

## 산불의 공간적 확산이 농촌지역경제에 미치는 영향 분석

권영현·김의준

서울대학교 농경제사회학부 지역정보전공

### Analysis of Agricultural Regional Economic Effect by Spatial Dispersal of Wildfire in Korea

Kwon, J. Younghyun·Kim, Euijune\*

*Dept. of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National Univ*

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to estimate regional economic effects of spatial diffusion of wildfire using Cobb-Douglas production function of agriculture and forestry. The analysis is applied to Gangwon and Gyeongbuk provinces where are the most damaged of wildfire in Korea. The damaged areas are derived from multiplied by the occurrence probability of wildfire and diffusion areas of wildfire for micro-spatial unit level with ArcGIS techniques. The models of wildfire provides that the spatial diffusion of wildfire increases with the rising of highest temperature and average wind speed. Through the production function, value added of Agriculture and Forest sectors get damaged where the Cos-converted slope aspect of mountains are toward the South. The production model provides reductions of regional value added by increasing damaged areas of wildfire. It reveals that the most damaged region is Andong city in Gyeongbuk province, where value added loss is 1.25 billion Won, which is about 0.72% of total value added in agriculture and forestry of the city. As a view of policy makers, it needs to be considered to establish prevention policies against wildfires because regional economic losses from wildfire are depending on geographical conditions and performances of the major industry related to wildfire's diffusion such as agriculture or tourism sector according to the result of analysis.

**Key words** : Wildfire, Spatial Diffusion, Regional Economic Effect, Production Function

## 1. 서 론

우리나라 산불위험은 1973년 치산녹화사업에서 산림 내 낙엽과 관목 등 가연성 물질의 축적, 임도의 확충으로 증가하였고, 2000년 이후 주 5일 근무제 실시로 등산 인구가 급증하면서 산불발생 빈도는 더욱 상승하였다(소방방재청, 2009). 산불 피해란 산림의 물리·화학·생물학적 측면에서 산림생태계의 변화로 정의할 수 있다(White et al., 1996; Rogan and Yool, 2001). 산불피해는 산불 발생과 확산으로 구분할 수 있는데, 공통적으로 기후, 축적된 산림자원(연료), 지형 등의 변수에 영향을 받는다. 우리나라의 산불은 전 국토의 65%에 해당하는 산

지 중 97%가 임목지라는 절대적인 조건과 더불어 임목 축적량에 비례하여 증가한다. 봄, 가을철 건조한 기후조건이 형성되는 경우, 산불은 전국 동시다발적으로 발생하는 특성이 있다(Korea Forest Service, 2001). 국내 산림의 높은 경사도, 기복이 심한 지형 및 넓은 침엽수림 분포는 산불의 공간적 확산을 증가시키고 연소를 지연시킨다(Kim et al., 2014). 산불의 연소진행 속도는 우리나라 산림의 지형, 기후 등의 요인들로 인하여 평지보다 8배 빠르게 확산되는 특징을 보인다(이시영, 이해평, 2006; 소방방재청, 2009).

기존 산불 관련 연구는 산불로 인한 산림의 변화 양상 및 해당 산림의 피해 분석에 집중되었다. 하지만, 산불의 발생 및 확산에 지대한 영향을 미치는 공간미시자료의 활용은 미흡한 수준이었다. 공간미시자료는 산불의 발생확률 및 공간적 확산면적을 정밀하게 분석할 수 있

First author : Kwon, J. Younghyun  
Corresponding author : Kim, Euijune  
Tel : 02-880-4749  
E-mail : euijune@snu.ac.kr

는 장점을 갖고 있다. 국지적으로 발생하는 산불의 특성을 비롯하여 환경인자의 조건에 따라 달라지는 확산 방향과 피해 면적은 산불방재 및 진압에 중요한 지침이 된다. 공간미시자료를 기반으로 한 연구는 산불확산을 조기에 차단에 도움을 주는 정보를 제공하고, 산불로 인한 피해를 경감하는데 기여할 수 있을 것이다.

한편, 산불의 피해액 산출에 관한 선행 연구들은 주로 산불에 의한 직접적인 임목 손실, 산불 진압 및 복구 비용 측면에 집중된 경향이 있었다. 기존 연구가 집중된 1차적 산림손실 이외에 산불로 인한 농림업, 관광업 등 업종별 생산 활동 중단, 방문객 수요 감소, 교통 혼잡 비용 등 지역경제에 2차적 피해를 고려할 필요가 있다. 더욱이 대형산불로 인한 간접적 피해는 관련된 산업에 부(-)의 영향을 끼쳐 지역경제의 장기적 침체를 초래할 수 있으며, 직접적 산림피해 이상의 비용이 발생할 수 있다. 간접적 피해분석은 산불발생 및 확산면적에 민감하게 반응할 수 있으므로, 공간미시자료를 이용한 정확한 분석이 요구된다. 산불피해면적이 산출자료를 기반으로 농촌 지역의 경제적 효과 추정은 산불방재 분야에 대한 경제학적 이해를 제고하는 동시에 정부예산의 투자규모 산정에 활용될 수 있다. 따라서, 본 연구는 산불발생 및 확산 예측을 통한 합리적 방재전략 수립에 활용되고, 산불 위험도가 높은 농촌지역 간 공동 진화작업에 활용될 수 있다.

본 연구의 목적은 산불의 공간적 확산으로 인한 피해 규모가 지역경제에 미치는 효과를 분석하는 것이다. 연구의 공간적 범위는 산불 발생건수 및 피해면적이 최상위 지역인 강원도와 경상북도의 시군을 대상으로 한다. 기존 연구의 시도별 산불발생확률식과 산불확산식을 토대로 해당 시도의 공간미시자료를 적용하여 피해면적을 산출한다. 다음은 도출된 피해면적을 생산함수의 자본 손실분으로 투입하여 생산측면의 경제적 효과를 추정한다. 산불피해면적은 강원도 및 경상북도의 40개 시군을 대상으로 가로·세로 1km 길이의 10,000개의 격자로 분할하여 공간미시자료(지형요인)를 구축하여 활용한다. 해당 자료는 이시영 외 (2004)의 시도별 산불발생확률모형과 이병두 (2005)의 산불확산모형을 각각 적용하여 시군별 산불피해면적을 산출한다. 마지막으로, 콕-더글라스(Cobb-Douglas) 생산함수는 산불피해면적에 대한 2011년 시군별 농림업의 부가가치 효과 추정을 가능하게 해준다. 본 논문의 구성을 살펴보면, 제2장에는 산불의 피해 추정, 산불의 결정요인 및 확산요인에 관한 선행연구를 검토하였고, 제3장에는 산불발생 및 확산 요인에 대한 공간통계 작업 및 농림업의 부가가치 생산함수 추정을 다루었다. 마지막으로 제4장에는 정책적 시사점 및 연구

의 한계로 마무리하였다.

## II. 문헌 고찰

기존 산불연구는 산불의 발생 및 확산에 대한 연구, 산불의 피해분석 방법으로 대별된다. 먼저, 산불은 열, 산소, 축적된 산림자원 등에 의해 발생하며, 산불의 확산은 바람, 축적된 산림자원, 지형 등의 변수에 의해 영향을 받는다. 산불에 영향을 미치는 요인은 기상, 장기간 축적된 산림자원, 지형 및 산불특성으로 알려져 있다(이병두 외 2008). 지형인자는 고도, 경사, 사면향 및 기타 지형(landforms)을 포함하며, 기상 및 축적된 산림자원에 비해 상대적으로 지속성을 가지고 산불에 영향을 미친다(Pyne et al. 1996). 경사는 바람과 함께 산불 발생 후 확산속도에 영향을 미치고, 사면향은 일사량에 따른 산림자원의 건조 및 온도 변화를 통하여 산불 발생 및 확산수준을 결정한다(Pyne et al., 1996; Santoni et al., 1999). 김동현 (2012)은 사면향에 따른 산불위험성을 평가하기 위해 시공간 일사량변화 모델을 적용하여 태양의 일사량을 분석한 후 산불사례조사를 통하여 사면향에 따라 변화하는 산불발생위험과 피해면적을 도출하였다. 산불발생은 일사량이 가장 많은 사면향인 남사면을 중심으로 높은 상관성이 나타났다. 김문일 외 (2011)는 산불관리 주체인 9개 시도의 산불발생특성을 공간통계에 적용하여 분석하였다. 대도시를 포함한 권역은 산불에 대하여 강한 공간적 자기상관성을 가지는데 반해, 강원도, 제주도 및 충청북도 등의 대도시를 포함하지 않은 지역들은 산불에 낮은 공간적 상관성을 나타내었다. 이상우 외 (2009)는 2000년 삼척 산불피해지역을 대상으로 산림의 공간구조와 산불 연소강도의 관계를 규명하였다. 산불의 강도는 산림의 다양성과 부(-)의 관계를 보이고, 산불에 민감한 소나무림이 대규모로 조성된 경우에 정(+)의 관계가 나타났다. 이를 통하여, 다양한 종류의 산림이 군집한 혼효림이 단순림에 비하여 산불강도가 낮아지는 것으로 나타났다.

2000년 이후 우리나라 산불의 대형화 추세에 따라 산불의 확산에 관한 연구들이 등장하기 시작하였다. 이형석·이시영 (2011)은 우리나라 30ha 이상의 산불사례를 이용하여 피해 분포 및 특성을 분석하였다. 1975~2010년 동안 대형산불은 강원도와 경상북도에서 각각 66건(37.0%) 및 47건(26.5%)으로 우리나라에서 가장 높은 비중을 차지하였다. 강원도는 우리나라의 100ha 이상 대형산불 57건 중 34건이 집중적으로 발생하였고, 이 중 25건이 봄철 극심한 건조 상태를 보이는 영동지역에서 나

타났다. 정주상 외 (2001)는 대형산불의 확산속도, 확산 방향 등의 확산 특성을 분석하여 진화자원의 적절한 투입 및 안전한 주민 대피에 적극 활용할 것을 주장하였다. 2000년 삼척산불의 실측 자료를 이용하여 대형산불 확산식을 도출하였다. 산불 발생 시 풍속, 축적된 임상별 비율 및 실효습도를 GIS의 내삽기법에 적용하여 확산식을 개발하였다. 산불의 평균연소속도는 4.67m/sec으로 빠른 확산이 나타났고, 산불진화일에는 0.2m/sec로 감소하였다. 김동현 외 (2005)는 양양군 산불확산이 봄철 기후 특성으로 인하여 최대 확산속도가 11.1m/sec으로 다른 지역에 비해 2배 이상 빠름을 분석하였다. 일반적으로 산불의 진행속도 및 확대규모 예측에 산불확산간이조건표를 작성하여 활용하는데, 중대형산불의 경우 약 20% 내외의 오차가 확인되어 유용성에 문제가 제기되었다. 최근 들어 산불의 정확한 예측을 위하여 국내외 산불발생 및 확산 연구에서 공간통계학적 방법이 빈번하게 적용되고 있었다 (Yang et al., 2007; 변영기 외, 2007; 곽한빈 외, 2010). 산불발생 및 확산의 예측에는 실제 기상자료, 지형자료, 방문자의 활동자료 등의 공간 특성을 기반으로 한 분석이 이루어지는 특성 때문에 자료구득의 어려움이 높은 수준이다.

기존 산불 피해규모 추정에 활용된 주요 방법론은 비용추정법이었고, 산불로 인한 피해등급별 임목손실액, 산불진압 및 복구비용 등이 분석대상이 되었다. 비용추정법은 학문적 접근보다 실용적 측면이 강조된 방법이다. 비용추정법에는 조림사업 및 사업비 산출을 통한 비용가법과 원목가격을 적용한 시장가역산법 등이 대표적이다 (우종춘 외, 2001). 윤여창 (2000)은 산불 피해추정을 위하여 산림의 가치평가방법을 적용하였다. 경제학에 기초한 해당 피해평가의 원칙은 ‘변화 이전의 상태 가치와 변화 후의 상태 가치를 비교 평가’하는 것이며, 무엇을 ‘가치’에 포함시킬 것인지, 그것을 ‘어떻게’ 평가할 것인지가 분석의 쟁점이 된다. 산림자원의 두 가지 가치는 크게 현재대가 이용하는 이용가치와 미래세대를 위해 존재하거나 보존할 가치인 보존가치로 구성된다. 산불 피해의 평가는 산림자원의 시장이 존재할 때 거래사례비교법 및 시장가격율법을 이용하고, 산림자원의 시장이 존재하지 않는다면 복구비용 혹은 생산함수를 적용하는 방법이 유효하다. Mercer et al. (2000)은 1998년 미국 플로리다 주 산불의 경제적 피해를 산출하기 위하여 임목의 시장가격, 산불진압비용, 자산 손실, 관광과 소매업 손실, 건강비용과 오염비용 등의 광범위한 분야를 고려하였다. 그 외에도 이재근 외 (2007)는 산업연관분석을 적용하여 정부의 산불복구 지원액이 지역경제에 미치는 파급효과를 분석한 바 있다.

선행연구를 종합하면, 우리나라는 기상여건과 산림상태의 변화를 비롯하여 사회경제적으로 여가활동이 활발해짐에 따라 산불발생 위험요인들이 증가하고 있다. 2000년 이후 한반도는 급격한 기후변화, 건조한 기상과 지형요인으로 대형산불 발생 가능성이 지속적으로 상승하고 있다. 산불발생 및 확산에 영향을 미치는 주요 요인은 기상인자, 지형인자, 축적된 산림자원 등으로 나타났다. 산불피해면적은 산불발생확률 및 확산식의 최고기온, 유효습도, 평균풍속, Cos변환 경사향, 침엽수림 비율 등의 자료를 이용하여 산출되었다. 본 연구에서 산불의 영향을 미치는 공간미시인자는 디지털고도방법(Digital Elevation Model, 이하 DEM)과 GIS를 이용하여 추출하였다. 이는 행정단위 이하의 미시적 공간특성을 반영할 수 있어 산불의 발생과 확산을 예측의 정확도를 제고시킨다. 또한, 지역별 산불의 경제적 피해는 기존에 시도하지 않았던 비시장(non-market) 조건이라는 특징을 감안하여 비용추정법보다 농림업 생산함수법을 적용하여 피해면적에 대한 부가가치 감소액을 추정하였다.

### III. 실증분석

본 연구에 활용된 자료는 산불발생 및 확산을 설명하는 기상, 지형 및 지역특성 자료로 구분된다. 연구의 공간적 범위는 산불발생 횟수 및 피해면적이 가장 큰 강원도 및 경상북도에 속한 40개 시·군(울릉도 제외)을 선정하였고, 시간적 기준은 자료구득이 가능한 최신연도인 2011년으로 하였다. 먼저, 기상자료는 강원도 및 경상북도에 소재한 기상대 10개소의 월별 관측치를 통계청에서 수집하였고, 지역특성은 시·군별 통계연보 및 통계청의 국가통계포털(<http://kosis.kr>)을 활용하였다. 지형자료는 국가GIS통합포털(<http://www.ngis.go.kr>)에서 제공하는 DEM자료를 이용하여 경사도, 경사향 등 지형 요인을 추출하여 사용하였다.

1970~2006년 기간 평균 산불피해면적은 강원도가 2,400ha로 경상북도의 1,000ha에 비해 두 배 이상 넓었으나, 2003~2012년 기간 우리나라 산불피해면적(7,329ha)에서 경상북도는 2,254ha(30.7%)를 차지하여 강원도 2,231ha(30.4%)를 추월하였다. 하지만, 2003~2012년 기간 강원도에서 발생한 산불은 379건으로 건당 산불 피해면적은 5.9ha으로 경북의 3.1ha(산불 722건)에 비해 1.9배 큰 규모였다. 분석대상인 강원 및 경북에 대한 지형의 공간자료는 Figure 1과 같이 GIS를 이용하여 공간통계기반의 DEM파일에서 등고선을 추출하였다. 그 위에 공간미시자료 추출을 위하여 격자망 1만개 격자(100\*100) 단

위를 적용한 후 지역별 공간조인을 실시하였다. 해당 격자별 경사도 및 경사향은 GIS의 공간분석 기법 중 Zonal Statistics를 이용하여 산출되었다.

Table 1의 분석 대상 40개 시·군별 산불발생확률은 이시영 외 (2004)의 강원도 및 경상북도 산불발생확률함수를 적용하여 도출하였다. 산불발생확률은 기온 및 평균 풍속이 높고 습도가 낮아질 때 증가하는 특성을 가진다. 산불의 공간적 확산면적은 산불발생 후 기상 및 지형요인에 의하여 결정되는데, 평균풍속과 침엽수림 비율이 증가할 때 확대된다. 또한, 우리나라의 급격한 기후변화는 산불의 대형화 가능성을 보다 높여주고 있다. 강원도와 경상북도의 산불 확산면적은 이병두 외 (2005)의 산불공간확산식을 이용하여 산출되었다. 마지막으로 지역별 산불 피해면적은 기 추정된 산불발생확률과 산불의 확산면적을 곱하여 산출되었다.

강원도 및 경상북도의 산불발생확률 (%)

$$\text{강원} = [1 + \exp(- (2.494 + 0.004HT - 0.008HD))]^{-1} \quad (1)$$

$$\text{경북} = [1 + \exp(- (5.396 + 0.004HT - 0.014HD + 0.027 WS))]^{-1} \quad (2)$$

HT: 최고기온(°C), HD: 유효습도(%), WS: 평균풍속(m/sec)

산불확산면적 (ha)

$$= -134.87 - 322.55CS + 23.59WS + 143.49AP \quad (3)$$

CS: Cos변환경사향, WS: 평균풍속(m/sec), AP: 침엽수림 비율(%)

산불피해면적 (ha)

$$= (\text{강원, 경북}) \text{ 산불발생확률} * \text{산불의 확산면적} \quad (4)$$

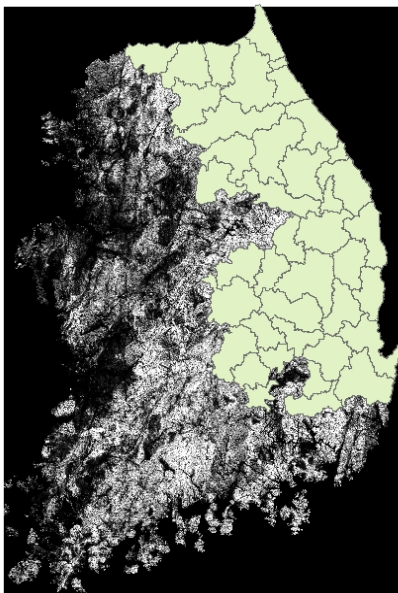


Figure 1. The Geographical Map for Study Area

본 연구에서는 Figure 2와 같이 격자로 구분된 경사향 및 임상 등의 공간특성을 산불확산식에 반영한 것이 의미가 있으며, 이를 토대로 산불의 피해면적을 산출하였다. 다만, 경사향의 공간미시자료는 1만개의 격자로 표현되었고, 지면의 한계로 명확한 구분이 어려움이 존재한다. 다음의 Figure 3은 격자별 산불확산 면적을 산불발생 확률에 곱하여 40개 시·군단위의 산불피해면적을 도출하였다. 각 시·군별 산림면적 대비 피해면적 비중은 최소 1.5%(강원도 속초시)에서 최대 7.8%(경상북도 경산시) 범위에서 확인되었다. Table 1에서 2000~2011년 기간 실제 평균 산불피해면적은 강원도가 3,708ha, 경상북도는 195ha인데, 본 연구에서 분석한 강원 및 경북의 피해면적인 532ha, 1,004ha으로 나타났다. 산불피해면적은 시기별, 지역별 편차가 크게 존재함으로 직접 비교에는 한계가 존재한다. 2000년 이후 산불의 대형화 추세가 현저해지면서, 농림업의 산불피해가 급증하였고, 연간 산불피해면적의 변동은 증가하는 추세에 있다. 2000년 삼척시의 산불피해면적은 2,332ha이었으나, 2004년에는 0ha으로 큰 편차가 존재한다. 30ha 이상의 대형산불은 침엽수림의 수종분포와 축적된 산림자원의 배열에 연속성이 있을 때, 5m/s이상의 평균풍속과 최대풍속 시 9m/s이상의 바람과 최대고도 420m이상 그리고 사면장 길이가 650m이상일 경우에 나타났다 (이시영 외, 2006). 우리나라의 대표적인 대형산불로 인한 피해는 2005년 강원의 1,374ha를 비롯하여 2009, 2011년 경북의 752ha, 747ha 등이 있다.

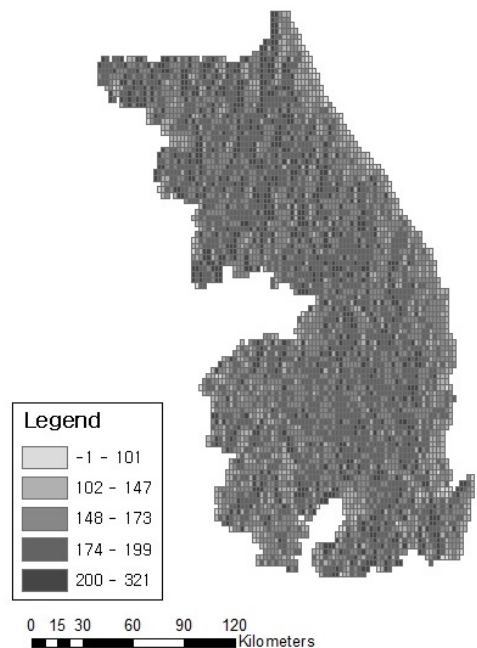


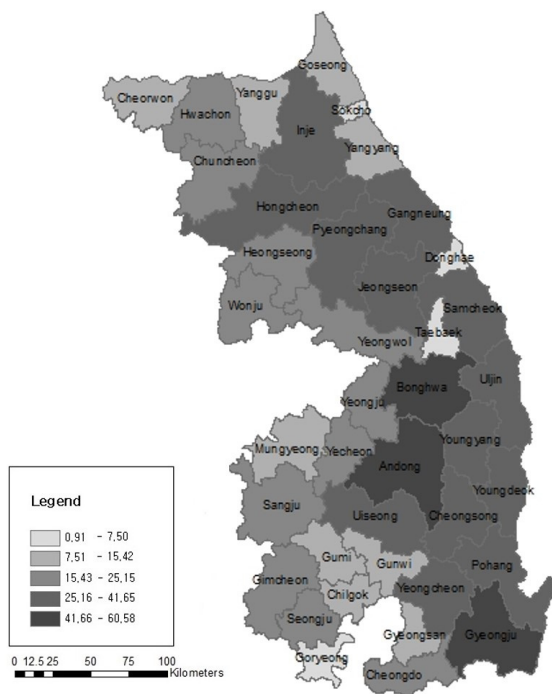
Figure 2. Cos-Aspect Analysis by Each Mesh

산불피해면적은 경상북도가 강원도에 비하여 넓게 나타났다. 강원도에서 가장 큰 피해를 입은 지역은 동해시, 정선군, 태백시 및 평창군이었다, 경북은 안동시, 경주시 및 봉화군의 순으로 넓은 피해를 나타내었다. 강원도의 산불발생확률 및 공간적 확산면적은 강릉시를 비롯한 6개 시·군에서 높게 나타났다. 강원도의 평창군, 정선군 및 삼척시는 풍속과 유효습도에 의해 축적된 산림자원이 건조해질 수 있는 기후특성과 높은 침엽수림 비율, 경사향이 남향 및 남서향인 점에서 타 지역에 비해 상대적으로 큰 산불피해가 나타났을 것으로 추정할 수 있다. 한편, 경북의 산불발생확률은 고령군, 성주군, 청도군 및 칠곡군에서 높게 나타났으며, 최고기온 등의 기후특성에 영향을 받았다. 산불의 공간적 확산면적은 봉화군, 영덕군, 영양군, 울진군, 청송군 등에서 넓게 분포하였고, 이들은 태백산맥을 지나는 산림지역으로 경사향 및 침엽수림 비율에 크게 좌우된다. 이를 통해 산불피해는 강원도에 비하여 경상북도에서 크게 나타났고, 격자별 확산면적과 지역별 산림면적에 의하여 피해 규모가 결정되었다.

Figure 3과 같이 강원 및 경북 지역에서 산불 피해규모가 상대적으로 큰 지역들은 광역행정단위가 아닌 공간적으로 인접성을 기준으로 공동감시 및 방재시스템 등의 산불예방조치가 필요하다. 우선 적용 대상 지역은 산불

피해규모가 상대적으로 큰 강원도의 인제군, 홍천군, 평창군, 강릉시, 정선군이며, 경북 울진군에 인접한 강원도 삼척시는 산불방재정책 이외에 지역 간 공동방재시스템 구축이 필요하다. 산불피해위험이 큰 지역들 간의 공간적 인접성은 산불의 확산 특성에 의하여 직접적으로 영향을 받을 수 있기 때문이다. 따라서 기후, 해안환경, 산림 밀도 및 경사도 등 유사한 특성으로 인한 산불피해 확산에 대한 지방자치단체들 간의 공동연구 및 유기적인 산불방재대책 마련이 중요하다. 경북은 산불위험 및 피해규모가 상대적으로 큰 봉화군과 안동시를 중심으로 경북 내륙의 청송군 및 의성군에 걸친 산불관리 인력 및 장비 등을 집중 배치 할 필요가 있다. 더욱이 산불 발생 시 주요 보호건물 및 대형화 방지를 위한 효율적인 산불현장통합지휘체계와 개인별 산불진화 행동매뉴얼의 구축이 필요한 상황이다(배진국·이시영, 2012).

산불의 공간적 확산이 지역경제에 미치는 영향을 분석하기 위하여 생산기술을 함수 형태로 표시할 수 있는 생산함수법을 적용하였다. 여기서 생산기술은 효율적인 가변요소투입량과 산출량 간의 기술적 관계를 나타낸다. 생산함수법은 Solow(1957)가 이론적 구조를 제시하였고, 이후 실증자료를 적용하여 다양한 형태의 생산함수를 추정하고 농가의 자본배분과 농업정책결정에 유용한 분석을 하였다 (김영식, 2001). 분석에 적용한 콥더글라스 생산함수는 식 (5)와 같다. 산불피해가 농림업의 생산에 미치는 영향을 분석하기 위하여 두 생산 요소 가정에 의거하여 농림업의 자본(K) 및 노동(L)에 대한 콥더글라스 생산함수를 적용하였다. 종속변수는 강원 및 경북 내 40개 시·군의 농림업 부가가치액(2011년 불변가격)을 이용하였고, 생산요소 중 자본은 2011년 기준 지역별 산림면적(ha), 노동은 지역별 농업인구(명)를 각각 적용하였다. 농림업 부가가치 감소분은 투입된 자본과 노동의 기술관계를 토대로 산출된 지역별 산불피해면적을 자본요소에 대입하여 도출되었다. 실제로 농림업의 자본스톡에 산림면적을 적용한 것은 산림에 특정한 기술투자가 발생하지 않고, 자연적으로 산림 내 임목축적 및 임산물 등의 산출물을 고려하였기 때문이다. 또한, 우리나라의 지역별 자본스톡 통계자료가 제공되지 않으며, 이를 추정함에 있어 보다 큰 오류가 발생할 수 있음을 감안하였다. 이 함수의 한계생산은  $A > 0$ ,  $\alpha, \beta > 0$  이면 정(+)의 값을 가지고,  $\alpha$ 와  $\beta$ 가 0과 1 사이의 값을 가지면 전 영역에서 감소한다. 이 함수의 한계기술대체율은 요소결합비를  $L/K$ 의 함수이며, 이 비율이 감소함에 따라 한계기술대체율은 감소한다.



(Unit: ha)

Figure 3. Regional Damaged Areas by Wildfire

Table 1. The probability of wildfire occurrence (%) and spatial dispersal and damaged areas (ha) in Gangwon and Gyeongbuk Provinces

Gangwon	Probability of occurrence	Dispersal area	Damaged area	Actual Average damaged area (2000~2011)	Gyeongbuk	Probability of occurrence	Dispersal area	Damaged area	Actual Average damaged area (2000~2011)
Gangneung	1.31	29.62	38.80	312.5	Gyeongsan	1.64	34.80	50.07	1.5
Goseong	1.27	19.32	24.54	384.8	Gyeongju	1.20	36.04	43.25	11.5
Donghae	1.31	29.62	38.80	412.0	Goryeong	1.64	34.48	56.55	9.0
Samcheok	1.31	29.62	38.80	2,331.9	Gumi	1.23	25.49	31.35	4.6
Sokcho	1.27	19.32	24.54	18.9	Gunwi	1.23	25.27	30.08	1.8
Yanggu	1.15	19.05	21.91	0.7	Gimcheon	1.23	25.45	31.08	2.0
Yangyang	1.27	19.32	24.54	105.3	Mungyeong	1.17	17.52	20.50	1.3
Yeongwol	1.29	23.98	30.93	2.9	Bonghwa	1.15	40.75	46.86	10.8
Wonju	1.29	23.98	30.93	60.2	Sangju	1.17	19.20	22.46	1.8
Inje	1.27	19.32	24.54	5.6	Seongju	1.64	35.22	57.76	1.6
Jeongseon	1.31	29.62	38.80	2.3	Andong	1.14	38.76	44.19	8.1
Cheorwon	1.15	19.05	21.91	4.3	Youngdeok	1.15	41.90	48.19	6.1
Chuncheon	1.15	19.05	21.91	1.6	Youngyang	1.15	40.89	47.02	2.7
Taebaek	1.31	29.62	38.80	2.0	Yeongju	1.14	37.96	43.28	2.3
Pyeongchang	1.31	29.62	38.80	1.0	Yeongcheon	1.20	36.07	43.28	36.5
Hongcheon	1.15	19.05	21.91	6.6	Yecheon	1.14	38.41	43.79	2.1
Hwachon	1.15	19.05	21.91	2.0	Uljin	1.15	40.75	46.86	7.3
Heongseong	1.29	23.98	30.93	53.3	Uiseong	1.23	25.18	30.97	1.6
					Cheongdo	1.64	35.08	57.53	2.1
					Cheongsong	1.14	40.23	45.86	2.2
					Chilgok	1.64	35.47	58.17	45.0
					Pohang	1.20	36.27	43.52	42.7

\*The actual damaged areas of wildfire in Gangwon and Gyeongbuk provinces have high variations by each year or region

$$V = AK^\alpha L^\beta \quad (5)$$

V: 농림업 부가가치(백만원, 2011년 불변가),  
K: 산림면적 (ha), L: 농업인구(명)

부가가치 생산함수 분석결과, <Table 2>와 같이 농림업 부가가치의 한계생산은 정(+의 값을 가지며, 전 영역에서 체감하는 특성이 나타났다. 산불피해로 인한 자본스톡의 감소는  $\beta/\alpha$  비율을 증가시켜 일시적으로 한계기술대체율이 증가하게 된다.

Table 2. The Estimates of Value-Added Production Function in Agriculture Industry

	Estimates	Standard Error
Intercept	1.835***	0.152
$\alpha$	0.217**	0.092
$\beta$	0.783***	0.092
$R^2$		0.70

p<0.1: \* p<0.05: \*\* p<0.01: \*\*\*

지역별 농림업 부가가치 감소액은 생산함수 추정치에 해당하는 평균 노동 및 자본스톡에서 산불피해면적으로 인하여 감소한 자본스톡을 적용한 값을 제하여 도출하였다. 산불의 피해면적을 고려한 경북 및 강원도의 연간 농림업 부가가치 총 손실액은 257.1억원이었고, 그 중 경북은 55.8%에 해당하는 155.2억원, 강원은 101.9억원으로 44.2%를 차지하였다. 해당 생산요소의 추정치 40개 시·군 중 산불 피해가 가장 큰 시·군은 경북 안동시이며, 부가가치 손실액은 12.5억원에 달하였다. 그 다음은 평창군(12.3억원), 경주시(12.2억원)의 순으로 피해가 발생하였고, 피해가 가장 작게 나타난 시·군은 태백시로 0.2억원 수준이었다. 강원도 양양군의 단위 산림면적(1ha)당 피해액이 51.1백만원으로 가장 큰 피해를 보였고, 이는 동해안에 접한 지형 및 기상요인을 비롯하여 산림면적이 다른 시·군에 비해 넓은 데에서 그 원인을 찾을 수 있다. 우리나라의 지형 상 강원도 및 경상북도의 태백산맥이 소백산맥으로 이어지고, 산림에 인접한 시·군은 산림을 이용한 임산물 및 농업 생산물에서 주요한 경제적 피해가 나타날 수 있다.

지역별 산불피해면적에 따라 농림업의 경제적 손실은

편차를 보이고 있다. 농림업 부가가치 손실액이 큰 안동시, 경주시를 비롯한 평창군, 봉화군, 포항시 등은 보유한 산림에서 활발한 생산 활동 중에 발생하는 산불에 대한 예방대책이 요구된다. 반면, 속초시, 동해시 및 태백시와 같이 산림자원에서 발생하는 생산액 보다 관광수입에 의존하는 경향이 높은 시·군은 방문객을 대상으로 한 산불예방 및 대피계획이 필요할 것으로 보인다.

#### IV. 결론 및 시사점

본 연구는 산불의 공간적 확산이 지역경제에 미치는 영향을 분석하였다. 공간적 분석 대상은 산불위험도가 높은 강원도 및 경상북도의 40개 시·군이고, 피해 산업은 농림업으로 한정하였다. 산불의 피해면적은 공간단위로 세분화한 격자형의 지형자료, 기상대별 기후자료 및 지역특성자료를 대상으로 기존의 산불발생확률 및 산불확산함수를 적용하여 추정하였다. 산불확산은 격자별 최고기온 및 평균풍속이 높고, 경사향이 남향일수록 산불 피해액은 증가하였다. 농림업 생산함수를 이용하여 산불로 인한 총 피해면적을 투입하여 부가가치 감소액을 추정하였다. 강원 및 경북의 40개 시·군에서 산불발생 시 가장 큰 손실을 입는 지역은 경상북도 안동시였고, 농림업 부가가치 감소액은 12.5억원으로 안동시 농림업 총 부가가치의 0.72%에 해당하였다. 지역별 산불피해면적에 따라 농림업의 경제적 손실은 편차를 보이고 있었다. 농림업 부가가치 손실액이 큰 안동시, 경주시를 비롯한 평창군, 봉화군, 포항시 등은 보유한 산림에서 활발한 생산 활동 중에 발생하는 산불에 대한 예방대책이 요구된다. 반면, 속초시, 동해시 및 태백시와 같이 산림자원에서 발생하는 부가가치액 보다 관광수입에 의존하는 경향이 높은 시·군은 방문객을 대상으로 한 산불방지 및 관광객 대피 계획이 요구된다.

본 연구의 한계를 정리하면, 우선 산불발생확률 산출을 위하여 10개 기상대(강원도 4개, 경상북도 6개)의 기후자료를 관할 40개 지역에 적용하였으므로, 공간적 변동에 대한 설명이 제한되었다. 또한 분석된 산불피해 수준에 따라 대규모 방재권역을 설정하고, 지방자치단체 간 공동으로 산불방재 및 진화정책의 수립은 추후 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 본 연구에서는 농림업에 대한 지역경제효과에 국한하였으나, 관광업 의존적 지역을 고려하여 산불로 인하여 감소한 관광수요 및 판매액 등의 효과를 분석할 필요가 있다.

#### Reference

1. Kwak, Han Bin, Woo Kyun Lee, Si Young Lee, Myoung Soo Won, Kyo Sang Koo, Byung Doo Lee and Myung Bo Lee, 2010, Study on Regional Spatial Autocorrelation of Forest Fire Occurrence in Korea, Journal of Korean Forestry Society, 99(3), 259-266.
2. Kim, Dong Hyun, 2012, Forest Fire Risk Analysis Considering Characteristics of Temporal and Spatial on Slope Direction Line, Proceedings of the Korean Institute of Fire Science and Engineering Conference, 206-209.
3. Kim, Dong Hyun, Myoung Soo Won and Myung Bo Lee, 2005, A Case Study of Forest Fire Spread in Yangyang, Proceedings of the Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference, 2, 109-113.
4. Kim, Moon Il, Han Bin Lee, Woo Kyun Lee, Myoung Soo Won and Kyo Sang Koo, 2011, Study on Regional Spatial Autocorrelation of Forest Fire Occurrence in Korea, Journal of the Korea Society for Geospatial Information System, 19(2), 29-37.
5. Kim, Young Sik, 2011, Production Economics, 박영사.
6. Byun, Young Gi, Yong Huh, Yong Min Kim and Ki Yun Yu, 2007, A Study on Forest Fire Detection from MODIS Data Using Local Spatial Association Analysis, Proceedings of the Korea Society for Geospatial Information System Conference, 15(1), 23-29.
7. Korea Forest Service, 2001, 2001 Annual Report of Korea Forest Service.
8. National Emergency Management Agency, 2009, Study on Institutionalization of Standards for of Calculating Natural Disasters.
9. Woo, Jong Choon, In Hwa Choi and Byung Min Song, 2001, A Study on the Economic Loss Assessment of Forest Fire of in the East Coast Area of Gangwon Province, Journal of Forestry Science, 17, 127-140.
10. Yoon, Yeo-Chang, 2000, Economic Assessment on Forest Fire Damage, Proceedings of Korean Forestry Society Conference, 43-52.
11. Lee, Byung Doo, 2005, Analysis of behavior characteristics of the 2000 Samcheok forest fire using

- GISRS and development of a forest fire growth prediction model, PhD Dissertation in Seoul National University.
12. Lee, Byung Doo, Myoung Soo, Won, Kwang Min Jang and Myung Bo Lee, 2008, Analysis of the Relationship between Landform and Forest Fire Severity, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 11(1), 58-67.
  13. Lee, Sang Woo, Jeo Hoon Lim, Myoung Su Won and Joo Mee Lee, 2009, Linking Spatial Characteristics of Forest Structure and Burn Severity, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 12(5), 28-41.
  14. Lee, Si Young, Sang Yoel Han, Sang Hyun An, Jeong Soo Oh, Myung Hee Jo and Myung Soo Kim, 2001, Regional Analysis of Forest Fire Occurrence Factors in Gangwon Province, *Journal of the Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology*, 3(3), 135-142.
  15. Lee, Si Young, Snag Yoel Han, Myoung Soo Won and Myung Bo Lee, 2004, Developing of Forest Fire Occurrence Probability Model by Using the Meteorological Characteristics in Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology*, 6(4), 242-249.
  16. Lee, Si Young and Hae Pyeong Lee, 2006, Analysis of Forest Fire Occurrence in Korea, 20(2), 54-63.
  17. Lee, Jae Keun, Joon Soon Kim and Young Geun Lee, 2007, A Ripple Effect of Regional Economy by Government Aid for Forest Fire Restoration through the Input-Output Analysis, *Journal of the Korean Forestry*, 96(3), 338-347.
  18. Chung, Joo Sang, Byung Doo Lee, Huang Ho Kim, Si Young Lee and Joo Hun Lim, 2001, A Study on the Rate of Spread for Large-Scale Forest Fire in Samchuck, *Proceedings of the Korean Society for Forestry Conference*, 212-213.
  19. Kim, Euijune, Younghyun J. Kwon, and Inhyok Son, 2014, Regional Economic Impact of Unexpected Events using an SCGE Model of Korea, The 53th Anniversary Meeting of the Western Regional Science Association.
  20. Mercer, D. E., J. M. Pye, J. P. Presetemon, D. T. Butry, and T. P. Holmes, 2000, Economic Effects of Catastrophic Wildfires: Assessing the Effectiveness of Fuel Reduction Programs for Reducing the Economic Impacts of Catastrophic Forest Fire Events, The Joint Fire Science Program.
  21. Pyne, S. J., Andrews P. L., and R. D. Laven, 1996, *Introduction to Wildland Fire*. 2 New York, NY: John Wiley and Sons, p.769.
  22. Rogan, J. and S. R. Yool, 2001, Mapping Fire-induced Vegetation Depletion in the Peloncillo Mountains, Arizona and New Mexico. *International Journal of Remote Sensing* 16, 3101-3121.
  23. Santoni, P. A., Balbi, J. H. and J. L. Dupuy, 1999, Dynamic Modelling of Upslope Fire Growth, *International Journal of Wildland Fire*, 9, 285-292.
  24. Solow, R. M. 1957, Technical Change and the Aggregate Production Function, *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.
  25. White, J. D., K. C. Ryan, C. C. Key and S. W. Running, 1996, Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery, *International Journal of Remote Sensing*, 6, 125-136.
  26. Yang, J., HS He., Shifley, S. and E. Gustafson, 2007, Spatial Patterns of Modern Period Human-caused Fire Occurrence in the Missouri Ozark Highlands, *Forest Science*, 53(1), 1-15.

---

접 수 일: (2014년 7월 18일)

수 정 일: (1차: 2014년 7월 28일, 2차: 8월 13일  
3차: 9월 2일)

게재확정일: (2014년 9월 2일)

■ 3인 익명 심사필