

기후변화에 따른 미세연료수분지수의 변화예측

박홍석*, 이시영**, 권춘근**, 이해평**

*동국대학교 바이오환경과학과, **강원대학교 방재전문대학원

The prediction of fine fuel moisture code in future climate change condition

Houng Sek Park, Si-Young Lee, Chun Geun Kwon, Hae Pyeong Lee
Dongguk University, Kangwon National University

요 약

기후변화는 우리생활에서 많은 영향을 줄 것으로 예측되고 있다. 산불 또한, 발생 빈도와 강도 면에서 상당한 영향을 받을 것으로 예측된다. 본 연구에서는 기후변화모형(GCM)과 캐나다 산불 기상 지수의 미세연료 수분지수를 활용하여, 우리나라에서 기후변화 후 예측 되는 산불 발생의 가능성과 산불 계절의 변화를 예측하여, 향후 산불 방제 정책의 기본 자료로 삼고자 하였다. 밸런스형 사회가 유지될 경우의 미세 연료 수분 지수의 분석 결과, 산불 계절이 현재 보다 변화하는 것으로 나타나 이에 대한 사전 대비가 필요한 것으로 분석되었다.

1. 서 론

산불은 전지구적인 재해이며, 우리나라도 예외는 아니다. 특히, 우리나라는 산림이 국토의 70%를 차지하고 있어 산불의 영향을 받기 쉬우며, 1970년대의 산림녹화 사업과 강력한 산불 금지 정책으로 산림 내에 연료가 증가하여, 그 결과, 1990년대 들어 산불 발생 건수가 지속적으로 증가하였고, 그 규모 또한 대형화 되어 그로 인한 피해를 실감한 바 있다. 이러한 산불은 생태계의 주요 교란 요인 중 하나이며, 산불로 인해, 수목의 소실로 인한 직접적인 임산 자원 손실 뿐 만 아니라 토양 유출과 이로 인한 산사태 피해, 수자원 부족, 산림 생산량 감소와 서식종의 감소와 이로 인한 생태계 파괴와 경관 파괴로 인한 관광 수요의 감소 등 2차적인 피해를 야기하고 있다.

이러한 산불은 최근 전 지구적으로 대형화된 재해로 인식되고 있으며, 특히 2009년 호주 산불과 2010년 러시아 산불과 같은 대규모의 피해를 동반한 대형 산불의 출현은 그 원인이 지구 온난화로 인한 기상 환경의 변화가 그 원인일 것으로 많은 학자들이 추측하고 있다. 이러한 지구 온난화로 인한 산불 환경의 변화는 산불의 발생 빈도와 대형화 가능성의 변화를 가져올 것으로 예측되고 있으나, 현재 우리나라에서는 현재까지 기후 변화 환

경 하의 산불의 발생 예측에 대한 직접적인 연구가 부족한 실정이므로, 이에 대한 다양한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

그러므로, 본 연구에서는 기후 변화 환경 하에서의 산불의 발생 예측과, 이에 대한 대책의 수립에 기본 자료를 제공하기 위해, 현재 캐나다 산불 예보시스템(Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS)의 구성 요소 중 하나인 FWI(Fire Weather Index)의 주요 인자인 미세연료 수분 지수(Fine Fuel Moisture Code, FFMC)을 활용하여, 지상 연료의 수분 변화에 따른 산불의 발생 여부를 구명하고자 한다.

특히, 본 연구에서는 한국 기후 변화 연구 센터에서 제공한 강원도 지역의 기후 변화 예측 자료를 활용하여, 미래의 미세 연료 수분 지수를 산출하였으며, 비교 대상으로 지난 14년 간의 강원도의 평균 기상자료를 통해 산출된 미세 연료 수분 지수와 비교함으로써, 향후 산불 계절의 변화와 그 방향성을 예측하여, 그 활용성과 향후 기후 변화에 따른 산불의 발생 확률 예측의 지표로 삼고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 분석시기 및 분석대상지

미래의 연료 수분 지수와의 비교를 위해 1996년부터 2009년까지의 기상청의 기상자료를 이용하여 분석하였다. 또한, 대상 지역은 강원도 지역 전체로 선정하였다. 강원도 지역은 1996년, 2000년 그리고, 2004년에 각각 대형 산불을 경험한 바가 있으며, 산불 계절 시 기상 조건이 대형 산불의 발생에 적당하여, 미래 산불 예측에 기본이 될 것으로 사료되어 대상지로 선정하였다. 본 연구에서는 상기 기간 동안, 강원도 내의 11개 기상 관측소(강릉, 대관령, 동해, 속초, 영월, 원주, 인제, 철원, 춘천, 태백, 홍천)의 지난 14년 간의 매일의 자료를 이용하였다.

2.2. 기후변화에측모델

IPCC에서 미래의 기후 변화 예측을 위한 여러 모델을 제시하고 있다. 본 연구에서는 한국 기후 변화 대응 센터에서 제공한 기후변화 예측 모델을 이용하였다. 이는 일본 환경청(NIES)이 주축이 되어 개발한 대기 순환 모형(Global circulation model, GCM)을 바탕으로 지역 기후 모델을 적용한 강원도 예측 모형이다. 본 모형에서는 온실가스 배출 모형으로써, A1B, A2, B1 모형이 적용된 모형을 사용하고 있으나, 본 연구에서는 21세기 중반에 온실가스의 배출ton고조에 도달한 후 감소하는 A1B모형이 적용된 모델을 사용하였다. 적용된 모형은 강원도 내 11개 기상 관측소의 2039년, 2069년, 2099년의 월 별 온 강원강우의 평균 값을 제시하고 있어 이를 활용하여 강원도의 미래 기상자료로 활용하였다.

2.3. 미세연료수분지수의산출.

본 연구에서 적용된 캐나다 산불 기상 지수는 캐나다 산불위험 평가시스템(Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS)를 구성하는 기본 요소로서, 이것은 1920년대부터 현재까지 수십 명의 연구자들이 계속적인 보완연구를 거듭하고 있고, 개발된 프로

그림은 캐나다 전 지역에서 현재 산불예방 및 진화 등에 활용되고 있다. 이 지수는 평균 기온, 평균습도, 평균풍속, 강수량을 입력 값으로 산술적으로 계산되어, 미세연료지수(Fine Fuel Moisture Code, FFMC), 부식층 지수(Duff moisture code, DMC), 가뭄지수(Drought code, DC)를 1차적으로 계산하며, 이의 조합을 통해 Buildup Index와 기상 지수 등이 계산된다.

본 연구에서는 강원도 지역 내의 11개 기상 관측소의 지난 14년 간의 값을 사용하여, 매일의 미세 연료 수분 지수를 산출하였으며, 기후 변화 예측 모델은 온도와 강우의 월별 평균 값을 제시하고 있기 때문에 보간 법을 사용하여, 일일의 온도와 강우를 산출한 후 지난 14년 간의 평균 풍속과 습도를 활용하여 미세 연료 수분 지수를 산출하였다.

2.4. 분석방법.

이렇게 산출된 미세 연료 수분 지수를 활용하여, 과거 14년 간의 월 평균 미세 연료 수분과 2039년, 2069년, 2099년의 미세 연료 수분 지수를 각각 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 과거 14년 간의 미세 연료 수분지수의 변화

1996년부터 2009년까지 14년 간 강원도 11개소의 매일의 기상자료(평균온도, 평균습도, 강수량, 평균풍속)를 이용하여 산출된 미세 연료 수분 지수는 그림 1과 같다. 년평균 미세 연료수분지수의 변화는 대형 산불이 발생한 2002년과 2004년의 미세연료 수분 지수가 높았으며(72.84, 72.65), 년 중 월 평균 미세 연료 수분지수는 2월과 10월이 가장 높은 것으로 나타났으나, 2,3,4월과 10,11,12월이 높게 나타났다. 최근 수분지수의 변동 추세에 조사 결과 증가하는 추세로 나타났으나, ($y = 0.1456x + 62.209$) R^2 값이 너무 낮아 신뢰할 수 없는 수준인 것으로 분석되었다. ($R^2 = 0.0454$)

표 1. 14년 간(1996년에서 2009년까지)의 미세연료 수분지수의 변화

Month	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Average
1	64.16	65.24	63.82	81.61	51.96	64.57	55.04	62.17	71.51	76.32	66.48	74.17	59.09	70.72	66.20
2	70.69	70.98	56.68	80.60	79.60	58.52	81.67	53.60	70.34	66.47	65.05	72.28	79.50	69.97	69.71
3	54.49	67.99	74.22	62.24	77.50	68.83	74.75	58.00	76.45	62.33	75.86	53.50	59.11	61.46	66.20
4	72.09	72.42	53.32	60.01	72.12	80.09	72.39	52.54	71.68	72.13	62.19	66.87	68.17	66.65	67.33
5	71.12	48.77	65.55	67.06	62.16	78.21	61.77	68.96	61.56	68.31	65.87	62.75	70.98	68.91	65.86
6	49.90	62.97	51.03	66.64	63.55	58.54	69.55	56.86	66.13	63.56	62.50	66.56	59.27	60.88	61.28
7	48.73	59.04	39.29	55.48	66.08	56.24	52.91	44.28	42.47	52.55	31.50	43.90	54.14	49.06	49.69
8	59.28	59.89	39.81	53.05	45.65	64.12	48.27	42.27	55.00	50.77	63.67	51.39	53.38	61.16	53.41
9	69.72	54.42	62.32	50.55	54.78	69.35	59.28	44.36	51.06	48.08	67.75	43.91	66.86	70.59	58.08
10	61.88	76.08	64.20	62.11	73.62	61.95	63.56	71.03	80.66	63.56	70.09	67.77	72.64	71.22	68.60
11	54.31	52.90	59.40	64.33	67.05	76.01	79.46	53.01	67.78	76.63	61.49	69.18	65.03	65.88	65.18
12	67.99	57.86	72.99	74.07	70.76	74.88	50.84	74.36	70.54	78.36	65.66	71.19	59.60	70.70	68.56
Average	67.10	65.04	62.44	67.48	72.84	71.41	72.65	58.28	70.01	67.31	67.24	63.85	69.44	66.75	67.27

표 2. 미래 기후 환경에서의 미세수분 지수

Month	Average (1996-2009)	2039	2069	2099
1	66.20	66.30	66.33	66.35
2	69.71	71.29	71.31	71.33
3	66.20	63.11	63.13	63.15
4	67.33	61.11	61.14	61.17
5	65.86	56.56	56.59	56.62
6	61.28	46.97	46.98	47.02
7	49.69	29.81	29.82	29.87
8	53.41	31.12	31.14	31.17
9	58.08	34.97	34.99	35.01
10	68.60	58.83	58.84	58.87
11	65.18	57.79	57.81	57.84
12	68.56	73.72	73.73	73.76
Average	63.34	54.30	54.32	54.35

3.2 미래 (2039, 2066, 2099년) 미세 수분지수의 산출 결과

A1B의 이산화탄소 배출 모형에 NIES에서 개발된 강원도의 지역 기후 예측 모형을 사용하여 미세 수분지수의 산출 결과 과거의 평균에 비해 미래가 되면 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 이것은 여름철의 강수량 증가로 인한 것으로 추측되며, 겨울철과 봄철 특히 12월과 2월에 지난 14년 간 보다 극심한 건조 환경이 형성될 것으로 예측된다. 특히 2월과 12월에 예측되는 지수 70이상의 환경은 대형산불이 발생한 해(1996년, 2000년, 2004년)의 미세 수분지수가 모두 70이상인 점을 감안할 때 대형 산불의 발생 가능성이 크다고 하겠다.

4. 결론

미래산불의 발생 예측을 위해 한국 기후 변화 대응 센터에서 제공한 강원도 기후 변화 모형을 적용하여, 캐나다 산불 위험지수에서 이용되는 미세수분 지수(FFMC)를 이용하여, 미래 (2039,2069,2099년)의 산불 발생을 예측한 결과, 전체적으로 미세 수분지수의 양이 낮게 예측되었지만, 현재 산불 예측 기간인 봄철과 겨울철의 미세 연료 수분 지수는 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이에 따라 산불 계절의 변화가 예측되며, 특히 2월과 12월의 대형 산불 발생 가능성이 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 이를 바탕으로 향후 산불 계절의 변화와 산불 예방 정책의 기초로 삼고 전국적인 범위의 연구 확대와 추가적인 보정을 통한 정확도 향상이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 S210809L010130)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. Amiro, B.D. Logan, K.A., Wotton, B.M., Flanigan, M.D., Todd, J.B., Stocks, B.J. and Martell, D.L. (2004). FireWeather index system components for large fires in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire*, 13, pp.391-400.
2. 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*, 37.
3. Van Wagner, C.E. (1987). Development and structure of Canadian Forest Fire Weather Index System. C.E. Canadian Forest Service, Ottawa, Ontario
4. Wotton, B.M., Martell, D.L., and Logan, K.A.. (2003). Climate change and people caused forest fire occurrence in Ontario. *Climate change* 60, P 275~29