디지털예보자료와 Daily Weather Index (DWI) 모델을 적용한 한반도의 산불발생위험 예측

원명수^{1*} · 이명보¹ · 이우균² · 윤석희¹

¹국립산림과학원/산림방재연구과, ²고려대학교/환경생태공학과

(2011년 7월 13일 접수; 2011년 9월 26일 수정; 2011년 12월 15일 수락)

Prediction of Forest Fire Danger Rating over the Korean Peninsula with the Digital Forecast Data and Daily Weather Index (DWI) Model

Myoungsoo Won^{1*}, Myungbo Lee¹, Woogyun Lee² and Sukhee Yoon¹

¹Division of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute

²Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University

(Received July 13, 2011; Revised September 26, 2011; Accepted December 15, 2011)

ABSTRACT

Digital Forecast of the Korea Meteorological Administration (KMA) represents 5 km gridded weather forecast over the Korean Peninsula and the surrounding oceanic regions in Korean territory. Digital Forecast provides 12 weather forecast elements such as three-hour interval temperature, sky condition, wind direction, wind speed, relative humidity, wave height, probability of precipitation, 12 hour accumulated rain and snow, as well as daily minimum and maximum temperatures. These forecast elements are updated every three-hour for the next 48 hours regularly. The objective of this study was to construct Forest Fire Danger Rating Systems on the Korean Peninsula (FFDRS_KORP) based on the daily weather index (DWI) and to improve the accuracy using the digital forecast data. We produced the thematic maps of temperature, humidity, and wind speed over the Korean Peninsula to analyze DWI. To calculate DWI of the Korean Peninsula it was applied forest fire occurrence probability model by logistic regression analysis, i.e. $[1 + \exp\{-(2.494 + (0.004 \times T_{\max}) - (0.008 \times EF))\}]^{-1}$. The result of verification test among the real-time observatory data, digital forecast and RDAPS data showed that predicting values of the digital forecast advanced more than those of RDAPS data. The results of the comparison with the average forest fire danger rating index (sampled at 233 administrative districts) and those with the digital weather showed higher relative accuracy than those with the RDAPS data. The coefficient of determination of forest fire danger rating was shown as $R^2=0.854$. There was a difference of 0.5 between the national mean fire danger rating index (70) with the application of the real-time observatory data and that with the digital forecast (70.5).

Key words: Forest fire danger rating, Digital weather forecast data, Daily weather index, Logistic regression, Korean peninsula

I. 서 론

2000년 들어 장기간 가뭄과 폭염이 지속되었던 미

국, 포르투갈, 스페인 등 북미와 유럽에서 대형산불이 발생하여 산림피해는 물론 인명과재산 피해는 물론 심각한 환경재앙을 유발하고 있다. 우리나라의 경우

* Corresponding Author : Myoungsoo Won
(mswon@forest.go.kr)

1996년 고성산불을 비롯하여 2000년 고성, 강릉, 삼척 등지에서 발생한 동해안 산불과 2002년 서해안과 인접한 청양·예산, 2005년에는 양양에서 대형산불이 발생하여 막대한 산림 및 재산피해를 입었다. 현재도 이러한 대형산불이 지구촌 곳곳에서 끊임없이 발생하고 있으며, 특히 지구온난화와 같은 기후변화에 의해 최근에는 피해규모가 더욱 대형화되고 있는 추세이다 (Won *et al.*, 2006). 따라서 세계 각국은 첨단과학기술을 도입하여 산불발생 위험을 조기에 예측하여 산불피해를 저감시킬 수 있는 갖은 노력을 다하고 있으며, 이러한 노력 중 하나가 산불위험예보시스템과 선진화된 수치모델을 이용하여 산불상황을 실시간으로 모니터링하여 산불을 신속하고 효과적으로 예방하고 진화할 수 있는 방법들을 개발하고 실용화하는 것이다. 한반도의 경우, 특히 북한의 산림면적은 북한 전체면적인 1,228만ha의 약 77%에 해당하는 948만ha로 남한 산림면적의 약 1.5배에 이른다. 북한의 산림면적은 1980년대 말 이후 10년간 약 51만ha(전체 산림면적의 5%)가 감소하는 등 자연재해인 산불과 산사태로 인해 대규모 산림피해를 입고 있다(Lee, 1997). 최근 북한에서 발생한 산불이 비무장지대로 남하하는 경우가 많아 이에 대한 대처 및 대응이 하며 북한을 포함한 한반도의 산불발생위험을 사전에 예측하여 대형산불 방지 및 산불피해를 최소화할 필요가 있다.

2003년에 개발 완료되어 운영중인 실시간 산불위험예보시스템은 기상청의 76개 기상관측소 실황자료와 수치예보자료인 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System, 30km 격자) 예보자료를 활용하여 남한지역의 실시간 산불위험예보는 물론 48시간 후의 산불위험예보를 3시간 간격으로 분석해 왔다. 기상청은 1991년부터 수치예보의 현업운영을 시작하였고, 이후 지속적인 수치예보의 발전으로 예보요소의 정량화, 예보시간의 확장 등 예보서비스 개선이 가속화되었다(Shin, 2005). 디지털예보는 기상요소를 시공간에 대하여 정량적으로 예보하는 체계이다. 현재 디지털예보의 개념이 미국에서 시험적으로 운영되고 있으며 일본, 캐나다, 독일, 스위스, 덴마크, 핀란드 등에서 부분적으로 디지털예보 개념의 모듈 개발이 진행 중이다(Ruth, 2002). 미국은 1980년대부터 대화형 예보준비시스템(Interactive Forecast Preparation System, IFPS)과 대화형 자동 예보문 준비시스템(Interactive Computer Worded Forecast, ICWF) 등을 통합하면서 2003년

국가 디지털예보 데이터베이스(National Digital Forecast Data Base, NDFD)를 중심으로 디지털예보를 운영하고 있다(Glahn and Ruth, 2003). 산림청 국립산림과학원에서는 2007년부터 산불위험지수 예측력 향상을 위해 기존의 RDAPS 지역모델자료를 디지털예보(현 동네예보) 자료로 전환하여 활용하고 있다. 2007년까지 RDAPS에서 추출된 예보자료를 기상청으로부터 수신 받아 활용해 왔지만 실황자료와 RDAPS 예보자료의 기후요소별 관측결과가 다소 상이하였다. 따라서 디지털예보에서 제공되는 3시간 간격의 기상예보자료의 획득이 가능해짐에 따라 현재 76개소를 5km 격자망으로 확대함으로써 기상자료의 공간해상력을 향상시킬 수 있어 향후 산불위험지수의 정확도 향상을 기대해 볼 수 있다. 또한 한반도 전체를 총 37,697개의 5km 격자점으로 나누고, 이에 대한 기상자료 획득이 가능해짐에 따라 북한지역을 통합한 한반도 전역의 실시간 산불위험예보 체계의 구축이 가능해 질 것으로 판단된다. 향후 본 연구에서 분석된 결과를 개선하여 한반도 전역의 지형정보(DEM of 30 arc-seconds, ca. 90m)와 임상정보(침엽수·활엽수·혼효림) 분류를 통한 한반도의 실시간 산불위험예보시스템 구축을 위한 타당성 및 기초자료로 활용할 계획이다. 본 연구에서는 디지털예보자료를 활용하여 우리나라의 산불위험예보의 정확도 향상은 물론 기상에 의한 산불위험지수를 산출하여 한반도 전역의 산불위험예보 체계를 구축하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

2.1. 디지털예보

디지털예보모델(Digital Prediction Model)은 수치예보자료 및 관측자료 등을 이용하여 예보관에게 제공하는 디지털예보자료를 생산하는 모델을 통칭하며, 현재 PPM모델과 MOS모델로 구성되어 있다. PPM 모델은 수치예보자료를 PPM(Perfect Prognostic Method)으로 객관 해석하는 모델로 현재 RDAPS 예보자료를 사용한다. MOS모델은 수치예보자료를 MOS(Model Output Statistics)로 객관 해석하는 모델로 역시 RDAPS 예보자료를 사용한다(기상청, 2006; 2007).

디지털예보란 한반도와 주변해역을 5km×5km의 바둑판 모양의 격자점으로 나누어 각 격자점 마다의 기상예보를 생산하는 형태를 말한다. 예보기간은 48시간

Table 1. Digital weather data factors of the korean meteorological administration

Forecast factors	Description	Unit
Temperature	Average temperature from fifty-nine minutes to every hour	°C
Min. Temperature	Minimum temperature among temperature of 3~9 óclock	°C
Max. Temperature	Maximum temperature among temperature of 10~18 óclock	°C
Humidity	Average relative humidity from fifty-nine minutes to every hour	%
Rainfall	Rainfall during twelve hours (00~12 óclock, 12~24 óclock)	mm
Snow	Snow - during twelve hours (00~12 óclock, 12~24 óclock)	cm
Rainfall probability	Probability which it rains 0.01 mm above from three past hour to every hour	%
Rainfall type	A rainfall type on the hour (No event, rain, snow/rain, snow)	-
Wind direction	Average wind direction from fifty minutes to on the hour	8 direction
Wind speed	Average wind speed from fifty minutes to on the hour	m/s
Wave height	Significant wave height of three hour intervals	m
Sky condition	Sky condition of three hour intervals (clear, a little cloud, much cloud, cloudy)	-

Fig. 1. Domain of digital weather data. East/West 149×South/North 253 37,697 points. <http://gosan.kma.go.kr/contents/index.php?mid=020205&pno=02>.

까지이며, 예보간격은 03, 06, 09, ...등으로 매 3시간 간격의 생산을 원칙으로 하고 있다. 단 강수량과 신적설은 12시간 간격의 예보값을 생산하고 있다. 예보 요소는 총 12가지로 기온(최고·최저 기온 포함)과 습도는 육상구역만 생산·이용하며, 유의파고는 해상구역에 대해서만 생산·이용한다. 12가지 예보요소로는 3시간 기온, 낮 최고기온, 아침 최저기온, 12시간 누적강수량, 12시간 신적설, 3시간 강수확률, 3시간 강수형태(현상없음, 비, 눈, 눈/비), 3시간 하늘상태, 3시간

풍향/풍속, 3시간 습도, 3시간 유의파고 등이며, 예보 생산시간은 매 3시간 마다, 일 8회에 걸쳐 예보기간 내의 모든 예보요소가 매번 예보관에 의해 수정·갱신된다(<http://www.digital.go.kr>, 2009). 기상청의 디지털 예보요소는 Table 1과 같다.

디지털예보의 자료 표출 형식은 그래픽예보, 시계열/도표예보, 문자/음성예보 그리고 격자점예보 형태로 제공한다. 격자점 예보는 디지털예보자료를 한반도 전체와 도별 또는 임의의 위경도/격자점으로 구성된 직사각형 내에 해당하는 격자점 예보자료를 요소별로 GRIB I과 GRIB II의 형태로 압축하여 FTP 또는 HTTP 방식으로 제공해 주는 예보이다. 본 논문에서는 GRIB 형태의 자료를 기상청으로부터 제공받아 분석에 활용하였다. 디지털예보 영역은 Fig. 1과 같다.

2.2. 자료분석

디지털예보의 격자점은 5km 간격으로 격자수는 149(동서)×253(남북)개로 총 37,697개로 이루어져 있다. 총 격자점 간격은 동서 745km, 남북 1,265km로 디지털예보 표출 영역은 5km×5km 격자의 중심점을 기준으로 하여 좌·우·상·하단 2.5km씩 확장하였다. 디지털예보 격자점 제작을 위해 ASCII 포맷의 디지털 예보구역을 ArcGIS 9.1(ESRI Inc., USA) 분석 프로그램을 이용하여 12개 기상 요소별 속성값을 갖는 포인트 자료를 구축하였다.

한반도 지역의 산불발생위험을 나타내는 기상지수(daily weather index, DWI)를 산출하기 위해 기상청의 디지털예보자료를 이용하였다. 분석에는 관측자료를 객관분석 등을 통하여 실태자료를 생산하는 실태자

Fig. 2. The thematic maps over the Korean Peninsula with weather factors of 5km intervals. (From left-top) Temperature, Humidity, and Wind speed UV.

료처리모듈(Observation data Analysis Module, ODAM)의 격자자료를 사용하였다. 이들 원시자료는 binary 포맷으로 제공되며 분석을 위해 ASCII 파일구조로 변환하여 분석하였다. 분석에 이용된 기후요소는 2005년 12월 12일 자료를 이용하였으며 예측 정확도 검증을 위해 76개 기상관측소의 실황자료와 비교 검증하였다. DWI 분석을 위해 온도, 습도, 풍속 UV, 1시간 강우량, 12시간 강우량을 대상으로 한반도 전역에 대한 요소별 기후분포도를 제작하였다(Fig. 2).

실효습도의 계산은 당일과 전일들의 상대습도에 가중치를 적용하여 얻어지는 평균습도로서, 본 연구에서는 식(1)과 같이 당일의 상대습도를 포함하여 과거 4일간의 상대습도의 누적값을 이용하였으며, 실효습도 계수는 0.7을 적용하였다.

$$H_e = \frac{H_0 + r(H_1) + r^2(H_2) + r^3(H_3) + r^4(H_4)}{1 + r + r^2 + r^3 + r^4} \quad (1)$$

여기서, H_e : 실효습도,

H_0 : 당일의 상대습도,

H_n : n 일 전의 상대습도,

r : 실효습도 계수

바람UV에 대한 풍향과 풍속을 산출하기 위해 바람 UV벡터 계산 알고리즘을 C++(Borland C++ Builder 6.0, USA)를 이용하여 3시간 간격의 풍향, 풍속값을

추출하였다. 바람 UV벡터 계산 알고리즘 source는 Table 2와 같다.

한반도의 산불발생위험을 나타내는 기상지수인 DWI의 산출을 위해 Lee *et al.*(2004)이 개발한 남한지역의 8개 산불발생확률모형중에서 대형산불이 자주 발생하는 강원도 지역의 산불발생확률식을 적용하였다(식 2).

한반도 산불발생확률:

$$[1 + \exp\{-(2.494 + (0.004 \times T_{\max}) - (0.008 \times EF))\}]^{-1} \quad (2)$$

여기서, $T_{\max}$ 는 최고기온(°C)이며, EF는 실효습도(%)이다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 기상예보자료의 예측 정확도

산불은 일반화재와 같이 연료, 산소, 열에 의하여 발생되지만 산불발생위험도는 임상, 연료의 종류, 연료의 배열 및 밀도와 같은 연료의 조건과 습도, 기온, 풍속과 같은 기상요인 그리고 사면방위나 고도와 같은 지형적 영향에 의하여 복합적으로 발생한다(Davis 등, 1959). 따라서 산불발생위험도를 효과적으로 예측하기 위해서는 기상요인, 임상, 지형등과 같은 산불발생 특성요인을 이용하여 산불발생위험정도를 예측하고 예보할 수 있는 과학적이고 선진화된 시스템 구축이 필요

Table 2. UV vector algorithm to calculate wind speed and wind direction

Wind speed	Wind direction
<pre>float conv_uv2ws (float u, float v) { AnsiString strTmp(""); strTmp.printf ("%1f", sqrt(u*u + v*v)); return StrToFloat (strTmp); }</pre> <p>Where, sqrt means square root and Return means return of calculated value.</p>	<pre>float conv_uv2wd (float u, float v) { float pi, r2d; float wd; if (u == 0 && v >= 0) return 0; else if (u == 0 && v < 0) return 180; pi = acos(-1.0); r2d = 180. / pi; if (u > 0) wd = 270 - atan(v / u) * r2d; else wd = 90 - atan(v / u) * r2d; return wd; }</pre> <p>Where, acos: arccosine, atan: arctangent.</p>

Fig. 3. Predicting verification among RDAPS, digital weather data and real-time weather data of 76 weather stations. (Left axis) Comparison of three weather factors between real-time weather data (2005.12.12. 15:00 KST) and RDAPS forecasting weather data (2005.12.12. +15hr KST). (Right axis) Comparison of three weather factors between real-time weather data (2005.12.12. 15:00 KST) and digital weather data (2005.12.12. +15hr KST).

하다.

국립산림과학원에서 개발하여 운영중인 산불위험예보시스템의 기상인자는 실황자료와 예보자료의 정확도 평가시 오차가 발생하여 산불위험지수에 영향을 미치고 있다. 실황자료는 최종 품질관리(quality control, QC)를 거쳐 일반인에게 공개되는 반면 예보자료는 RDAPS(30km×30km) 자료에서 추출된 1차 가공자료로서 기상청 내부에서 활용되는 예보관의 편집 전 자료로 활용해 왔다. 이러한 이유로 RDAPS 자료에서 추출된 1차 기상예보자료의 기후요소별 예측값이 76개 관측소의 실황자료와 비교했을 경우 시간이 경과됨에 따라 예측력이 점차 떨어지는 현상을 보였다. 기상예보자료의 예측정확도 검증에 위해 2005년 12월 12일 15시 자료를 대상으로 RDAPS 추출자료와 디지털예보자료(KST 00기준)의 +15시간의 기온, 습도, 풍속 요소를 추출하여 산불위험도가 가장 높은 오후 3시의 76개 기상관측소의 실황자료와 비교한 결과, Fig. 3에 서처럼 76개 기상관측소에서 관측한 실황자료에 대응하는 기상요소별 디지털예보의 예측값이 RDAPS 추출 자료에 비해 예측력이 향상된 것으로 나타났다. 따라서 디지털예보자료에서 한반도 전역에 대한 3시간 간격의 기상예보자료의 획득이 가능해짐에 따라 현재 76개소를 5km×5km 격자망으로 확대함으로써 기상자료의 공간해상력을 향상시킬 수 있어 남한지역에서의 예측력 높은 산불위험예보는 물론 한반도 전역에 대한 DWI의 산출이 가능해질 것으로 사료된다.

3.3. 디지털예보자료를 활용한 한반도 산불기상위험지수 산출

예측정확도가 검증된 디지털예보자료를 활용하여 한반도의 기상에 의한 DWI를 산출하기 위해 국립산림과학원에서 개발한 산불발생확률모형 중 강원도 권역의 산불발생확률식을 적용한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 과거 산불통계에 따르면 2005년 12월 12일을 전후하여 경북 2건, 울산 2건, 강원 1건 등 총 5건의 산불이 강원과 영남지역을 중심으로 발생하였으며(산림청, 2005), 디지털예보를 이용하여 분석한 산불기상위험도의 예측력과 일치하는 경향을 보였다. 하지만 향후 한반도의 실시간 산불위험예보를 위해서는 남한지역의 산불발생확률식이 아닌 북한지역을 포함한 한반도 전역에 대한 산불발생확률식 개발이 필요하다. 북한지역의 산불발생확률식 개발을 위해 Moderate

Fig. 4. The forest fire danger rating over the Korean Peninsula with Daily weather index (DWI) model.

Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) 영상 등에서 산불발생 위치정보(fire spot)를 추출하고 발생 지점의 기상상황은 산불발생에 미치는 디지털예보자료의 요소별 기상인자를 추출하여 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 통해 산불발생확률 알고리즘을 개발한다면 한반도 전역에 대한 일일 기상에 의한 산불기상위험지수 산출이 가능해 질 것으로 사료된다. 또한 한반도 산불발생위험을 예측하기 위해서는 기상 변화뿐 아니라 지형과 임상 등의 자연환경 요인을 추가로 고려해야 하기 때문에 북한지역의 지형모형지수(topographic model index)와 임상모형지수(fuel model index)를 개발하여야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 북한지역의 지형과 임상조건

에 따른 산불발생위치를 파악하여 정량화하는 연구가 필요하다. 지형인자는 30arc-seconds DEM 자료를 활용하고 임상조건은 침엽수·활엽수·혼효림 구분이 가능한 위성영상을 활용하여 원격탐사의 분류기법(classification methods)을 통해 임상을 대분류한 후 예측모형에 적용한다면 한반도 전역의 산불발생위험을 사전에 예지할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4. 산불위험예보 정확도 검증

실제 산불위험지수의 예측력 검증을 위해 5km 격자단위의 디지털예보자료에서 추출된 기상예보자료를 76개 기상관측소의 실황자료와 비교하여 정확도를 평가하였다. 산불위험예보 정확도 검증을 위한 실황자료

Table 3. Mean value of real-time weather data, digital weather data and RDAPS applied verification of forest fire danger rating index. The sample points are 76 weather stations located in South Korea

Classes	Temperature(°C)			Effective humidity(%)			Wind speed(m/s)		
	Mean	Interval	SD	Mean	Interval	SD	Mean	Interval	SD
Real data	9.7	3.7~13.1	1.8	50.2	37.7~63.5	6.1	5.4	2.0~16.5	2.4
Digital weather	9.9	4.4~14.4	1.9	52.6	36.9~68.2	5.7	7.6	5.2~10.0	1.0
RDAPS	8.2	4.6~10.0	1.2	49.7	47.5~52.0	1.2	7.0	2.4~10.0	1.4

Fig. 5. Comparison of forest fire danger rating between real-time weather data and digital weather data (KST 15:00). Forest fire danger rating with applying real-time weather data (left image), Forest fire danger rating with the application of digital weather data (right image).

와 디지털예보, RDAPS 자료의 기상요소의 현황은 Table 3과 같다. 기상실태자료에 대한 디지털예보자료의 평균오차는 평균기온 0.2°C, 실효습도 2.4%, 평균 풍속 2.2m/s로 나타났으며, RDAPS에 대한 평균오차는 평균기온 -1.5°C, 실효습도 -0.5%, 평균풍속 2.0m/s로 나타났다. 그러나 기상실태자료에 대한 디지털예보와 RDAPS 자료의 비교 결과 디지털예보의 기온과 습도의 구간범위와 표준편차가 실태자료와 대체적으로 일치하는 경향을 보였으며, 풍속은 큰 차이를 보이지는 않았다. 따라서 향후 기상예에 의한 산불발생위험지수 예측을 위해서는 RDAPS 추출 자료보다는 디지털예보자료의 기상요소를 활용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

76 지점의 실태자료에 대한 디지털예보자료의 예보 정확도 비교를 위해 2007년 4월 3일 15시(KST)를 기준으로 산불위험지수를 산출한 결과 Fig. 5와 같이 디지털예보 자료를 활용할 경우 산불위험예보의 정확도가 크게 향상되는 결과를 얻을 수 있었다. 산불위험예보의 정확도 검증에 위해 실태자료와 디지털예보자료를 적용하여 예측된 전국 233개 시·군·구의 평균 산불위험지수를 각각 추출하여 비교한 결과 $R^2=0.854$ 의 높은 상관도를 보였다(Fig. 6). 15시를 기준으로 하여 실제 76개소에서 관측한 기상자료를 적용하여 전국의 산불위험지수를 예측한 평균값은 70.5로 디지털

Fig. 6. Verification of forest fire danger rating index with the application of real-time weather data and digital weather data. The sample points are 233 points of national administrative districts.

예보자료를 적용하여 예측한 평균 위험지수(70.0)와 0.5의 오차를 보여, 디지털예보자료를 이용하여 산불위험지수를 산출할 경우 실태자료와 유사한 결과를 얻을 수 있어 예측력이 개선되었음을 확인할 수 있었다. 특히, 76개소에서 관측한 실태기상자료를 활용한 산불위험지수에 대하여 디지털예보자료에 의해 예측된 산불

Table 4. Statistical comparison of forest fire danger rating index (FFDRI) between real-time weather data and digital weather data (KST 15:00, 4. 14. 2007)

Classes	FFDRI of real-time data	FFDRI of digital weather
Mean	70.5	70.0
Max.	93.6	93.1
Min.	23.5	30.3
SD	13.0	11.8
SE	0.9	0.8

4.5

$$S_{y,n} = \sqrt{\frac{1}{n(n-2)}}$$

$$\text{Standard error}(y,x) = \sqrt{\frac{n\sum y^2 - (\sum y)^2 - \frac{[n\sum xy - (\sum x)(\sum y)]^2}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}}{n}}$$

Where, x = the sample average of FFDRI by real-time weather data,

y = the sample average of FFDRI by digital weather data,

n = sample size

위험지수의 표준오차는 4.5로 나타나 두 집단간의 지점별 위험지수가 유사한 경향으로 해석되어 전체적인 예측정확도가 신뢰할 수 있는 수준인 것으로 나타났다 (Table 4). 하지만 일부 지역에서의 평균 산불위험지수가 편차를 보이는 이유는 디지털예보 모델 적용시 나타나는 편이(bias)에 의한 실황자료와 디지털예보자료와의 편차에 의한 결과로 판단된다. 이러한 기상자료의 편차로 인해 산불발생확률모형 적용시 산불위험지수 예측값에 영향을 미치는 것으로 판단해 볼 수 있다.

적 요

본 연구는 디지털예보(현 동네예보) 자료를 활용하여 우리나라의 산불위험예보의 정확도 향상은 물론 기상 에 의한 산불위험지수를 산출하여 한반도의 산불위험예보 체계를 구축하는데 있다. 한반도 지역의 산불발생위험을 나타내는 기상지수(daily weather index, DWI)를 산출하기 위해 기상청의 5km 격자간격의 디지털예보자료를 이용하였다. DWI 분석을 위해 온도, 습도, 풍속 UV, 1시간 강우량, 12시간 강우량을 대상으로 한반도 전역에 대한 기상요소별 가후분포도를 제작하였다. 한반도의 기상에 의한 일일 DWI 산출을 위해 대형산불이 자주 발생하는 강원도 지역의 산불발생확률

식 $[1+\exp\{-(2.494+(0.004 \times T_{\max})-(0.008 \times EF))\}]^{-1}$ 을 적용하였다. 기상예보자료의 예측정확도 검증에 위해 RDAPS, 디지털예보, 실황자료 모두 2005년 12월 12일 15시 자료를 대상으로 비교·분석한 결과 76개 기상관측소에서 관측한 실황자료에 대응하는 기상요소별 디지털예보의 예측값이 RDAPS 추출 자료보다 향상된 예측결과를 보였다. 산불위험예보 정확도 검증을 위해 사용한 실황자료와 디지털예보자료의 평균오차는 평균 기온 0.2°C, 실효습도 2.4%, 평균풍속 2.2m/s로 나타나 큰 변이는 없었지만, 평균풍속에서 실측값과 예측값간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 디지털예보자료를 활용할 경우 RDAPS 자료보다 산불위험예보의 정확도가 크게 향상되는 결과를 얻을 수 있었으며, 산불위험예보의 정확도 검증을 위해 실황자료와 디지털예보자료를 적용하여 예측된 전국 233개 시·군·구의 평균 산불위험지수를 각각 추출하여 비교한 결과 $R^2=0.854$ 의 높은 정확도를 보였다. 산불위험도가 가장 높은 15시의 실제 76개소에서 관측한 기상자료를 적용하여 전국의 산불위험지수를 예측한 값은 70.5로 디지털예보자료를 적용하여 예측한 위험지수(70.0)와 0.5의 오차를 보여 예측력이 개선되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 디지털예보를 적용할 경우 실황자료와의 예측력이 검증된 만큼 향후 기상에 의한 한반도의 산불발생위험지수를 보다 정확하게 계산하는데 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Davis, K. P., 1959: Forest Fire-Control and Use. 584pp.
- Glahn, H. R. and D. P. Ruth, 2003: The new digital forecast database of the national weather service. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **84**, 195-201.
- Lee, S. H., 1997: The state of forest resources in North Korea overlooking at the satellite. *Forest Science Information* **74**. Korea Forest Research Institute.
- Lee, S. Y., S. Y. Han, M. S. Won, S. H. An, and M. B. Lee, 2004: Developing of forest fire occurrence probability model by using the meteorological characteristics in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(4), 242-249. (In Korean with English abstract)
- Ruth, D. P., 2002: Interactive Forecast Preparation-the future has come. *Preprints 18th Int. Conf. on Interactive Information and Proceeding Systems for Meteorology, Oceanography and Hydrology*. Orlando, Amer. Meteor. Soc., 20-22.
- Shin, K. S., 2005: The Development and Operation Plan for Digital Forecast in KMA. *Proceedings of the Spring*

- Meeting*, Korean Meteorological Society, 2-5.
- Won, M. S., K. S. Koo, and M. B. Lee, 2006: An Analysis of Forest Fire Occurrence Hazards by Changing Temperature and Humidity of Ten-day Intervals for 30 Years in Spring. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(4), 250-259. (in Korean with English abstract)
- <http://www.digital.go.kr> (2009. 10. 26)
- 기상청, 2006: 디지털예보모델 운영체계 디지털예보모델자료 규격. 기상청 DFS TN 2006-2. 52p.
- 기상청, 2007: 2006년 디지털예보 검증. 디지털예보개발과 기술노트 2007-1. 16p.
- 산림청, 2005: 2005년 산불통계연보.