Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 7 pp. 415-422, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.7.415
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

기후변화에 따른 미발생 병해충 피해 경제적 영향 분석: Lycorma delicatula의 사례를 중심으로

안현진[1], 조성주[1*], 오새라[1], 정재민[2]
[1]한국농촌경제연구원, [2]국립산림과학원

Economic Impacts of Invasive Pests under Climate Change: A Case of Lycorma delicatula

Hyunjin An[1], Sung Ju Cho[1*], Saera Oh[1], Jae-Min Jung[2]
[1]**Korea Rural Economic Institute**
[2]**National Institute of Forest Science**

요 약 Lycorma delicatula는 꽃매미로 알려져 있으며, 베트남, 인도, 남중국과 같은 동남아시아의 토착 해충이다. 꽃매미는 한국에 유입되어 최근 몇 년간 급속히 퍼져 특히 과일 나무에 피해를 입히고 있다. 본 연구의 목적은 Lycorma delicatula의 사례를 이용하여 미발생 병해충 영향 분석을 위한 연구방법과 추정 결과를 제시하는 것이다. 본 연구에서는 Lycorma delicatula 발생으로 인한 농가의 직접소득감소를 측정하기 위해 부분예산(partial budget) 방법을 사용하였고, 해충 발생으로 인한 사회후생 변화를 조사하기 위해 부분균형(partial equilibrium) 모형을 사용하였다. 또한 병해충 발생 적합도를 고려한 다양한 기후 시나리오 하에서 Lycorma delicatula 발생 위험이 농가소득에 미치는 영향을 추정하였다. 기후변화가 지속됨에 따라 국내 생태계는 점점 돌발 외래 병해충에 취약해질 것으로 예상되며, 이에 따른 경제적 피해는 더욱 증가할 것으로 전망된다. 나아가 이 연구는 향후 국가 해충 방제 및 검역 시스템의 효율성 평가의 기반이 될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Lycorma delicatula, known as spotted lanternfly, is a planthopper native to Southeast Asia, including Vietnam, India and South China. This species damages local fruit trees and has spread rapidly in South Korea in recent years. The purpose of this study is to present the methods and estimation results pertaining to the risk of invasive species like Lycorma delicatula. We used a partial budget (PB) method to assess direct income reduction of farm households and a partial equilibrium (PE) model to examine social welfare change from the outbreak of Lycorma delicatula. We also estimated the future economic impacts of Lycorma delicatula under various climate scenarios considering habitat suitability. As climate change progresses, domestic ecosystems are expected to become increasingly vulnerable to pest outbreaks leading to further economic damage. We believe that this study can be a base to evaluate efficiency of the national pest control and quarantine system.

Keywords : Climate Change, Economic Impacts, Invasive Pests, Partial Budget, Partial Equilibrium

1. 서론

기후변화는 한반도의 생태계에 광범위한 영향을 주고 있으며 외부 환경조건에 민감한 병해충의 분포와 밀도에 변화를 초래한다[1]. 특히 기후변화로 인해 적절한 생육조건이 형성되면서 외래 유입 병해충 피해가 증가하고 있다. 대표적인 유입 병해충인 꽃매미(Lycorma delicatula)는 중국 남부와 동남아가 원산지인 아열대성 해충이나

본 연구는 농림축산검역본부 학술연구용역과제 연구비를 지원받아 수행되었습니다.
*Corresponding Author : Sung Ju Cho(Korea Rural Economic Institute)
Tel: +82-61-820-2376 email: sungjucho@krei.re.kr
Received April 13, 2018 Revised (1st May 8, 2018, 2nd May 15, 2018)
Accepted July 6, 2018 Published July 31, 2018

최근 중국과의 교역 증가와 기후변화로 인한 생육조건 충족으로 국내 피해가 증가하고 있다[2]. 포도, 대추, 배, 복숭아, 감 등의 잎과 과실에 그을음병을 유발하여 생육과 상품성 저하를 일으키는 꽃매미는 2006년 관악산에 최초로 발생하여 인천, 경기, 등 수도권 일대 뿐 만 아니라 충남, 전북, 경북 등지로 확산되고 있는 추세이다[3]. 적절한 방제 조치로 현재 확산 속도가 감소하고 있지만, 추후 지구 온난화로 인해 국내에서 알로 월동이 가능해질 수 있음에 따라 적절한 방제가 이루어지지 않으면 전국적인 피해가 발생할 가능성이 매우 높은 것으로 예측되고 있다[2].

기후변화와 연계되어 나타나는 유입 병해충 문제는 세계 GDP의 10%를 소모시킬 만큼 전 지구적인 환경 문제로 대두되고 있다[4]. 따라서 국가차원에서 기후변화와 침입외래 병해충 문제를 연계시켜 접근하고 대응하여야 함이 지적되고 있으며[5], 방제 예산 수립 등 대책의 초석이 될 수 있는 객관적인 위험 평가 방안의 필요성 또한 요구되고 있다. 이와 같은 배경에서 본 연구는 기후변화에 따른 외래 병해충 발생의 경제적 영향 분석을 수행하였다. 최근 국내에 발생하고 있는 외래 병해충인 꽃매미의 기후변화에 따른 발생율 시나리오를 설정하고, 부분예산법과 부분균형모형을 이용하여 시나리오별 피해 농가의 직·간접적인 손실과 후생 변화를 계측하였다. 기존의 연구들은 주로 기발생 병해충의 피해를 추정하거나 예상 피해액을 바탕으로 지역 해충의 효과적 방제 시점을 결정하는 것 등에 중점을 두고 있다[6-8]. 그러나 본 연구는 기후변화에 따라 발생이 예측되는 병해충으로 인한 미래 피해의 잠재적 경제 효과를 분석 하는데 초점을 맞추고자 한다. 또한 특정 지역보다는 국가 전체에 미치는 파급효과를 예측하는데 중점을 두어 국가차원의 방제 전략 수립의 근거를 마련하고자 한다. 기후변화에 따른 꽃매미의 분포를 예측한 연구는 존재하지만 이의 경제적 피해를 예측한 연구는 많지 않으며[9-11], 국가 전체를 고려한 피해액 계측은 드물게 수행된 실정이다. 따라서 본 연구가 국가단위 방제 시스템의 정량적 가치를 평가 할 수 있는 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 다양한 미래 시나리오 별 예상 피해액을 제시하여 탄력적인 방제 예산 및 인력 운용을 위한 지침을 제시할 수 있을 것이라 생각된다. 본고의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 분석모형과 이론적 배경을 설명하고 제3장은 분석에 사용된 자료와 주요 변수에 대해 다룬다. 제4장에서는 분석 결과를 제시하고 제5장에서는 결론 및 연구의 향후 개선점에 대해 논의한다.

2. 분석모형

2.1 경제적 피해 분석

본 연구에서는 식물병해충 유입에 따른 경제적 영향 분석을 위한 방법으로 Soliman et al.[2]에서 제시하고 있는 부분예산법과 부분균형모형을 사용하고자 한다. 부분예산법을 이용하여 병해충 발생시와 미발생시 농가의 조수입 비용 변화를 계측하고 비교함으로써 식물병해충 유입에 따른 직접적 경제 피해액을 산출할 수 있다. 부분예산법에 의해 산출된 경제적 피해액은 병해충의 발생으로 인한 피해 농가의 직접적인 손실을 의미한다. 부분균형법은 병해충 발생에 따른 생산량 변화로 파생되는 시장거래량 및 가격 변화를 고려하여 사회적 후생 변화를 계측하는 방법이다. 부분균형모형에 의해 계측된 사회적 후생의 변화는 병해충의 발생으로 인한 단수의 감소, 시장 공급량 감소로 인한 가격의 상승 등을 모두 고려하여 산출된 간접적인 손실을 의미한다. 부분예산법과 부분균형모형은 분석대상이 특정작물에 한정되어 간접피해를 계측하기 어렵다는 한계가 있으나, 품목 또는 병해충의 특이사항을 세부적으로 고려할 수 있기 때문에 단기적 피해액 산출 측면에서는 신뢰도가 높은 방법으로 알려져 있다.

2.1.1 부분 예산법

부분예산법은 기본적으로 비용(cost)과 편익(benefit) 두 부분으로 구성되어 있으며, 병해충이 발생할 시의 총 편익에서 총 비용을 차감한 것을 직접적인 경제적 피해로 산출한다[12].

병해충으로 인해 추가적으로 발생하는 비용은 확산을 막기 위한 방제비용이 있을 수 있다. 감소되는 수입은 작물 생산 감소로 인한 생산자의 판매액 감소분이 있다. 추가적 수입은 병해충으로 발생하는 추가 수익으로 농가의 보험 수령액등이 존재하나 전국단위의 산출에서 그 액수가 미미하기 때문에 본 연구에서는 0으로 가정하였다. 감소되는 비용은 병해충 피해로 인한 작물생산량 감소로 발생하는 농가 경영비 절감분이 있다. 위의 내용을 종합하면 병해충의 경제적 피해액은 총 편익에서 총 비용을

제한 수익의 변화분 (Δ 수익) 으로 표현 될 수 있으며 양의 값을 가질 경우 경제적 이득을, 음의 값을 가질 경우 경제적 피해를 의미한다.

본 연구에서는 다음과 같은 식으로 부분예산법에 의한 병해충의 경제적 피해를 산출하였다.

$$\Delta\Pi = rA_D[YP - C_M(1-R_M)] + A_P(C_C + C_L) \quad (1)$$

(r: 피해율, A_D: 피해면적, A_P: 방제면적, Y: 단수, P: 농가판매가격, C_M: 경영비, R_M: 기지출경영비비율, C_C: 농약비, C_L: 인건비)

2.1.2 부분 균형모형

부분균형모형에서는 수요곡선과 공급곡선을 추정하여 각 작물별 시장을 가상적으로 구현하고, 병해충 발생 전 후의 소비자와 생산자 잉여분 증감을 통해 사회 후생 변화를 계측한다. 농작물의 시장가격, 1인당 GDP등으로 구성된 수요 함수로부터 수요 곡선이 도출되고, 재배면적, 단수 등으로 구성된 공급함수로부터 공급 곡선이 도출된다. 병해충 발생시 피해면적과 선별율(판매 불가능 비율)을 고려하여 공급함수를 다음과 같이 변형 시킬 수 있다.

공급량 = (재배면적 × 단수)
 − (피해면적 × 단수 × 선별율)

선별율이 1일 경우(피해면적 내 작물을 모두 폐기처분) 전체 재배면적에서 피해면적의 비중만큼 총 공급량 감소가 발생하며, 선별율이 0일 경우(피해면적 내 작물이 모두 정상적인 상태로 출하 가능)에는 병해충 발생 전과 총 공급량이 동일하다.

병해충 발생(가격 이외의 변화)은 공급량을 감소시켜, 공급곡선을 좌측으로 이동시키는 것과 동일한 효과를 가져온다. 식물 병해충의 발생은 공급측면에만 영향을 주는 경우가 많으므로 수요곡선은 병해충 전후로 변화가 없음을 가정한다. 수요 곡선이 고정되어 있는 상태에서 공급곡선이 좌측으로 이동하면 시장에서 해당 작물의 가격은 상승하게 된다. 따라서 부분균형모형을 통한 병해충 발생 시 사회후생의 변화는 Fig. 1의 k+m 부분과 같다.

수요함수와 공급함수를 도출하기 위해 수요 및 공급 탄력성을 이용하였다. 그러나 기존 연구에서 가정한 선형 수요·공급함수는 수량 및 가격의 크기에 따라 탄력성이 변하게 되는 단점이 있다. 따라서 분석의 일관성을 위해 불변탄력성 수요·공급곡선을 (constant elasticity demand and supply curves)을 가정하였다. 일정탄력성을 가진 수요·공급함수는 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &Q_D = aP^{\varepsilon_D} \ (\text{수요함수}) \\ &Q_S = bP^{\varepsilon_S} \ (\text{공급함수}) \\ &aP^{\varepsilon_D} = bP^{\varepsilon_S} \\ &P^* = (b/a)^{\frac{1}{\varepsilon_D - \varepsilon_S}} \ (\text{균형가격}) \\ &Q^* = aP^{*\varepsilon_D} = bP^{*\varepsilon_S} \ (\text{균형수량}) \end{aligned} \quad (2)$$

실현된 균형수량과 균형가격을 통해 a와 b는 식 (3)과 같이 구할 수 있고, a와 b의 값을 각각 $\hat{a}$와 $\hat{b}$로 구하면 x축이 Q이고 y축이 P인 일반적인 경제학의 수요 공급곡선을 식 (4)와 같은 역수요·역공급 함수 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &\hat{a} = Q^*/P^{*\varepsilon_D} \\ &\hat{b} = Q^*/P^{*\varepsilon_D} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &P_D = (Q/\hat{a})^{1/\varepsilon_D} \\ &P_S = (Q/\hat{b})^{1/\varepsilon_S} \end{aligned} \quad (4)$$

위의 역공급함수가 병해충 발생시에 실현된 것이라 가정하면 병해충 미발생시의 역공급함수는 다음과 같이 외생적으로 줄어든 공급을 포함하게 된다.

$$P_S^{**} = ((Q - \hat{Q}_{damage})/\hat{b})^{1/\varepsilon_S} \quad (5)$$

위의 식을 통해 다음과 같은 연립방정식을 도출할 수 있으며, 연립방정식을 풀면 균형가격과 균형수량을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} &Q^* - aP^{*\varepsilon_D} = 0 \\ &Q^* - bP^{*\varepsilon_S} = 0 \\ &Q^{**} - aP^{**\varepsilon_D} = 0 \\ &(Q^{**} - Q_{damage}) - bP^{**\varepsilon_S} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

병해충 발생시와 미발생시의 균형가격 및 균형수량을 각각 P^*(균형가격; 발생시)와 Q^*(균형수량; 발생시), P^{**}(균형가격; 미발생시)와 Q^{**}(균형수량; 미발생시)라 하면, 병해충 피해의 사회적 후생손실 (간접적 피해액)은 Fig. 1의 k+m의 면적이라 볼 수 있고 (7)의 적분 과정으로 그 값을 구할 수 있다.

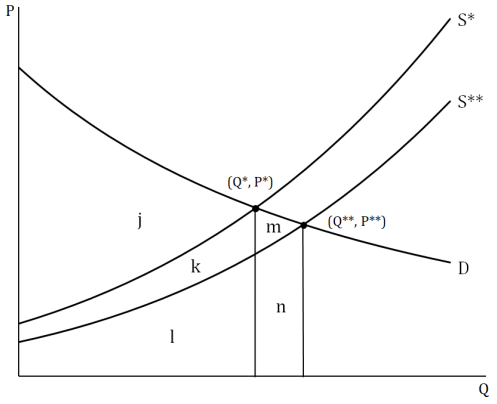

Fig. 1. Supply-Demand changes under pest outbreak

$$A = k + l = \int_0^{Q^*} (Q/\hat{b})^{1/\varepsilon_S} dQ \quad (7)$$

$$B = l = \int_{\max(P(Q=0),0)}^{Q^*} ((Q - \widehat{Q_{damage}})/\hat{b})^{1/\varepsilon_S} dQ$$

$$C = m + n = \int_{Q^*}^{Q^{**}} (Q/\hat{a})^{1/\varepsilon_D} dQ$$

$$D = n = \int_{Q^*}^{Q^{**}} ((Q - \widehat{Q_{damage}})/\hat{b})^{1/\varepsilon_S} dQ$$

$$Welfare\ loss = (A - B) + (C - D) = k + m$$

3. 분석자료

3.1 경제적 피해 계측을 위한 주요 변수

재배면적(ha)은 통계청의농업면적조사, 작물의 단수(kg/ha)는 KREI KASMO 모형에서 추출하였다. 병해충 피해면적(ha)은 농촌진흥청의 병해충발생 조사 자료를 취합하여 사용하였다. 부분예산법에 사용할 손실보상금(백만원)과 방제면적(ha)은 농촌진흥청의 내부자료를 참고하였다. 농가수취가격, 경영비, 농약비, 인건비 등은 모두 단위당 금액(원/kg, 원/ha)이며 농촌진흥청의 농산물소득조사 자료에서 추출하였다. 부분균형모형에 필요한 농산물도매가격(원/kg)은 한국농수산식품유통공사의 농산물유통정보의 자료를 활용하였고 수요·공급탄력성은 KREI KASMO 모형에서 인용하였다.

3.2 기후변화에 따른 예상 발생율 시나리오

Korea Forest Service[13]에 따르면 2014년 꽃매미는 수도권과 충청도 경상도 및 전라북도 일대에서 발생되고 있으며 총 발생면적은 1,452.2 ha(농경지)로 기록 되고 있다. 이는 전국 농경지 면적 1,691,113ha의 0.086%를 차지하는 비율이다. Table 1은 지역별 꽃매미 발생 현황과 농경지당 발생 비율을 나타내고 있다. 발생율은 지역별로 차이를 보이고 있으며 경북과 경남권에서 다소 높은 발생율(0.27%, 0.24%)을 기록하고 있고, 전북과 강원 지역에서는 다소 낮은 발생율을 기록하고 있다(0.004%, 0.006%).

Table 1. L. delicatula occurrence in cultivated land by region

Region	Occurrence area (ha)	Cultivated area (ha)	Incidence rate (%)
South Korea	1,451.2	1691,113	0.086
Gyeonggi-do	120	176,028	0.068
Gangwon-do	6.6	108,727	0.006
Chungcheongbuk-do	106.40	112,097	0.095
Chungcheongnam-do	138.10	219,215	0.063
Jeollabuk-do	8.40	204,612	0.004
Jeollanam-do	-	305,889	-
Gyeongsangbuk-do	710.20	277,650	0.270
Gyeongsangnam-do	361.30	154,050	0.238
Busan City	0.2	6,351	0.000

Note: Incidence rate is a percentage value of occurrence area in cultivated land

향후 기후변화에 따른 꽃매미의 발생 상황을 전망하기 위해 CLIMEX 소프트웨어를 활용하여 RCP 8.5 기후시나리오에 따른 미래 꽃매미의 잠재적 범위를 예측하였다. CLIMEX를 이용하여 특정종의 생존과 번식 적합여부를 나타내는 EI(Ecoclimate Index) 지수를 계측 할 수 있으며 일반적으로 EI > 25인 경우 서식 및 분포 적합지역, EI < 10인 경우 서식이 불가능한 지역을 의미한다[10].

EI 지수는 단순히 기후에 따른 병해충 발생 적합도를 나타내는 지표이기 때문에 EI 지수만을 사용하여 발생율을 정확히 예측할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구는 EI 지수와 관측된 기존 발생율을 조합하여 전국 발생율 시나리오를 설정하였다. 먼저 EI 지수의 수준에 따라 발생 적합도 등급을 부적합에서 매우 적합까지 4개 등급으로 분류하고 등급별 발생율을 가정하였다. 발생 적합도가 높게 분류된 지역은 기존에 높은 발생율을 기록한 지역의 발생비율과 동일한 수준으로, 낮게 분류된 지역은 기존 낮은 발생율을 기록했던 지역과 동일한 비율로 꽃매미가 발생할 것으로 가정하였다. 구체적

인 발생적합도와 예상 발생 비율을 아래의 Table 2에 명시하였다(Low=부적합; Moderate=조금적합; High=적합; Highest=매우적합).

현재 꽃매미는 서울과 경기남부, 충청도, 경상도 및 전라도 북부에서만 발견되고 있으나, EI 지수에 따르면, 겨울 기온이 낮은 강원도 내륙 지역을 제외하고 제주도를 포함한 전국이 꽃매미 발생 적합지인 것으로 나타났다. 특히 현재까지 발생이 보고되지 않은 전남지역은 25 이상의 높은 EI 지수로 높은 발생 가능성을 나타내어, 수도권 일대와 충북 등 중부 지역에서 주로 발견되는 꽃매미가 적절한 예방 조치가 없을 시 경상도와 전라도 등 남부 해안가 지역으로 확산될 것으로 예측된다[10]. Fig. 2는 RCP 8.5 시나리오 하에서 예측한 미래의 꽃매미 발생의 기후 적합도를 나타낸다. 예측된 EI 지수에 따르면 2060년 경 전국 대부분의 EI 지수가 25를 넘는 수치를 나타내어 남한지역 대부분이 꽃매미 서식 적합지역이 될 것으로 예상된다. 현재 꽃매미 서식 부적합지로 알려진 강원도 내륙산간지역도 2060년경에는 서식 적합지역이 될 것으로 나타났다. 이는 기후변화로 인한 겨울 최저기온 상승으로 생존 적합지역이 확장됨에 따른 결과로 보여진다. 특히 겨울기온이 높은 강원도 동해안 지역과 남부 해안 지역은 높은 서식 적합도를 나타내어 추후 해당 지역의 방제·방역에 각별한 주의가 필요할 것으로 보인다.

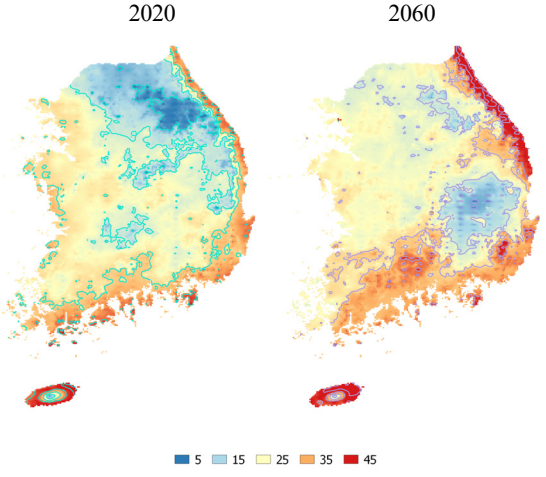

Fig. 2. Estimated EIs of Lycorma delicatula in 2020 and 2060 under the RCP 8.5 climate change scenario

Table 2. Predicted incidence rate of L. delicatula by habitat suitability

EI	Habitat suitability	Predicted incidence rate*(%)
1-10	Low	0
11-20	Moderate	0.066
21-30	High	0.091
31-40	Highest	0.254

Note: Predicted incidence rate is the average incidence rate of each suitability level. Incidence rate in area of low habitat suitability is assumed zero

Table 3. Predicted habitat suitability of L. delicatula by regions

Region	Habitat Suitablity	
	Present	2060
Gangwon-do	Low	High
Gyeonggi-do	Moderate	High
Gyeongsangnam-do	High	Highest
Gyeongsangbuk-do	Moderate	High
Jeollanam-do	Highest	Highest
Jeollabuk-do	High	High
Jeju-do	Highest	Highest
Chungcheongnam-do	Moderate	High
Chungcheongbuk-do	Moderate	High

위의 내용을 종합하여 본 연구는 1)베이스라인 시나리오, 2) 잠재 발생 시나리오, 3) 2060 미래 시나리오 등 세 가지의 전국 발생 시나리오를 설정하였다. 베이스라인 시나리오는 현재의 관측치에 기반을 둔 시나리오로 Table 1에 따라 전국 꽃매미 발생비율이 0.086%라고 가정하였다. 잠재 발생 시나리오는 EI를 기반으로 한 발생 적합도에 따라 잠재적 꽃매미 발생 비율을 추정한 시나리오이다(Table 2 참조). 실제 꽃매미 발생이 보고되지 않은 지역이지만 잠재적으로 발생 가능성이 큰 “매우 적합지역”과 “적합지역”으로 분류된 지역의 경우(예: 전남, 제주) 꽃매미가 발생한다고 가정하고, 잠재적인 전국 발생비율을 계측하였다. 전국 발생 비율은 Table 2의 해당 지역 예상 발생율과 지역 총 경지 면적을 곱하여 예상 발생 면적을 구하고 이를 전국 경지 면적으로 나누어 도출하였다. 2060 미래 시나리오는 예측된 EI 지수에 따른 미래의 꽃매미 발생 적합도와 Table 2의 예상 발생율을 조합하여 2060년 예상 전국 발생율을 추정하였다. 각 시나리오 별 전국 발생율은 Table 4와 같다.

Table 4. Incidence scenarios

Scenario	Incidence rate(%)	Note
Baseline scenario	0.086	Incidence rate is calculated using occurrence data
Potential incidence scenario	0.105	Incidence rate is estimated based on present habitat suitability
2060 future scenario	0.138	Incidence rate is estimated based on habitat suitability projected under RCP8.5 climate change scenario

4. 분석결과

본 연구는 이상길[2]과 농촌진흥청의 병해충 발생 조사에서 피해가 많은 품목으로 나타난 배, 복숭아, 사과, 포도 등을 분석 대상으로 선정하고, 시나리오별로 꽃매미 발생에 따른 경제적 영향을 추정하였다 (Table 5 참조). 베이스라인 시나리오에 따라 꽃매미가 발생할 경우 배 농가의 연간 수익손실과 사회후생 손실은 각각 3억 4,384만 원, 6억 3,205만 원으로 추정된다. 복숭아 농가의 수익손실과 사회후생 손실은 각각 2억 1,932만 원과 7억 1,619만 원이며, 사과 농가의 수익손실과 사회후생 손실은 각각 9억 5,646만 원과 17억 4,213만 원으로 나타났다. 포도 농가의 수익손실과 사회후생 손실은 각각 2억 9,306만 원과 7억 9,250만 원이다. 생산액이 가장 높은 품목인 사과의 꽃매미 발생으로 인한 수익손실과 후생손실이 다른 품목에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

잠재 발생 시나리오에 따르면 꽃매미로 인한 주요 품목의 연간 직접적 수익 변화는 배 4억 1,981만 원, 복숭아 2억 6,778만 원, 사과 11억 6,77만 원, 포도 3억 5,781만 원으로 나타났다. 꽃매미 피해로 인한 사회 후생 손실은 배, 사과, 포도에서 각각 7억 7,121만 원, 8억 7,350만 원, 21억 2,639만 원, 9억 6,717만 원으로 추정되어, 직접적 수익 손실보다 사회적 후생손실이 더 큰 것으로 나타났다.

2060 미래 발생 시나리오에 따르면 꽃매미로 인한 주요 품목의 연간 직접적 수익 변화는 배 5억 5,175만 원, 복숭아 3억 5,194만 원, 사과 15억 3,478만 원, 포도 4억 7,026만 원으로 나타났다. 베이스라인에서 발생한 주요 과실 품목의 총 피해규모는 직접적 수익손실 18억 1269만 원, 사회적 후생손실 38억 8,287만 원이나, 잠재 발생 시나리오 하의 총 피해액은 직접 수익손실 22억 1,317만 원, 사회후생손실 47억 3,826만 원으로 베이스라인 시나리오에 비해 약 20%정도 증가하는 것으로 나타났다. 2060년 미래 발생 시나리오에서는 직접피해액 약 29억 874만 원, 사회후생손실 약 62억 2,183만 원으로 베이스라인 시나리오에 비해 피해규모는 60%정도 증가하는 것으로 나타났다.

Table 5. Estimated economic impacts of L. delicatula incidence under scenarios

Unit: Million KRW per year

Scenario	Product	Total value of production	Profit Loss (PB)	Welfare Loss (PE)
Baseline	Pear	736,998	343	632
	Peach	836,782	219	716
	Apple	2,028,487	956	1,742
	Grape	923,295	293	792
	Subtotal	4,525,564	1,812	3,882
Potential	Pear	736,998	419	771
	Peach	836,782	267	873
	Apple	2,028,487	1,167	2,126
	Grape	923,295	357	967
	Subtotal	4,525,564	2,213	4,738
2060	Pear	736,998	551	1,012
	Peach	836,782	351	1,145
	Apple	2,028,487	1,534	2,793
	Grape	923,295	470	1,270
	Subtotal	4,525,564	2,908	6,221

Note: PB=Partial Budgeting, PE=Partial Equilibrium

5. 결론

본 연구에서는 최근 기후변화에 따라 국내에 유입·정착한 외래 병해충 꽃매미로 인한 농가의 직접적 수익 손실 및 간접적 후생 손실을 계측하였다. 다양한 발생 시나리오를 설정하여 관측된 피해로부터 야기된 손실과 현재 기후 적합도를 고려한 잠재적 손실, 추후 기후변화로 인해 발생하게 될 미래 손실 예측치를 비교하였다. 주로 전문가의 정성적 영향 평가와 사후 발생 데이터를 기반으로 한 지엽적 작물피해 분석이 위주였던 국내 연구에 비해 본 연구는 정량적 분석 기법을 활용하여 기후여건 변화를 고려한 향후 피해를 예측하는데 중점을 두고 있다.

본 연구는 EI(Ecoclimate Index) 지수를 활용하여 전

국 9만 여개 지역의 EI 지수를 도 별로 평균하고 각 도의 경작지 면적과 기존 발생율 기록을 조합하여 세 개(베이스라인, 잠재발생, 2060년 미래)의 전국 예상 발생율 시나리오를 설정하였다. 각각의 시나리오에 따라 꽃매미가 배, 복숭아, 사과 및 포도와 같은 주요 작물에 미치는 경제적 피해와 사회 후생 변화를 부분예산법과 부분균형모형으로 추정하였다. 베이스라인 시나리오는 사후 보고된 전국 발생율을 기반으로 한 시나리오로, 현재 꽃매미 피해 상황을 계측하기 위한 시나리오이다. 잠재발생 시나리오는 현재의 기후 적합도에 따른 꽃매미의 잠재 확산 가능성을 예측한 시나리오이며 2060년 미래 시나리오는 추후 기후 변화에 따라 발생하게 될 미래 발생율을 예측한 시나리오이다.

현재 꽃매미는 수도권과 충청도, 전북 일부지역에서 보고되고 있으나 강원도 일부 지역을 제외한 우리나라 전역은 꽃매미 서식 적합지로 관측된 전국 발생율 0.086%보다 발생 가능성이 높은 0.105%를 잠재 발생율로 설정하였다. 이는 이미 우리나라 대부분 지역이 꽃매미 서식에 적합한 기후인 것을 의미하여, 특별한 방제조치를 수행하지 않을 경우 추후 현재보다 높은 피해를 입을 가능성이 큼을 시사한다. 2060년경 우리나라 전역은 꽃매미 서식가능지역이 될 예정으로 전국 발생율은 0.138%까지 증가할 것으로 예상된다.

꽃매미의 발생 가능성이 증가함에 따라 베이스라인 시나리오 하에서 각각 18억 1,269만 원과 38억 8,287만 원이던 주요과실품목의 총 수익 손실과 사회 후생 손실분은 잠재시나리오 하에서는 20% 증가한 22억 1,317만 원과 47억 3,826만 원이 될 것으로 예상된다. 국내 전역이 서식 적합지가 되는 2060년경 총 피해액은 직접손실 29억 874만 원, 사회 후생손실 62억 2,183만 원으로 예측되어 베이스라인 시나리오에 비해 약 60%정도 증가할 것으로 분석되었다. 기후변화가 지속됨에 따라 국내 생태계는 점점 돌발 외래 병해충에 취약해 질 것으로 예상되며, 이에 따른 경제적 피해는 더욱 증가할 것으로 전망된다.

본 연구에서 제시한 방법은 꽃매미 외에 다른 외래 병해충으로 대상을 확장하여 적용할 수 있으며, 유입병해충과 미발생 병해충의 전반적인 피해 규모를 예측하는데 활용 될 수 있다. 미발생 병해충의 전반적인 예상 피해 규모를 여러 각도로 추정함으로써 정부의 탄력적인 인력 및 운용 예산 수립의 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서 다음과 같은 한계점을 보완한다면 추후 더욱 현실적인 영향평가가 가능할 것으로 기대된다. 첫째, 본 연구에서는 각 품목별 대체 효과를 고려하지 못하였다. 예를 들어 배에 발생한 병해충으로 생산량 감소에 따른 가격 증가가 일어난다면, 소비자는 다른 과일로 소비를 대체 할 가능성이 존재한다. 병해충 피해 품목의 수익 감소는 타 품목의 수익 증가로 일부 상쇄될 가능성이 있고, 이를 대체탄력성 등을 통하여 모형에 적절히 반영하여야 할 필요성이 있다. 둘째, 본 연구에서는 2060년 미래의 경지 면적이 현재의 경지 면적과 동일함을 가정하였다. 미래 경지 면적 증감 예측치를 모형에 반영하면 보다 현실적인 미래 피해치를 계측 할 수 있을 것으로 예상된다. 마지막으로 본 연구에서는 비료와 농기구의 발전 등 기술 증가로 인한 생산력 향상과 비용 절감 효과를 반영하지 못하였다. 미래 기술의 진보는 농업 생산력 향상을 야기할 것이 분명하나 실질적인 생산력 증가분을 예측하기는 어려우며, 특히 농업분야 빅데이터 도입과 같은 정보부분 기술진보까지 고려하게 된다면 사실상 정확한 예측은 불가능할 가능성이 크다. 그러나 기술진보가 농업 생산력에 미치는 영향이 크고 이를 중요시하는 정부 정책 등을 고려할 때, 기술진보를 병해충 피해 모형에 고려하는 시도 또한 의미 있는 연구가 될 것으로 생각된다.

References

[1] T. J. Yoon, K. J. Cho, M. K. Lee and Y. J. Bae, “Climate change and food pest insects,” Entomological Research Bulletin, 26, pp. 27-30, 2010.

[2] S. K. Lee, Damage and control measures of spotted lanternfly, National Institute of Forest Science, 2008.

[3] H. S. Shim, I. S. Myeong, S. K. Hong, Y. K. Lee, S. G. Lee, G. S. Lee, H. H. Park, H. S. Choi and H. G. Go, “Status and damage caused by emergent pests caused by climate change,” 2012 Annual Meeting on The Korean Society of Pesticide Science, 11, pp. 11-18, 2012.

[4] P. E. Hulme, “Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization,” Journal of Applied Ecology, 46(1), pp. 10-18, 2009. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01600.x

[5] S. Burgiel and A. A Muir, Invasive Species, Climate Change and Ecosystem-Based Adaptation: Addressing Multiple Drivers of Global Change, Global Invasive Species Programme, 2010.

[6] J. H. Lee, “Development of Insect Population Dynamics and Forecast Models: A Case of Child suppressalis (Walker) Occurrence in Suwon,” Korean journal of applied entomology, 38(3), pp. 231‐240, 1999.

[7] S. S. Lee, “Simultaneous control of 5 major pests,” The Bimonthly magazine for agrochemicals and plant protection, 6(2), pp. 79-88, 1985.

[8] B. S. Lee, “Control focus - Understanding the monitoring and incidence of crop pests,” Agrochemical news magazine, 260, pp. 18-21, 2010.

[9] J. H. Lee, J. K. Jung, M. Park, S. K. Lee, H. S. Lee, B. I. Son, H. Y. Nam, J. J. Park, H. H. Mo, Y. S. Lee, S. C. Yoon, Y. K. Han, Y. S. Shin, J. S. Park, I. J. Lee, M. I. Ahn, S. M. Yun, J. H. Kim, J. W. Yoo, J. H. Park, S. K. Lee, H. H. Park, Y. P. Kim, Evaluation of impact on the essential problem according to the new scenario of climate change, Rural Development Administration, 2014.

[10] J. M. Jung, S. Jung, D. Byeon, and W. H. Lee, “Model-based prediction of potential distribution of the invasive insect pest, spotted lanternfly Lycorma delicatula (Hemiptera: Fulgoridae), by using CLIMEX,” Journal of Asia-Pacific Biodiversity, 10(4), pp. 532-538, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.japb.2017.07.001

[11] D. H. Byeon, J. M. Jung, S. Lohumi, B. K. Cho, S. Jung, and W. H. Lee, “Predictive analysis of Metcalfa pruinosa (Hemiptera: Flatidae) distribution in South Korea using CLIMEX software,” Journal of Asia-Pacific Biodiversity, 10(3), pp. 379-384, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.japb.2017.06.004

[12] T. Soliman, M. C. M. Mourits, A. G. J. M. Oude Lansink, and W. van der Werf, “Economic impact assessment in pest risk analysis,” Crop Protection, 29(6), pp. 517-524, 2010.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.014

[13] Korea Forest Service, Pest control methods in agricultural land and forests, 2015.

[14] Statistics Korea, Agricultural Area Survey, 2017.

안 현 진(Hyunjin An) [정회원]

- 2005년 2월 : 한양대학교 경제금융학과 (경제학석사)
- 2015년 12월 : Texas A&M Univ. (PhD in Ecosystem Science and Management)
- 2016년 1월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 부연구위원

<관심분야>
산림경제, 산림자원관리

조 성 주(Sung Ju Cho) [정회원]

- 2015년 12월 : Texas A&M Univ. (PhD in Agricultural Economics)
- 2016년 1월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 부연구위원

<관심분야>
기후변화, 국제통상

오 새 라(Saera Oh) [정회원]

- 2016년 2월 : 서울대학교 농업생명과학대학 농경제사회학부 (농업·자원경제학 석사)
- 2016년 12월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 초청연구원

<관심분야>
농업통상

정 재 민(Jae-Min Jung) [정회원]

- 2018년 2월 : 충남대학교 농업기계공학과 (생물자원공정 및 환경제어공학 석사)
- 2017년 12월 ~ 현재: 국립산림과학원 석사연구원

<관심분야>
산림병해충, 종 분포 모델