

캐나다 산불 기상지수를 이용한 산불발생확률모형 개발 -강원도 지역 산불발생을 중심으로-

A Study on the Development of Forest Fire Occurrence Probability Model using Canadian Forest Fire Weather Index -Occurrence of Forest Fire in Kangwon Province-

박흥석* · 이시영** · 채희문*** · 이우균****

Park, Hong Sek · Lee, Si-Young · Chae, Hee Mun · Lee, Woo-Kyun

Abstract

Fine fuel moisture code (FFMC), a main component of forest fire weather index(FWI) in the Canadian forest fire danger rating system(CFFDRS), indicated a probability of ignition through expecting a dryness of fine fuels. According to this code, a rising of temperature and wind velocity, a decreasing of precipitation and decline of humidity in a weather condition showed a rising of a danger rate for the forest fire. In this study, we analyzed a weather condition during 5 years in Kangwon province, calculated a FFMC and examined an application of FFMC. Very low humidity and little precipitation was a characteristic during spring and fall fire season in Kangwon province. 75% of forest fires during 5 years occurred in this season and especially 90% of forest fire during fire season occurred in spring. For developing of the prediction model for a forest fire occurrence probability, we used a logistic regression function with forest fire occurrence data and classified mean FFMC during 10 days. Accuracy of a developed model was 63.6%. To improve this model, we need to deal with more meteorological data during overall seasons and to associate a meteorological condition with a forest fire occurrence with more research results.

Key words : Fine fuel moisture code(FFMC), CFFDRS, Forest fire occurrence.

요 지

캐나다의 산불 위험등급 시스템의 구성요소인 미세연료수분지수는 지상의 미세 연료의 건조 여부의 예측을 통해 산불의 발화 위험성을 지시하는 지수로써, 강수량의 감소와 온도의 상승, 풍속의 상승, 그리고 대기 중의 습도 감소로 인한 미세연료의 발화 위험성의 상승을 표시하는 지수이다. 본 연구에서는 5년간의 강원도 지역에서의 기상 자료를 분석하고, 이를 이용하여 미세연료 수분지수를 산출하여, 그 연중 분포와 적용성을 검토하였다. 분석 결과, 강원도 지역의 기후 조건은 봄철과 가을철 산불 조심 강조기간에 아주 적은 강수량과 낮은 습도를 보여주고 있으며, 지난 5년간의 발생한 산불 중 75%가 산불 조심 강조기간에 발생하였으며, 그 중 90%가 봄철 산불조심기간에 집중되어 있었다. 또한, 봄철 산불조심 강조기간을 대상으로 순기 평균 산불 연료지수에 대한 로지스틱 분석 결과 약 63%의 판별율을 나타내었다. 하지만, 모형의 정확도 향상을 위한 기상 자료의 보다 정확한 지역간 분류가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 연료 수분 지수(FFMC), 캐나다 산불 위험 지수(CFFDRS), 산불 발생

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 산림이 전국토의 65%를 차지하고 있어 산불의 영향을 받기 쉬우며, 1970년대의 산림 녹화 사업과 강력한 산불 금지 정책으로 산림 내에 연료가 증가하여 산불의 발생

과 대형화 가능성이 높아지고 있다.(이시영 등, 2001) 그 결과, 1990년대 들어 산불 발생 건수가 지속적으로 증가하고 있으며, 그 규모 또한 대형화 되고 있다.(최관 등, 1996) 이러한 산불은 생태계의 주요 교란 요인 중 하나로써, 산불로 인해, 수목의 소실로 인한 직접적인 임산 자원 손실 뿐만 아니라 토양 유출과 이로 인한 산사태 피해, 수자원 부족,

*정회원 · 동국대학교 환경생태공학과 박사과정(E-mail: parkhs08@dreamx.net)
**정회원 · 강원대학교 방재전문대학원 조교수(교신저자)
***한국기후변화대응연구센터 책임연구원
****고려대학교 환경생태공학부 교수

산림 생산량 감소와 서식종의 감소로 이어진다. 아울러 생태계 파괴와 경관 파괴로 인한 관광 수요의 감소 등 2차적인 피해를 야기시키고 있다.

최근 지구 온난화로 인한 임상의 변화와 이로 인한 산불 발생 가능성의 변화가 예상되고 있으며, 가뭄 기간의 연장(임종환 등, 2006)과 이로 인한 지상 연료의 발화 가능성 변화도 예상되고 있다. 또한, 기후 변화로 인한 강풍 발생에 의해, 산불의 대형화 가능성이 높아지고 있고, 지구 온난화와 기후 변화로 인한 산불의 피해는 증가할 것으로 예측하고 있다.(Stocks 등, 1998) 이로 인해 선진국에서는 전 국가적인 산불 관리 정책의 개선과 관심을 촉구하고 있으며, 이를 위해 기후 변화로 인해 산불에 미치는 영향에 대한 연구가 증가하고 있는 추세이다.(Flanigan 등, 2005, Stocks, B.J, 2000) 따라서, 이러한 기후 변화에 따른 산불 발생 가능성의 변화를 파악하고, 예측함으로써, 산불의 대형화를 미연에 방지하는 기술의 개발과 적용이 더욱 필요하다고 할 수 있다.

이러한 기후 변화로 인해 다가올 미래의 기상 조건은, 여지껏 한반도에서 경험하지 못한 새로운 기상 환경을 제공할 것으로 예측되며, 이는 강우량의 급격한 증가와 집중호우, 비정상적인 가뭄 시기의 증가와 이로 인한 한반도의 산림 식생의 변화를 가져올 것으로 예측된다.(임종환 등, 2006, 한국환경정책평가연구원, 2005) 이러한 산불 환경의 변화는 산불의 발생 빈도와 대형화 가능성의 변화를 가져올 것이 필연적인 상황이지만, 현재 우리나라에서 운영 중인 산불 예보 시스템의 발생 예측 모형은 과거의 산불 발생 자료와 단기간의 기상 자료를 이용한 확률적 모형에 근거함으로써, 미래의 변화된 기상 환경에 적용성에 대한 문제점이 예상되고 있다.

그러므로, 보다 정확한 산불의 발생 예측을 위해서는 산불 발생 인자 별로 세분화된 접근이 필요할 것으로 사료된다. 자연 발화가 산불 발생 원인 중 대부분을 차지하는 미국과 캐나다 등과는 달리, 우리나라의 산불 발생은 담뱃불로 인한 실화, 논·밭두렁 태우기, 쓰레기 소각과 같은 인위적인 원인으로 인한 불씨가 지상의 연료 건조 정도와 강한 바람에 산불로 발전하는 경우가 대부분이다.(이시영 등, 2001) 따라서 본 연구에서는 산불의 발생을 예측하고, 이에 대한 대비책의 수립에 기본 자료를 제공하기 위해, 현재 캐나다 산불 예보 시스템(Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS)의 구성 요소 중 하나인 FWI(Fire Weather Index)의 주요 인자인 미세연료수분지수(Fine Fuel Moisture Code, FFMC)를 활용하여 지상 연료의 수분 변화에 따른 산불의 발생 여부를 구명하고자 한다. 이를 위해, 지난 5년 간 강원도 지역의 산불 기록과 기상청의 기상인자(풍속, 온도, 습도, 강수량 등)를 이용하여 산출된 FFMC값을 이용하여, 산불 발생 예측 모델을 개발하고, 그 활용성과 운용 효율을 검증함으로써, 향후 기후 변화에 따른 산불의 발생 확률 예측의 지표로 삼고자 한다.

캐나다의 산불의 발생 예측 기술 개발은 1925년에 J.G.Wright에 의해 그 연구가 시작되었으며, 이 후, 그의 동료인 H.W.Beal과 후세 연구자들은 이 기술을 캐나다 전역에서 적용성이 가능한 네 가지의 산불 위험 시스템으로 보완

발전시켰다. 1957년 부터 이 시스템은 캐나다의 각 지역에 적합하도록 수정작업이 이루어졌으며, 이 후 Kill과 MacTavish은 각 지역별 연료 형태에 대한 실제 실험을 실시하고 이에 근거하여 시스템은 보완되었다. 캐나다 산불 위험 지수의 기본 개념은 개발 초기에 사용된 기본 구성 요소를 최대한 유지하고, 각종 자료 계산의 단순화, 그리고, 원리적인 수식 보다는 경험적인 수식을 이용하는 것이었다. 이러한 작업은 주로 1950년대에 시행되었으며, 이러한 개념에 의해 방대한 현장 자료가 구축되었다.

그 후, 1970년 대 초기에, 1950년대 중반의 개발시기에 예측하지 못한 부분에 대해서, 산불 위험 시스템에 대한 보다 많은 요구조건과 의견이 제안되었고, 이러한 의견과 요구조건을 바탕으로 새로운 산불 위험 지수의 개발이 수행되었다. 이것은 J.C.McCleod(1968)의 제안에 의해 캐나다 산불 기상 지수(Canadian Forest Fire Weather Index)라고 불리게 되었으며, Muraro(1968)은 기본적인 형태를 제안하였다. 캐나다 산림청은 캐나다 산불 기상 지수의 최초본과 그 보조 요소들을 발표하였고(1970), 보완 본이 1976년과 1978년 그리고 1984년에 발표되었다. J.A Turner와 Van Wagner 등은 연료의 건조 가설을 실험을 통해 입증하였으며, 이러한 연구 성과를 토대로 Van Wagner(1987)에 의해 캐나다 산불 기상 지수가 완성되었다.(Van wagner, 1987)

Alexander(1996)와 Stocks(2000)등은 이러한 캐나다 산불 기상 지수를 활용하여 다양한 연구를 수행하였으며, 이것은 후에 De Groot과 Alexander(1986)에 제안된 기본 개념에 의해 산불 행동 예측 시스템이 더해지면서 캐나다 산불 위험 예측 시스템으로 발전하였고, Lee 등(2002)은 공간적인 분석을 추가함으로써 캐나다 산불 정보 시스템(Canadian wildland fire information System)을 제안하여 운영 중에 있다.

한편, 이러한 산불 기상 지수를 이용하여, Stocks 등(2000)은 기후 변화와 산불의 발생과 진화에 대한 연구를 수행하였으며, Mike Flannigan 등(2002)은 기후 변화에 따른 산불의 발생 가능성과 대형화에 대한 연구 등을 수행하고 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 산림 지대이며, 산불의 가장 많은 피해를 보았던 강원도를 대상으로 지난 5년간의 기상 자료와 산불 발생 자료를 바탕으로 산불 발생과 기상관계를 분석하고, 캐나다 산림청에서 개발한 미세연료수분지수(fine fuel moisture code, FFMC)의 적용성 검토를 위해, FFMC와 강원도에서의 산불 발생 간의 상관 관계를 분석하고, FFMC의 직접적인 적용 가능성을 시험하고, 이를 이용한 산불 발생 예측 확률 모형을 개발코자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상지

연구 대상지는 강원도 지역을 대상으로 하였다. 강원도는 우리나라 전역의 산불 중 특히 봄철에 집중적으로 대형 산불이 발생하는 경향이 있으며,(원명수 등, 2006) 이는 영동지역 특유의 건조하고 강한 바람이 대형 산불의 발생 원인이 되고

있다.(이시영 등, 2001) 따라서, 지상 미세 연료의 수분량 변화와 산불의 발생 추이의 파악에 적합한 지역으로 사료 되었으며, 산불 발생 자료 분석 결과, 지난 10년(1999~2008년) 간 전국에서 발생한 산불 피해 면적 중 약 74%를 차지한 지역이므로, 산불의 피해 영향을 많이 받은 지역으로 판단되어 대상지로 선정하였다.

2.2 분석 방법

2.2.1 캐나다 산불 기상지수(Forest fire Weather Index, FWI)의 소개

본 연구에서 적용성이 검토되는 FFMFC는 현재 캐나다에서 사용하고 있는 캐나다 산불위험 평가시스템(Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS)의 구성 요소인 FWI(Fire Weather Index)를 구성하는 기본 입력 자료이다. 이것은 현재까지 계속적인 보완연구를 거듭하고 있고, 개발된 프로그램은 캐나다 전 지역에서 현재 산불예방 및 진화 등에 활용되고 있다.(Van Wagner, 1987)

FWI 시스템은 3가지 종류의 연료의 습도 변화를 나타내는 지수와 이를 이용하여 바람의 영향을 고려하여 산정된 ISI(Initial Spread Index), 그리고 BUI(Build Up Index)의 5가지의 구성요소로 되어 있다. 첫 번째 3개의 구성요소는 본 연구에 적용될 연료에 포함된 습도코드로서, 지상의 임내 미세 연료의 수분량을 지수화하여 예측하는 미세연료수분지수(Fine Fuel Moisture Code, FFMFC)와 임내의 표층 연료 층의 습도를 예측하는 Duff Moisture Code(DMC) 그리고 깊은 유기물층과 지중의 굵은 연료의 수분을 예측함으로써 계절적인 가뭄과 지중화의 가능성을 예측하는 Drought Code(DC)로 구성된다. 그 중 FFMFC는 풍속 인자와 결합되어 초기 확산 지수(Initial Spread Index, ISI)를 산출하기 때문에 그 중요성은 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 FFMFC는 기온과 상대습도, 풍속, 강우량을 이용하여 얻어지며, 0-99까지의 수로 나타내어진다. 숫자가 높을 수록 지상의 미세 연료의 수분 함유량이 적으므로 발화 가능성이 높다고 할 수 있으며,(Alexander 등, 1996) 이를 이용하여 반대로 0.25 kg/m²의 미세 연료가 함유하고 있는 수분량을 추정할 수도 있다. 미세 연료의 수분량을 이용하여 미세 연료 수분 지수를 계산하는 방법은 식(1)과 같다.

$$F = 59.5(250-m)/(147.2+m) \quad (1)$$

여기서, F는 미세연료수분지수(FFMFC)이며 m은 미세연료가 함유하고 있는 최소 수분량이다.

또한, 최소 수분량 m은 전일의 최소수분량에서 변화하게 되며, 이 둘은 다음 식(2)와 같은 관계를 갖는다.

$$m = E + (m_0 - E) \times 10^{-k} \quad (2)$$

m = 당일 미세연료 수분량, m₀ = 전일 미세연료 수분량, k = 건조율, E = 당일의 평형 수분량(equilibrium moisture contents)

이 식에서의 각 구성 요소 중 E는 당일의 평균 상대 습도(H)와 최고 온도(T)의 식으로 산출되며, 그 산출식은 식(3)과 같다.

$$E = aH^b + ce^{(H-100)/10} + fe^{(H-100)/10} + g(h-T)(1-e^{-hT}) \quad (3)$$

a, b, c, f, g, h, i는 각각 상수이며, 연료가 건조되는 상황과 습윤해지는 상황에 따라 각각 달라진다. 한편, 건조율 k는 평균 풍속(W)과 평균 상대 습도(H)에 의해 구해지며 식(4)와 같다.

$$k = 0.424[1 - ((100-H)/100)^{1.7}] + 0.0694W^{0.5} [(((100-H)/100)^8)] \quad (4)$$

이와 같이 식(3)과(4)를 통해 얻어진 미세연료수분량(m)을 이용하여 FFMFC를 산출한다. 즉, 위의 식(3)을 사용하여 얻어진 E 값을 통해 식(2)에서 얻어진 m을 식(1)에 대입하여 FFMFC를 구할 수 있다. 입력 값 이와 같은 계산은 J.A Turner와 Van Wagner의 실험에 의해 입증된 계산식을 이용한 것이다.(Van Wagner, 1987)

2.2.2 캐나다 산불 기상지수의 적용 및 분석 방법

2.2.2.1 기상 자료

산불 기상지수의 산출을 위한 필수 입력 자료는 최고 온도, 평균 습도, 최대 습도, 최대 풍속, 강수량이다. 금번 연구에서는 기상청의 협조를 받아 강원도의 속초, 철원, 대관령, 춘천, 강릉 관측소의 기상자료를 사용하였으며, 관측 시기는 2002년부터 2006년까지의 5년간 자료를 이용하였다.

2.2.2.2 산불 발생자료

산불 발생자료는 2002년부터 2006년까지의 산림청 산불 통계 자료를 참조로 하였으며, 연구기간 동안 발생한 산불 발생 사례 중 강원도 지역만을 선택하여, 날짜 순으로 배열하였다. 산불 발생과 기상 인자 간의 분석을 위하여 산불 발생을 1, 산불 미발생 시 0으로 각각 입력하여 FWI에서 산출된 FFMFC의 산출 결과와 비교 분석하였다.

2.2.2.3 FFMFC의 산출

위의 기상 자료를 입력하여 산불 기상지수(FWI)를 통해 산출된 미세 연료 수분 지수(FFMFC)를 사용하여, 산불 자료와의 상관관계 분석을 실시하였다. 산불 기상지수는 0-99까지의 수로 나타내어지며, 그 수가 클수록 산불의 발생 확률이 높다고 할 수 있다.

2.2.2.4 분석 방법

조사된 자료는 SPSS 12.0.1프로그램을 사용하여 통계 분석을 실시하였다.

산불의 발생을 추정하기 위한, 추계 통계학(inferential statistic)적 방법으로 가장 많이 쓰이는 것은 로지스틱 분석법이다. 로지스틱 분석에 대한 가설을 위해, 미세연료수분지수(FFMFC)와 산불 발생에 대해 상관관계 분석과 로지스틱 분석을 실시하였다.

Table 1. Classification of mean FFMC during 10 years in spring

FFMC	Index
0-58	1
58.01-70.5	2
70.51-80	3
80.01-99	4

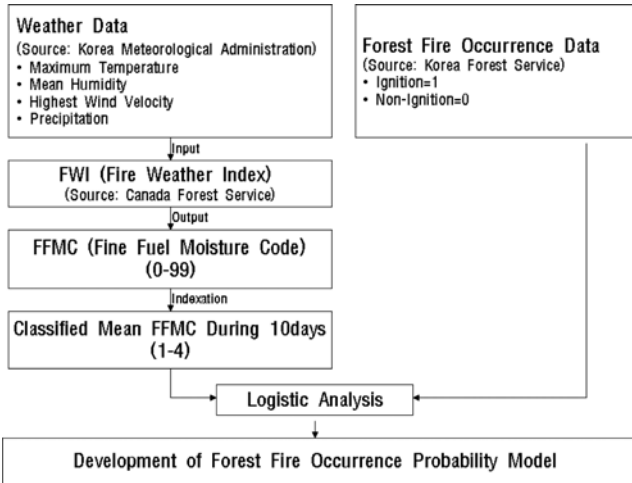


Fig 1. Flowchart of development of forest fire occurrence probability model

산불조심 강조기간(봄철: 2월 1일~5월 15일, 가을철: 11월 1일~12월 15일)중 조사 대상지인 강원도 지역에서 산불조심 강조기간에 발생한 산불 중 90%가 봄철에 발생하였으므로, 봄철 산불 조심 강조기간의 FFMC 중 10일 단위의 평균 FFMC를 사용하였다. 산출된 시기별 FFMC에 의한 모형을 위해 빈도 분석 결과에 의한 시기별 FFMC를 백분위 수에 의해 Table 1와 같이 4개 지수로 분류하여 지수화하였다. 이와같은 조사 및 분석 방법은 다음 Fig 1과 같이 정리하였다. 이것은 Index가 낮으면, FFMC가 낮고, 미세 연료 내의 수분이 높음을 의미한다.

3. 연구 결과

3.1 기상 조건 분석 결과

강원도 지역의 5개 관측소(속초, 철원, 대관령, 춘천, 강릉)에서 2002년부터 2006년까지 측정된 5년간의 기상자료를 분석한 결과, 연평균 기온은 15.9°C, 일일 최고기온은 30.7°C, 일일 최저기온은 -1.9°C를 기록하였고, 연평균 강수량은 1700 mm, 일일 최고 강수량은 386.2 mm, 연평균 풍속은 2.54 m/s, 연평균 습도는 66.5%로 나타났다. 강원도 지역의 5년 간 기상 자료 중 기온과 강수량을 월 별 추세를 분석해보면 기온과 강수는 7월, 8월에 집중적으로 높아지고 있음을 알 수 있다.

특히, 산림청에서 지정한 산불조심 강조기간(봄철: 2월 1일~5월 15일, 가을철: 11월 1일~12월 15일)의 기상 자료를 분석한 결과, 봄철 산불조심 강조기간의 평균 기온은 12°C, 일일

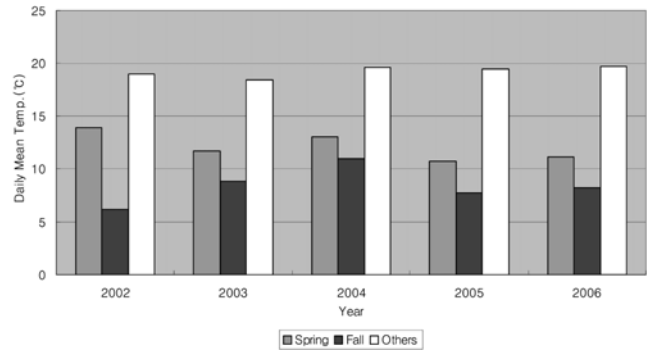


Fig 2. Comparison of daily mean temperature according to fire season on each year

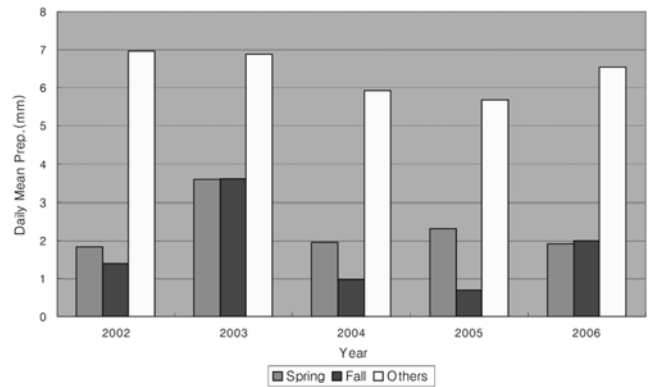


Fig 3. Comparison of daily mean precipitation according to fire season on each year

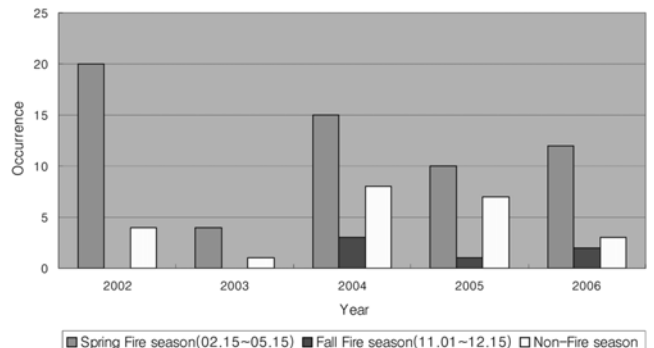


Fig 4. Comparison of fire occurrence according to fire season on each year.

평균 강수량은 2.01 mm를 기록하였고, 가을철 산불조심 강조기간의 평균 기온은 8°C, 평균 강수량은 1.8 mm를 기록하였다. 산불조심 강조기간을 봄철, 가을철, 그리고 그 외의 기간으로 나누어 1년 단위로 기온 변화와 강수량 변화 추이를 나타내면 다음 Fig 2와 Fig 3과 같다. 이를 분석해보면, 기온은 하절기가 포함된 관계로 산불 강조기간이 아닌 시기가 가장 높은 것으로 나타났고, 가을철 산불 강조 기간이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 기온이 산불의 발생 추이에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 하지만, 강수량은 봄철 산불조심 강조 기간과 가을철 산불 강조 기간이 각각 나머지 기간의 36%와 27%만을 차지할 정도로 건조한 것으로 나타

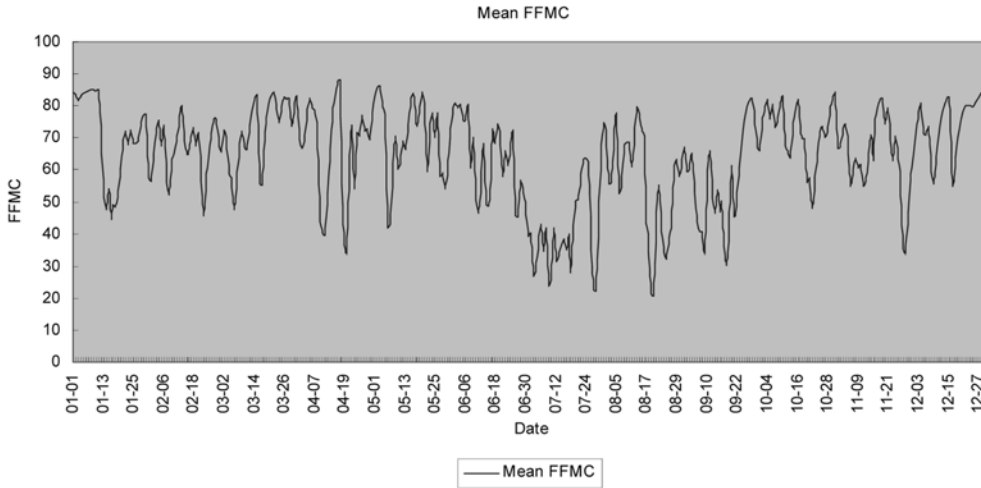


Fig 5. Daily mean FFMC during 5 years

났다. Fig 4의 산불 발생의 추세와 비교해보면, 봄철 산불조심 강조기간에 강원도에서 발생한 전체 산불의 68%가 발생한 것으로 나타났다. 이는 봄철 산불 조심 강조 기간이 비교적 높은 기온과 적은 강수량으로 인해 산불이 발생하기 쉬운 조건이 형성되었음을 알 수 있다. 반면, 비 산불조심강조기간에도 다수의 산불이 발생한 것으로 보아 기상조건 외에도 인위적인 영향도 큰 것으로 나타났다.

3.2 산불 지상 연료지수(FFMC)의 분석 결과

강원도 지역 전체의 평균 기상조건을 캐나다 산불 기상 지수(FWI)에 적용하여 산출한 연중 평균 FFMC의 추이는 Fig 5와 같다.

빈도 분석 결과 평균 64.58, 표준 편차 15로 나타났으며, 1년 중 7월, 8월을 제외하고 높은 수치를 나타내고 있다. 이는 7월, 8월에 집중 호우로 인한 강수량의 증가로 FFMC가 낮아진 것으로 사료되며, 나머지 기간동안의 FFMC가 70이상으로 높게 나타나고 있다. 이는 강원도 지역이 기후적 조건으로 인해 지상연료가 건조한 상태가 유지되어 산불의 위험성이 년 중 상존해 있는 지역이라 할 수 있다.

봄철과 가을철 산불 조심 강조기간의 FFMC를 비교한 결과는 다음 Fig 6과 같다. 산불조심 강조기간을 비교해보면, 2005년을 제외하고 봄철 산불조심 강조기간의 FFMC가 가을

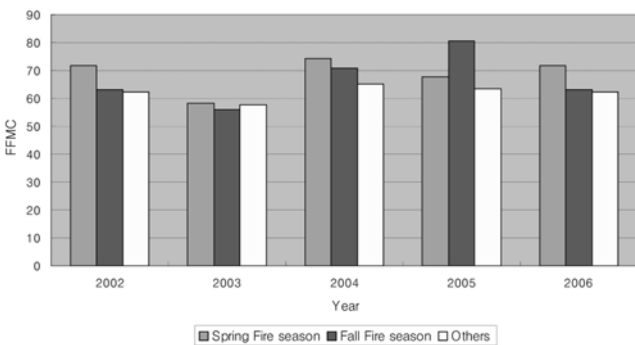


Fig 6. Mean FFMC during spring, and fall fire season and others

Table 2. Estimated probability model using logistic regression

Variable	Coefficient	S.E.	Wald
Indexed FFMC	0.422	0.258	2.668
Constant	-0.529	0.476	1.235
-2 LL	73.294		
%Prediction	63.6		

철 산불조심 강조기간의 FFMC보다 높은 것으로 나타났다.

3.3 통계 분석 결과

조사 대상 지역인 강원도 지역의 5개 관측소의 2002년부터 2006년 까지의 봄철 산불조심 기간의 순기별 평균 FFMC와 산불 발생의 유무를 SPSS 12.0.1을 사용하여 로지스틱 회귀 분석(logistic regression)을 실시한 결과, 식(1)과(2)의 산불발생확률(P)을 예측하는 모형식을 개발하였다.

$$\frac{P}{1-P} = e^{-0.529 + 0.421INDEX} \quad (1)$$

$$P = \frac{e^{-0.529 + 0.421INDEX}}{1 + e^{-0.529 + 0.421INDEX}} \quad (2)$$

Index: 지수화된 FFMC

여기에서 P는 산불 발생 확률 이며 INDEX는 지수화된 FFMC이다.

지수화된 FFMC는 산불 발생과 5% 수준에서 통계적인 유의성을 갖는 것으로 나타났다. 즉, 지수화된 FFMC가 높을수록 산불 발생 위험이 증가하는 것으로 나타났다. 추정 모형의 적합도는 $-2\text{LogLikelihood}(2LL)$ 과 분류 정확도로 평가할 수 있는 데, 분류 정확도는 실제 관측된 산불 발생과 모형으로 추정된 산불의 발생과의 일치 여부를 계산한 것으로 모형의 적합도와 예측력을 평가하는 측정 지표로서 의미를 갖는다. 추정 결과 $-2LL$ 은 73.294였고, 분류 정확도는 지난 5년간의 데이터를 이용하여 검증한 결과 63.6%였다.(Table 2)

본 연구는 우리나라의 대표적인 산림 지대이며, 산불의 가장 많은 피해를 보았던 강원도를 대상으로 지난 5년간의 기상 자료와 산불 발생 자료를 바탕으로 산불 발생과 기상 상황에 대한 분석을 실시하고, 캐나다 산림청에서 개발한 산불 지상연료 위험지수를 이용하여, 산불 발생의 예측의 적용성을 검토하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면, 다음과 같다.

강원도 지역의 봄철과 가을철의 산불조심 강조기간에는 일 평균 약 2mm의 강우만이 내리는 것으로 조사되어 산불 발생이 쉬운 건조한 기상 조건인 것으로 조사되었다. 또한 산불 발생은 산불조심 강조기간에 전체 산불의 75%가 발생하며, 특히, 그 중 봄철 산불조심 강조기간에 91%가 발생하는 것으로 조사되었다.

또한, 캐나다 산림청에서 개발된 미세연료지수(Fine Fuel Moisture Code, FFMC)를 2002년부터 2006년 까지 강원도 지역의 기상자료를 이용하여 도출한 결과, 산불 조심 강조기간 동안 평균 69.2 로 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 강원도 지역에서의 미세 연료의 수분량이 낮음을 의미하며, 산불의 발화 가능성이 위험이 높은 것으로 나타났다. 그리고, 기상 조건의 누적성을 감안하여, 봄철 산불 조심 기간의 순기별 평균 FFMC를 이용하여 25% 구간별 백분위수 방법으로 순기별 평균 FFMC를 지수화하여 모형화를 실시하였다. 지수화 결과 순기별 평균 FFMC가 80이상일 경우에 지수를 4로하여 가장 높은 지수로 설정하였으며, 이는 Amiro(2004)의 캐나다의 대형 산불에 대한 캐나다 산불 기상 지수에 관한 연구에서 대형 산불 발생 시 일일 FFMC의 값이 82에서 96사이에 발생한다는 결과와 유사한 결과를 보여주었다.

이와 같은 자료를 바탕으로 향후 연구에서는 모집단이 보다 유효적인 정규분포를 이룰 수 있도록, 보다 장기간의 기상 데이터와 전국 규모의 FFMC 산출 결과로 이 모형의 사후 검정 분석 등의 보완이 필요하다고 하겠다. 또한, 금번 연구에서는 강원도 지역 전체의 평균 기후 조건을 대상으로 하였으나, 강원도 영동지역과 영서지역의 차이, 북쪽과 남쪽 지역의 기상적인 차이와 이로 인한 산불 발생의 영향이 충분히 반영하지 못하였으므로, 금후에는 보다 세부화된 기상 조건을 적용한 미세 연료의 산출이 모형의 정확도 개선이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 S120 708L0901104)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

- 김선영, 이병두, 이시영, 정주상 (2005) 산불 통계 자료를 이용한 산불 위험 지수 고찰. **한국 농림기상 학회지**, 한국 농림기상학회, 제7권, 제4호, pp. 235-239.
- 원명수, 구교상, 이명보 (2006) 우리나라의 봄철 순평년 온습도 변화에 따른 산불발생위험성 분석. **한국농림기상학회지**. 한국 농림기상학회, 제8권, 제4호, pp. 250-259.
- 이시영, 한상열, 원명수, 안상현, 이명보 (2004) 기상 특성을 이용한 전국 산불 발생 확률 모형 개발. **한국 농림기상학회지**. 한국 농림기상학회, 제 6권, 제4호, pp. 242-249.
- 이시영, 한상열, 안상현, 오정수, 조명희, 김명수 (2001) 강원도 지역 산불 발생인자의 지역별 유형화. **한국농림기상학회지**, 한국 농림기상학회, 제3권, 제3호, pp.135-142 .
- 이학식, 임지훈 (2006) **SPSS 12.0 매뉴얼**. 법문사.
- 임종환, 신준환, 이돈구, 서승진 (2006) 기후변화에 따른 산림생태계 영향: 우리나라 연구현황과 과제. **한국농림기상학회지**, 한국 농림기상학회, 제8권, 제3호, pp. 199-207.
- 최관, 한상열 (1996) 기상 자료를 이용한 산불 발생 확률 모형의 개발. **한국임학회지**, 한국임학회, 제85권, 제1호, pp. 15-23.
- 한국환경정책평가연구원 (2005) **기후변화영향평가 및 적응시스템 구축 III**, pp. 101-112.
- Alexander, M.E, Stocks, B.J and Lawson, B.D. (1996) The Canadian Forest Fire Danger Rating System. *Initial Attack*, Spring, pp. 5-8.
- Amiro, B.D., Logan, K.A., Wotton, B.M., Flanigan, M.D., Todd, J.B., Stocks, B.J. and Martell, D.L. (2004) Fire Weather index system components for large fires in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire*, Vol 13, pp. 391-400.
- Flanigan, M.D., Logan, K.A., Amiro, B.D., Skinner, W.R., and Stocks, B.J. (2005) Future area burned in Canada. *Climatic Change*, Vol. 72. pp. 1-16.
- Lee, B.S., Alexander, M.E, Hawkes, B.C., Lynham, T.J., Stocks, B.J., Englefield, P. (2002) Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 37.
- Stocks, B.J. (2000) Climate change: implication for forest fire management in Canada, *Initial Attack*, Autumn, pp. 2-5.
- Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Merns, L., Wotton, B. M., Yang, Q., Jin, J-Z., Lawrence, K., Hartley, G.R., Mason, J.A., and McKenney, D.W. (1998) Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forest. *Climate Change*, Vol. 38. pp. 1-13.
- Stocks, B.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Van Wagner, C.E., AcAlpine, R.S., Lynham, T.J. and Dube, D.E. (1989) The Canadian forest fire danger rating system: an overview. *For.Chron*, Vol. 65, pp. 450-457.
- Van Nest, T.A. and Alexander, M.E. (1996) *System for Rating Fire Danger and Predicting Fire Behavior Used in Canada*. National Interagency Fire Behavior Workshop.
- Van Wagner, C.E. (1987) *Development and structure of Canadian Forest Fire Weather Index System*. C.E. Canadian Forest Service, Ottawa, Ontario.

- ◎ 논문접수일 : 09년 03월 24일
 ◎ 심사의뢰일 : 09년 03월 27일
 ◎ 심사완료일 : 09년 06월 15일