한국의 지역별 산불 발생 원인 특성 분석

Regional Characteristics of Forest Fire Occurrences in Korea from 1990 to 2018

배미란* · 채희문**

Bae, Miran*, and Chae, Heemun**

Abstract

Characteristics of forest fires in Korea using national forest fire statistical data over a 29-year period, from 1990 to 2018, were analyzed in this study. Among the causes of forest fires, the most frequent was visitors to the mountain. Even though the proportion of forest fires from mountain visitors has been gradually decreasing over the years as compared with the other causes, it is still the most frequent in each region. However, in cities with high populations, such as Seoul, Incheon, and Busan, the number of fires caused by smoking and children was relatively large as compared with other regions. Thus, the results are influenced by the population and meteorological characteristics of each region. Kruskal-Wallis nonparametric variance analysis was performed to analyze regional differences according to causes of forest fires during the spring fire seasons. The analysis showed significant differences among the top three regions that had the highest occurrences of forest fires. The results showed that the number of forest fires from farmers was significant in Jeollanam-do and Chungcheongnam-do during the month of February, whereas the number from visitors to the mountain was significant in Gangwon-do and Chungcheongbuk-do during the month of May.

Key words : Forest Fire, Forest Fire Occurrence, Forest Fire Cause, Spring Forest Fire Seasons

요 지

본 연구는 최근 29년간(1990년~2018년) 산림청에 보고된 전국 산불발생현황 통계자료를 이용하여 전국 산불 발생 원인의 변화 양상과 발생 특성을 연도별, 지역별로 분석하였다. 연도별 산불 발생 원인 중 입산자실화가 가장 많았으며 과거에 비하여 최근에는 그 비율이 점차 감소하는 것을 확인하였다. 기타원인은 과거에 비해 최근에 점차 증가하는 경향을 보이며 입산자실화와 발생 비율의 차이가 점차 감소하고 있다. 지역별 가장 많은 산불 발생 원인은 입산자실화이며 담뱃불실화, 어린이불장난이 가장 많이 발생한 지역은 서울로 나타났다. 인천, 부산 등 광역시에서 많이 발생하였다. 이러한 결과는 각 지역의 인구수와 기상적 특성 등이 영향을 미친 것으로 판단된다. 각 지역별 산불발생원인과 발생 시기에 따른 지역간 차이를 분석하기 위하여 Kruskal-Wallis의 비모수적 분산분석을 실시한 후 사후검정하였다. 봄철산불조심기간에 최다 산불 발생 원인이 같은 지역 중 발생 횟수가 가장 많은 상위 3지역간 유의한 차이를 나타낸 지역은 2월 논밭두렁소각 산불이 가장 많은 지역 중 전라남도과 충청남도, 5월 입산자실화 산불이 가장 많은 지역 중 강원도와 충청북도로 나타났다. 2월, 3월, 4월 입산자실화 산불이 가장 많이 발생하는 지역들간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

핵심용어 : 산불, 산불발생, 산불발생원인, 봄철산불조심기간

1. 서 론

산불은 임지 내의 초본류, 관목, 교목 등을 연료로 하여

연소시켜 산림생태계에 큰 영향을 미치는 인자 중 하나이며 대형화재로 이어질 경우 산림과 인접한 민가로 산불이 확산되어 인명피해를 유발하기도 한다.

*정회원, 강원대학교 산림환경시스템학과 석사과정(E-mail: baemiran38@gmail.com)

Member, Master's course, Department of Forestry and Environmental Systems, Kangwon National University

**교신저자, 정회원, 강원대학교 산림과학부 교수(Tel: +82-33-250-8367, Fax: +82-33-257-5918, E-mail: cheemun@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Forest Science, Kangwon National University

우리나라는 임지 내에 가연성 산림연료가 많이 쌓여 있으며 임목밀도가 높고 산림이 연속되어 있으며 산불 피해가 큰 침엽수림이 국내 산림의 가장 많은 면적을 차지하고 있어(Korea Forest Service, 2018b) 산불 발생시 대형 산불로 이어질 위험성이 높으며 그 피해 또한 크게 나타난다(Kwon et al., 2011).

산불은 처음 발화할 때 열, 산소, 연료를 필요로 하지만 산불이 발화하고 나면 임지 내 연료의 형태, 수분함량과 같은 연료조건과 경사, 사면방향, 사면길이와 같은 지형조건, 기온, 상대습도, 풍속, 풍향과 같은 기상조건들이 산불의 확산과 행동에 영향을 미친다(Jeon and Chae, 2017). 산불은 여러가지 원인에 의해 발생하는데 우리나라는 외국과 비교하여 상대적으로 낙피나 화산과 같은 자연적 원인에 의한 산불의 발생비율이 매우 낮다. 우리나라에서 발생하는 산불은 주로 입산자 실화, 논밭두렁 소각, 성묘객 실화와 같은 인위적인 요인에 의해 발생한다(Korea Forest Service, 2018a). 특히 우리나라는 건조기간동안의 건조한 기후와 편서풍의 영향으로 산불이 발생했을 때 확산이 빠르며 진화가 어려운 특징이 있다.

최근 강원도에서 발생한 대형산불로 인해 산불 발생 원인과 초동 진화, 산불대응체계 등에 많은 관심이 쏟아지고 있다. 우리나라의 산불진화체계는 최근까지 계속 개선되고 있는 반면, 국내 산불 발생 원인에 대한 지역적 차이와 현황에 대한 연구는 미비한 실정이다. 산불 발생에 영향을 미치는 자연환경적 조건 이외에도 각 지역별 산불 발생 원인과 특성을 파악하여 산불 위험을 예측에 적용한다면 보다 정확한 예측과 예방이 가능할 것으로 예상된다.

국내의 산불 발생 현황에 대한 연구로 Lee and Lee (2006)는 1991년부터 2004년까지 발생한 산불의 발생한 시간, 지역, 원인, 면적 등의 요인별로 빈도분석과 교차분석을 실시하였다. 또한 Lee et al. (2008)은 2000년 삼척산불, 2002년 청양산불, 2005년 양양산불을 대상으로 지형과 산불피해도간의 관계를 분석하였다. 17년간 발생한 산불의 공간적 특성을 GIS를 이용하여 분석한 Lee and Lee (2009)는 산불이 공간에 따라 변화하는 것을 관찰하고 전국 시·군·구를 산불 위험성에 따라 5개의 군집으로 분류하였고 Yoon and Won (2016)은 지속기간별 SPI 지수를 이용하여 국내 산불발생의 특징을 지역별로 분석하여 미래 산불발생위험 분석을 위한 초석을 마련하였다. Won et al. (2011)은 1990년대와 2000년대 건조기간(11월-5월)동안 발생한 산불의 지역적 발생 특성을 GIS를 이용하여 분석하였다.

외국의 산불 현황에 대한 연구는 Dennison et al. (2014)이 미국 서부지역에서 1984년~2011년에 발생한 대형산불의 경향에 대하여 분석하였고, Gralewicz et al. (2012)은 캐나다에서 1980년부터 2006년동안 발생한 산불 발화의 공간적, 시간적 패턴을 분석하여 예상 산불 발생 모델을 제시했다. Felderhof and Gillieson (2006)은 호주 사바나에서의 관리

기반의 향상을 위하여 퀸즐랜드의 두 지역의 산불 발생 패턴과 변동을 분석하였다.

캐나다는 산불위험을예측시스템인 Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS)에 기상, 지형, 연료조건 이외에도 산불 행동 예측 시스템인 Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (FBP)과 산불 발생 예측 시스템인 Canadian Forest Fire Occurrence Prediction System (FOP)을 적용하여 산림에서의 산불위험 잠재력을 예측하는데 이용하며 각 도시별로 그들의 지형과 기상 특성에 맞는 산불진화대응체계를 가지고 있다(Jea, 2002). 이와 같이 우리나라도 산불 발생에 자연환경적 요인이 미치는 영향뿐 아니라 지역적으로 산불이 발생하는 원인과 패턴을 분석하여 산불 위험의 잠재력을 예측하고 산불을 예방 방안을 마련할 필요가 있다.

산불은 기상이나 지형, 연료와 같은 환경적 요인에 많은 영향을 받지만 산불이 발생하는 경향은 지역별, 시간별, 월별, 원인별로 매우 다양하게 나타난다. 따라서 산불의 발생과 행동, 확산을 정확하게 예측하고 산불로 인한 피해를 줄이기 위해서는 지역별, 시기별 산불 발생 경향을 세부적으로 분석하고 각 지역의 특성에 맞춰 효율적인 산불 예방 및 진화체계를 구축할 필요가 있다.

본 연구는 1990년부터 2018년까지의 산불발생연도, 산불 발생지역을 기준으로 산불발생원인의 특성을 분석하였고 산불이 발생한 지역을 기준으로 산불발생원인과 산불발생 지역간의 시기별 관계를 분석하였다. 또한 산불발생지역과 산불발생원인, 산불발생시기와의 관계를 분석함으로써 지역 간에 산불 발생 원인적 차이가 존재하는지 분석하고자 하였다. 이를 통해 각 지역의 산불 발생 특성이 다른 이유가 지형과 기후같은 자연적 요소 뿐만 아니라 산불 발생 시기와 발생 원인 등 다양한 인문적 요소의 차이도 존재하는지를 알아보고자 하였다. 이러한 분석은 각 지역별로 보다 정확하고 효율적인 산불 관리 체계 및 진화 체계를 수립하기 위한 산불 발생 특성과 원인에 대한 기초자료로써 의미를 갖는다.

2. 산불 발생 원인 분석

2.1 산불 발생 원인 자료 분석

본 연구는 산림청에 보고된 전국 산불발생통계자료인 산불 피해대장을 활용하여 1990년부터 2018년까지 전국의 연도별, 지역별, 월별 산불 발생 현황을 분석하였다. 분석에 이용한 데이터는 제주도에서 발생한 산불을 제외한 총 12,293건이며 산불피해대장에 입력되어 있는 29년간 산불 발생 원인 데이터는 산림청에서 입력한 분류를 이용하였다. 각 분류에 포함되는 세부원인 분석 결과 중복되는 사항이 발견되었으나 객관성을 위해 수정하지 않고 이용하였다.

산불피해대장에 기록되어 있는 산불발생원인에 포함되어 있는 세부원인을 분석한 결과, 입산자실화에는 낚시꾼실화, 담뱃불실화, 모닥불, 입산자, 무속신앙, 산채채취, 수렵,

숲 가꾸기, 노숙자, 정신이상자, 사찰, 방화, 야외취사, 화기물 취급부주의가 포함되었고 논밭두렁실화에는 과수원, 농경지, 논두렁, 잡초소각, 접목, 방목지, 영농부산물, 제방, 폐비닐소각이 포함되었다. 쓰레기소각에는 가옥주변 쓰레기소각, 갈대숲, 건축폐기물, 공장쓰레기 소각, 과수원, 낙엽, 각종 부산물 및 폐기물, 유품소각, 잔디, 폐타이어가 포함되었고 건축물화재에는 가옥 및 건물 화재, 공장화재, 창고, 사찰, 보일러, 비닐하우스, 불씨 취급 부주의, 아궁이, 암자, 양계장, 양어장, 컨테이너, 펜션, 폐차장이 포함되었으며 기타에는 열차, 군사훈련, 가스폭발, 텐트, 모터과열, 고물상, 고속도로 사고, 고압선, 해충방제, 공장, 과수원, 굴뚝, 방화, 동물, 낚시꾼, 구조요청, 도로공사, 원인미상, 양봉, 보일러, 북한, 자살, 불발탄, 비닐하우스, 항공기, 사찰, 쓰레기소각, 아궁이, 연탄, 인화물질관리소홀, 자연발화, 재발화, 정신이상자, 주택, 촛불, 취사, 폭발물, 풍등이 포함되었다. 성묘객실화, 담뱃불실화, 어린이불장난, 낙되는 해당되는 세부원인이 없어 표에서 제외하였다(Table 1).

3. 연도별 산불 발생 원인 분석

3.1 연도별 산불 발생 원인 분석 방법

산불 발생 원인의 연도별 변화 양상을 분석하기 위해 산불피해대장에 입력된 산불발생원인을 연도별로 분류하여 발생횟수를 분석하였다. 분석결과를 이용하여 연도별로 산불발생원인의 발생 횟수를 비교 분석하였다.

3.2 연도별 산불 발생 원인

1990년부터 2018년까지 발생한 산불의 발생 원인을 분석한 결과, 1990년부터 2018년까지 입산자 실화로 인해 발생한 산불이 가장 많은 것으로 분석되었다. 29년동안 입산자 실화로 인해 발생한 산불은 총 5068회이며 가장 많이 발생한

해는 2001년에 354회, 200년에 311회였다. 두 번째로 많이 발생한 산불발생원인은 논밭두렁소각이었으며 가장 많이 발생한 해는 2001년 142회, 1995년 141회였다. 1994년, 1996년, 2012년, 2015년, 2017년, 2018년에는 기타원인으로 인한 산불이 입산자실화 다음으로 많은 산불발생원인으로 나타났다. 2016년에는 쓰레기소각으로 인한 산불이 입산자실화 다음으로 많이 발생한 산불 발생 원인이었으며 80회 발생하였다. 1990년~1993년, 1995년, 1997년~2011년, 2013년, 2014년은 논밭두렁 소각으로 인해 발생한 산불이 입산자실화 다음으로 많은 것으로 나타났다.

낙뢰로 인해 발생한 산불은 2012년에 22회 발생하여 36%를 차지하였다. 2012년에 낙뢰로 인한 산불 중 12건은 5월에 강원도에서 발생했으며 당시 태백산맥의 뇌전과 천둥을 동반한 기상상황이 원인인 것으로 추정된다(Table 2).

입산자로 인해 발생한 산불과 기타원인으로 인해 발생한 산불은 1990년에 40% 이상 차이가 나는 것으로 분석되었지만 2015년에는 1.8%, 2018년에는 5.4%로 해가 지남에 따라 차이가 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1).

Fig. 1. Comparison with the Rate of Forest Fire Occurrence Causes Between Visiting Mountain and Others

Table 1. The Classification of Forest Fires Causes for this Study

Causes	Detailed causes of forest fire occurrence
Visiting mountain	Fisherman, Smoking, Bonfire, Climber, Shamanism, Collecting vegetables, Hunters, Afforestation, The homeless, Mental retarded, Buddhist temple, Arson, Field kitchen, Careless embers
Farmer	Orchard, Farmland, Ridge between rice paddies, Weeds, Grafting, Pasture, By-product of farming, Bank revetment, Plastic waste
Refuse	House, Reed field, Building waste, Waste of factory, Orchard, Fallen leaves, Keepsake, Waste
Building	House and building fire, Factory, Warehouse, Buddhist temple, Boiler, Vinyl greenhouse, Careless embers, Furnace, Hermitage, Chicken farm, Fish farm, Containers, Pension, Junkyard
Others	Train, Military training, Gas explosion, Tent, Overheating machine, Junk shop, Accident of highway, High-voltage accident, Pest management, Factory, Orchard, Chimney, Arson, Animal, Lightning estimation, Fisherman, The homeless, Signal for rescue, Road work, Shamanism, Unknown causes, Bee farm, Boiler, North Korea, Suicide, Duds, Vinyl greenhouse, Flight, Buddhist temple, Waste, Furnace, Spontaneous combustion, Reignition, Mental retarded, House, Candle flame, Briquette, Cooking, Explosive, Cultivation of forest product, Chinese wish lanterns

Table 2. The Number of Forest Fires Occurrence Causes by Each Year During 29 Years (1990 to 2018)

Year	Causes									Total
	Visiting Mountain	Farmerns	Others	Refuse	Smoker	Tomb visits	Children	Building	Lightning	
1990	35	15	6	4	2	3	3	2	0	70
1991	72	33	7	8	3	10	3	3	0	139
1992	78	51	16	6	8	9	9	1	0	178
1993	124	69	21	4	21	15	11	7	4	276
1994	195	60	110	0	0	40	24	0	0	429
1995	267	141	92	1	76	34	17	0	0	628
1996	247	75	136	0	0	38	28	0	0	524
1997	246	101	58	40	28	33	10	0	1	517
1998	104	64	31	23	13	15	11	0	0	261
1999	156	56	42	13	16	19	10	0	0	312
2000	311	133	85	68	61	47	18	0	1	724
2001	354	142	79	47	88	45	24	0	4	783
2002	217	110	70	58	60	63	20	0	1	599
2003	93	55	19	24	43	31	4	2	0	271
2004	251	83	73	45	51	22	13	5	0	543
2005	232	95	40	41	60	24	13	8	3	516
2006	185	63	55	40	26	12	14	5	5	405
2007	193	92	43	20	37	23	7	2	0	417
2008	148	62	45	43	49	26	6	9	0	388
2009	223	93	92	68	34	36	6	15	3	570
2010	138	38	25	34	13	15	1	14	4	282
2011	110	66	24	39	12	11	3	11	1	277
2012	87	18	32	13	7	7	3	7	22	196
2013	91	77	44	40	22	9	4	5	2	294
2014	198	98	78	68	26	9	2	9	4	492
2015	193	99	182	86	22	19	5	13	4	623
2016	107	79	79	80	14	18	1	13	0	391
2017	254	94	148	110	24	22	2	36	2	692
2018	159	67	132	58	12	26	1	41	0	496
Total	5,068	2,229	1,864	1,081	828	681	273	208	61	12,293

4. 지역별 산불 발생 원인 분석

4.1 지역별 산불 발생 원인 분석 방법

지역별 산불 발생 원인의 특성을 분석하기 위하여 각 지역별로 산불이 발생한 원인을 분석하였다. 각 지역은 행정 구역을 기준으로 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 광주광역시, 부산광역시, 울산광역시, 대구광역시, 강원도, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도, 제주특별자치도는 충청남도로 분류하였고 제주도는 분석지역에서 제외하였다(Fig. 2). 각 지역별로 1990년부터 2018년까지 발생한 산불 발생 원인별 발생 횟수를 분석하였다.

우리나라 산불 발생의 70%이상을 차지하는 봄철산불조심기간(2월-5월)동안 발생한 산불 발생 원인 중 지역별 최다 발생 원인을 분석하여 최다 발생 원인이 같은 지역끼리 비교하여 차이가 있는지 알아보았다. 분석은 각 지역별로 해마다(1990년부터 2018년) 봄철산불조심기간동안 최다 발생한 산불 발생 원인을 월별로 입력한 후 각 지역별로 29년동안 산불조심기간(2월-5월)에 최다 발생한 원인 중 제일 많은 원인을 선별하였다. 최다 산불 발생 횟수가 2개 이상인 원인은 모두 분석하였으며 각 산불발생원인을 입산자실화(Visiting mountain, 'V') 기타(Others, 'O'), 쓰레기소각(Refuse, 'R'), 논밭두렁소각(Farmer, 'F'), 건축물실화, 담뱃불실화(Smoking, 'S') 성묘객실화(Tomb visits, 'T') 어린이불장난(Children, 'C'), 낙뢰(Lightning, 'L')로 입력하였다.

Fig. 2. The Regional Classification for Analysis of Forest Fire Occurrence Causes in this Study

각 월별 최다 산불 발생 원인이 같은 지역 중 해당 원인 발생 횟수가 가장 많은 상위 3개 지역을 선별하였으며 같은 발생 횟수가 나타난 지역이 상위 3개 지역에 포함되는 경우에는 모두 포함하여 분석하였다. 각 지역별 봄철산불조심기간(2월5월)동안 최다 산불 발생 원인이 같은 지역간에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 통계분석을 실시하였다. 통계 분석은 SPSS Statistics Ver.24.0 프로그램을 이용하여 비모

수검정방법 중 하나인 Kruskal-wallis test를 실시하였으며 유의확률 0.05이하이면 집단간 차이가 있다고 가정하였다. Kruskal-wallis test 결과 유의확률이 0.05이하인 집단은 Mann-Whitney의 U test를 통하여 집단 내 차이가 있는 지역을 Bonferroni 방법으로 분석하였다.

4.2 지역별 산불 발생 원인 특성

산불피해대장을 이용하여 1990년부터 2018년까지 지역별 산불발생원인을 분석한 결과, 산불 발생 횟수가 가장 많은 지역은 경상북도였으며 강원도가 두 번째로 산불 발생 횟수가 가장 많은 지역으로 나타났다. 모든 지역에서 가장 많은 산불 발생 원인은 입산자실화로 나타났다. 경상남도, 경상북도, 광주광역시, 대전광역시, 전라남도, 전라북도, 충청남도, 충청북도에서는 논밭두렁소각으로 인한 산불이 입산자실화 다음으로 많이 발생하였으며 강원도, 경기도, 대구광역시, 부산광역시, 울산광역시, 인천광역시는 기타원인으로 발생한 산불이 입산자실화 다음으로 많이 발생하였고 서울특별시와 부산광역시는 담뱃불실화로 인한 산불이 두 번째로 많은 산불 발생 원인으로 분석되었다.

전체 지역에서 가장 발생비율이 낮은 원인은 낙뢰로 인한 산불이었으며 강원도에서 35회 발생하여 낙뢰로 인한 산불의 약 57%를 차지하는 것으로 분석되었다.

서울특별시와 부산광역시에서는 다른 지역과 달리 담뱃불실화가 두 번째로 많은 산불 발생 원인으로 나타났다. 광주광역시와 인천광역시에서는 세 번째로 많은 산불 발생 원인이 담뱃불실화로 인한 산불로 나타났다(Table 3). 네

Table 3. The Number of Forest Fires Occurrence Causes in 15 Divided Regions During 29 Years (1990 to 2018)

Region	Causes									
	Visiting mountain	Farmer	Others	Refuse	Smoking	Tomb visits	Children	Building	Lightning	Total
K.W.	697	192	334	129	105	45	23	42	35	1,602
G.G.	519	205	223	198	57	102	15	23	2	1,344
G.N.	545	214	161	81	69	72	17	36	4	1,199
G.B.	841	417	317	173	109	98	10	44	8	2,017
G.J.	96	48	17	16	18	9	9	0	0	213
D.G.	191	15	50	11	7	16	10	2	0	302
D.J.	112	58	37	28	17	17	20	2	0	291
B.S.	280	28	70	32	70	3	18	11	0	512
S.U.	163	9	101	19	103	3	60	5	0	463
U.S.	163	26	62	22	11	11	6	7	0	308
I.C.	171	57	76	33	67	14	35	1	2	456
J.N.	424	373	165	114	64	100	16	8	0	1,264
J.B.	325	184	78	63	37	66	11	6	2	772
C.N.	260	198	87	75	39	64	10	14	4	751
C.B.	281	205	86	87	55	61	13	7	4	799
Total	5,068	2,229	1,864	1,081	828	681	273	208	61	12,293

* K.W.: Kangwon-do, G.G.: Gyeonggi-do, G.N.: Gyeongsangnam-do, G.B.: Gyeongsangbuk-do, G.J.: Gwangju, D.G.: Daegu, D.J.: Daejeon, B.S.: Busan, S.U.: Seoul, U.S.: Ulsan, I.C.: Incheon, J.N.: Jeollanam-do, J.B.: Jeollabuk-do, C.N.: Chungcheongnam-do, C.B.: Chungcheongbuk-do

도시 모두 많은 인구가 거주하고 있는 광역시 이상의 대도시이며 인구밀도 분포와 유사한 결과를 나타냈다. 이런 결과는 Kwak et al. (2010)의 산불 발생 원인의 점 패턴분석과 비슷한 결과를 보였다. 서울에서는 다른 지역과 달리 어린이 불장난으로 인한 산불이 각 60회로 4번째로 많은 산불 발생 원인으로 나타났다. 이는 서울시의 어린이 인구가 다른 지역보다 많기 때문일 것으로 추정되지만 경기도의 경우 어린이 인구가 서울보다 많지만(Statistics Korea, 2017) 어린이 불장난으로 인해 발생한 산불이 전체 중 15회만을 차지한 것으로 보아 인구수 뿐 아니라 지역별 기온분포 특성과 같은 다른 요인들이 영향을 미친 것으로 판단된다(Sung et al., 2010).

4.3 지역별 월별 산불 발생 원인 특성

각 지역 간 최다발생원인의 발생 평균의 차이를 분석하기 위해 지역별로 해마다 봄철산불조심기간동안(2월-5월) 발생한 산불 중 가장 많은 발생 원인을 분석하였으며 분석 결과를 이용하여 월별로 각 지역별 봄철산불조심기간 최다산불발생원인 중 가장 많이 발생한 산불을 분석하였다. 2월에 입산자실화로 인해 발생한 산불이 가장 많은 지역은 강원도, 경기도, 경상남도, 경상북도, 광주광역시, 대구광역시, 부산광역시, 서울특별시, 울산광역시, 인천광역시, 전라북도였으며 2월에 논밭두렁소각으로 인해 발생한 산불이 가장 많은 지역은 전라남도, 전라북도, 충청남도, 충청북도였다. 강원도와 대전은 2월에 기타원인으로 인한 산불이 많이 발생한 것으로 분석되었다. 3월에는 강원도, 경기도, 경상남도, 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시, 부산광역시, 서울특별시, 울산광역시, 인천광역시에서 입산자실화로 인한 산불이 가장 많았으며 경상북도, 대전광역시, 전라남도, 전라북도, 충청남도, 충청북도에서는 3월에 논밭두렁소각으로 인한 산불이 가장 많은 것으로 분석되었다. 4월에는 모든 지역에서 입산자실화로 인한 산불이 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 5월에는 서울특별시에서 기타원인으로 발생한 산불이 가장 많은 것으로 나타났으며 서울특별시를 제외한 모든 지역에서 입산자실화로 인한 산불이 가장 많이 발생한 것으로 분석되었다.

논밭두렁 소각으로 인해 발생한 산불이 가장 많은 지역은 대체로 경지면적이 많은 지역인 전라남도, 전라북도, 충청남도, 경상북도가 포함되어 있다(Statistics Korea, 2018). 2월과

3월에 논밭두렁 소각으로 인해 발생한 산불이 많은 지역이 나타나는 반면 4월에는 전체 지역에서 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 것은 본격적으로 영농이 시작되는 시기가 3·4월이며 영농 시작 전에 해충방제 등을 목적으로 논밭두렁 소각행위가 급증하기 때문일 것으로 판단된다.

4.4 지역별 월별 최다 산불 발생 원인 특성

각 지역별 봄철산불조심기간(2월-5월)동안 최다 산불 발생 원인 분석 자료를 이용하여 2월, 3월, 4월, 5월의 최다 산불 발생 원인이 같은 지역 중 원인별 발생 횟수가 많은 상위 3지역을 추출하여 지역 간 차이가 있는지 분석하였다. 2월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 지역 중 발생 횟수가 많은 상위 3지역은 경상남도, 경상북도, 부산이었으며, 2월에 논밭두렁소각으로 인한 산불이 가장 많이 발생한 지역은 전라남도, 전라북도, 충청남도였다. 3월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 지역 중 발생 횟수가 많은 상위 3개 지역은 경상북도, 경기도, 강원도였으며 3월에 논밭두렁소각으로 인해 발생한 산불이 가장 많은 상위 3지역은 전라남도, 전라북도, 충청북도였다. 4월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 상위 3지역은 경상북도, 강원도, 경기도였으며 5월 입산자실화로 인해 발생한 산불이 가장 많은 상위 3지역은 강원도, 경상북도, 경기도, 충청북도로 나타났다. 충청북도는 경기도와 같은 횟수가 발생하여 상위 3지역에 포함시켜 분석하였다(Table 4).

각 월별 최다 산불 발생 원인이 같은 지역 중 발생 횟수가 많은 상위 3지역의 분포를 확인한 결과, 2월 입산자 실화는 경상도에서 많이 발생한 것으로 나타났다. 이는 우리나라 남부 지역이 중부 지역보다 산불 발생 시기가 빠르다는 Kim et al. (2002)와 일치한다. 논밭두렁소각이 많이 발생한 지역은 모두 상대적으로 논밭비율이 높은 충청도, 전라도인 것으로 분석되었다. 3월, 4월, 5월에는 경기도와 강원도, 경상북도를 중심으로 입산자실화가 많이 발생하였으며 이 지역들은 산불발생횟수가 가장 많은 3지역과 일치하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

월 발생원인별 최다 산불 발생 횟수가 가장 많은 지역 간 차이를 분석한 결과, 2월에 입산자실화로 인한 산불이 많은 상위 3지역(Kruskal-Wallis $p = 0.174$)과 3월에 입산자 실화로 인한 산불이 가장 많은 상위 3지역(Kruskal-Wallis

Table 4. Regional Differences of Most Causes of Forest Fires Occurrence During the Spring Forest Fires (February to May)

month & causes rank	February		Mararch		April	May.
	Visiting mountain	Farmer	Visiting mountain	Farmer	Visiting mountain	Visiting mountain
1	G.N.	J.N.	G.B.	J.N.	G.B.	K.W.
2	G.B.	J.B.	G.G.	J.B.	K.W.	G.B.
3	B.S.	C.N.	K.W.	C.B.	G.G.	G.G., C.B.

* K.W.: Kangwon-do, G.G.: Gyeonggi-do, G.N.: Gyeongsangnam-do, G.B.: Gyeongsangbuk-do, B.S.: Busan, J.N.: Jeollanam-do, J.B.: Jeollabuk-do, C.N.: Chungcheongnam-do, C.B.: Chungcheongbuk-do

Fig. 3. The Regional Distribution of the Most Occured of Forest Fire Occurrence Causes During Spring Fire Seanons

* K.W.: Kangwon-do, G.G.: Gyeonggi-do, G.N.: Gyeongsangnam-do, G.B.: Gyeongsangbuk-do, B.S.: Busan, J.N.: Jeollanam-do, J.B.: Jeollabuk-do, C.N.: Chungcheongnam-do, C.B.: Chungcheongbuk-do

Fig. 4. The Analysis of Regional Differences of Most Causes of Forest Fires Occurrence by Kruskal-Wallis During the Spring Forest Fires (February to May)

$p = 0.591$), 3월에 논밭두렁소각으로 인한 산불이 가장 많은 3지역(Kruskal-Wallis $p = 0.164$), 4월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 3지역(Kruskal-Wallis $p = 0.639$)은 유의확률 0.05 이상으로 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 반면 2월에 논밭두렁소각으로 인한 산불이 가장 많은 3지역(Kruskal-Wallis $p = 0.010$), 5월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 4지역(Kruskal-Wallis $p = 0.022$)은 유의확률이 0.05보다 작아 집단 간에 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 4).

유의미한 차이가 나타난 2월에 논밭두렁소각, 5월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 4지역을 Bonferroni test하여 차이가 나타나는 지역을 분석하였다. 분석 결과, 2월에 논밭두렁소각으로 인한 산불이 가장 많은 지역 중 전라남도과 전라북도(Mann-Whitney U test $p = 0.021$) 전라북도와 충청남도(Mann-Whitney U test $p = 0.728$)는 지역 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(Mann-Whitney U test $p > 0.0167$). 반면, 전라남도와 충청남도(Mann-Whitney U test $p = 0.013$)는 지역 간에 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다(Mann-Whitney U test $p < 0.0167$). 5월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 지역 중 강원도와 경상북도(Mann-Whitney U test $p = 0.844$), 강원도와 경기도(Mann-Whitney U test $p = 0.125$), 경상북도와 경기도(Mann-Whitney U test $p = 0.174$), 경상북도와 충청북도(Mann-Whitney U test $p = 0.015$), 경기도와 충청북도(Mann-Whitney U test $p = 0.269$)는 지역간에 유의한 차이가 나타나지 않았다(Mann-Whitney U test $p > 0.0083$). 반면 강원도와 충청북도(Mann-Whitney U test $p = 0.008$)는 지역간 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다(Mann-Whitney U test $p < 0.0083$).

5. 결 론

본 연구는 1990년~2018년(29년)동안 한국의 산불 발생 현황을 분석하여 연도별, 지역별로 산불발생원인의 변화 양상과 특성을 분석하였으며 이를 이용하여 산불 발생 원인 별 지역간 차이를 분석하였다.

우리나라의 산불은 매년 입산자실화로 인해 발생한 산불이 가장 많았지만 과거에 비해 최근에는 입산자실화로 인한 산불은 감소하는 추세를 보였으며 반대로 기타원인으로 인해 발생한 산불은 증가하는 것으로 나타났다. 지역별 산불 발생원인 분석에서 모든 지역이 입산자실화로 인한 산불이 가장 많은 것으로 나타났지만 서울특별시, 부산광역시, 인천광역시, 광주광역시는 다른 지역과 달리 담뱃불실화가 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 지역별 인구수에 따른 차이 때문인 것으로 사료되지만 가장 많은 인구수를 가지고 있는 경기도는 담뱃불실화보다 논밭두렁소각에 의한 산불발생비율이 높은 것으로 나타났다. 이는 인구수 뿐만 아니라 지역마다 다른 지형과 기후 특성 등 다양한 산불

발생 요인이 관여하고 있기 때문일 것으로 추정된다.

산불 발생 원인과 지역 간의 관계를 이해하기 위해 각 지역별 월 최대 산불 발생 원인을 분석하였다. 지역별 월 최대 산불 발생 원인은 입산자실화와 논밭두렁실화, 기타로 분석되었다. 논밭두렁소각으로 인한 산불 발생 횟수가 많은 상위 3개 지역은 주로 충청도, 전라도였으며 입산자실화로 인한 산불 발생 횟수가 많은 상위 3개 지역은 주로 강원도, 경기도, 경상북도로 나타났다. 이러한 결과는 논밭두렁비율, 산불발생횟수와 같은 지역별 산불 발생 특성이 반영된 것으로 추정된다.

월별 최대 산불 발생 원인의 발생 횟수 상위 3지역 간의 유의한 차이를 분석하기 위하여 통계분석한 결과, 2월에 논밭두렁 소각으로 인한 산불이 가장 많은 상위 3지역 중 전라남도와 충청남도 간에 유의한 차이가 나타났다. 5월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많이 발생한 상위 4개 지역 중 강원도와 충청북도 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 2월, 3월, 4월에 입산자실화로 인한 산불이 가장 많이 발생한 상위 3개 지역 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

각 지역별 봄철산불조심기간동안 최대 산불 발생 원인을 비교한 결과 대부분의 지역은 유의한 차이가 나타나지 않았지만 전라남도와 충청남도에서 2월에 논밭두렁 소각으로 인해 발생한 산불과 강원도와 충청북도에서 5월에 입산자실화로 인해 발생한 산불은 유의한 차이를 보였다. 이는 같은 기간에 발생한 산불의 최대 발생 원인이 같더라도 지역별로 산불 발생 경향에 차이가 있다는 것을 의미하며 보다 정확한 산불예측과 진화 정책을 수립하기 위해서는 지역별 산불 발생 경향이 나 특성을 고려해야 한다. 이 연구는 산불이 발생하는 원인이 각 지역별로 상관관계가 있다는 것을 의미하며 이를 활용하여 지형, 기후, 인구 수 등 지역적 특성에 맞춘 산불예측 및 진화 시스템을 구축하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 지역과 발생원인, 발생시기별 산불 발생 경향을 분석하였지만 기상이나 지형 등의 요소는 고려하지 않았다. 추후 연구에서는 보다 장기적인 데이터와 기상, 지형 등 산불에 영향을 미치는 여러가지 요인을 고려하여 함께 분석하면 더욱 정확한 산불예측과 진화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2017 전임교원 기본연구비 지원사업 연구사업의 연구비지원관리번호-520170346 연구사업, 한국연구재단 2017년 이공분야 기초연구사업(NRF-2017RID1A1B03032219)에 의해 수행되었습니다.

References

Dennison, P.E., Brewer, S.C., Arnold, J.D., and Moritz,

- M.A. (2014). Large wildfire trends in the western United States, 1984-2011. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 41, No. 8, pp. 2928-2933.
- Felderhof, L., and Gillieson, D. (2006). Comparison of fire patterns and fire frequency in two tropical savanna bioregions. *Austral Ecol.*, Vol. 31, No. 6, pp. 736-746.
- Gralewicz, N.J., Nelson, T.A., and Wulder, M.A. (2012). Spatial and temporal patterns of wildfire ignitions in Canada from 1980 to 2006. *Int. J. Wildland Fire*, Vol. 21, No. 3, pp. 230-242.
- Jea, J.J. (2002). Study on an efficient control of a forest fire: From the fire service perspective. Master's thesis, University of Seoul.
- Jeon, B.R., and Chae, H.M. (2017). A study of analysis on relationship between Korea forest fire occurrence and weather factor. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 5, pp. 197-206.
- Kim, S.Y., Lee, S.Y., An, S.H., Shin, Y.C., and Oh, J.S. (2002). Statistical analysis on danger period of forest fire by regions in Korean. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 2, No. 1, pp. 161-167.
- Korea Forest Service. (2018a). *Statistical yearbook of forest fire*.
- Korea Forest Service. (2018b). *Statistical yearbook of forestry*.
- Kwak, H.B., Lee, W.K., Lee, S.Y., Won, M.S., Koo, K.S., Lee, B.D., et al. (2010). Cause-specific spatial point pattern analysis of forest fire in Korea. *Jour. Korean For. Soc.*, Vol. 99, No. 3, pp. 259-266.
- Kwon, C.G., Lee, S.Y., and Lee, H.P. (2011). Analysis of forest fire conditions on forest structure changing annually. *Proceedings of 2011 Spring Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 421-425.
- Lee, B.D., and Lee, M.B. (2009). Spatial patterns of forest fires between 1991 and 2007. *Fire Sci. Eng.*, Vol. 23, No. 1, pp. 15-20.
- Lee, B.D., Won, M.S., Jang, K.M., and Lee, M.B. (2008). Analysis of the relationship between landform and forest fire severity. *Journal of the KAGIS*, Vol. 11, No. 1, pp. 58-67.
- Lee, S.Y., and Lee, H.P. (2006). Analysis of forest fire occurrence in Korea. *Fire Sci. Eng.*, Vol. 20, No. 2, pp. 54-63.
- Natural Resources Canada. Canadian forest fire danger rating system (CFFDRS). Retrieved from <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/fdr>
- Statistics Korea. (2017). *Population census*.
- Statistics Korea. (2018). *Cultivation acreage survey*.
- Sung, M.K., Lim, G.H., Choi, E.H., Lee, Y.Y., Won, M.S., and Koo, K.S. (2010). Climate change over Korea and its relation to the forest fire occurrence. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 20, No. 1, pp. 27-35
- Won, M.S., Yoon, S.H., Koo, K.S., and Kim, K.H. (2011). Spatio-temporal analysis of forest fire occurrences during the dry season between 1990s and 2000s in South Korea. *Journal of the KAGIS*, Vol. 14, No. 3, pp. 150-162.
- Yoon, S.H., and Won, M.S. (2016). Correlation analysis of forest fire occurrence by change of standardized precipitation index. *Journal of the KAGIS*, Vol. 19, No. 2, pp. 14-26.

Received	August 12, 2019
Revised	August 23, 2019
Accepted	September 23, 2019