산불피해에 따른 산업 및 거시경제적 영향 분석

The Economic Effects of Forest Fires Based on a Computational General Equilibrium Model

이상호* · 이요한** · 김성용*** · 권춘근****

Lee, Sang-ho*, Lee, Yohan**, Kim, Sungyong***, and Kwon, chungun****

Abstract

The losses associated with forest fires affect not only forestry sectors, but also the entire national economy through inputs, production, and income flows between industries. To analyze the economic ripple effects of forest fires, a general equilibrium model is utilized to take direct and indirect effects into account. This study analyzes the contribution of forest fires to losses in the national economy using a computational general equilibrium model. In 2017, the direct loss from forest fires was KRW 17.3 billion; restoration cost a total of KRW 2.7 billion; and the suppression expenditure totaled KRW 24 billion. Results show that the welfare of consumers decreased by KRW 37.2 billion, and GDP decreased by KRW 35 billion. In total, social losses amounted to KRW 72.2 billion. In the order of economic impacts by sector, forest fires had major effects on forestry, timber and paper, food, agricultural/forestry/marine products, and restaurants and accommodation.

Key words : Forest Fires, Losses, CGE Model, Economic Ripple Effect

요 지

산불피해는 직접적으로 임업부문에만 피해를 미치는 게 아니라 산업간 투입 및 산출관계와 소득흐름을 통해 전체 경제에 영향을 미치게 된다. 따라서 산불피해의 경제적 영향을 분석하기 위해서는 부분균형모형이 아니라 일반균형모형을 통해 직접·간접적 효과를 파악해야 한다. 본 연구는 일반균형모형을 이용하여 산불피해가 국가경제에 미치는 파급효과에 대해 분석하였다. 2017년 기준 산불의 직접피해액은 173 억원, 복구비용은 27 억원, 진화비용은 450 억원으로 나타났다. 산불의 거시경제 및 산업부문 파급영향을 분석한 결과 소비자 후생은 약 372억원 감소하고, 국내총생산은 350억원 감소하는 것으로 나타나 총 722억원의 사회적 손실이 발생한 것으로 추정되었다. 분야별로는 임산물, 목재 및 종이/인쇄, 음식료품, 농림수산물, 음식점 및 숙박서비스 순으로 피해가 큰 것으로 나타났다.

핵심용어 : 산불, 경제적 손실, CGE 모형, 경제파급효과

*정회원, 영남대학교 식품경제외식학과 교수(E-mail: ecolee@yu.ac.kr)

Member, Professor, Department of Food Economics and Service, Yeungnam University

**교신저자, 정회원, 영남대학교 산림자원및조경학과 조교수(Tel: +82-53-810-2922, Fax: +82-53-810-2067, E-mail: johnlee@yu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Forest Resources and Landscape Architecture, Yeungnam University

***정회원, 국립산림과학원 산림방재연구과 연구사(E-mail: kitacol@korea.kr)

Member, Research Associate, Department of Forest Disaster, Institute of Forest Science

****정회원, 국립산림과학원 산림방재연구과 연구사(E-mail: chungun@korea.com)

Member, Research Associate, Department of Forest Disaster, Institute of Forest Science

1. 서론

최근 강원도 고성에서 발생한 대형 산불¹⁾은 여의도면적의 4.5배(1266.62 ha)에 달하는 산림을 소실하였을 뿐 아니라 지역 주민들에게 막대한 재산 손실을 초래하여 사회적으로 큰 충격을 남겼다(Korea Forest Service, 2019). 산불은 한번 대형화 되면 산불의 강도가 더 커져서 진화하기 어려울 뿐 아니라, 산불로 인한 피해액은 기하급수적으로 증가하게 된다. 산불이 진화된 이후에도 소실된 산림에 대한 복원과 산불로 피해를 받은 시설물에 대한 복구 등 오랜 시간에 걸쳐 추가적인 노력이 필요하다. 즉, 대형 산불은 산림을 파괴할 뿐 아니라 사회적으로 많은 비용을 발생시킴으로써 국민경제에도 부담을 안겨준다.

기후변화, 무분별한 개발 등 다양한 요인으로 산불의 발생이 증가함에 따라 산불로 인한 사회적 비용에 대한 연구가 많이 나타나고 있다(Thomas et al., 2017). 산불이 국민들에게 어느 정도의 영향을 주는지 정확하게 측정하기 어렵지만 신뢰할만한 경제학 모형을 개발하여 산불의 경제적 효과를 추정할 수 있다.

산불경제학은 산불 관리의 효율성을 연구하는 비교적 새로운 연구 분야이다. 과거 대부분의 산불이 자연적인 원인에 의해서 발생하였고, 산불은 자연적 천이의 한 부분으로 인식되어 왔다. 그러나 인류의 활동공간이 확장됨에 따라 거주지와 산림의 이격 공간이 줄어들었다. 결과적으로 과거와 달리 대부분의 산불은 인간의 활동에 의해서 발생하게 되었고, 빈번하게 발생하는 산불은 인류에 중요한 위협이 되었다. 현재 산불은 인류가 안전하게 살아가기 위해서 반드시 관리해야 할 주요 재해 중의 하나가 되었고, 우리나라 뿐만 아니라 다른 선진국에서도 매년 되풀이되는 산불의 위협을 막기 위해 많은 예산과 노력을 들이고 있다.

산불경제학의 필요성은 주어진 예산 하에서 효율적으로 산불을 관리해야 하는 목적에 의해서 생겨난다. 초기 산불경제학 모델은 산불에서 발생하는 손실과 산불의 비용을 줄이기 위한 거래효과(tradeoff)를 이용하여 ‘cost plus loss (C+L)’, 즉 총 비용을 최소화하도록 개발되었다(Sparhawk, 1925). 이 모형은 산불의 진화비용과 산불의 손실의 합을 이용하여 산불의 직접비용에 대한 총액을 계상하고, 이를 최소화하는 산불관리 방식을 도출하는 의사결정도로 활용되었다. 이후, C+L 모델은 여러 차례 수정되었다(Gorte and Gorte, 1979). Simard (1976)은 산불이 가지고 있는 생태적 편익을 고려하여 ‘cost plus net value change (C+NVC)’ 모델을 제안하였고, Donovan and Rideout (2003)은 산불예방과 진화효과

를 독립적으로 모델에 반영하여 C+NVC 모델을 완성하였다.

지금까지 산불의 비용과 손실에 대한 연구들은 미시적인 모형 개발에 집중해 왔다. 특히, 산불의 발생과 산불 소실 면적을 추정하여 산불의 피해를 추정하는 모형들이 주를 이룬다(Syphard et al., 2008; Grala et al., 2017). 최근 관련 연구들의 주제를 살펴보면 산불의 강도, 소실면적 분포, 산불 발생 밀도, 산불로 인한 주택 및 건물 소실 피해 등이고, 그 중 일부는 산불의 진화 비용과 예산에 대한 문제를 연구하였다(Abt et al., 2009; Hesseln et al., 2010).

국내에서는 지금까지 산불비용과 손실에 대한 연구가 많이 이뤄지지 않았다. 관련 연구로는 산불보험 도입을 위해서 피해액을 산출하는 연구가 있었다(Korea Insurance Institute, 2014). 이 연구는 산불의 피해액을 계상하고, 이를 이용하여 산주들이 산불보험에 들도록 하는데 목적이 있기 때문에 산불의 진화비용과 손실의 관계에 대한 분석은 이뤄지지 않았다. 또 산불의 실시간 피해분석을 위한 연구가 이뤄졌으나 연구범위는 산불의 피해면적과 산림임상을 근거로 직접적 손실을 추정하는데 제한하였다(Lee et al., 2015). 국내에서 산불이 국가경제나 사회에 줄 수 있는 영향이 매우 심각함에도 불구하고 산불이 미치는 사회경제적 파급효과에 대한 연구는 거의 이뤄지지 않다.

본 연구의 목적은 일반균형모형을 이용하여 산불피해가 국가경제에 미치는 파급영향을 분석하는 것이다. 산불, 가뭄, 홍수와 같은 자연재해가 발생하거나 인위적 노력에 의해 감소할 때 일반균형모형(computable general equilibrium model, CGE)을 이용하여 사회적 편익과 비용을 계상할 수 있다(Jeong and Kim, 2012). 산불은 직접피해, 진화비용, 복구비 등 다양한 형태로 경제에 영향을 미치게 되는데, 산불로 인한 손실은 결국 국가 차원에서 발생하는 사회적 비용이 된다. 본 연구에서는 경제학모형을 이용하여 산불의 직접비용 이외에 추가적인 영향 효과를 계량적으로 추정함으로써 산불의 피해의 심각성을 규명하고, 이를 통해 산불 위험 관리의 당위성과 국가의 예방·진화 정책을 통한 산불 피해 저감의 경제적 효과를 추정할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 분석모형 및 자료

2.1 연산 일반균형모형

2.1.1 개념적 모형

산불피해는 직접피해, 복구비, 진화비용 등 다양한 형태로 산림의 생산부문에 영향을 미친다. 따라서 산불피해에 따른 거시경제 및 산업부문별 파급영향을 분석하려면 생산부문, 소비부문, 생산요소시장, 그리고 해외부문을 동시에 고려해야 한다. 이러한 분석은 미시 및 거시경제이론을 동시에 고려한 일반균형논리를 모형으로 체계화해야만 가능하다

1) 2019년에 발생한 강원도 고성산불은 4월 4일 19시 17분에 발견되어 4월 5일 18시에 진화되었다. 고성산불이 발생한 4월 4일은 매우 건조한 기상 환경으로 인해 전국적으로 19건의 산불이 하루동안 발생하였다. 고성산불은 저녁시간에 발생하였고 강풍으로 빠르게 확산되어 초기 진화에 어려움을 겪었고, 결과적으로 대형산불로 확산되어 큰 피해를 야기했다.

(Kim and Lee, 2003).

일반적으로 연산 일반균형모형은 생산 감소에 의한 생산 파급효과와 구조적 정책변화의 경제적 효과를 분석하기에 가장 적합한 분석체계로 응용될 수 있는 틀을 갖추고 있다. 이러한 근거는 첫째, 생산 감소는 산업 간의 구조적 변화를 유발하여 산업 간 자원재배분 효과가 일어난다. 이러한 산업 간 구조적 변화를 반영할 수 있는 분석틀로 연산 일반균형모형이 적합하다.

둘째, 연산 일반균형모형에 의한 분석기법은 정책변화에 따른 생산자 비용의 변화와 본원적 생산요소의 상대가격이 모형내에서 변화하는 것을 고려하게 된다. 즉, 정책 변화가 중간재 투입물의 상대가격 변화를 통해 각각의 균형에서 생산요소의 부가가치와 중간재 구성 비율에 영향을 미치는 것이 모형 내에서 고려된다는 것이다.

생산 감축은 해당 산업부문의 생산요소에 파생적으로 영향을 미치게 된다. 한편 직접효과에 의한 산업 간 생산량 변화는 파생수요인 원천적 생산요소 수요에도 간접적 영향을 미친다. 즉 산업 간 자원재배분 효과를 통해 산출활동의 변화가 발생하고, 파생적으로 산업부문별 생산요소 수요도 변화한다(Lee and Kim, 2013).

소비측면에서 생산 감축은 해당 산업의 국내가격을 상승시키는 효과가 있다. 이로 인한 물가상승은 소비자지불가격이 상승하는 효과를 가짐으로써 실질소득을 증대시키고, 이는 소득감소에 따른 소비감소로 이어져 후생수준의 하락을 가져온다.

한편 산불피해에 따른 직접효과에 의한 산업간 생산량 변화는 파생수요인 원천적 생산요소 수요에도 간접적 영향을 미친다. 산불피해는 임산물 산업부문의 중간재 수요에 부정적 영향을 미친다. 이로 인해 임산물 관련 전·후방연계 산업에 영향을 미친다. 즉, 산업간 자원재배분 효과를 통해 산출활동의 변화가 발생하고, 파생적으로 산업부문별 생산요소 수요도 변화한다.

2.1.2 수식체계2)

이 논문에서 이용한 분석모형은 신고전학과 Computable general equilibrium (CGE)모형으로서 모든 재화시장과 생산요소시장에서 완전경쟁이 이루어지고 노동과 자본을 포함한 모든 생산요소들의 완전고용을 가정한다.

국내경제의 변화에 대한 해외부문의 반응을 고려한다면 추가적으로 각 재화별 수입공급함수(import supply function)와 수출수요함수(export demand function)에 대한 구체적인 가정이 필요하게 된다. 이 논문에서는 CGE모형에서 일반적으로 채택하는 소국가가정을 적용한다.

생산측면에서는 국내재와 수출재가 생산되어 국내총생산이 발생하는데, 부문별 산출량(XD_j)은 노동과 자본이라는

본원적 생산요소에 의하여 생산되는 부가가치(VA_j)와 국내재와 수입재로 구성된 복합중간재(IN_{ij})들을 투입물로 하여 생산된다. 본 논문에서는 부가가치가 다음과 같은 콥더글라스형 함수에 의하여 생산되는 것으로 가정한다.

$$VA_i = AD_i [L_i^{b_i} K_i^{1-b_i}] \quad (1)$$

단, AD_i : 생산함수의 상수값, b_i : 생산함수의 분배모수

L_i : i 산업의 노동수요, K_i : i 산업의 자본수요

중간재수요는 레온티에프 투입산출 기술을 가정한다.³⁾ 부문별 산출량은 부가가치와 복합중간재를 투입물로 하는 다음과 같은 레온티에프형 함수에 의하여 생산된다고 가정한다.

$$XD_j = \text{Min} \left[\frac{VA_j}{v_j}, \frac{IN_{1j}}{io_{1j}}, \frac{IN_{2j}}{io_{2j}}, \dots, \frac{IN_{mj}}{io_{mj}} \right] \quad (2)$$

단, v_j : 부가가치 투입계수, io_{nj} : 투입산출계수

VA_i : 부가가치, IN_{ij} : 중간재 투입량

CGE모형에서 각 산업은 하나의 상품만을 생산하는 것으로 전제하고 각 산업의 수출재는 국내공급재와 다른 재화로 분류한다. 국내공급재는 국내시장에서 흡수되어지고 수출재는 해외시장에 수출된다. 주어진 생산수준, 국내판매재 가격과 수출재의 국내가격하에서 각 산업은 수출재와 국내공급재의 산출량을 결정한다. 부문별 산출량은 CET함수에 의해 국내재와 수출재로 구분된다.⁴⁾ 부문별 산출은 산출량이 주어졌을 때 다음과 같은 불변전환탄력성함수에 의하여 국내재와 수출재로 나누어진다고 가정한다. 국내재와 수출재의 변환탄력성 $\tau_i = \frac{1}{1 - \gamma_i}$ 이다.

$$XD_i = AT_i [q_i E_i^{\gamma_i} + (1 - q_i) X S_i^{\gamma_i}]^{\frac{1}{\gamma_i}} \quad (3)$$

단, $AT_i > 0$, $0 \leq q_i \leq 1$, $\gamma_i \leq 1$,

AT_i : CET함수의 상수값

γ_i : CET함수의 지수, q_i : CET함수의 구성비율

$$\frac{E_i}{XS_i} = \left[\frac{PE_i}{PS_i} \frac{1 - q_i}{q_i} \right]^{\frac{1}{\gamma_i - 1}} \quad (4)$$

단, PE_i : 수출재의 국내가격, PS_i : 국내판매재의 가격

E_i : i 산업의 수출, XS_i : i 산업의 국내판매

아밍턴함수로서 수입재와 국내재를 복합재로 전환한다.

2) CGE모형은 가격부문, 생산부문, 수요부문, 시장청산조건으로 모형이 구성된다. 그리고 데이터 베이스는 사회회계행렬로 이루어진다.

3) 레온티에프 함수는 중간 투입재와 원초적 생산요소 간의 대체관계가 불가능한 생산기술이다.

4) 국내에서 생산되는 상품은 크게 국내에 공급되거나 해외에 수출된다. 국내판매와 수출의 관계는 국내판매 가격과 수출가격의 상대비율 등에 의해 결정된다.

국내재와 수입재를 소비하는 경제활동은 가계 및 정부의 최종수요, 기업들의 중간수요, 투자수요, 수출수요로 구성된다. CGE모형에서는 일반적으로 국내재와 수입재에 대한 가계와 정부의 최종수요, 중간수요 및 투자수요는 국내재 및 수입재의 동일한 구성으로 이루어진 복합재수요인 것으로 가정한다.⁵⁾ 산업부문별 복합재(X_i)는 Eq. (5)와 같이 수입재(M_i)와 국내재(XS_i)의 불변대체탄력성(CES)함수인 것으로 가정하며, α_i 는 불변대체탄력도함수의 지수로서 대체탄력성 $\sigma_i = \frac{1}{(1 + \alpha_i)}$ 가 된다.

$$X_i = AC_i [d_i M_i^{-\alpha_i} + (1 - d_i) XS_i^{-\alpha_i}]^{-\frac{1}{1 + \alpha_i}} \quad (5)$$

단, $AC_i > 0$, $0 \leq d_i \leq 1$, $-1 \leq \alpha_i$,

AC_i : Armington함수의 상수값

α_i : Armington함수의 지수, d_i : Armington함수의 구성비율

산업부문별 복합재(X_i) 수요량이 주어졌다면 복합재 생산자는 최소의 비용으로 수입재와 국내재를 구입함으로써 비용을 극소화하려 할 것이다. 이는 수입재와 국내재를 투입하여 복합재를 최소비용으로 생산하는 것과 같다. 국내재와 수입재의 가격이 주어졌다면 비용극소화의 1차필요조건은 한계대체율과 상대가격이 일치하도록 수입재와 국내재를 구입하는 것이다.

$$\frac{M_i}{XS_i} = \left[\frac{PS_i}{PM_i} \frac{d_i}{1 - d_i} \right]^{-\frac{1}{1 + \alpha_i}} \quad (6)$$

단, PM_i : 수입재의 국내가격, PS_i : 국내판매재의 가격

XS_i : i 산업의 국내판매, M_i : i 산업의 수입

가계는 소유하고 있는 노동과 자본을 생산활동에 공급하여 얻는 요소소득에서 정부 보조금을 더하고 각종 조세를 뺀 가처분소득의 제약하에서 효용함수를 극대화하는 방식으로 재화들을 소비한다. 가계 수요방정식은 효용극대화의 1차 필요조건인 결과로서 유도되어진다.

$$\text{Max } U = \prod_{i=1}^n CD_i^{c_i} \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n P_i CD_i = (Y - HS) \quad (8)$$

단, $\sum_{i=1}^n c_i = 1$, $c_i \geq 0$, c_i : 가계소비 분배모수

P_i : 복합재의 가격, CD_i : 복합재에 대한 소비수요

Y : 가계의 가처분소득, HS : 가계저축

Eq. (9)에서 자본재 Z 는 국내재와 수입재로 구성된 중간복

합재의 레온티에프함수의 투입요소로 가정한다. inr_i 는 각 산업별로 자본재 한 단위를 생산하기 위해 최소로 필요한 복합재의 양을 의미한다.

$$Z = \text{Min} \left(\frac{ID_1}{inr_1}, \frac{ID_2}{inr_2}, \dots, \frac{ID_n}{inr_n} \right) \quad (9)$$

단, ID_i : i 복합재에 대한 투자수요, inr_i : 레온티에프계수

2.2 분석자료

산불 피해에 따른 임산물의 직·간접 파급영향을 분석하기 위해 임산물의 산출 배분구조를 산업부문별로 살펴보았다. 임산물 산업에서 생산된 산출물은 중간재로 목재 및 종이, 인쇄부문에 1,190십 억원이 소요되며, 그 다음에는 음식료품에 550십억 원, 음식점 및 숙박서비스 319십억 원의 순으로 나타났다. 비율 측면에서 임산물 산출의 배분구조를 살펴보면 전체 산출물 중에서 산업별로 중간재로 투입되는 비율은 보면 목재 및 종이, 인쇄가 50.01%, 음식료품이 23.13%, 음식점 및 숙박서비스가 13.39%의 형태로 나타났다 (Table 1).

산불 피해에 따른 임산물의 직·간접 파급영향을 분석하기 위해 임산물의 생산 투입구조를 산업부문별로 살펴보았다. 임산물 생산을 위해 중간 투입재로 사용되는 산업부문별 금액을 살펴보면 농림수산품이 190십억 원, 임산물 99십억 원, 화학제품 90십억 원, 금융 및 보험서비스 39십억 원의 순으로 나타났다. 비율 측면에서 임산물 생산의 투입구조를 살펴보면 전체 산업별로 임산물 중간재로 투입되는 비율은 보면 농림수산품이 33.98%, 임산물 17.78%, 화학제품 16.18%, 금융 및 보험서비스 6.92%의 순으로 나타났다 (Table 2).

산불피해는 크게 직접피해, 복구비, 진화비용으로 나누어지는데, 2017년 기준 직접피해는 17,311백만 원, 복구비용은 2,716백만 원, 진화비용은 44,963백만 원으로 나타났다 (Table 3).

2.3 시나리오 설계

이 논문에서는 산불피해의 거시경제 및 산업부문별 파급영향을 분석하기 위하여 연산 일반균형모형을 적용하였다. 산불피해액의 크기를 임산물 생산함수의 생산성계수에 반영하였다. 즉 산불피해만큼 임산물 생산액의 감소를 통해 전·후방 연계산업에 영향을 미치고, 이를 통해 소비, 거시경제 전체로 파급된다.

이 논문에서는 Table 4와 같이 3개의 분석시나리오를 설계했는데, 시나리오 1은 산불피해 중 직접피해만을 생산함수에 반영하였다. 시나리오 2는 산불피해 중 직접피해와 복구비를 생산함수에 반영하였다. 시나리오 3은 산불피해 중 직접피해와 복구비, 그리고 진화비용을 생산함수에 반영하였다.

5) De Melo, Jaime and David Tarr, *A General Equilibrium Analysis of US Foreign Trade Policy*, London, 1992.

Table 1. Output Distribution Structure of Forest Products

Industry	Amount (Million KRW)	Percent (%)
Agriculture and fisheries	83,339	3.50
Forestry	99,287	4.17
Mining	3,905	0.16
Food products and beverages	550,275	23.13
Wood, paper products, publishing	1,189,674	50.01
Chemical products	38,925	1.64
Primary metal products	733	0.03
Manufactures nec	10,946	0.46
Water and Recycling service	685	0.03
Construction	51,541	2.17
Accommodation, food and service activities	318,501	13.39
Scientific and technical service	2,954	0.12
Public Administration and defense	786	0.03
Education	2,391	0.10
Human health and social work activities	24,381	1.02
Culture and Service nec	510	0.02
Total	2,378,833	100.00

Source: Bank of Korea (2015).

Table 2. Input Structure of Forest Products

Industry	Amount (Million KRW)	Percent (%)
Agriculture and fisheries	189,777	33.98
Forestry	99,287	17.78
Food products and beverages	375	0.07
Textiles and leather products	4,307	0.77
Wood, paper products, publishing	1,204	0.22
Petroleum, coal products	37,754	6.76
Chemical products	90,374	16.18
Non-mental and mineral products nec	44	0.01
Metal products	13,696	2.45
Machinery and equipment	4,945	0.89
Electrical equipment	631	0.11
Precision instrument	109	0.02
Motor vehicles and parts	6,188	1.11
Manufactures nec	9	0.00
Electricity, Gas manufacture, distribution	7,401	1.33
Water and Recycling service	24	0.00
Construction	3,495	0.63
Warehousing and support activities	19,425	3.48
Transport service	12,090	2.16
Accommodation, food and service activities	6,336	1.13
Information communication and broadcasting service	1,919	0.34
Financial services and Insurance	38,668	6.92
Real estate activities	3,303	0.59
Scientific and technical service	6,643	1.19
Business services	209	0.04
Public Administration and defense	27	0.00
Education	20	0.00
Human health and social work activities	8,607	1.54
Culture and Service nec	1,570	0.28
Total	558,437	100.00

Source: Bank of Korea (2015).

Table 3. Damage and Cost from Forest Fires in 2017

(Unit: Million Korean won)

Direct damage	Recovery cost	Extinguish cost
17,311	2,716	44,963

Source: Korea Forest Service (2018).

Table 4. Scenario Design

Classification	Content
Scenario 1	Direct damage from forest fire is reflected in the production function
Scenario 2	Direct damage and recovery costs from forest fire are reflected in the production function
Scenario 3	Direct damage, recovery, and extinguish costs from forest fire are reflected in the production function

3. 분석결과

3.1 거시경제 효과

산불피해 유형별 거시경제 효과를 국내총생산과 소비자 후생 측면에서 분석하면 다음과 같다. 먼저 시나리오 1의 경우 소비자 후생은 9.712십억 원 감소하고, 국내총생산은 9.134십억 원 감소하는 것으로 분석되었다. 시나리오 2의 경우 소비자 후생은 11.249십억 원 감소하고, 국내총생산은 10.579십억 원 감소하는 것으로 분석되었다. 시나리오 3의 경우 소비자 후생은 37.19십억 원 감소하고, 국내총생산은 34.991십억 원 감소하는 것으로 분석되었다(Table 5).

3.2 산업부문별 영향

산불피해에 따른 산업부문별 산출, 국내판매, 수출과 수입 영향을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 산불 직접피해를 임산물 생산함수에 반영하여 분석한 결과, 임산물, 목재 및 종이, 인쇄, 음식료품, 농림수산물, 음식점 및 숙박서비스의 산출 감소가 큰 것으로 분석되었다. 이에 반해 생산요소의 산업간 이동으로 인해 1차 금속제품, 전기 및 전자기기, 운송장비 등의 산출은 증가하는 것으로 나타났다.

국내판매의 경우 임산물 11.821십억 원, 목재 및 종이, 인쇄가 4.658십억 원, 음식료품 4.436십억 원, 농림수산물 2.976십억 원, 음식점 및 숙박서비스 2.501십억 원 감소하는 것으로 나타났다(Table 6).

산불피해에 따른 생산이 감소하는 산업은 수출은 감소하고, 수입은 증가하는 것으로 분석되었다. 대표적인 산업은 임산물, 음식료품, 목재 및 종이, 인쇄 등이다. 이에 반해

생산이 증가한 산업은 수출이 증가하고, 수입은 감소하는 것으로 나타났다. 산불피해는 산업별 산출변화를 발생시키고, 이로 인해 산업부문별 생산요소의 이동으로 인해 산출변화에 영향을 미친다. 산업에 따라 국내생산이 증가하는 경우 수입대체효과가 발생하여 수입이 감소하는 경우도 발생한다.

산불피해(직접피해+복구비용)에 따른 산업부문별 산출, 국내판매, 수출과 수입 영향을 살펴보면 다음과 같다. 생산의 경우 임산물(14.038십억 원), 목재 및 종이, 인쇄(6.656십억 원), 음식료품(6.349십억 원), 농림수산물(3.499십억 원), 음식점 및 숙박서비스(3.26십억 원)의 산출 감소가 큰 것으로 분석되었다. 이에 반해 생산요소의 산업간 이동으로 인해 1차 금속제품(3.394십억 원), 전기 및 전자기기(9.556십억 원), 운송장비(3.384십억 원) 등의 산출은 증가하는 것으로 나타났다(Table 7).

국내판매의 경우 임산물 13.682십억 원, 목재 및 종이, 인쇄가 5.393십억 원, 음식료품 5.136십억 원, 농림수산물 3.445십억 원, 음식점 및 숙박서비스 2.896십억 원 감소하는 것으로 나타났다(Table 7).

산불피해에 따른 생산이 감소하는 산업은 수출은 감소하고, 수입은 증가하는 것으로 분석되었다. 대표적인 산업은 임산물, 음식료품, 목재 및 종이, 인쇄 등이다. 이에 반해 생산이 증가한 산업은 수출이 증가하고, 수입은 감소하는 것으로 나타났다.

산불피해(직접피해+복구비+진화비용)에 따른 산업부문별 산출, 국내판매, 수출과 수입 영향을 살펴보면 다음과 같다. 생산의 경우 임산물(45.885십억 원), 목재 및 종이, 인쇄(21.919십억 원), 음식료품(20.91십억 원), 농림수산물(11.499

Table 5. Gross Domestic Product and Consumer Welfare Effects by Forest Fire Damage Types

(Unit: Billion Korean Won)

Classification	Scenario 1 (Direct damage)	Scenario 2 (Direct damage+Recovery cost)	Scenario 3 (Direct damage+Recovery cost+Extinguish cost)
Consumer welfare	-9.712	-11.249	-37.19
GDP	-9.134	-10.579	-34.991

Table 6. The Impact of Forest Fire Damage (Direct Damage) on Sectoral Output, Exports, and Imports

(Unit: Billion Korean Won)

Industry	Output	Domestic sale	Export	Import
Agriculture and fisheries	-3.022	-2.976	-0.046	-0.301
Forestry	-12.129	-11.821	-0.308	6.094
Mining	-0.006	-0.006	-6.71E-05	-0.459
Food products and beverages	-5.483	-4.436	-1.048	0.005
Textiles and leather products	-0.525	-0.339	-0.186	-0.209
Wood, paper products, publishing	-5.749	-4.658	-1.091	2.319
Petroleum, coal products	-0.691	-0.423	-0.269	-0.451
Chemical products	-1.362	-0.923	-0.439	-0.32
Non-mental and mineral products nec	0.052	0.041	0.011	-0.035
Primary metal products	2.931	2.1	0.831	0.106
Metal products	0.127	0.092	0.034	-0.105
Machinery and equipment	0.78	0.423	0.357	-0.494
Electrical equipment	8.251	3.348	4.902	-0.383
Precision instrument	0.264	0.14	0.124	-0.09
Motor vehicles and parts	2.922	1.186	1.736	-0.598
Manufactures nec	-0.141	-0.123	-0.018	0.084
Electricity, Gas manufacture, distribution	-0.55	-0.55	-6.81E-04	-0.002
Water and Recycling service	-0.158	-0.158	-3.76E-04	-6.89E-04
Construction	-1.903	-1.902	-8.35E-04	-4.24E-04
Warehousing and support activities	-1.672	-1.524	-0.148	-0.042
Transport service	-0.483	-0.396	-0.087	-0.327
Accommodation, food and service activities	-2.816	-2.501	-0.315	0.629
Information communication and broadcasting service	-0.575	-0.578	0.003	-0.072
Financial services and Insurance	-0.789	-0.801	0.012	-0.036
Real estate activities	-0.641	-0.67	0.03	-0.08
Scientific and technical service	-0.323	-0.432	0.109	-0.256
Business services	0.11	-0.028	0.138	-0.174
Public Administration and defense	0.484	0.482	0.002	-0.003
Education	0.047	0.042	0.006	-0.038
Human health and social work activities	-0.183	-0.184	0.001	-0.002
Culture and Service nec	-0.411	-0.412	0.001	-0.017

Table 7. The Impact of Forest Fire Damage (Direct Damage+Recovery cost) on Sectoral Output, Exports, and Imports

(Unit: Billion Korean Won)

Industry	Output	Domestic sale	Export	Import
Agriculture and fisheries	-3.499	-3.445	-0.053	-0.349
Forestry	-14.038	-13.682	-0.357	7.058
Mining	-0.007	-0.007	-7.63E-05	-0.531
Food products and beverages	-6.349	-5.136	-1.213	0.006
Textiles and leather products	-0.608	-0.392	-0.215	-0.242
Wood, paper products, publishing	-6.656	-5.393	-1.263	2.686
Petroleum, coal products	-0.8	-0.489	-0.311	-0.523
Chemical products	-1.576	-1.068	-0.508	-0.37

Table 7. (Continued)

Industry	Output	Domestic sale	Export	Import
Non-mental and mineral products nec	0.06	0.048	0.012	-0.04
Primary metal products	3.394	2.432	0.963	0.123
Metal products	0.147	0.107	0.04	-0.121
Machinery and equipment	0.903	0.49	0.414	-0.572
Electrical equipment	9.556	3.878	5.678	-0.444
Precision instrument	0.306	0.162	0.144	-0.104
Motor vehicles and parts	3.384	1.373	2.01	-0.693
Manufactures nec	-0.163	-0.143	-0.021	0.097
Electricity, Gas manufacture, distribution	-0.637	-0.636	-7.88E-04	-0.002
Water and Recycling service	-0.183	-0.182	-4.35E-04	-7.98E-04
Construction	-2.203	-2.202	-9.67E-04	-4.91E-04
Warehousing and support activities	-1.936	-1.765	-0.171	-0.049
Transport service	-0.559	-0.458	-0.1	-0.378
Accommodation, food and service activities	-3.26	-2.896	-0.365	0.728
Information communication and broadcasting service	-0.666	-0.67	0.004	-0.083
Financial services and Insurance	-0.913	-0.928	0.014	-0.042
Real estate activities	-0.742	-0.776	0.035	-0.093
Scientific and technical service	-0.374	-0.5	0.126	-0.297
Business services	0.128	-0.032	0.16	-0.201
Public Administration and defense	0.561	0.559	0.002	-0.003
Education	0.055	0.048	0.006	-0.044
Human health and social work activities	-0.212	-0.213	0.001	-0.003
Culture and Service nec	-0.476	-0.477	0.001	-0.02

Table 8. The Impact of Forest Fire Damage (Direct Damage+Recovery cost+Extinguish cost) on Sectoral Output, Exports, and Imports
(Unit: Billion Korean Won)

Industry	Output	Domestic sale	Export	Import
Agriculture and fisheries	-11.499	-11.325	-0.175	-1.144
Forestry	-45.885	-44.731	-1.159	23.359
Mining	-0.022	-0.022	-1.74E-04	-1.721
Food products and beverages	-20.91	-16.914	-3.996	0.022
Textiles and leather products	-1.993	-1.288	-0.705	-0.795
Wood, paper products, publishing	-21.919	-17.761	-4.16	8.851
Petroleum, coal products	-2.602	-1.592	-1.01	-1.714
Chemical products	-5.122	-3.47	-1.652	-1.209
Non-mental and mineral products nec	0.201	0.16	0.041	-0.132
Primary metal products	11.217	8.037	3.18	0.411
Metal products	0.494	0.361	0.133	-0.399
Machinery and equipment	2.986	1.618	1.367	-1.886
Electrical equipment	31.58	12.817	18.763	-1.461
Precision instrument	1.012	0.536	0.476	-0.343
Motor vehicles and parts	11.172	4.535	6.637	-2.285
Manufactures nec	-0.53	-0.463	-0.067	0.322
Electricity, Gas manufacture, distribution	-2.088	-2.086	-0.003	-0.008

Table 8. (Continued)

Industry	Output	Domestic sale	Export	Import
Water and Recycling service	-0.6	-0.599	-0.001	-0.003
Construction	-7.27	-7.267	-0.003	-0.002
Warehousing and support activities	-6.354	-5.794	-0.56	-0.16
Transport service	-1.823	-1.497	-0.326	-1.245
Accommodation, food and service activities	-10.737	-9.537	-1.201	2.4
Information communication and broadcasting service	-2.188	-2.201	0.013	-0.275
Financial services and Insurance	-2.995	-3.043	0.048	-0.138
Real estate activities	-2.434	-2.548	0.115	-0.305
Scientific and technical service	-1.229	-1.644	0.415	-0.978
Business services	0.424	-0.102	0.527	-0.662
Public Administration and defense	1.859	1.851	0.008	-0.011
Education	0.181	0.16	0.021	-0.143
Human health and social work activities	-0.693	-0.697	0.004	-0.009
Culture and Service nec	-1.565	-1.57	0.005	-0.065

십억 원), 음식점 및 숙박서비스(10.737십억 원)의 산출 감소가 큰 것으로 분석되었다. 이에 반해 생산요소의 산업간 이동으로 인해 1차 금속제품(11.217십억 원), 전기 및 전자기기(31.58십억 원), 운송장비(11.172십억 원) 등의 산출은 증가하는 것으로 나타났다(Table 8).

국내판매의 경우 임산물 44.731십억 원, 목재 및 종이, 인쇄가 17.761십억 원, 음식료품 16.914십억 원, 농림수산물 11.325십억 원, 음식점 및 숙박서비스 9.537십억 원 감소하는 것으로 나타났다(Table 8).

산불피해에 따른 생산이 감소하는 산업은 수출은 감소하고, 수입은 증가하는 것으로 분석되었다. 대표적인 산업은 임산물, 음식료품, 목재 및 종이, 인쇄 등이다. 이에 반해 생산이 증가한 산업은 수출이 증가하고, 수입은 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 일반균형모델을 이용하여 산불피해가 국가경제에 미치는 파급효과에 대해 분석하였다. 2017년 기준 산불의 직접피해액은 173억 원, 복구비용은 27억 원, 진화비용은 450억 원으로 나타났다. 산불의 거시경제 및 산업부문 파급영향을 분석한 결과 소비자 후생은 약 372억 원 감소하고, 국내총생산은 350억 원 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 산불로 인해 발생하는 직접 손실과 간접 손실을 포함한 총 사회적 비용은 총 1,372억 원으로 추정되었다. 분야별로는 임산물, 목재 및 종이/인쇄, 음식료품, 농림수산물, 음식점 및 숙박서비스 순으로 피해가 큰 것으로 나타났다.

산불이 거시경제 및 산업부문에 미치는 영향은 단기적으로 산정하기 어렵다. 대형산불이 발생하면 복구하는데 시간

이 걸리고, 산불의 피해는 중장기적으로 지역의 생산과 소비 활동에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 더욱 엄밀한 산불의 경제적 파급효과를 고려하기 위해서는 동태적인 요인들을 충분히 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 2017년 한 개의 회계연도를 기준으로 파급효과를 추정하였지만 아직까지 국내에서 이러한 연구적 시도가 없었다는 점에서 의의를 갖는다. 향후에는 동태적 모형을 이용하여 중장기 피해 및 영향을 고려하는 연구가 필요하다.

더 나아가 산불은 총비용(손실 + 관리비용) 측면에서 고려하여 사회적 총비용을 추정할 수 있다. 총 비용에서 산불로 인한 손실과 예방·진화와 같은 관리비용은 반비례의 관계를 가진다. 정부에서는 주어진 예산을 투입하여 최적의 예방·진화 비용으로 산불 손실을 최소화 하는 전략이 필요하다. 우리나라도 산불의 발생이 빈번해지고 기후변화의 영향으로 대형 산불의 위험이 더욱 가중되고 있기 때문에 산불관리 비용의 효율성에 대한 연구가 필요하며 이를 통해 산불과 같은 산림재해가 사회에 미치는 영향을 분석하고 연구하는 것은 매우 시급하고 중요한 과제이다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 국립산림과학원 위탁연구사업(맞춤형 산불진화 기술 개발 연구사업)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

Abt, K.L., Prestemon, J.P., and Gebert, K.M. (2009). Wildfire suppression cost forecasts for the US Forest Service.

- Journal of Forestry*, Vol. 107, No. 4, pp. 173-178.
- Bank of Korea. (2015). *Input-output tables*. Bank of Korea.
- Donovan, G.H., and Rideout, D.B. (2003). A reformulation of the cost plus net value change (C+ NVC) model of wildfire economics. *Forest Science*, Vol. 49, No. 2, pp. 318-323.
- Gorte, J.K., and Gorte, R.W. (1979). *Application of economic techniques to fire management: A status review and evaluation*. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-53, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture, Ogden, UT, USA.
- Grala, K., Grala, R.K., Hussain, A., Cooke III, W.H., and Varner III, J.M. (2017). Impact of human factors on wildfire occurrence in Mississippi, United States. *Forest Policy and Economics*, Vol. 81, pp. 38-47.
- Hesseln, H., Amacher, G.S., and Deskins, A. (2010). Economic analysis of geospatial technologies for wildfire suppression. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 19, No. 4, pp. 468-477.
- Jeong, K.H., and Kim, J.H. (2012). Economic impact analysis of multi-purpose dam management using CGE model with focus on water supply functions. *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 21, No. 1, pp. 129-156.
- Kim, C.S., and Lee, S.H. (2003). The impact of the Uruguay Round on Korean economy and agricultural sectors. *KUKJE KYUNGJE YONGU*, Vol. 9, No. 1, pp. 121-143.
- Korea Forest Service. (2018). *2018 Annual forest fire statistics*. Korea Forest Service.
- Korea Forest Service. (2019). *Forest-fire loss account book*.
- Korea Insurance Institute. (2014). *A study on the implementation of forest products disaster insurance*. Korea Forest Service.
- Lee, S.H., and Kim, C.S. (2013). The economic effects of Korea-China FTA using dynamic computable general equilibrium model. *Korea Trade Review*, Vol. 38, No. 2, pp. 97-114.
- Lee, Y.H., Chang, J.B., and Park, S.H. (2015). *A study on developing the analysis method of real-time fire damages*. National Institute of Forest Science.
- De Melo, J., and Tarr, D. (1992). *A general equilibrium analysis of US foreign trade policy*. The MIT press.
- Simard, A.J. (1976). *Wildland fire management: The economics of policy alternatives*. Forestry Technical Report 15, Canada Forest Service, Ottawa, Ontario, Canada.
- Sparhawk, W.N. (1925). The use of liability ratings in planning forest fire protection. *Journal of Agricultural Research*, Vol. 30, No. 8, pp. 693-761.
- Syphard, A.D., Radeloff, V.C., Keuler, N.S., Taylor, R.S., Hawbaker, T.J., Stewart, S.I., et al. (2008). Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 17, No. 5, pp. 602-613.
- Thomas, D., Butry, D., Gilbert, S., Webb, D., and Fung, J. (2017). *The costs and losses of wildfires*. NIST Special Publication 1215, National Institute of Standard and Technology, U.S. Department of Commerce.

Received ■ August 27, 2019

Revised ■ September 4, 2019

Accepted ■ October 8, 2019

Appendix. Structure and Equations in the CGE model

1) 가격부문

$$(1-1) \quad PE_i = er \cdot PWE_i$$

$$(1-2) \quad PM_i = (1 + t_i) er \cdot PWM_i$$

$$(1-3) \quad P_i X_i = PS_i XS_i + PM_i M_i$$

$$(1-4) \quad PD_i XD_i = PS_i XS_i + PE_i E_i$$

$$(1-5) \quad PD_i [1 - intr_i] = PVA_i + \sum_{j=1}^n io_{ji} P_j$$

$$(1-6) \quad P_z Z = \sum_{i=1}^n P_i ID_i$$

$$(1-7) \quad F(P_1, P_2, \dots, P_n) = \bar{P}$$

2) 생산부문

$$(2-1) \quad VA_i = AD_i [L_i^{b_i} K_i^{1-b_i}]$$

$$(2-2) \quad VA_i = v_i XD_i$$

$$(2-3) \quad P_L L_i = b_i PVA_i VA_i$$

$$(2-4) \quad P_K K_i = (1 - b_i) PVA_i VA_i$$

$$(2-5) \quad XD_i = AT_i [q_i E_i^{\alpha_i} + (1 - q_i) XS_i^{\alpha_i}]^{\frac{1}{\alpha_i}}$$

$$(2-6) \quad \frac{E_i}{XS_i} = \left[\frac{PE_i}{PS_i} \frac{1 - q_i}{q_i} \right]^{\frac{1}{\alpha_i - 1}}$$

$$(2-7) \quad X_i = AC_i [d_i M_i^{-\alpha_i} + (1 - d_i) XS_i^{-\alpha_i}]^{-\frac{1}{\alpha_i}}$$

$$(2-8) \quad \frac{M_i}{XS_i} = \left[\frac{PS_i}{PM_i} \frac{d_i}{1 - d_i} \right]^{\frac{1}{1 + \alpha_i}}$$

3) 수요부문

$$(3-1) \quad IOT_j = \sum_{i=1}^n io_{ji} XD_i$$

$$(3-2) \quad P_i CD_i = c_i (Y - HS)$$

$$(3-3) \quad Y = (1 - dtr) \left(\sum_{i=1}^n PVA_i VA_i \right)$$

$$(3-4) \quad HS = s \cdot Y$$

$$(3-5) \quad GR = TR + IDT + \left(\frac{dtr}{1 - dtr} \right) Y$$

$$(3-6) \quad P_i GD_i = g_i (GR - GS)$$

$$(3-7) \quad TR = \sum_{i=1}^n t_i er \cdot PWM_i M_i$$

$$(3-8) \quad IDT = \sum_{i=1}^n intr_i PD_i XD_i$$

$$(3-9) \quad GS = gmps \cdot GR$$

$$(3-10) \quad ID_i = inr_i Z$$

$$(3-11) \quad P_z Z = HS + GS + FS$$

$$(3-12) \quad FS = \left(\sum_{i=1}^n er \cdot PWM_i M_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n er \cdot PWE_i E_i \right)$$

4) 시장청산조건

$$(4-1) \quad X_i = IOT_i + CD_i + GD_i + ID_i$$

$$(4-2) \quad \sum_{i=1}^n L_i = L^*$$

$$(4-3) \quad \sum_{i=1}^n K_i = K^*$$

5) 내생변수 및 외생변수

PE_i : 수출재의 국내가격

PM_i : 수입재의 국내가격

P_i : 복합재의 가격

PD_i : 총산출재의 가격

P_L : 임금

$\bar{P}$: 표준화된 가격지수

M_i : i 산업의 수입

X_i : i 산업의 복합재 공급

IOT_i : i 복합재의 중간투입수요

K_i : i 산업의 자본수요

ID_i : i 복합재에 대한 투자수요

Y : 가계의 가처분소득

TR : 관세수입

GR : 정부수입

TS : 총저축

L^* : 총노동공급

t_i : i 산업의 관세율

$idtr_i$: i 산업의 간접세율

g_i : 정부소비 분배모수

io_{ij} : 투입산출계수

AT_i : CET함수의 상수값

q_i : CET함수의 구성비율

d_i : Armington함수의 구성비율

PWE_i : 수출재의 국제가격

PWM_i : 수입재의 국제가격

PS_i : 국내판매재의 가격

PVA_i : 부가가치 가격

P_K : 자본재의 가격

E_i : i 산업의 수출

XS_i : i 산업의 국내판매

XD_i : i 산업의 총산출

L_i : i 산업의 노동수요

CD_i : i 복합재에 대한 소비수요

GD_i : i 복합재에 대한 정부수요

HS : 가계저축

GS : 정부저축

IDT : 간접세

FS : 해외저축(무역수지)

K^* : 총자본공급

er : 환율

c_i : 가계소비 분배모수

AD_i : 생산함수의 상수값

b_i : 생산함수의 분배모수

Y_i : CET함수의 지수

AC_i : Armington함수의 상수값

a_i : Armington함수의 지수