix kaempferi* and *Betula costata* seedlings under elevated temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(2), 63-70. (in Korean with English abstract)
- Jang, E. S., S. H. Kim, and J. H. Lee, 2016: Distribution of soil water storage at a hillslope in Sulmachun watershed. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(2), 88-98. (in Korean with English abstract)
- Jang, K. C., M. S. Won, and S. H. Yoon, 2017: Evaluation of the satellite-based air temperature for all sky conditions using the automated mountain meteorology station (AMOS) records: Gangwon province case study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(1), 19-26. (in Korean with English abstract)
- Je, S. M., S. G. Son, S. Y. Woo, K. O. Byun, and C. S. Kim, 2006: Photosynthesis and chlorophyll contents of *Chloranthus glaber* under different shading treatment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(2), 54-60. (in Korean with English abstract)
- Jin, H. O., G. S. Lee, and D. J. Chung, 2002: Buffer capacities of forest soils by the treatment of simulated acid rain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**(1), 49-57. (in Korean with English abstract)
- Jin, H. O., Y. H. Son, M. J. Yi, I. H. Park, and D. Y. Kim, 2005: Nutrient dynamics through water transports in natural deciduous forests in Gwangju, Gyeonggi province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(2), 164-170. (in Korean with English abstract)
- Kang, M. S., H. J. Kwon, J. Kim, H. S. Kim, Y. R. Ryu, S. J. Lee, and T. J. Choi, 2018: Korean flux monitoring network's past, present, and future. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(1), 1-4. (in Korean with English abstract)
- Kang, M. S., H. J. Kwon, J. H. Lim, and J. Kim, 2009: Understory evapotranspiration measured by Eddy-covariance in Gwangneung deciduous and coniferous forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 233-246. (in Korean with English abstract)
- Kang, S. K., and J. Tenhunen, 2010: Complex terrain and ecological heterogeneity (TERRECO): Evaluating ecosystem services in production versus water quantity/quality in mountainous landscapes. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(4), 307-316. (in Korean with English abstract)
- Kang, S. K., J. H. Lim, E.-S. Kim, and N.H. Cho, 2016: Modelling analysis of climate and soil depth effects on pine tree dieback in Korea using BIOME-BGC. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(2), 88-98. (in Korean with English abstract)

- Forest Meteorology* **18**(4), 242-252. (in Korean with English abstract)
- Kang, W. M., and C. R. Park, 2015: Corridor and network analyses of forest bird habitats in a metropolitan area of South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(3), 191-201. (in Korean with English abstract)
- Kang, W. M., J. W. Kim, C. R. Park, and J. H. Sung, 2014: Comparing connectivity in forest networks of seven metropolitan cities of South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(2), 93-102. (in Korean with English abstract)
- Kim, D. H., and S. H. Han, 2010: Individual differences of ozone resistance for seed germination and seedling development of *Pinus thunbergii*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(3), 207-216. (in Korean with English abstract)
- Kim, E. M., H. S. Choi, C. W. Kang, and M.R. Oh, 2015: Comparison of bird advent aspect between Seonheul Gotjawal area and Cheongsu Gotjawal area on Jeju Island. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(2), 136-143. (in Korean with English abstract)
- Kim, G. N., S. H. Han, and G. S. Park, 2014: Differences on growth, photosynthesis and pigment contents of open-pollinated *Pinus densiflora* families under elevated temperature and drought. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(4), 285-296. (in Korean with English abstract)
- Kim, I. S., and J. H. Lee, 2013: Geographic variation of seed characteristics and 1-year-old seedling growth of *Zelkova serrata*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 234-244. (in Korean with English abstract)
- Kim, J. B., E. S. Kim, and J. H. Lim, 2017: Topographic and meteorological characteristics of *Pinus densiflora* dieback areas in Sogwang-ri, Uljin. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(1): 10-18. (In Korean with English abstract)
- Kim, J. H., J. H. Lim, C. W. Park, J. O. Kwon, and H. T. Choi, 2015: Effects of forest restoration methods and stand structure on microclimate in burned forest stand. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(3), 207-216. (in Korean with English abstract)
- Kim, K. H., and Y. H. Jeong, 2006: Variations of annual evapotranspiration and discharge in three different forest-type catchments, Gyeonggido, South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(3), 174-182. (in Korean with English abstract)
- Kim, P. G., Y. B. Koo, J. C. Lee, S.-W. Bae, Y. S. Yi, and Y. M. Cheong, 2001: Chlorophyll content and genetic variation of *Ginkgo biloba* L. planted on the street in Seoul. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(2), 114-120. (in Korean with English abstract)
- Kim, S. H., J. H. Sung, Y. K. Kim, and P. G. Kim, 2008: Photosynthetic responses of four Oak species to changes in light environment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(4), 141-148. (in Korean with English abstract)
- Ko, S. Y., J. H. Sung, J. H. Chun, Y. G. Lee, and M. Y. Shin, 2014: Predicting the changes of yearly productive area distribution for *Pinus densiflora* in Korea based on climate change scenarios. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(1), 72-82. (in Korean with English abstract)
- Kwon, B. R., N. J. Heo, H. Y. Shin, H. S. Kim, P. S. Park, and M. J. Yi, 2014: Nutrient use strategy of *Carpinus cordata* saplings growing under different forest stand conditions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(3), 188-196. (in Korean with English abstract)
- Lee, D. H., J. Kim, S. J. Kim, S. K. Moon, J. S. Lee, J. H. Lim, Y. H. Son, S. K. Kang, S. H. Kim, K. H. Kim, N. C. Woo, B. Y. Lee, and S. Kim, 2007: Lessons from cross-scale studies of water and carbon cycles in the Gwangneung forest catchment in a complex landscape of monsoon Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 149-160. (in Korean with English abstract)
- Lee, D. W., W. G. Choi, S. M. Lee, H. H. Kim, and H. Y. Choo, 2006: Effect of soil moisture and irrigation on pathogenicity of entomopathogenic nematodes. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(2), 77-85. (in Korean with English abstract)
- Lee, H. S., S. J. Lee, J. C. Lee, K. W. Kim, and P.-G. Kim, 2013: Effects of elevated CO₂ concentration and temperature on physiological characters of *Liriodendron tulipifera*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(3), 145-152. (in Korean with English abstract)
- Lee, J. Y., S. H. Han, S. J. Kim, H. N. Chang, M. J. Yi, G. S. Park, C. S. Kim, Y. M. Son, R. H.

- Kim, and Y. H. Son, 2015: Estimating the changes in forest carbon dynamics of *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* forests in South Korea under the RCP 8.5 climate change scenario. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(1), 35-44. (in Korean with English abstract)
- Lee, J. C., C. Y. Oh, S. H. Han, and P. G. Kim, 2005: Changes on photosynthesis and SOD activity in *Platanus orientalis* and *Liriodendron tulipifera* according to ozone exposing period. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(2), 156-163. (in Korean with English abstract)
- Lee, J. C., D. H. Kim, G. N. Kim, P. G. Kim, and S.-H. Han, 2012: Long-term climate change research facility for trees: CO₂-enriched open top chamber system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(1), 19-27. (in Korean with English abstract)
- Lee, M. J., Y. H. Son, H. O. Jin, I. H. Park, D. Y. Kim, Y. S. Kim, and D. M. Shin, 2005: Belowground carbon allocation of natural *Quercus mongolica* forests estimated from litterfall and soil respiration measurements. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(3), 227-234. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. J., C. Y. Oh, S. H. Han, K. W. Kim, and P. G. Kim, 2014: Photosynthetic responses of *Populus alba* × *glandulosa* to elevated CO₂ concentration and air temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(1), 22-28. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. J., Y. H. Choi, J. H. Jung, M. S. Won, and G. H. Lim, 2015: Development of optimal modeling system for analyzing mountain micrometeorology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(2), 165-172. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. H., S. H. Lee, S. A. Lee, S. Y. Ji, and J. Y. Choi, 2015: Predicting the changes in cultivation areas of Walnut trees (*Juglans sinensis*) in Korea due to climate change impacts. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 399-410. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. T., S. L. Yoon, E. H. Park, J. K. Kim, and Y. G. Chung, 2005: The dendrochronological characteristic of *Pinus densiflora* in Gyeongbuk region. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(4), 289-295. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. Y., S. Y. Han, S. H. An, J. S. Oh, M. H. Jo, and M. S. Kim, 2001: Regional analysis of forest fire occurrence factors in Kangwon province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(3), 135-142. (in Korean with English abstract)
- Lim, J. H., K. E. Park, and M. Y. Shin, 2016: Effect of yearly changes in growing degree days on the potential distribution and growth of *Quercus mongolica* in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(3), 109-119. (in Korean with English abstract)
- Lim, J. H., 2000: Forest fire and meteorology of eastern Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**(2), 62-67. (in Korean with English abstract)
- Lim, J. H., E. S. Kim, B. R. Lee, S. H. Kim, and K. C. Jang, 2017: An analysis of the hail damages to Korean forests in 2017 by meteorology, species and topography. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(4), 280-292. (in Korean with English abstract)
- Lim, J. H., J. H. Shin, D. K. Lee, and S. J. Suh, 2006: Climate change impacts on forest ecosystems: Research status and challenges in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(3), 199-207. (in Korean with English abstract)
- Lim, J. H., J. H. Kim, and S.-W. Bae, 2012: Natural regeneration pattern of pine seedlings on the burned forest site in Gosung, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 222-228. (in Korean with English abstract)
- Min, J. G., E. H. Park, H. S. Moon, and J.-K. Kim, 2005: Chemical properties and heavy metal content of forest soils around abandoned coal mine lands in the Mungyeong area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(4), 265-273. (in Korean with English abstract)
- Moon, G. H., Y. S. Kim, J. H. Lim, and M.Y. Shin, 2015: Mapping species-specific optimal plantation sites based on environmental variables in Namwon city, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(2), 126-135. (in Korean with English abstract)
- Moon, H. S., I. Roh, and J. K. Kim, 2004: Site characteristics and vegetation structure of *Corylopsis coreana* communities in Gokseong, Jeonnam province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(3), 196-203. (in Korean with English abstract)

- Moon, S. K., S. H. Park, J. K. Hong, and J. Kim, 2005: Spatial characteristics of Gwangneung forest site based on high resolution satellite images and DEM. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 7(1), 115-123. (in Korean with English abstract)
- National Institute of Forest Science, 2013: Development of site index equations for main tree species by ecoprovince classification based on environmental and climatic factor(3). 135pp. (in Korean)
- Ryu, D. U., J. H. Bae, J. H. Park, S. S. Cho, M. K. Moon, C. Y. Oh, and H. S. Kim, 2014: Responses of native trees species in Korea under elevated carbon dioxide condition - Open top chamber experiment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(3), 199-212. (in Korean with English abstract)
- S. G. Son, S. M. Je, S. Y. Woo, K. O. Byun, Y. J. Kang, and B. S. Kwang, 2006: Physiological differences of *Ilex rotunda* and *Illicium anisatum* under low light intensities. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(2), 61-67. (in Korean with English abstract)
- Seo, D.-J., C.-Y. Oh, S.-H. Han, and J.-C. Lee, 2014: Effects of elevated CO₂ concentration on leaf phenology of *Quercus acutissima*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(3), 213-218. (in Korean with English abstract)
- Seo, D. J., H. C. Kim, H. S. Lee, S. J. Lee, W. Y. Lee, S. H. Han, and J. W. Kang, 2016: Review of long-term climate change research facilities for forests. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 18(4), 274-286. (in Korean with English abstract)
- Shin, C. S., 2006: Interpretation of diameter growth pattern and correlation of climatic factors with diameter growth for *Quercus* species based on tree-ring measurement. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(3), 145-151. (in Korean with English abstract)
- Shin, J. Y., M. S. Won, K. H. Kim, and M.Y. Shin, 2013: Predicting the effect of climate change on forest biomass by different ecoprovinces and forest types in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(3), 119-129. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., D. J. Chung, and C.-S. Shin, 2004: Characteristics of water relation parameters for *Pinus densiflora* at different aspects in central South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 6(1), 18-23. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., I. B. Jung, K. S. Koo, and H.-G. Won, 2006: Development of a site index equation for *Pinus koraiensis* based on environmental factors and estimation of productive areas for reforestation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(2), 97-106. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., Y. S. Jang, S. U. Han, and Y. C. Kim, 2002: Effects of local climatic conditions on the yearly cone production in progeny test stands of Korean white pine. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4(3), 141-150. (in Korean with English abstract)
- Son, Y. H., J. Y. Ban, R. H. Kim, and J. Kim, 2003: Soil CO₂ evolution and nitrogen availability on abandoned agricultural fields at Mt. Kumdan. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 5(2), 110-115. (in Korean with English abstract)
- Song, H.-S., O. S. Kwon, and S. H. Lee, 2014: Effects of geological structure and tree density on the forest fire patterns. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(4), 259-266. (in Korean with English abstract)
- Song, K. J., S. H. Han, and T. J. Ha, 2003: Changes of physiological properties of *Zelkova serrata* to NaCl concentration in soil. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 5(3), 166-171. (in Korean with English abstract)
- Won, M. S., and S. H. Han, 2013: Simulations of changes in wind field over mountainous terrains using WRF and ENVI-met numerical models. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(1), 17-25. (in Korean with English abstract)
- Won, M. S., K. H. Kim, and S. W. Lee, 2014: Analysis of burn severity in large-fire area using SPOT5 images and field survey data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(2), 114-124. (in Korean with English abstract)
- Woo, S.-Y., 2003: Absorption of heavy metals of waste leachate using by fast growing trees(II). *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 5(1), 36-42. (in Korean with English abstract)
- Woo, S. Y., and D. S. Lee, 2002: A study on the growth and environments of *Panax ginseng* in the different forest stands(I). *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4(2), 65-71.

- (in Korean with English abstract)
- Woo, S. Y., D. S. Lee, and O. K. Kwon, 1999: Shading effects on growth and chlorophyll contents of *Abies holophylla*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **1**(2), 97-102. (in Korean with English abstract)
- Yoo, J. I., J. K. Hong, H. J. Kwon, J.-H. Lim, and J. Kim, 2010: On estimation of zero plane displacement from single-level wind measurement above a coniferous forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(1), 45-62. (in Korean with English abstract)
- Yoon, S. H., K. C. Jang, and M. S. Won, 2018: The spatial distribution characteristics of automatic weather stations in the mountainous area over South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(1), 117-126. (in Korean with English abstract)
- Yoon, S. H., M. S. Won, and K. C. Jang, 2016: A study on optimal site selection for automatic mountain meteorology observation system (AMOS): The case of Honam and Jeju area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(4), 208-220. (in Korean with English abstract)
- Yu, J. E., J. H. Lee, and K. W. Kwon, 2003: An analysis of forest community and dynamics according to elevation in Mt. Sokri and Odae. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(4), 238-246. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. Y., S. H. Kim, M. S. Kang, C. H. Cho, J. H. Chun, and J. Kim, 2014: Process networks of ecohydrological systems in a temperate deciduous forest: A complex systems perspective. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(3), 157-168. (in Korean with English abstract)