creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

경제학석사 학위논문

기후변화가 지역 과수생산에 미치는 영향 분석

2022년 2월

서울대학교 대학원
농경제사회학부 지역정보학전공
진 동 영

기후변화가 지역 과수생산에 미치는 영향 분석

지도교수 김 의 준

이 논문을 경제학석사 학위논문으로 제출함

2022년 1월

서울대학교 대학원

농경제사회학부 지역정보학전공

진 동 영

진동영의 경제학석사 학위논문을 인준함

2022년 1월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

기후변화가 지역 과수생산에 미치는 영향 분석

본 연구에서는 향후 기후변화로 인해 예상되는 지역별 사과 및 배 생산량의 변화와 이로 인한 경제적 파급효과를 분석하였다. 우선 지역별 과수생산에 영향을 미치는 요인은 무엇이며, 특히 기상요인은 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 과수 생산함수를 추정하였다. 시군구 지역 단위의 사과 및 배 생산량 자료와 기상, 토양 및 지역 요인 자료를 바탕으로 다양한 공간계량모형을 적용하였다. 이 중 공간자기회귀모형을 분석에 가장 적합한 모형으로 선정하여 기후변화 시나리오에 따른 2040년의 지역별 사과 및 배 생산량 변화를 모의실험하였다. 온실가스 저감정책의 실현 정도에 따른 차이를 살펴보기 위해 RCP6.0과 RCP8.5 두 가지 시나리오를 가정하였으며 기온만 변화하는 경우와 강수량 및 일사량도 함께 변화하는 경우를 분석하고 비교하였다. 이를 통해 추산한 과수 생산 변화를 사회계정행렬의 승수와 연계하여 산업, 지역별 가계소득, 정부세입 등 각 경제부문에 미치는 파급효과를 분석하였다.

분석 결과 사과 생산량은 RCP6.0 시나리오 하에서 기온 변화만 고려할 경우에는 감소하는 반면, 강수량과 일사량도 고려하면 오히려 증가하는 결과가 도출되었다. 하지만 기온 상승으로 사실상 재배가 불가능할 경우에 강수량과 일사량으로 인해 생산량이 증가하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 강수량과 일사량도 고려한 결과는 현실 적용에 한계가 있다. 한편, RCP8.5 시나리오에서는 RCP6.0 시나리오보다 영향이 약 2배 클 것으로 추산되어 온실가스

저감정책의 실현 정도에 따라 피해 양상이 크게 달라질 것으로 예상된다. 배의 생산량은 사과의 추정 결과와 달리 RCP6.0 시나리오 하에서 기온 변화만 고려하는 경우와 강수량 및 일사량 변화도 반영하는 경우 모두 생산량이 감소하였다. 강수량과 일사량도 고려할 경우 생산량 감소폭이 다소 줄어들었으며, 이는 RCP8.5 시나리오에서도 비슷한 양상으로 나타났다. 사과와 배의 분석 결과의 차이는 생산함수 추정 결과 기상요인이 두 과수의 생산에 미치는 영향이 다른 데에서 비롯되었다.

사과와 배의 생산 변화로 인해 산업 전반에 미치는 직간접적인 파급효과는 생산액 변화보다 2.8배 클 것으로 예상된다. 채소 및 과실 산업과 연관성이 높은 비료 및 농약 제조업, 도소매 및 상품중개서비스업에 미치는 영향이 특히 크게 나타난다. 지역별 가계소득에 미치는 영향은 과수 생산액 변화가 클 것으로 전망된 지역 외에 서울, 경기 등 경제활동이 활발하게 이루어지는 지역에서도 클 것으로 계측되었다.

주요어 : 기후변화, 과수생산, 공간계량모형, 사회계정행렬
학 번 : 2020-29696

목 차

제 1 장 서론 ····· 1
제 1 절 연구의 목적 ····· 1
제 2 절 연구의 흐름 ····· 3

제 2 장 선행연구 및 과수 재배지 변동 ····· 5
제 1 절 선행연구 ····· 5
제 2 절 과수 재배지 변동 ····· 10

제 3 장 분석 ····· 19
제 1 절 분석 자료 ····· 19
제 2 절 과수 생산함수 ····· 27
제 3 절 파급효과 분석 ····· 47

제 4 장 결론 ····· 69
제 1 절 연구의 요약 ····· 69
제 2 절 연구의 의의 및 한계 ····· 71

참고문헌 ····· 73
Abstract ····· 75

표 목 차

[표 2-1] 선행연구 주요 내용 ····· 9
[표 3-1] 분석 자료 ····· 19
[표 3-2] 기후변화 시나리오 ····· 20
[표 3-3] 재배적지 구분 연평균기온 조건 ····· 21
[표 3-4] 재배적지 구분 토양 조건 ····· 22
[표 3-5] 기초통계량 ····· 23
[표 3-6] 공간적 자기상관성 검정 결과 ····· 30
[표 3-7] 분산팽창지수 ····· 31
[표 3-8] 사과 생산 분석 ····· 33
[표 3-9] 배 생산 분석 ····· 35
[표 3-10] 한계효과 ····· 36
[표 3-11] RCP6.0 시나리오에 따른 사과 생산량 변화 ····· 38
[표 3-12] RCP8.5 시나리오에 따른 사과 생산량 변화 ····· 40
[표 3-13] RCP6.0 시나리오에 따른 배 생산량 변화 ····· 42
[표 3-14] RCP8.5 시나리오에 따른 배 생산량 변화 ····· 44
[표 3-15] 시도별 사과 생산액 변화 ····· 45
[표 3-16] 시도별 배 생산액 변화 ····· 46
[표 3-17] 사회계정행렬 산업 분류 ····· 49
[표 3-18] 사회계정행렬 구조 ····· 51
[표 3-19] 사회계정행렬 계정별 수입 및 지출액 ····· 52
[표 3-20] 간략 사회계정행렬 구조 ····· 53
[표 3-21] RCP6.0 시나리오에 따른 사과 생산 파급효과 ····· 55
[표 3-22] RCP8.5 시나리오에 따른 사과 생산 파급효과 ····· 58
[표 3-23] RCP6.0 시나리오에 따른 배 생산 파급효과 ····· 61

[표 3-24] RCP8.5 시나리오에 따른 배 생산 파급효과 ····· 64
[표 3-25] 사과 생산의 가계소득 및 정부세입 파급효과 ····· 67
[표 3-26] 배 생산의 가계소득 및 정부세입 파급효과 ····· 68

그 림 목 차

[그림 2-1] 연도별 사과 재배면적 및 생산량 추이 ····· 10
[그림 2-2] 연도별 배 재배면적 및 생산량 추이 ····· 11
[그림 2-3] 사과 재배면적 변화 ····· 12
[그림 2-4] 배 재배면적 변화 ····· 14
[그림 2-5] RCP8.5 시나리오에 따른 사과 재배가능지 예측 · 16
[그림 2-6] RCP8.5 시나리오에 따른 배 재배가능지 예측 ····· 18
[그림 3-1] 2015년 및 2020년 지역별 사과 생산량 ····· 24
[그림 3-2] 2015년 및 2020년 지역별 배 생산량 ····· 25
[그림 3-3] 2020년 지역별 연평균기온 분포 ····· 26

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 목적

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)[1)]에서 2021년 발간한 제6차 평가보고서 제1 실무그룹 보고서에 따르면 산업화 이전(1850~1900년) 대비 2011~2020년의 전 지구 지표면 온도는 1.09℃ 상승하였다(IPCC, 2021). 이는 2014년 제5차 평가보고서에서 분석한 산업화 이전 대비 2003~2012년의 전 지구 지표면 온도 상승폭인 0.78℃보다 증가한 것으로 기후변화가 가속화되고 있음을 보여준다.

우리나라의 경우 과거 30년(1912~1940년) 대비 최근 30년(1991~2020년)의 연평균기온이 전 지구 연평균기온 상승폭인 0.8℃보다 높은 1.6℃ 상승하여 우리나라의 온난화가 전 지구 평균보다 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다. 기후변화로 인해 기온 상승 외에도 폭염, 집중호우, 가뭄 등 극한기후현상이 빈번하게 나타나고 있다. 최근 30년은 과거 30년에 비해 연 강수량이 135.4mm 증가하였으나 강수일수는 21.1일 감소하여 강수강도가 강해지는 추세이며 호우 일수는 0.6일 증가하였다. 또한 폭염과 열대야 일수는 각각 1.0일, 8.4일 증가한 반면 한파와 결빙일수는 각각 4.9일, 7.7일 감소하여 더위 관련 극한기후현상의 증가가 뚜렷하게 나타났다.

농업의 경우 기상환경에 의존적이고 생산량이 매년 기후 변동에 따라 달라지기 때문에 기후변화에 의한 영향을 많이 받는 영역이라고 할 수 있다(Moriondo and Bindi, 2010). 기후변화가 농업 생산과 농촌 경제에 미치는 영향은 긍정적인 영향과 부정적인 영향이 함께

---

1) 유엔 산하 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 기후변화와 관련된 전 지구적인 환경 문제에 대처하기 위해 설립한 정부간 협의체

예상된다. 긍정적인 영향으로는 이산화탄소 농도 증가에 의한 작물의 생산성 증가, 망고 등 고온성 농작물의 재배, 작물의 재배기간 증가로 인한 이모작의 확대, 월동작물의 저온피해 감소, 시설재배 농작물의 난방비 절감 등을 들 수 있다. 반면, 부정적인 영향으로는 기온상승으로 인한 생산성 감소 및 품질 저하, 병해충의 발생 증가, 강우 증가로 인한 토양 침식의 심화 등이 예상된다(김창길, 2009).

그동안 진행된 기후변화는 이미 국내 농작물의 재배에도 영향을 미치고 있다. 1970~2015년 농림어업총조사의 농작물별 재배면적 자료를 바탕으로 주요 재배지 변화를 살펴보면, 사과는 경북 영천에서 강원 정선·영월·양구로, 복숭아는 경북 청도에서 충북 충주·음성과 강원 춘천·원주로 재배지가 확산되었다. 이처럼 기온상승으로 인해 농작물의 재배한계선과 재배적지가 북상하면서 농작물의 주산지가 남부지방에서 충북, 강원 지역 등으로 이동하고 있다.

농작물의 주산지 변화는 농촌의 지리적 위치와 재배하는 작물의 종류에 따라 농촌 지역에 위기로 작용하기도 하고 기회로 작용할 수도 있다(김창길, 2009). 또한 농작물의 재배지 변동으로 인한 작물의 생산 감소는 해당 지역의 경제와 연관 산업에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이러한 맥락 하에서 본 연구는 기후변화가 작물 생산에 미치는 영향을 추정하고, 이로 인한 지역경제 영향을 분석하는 것을 목적으로 한다. 연구결과를 통해 농촌 지역의 기후변화 대응을 위한 방안 수립에 기여할 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

제 2 절 연구의 흐름

본 연구는 기후변화가 작물 생산에 미치는 영향을 추정하기 위한 분석대상 작물로 우리나라의 주요 6대 과수 작물인 사과, 배, 복숭아, 포도, 단감 및 감귤 중 사과와 배를 선정하였다. 사과는 다른 과수에 비해 비교적 서늘한 기온에서 품질과 생육이 양호한 호냉성 작물이다. 사과 재배적지의 연평균기온은 7.5~11.5℃로 다른 과수에 비해 4~7℃ 낮다. 기후변화로 인해 한동안 재배적지가 증가할 것으로 예상되는 다른 과수와 달리 사과는 이미 재배적지의 감소와 이동이 나타나고 있기 때문에 기후변화로 인한 영향을 분석하기에 적합하다. 또한 사과와 동일한 장미과 작목이지만 연평균 생육기온이 높은 배에 대해서도 분석을 진행하여 작물의 특성에 따라 기후변화 영향의 차이가 있는지 분석하였다.

기후변화가 지역 과수생산에 미치는 영향을 분석한 본 연구는 다음과 같은 연구 질문에 기초하여 수행되었다. 먼저 지역별 과수생산에 영향을 미치는 요인은 무엇이며, 특히 기상요인은 어떠한 영향을 미치는가에 대한 것이다. 다음으로는 기후변화가 지속될 경우 향후 지역별 과수생산은 어떻게 변화하며, 이로 인한 지역경제 영향은 어느 정도인가에 대한 것이다.

첫 번째 질문인 지역별 과수생산에 영향을 미치는 요인과 기상요인의 영향을 살펴보기 위해 본 연구에서는 총 다섯 가지의 계량모형을 적용하였다. 기존 연구들에서 기본적으로 수행되는 최소자승모형(Ordinary Least Squares, OLS)을 비롯해 공간자료 분석에서 발생할 수 있는 문제점을 고려한 공간계량모형(Spatial Econometrics Model) 네 가지 모형을 활용하였다. 시군구 지역 단위의 자료를 수집하여 다섯 가지 계량모형으로 사과와 배의 생산함수를 추정하고, 그 중 기후변화 영향 분석에 타당한 모형을 선정하였다. 두 번째 질문인 기후변화로 인한 지역별 과수 생산 변화와 지역경제 영향을

분석하기 위해서는 모의실험을 구성하였으며 사회계정행렬(Social Accounting Matrix, SAM)을 활용하였다. 모의실험에서 기후변화에 따른 기상요인 전망치로 IPCC 제5차 평가보고서에서 설정한 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP) 시나리오에 따른 기상청 미래 기후전망 자료를 활용하였다. 기후변화 시나리오를 바탕으로 2040년에 예상되는 지역별 생산 변화를 추산하고 이로 인한 파급효과를 분석하였다.

본 논문의 내용은 다음과 같이 구성된다. 1장에서는 연구의 목적과 흐름에 대해 제시하였으며, 2장에서는 기후와 작물 생산에 관한 선행연구 및 과수 재배 변동에 관한 자료를 살펴볼 것이다. 다음으로 3장에서는 공간계량모형과 사회계정행렬에 대해 설명하고, 이를 바탕으로 분석한 결과를 제시하고자 한다. 마지막으로 4장에서는 본 연구에 대한 요약과 함께 의의 및 한계를 제시하고자 한다.

제 2 장 선행연구 및 과수 재배지 변동

제 1 절 선행연구

기후변화가 작물 생산에 미치는 영향에 관한 국내외 선행연구는 주요 식량 작물인 곡물에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 해외의 곡물 생산 관련 연구에서는 주로 기온과 곡물 생산의 관계에 대한 분석과 함께 기후변화에 따른 생산량 변화 예측이 이루어졌다(Battisi and Naylor, 2009; Teixeira *et al.,* 2013; Schlenker and Roberts, 2009). Battisi and Naylor(2009)는 IPCC에서 활용하는 23개 기후 모형을 바탕으로 생육기 기온 1℃ 상승에 따른 국가별 곡물 생산량 변화와 전 세계 곡물 생산량의 변화 추세를 예측하였다. 분석 결과, 지역에 따라 곡물 생산량은 2.5~16% 감소할 것으로 전망되었다. Teixeira *et al.*(2013)은 극심한 더위 피해인 열피로(heat stress)의 정도를 나타내는 열피해지수를 고려하여 기후시나리오에 따른 전세계 지역별 곡물 생산량 변화를 예측하였다. 아열대 지역의 곡물 생산 감소가 특히 클 것으로 예상되며 작물의 파종 시기 변경 등을 통해 열피로의 피해를 완화시킬 수 있다는 점에서 지역의 적응적 대응의 필요성을 제시하였다. Schlenker and Roberts(2009)는 기온이 작물 생산에 미치는 영향이 선형으로 나타나지 않는다고 분석하였다. 옥수수와 대두의 경우 29~32℃까지는 단수가 점차 증가하지만 그 이후에는 급격히 하락하는 것으로 연구되었다.

과수에 관한 해외 선행연구에서는 온도, 일사량, 이산화탄소 농도 등 기후요인과 과수의 생산 간의 관련성을 분석하였다(Chmielewski *et al.,* 2004; Bindi *et al.,* 1996; Baldocchi and Wong, 2008; Arundhati and Bhagat, 2020). Chmielewski *et al.*(2004)에서는 1961년부터 2000년까지 독일 지역을 대상으로 사과와 체리 생산에 대한 온도의 영향을 조사한 결과 개화기의 낮은 온도에 의한 서리 피해

가 작물의 단수에 가장 큰 영향을 주었으며 온난화에 의한 큰 영향은 없다고 주장하였다. Bindi *et al.*(1996)의 기후변화가 포도 생산에 미치는 영향에 관한 연구에서는 온도와 이산화탄소 농도가 일사량보다 생산량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. Baldocchi and Wong(2008)은 기후변화로 인해 작물의 겨울철 저온 요구도가 감소하면서 21세기 말에는 미국 캘리포니아 지역의 살구, 배, 자두 등 과수와 호두, 아몬드 등 견과류의 재배가능면적이 감소할 것이라고 예측하였다. Arundhati and Bhagat(2020)은 전세계와 인도 지역의 기후변화에 따른 사과 생산 시나리오를 분석한 결과 겨울철 기온상승으로 인해 사과의 개화기가 빨라지면 서리 피해의 위험이 커지기 때문에 사과 생산과 품질에 부정적인 영향을 끼칠 것으로 예상하였다.

기후와 작물 생산에 관한 국내 선행연구는 기온, 습도 등 기후변수가 주요 식량 작물인 쌀의 단수에 미치는 영향에 관한 연구가 주로 이뤄졌다(남영식 외, 2012; 권오상 외, 2013). 남영식 외(2012)는 국내 벼 단수 자료와 기온, 일교차, 습도 등 기후변수를 포함한 변수들을 통해 추정모형을 구성하였다. RCP8.5 시나리오가 진행될 경우 2099년까지 단수 변화를 예측하여 기후변화가 장기적으로 벼 생산에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 밝혔다. 권오상 외(2013)는 패널자료를 이용한 기후변수와 쌀 생산성에 관한 연구에서 7~8월 누적일조시간은 단수 증가에 기여하지만 일정 수준 이상이 되면 단수를 증가시키지 못한다고 분석하였다. 또한 9월 평균기온 역시 일정 수준 이상이 되면 단수를 낮추는 것으로 분석하여 향후 기온 상승에 따른 단수 하락에 대비할 필요가 있다고 제시하였다.

과수에 대해 분석한 연구 역시 기온, 강수량, 일조시간 등 기후변수와 생산성의 관계에 대해 분석하였으며 기후변화로 인한 영향을 예측할 경우에는 RCP 시나리오를 활용하여 연구가 이뤄졌다(김경필 외, 2005; 김미리·김승규, 2014; 김승규, 2015; 황재희 외, 2012; 김선영·허인혜·이승호, 2010; 허인혜·이승호, 2017). 김경필 외(2005)는 사

과 단수에 영향을 미치는 기상요인으로 기온, 강수량 및 일조시간을 적용하여 사과 단수와 기상요인 간의 관계를 최소자승모형을 통해 추정하였다. 분석 결과 3월 최저기온이 높을수록, 9월 최저기온이 낮을수록, 그리고 6~8월의 일조시간이 길어질수록 단수가 증가하는 것으로 분석되었다. 김미리·김승규(2014)는 사과생산량에 영향을 미치는 기상요인을 선정하기 위해 생육단계를 고려한 자연과학적 접근방법, 상관분석 및 요인분석을 통해 기온, 강수량, 일조시간 등 기상요인과 단수의 관계를 분석하였다. 김승규(2015)는 김미리·김승규(2014)를 바탕으로 주요 과수의 주산지 지역을 대상으로 지리가중회귀모형(Geographically Weighted Regression, GWR)을 적용하여 단수예측모형을 개발하였으며 RCP4.5 시나리오에 따른 주요 과수의 단수 변화를 예측하였다. 황재희 외(2012)는 다중모형을 통해 과수 작목별 특화지역을 선정하고 기후변화를 고려한 재배적지와의 공간 중첩분석을 적용하였다. 재배적지의 변화에 주산지 분포가 신속히 대응하지 못하는 것으로 분석되어 향후 재배적지 이탈로 인한 상품성 저하 등의 문제에 대응할 필요성을 제기하였다. 김선영·허인혜·이승호(2010)는 사과 재배지역의 재배면적과 생산량의 변화를 시기별로 파악하고 사례지역을 선정하여 지역별 사과 재배면적 및 생산량과 생육기간 평균기온 및 일교차의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과 평균기온 상승 및 일교차 감소는 재배면적 및 생산량에 부정적인 영향을 미친 것으로 추정되었다. 허인혜·이승호(2017)는 경남지역을 대상으로 개화기, 성장기, 성숙기 등 생육시기별 기온, 강수량, 일조시간 등의 변수와 단감 생산성의 관계에 대해 상관분석을 적용하였으며 RCP 시나리오에 따른 단감의 생산성 변화를 예측하였다. RCP4.5와 RCP8.5 시나리오 하에서 경남의 단감 생산성은 단기적으로 증가하지만 변화율은 지속적으로 감소하는 것으로 추정되었다.

기후변화로 인한 작물 생산의 변화를 추정한 국내외 선행연구의 주요 내용은 <표 2-1>과 같으며 주로 기온, 강수량, 일조시간 등의

기후요인과 단수 간의 관계에 대해 분석하였다. 또한 상관분석, 공간중첩분석, 최소자승모형, 지리가중회귀모형 등의 분석방법을 통해 연구가 진행되었다. 기후변화에 따른 생산 변화 예측에는 기후 시나리오를 활용하였으며 국내 연구의 경우 RCP 시나리오를 활용하였다. 하지만 국내 연구는 전국 시군구별 과수 생산량 자료를 구득하기 어려운 관계로 주산지 등 일부 지역을 대상으로 기후변화가 작물 생산에 미치는 영향을 분석하였다.

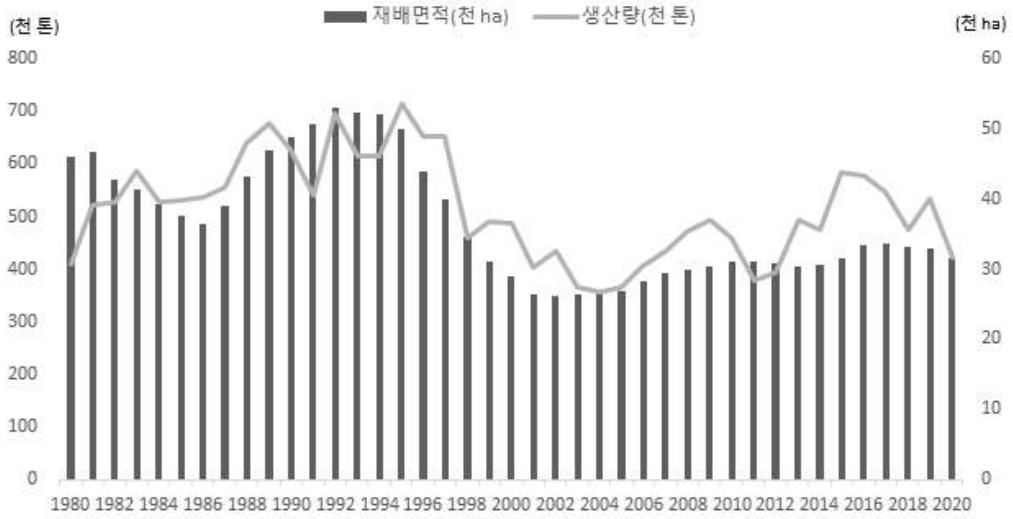
한편, 농작물 생산에 있어서 인접 지역 간 농가의 영농방법 공유를 통한 지식의 전파 등으로 인해 생산량의 공간적 자기상관성(Spatial Autocorrelation)이 존재할 수 있다. 또한 기온, 강수량 등의 기상요인은 인접 지역 간의 연관성이 높기 때문에 공간적 자기상관성이 존재할 수 있다. 이러한 특성을 고려하지 않고 통상최소제곱법으로만 추정할 경우 추정량에 편의가 발생하여 모형의 적정식별(Identification)이 어려울 수 있다. 본 연구에서는 선행연구의 한계를 보완하기 위해 활용 가능한 자료를 바탕으로 전국 시군구 대상 자료를 구축하고 공간계량모형을 적용하여 기상요인과 기타 요인들이 과수 생산에 미치는 영향을 추정하였다. 또한 이러한 추정결과를 사회계정행렬과 연계하여 지역경제 영향을 분석하였다는 점에서 본 연구는 차별성을 가진다.

<표 2-1> 선행연구 주요 내용

선행연구	주요 내용
Battisi and Naylor (2009)	IPCC 기후 모형을 활용하여 기온 상승에 따른 전 세계 곡물 생산량 변화 예측
Teixeira *et al.* (2013)	기후시나리오와 열피해지수를 고려하여 전 세계 곡물 피해 추정
Schlenker and Roberts (2009)	기온이 옥수수와 대두의 생산에 미치는 영향은 선형으로 나타나지 않음
Chmielewski *et al.* (2004)	개화기의 낮은 온도에 의한 서리 피해가 사과와 체리의 단수에 큰 영향
Bindi *et al.* (1996)	일사량에 비해 온도나 이산화탄소 농도가 포도 생산량에 미치는 영향이 큼
Baldocchi and Wong (2008)	겨울철 저온요구도 감소로 캘리포니아 지역 과수와 견과류 재배가능면적이 감소
Arundhati and Bhagat (2020)	이른 사과 개화기로 인한 서리 피해 위험 증가는 사과 생산과 품질에 부정적인 영향
남영식 외(2012)	RCP8.5 시나리오 하에서 기후변화가 장기적으로 국내 벼 생산에 부정적인 영향
권오상 외(2013)	7~8월 누적일조시간, 9월 평균기온 등은 일정 수준 이상이 되면 단수를 낮춤
김경필 외(2005)	기상 요인이 사과 단수에 미치는 영향을 경북 지역 대상 OLS 추정 통해 분석
김미리·김승규(2014)	사과생산량에 영향을 미치는 기상요인을 상관분석 및 요인분석 등을 통해 선정
김승규(2015)	주산지 시군 대상 GWR 모형을 통한 단수 예측모형 개발 및 RCP4.5 시나리오에 따른 과수 생산량 변화 예측
황재희 외(2012)	과수의 재배적지 변화를 예측하고 주산지 분포와 공간중첩분석
김선영·허인혜·이승호 (2010)	사례 지역의 사과 재배면적 및 생산량과 생육기간 평균기온 및 일교차 상관분석
허인혜·이승호(2017)	생육시기별 기후변수와 단감 생산성 상관분석 및 RCP 시나리오에 따른 단감 생산성 변화율 예측

제 2 절 과수 재배지 변동

통계청 농작물생산조사의 1980~2020년 사과 재배면적 및 생산량 변화 추이는 <그림 2-1>과 같다. 사과의 재배면적은 1980년 46,132ha에서 증가와 감소를 반복하다가 1992년 52,985ha로 최고치를 기록한 이후 2002년 26,163ha로 최저치를 기록하였으며 2020년 31,598ha로 과거보다는 감소하였으나 최근 안정된 추세를 보인다. 생산량은 1980년 410,047톤에서 357,180~715,982톤 사이 등락을 반복하다가 2020년 422,115톤을 기록하였다.



자료: 통계청 농작물생산조사

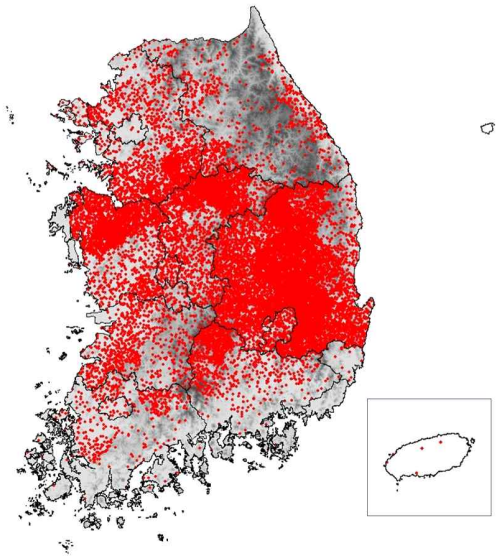
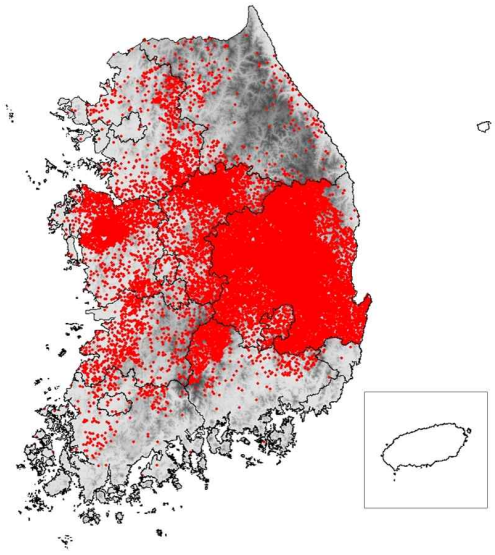
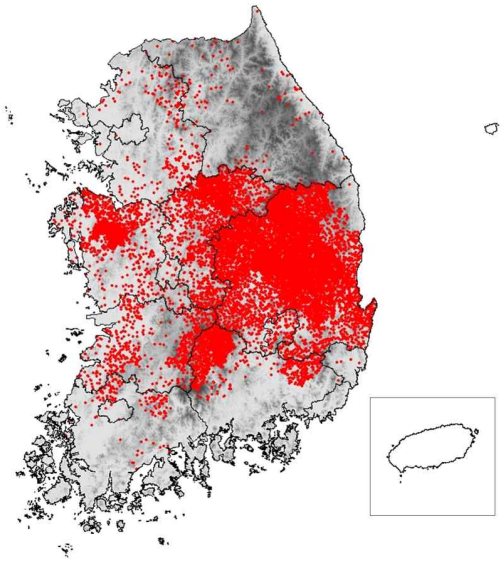
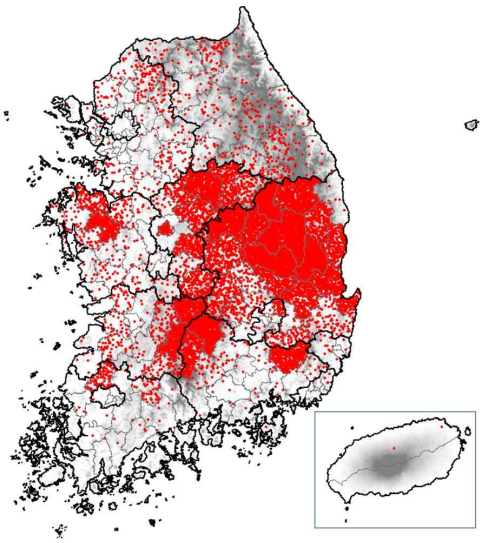
<그림 2-1> 연도별 사과 재배면적 및 생산량 추이

배의 재배면적 및 생산량 변화 추이는 <그림 2-2>와 같다. 1980년 9,164ha에서 증가세를 유지하여 2000년 26,206ha로 최고치를 기록한 이후 감소세로 접어들며 2020년에는 9,091ha를 기록하였다. 생산량은 1980년 59,570톤에서 2008년 470,745톤으로 증가하였으나 2020년에는 132,580톤으로 감소하였다.

자료: 통계청 농작물생산조사

<그림 2-2> 연도별 배 재배면적 및 생산량 추이

농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 과수총조사 및 농림어업총조사 자료를 바탕으로 분석한 지역별 사과 재배면적 변화는 <그림 2-3>과 같다. 사과의 경우 1982년에는 강원 산간과 남부 해안을 제외한 전국 대부분의 지역에서 재배가 이루어졌다. 하지만, 이후 대구 인근과 서부 지역을 중심으로 감소하여 2015년에는 주로 경북 북부와 전북, 충북, 강원 등 산간 지역에서 재배가 이루어지고 있다. 이러한 변화는 기후변화로 인한 사과 재배지의 이동이 이미 나타났음을 보여준다.

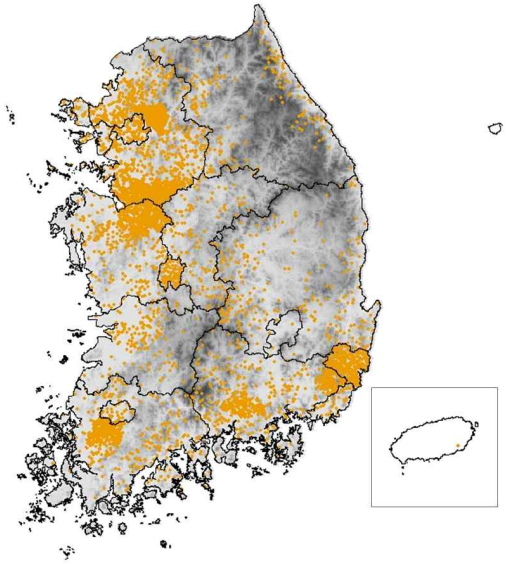
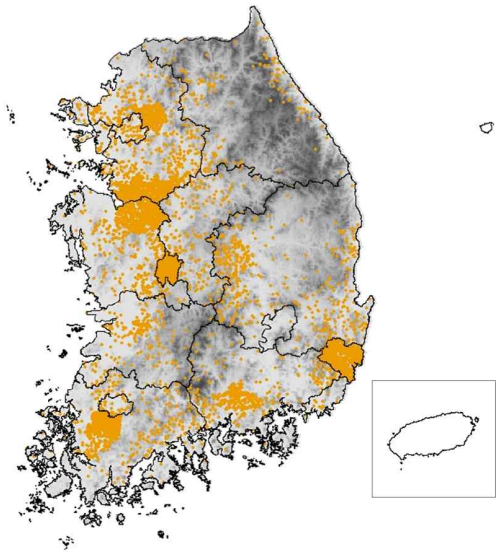
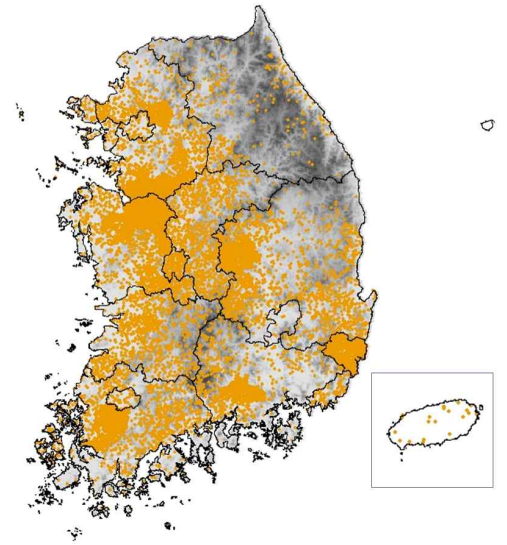
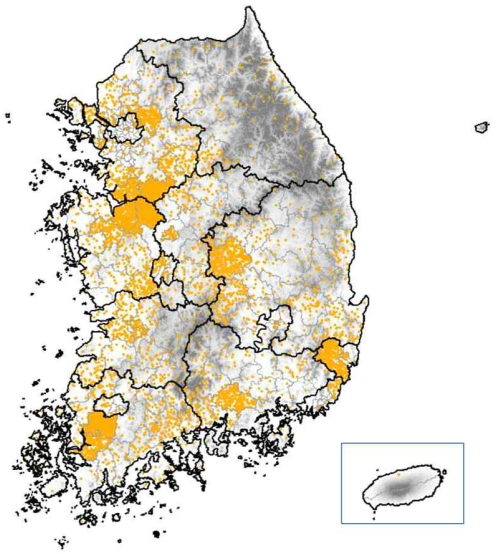
사과	
	
1982년	1992년
	
2002년	2015년

주: 점 하나당 2ha

출처: 농촌진흥청 국립원예특작과학원 https://fruit.nihhs.go.kr/

<그림 2-3> 사과 재배면적 변화

배의 지역별 재배면적 변화는 <그림 2-4>와 같다. 1982년 경기 남부 및 충남 북부, 나주, 울산 등 주산지 위주로 재배되다가 2002년 서부 지역을 중심으로 재배면적이 확대되었으나 2015년에는 전반적으로 감소한 경향을 보인다. 사과와 달리 배는 아직 재배지의 이동이 나타나지 않았으며 최근 배의 재배면적 감소는 기후요인이 아닌 수요 감소로 인한 영향으로 추정된다.

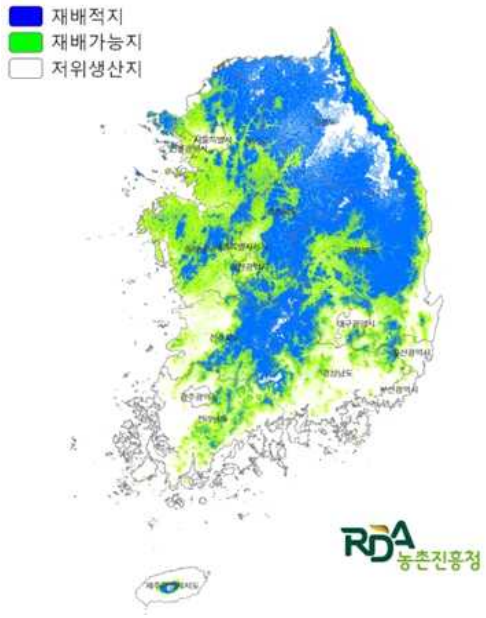
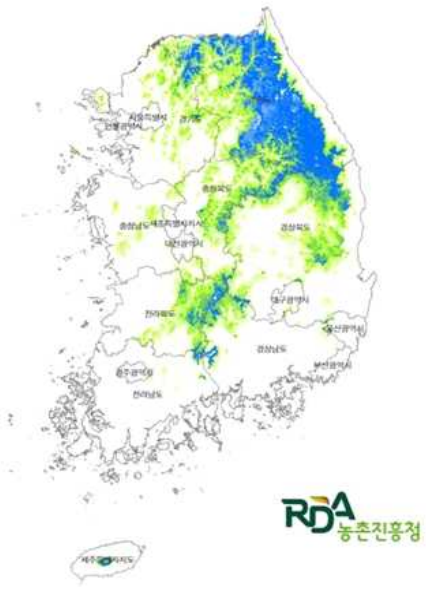
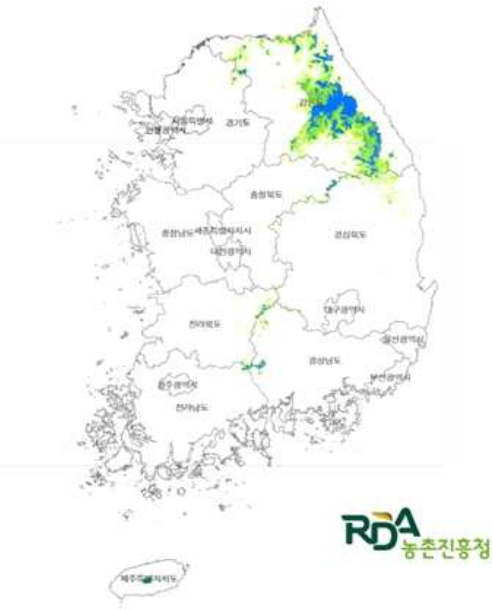
배	
	
1982년	1992년
	
2002년	2015년

주: 점 하나당 2ha

출처: 농촌진흥청 국립원예특작과학원 https://fruit.nihhs.go.kr/

<그림 2-4> 배 재배면적 변화

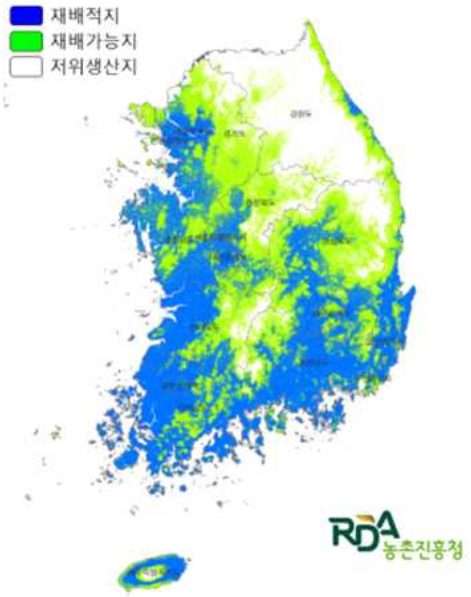
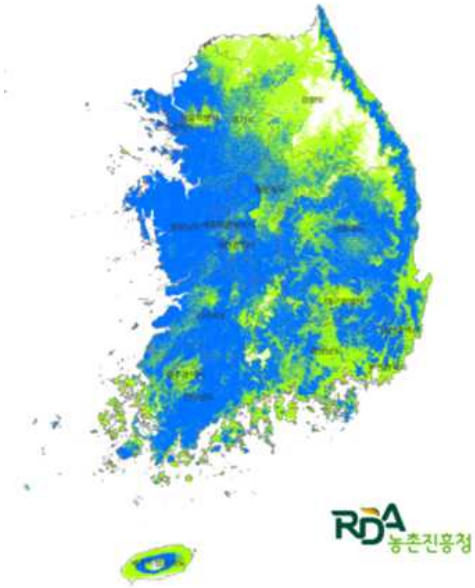
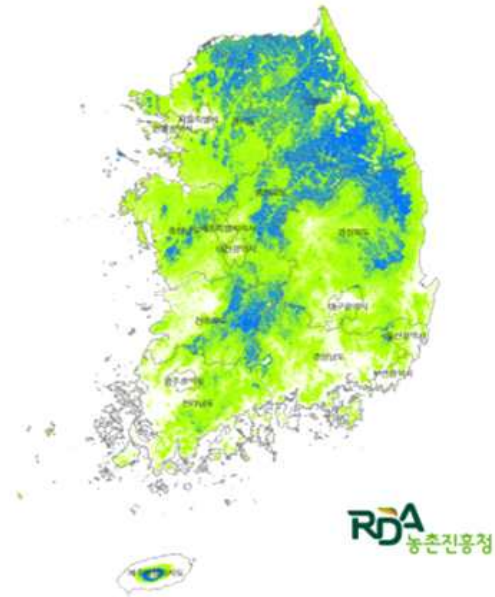
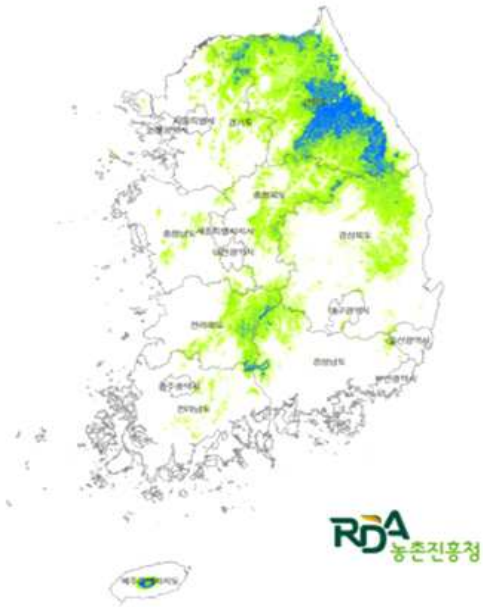
기후학적 요인을 고려하여 향후 예상되는 사과의 재배적지 및 재배가능지의 변동을 살펴보면 <그림 2-5>와 같다. 농촌진흥청 온난화대응농업연구소에서 RCP8.5 시나리오 하에서 기온 상승만을 고려하였을 때 사과의 기후학적 재배지 변동을 예측하였다. 사과는 과거 30년(1981~2010년)과 비교해 향후 재배적지와 재배가능지가 빠르게 감소하여 21세기 말에는 강원도 일부 지역에서만 재배할 수 있을 것으로 전망했다(농촌진흥청, 2015).

사과	
	
1981~2010	2030년대
	
2060년대	2090년대

출처: 농촌진흥청(2015)

<그림 2-5> RCP8.5 시나리오에 따른 사과 재배가능지 예측

같은 방법으로 RCP8.5 시나리오에 따른 배의 재배적지 및 재배가능지 변동을 예측한 결과는 <그림 2-6>과 같다. 배의 경우에는 2040년대까지 총 재배가능지 면적이 증가하다가 2050년대부터 줄어들기 시작할 것으로 전망했다(농촌진흥청, 2015).

배	
	
1981~2010	2030년대
	
2060년대	2090년대

출처: 농촌진흥청(2015)

<그림 2-6> RCP8.5 시나리오에 따른 배 재배가능지 예측

제 3 장 분석

제 1 절 분석 자료

본 연구에서 활용한 분석 자료는 <표 3-1>과 같다. 종속변수인 시군구별 사과 및 배 생산량에 관한 신뢰할만한 통계자료가 제공되지 않기 때문에 기존 통계자료를 활용하여 추산하였다. 통계청 농작물생산조사의 시도별 생산량 및 재배면적과 농림축산식품부 농업경영체 데이터베이스의 시군구별 재배면적을 기반으로 추산하였다. 농업경영체 자료를 통해 각 시군구의 시도 내 재배면적 비중을 계산하였으며 같은 시도 내에서는 단수가 동일하다는 가정 하에 시군구별 시도 내 재배면적 비중을 농작물생산조사의 시도별 생산량에 곱해 시군구별 생산량을 계산하였다. 독립변수로는 기상요인, 토양요인 및 지역요인을 고려하였다.

<표 3-1> 분석 자료

변수		변수 설명
종속변수		
사과 및 배 생산량		시군구, 2015~2020년, 통계청 농작물생산조사, 농림축산식품부 농업경영체 DB
독립변수		
기상 요인	연평균기온	시군구, 2015~2100년, 기상청 기후정보포털
	생육기 강수량	
	생육기 일사량	
토양 요인	사과 및 배 재배최적지 및 적지 면적	시군구, 2021년, 농촌진흥청 토양환경정보시스템
지역 요인	사과 및 배 농가 수	시군구, 2015~2020년, 농림축산식품부 농업경영체 DB

기상요인으로는 기상청에서 제공하는 RCP 시나리오에 따른 기온, 강수량 및 일사량 자료를 활용하였다. RCP 시나리오의 종류와 의미는 <표 3-2>와 같다. RCP 뒤의 각 숫자는 온실가스로 인한 추가적인 태양복사에너지의 지구흡수량을 의미하며[2] 현 추세의 온실가스 배출부터 즉각적인 온실가스 감축 수행까지 온실가스 저감정책의 실현 정도에 따라 시나리오가 구성되었다.

<표 3-2> 기후변화 시나리오

종류	의미	이산화탄소 농도 (ppm)
RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420
RCP4.5	온실가스 저감정책 상당히 실현	540
RCP6.0	온실가스 저감정책 어느 정도 실현	670
RCP8.5	현재 추세대로 온실가스 배출	940

출처: 기상청 기후정보포털 http://climate.go.kr

기온은 작물의 재배 가능여부에 큰 영향을 미치는 기상요인이기 때문에 연평균기온을 변수로 포함하였다. 사과 및 배의 재배적지 구분 연평균기온 조건은 <표 3-3>과 같다. 사과 재배적지의 연평균기온은 7.5~11.5℃이고 배는 11.5~15.5℃로 사과의 기온 조건이 4℃ 낮다. 또한 기온뿐만 아니라 강수량과 일사량도 작물의 생산에 영향을 미친다는 선행연구의 연구 결과를 바탕으로 사과와 배의 생육기인 4~10월의 강수량과 일사량 변수를 추가하였다.

2) 예를 들어, 4.5와 8.5는 지상에 도달되는 태양복사 238W/㎡의 복사강제력의 1.9%와 3.6%로서 각각 4.5W/㎡, 8.5W/㎡를 뜻한다. RCP4.5 시나리오 하에서 우리나라의 2071~2100년의 연평균기온은 현재보다 3.0℃ 상승하고 강수량은 16.0% 증가할 것으로 예상되며, RCP8.5 시나리오 하에서는 연평균기온은 5.7℃ 상승하고 강수량은 17.6% 증가할 것으로 전망된다.

<표 3-3> 재배적지 구분 연평균기온 조건

과수 종류	재배적지	재배가능지	부적지 및 저위생산지
사과	7.5~11.5	6.5~7.5, 11.5~12.5	< 6.5, 12.5 <
배	11.5~15.5	10.0~11.5, 15.5~17.0	< 10.0, 17.0 <

단위: ℃

출처: 농촌진흥청 국립원예특작과학원 http://fruit.nihhs.go.kr

토양요인으로는 농촌진흥청 토양환경정보시스템에서 지형, 경사, 심토토성, 배수등급, 유효토심, 자갈함량 등을 고려하여 <표 3-4>의 기준에 따라 설정한 사과 및 배의 재배최적지 및 적지 면적을 활용하였다. 지역요인으로는 통제변수로서 시군구별 사과 및 배의 농가수를 활용하였다.

<표 3-4> 재배적지 구분 토양 조건

사과				
요인배점	20	15	10	5
지형	하성평탄지, 선상지, 곡간지	홍적대지	구릉지, 산록경사지, 용암류대지	하해혼성평탄지, 산악지, 분석구
경사(%)	0-7	7-15	15-30	>30
심토토성	사양질, 미사사양질	식양질	미사식양질, 식질	사질
배수등급	양호	매우양호	약간양호	약간불량, 불량, 매우불량
유효토심 (cm)	>100	50-100	20-50	<20
배				
요인배점	20	15	10	5
자갈함량 (%)	<15	15-35		>35
경사(%)	0-7	7-15	15-30	>30
심토토성	식양질, 미사식양질	사양질, 미사사양질	식질	사질
배수등급	양호	매우양호	약간양호	약간불량, 불량, 매우불량
유효토심 (cm)	>100	50-100	20-50	<20
	최적지	적지	가능지	저위생산지
설정범위 (점)	≥85	80-84	70-79	≤69

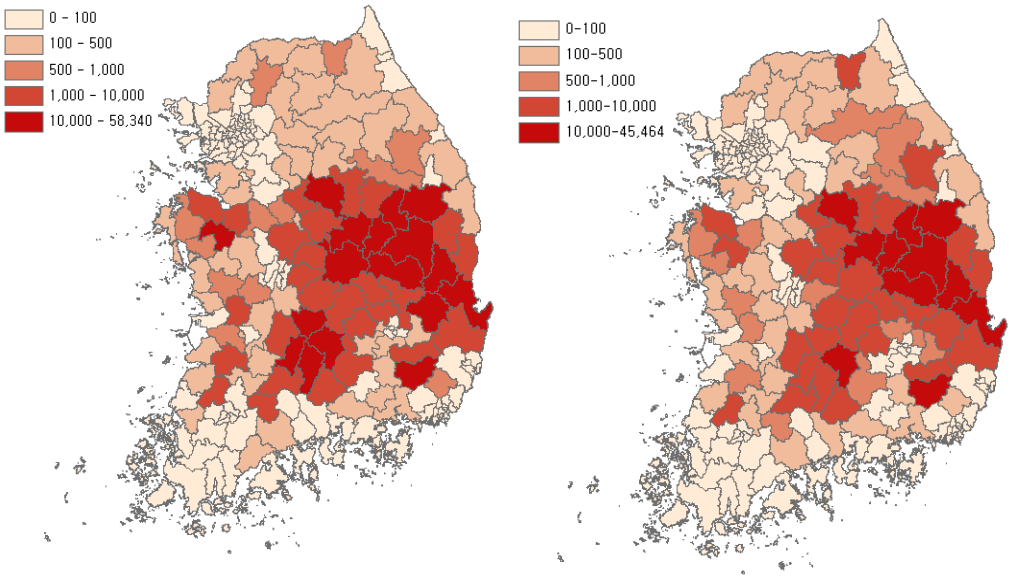
출처: 농촌진흥청 토양환경정보시스템 http://www.nongsaro.go.kr

한편, 229개 시군구 중 사과의 생산량이 있는 지역은 경북 청송군, 경북 안동시, 경북 영주시 등 172개, 배의 생산량이 있는 지역은 충남 천안시, 전남 나주시, 충남 아산시 등 194개이다. 본 연구에서 분석을 위해 사용한 변수들의 기초통계량은 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> 기초통계량

	단위	평균	표준편차	최소값	최대값
사과 생산량	ton	2,314	7,382	0	58,340
배 생산량	ton	962	3,441	0	53,868
연평균기온	℃	12.4	1.6	6.7	15.7
생육기 강수량	mm	927	237	242	1,759
생육기 일사량	W/㎡	1,601	72	1,291	1,748
사과 재배최적지 및 적지 면적	ha	4,408	4,147	29	18,948
배 재배최적지 및 적지 면적	ha	8,354	7,672	123	39,666
사과 농가 수	개	279	640	0	4,462
배 농가 수	개	134	279	0	2,950

2015년과 2020년의 지역별 사과생산량은 <그림 3-1>과 같다. 2015년에 비해 2020년에 충남, 전북 등 서부 지역의 사과 생산량이 감소하고 강원도의 생산량은 증가하였다. 사과 생산량이 가장 많은 지역은 경상북도 청송군으로 2015년 58,340톤, 2020년 45,464톤의 사과를 생산하였다.

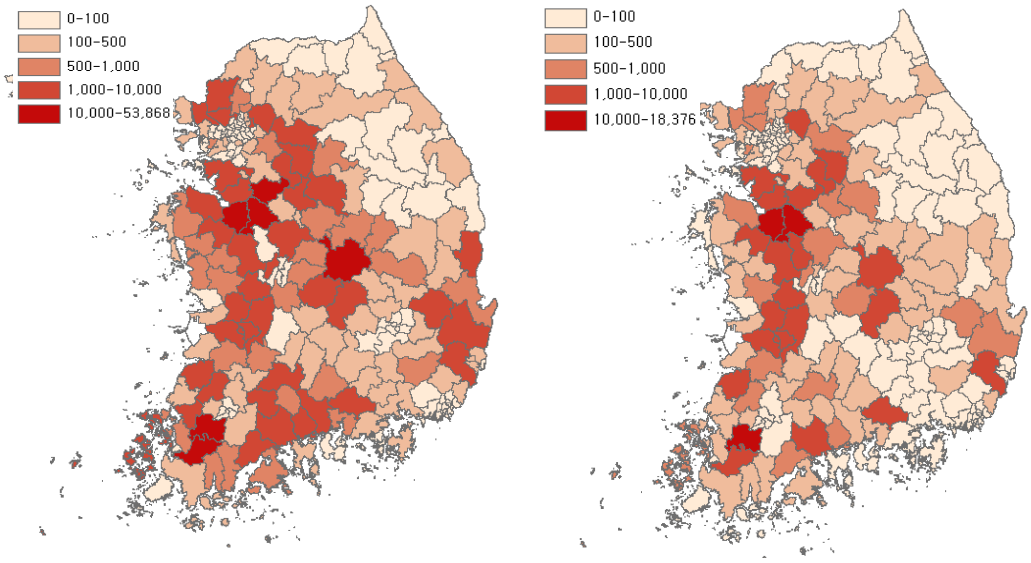


2015년 2020년

단위: 톤

<그림 3-1> 2015년 및 2020년 지역별 사과 생산량

배의 2015년 및 2020년 지역별 생산량은 <그림 3-2>와 같다. 지역적 변동은 크게 나타나지 않고 전반적으로 생산량이 감소한 경향을 보인다. 2015년에는 전라남도 나주시의 배 생산량이 53,868톤으로 가장 많으며 2020년에는 충청남도 천안시의 배 생산량이 18,376톤으로 가장 많았다.

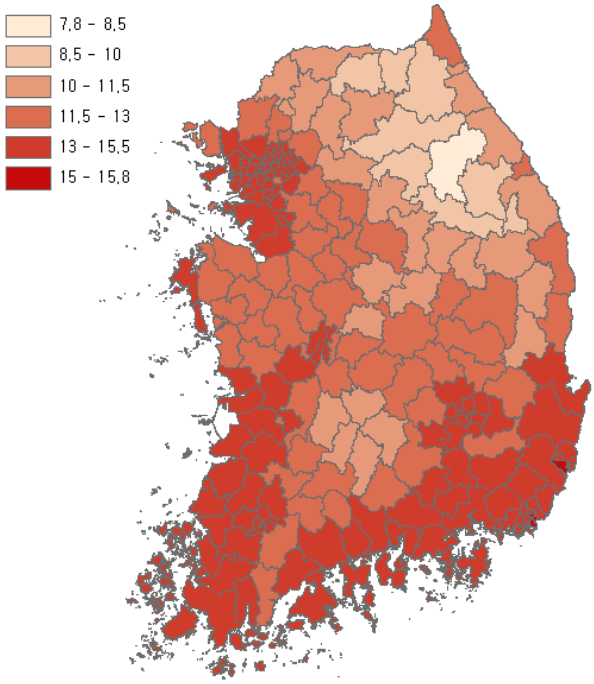


2015년 2020년

단위: 톤

<그림 3-2> 2015년 및 2020년 지역별 배 생산량

독립변수 중 지역별 재배여건에 가장 큰 영향을 끼치는 연평균기온의 경우 <그림 3-3>과 같은 지역별 분포를 보인다. 남해안, 주요 특별시 및 광역시의 연평균기온이 높으며 강원, 경북, 충북 및 전북의 산간지역을 중심으로 연평균기온이 상대적으로 낮게 나타난다. <그림 3-1> 및 <그림 3-2>와 연관지어 살펴보면 사과의 주요 재배지의 연평균기온은 낮은 반면 배의 주요 재배지의 연평균기온은 높게 나타난다. 이를 통해 연평균기온의 분포는 사과 및 배의 생산량 분포와 연관되어 있음을 알 수 있다.



단위: ℃

<그림 3-3> 2020년 지역별 연평균기온 분포

제 2 절 과수 생산함수

본 연구에서는 2015년부터 2020년까지 6개년 동안의 172개의 사과 생산지역, 195개의 배 생산지역을 대상으로 패널자료를 구축하였다. 패널자료는 시계열자료와 횡단면자료를 합쳐놓은 자료로서 다음의 수식 (1)과 같이 정의된다.

$$
\begin{aligned}
&y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^{m} \beta_k x_{itk} + e_{it},\ e_{it} = \mu_i + \epsilon_{it} \qquad (1)\\
&\epsilon_{it} \sim iid(0, \sigma_\epsilon^2)\\
&i = 1, 2, \cdots, I\\
&t = 1, 2, \cdots, T
\end{aligned}
$$

y_{it}는 i번째 지역의 t시점에서의 종속변수로 사과 또는 배의 생산량을 뜻하며, x_{itk}는 독립변수로 기상요인, 토양요인 및 지역요인을 의미한다. β_k는 독립변수 x_{itk}의 추정계수를 나타내며, e_{it}는 오차항을 의미한다. 오차항 e_{it}는 시간 불변의 지역 특성을 나타내는 μ_i와 시간과 지역에 따라 변하는 오차항인 ϵ_{it} 두 개의 항으로 구분할 수 있다. 오차항 μ_i를 고정효과로 보는지 확률효과로 보는지에 따라 추정방법이 달라진다. 고정효과 모형에서는 μ_i를 지역별로 고정된 모수로 해석하는 반면 확률효과 모형에서는 확률분포를 따르는 확률변수로 해석한다. 고정효과 모형과 확률효과 모형 중 어느 모형이 더 적합한지는 하우스만 검정을 통해 판정한다. 하우스만 검정 결과 독립변수와 오차항 μ_i사이에 상관성이 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각하는 경우 고정효과 모형을 사용하며 기각하지 않는 경우에는 확률효과 모형을 채택한다.

공간 단위로 수집된 통계자료를 활용하여 분석할 경우 종속변수끼리 상관관계를 가지게 되는 공간적 종속성(Spatial Dependence)이 존재할 수 있다. 공간계량모형은 공간적 종속성을 고려해줌으로써

이를 고려하지 않았을 때 발생할 수 있는 추정치의 편의(bias) 문제를 해결할 수 있다(이성우 외, 2006). 본 연구에서는 최소자승모형을 비롯하여 다양한 공간계량모형 중 공간오차모형(Spatial Error Model, SEM), 공간자기회귀모형(Spatial Autocorrelation Model, SAR), 일반공간모형(General Spatial Model, SAC), 독립변수의 공간래그모형(Spatial Lag of X Model, SLX)을 활용하고 이 중 가장 적합한 모형을 선정하였다.

최소자승모형은 가장 일반적으로 사용되는 회귀분석모형으로 등분산성과 비자기상관성을 가정하고 있다. 수식 (1)을 행렬 형태로 나타내면 다음의 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{OLS} \qquad \begin{aligned} y &= X\beta + \epsilon \\ \epsilon &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \qquad (2)$$

최소자승모형은 비자기상관성을 가정하기 때문에 종속변수인 사과 및 배 생산량 또는 독립변수인 기상요인이 인접 지역 간에 상관관계를 가질 경우 추정치의 편의 문제가 발생한다. 이러한 공간적 종속성을 어떻게 통제하느냐에 따라 공간계량모형의 차이가 존재한다. 첫 번째로 소개할 공간오차모형은 오차항에 공간적 종속성을 포함한 모형으로 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. W는 공간가중행렬(Spatial Weight Matrix)을 나타내고 λ는 공간가중행렬의 계수로 공간적 자기상관성을 보정하는 역할을 수행한다.

$$\text{SEM} \qquad \begin{aligned} y &= X\beta + u \\ u &= \lambda W u + \epsilon \\ \epsilon &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \qquad (3)$$

다음으로 공간자기회귀모형은 종속변수의 공간적 종속정도가 지역 간 인접정도에 따라 다르다는 것을 가정하는 모형으로 수식 (4)와 같이 표현할 수 있다. ρ는 종속변수의 공간 래그 항(Spatial Lagged

Term)의 계수를 나타낸다.

SAR
$$y = \rho Wy + X\beta + \epsilon \qquad (4)$$
$$\epsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

일반공간모형은 앞서 설명한 공간오차모형과 공간자기회귀모형을 통합하여 종속변수와 오차항 모두에서 공간적 종속성을 고려한 가장 일반적인 형태의 모형으로 수식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

SAC
$$y = \rho W_1 y + X\beta + \epsilon \qquad (5)$$
$$u = \lambda W_2 u + \epsilon$$
$$\epsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

마지막으로 독립변수의 공간래그모형은 인접 지역 간 독립변수의 공간적 종속성을 고려한 모형으로 수식 (6)과 같이 표현할 수 있다. 독립변수에 공간가중행렬을 곱한 WX항을 새로운 독립변수로 추가하여 추정하며 θ는 WX항의 추정계수를 의미한다.

SLX
$$y = X\beta + WX\theta + \epsilon \qquad (6)$$
$$\epsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

공간계량모형의 적용을 위해서는 공간가중행렬을 어떻게 정의하는지가 중요하다. 공간가중행렬은 크게 인접성(Contiguity)을 기준으로 구축하는 방법과 거리(Distance)를 기준으로 구축하는 방법이 있다. 인접성을 기준으로 하는 경우 Rook, Queen 등의 방법이 있으며 거리를 고려하는 경우 임계거리(Threshold Distance)를 설정하고 그 이내인 경우 1의 값을 부여하거나 거리의 역수를 사용한다. 본 연구에서는 다양한 공간가중행렬을 생성하여 비교하였으며 그 중 선행연구에서 주로 활용되는 역거리(Inverse Distance) 행렬을 공간가중

행렬로 활용하였다. 또한 이때의 임계거리는 모든 지역이 최소한 하나의 지역과 연계되도록 두 지역 간 거리의 최대값을 활용하였다.

본 연구에서는 공간계량모형 적용의 타당성을 검증하기 위해 종속변수로 설정한 사과 및 배 생산량의 공간적 자기상관성 여부를 검증하였다. 2020년 사과 및 배 생산량에 대해 Moran's I 검증기법을 적용한 결과는 <표 3-6>과 같다. 검정 결과 사과와 배 모두 1%의 유의수준 하에서 공간적 자기상관성을 지니는 것으로 도출되었다. 또한 사과의 Moran's I 지수가 더 높은 것으로 분석되어 사과의 공간적 자기상관성의 정도가 배에 비해 높게 나타남을 알 수 있다. 검정 결과를 통해 공간계량모형의 적용이 타당함을 확인할 수 있다.

<표 3-6> 공간적 자기상관성 검정 결과

	Moran's I Index	P-value
사과	0.438	<0.001
배	0.036	<0.001

본 연구에서 기후변화에 따른 지역 과수생산 영향을 분석하기 위해 활용한 추정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\log(\text{생산량}) = \beta_0 + \beta_1 \text{연평균기온} + \beta_2 \text{연평균기온}^2 + \beta_3 \log(\text{강수량}) \\ + \beta_4 \log(\text{일사량}) + \beta_5 \log(\text{재배최적지 및 적지 면적}) \\ + \beta_6 \log(\text{농가수})\end{aligned}$$

기상요인의 변화에 따른 변화율을 파악하기 위해 종속변수인 생산량을 로그변환하였으며 연평균기온 외에 다른 독립변수도 로그변환하였다. 연평균기온 변수에 대해서는 특정 온도 범위에서 재배적지인 조건을 반영하기 위해 연평균기온의 이차항 변수를 함께 고려하였다.

모형 추정에 앞서 본 연구에서 설정한 변수들 간에 다중공선성이

존재하는지 여부를 분산팽창지수(Variance Inflation Factor, VIF)를 통해 진단하였다. 다중공선성 진단 결과는 <표 3-7>과 같으며 이차항이 포함된 연평균기온 변수를 제외하고 다른 독립변수들의 분산팽창지수가 5보다 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 본 연구에 사용된 독립변수들에 있어 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다.

<표 3-7> 분산팽창지수

	사과	배
연평균기온	142.51	135.98
연평균기온 이차항	149.45	137.09
강수량	1.51	1.56
일사량	1.50	1.53
재배최적지 및 적지 면적	2.18	1.73
농가 수	2.02	1.72

본 연구에서 추정에 활용한 OLS, SEM, SAR, SAC, SLX 모형에 대한 하우스만 검정 결과, 사과 분석에서의 OLS 모형에서만 통계적으로 유의하지 않았으며 나머지 모형에 대해서는 P-value 값이 0.01보다 작으므로 독립변수와 오차항 μ_i사이에 상관성이 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각한다. 따라서 사과의 OLS 모형에서는 임의효과 모형을, 이 외의 모형에서는 고정효과 모형을 선택하는 것이 적절하다.

사과 생산함수의 분석 결과는 <표 3-8>과 같다. 이 중 본 연구에서 기후변화 시나리오에 따른 생산량 변화 모의실험에서 중요하게 활용하는 변수인 연평균기온의 계수가 유의하게 나온 SEM, SAR, SAC 모형 중 잔차제곱합(Residual Sum of Squares, RSS)이 가장 작은 SAR 모형을 중심으로 분석하고자 한다. SAR 모형에서 연평균기온 및 연평균기온 이차항, 강수량, 일사량, 재배 최적지 및 적지

면적, 농가 수, 그리고 ρ는 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다. 연평균기온 변수는 이차함수의 형태로서 약 10.84℃일 때 생산량이 가장 많으며 이보다 낮거나 높을 때 생산량이 감소함을 의미한다. 또한 강수량이 1% 증가할 때 생산량은 0.520% 증가하며 일사량이 1% 증가할 경우에는 생산량이 5.196% 증가하는 것으로 추정되었다. 토양요인을 고려한 재배최적지 및 적지 면적이 1% 증가할 경우에는 사과 생산량이 0.419% 증가할 것으로 예상된다. 마지막으로 농가 수가 1% 증가할 때 생산량이 1.293% 증가하며, 이를 통해 사과 재배에 있어 농가 수 증가에 따른 규모의 경제 효과가 있음을 알 수 있다.

<표 3-8> 사과 생산 분석

	OLS	SEM	SAR	SAC	SLX
상수	-33.490 ***				
연평균기온	-0.279	0.693 ***	0.597 **	0.695 ***	-0.062
연평균기온 이차항	0.006	-0.039 ***	-0.028 **	-0.039 ***	0.011
강수량	-0.049	-0.210	0.520 ***	-0.202	0.139
일사량	4.007 ***	3.852 ***	5.196 ***	3.880 ***	1.602
재배최적지 및 적지 면적	0.793 ***	0.277 ***	0.419 ***	0.230 ***	
농가 수	1.115 ***	1.256 ***	1.293 ***	1.260 ***	0.869 ***
공간가중 연평균기온					-0.262
공간가중 연평균기온 이차항					-0.001
공간가중 강수량					-0.227
공간가중 일사량					0.867
공간가중 농가 수					-0.338 *
ρ			0.227 ***	0.009	
λ		0.646 ***		0.637 ***	
R^2	0.567				0.105
RSS	200.432	1279.462	855.852	1250.367	159.007

p-value <0.001: ***, <0.01: **, <0.05: *

배 생산함수의 분석 결과는 <표 3-9>와 같다. 배의 경우에는 연평균기온 및 연평균기온 이차항, 강수량, 일사량, 재배최적지 및 적지 면적, 농가 수, 그리고 ρ 변수에 대해 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다. 연평균기온이 약 11.41℃일 때 생산량이 가장 많은 것으로 추정되었다. 또한 강수량이 1% 증가할 때 생산량은 0.345% 감소하며 일사량이 1% 증가할 때에는 생산량이 2.775% 증가할 것으로 예측된다. 토양요인을 고려한 재배최적지 및 적지 면적이 1% 증가할 경우에는 배 생산량이 0.360% 증가할 것으로 예상된다. 농가 수가 1% 증가할 때 생산량이 1.003% 증가하여 규모의 경제 효과가 있는 것으로 관측되었다.

<표 3-9> 배 생산 분석

	OLS	SEM	SAR	SAC	SLX
연평균기온	-0.448 *	1.699 ***	1.944 ***	1.714 ***	-0.596
연평균기온 이차항	0.007	-0.079 ***	-0.085 ***	-0.079 ***	0.044 **
강수량	0.043	-0.065	-0.345 **	-0.073	-0.400 *
일사량	1.031 *	2.883 ***	2.775 ***	2.886 ***	-5.821 ***
재배최적지 및 적지 면적		0.438 ***	0.360 ***	0.434 ***	
농가 수	1.210 ***	1.034 ***	1.003 ***	1.035 ***	0.753 ***
공간가중 연평균기온					1.612 *
공간가중 연평균기온 이차항					-0.090 **
공간가중 강수량					0.681 **
공간가중 일사량					2.246
공간가중 농가 수					3.720 ***
ρ			0.236 ***	0.062	
λ		0.784 ***		0.755 ***	
R^2	0.311				0.428
RSS	117.909	871.978	791.149	841.409	97.966

p-value <0.001: ***, <0.01: **, <0.05: *

SAR 모형의 기본 수식 (4)에서 y항을 좌변에 이항하고 정리하면 수식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$y=(I-\rho W)^{-1}(X\beta+\epsilon) \tag{7}$$

여기서 $(I-\rho W)^{-1}$항은 공간승수(Spatial Multiplier)로서 공간적 파급효과를 의미한다. x_k항이 변화할 때의 한계효과(Marginal Effect)는 $(I-\rho W)^{-1}\beta_k$와 같으며, 이는 직접효과와 간접효과로 구분할 수 있다. 직접효과는 $(I-\rho W)^{-1}$ 행렬의 대각원소로 산출하며 특정 변수의 변화가 해당 지역에 미치는 효과를 의미한다. 간접효과는 $(I-\rho W)^{-1}$ 행렬의 비대각원소의 행 합으로 계산하며 특정 변수의 변화가 이웃 지역에 미치는 공간적 파급효과를 나타낸다. 각 독립변수에 대한 SAR 모형에서의 직접효과, 간접효과 및 총 효과는 <표 3-10>과 같다. 사과의 경우 직접효과가 총 효과의 78%로 배 분석 결과에서의 직접효과의 비중 76%보다 높다. 이는 사과가 배에 비해 독립변수의 변화가 주변 지역에 미치는 파급효과보다 해당 지역에 미치는 직접적인 영향이 더 크다는 것을 의미한다.

<표 3-10> 한계효과

	사과			배		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
연평균기온	0.606	0.166	0.772	1.947	0.599	2.546
연평균기온 이차항	-0.028	-0.008	-0.036	-0.085	-0.026	-0.112
강수량	0.528	0.145	0.674	-0.345	-0.106	-0.452
일사량	5.275	1.449	6.724	2.779	0.856	3.635
재배최적지 및 적지 면적	0.425	0.117	0.542	0.361	0.111	0.472
농가 수	1.313	0.361	1.673	1.004	0.309	1.313

본 연구에서는 기후변화에 따른 지역별 사과 및 배 생산량 변화를 분석하기 위해 SAR 모형 추정 결과를 바탕으로 모의실험을 구성하였다. 온실가스 저감정책의 실현정도에 따른 비교를 위해 현재 추세대로 온실가스를 배출하는 경우인 RCP8.5 시나리오와 온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우인 RCP6.0 시나리오를 가정하였다. 또한 기후변화에 따라 사과의 재배적지는 감소하지만 2040년까지 배의 재배적지는 증가한다는 농촌진흥청(2015)의 연구결과를 바탕으로 분석 대상 시점은 2040년으로 선정하였다. RCP 시나리오에 따른 각 지역의 연평균기온, 강수량 및 일사량 등 기상요인 전망치를 반영하여 지역별 사과 및 배의 생산량 변화를 추정하였다. 단년도 기상요인 값의 변동성을 고려하여 기상요인 전망치는 2015~2020년 대비 2035~2040년의 변화분을 활용하였다. 과수의 재배적지 및 재배가능지 구분에 중요한 기준이 되는 연평균기온 변수를 중심으로 기온의 변화만 고려하는 경우와 강수량과 일사량 변화도 함께 고려하는 경우를 분석하였다. SAR 모형에 따른 2020년 생산량 추정치와 기상요인 전망을 반영한 2040년 추정치 간의 변화율을 계산하고, 이를 2020년 실측치에 곱하여 2040년의 예측치를 추산하였다.

RCP6.0 시나리오에 따른 사과 생산량 변화를 상·하위 10개 기초자치단체 및 광역자치단체에 대해 정리한 결과는 <표 3-11>과 같다. 기온의 변화만 고려할 경우 사과 생산량은 19,223톤 감소할 것으로 추정된다. 지역별로는 강원 지역의 생산량만 332톤 증가하며 사과의 주요 재배지인 경북 지역은 생산량이 12,350톤으로 가장 크게 감소할 것으로 예상된다. 반면, 강수량과 일사량 변화도 함께 고려할 경우에는 사과 생산량이 128,789톤 증가할 것으로 전망되며 특히 경북 지역의 생산량 증가폭이 83,614톤으로 가장 크게 나타난다. 이처럼 기온만 고려할 경우와 다른 결과가 도출된 이유는 사과 생산함수의 추정결과 강수량과 일사량의 증가에 따라 생산량이 증가하며, 그 증가폭이 기온으로 인한 생산량 감소폭보다 훨씬 크게 나타나기 때문이다.

<표 3-11> RCP6.0 시나리오에 따른 사과 생산량 변화

(단위: 톤)

	기온		기온+강수량 +일사량	기온 +강수량	기온 +일사량
상위 10개 기초자치단체					
경북 봉화	395	경북 영주	15,847	5,827	7,535
강원 정선	125	경북 안동	12,650	3,172	6,302
강원 평창	65	경북 청송	10,786	3,293	5,880
강원 양구	51	경북 문경	9,818	3,384	4,760
강원 홍천	40	경북 봉화	9,519	4,176	4,960
강원 영월	24	경북 의성	8,198	1,565	3,794
강원 인제	17	경남 거창	6,484	1,461	3,795
강원 화천	11	충북 충주	5,985	1,459	3,257
강원 철원	9	경북 예천	3,227	986	1,336
강원 횡성	8	전북 장수	3,040	775	1,917
하위 10개 기초자치단체					
경북 문경	-703	전남 해남	-1	-2	0
충남 예산	-756	경남 남해	-1	-3	-1
경남 거창	-787	경남 통영	-1	-1	-1
경북 영천	-900	경남 고성	-1	-6	-2
경북 청송	-959	경남 김해	-1	-8	-5
경북 영주	-975	부산 기장	-1	-2	-2
경남 밀양	-1,337	전남 여수	-1	-5	-2
경북 포항	-1,365	경남 거제	-3	-6	-5
경북 안동	-2,023	경남 창원	-5	-32	-19
경북 의성	-2,060	경남 양산	-8	-45	-15
광역자치단체					
강원	332	경북	83,614	23,731	40,161
대전	-1	충북	18,142	4,432	10,026
부산	-4	경남	9,572	598	5,454
울산	-8	전북	7,829	1,825	4,673
경기	-64	충남	5,130	871	2,411
대구	-86	강원	3,333	1,061	2,418
전남	-303	전남	610	-21	264
전북	-711	경기	480	113	262
충남	-1,328	대구	78	-50	34
충북	-1,843	대전	3	0	1
경남	-2,857	울산	0	-5	-3
경북	-12,350	부산	-2	-3	-2
계	-19,223	계	128,789	32,551	65,698

RCP8.5 시나리오에 따른 상·하위 10개 기초자치단체 및 광역자치단체의 사과 생산량 변화는 <표 3-12>와 같다. 전국적인 사과 생산량은 기온만 고려할 경우에는 40,384톤 감소하는 반면, 강수량과 일사량의 변화도 고려하면 253,531톤 증가할 것으로 계측된다. RCP6.0 시나리오와 비교하여 변화량이 각각 2배, 1.9배 크게 나타났으며, 이는 RCP8.5 시나리오에 따른 기온, 강수량 및 일사량의 증가폭이 RCP6.0 시나리오보다 크기 때문이다. 지역별 변화를 살펴보면 RCP 6.0 시나리오와 유사하게 기온만 변화할 때 강원 지역의 생산량만 442톤 증가하고 경북 지역 25,962톤 감소를 비롯해 대부분 지역의 생산량이 감소하는 양상을 보인다. 강수량 및 일사량의 변화를 함께 고려하면 경북 지역의 생산량이 166,792톤으로 가장 많이 증가하고 모든 지역의 생산량이 증가할 것으로 추산된다. RCP8.5 시나리오에서 강수량 및 일사량이 크게 증가하기 때문에 모든 지역의 생산량이 증가하는 결과가 도출된 것으로 추정된다.

<표 3-12> RCP8.5 시나리오에 따른 사과 생산량 변화

(단위: 톤)

	기온		기온+강수량 +일사량	기온 +강수량	기온 +일사량
상위 10개 기초자치단체					
경북 봉화	310	경북 청송	29,929	3,256	21,105
강원 정선	185	경북 영주	26,831	1,266	20,593
강원 평창	108	경북 안동	21,533	-970	16,488
강원 양구	69	경북 봉화	17,085	2,794	13,157
강원 홍천	59	경북 문경	16,714	1,004	12,290
강원 영월	26	경남 거창	16,346	752	12,457
강원 인제	25	경북 의성	14,113	-1,783	10,666
강원 화천	14	충북 충주	8,440	-102	6,412
강원 횡성	10	경북 포항	6,478	-1,159	4,220
강원 철원	9	전북 장수	6,351	453	5,031
하위 10개 기초자치단체					
경북 영천	-1,626	대전 서구	0.386	-0.222	0.309
경남 거창	-1,638	경기 과천	0.346	-0.084	0.220
충남 예산	-1,666	부산 북구	0.263	-0.137	0.140
경북 문경	-1,699	대전 중구	0.215	-0.131	0.178
경남 밀양	-2,348	울산 동구	0.173	-0.113	0.067
경북 청송	-2,446	울산 남구	0.100	-0.051	0.039
경북 영주	-2,560	경기 안양	0.070	-0.021	0.043
경북 포항	-2,563	부산 사하	0.036	-0.029	0.014
경북 의성	-3,967	부산 동래	0.012	-0.008	0.005
경북 안동	-4,155	부산 해운대	0.003	-0.002	0.001
광역자치단체					
강원	442	경북	166,792	1,199	123,546
대전	-2	경남	28,150	-893	20,949
부산	-7	충북	26,781	-252	20,629
울산	-15	전북	14,907	528	11,505
대구	-146	충남	7,830	-895	4,547
경기	-171	강원	6,566	1,082	5,547
전남	-570	전남	1,453	-211	875
전북	-1,579	경기	763	-38	560
충남	-3,033	대구	252	-108	188
충북	-3,994	울산	24	-8	13
경남	-5,348	부산	8	-5	4
경북	-25,962	대전	3	-2	3
계	-40,384	계	253,531	399	188,367

배의 경우, RCP6.0 시나리오에 따른 상·하위 8개 기초자치단체 및 광역자치단체의 생산량 변화는 <표 3-13>과 같다. 배의 생산량은 기온만 변화할 경우 25,093톤 감소할 것으로 전망된다. 지역별로 살펴보면 강원 지역만 생산량이 83톤 증가하고 전남 지역 7,747톤 감소, 충남 지역 6,867톤 감소를 비롯해 대부분 지역에서 생산량이 감소할 것으로 예상된다. 다른 기상요인인 강수량과 일사량도 고려하면 배 생산량 감소폭은 22,003톤으로 줄어든다. 강원 지역의 생산량은 159톤 늘어나고 전남과 충남 지역의 생산량은 각각 6,807톤, 6,035톤 감소한다. 사과 생산량 변화와 달리 기온만 고려했을 때와 다른 기상요인도 고려할 때의 변화 양상이 달라지지 않았다. 배 생산함수 추정결과 강수량의 계수가 음의 값으로 도출되어 강수량 증가에 따라 생산량이 감소하였고 양의 값을 갖는 일사량의 계수가 2.775로 사과 생산함수 추정결과에서의 5.196에 비해 상대적으로 작아 기온 상승으로 인한 생산량 감소폭을 다소 축소시키는 데 그친 것으로 판단된다.

<표 3-13> RCP6.0 시나리오에 따른 배 생산량 변화

(단위: 톤)

	기온		기온+강수량 +일사량	기온 +강수량	기온 +일사량
상위 8개 기초자치단체					
강원 화천	35	강원 화천	49	17	69
경기 가평	17	경기 가평	34	1	52
강원 인제	13	강원 인제	20	11	23
강원 평창	10	강원 춘천	13	-2	21
강원 정선	8	강원 평창	12	8	14
강원 양구	7	강원 양구	10	4	13
강원 춘천	6	강원 정선	10	6	12
경북 영양	5	경기 양평	9	-77	67
하위 8개 기초자치단체					
충남 논산	-717	충남 논산	-697	-1,002	-377
경북 상주	-743	전북 전주	-707	-928	-443
경기 평택	-764	경기 평택	-744	-1,120	-341
전남 영암	-928	전남 영암	-784	-976	-733
경기 안성	-1,373	경기 안성	-1,132	-2,175	-217
충남 아산	-1,914	충남 아산	-1,647	-2,720	-736
충남 천안	-2,725	충남 천안	-2,382	-4,219	-695
전남 나주	-5,208	전남 나주	-4,658	-5,879	-3,919
광역자치단체					
강원	83	강원	159	11	241
대구	-34	대구	-30	-37	-26
서울	-49	서울	-45	-63	-30
광주	-61	광주	-56	-70	-46
부산	-101	부산	-96	-104	-93
세종	-252	세종	-240	-355	-124
인천	-300	인천	-254	-395	-150
대전	-302	대전	-273	-385	-179
울산	-381	충북	-325	-790	37
충북	-472	울산	-357	-411	-325
경남	-720	경남	-592	-780	-526
경북	-1,661	경북	-1,474	-2,371	-686
전북	-2,465	전북	-2,427	-3,405	-1,369
경기	-3,762	경기	-3,154	-5,777	-877
충남	-6,867	충남	-6,035	-10,073	-2,420
전남	-7,747	전남	-6,807	-8,651	-5,812
계	-25,093	계	-22,003	-33,656	-12,383

RCP8.5 시나리오에 따른 배 생산량 변화를 상·하위 8개 기초자치단체 및 광역자치단체에 대해 정리한 결과는 <표 3-14>와 같다. 배의 총 생산량은 기온만 변화할 때 49,537톤 감소하고, 강수량과 일사량도 함께 변화할 때에는 이보다 작은 34,219톤 감소할 것으로 예상된다. RCP6.0 시나리오와 비교하면 기온만 고려할 경우에는 생산량 감소폭이 2배 늘어났으며, 다른 기상요인도 고려했을 때에는 1.6배 증가하였다. 이는 RCP8.5 시나리오에서 기상요인의 변화가 더 크게 나타나고 특히 기온의 변화로 인한 영향이 크기 때문으로 추정된다. 지역별로는 기온만 변화할 때 강원 지역의 생산량은 74톤 증가하는 반면, 충남 지역 14,594톤 감소를 비롯해 나머지 지역의 생산량은 감소하였다. 강수량 및 일사량도 고려할 경우에는 강원 지역 생산량은 349톤 증가하는 반면, 전남 지역의 생산량 감소폭이 10,756톤으로 가장 컸다.

<표 3-14> RCP8.5 시나리오에 따른 배 생산량 변화

(단위: 톤)

	기온		기온+강수량 +일사량	기온 +강수량	기온 +일사량
상위 8개 기초자치단체					
강원 홍천	50	강원 홍천	106	33	127
강원 인제	21	경기 가평	74	1	91
강원 평창	17	강원 인제	40	18	44
경기 가평	14	경기 양평	32	-140	81
강원 정선	12	전북 장수	30	-30	47
강원 양구	8	경북 영양	30	-10	43
강원 횡성	6	강원 원주	26	-47	48
강원 화천	6	강원 평창	26	15	29
하위 8개 기초자치단체					
충남 논산	-1,402	전북 전주	-966	-1,342	-818
경북 상주	-1,505	충남 논산	-967	-1,520	-816
경기 평택	-1,636	경기 평택	-1,282	-1,869	-985
전남 영암	-1,650	전남 영암	-1,342	-1,777	-1,178
경기 안성	-3,031	경기 안성	-1,833	-3,562	-1,151
충남 아산	-4,036	충남 아산	-2,877	-4,560	-2,213
충남 천안	-5,877	충남 천안	-3,736	-6,879	-2,460
전남 나주	-8,836	전남 나주	-7,202	-9,658	-6,133
광역자치단체					
강원	74	강원	349	9	433
대구	-53	대구	-40	-57	-35
광주	-102	서울	-82	-112	-72
서울	-104	광주	-85	-111	-74
부산	-178	부산	-150	-189	-136
세종	-486	세종	-325	-532	-265
대전	-549	충북	-355	-1,215	-117
울산	-656	대전	-387	-575	-353
인천	-838	울산	-529	-712	-456
충북	-1,031	인천	-683	-899	-608
경남	-1,228	경남	-845	-1,326	-718
경북	-3,196	경북	-1,571	-3,671	-956
전북	-4,554	전북	-3,384	-5,106	-2,675
경기	-8,620	경기	-5,459	-9,940	-3,775
전남	-13,421	충남	-9,918	-16,695	-7,249
충남	-14,594	전남	-10,756	-14,649	-9,162
계	-49,537	계	-34,219	-55,782	-26,219

시도별 사과 생산량 변화 예측치를 금액으로 환산하기 위해 농축산물소득자료집의 2020년 각 시도별 사과 농가판매가격을 곱한 결과는 <표 3-15>와 같다. RCP6.0 시나리오에서 기온의 변화만 고려할 경우 사과 생산액은 5,821억 원 감소하며 다른 기상요인도 고려할 경우에는 3조 8,546억 원 증가할 것으로 예상된다. RCP8.5 시나리오에서는 이보다 각각 2.1배, 2배 큰 1조 2,180억 원 감소와 7조 6,535억 원 증가로 추산된다.

<표 3-15> 시도별 사과 생산액 변화

(단위: 십억 원)

	RCP6.0		RCP8.5	
	기온	기온+강수량+일사량	기온	기온+강수량+일사량
서울	0	0	0	0
인천	0	0	0	0
경기	-2.91	21.70	-7.71	34.51
대전	-0.04	0.10	-0.07	0.11
세종	0	0	0	0
충북	-50.00	492.19	-108.37	726.58
충남	-29.71	114.80	-67.87	175.24
광주	0.00	0.00	0.00	0.00
전북	-20.96	230.73	-46.53	439.30
전남	-10.88	21.90	-20.47	52.16
대구	-2.67	2.42	-4.53	7.80
경북	-380.62	2,576.98	-800.15	5,140.54
부산	-0.11	-0.06	-0.22	0.25
울산	-0.24	0.01	-0.45	0.74
경남	-92.33	309.36	-172.83	909.82
강원	8.42	84.48	11.21	166.46
제주	0	0	0	0
계	-582.05	3,854.61	-1,217.99	7,653.49

배의 생산량 변화에 대해서 금액으로 환산한 결과는 <표 3-16>과 같다. 기온만 고려할 경우에 RCP6.0 시나리오에서 생산액은 8,059억 원 감소하며 RCP8.5 시나리오에서는 이보다 2배 큰 1조 5,890억 원 감소할 것으로 전망된다. 강수량과 일사량의 변화도 고려하면 생산액 감소분은 RCP6.0 시나리오에서는 7,049억 원, RCP8.5 시나리오에서는 1.6배 큰 1조 1,021억 원으로 추정된다.

<표 3-16> 시도별 배 생산액 변화

(단위: 십억 원)

	RCP6.0		RCP8.5	
	기온	기온+강수량+일사량	기온	기온+강수량+일사량
서울	-1.52	-1.39	-3.21	-2.54
인천	-9.28	-7.85	-25.92	-21.11
경기	-170.14	-142.63	-389.82	-246.86
대전	-9.34	-8.43	-16.97	-11.98
세종	-7.79	-7.41	-15.03	-10.03
충북	-12.81	-8.81	-27.96	-9.63
충남	-153.69	-135.06	-326.62	-221.97
광주	-2.19	-2.01	-3.66	-3.07
전북	-72.65	-71.53	-134.22	-99.71
전남	-278.13	-244.35	-481.80	-386.13
대구	-1.04	-0.91	-1.65	-1.23
경북	-51.18	-45.42	-98.49	-48.42
부산	-3.13	-2.97	-5.51	-4.63
울산	-11.77	-11.04	-20.28	-16.34
경남	-23.27	-19.13	-39.68	-27.32
강원	2.10	4.04	1.87	8.85
제주	0	0	0	0
계	-805.85	-704.90	-1,588.96	-1,102.13

제 3 절 파급효과 분석

지역별 사과와 배의 생산 변화로 인한 경제적 파급효과를 분석하기 위해 본 연구에서는 사회계정행렬을 활용하였다. 사회계정행렬은 경제주체 간 재화 및 화폐의 흐름을 정리한 행렬 형태의 자료시스템으로서 경제주체의 수입 및 지출구조를 반영할 수 있도록 산업연관표를 기반으로 작성한다. 산업연관표는 재화 및 서비스의 생산 및 배분구조에 중점을 두고 산업부문별 생산활동의 변동을 구체적으로 파악할 수 있으나 경제주체별 소득의 발생, 분배 및 재분배의 흐름을 구체적으로 파악하기 어렵다(국회예산정책처, 2008). 사회계정행렬은 산업연관표를 보완하고 확장한 자료로서 산업연관표에서 제공되지 않는 자료는 균형조건 또는 외부 통계자료를 이용하여 추산한다. 사회계정행렬의 행(Row) 방향은 수입구조를, 열(Column) 방향은 지출구조를 기입하며 각 경제주체 부문별 수입과 지출이 균형을 유지하도록 작성한다(안홍기 외, 2018). 행 합은 각 경제주체의 총소득을, 열 합은 총지출을 나타내며 행과 열을 구성하는 항목이 동일하여 정방행렬의 형태를 취한다.

본 연구에서는 기후변화로 인한 지역별 과수 생산량 변화가 지역경제에 미치는 영향을 계측하기 위해 시도별 과수산업을 중심으로 사회계정행렬을 구축하였다. 사회계정행렬 구축의 기반이 되는 산업연관표는 구득가능한 최신자료인 2015년 지역산업연관표와 2019년 전국산업연관표를 기반으로 2019년 지역산업연관표를 추산하였다. 우선, 2015년 지역산업연관표의 각 항목별로 전국 대비 지역의 비중을 계산하고 이를 2019년 전국산업연관표 값에 곱하여 2019년의 지역 및 산업간 거래관계를 추정하였다. 다음으로, 2019년 전국산업연관표를 토대로 전국단위 사회계정행렬을 구축하고 지역 단위로 세분화된 사회계정행렬을 구축하기 위해 2019년 지역산업연관표의 전국 대비 지역 비중을 활용하여 지역 단위 값을 계산하였다. 지역산

업연관표에서 제공되지 않는 가계저축, 정부저축, 가계가 정부로 납부하는 직접세, 정부가 가계에 제공하는 가계보조금 등 경제주체 간 수입 및 지출 관계는 한국은행의 2019년 국민계정 일반정부 총수입 및 총저축 자료와 사회계정행렬의 행과 열의 균형조건을 이용하여 추산하였다.

사회계정행렬의 경제주체는 생산요소, 가계, 생산, 정부, 자본계정, 해외계정 등으로 구성되며 분석 목적에 따라 경제주체 구성을 다양하게 설정할 수 있다. 본 연구의 사회계정행렬은 생산요소 34개, 가계 17개, 생산 58개, 정부 1개, 자본계정 1개 등 내생부문 111개와 정부소비 17개, 민간투자 17개, 정부투자 17개, 세계계정 1개, 외생계정 1개 등 외생부문 53개, 총 164개 계정으로 구성되었다. 생산요소, 가계, 정부소비, 민간투자 및 정부투자에 대해서는 17개 시도로 세분화하였으며 정부, 자본계정, 세계계정 및 외생계정은 전국단위의 단일 계정으로 구성하였다. 생산부문에서는 사과와 배 산업이 포함된 최소 단위인 채소 및 과실 산업과의 연관성이 높은 농식품 산업은 소분류 단위로 세분화하였으며 그 외 산업은 대분류를 기준으로 하여 165개 산업 소분류를 42개 산업으로 조정하였다. 채소 및 과실 산업은 지역별 영향 분석을 위해 17개 시도로 구분하여 생산부문은 총 58개 부문으로 구성된다.

<표 3-17> 사회계정행렬 산업 분류

산업 분류 (42개 산업)		
채소 및 과실	비료 및 농약	도소매 및 상품중개서비스
작물	화학제품	운송서비스
기타작물	비금속광물제품	음식점 및 주점
작물 외 농림수산품	1차 금속제품	숙박서비스
광산품	금속가공제품	정보통신 및 방송 서비스
축수산가공품	컴퓨터, 전자 및 광학기기	금융 및 보험 서비스
제분 및 제당	전기장비	부동산서비스
떡, 과자 및 면류	기계 및 장비	전문, 과학 및 기술 서비스
조미료 및 유지	운송장비	사업지원서비스
기타 식료품	기타 제조업 제품	공공행정, 국방 및 사회보장
음료 및 담배	제조임가공 및 산업용 장비 수리	교육서비스
섬유 및 가죽제품	전력, 가스 및 증기	보건 및 사회복지서비스
목재 및 종이, 인쇄	수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스
석탄 및 석유제품	건설	기타

본 연구에서 사용된 사회계정행렬의 구조와 계정별 수입 및 지출액은 각각 <표 3-18>, <표 3-19>와 같다. 가계부문의 수입은 노동에 대한 임금 913조 원, 자본에 대한 이윤 449조 원, 정부로부터의 보조금 208조 원으로 구성되며, 지출은 생산부문에 대한 소비액 937조 원, 정부로 납부하는 직접세 506조 원, 그리고 가계저축 124조 원으로 이루어진다. 정부부문의 수입은 가계부문의 직접세 506조 원, 생산부문의 간접세 165조 원으로 이루어지고, 지출은 가계 보조금 208조 원, 정부저축 36조 원, 정부 소비 329조 원, 정부투자 98조 원 등으로 구성된다. 자본계정은 가계부문의 가계저축 124조 원, 정부부문의 정부저축 36조 원, 생산부문의 감가상각액 382조 원 등의 수입을 거두며, 이는 민간투자 484조 원, 해외투자 30조 원, 재고증가 27조 원 등으로 지출된다. 세계계정은 다른 국가와의 경제적 상호거래관계를 나타내며 행으로 보면 수입 732조 원, 해외투자 30조 원 등 다른 국가로 외환이 지불되는 과정을 알 수 있고, 열로 보면 수출 762조 원 등 다른 국가로부터 외환이 수취되는 과정을 확인할 수 있다.

<표 3-18> 사회계정행렬 구조

지출 / 수입		생산요소		가계	생산	정부	자본계정	정부소비	민간투자	정부투자	세계계정	외생계정	합계
		노동	자본										
생산요소	노동				임금								노동소득
	자본				이윤								자본소득
가계		임금	이윤			보조금							가계소득
생산				민간소비	중간투입			정부소비	민간투자	정부투자	수출	재고증가	총산출
정부				직접세	간접세								정부수입
자본계정				가계저축	감가상각	정부저축							총저축
정부소비						정부소비							정부소비
민간투자							민간투자						민간투자
정부투자						정부투자							정부투자
세계계정					수입		해외투자						외환지불
외생계정							재고증가						재고증가
합계		노동소득	자본소득	가계지출	총투입	정부지출	총투자	정부소비	민간투자	정부투자	외환수취	재고증가	

<표 3-19> 사회계정행렬 계정별 수입 및 지출액

(단위: 조 원)

수입 \ 지출		생산요소		가계 (17)	생산 (58)	정부 (1)	자본 계정 (1)	정부 소비 (17)	민간 투자 (17)	정부 투자 (17)	세계 계정 (1)	외생 계정 (1)	합계
		노동 (17)	자본 (17)										
생산요소	노동				913								913
	자본				449								449
가계		913	449			208							1,566
생산				937	2,465			329	484	98	762	27	5,102
정부				506	165								670
자본 계정				124	382	36							541
정부 소비						329							329
민간 투자							484						484
정부 투자						98							98
세계 계정					732		30						762
외생 계정							27						27
합계		913	449	1,566	5,102	670	541	329	484	98	762	27	

사회계정행렬은 승수분석(Multiplier Analysis)을 통해 경제환경의 변화가 국민경제에 미치는 효과를 분석하는 데 이용된다. 사회계정행렬을 생산요소, 가계, 생산의 내생부문과 기타 외생부문으로 구분한 간략한 사회계정행렬 구조를 <표 3-20>과 같이 나타낼 수 있다.

<표 3-20> 간략 사회계정행렬 구조

	생산요소	가계	생산	열 외생	계
생산요소			X_{13}	F_1	X_1
가계	X_{21}	X_{22}		F_2	X_2
생산		X_{32}	X_{33}	F_3	X_3
행 외생	L_1	L_2	L_3		X_4
계	X_1	X_2	X_3	X_4	

내생부문의 값 X_{ij}를 해당 열의 총합인 X_j로 나눈 평균지출계수 a_{ij}는 총 지출액 대비 중간투입비율을 의미하며 모든 내생부문에 대해 계산한 a_{ij}로 계수행렬 A를 구성할 수 있다.

$$\frac{X_{ij}}{X_j} = a_{ij}$$

내생부문 간의 거래관계를 AX로 재정의할 수 있으며, 행 방향에 대하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$AX + F = X$$
$$(I - A)^{-1}F = X$$

행렬 A에 대하여 $(I-A)^{-1}$로 계산한 행렬 M은 승수행렬로서 각 원소 m_{ij}는 특정 외생부문 j가 한 단위 변화할 경우 내생부문 i에 미치는 직간접적인 파급효과를 나타낸다. 따라서 m_{ij}의 열방향 합은

외생부문 j가 내생부문 전반에 미치는 효과를 의미한다. 산업연관표는 산업부문에 유발하는 생산유발효과만 고려하지만 사회계정행렬은 산업과 생산주체 간 거래내역을 포함하여 생산증가가 민간소득과 소비를 증가시켜 다시 생산을 유발하는 환류효과를 포함한다(국회예산정책처, 2008).

본 연구에서는 생산요소, 가계, 생산, 정부 및 자본계정을 내생부문으로 설정하였으며 이외에 정부소비, 민간투자, 정부투자, 세계계정 및 외생계정을 외생부문으로 설정하였다. 이와 같이 구축한 사회계정행렬에서 계산한 승수행렬 M을 통해 기후변화로 인해 지역의 과수 생산액이 변화할 경우 산업, 지역별 가계소득, 정부세입 등 내생부문에 미치는 파급효과를 분석하였다. 총 파급효과는 직접효과와 간접효과로 구성되는데 직접효과는 기후변화로 인한 지역별 사과 또는 배 생산액 변화분의 합과 같으며 간접효과는 이로 인해 각 산업에 미친 파급효과를 나타낸다.

RCP6.0 시나리오 하에서 42개 산업에 대한 사과 생산의 파급효과는 <표 3-21>과 같다. 기온만 고려할 경우 채소 및 과실 산업의 생산액 5,821억 원 감소로 인한 총 파급효과는 1조 6,095억 원으로 추산된다. 산업별로는 비료 및 농약 제조업 843억 원, 도소매 및 상품중개서비스업 836억 원 등 과수 산업과 연관된 산업의 피해액이 클 것으로 예측된다. 강수량과 일사량의 변화도 반영할 경우에는 채소 및 과실 산업 생산액 3조 8,546억 원 증가로 인해 산업 전반에 10조 6,612억 원의 파급효과를 미칠 것으로 예상된다. 도소매 및 상품중개서비스업 5,538억 원, 비료 및 농약 제조업 5,404억 원 등의 순으로 파급효과가 크게 나타난다. 강수량과 일사량으로 인해 과수 생산이 증가하면서 연관 산업에도 긍정적인 파급효과가 예상된다.

<표 3-21> RCP6.0 시나리오에 따른 사과 생산 파급효과

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
채소 및 과실	-582.05	-6.80	-588.85	3,854.61	45.57	3,900.18
작물	0	-7.56	-7.56	0	49.72	49.72
기타작물	0	-16.27	-16.27	0	101.77	101.77
작물 외 농림수산품	0	-34.33	-34.33	0	226.25	226.25
광산품	0	-32.84	-32.84	0	216.47	216.47
축수산 가공품	0	-19.20	-19.20	0	129.81	129.81
제분 및 제당	0	-5.79	-5.79	0	38.79	38.79
떡, 과자 및 면류	0	-4.48	-4.48	0	30.51	30.51
조미료 및 유지	0	-5.09	-5.09	0	34.07	34.07
기타 식료품	0	-19.86	-19.86	0	132.25	132.25
음식 및 담배	0	-10.12	-10.12	0	67.80	67.80
섬유 및 가죽제품	0	-24.44	-24.44	0	163.14	163.14
목재 및 종이, 인쇄	0	-21.93	-21.93	0	144.02	144.02
석탄 및 석유제품	0	-36.99	-36.99	0	243.34	243.34
비료 및 농약	0	-84.32	-84.32	0	540.41	540.41
화학제품	0	-57.97	-57.97	0	380.26	380.26
비금속 광물제품	0	-2.55	-2.55	0	16.92	16.92
1차 금속제품	0	-10.20	-10.20	0	67.92	67.92
금속 가공제품	0	-8.87	-8.87	0	59.02	59.02
컴퓨터, 전자 및 광학기기	0	-25.94	-25.94	0	173.91	173.91
전기장비	0	-11.99	-11.99	0	79.91	79.91
기계 및 장비	0	-6.90	-6.90	0	45.75	45.75
운송장비	0	-24.93	-24.93	0	167.41	167.41
기타 제조업 제품	0	-6.37	-6.37	0	42.62	42.62

<표 3-21> RCP6.0 시나리오에 따른 사과 생산 파급효과(계속)

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
제조임가공 및 산업용 장비 수리	0	-12.98	-12.98	0	86.04	86.04
전력, 가스 및 증기	0	-29.23	-29.23	0	193.99	193.99
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	0	-5.70	-5.70	0	38.18	38.18
건설	0	-3.87	-3.87	0	25.69	25.69
도소매 및 상품중개서비스	0	-83.56	-83.56	0	553.82	553.82
운송서비스	0	-41.97	-41.97	0	278.39	278.39
음식점 및 주점	0	-52.78	-52.78	0	353.16	353.16
숙박서비스	0	-5.20	-5.20	0	37.78	37.78
정보통신 및 방송 서비스	0	-32.02	-32.02	0	214.23	214.23
금융 및 보험 서비스	0	-60.22	-60.22	0	399.09	399.09
부동산서비스	0	-67.99	-67.99	0	452.83	452.83
전문, 과학 및 기술 서비스	0	-31.36	-31.36	0	207.14	207.14
사업지원서비스	0	-22.39	-22.39	0	148.94	148.94
공공행정, 국방 및 사회보장	0	-2.16	-2.16	0	14.43	14.43
교육서비스	0	-22.68	-22.68	0	151.62	151.62
보건 및 사회복지 서비스	0	-26.38	-26.38	0	176.92	176.92
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	0	-18.13	-18.13	0	122.19	122.19
기타	0	-23.06	-23.06	0	154.52	154.52
계	-582.05	-1,027.41	-1,609.46	3,854.61	6,806.61	10,661.22

RCP8.5 시나리오에 따른 산업별 파급효과는 <표 3-22>와 같다. 기온 상승으로 인해 채소 및 과실 산업의 생산액이 1조 2,180억 원 감소하고 산업 전반에 2.8배 큰 3조 3,668억 원의 파급효과를 미친다. RCP6.0 시나리오의 결과와 마찬가지로 비료 및 농약 제조업, 도소매 및 상품중개서비스업에 가장 큰 영향을 미치지만 그 효과는 2.1배 큰 1,750억 원대로 예상된다. 강수량과 일사량의 증가도 반영하면 채소 및 과실 산업의 생산액이 7조 6,535억 원 증가하고, 이로 인한 총 파급효과는 21조 1,875억 원에 달한다. RCP6.0 시나리오에 비해 기상요인의 변화로 인한 생산 변동이 커지면서 이로 인한 파급효과도 2배가량 크게 계측되었다.

<표 3-22> RCP8.5 시나리오에 따른 사과 생산 파급효과

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
채소 및 과실	-1,217.99	-14.24	-1,232.23	7,653.49	90.31	7,743.79
작물	0	-15.81	-15.81	0	99.05	99.05
기타작물	0	-33.82	-33.82	0	206.03	206.03
작물 외 농림수산품	0	-71.84	-71.84	0	448.11	448.11
광산품	0	-68.66	-68.66	0	430.37	430.37
축수산 가공품	0	-40.25	-40.25	0	255.47	255.47
제분 및 제당	0	-12.14	-12.14	0	76.65	76.65
떡, 과자 및 면류	0	-9.41	-9.41	0	59.69	59.69
조미료 및 유지	0	-10.67	-10.67	0	67.34	67.34
기타 식료품	0	-41.60	-41.60	0	261.14	261.14
음식 및 담배	0	-21.19	-21.19	0	134.29	134.29
섬유 및 가죽제품	0	-51.15	-51.15	0	324.01	324.01
목재 및 종이, 인쇄	0	-45.81	-45.81	0	286.64	286.64
석탄 및 석유제품	0	-77.32	-77.32	0	484.89	484.89
비료 및 농약	0	-175.77	-175.77	0	1,083.00	1,083.00
화학제품	0	-121.12	-121.12	0	758.30	758.30
비금속 광물제품	0	-5.33	-5.33	0	33.62	33.62
1차 금속제품	0	-21.35	-21.35	0	134.90	134.90
금속 가공제품	0	-18.56	-18.56	0	117.26	117.26
컴퓨터, 전자 및 광학기기	0	-54.33	-54.33	0	344.27	344.27
전기장비	0	-25.08	-25.08	0	158.78	158.78
기계 및 장비	0	-14.43	-14.43	0	90.97	90.97
운송장비	0	-52.21	-52.21	0	332.16	332.16
기타 제조업 제품	0	-13.33	-13.33	0	84.63	84.63

<표 3-22> RCP8.5 시나리오에 따른 사과 생산 파급효과(계속)

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
제조임가공 및 산업용 장비 수리	0	-27.14	-27.14	0	170.91	170.91
전력, 가스 및 증기	0	-61.18	-61.18	0	383.83	383.83
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	0	-11.93	-11.93	0	75.68	75.68
건설	0	-8.09	-8.09	0	51.12	51.12
도소매 및 상품중개서비스	0	-174.73	-174.73	0	1,102.26	1,102.26
운송서비스	0	-87.79	-87.79	0	553.56	553.56
음식점 및 주점	0	-110.48	-110.48	0	700.98	700.98
숙박서비스	0	-11.02	-11.02	0	75.01	75.01
정보통신 및 방송 서비스	0	-67.04	-67.04	0	425.52	425.52
금융 및 보험 서비스	0	-125.92	-125.92	0	793.83	793.83
부동산서비스	0	-142.21	-142.21	0	901.06	901.06
전문, 과학 및 기술 서비스	0	-65.56	-65.56	0	412.18	412.18
사업지원서비스	0	-46.85	-46.85	0	295.99	295.99
공공행정, 국방 및 사회보장	0	-4.51	-4.51	0	28.65	28.65
교육서비스	0	-47.46	-47.46	0	301.24	301.24
보건 및 사회복지 서비스	0	-55.22	-55.22	0	351.08	351.08
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	0	-37.99	-37.99	0	242.23	242.23
기타	0	-48.27	-48.27	0	306.96	306.96
계	-1,217.99	-2,148.81	-3,366.80	7,653.49	13,533.97	21,187.46

RCP6.0 시나리오에 따른 배 생산 변화의 파급효과는 <표 3-23>과 같다. 기온 변화에 따라 배 생산액이 8,059억 원 감소하면 산업 전반에 2조 2,505억 원의 파급효과를 미친다. 사과와 달리 강수량과 일사량의 증가도 함께 고려할 때 과수 산업의 생산액이 7,049억 원 감소하고 이로 인한 산업 전반의 피해액도 1조 9,695억 원에 달한다. 도소매 및 상품 중개서비스업의 피해가 가장 클 것으로 예상되며 뒤이어 비료 및 농약 제조업, 부동산서비스업 등의 순으로 큰 피해를 입을 것으로 계측된다.

<표 3-23> RCP6.0 시나리오에 따른 배 생산 파급효과

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
채소 및 과실	-805.85	-10.31	-816.16	-704.90	-9.03	-713.93
작물	0	-11.52	-11.52	0	-10.10	-10.10
기타작물	0	-21.33	-21.33	0	-18.72	-18.72
작물 외 농림수산품	0	-50.58	-50.58	0	-44.28	-44.28
광산품	0	-44.62	-44.62	0	-39.09	-39.09
축수산 가공품	0	-27.66	-27.66	0	-24.23	-24.23
제분 및 제당	0	-8.87	-8.87	0	-7.78	-7.78
떡, 과자 및 면류	0	-6.77	-6.77	0	-5.92	-5.92
조미료 및 유지	0	-7.60	-7.60	0	-6.65	-6.65
기타 식료품	0	-29.66	-29.66	0	-25.95	-25.95
음식 및 담배	0	-14.93	-14.93	0	-13.06	-13.06
섬유 및 가죽제품	0	-35.80	-35.80	0	-31.31	-31.31
목재 및 종이, 인쇄	0	-27.05	-27.05	0	-23.70	-23.70
석탄 및 석유제품	0	-50.20	-50.20	0	-43.97	-43.97
비료 및 농약	0	-99.44	-99.44	0	-87.23	-87.23
화학제품	0	-78.32	-78.32	0	-68.62	-68.62
비금속 광물제품	0	-3.57	-3.57	0	-3.13	-3.13
1차 금속제품	0	-14.15	-14.15	0	-12.38	-12.38
금속 가공제품	0	-12.57	-12.57	0	-11.00	-11.00
컴퓨터, 전자 및 광학기기	0	-37.31	-37.31	0	-32.60	-32.60
전기장비	0	-17.29	-17.29	0	-15.13	-15.13
기계 및 장비	0	-9.64	-9.64	0	-8.44	-8.44
운송장비	0	-36.51	-36.51	0	-31.95	-31.95
기타 제조업 제품	0	-9.34	-9.34	0	-8.17	-8.17

<표 3-23> RCP6.0 시나리오에 따른 배 생산 파급효과(계속)

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
제조임가공 및 산업용 장비 수리	0	-18.20	-18.20	0	-15.93	-15.93
전력, 가스 및 증기	0	-40.56	-40.56	0	-35.54	-35.54
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	0	-8.26	-8.26	0	-7.23	-7.23
건설	0	-5.55	-5.55	0	-4.86	-4.86
도소매 및 상품중개서비스	0	-117.87	-117.87	0	-103.15	-103.15
운송서비스	0	-57.18	-57.18	0	-50.04	-50.04
음식점 및 주점	0	-76.15	-76.15	0	-66.58	-66.58
숙박서비스	0	-7.62	-7.62	0	-6.67	-6.67
정보통신 및 방송 서비스	0	-46.84	-46.84	0	-40.98	-40.98
금융 및 보험 서비스	0	-89.40	-89.40	0	-78.22	-78.22
부동산서비스	0	-98.53	-98.53	0	-86.17	-86.17
전문, 과학 및 기술 서비스	0	-43.61	-43.61	0	-38.18	-38.18
사업지원서비스	0	-32.04	-32.04	0	-28.04	-28.04
공공행정, 국방 및 사회보장	0	-3.20	-3.20	0	-2.80	-2.80
교육서비스	0	-33.97	-33.97	0	-29.70	-29.70
보건 및 사회복지 서비스	0	-39.96	-39.96	0	-35.02	-35.02
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	0	-26.59	-26.59	0	-23.24	-23.24
기타	0	-34.08	-34.08	0	-29.83	-29.83
계	-805.85	-1,444.66	-2,250.51	-704.90	-1,264.61	-1,969.51

RCP8.5 시나리오 하에서 예상되는 배 생산 감소의 파급효과는 <표 3-24>와 같다. 배 생산액은 기온 상승으로 인해 RCP6.0 시나리오보다 2배 많은 1조 5,890억 원 감소하고, 이로 인한 파급효과는 4조 4,356억 원일 것으로 예상된다. 강수량과 일사량의 증가도 반영할 경우, 배 생산액은 이보다 적은 1조 1,021억 원 감소하고 산업 전반에 3조 784억 원의 파급효과를 미칠 것으로 전망된다. 산업별 피해는 RCP6.0 시나리오와 유사하게 도소매 및 상품 중개서비스업, 비료 및 농약, 부동산서비스업 등의 순으로 피해가 클 것으로 추정된다.

<표 3-24> RCP8.5 시나리오에 따른 배 생산 파급효과

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
채소 및 과실	-1,588.96	-20.31	-1,609.28	-1,102.13	-14.14	-1,116.27
작물	0	-22.57	-22.57	0	-15.80	-15.80
기타작물	0	-41.76	-41.76	0	-29.19	-29.19
작물 외 농림수산품	0	-100.52	-100.52	0	-69.40	-69.40
광산품	0	-87.80	-87.80	0	-60.98	-60.98
축수산 가공품	0	-54.60	-54.60	0	-37.84	-37.84
제분 및 제당	0	-17.49	-17.49	0	-12.17	-12.17
떡, 과자 및 면류	0	-13.45	-13.45	0	-9.28	-9.28
조미료 및 유지	0	-15.03	-15.03	0	-10.41	-10.41
기타 식료품	0	-58.83	-58.83	0	-40.68	-40.68
음식 및 담배	0	-29.50	-29.50	0	-20.45	-20.45
섬유 및 가죽제품	0	-70.58	-70.58	0	-49.02	-49.02
목재 및 종이, 인쇄	0	-53.18	-53.18	0	-36.83	-36.83
석탄 및 석유제품	0	-98.63	-98.63	0	-68.57	-68.57
비료 및 농약	0	-194.89	-194.89	0	-135.34	-135.34
화학제품	0	-153.95	-153.95	0	-106.99	-106.99
비금속 광물제품	0	-7.04	-7.04	0	-4.88	-4.88
1차 금속제품	0	-27.86	-27.86	0	-19.33	-19.33
금속 가공제품	0	-24.76	-24.76	0	-17.19	-17.19
컴퓨터, 전자 및 광학기기	0	-73.80	-73.80	0	-51.07	-51.07
전기장비	0	-34.08	-34.08	0	-23.66	-23.66
기계 및 장비	0	-19.00	-19.00	0	-13.19	-13.19
운송장비	0	-71.90	-71.90	0	-49.95	-49.95
기타 제조업 제품	0	-18.41	-18.41	0	-12.79	-12.79

<표 3-24> RCP8.5 시나리오에 따른 배 생산 파급효과(계속)

(단위: 십억 원)

	기온			기온+강수량+일사량		
	직접 효과	간접 효과	총 효과	직접 효과	간접 효과	총 효과
제조임가공 및 산업용 장비 수리	0	-35.87	-35.87	0	-24.89	-24.89
전력, 가스 및 증기	0	-80.00	-80.00	0	-55.50	-55.50
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	0	-16.26	-16.26	0	-11.30	-11.30
건설	0	-10.95	-10.95	0	-7.60	-7.60
도소매 및 상품중개서비스	0	-232.19	-232.19	0	-161.24	-161.24
운송서비스	0	-112.72	-112.72	0	-78.15	-78.15
음식점 및 주점	0	-150.49	-150.49	0	-104.27	-104.27
숙박서비스	0	-15.05	-15.05	0	-10.41	-10.41
정보통신 및 방송 서비스	0	-92.09	-92.09	0	-64.06	-64.06
금융 및 보험 서비스	0	-176.35	-176.35	0	-122.59	-122.59
부동산서비스	0	-194.51	-194.51	0	-134.93	-134.93
전문, 과학 및 기술 서비스	0	-85.90	-85.90	0	-59.64	-59.64
사업지원서비스	0	-63.17	-63.17	0	-43.86	-43.86
공공행정, 국방 및 사회보장	0	-6.30	-6.30	0	-4.38	-4.38
교육서비스	0	-67.09	-67.09	0	-46.58	-46.58
보건 및 사회복지 서비스	0	-78.06	-78.06	0	-54.66	-54.66
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	0	-52.52	-52.52	0	-36.41	-36.41
기타	0	-67.20	-67.20	0	-46.65	-46.65
계	-1,588.96	-2,846.63	-4,435.59	-1,102.13	-1,976.27	-3,078.40

기후변화로 인한 사과 생산 변동이 17개 지역별 가계소득 및 정부세입에 미치는 파급효과는 <표 3-25>와 같다. 기온의 변화만 고려할 경우 RCP6.0과 RCP8.5 시나리오 모두 지역별 가계소득 영향은 경북이 가장 컸으며 뒤이어 서울, 경기, 경남 등의 순으로 분석되었다. 사과 생산액이 많이 감소한 지역은 경북, 경남, 충북, 충남 등의 순이었지만 간접적 영향을 받는 타 산업의 경제활동이 서울, 경기 지역에서 활발하기 때문에 서울, 경기 지역의 가계소득 영향이 크게 나타났다. 또한 정부세입은 RCP 6.0 시나리오에서는 2,677억 원 감소하고 RCP8.5 시나리오에서는 5,601억 원 감소할 것으로 전망된다. 강수량과 일사량도 함께 고려할 경우에는 가계소득 및 정부세입 모두 증가하고 RCP8.5 시나리오에서의 증가폭이 RCP6.0 시나리오보다 2배 클 것으로 예상된다.

<표 3-25> 사과 생산의 가계소득 및 정부세입 파급효과

(단위: 십억 원)

	RCP6.0		RCP8.5	
	기온	기온+강수량+일사량	기온	기온+강수량+일사량
서울 가계소득	-92.58	614.48	-193.68	1,221.08
인천 가계소득	-16.18	107.20	-33.85	212.90
경기 가계소득	-77.83	516.92	-163.72	1,022.06
대전 가계소득	-9.10	60.07	-19.02	119.37
세종 가계소득	-1.35	8.91	-2.82	17.70
충북 가계소득	-37.69	334.96	-80.84	532.00
충남 가계소득	-29.97	161.38	-65.26	296.96
광주 가계소득	-7.82	51.86	-16.37	103.00
전북 가계소득	-23.00	200.32	-49.52	388.07
전남 가계소득	-21.16	112.11	-43.00	227.76
대구 가계소득	-14.05	85.80	-28.88	171.87
경북 가계소득	-192.40	1,299.31	-404.25	2,591.09
부산 가계소득	-20.00	132.20	-41.84	262.75
울산 가계소득	-10.11	66.02	-21.12	131.65
경남 가계소득	-63.11	278.86	-122.68	689.83
강원 가계소득	-4.56	108.61	-13.13	215.03
제주 가계소득	-4.12	27.37	-8.63	54.36
정부세입	-267.71	1,757.80	-560.05	3,484.97

배 생산 변화가 지역별 가계소득 및 정부세입에 미치는 파급효과는 <표 3-26>과 같다. RCP6.0 시나리오에서 지역별 가계소득 영향은 기온만 변화할 때와 다른 기상요인도 고려할 경우 모두 경기, 전남, 서울 순이었으며 기온만 변할 때의 파급효과가 더 크게 나타났다. 배 생산 변화는 전남, 경기, 충남의 순이었지만 서울, 경기 지역에서 경제활동이 활발하기 때문에 두 지역의 영향이 크게 도출되었다. RCP8.5 시나리오에서는 RCP6.0 시나리오보다 지역별로 1.6~2배 큰 파급효과가 예상된다. 정부세입도 RCP8.5 시나리오에서 RCP6.0 시나리오보다 감소폭이 크게 나타나며 기온만 고려했을 때가 강수량과 일사량도 고려했을 때보다 크게 나타난다.

<표 3-26> 배 생산의 가계소득 및 정부세입 파급효과

(단위: 십억 원)

	RCP6.0		RCP8.5	
	기온	기온+강수량+일사량	기온	기온+강수량+일사량
서울 가계소득	-134.74	-117.90	-265.58	-184.72
인천 가계소득	-28.01	-24.36	-59.11	-42.67
경기 가계소득	-203.60	-174.68	-431.37	-286.43
대전 가계소득	-16.91	-14.90	-32.69	-22.79
세종 가계소득	-5.72	-5.29	-11.11	-7.52
충북 가계소득	-22.63	-18.52	-46.02	-26.77
충남 가계소득	-92.67	-81.35	-193.26	-132.05
광주 가계소득	-12.30	-10.80	-23.93	-16.87
전북 가계소득	-55.26	-52.55	-104.16	-75.78
전남 가계소득	-172.71	-151.67	-304.24	-239.34
대구 가계소득	-18.86	-16.51	-36.97	-25.73
경북 가계소득	-50.21	-44.23	-97.85	-58.86
부산 가계소득	-30.24	-26.56	-59.28	-41.56
울산 가계소득	-19.65	-17.55	-37.31	-27.00
경남 가계소득	-40.32	-34.71	-76.59	-53.11
강원 가계소득	-12.21	-9.45	-25.32	-13.37
제주 가계소득	-5.96	-5.22	-11.76	-8.17
정부세입	-388.18	-339.34	-763.94	-531.69

제 4 장 결론

제 1 절 연구의 요약

본 연구에서는 향후 기후변화로 인해 예상되는 지역별 사과 및 배 생산량의 변화와 이로 인한 경제적 파급효과를 분석하였다. 지역별 과수생산에 영향을 미치는 요인은 무엇이며, 특히 기상요인은 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 과수 생산함수를 추정하였다. 시군구 지역 단위의 사과 및 배 생산량 자료와 기상, 토양 및 지역 요인 자료를 바탕으로 다양한 공간계량모형을 적용하였다. 이 중 공간자기회귀모형을 분석에 가장 적합한 모형으로 선정하여 기후변화 시나리오에 따른 2040년의 지역별 사과 및 배 생산량 변화를 모의실험하였다. 온실가스 저감정책의 실현 정도에 따른 차이를 살펴보기 위해 RCP6.0과 RCP8.5 두 가지 시나리오를 가정하였으며 기온만 변화하는 경우와 강수량 및 일사량도 함께 변화하는 경우를 분석하고 비교하였다. 이를 통해 추산한 과수 생산 변화를 사회계정행렬의 승수와 연계하여 산업, 지역별 가계소득, 정부세입 등 각 경제부문에 미치는 파급효과를 분석하였다.

분석 결과 사과 생산량은 RCP6.0 시나리오 하에서 기온 변화만 고려할 경우에는 감소하는 반면, 강수량과 일사량도 고려하면 오히려 증가하는 결과가 도출되었다. 하지만 기온 상승으로 사실상 재배가 불가능할 경우에 강수량과 일사량으로 인해 생산량이 증가하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 강수량과 일사량도 고려한 결과는 현실 적용에 한계가 있다. 한편, RCP8.5 시나리오에서는 RCP6.0 시나리오보다 영향이 약 2배 클 것으로 추산되어 온실가스 저감정책의 실현 정도에 따라 피해 양상이 크게 달라질 것으로 예상된다. 배의 생산량은 사과의 추정 결과와 달리 RCP6.0 시나리오

하에서 기온 변화만 고려하는 경우와 강수량 및 일사량 변화도 반영하는 경우 모두 생산량이 감소하였다. 강수량과 일사량도 고려할 경우 생산량 감소폭이 다소 줄어들었으며, 이는 RCP8.5 시나리오에서도 비슷한 양상으로 나타났다. 사과와 배의 분석 결과의 차이는 생산함수 추정 결과 기상요인이 두 과수의 생산에 미치는 영향이 다른 데에서 비롯되었다.

사과와 배의 생산 변화로 인해 산업 전반에 미치는 직간접적인 파급효과는 생산액 변화보다 2.8배 클 것으로 예상된다. 채소 및 과실 산업과 연관성이 높은 비료 및 농약 제조업, 도소매 및 상품중개서비스업에 미치는 영향이 특히 크게 나타난다. 지역별 가계소득에 미치는 영향은 과수 생산액 변화가 클 것으로 전망된 지역 외에 서울, 경기 등 경제활동이 활발하게 이루어지는 지역에서도 클 것으로 계측되었다.

제 2 절 연구의 의의 및 한계

본 연구결과는 농촌 지역에서 기후변화로 인한 작물 생산 감소와 이로 인한 경제적 영향에 대응하기 위한 방안을 마련하는 데 기여할 것으로 기대된다. 기후변화는 전 세계적인 탄소 배출로 인해 나타나기 때문에 농촌 지역에서의 노력만으로 기후변화 현상을 완화하기에는 한계가 있다. 그렇기 때문에 농촌 지역에서는 이러한 기후변화 현상에 적응하고 그 영향에 대처하는 데 초점을 맞추는 것이 적절하다. 지역별로 해당 지역에서 주로 재배하는 작물이 기후변화로 인해 어떠한 영향을 받을 것인지 사전에 예측하고 선제적으로 대응할 필요가 있다. 해당 지역에서 향후 생산이 감소할 것으로 예측되는 작물의 경우 품종 개량 등의 방식을 통해 대응하거나 이러한 노력에 한계가 있을 경우 재배작물 전환 등의 대응이 필요하다. 또한 생산이 증가할 것으로 예측되는 지역에서는 사전에 해당 작물 재배에 대해 검토하고 재배가 적절한 시기 동안 가능한 많은 생산을 할 수 있도록 준비하는 것이 지역경제 성장의 측면에서 바람직할 것이다.

본 연구의 한계로는 작물의 재배지와 재배면적이 변화하는 원인으로 기후변화 외에도 소비자의 소비패턴 변화, 품종개발 및 재배기술의 변화 등이 고려될 수 있으나 기후변화 한 가지 요인만을 고려하였다는 점을 들 수 있다. 분석방법과 자료의 한계로 인해 현재의 작물 품종과 재배방식을 유지한다는 가정 하에 분석을 진행하였다. 또한 2020년 지역별 생산량에 기상요인의 변화로 인한 생산량 변화율을 반영하다보니 현재 재배가 이루어지는 지역이 그대로 유지되고 생산량이 많은 지역의 변화가 크게 나타났다. 향후 충분한 기간의 시군구 단위 생산량 자료가 구축된다면 기후변화로 인한 재배지의 이동을 모형에 반영하고 이를 활용한 예측의 정확도가 높아질 것으로 기대된다. 마지막으로 작물 생산변화의 파급효과 분석에 있어 향

후 연산일반균형모형 등으로의 확장을 통해 기후변화가 과수산업과 국가 경제에 미치는 중장기효과를 분석할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

국회예산정책처(2008), 『지역사회회계행렬 구축 및 활용방안 연구』.

권오상, 노재선, 조은빛, 조현경(2013), “기후변수와 쌀 생산성: 패널 지역자료를 이용한 준모수적 분석”, 『농업경제연구』, 54(3), 71-94.

기상청(2021), 『우리나라 109년 기후변화 분석보고서』.

김경필, 이원진(2005), 『사과 생산관측 개선방안 연구』, 한국농촌경제연구원, M67.

김미리, 김승규(2014), “사과생산량에 영향을 미치는 기상요인 분석”, 『한국농림기상학회지』, 16(4), 274-284.

김선영, 허인혜, 이승호(2010), “한국에서 기온상승이 사과 재배지역의 변화에 미치는 영향”, 『한국지역지리학회지』, 16(3), 201-215.

김승규(2015), 『주요 과수작물의 생산량 예측모형 개발 연구』, 농촌진흥청 과제보고서.

김창길(2009), “기후변화가 농업경제에 미치는 영향”, 『기상기술정책』, 2(3), 30-42.

남영식, 양승룡, 송영호, 박호정(2012), “기후변화로 인한 한국 쌀(정곡)생산 변화에 관한 연구: RCP8.5 시나리오를 중심으로”, 『농업경제연구』, 53(4), 61-88.

농촌진흥청(2015), 기후 변화에 민감한 과수, 100년 뒤 재배지 모습은?, https://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000706869

서태성, 김현식, 이원섭, 문정호, 윤혜철, 박세훈, 박인권, 임상연(2005), 『지방분산·분권과 국토균형발전의 대응과제(I): 자료집(1)』, 국토연구원.

안홍기, 임은선, 김준기, 김동한, 민성희, 김태영, 최명섭(2018), 『국토정책 시뮬레이션 모형의 구축연구(Ⅲ)』, 국토연구원.

이성우, 윤성도, 박지영, 민성희(2006), 『공간계량모형응용』.

이희연, 노승철(2013), 『고급통계분석론』.

최성천(2016), 『공간 패널 회귀모형을 이용한 농작물 생산량 추정』, 전남대학교 석사 학위논문.

한국환경정책·평가연구원(2017), 『IPCC 신시나리오 체계를 적용한 우리나라 기후변화의 피해비용 분석』.

허인혜, 이승호(2017), “기후변화가 단감 생산에 미치는 영향-경상남도를 사례로-”, 『기후연구』, 12(2), 133-147.

황재희, 김현중, 이성우(2012), “특화작목과 기후변화 간 영향 분석을 통한 지역농업 활성화 전략 연구 -과수를 중심으로-”, 『농촌계획』, 18(3), 149-164.

Anselin, L.(1995), “Local Indicators of Spatial Association-LISA”, *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.

Arundhati and RM Bhagat(2020), “Impact of Climate Change on Apples Production: World Scenario”, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 1219-1228.

Baldocchi, D. and Wong, S.(2008), “Accumulated Winter Chill is Decreasing in the Fruit Growing Regions of California”, *Climate Change*, 87(S1), S153-S166.

Battisti, D. S. and Naylor, R. L.(2009), “Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat”, *Science*, 323, 240–244.

Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S., and Miglietta, F.(1996), “Modelling the Impact of Future Climate Scenarios on Yield and Yield Variability on Grapevine”, *Climate Research*, 7, 213-224.

Chmielewski, F. M., Antje Müller, and Ekko Bruns(2004), “Climate Changes and Trends in Phenology of Fruit Trees and Field Crops in Germany, 1961-2000”, *Agriculture and Forest Meteorology*, 121(1-2), 69-78.

IPCC(2021), *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)], Cambridge University Press.

Moriondo, M. and Bindi, M.(2010), “Impact of Adaptation Opportunities for European Agriculture in Response to Climatic Change and Variability”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(7), 657-679.

Schlenker, W. and Roberts, M. J.(2009), “Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change”, *PNAS*, 106(37), 15594-15598.

Teixeira, E. I., Fischer, G., van Velthuizen, H., Walter, C. and Ewert, F.(2013), “Global Hot-spots of Heat Stress on Agricultural Crops due to Climate Change”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 206–215.

Abstract

Identifying Effects of Climate Change on Regional Fruit Production

Dongyeong Jin
Major in Regional Information Studies
Dept. of Agricultural Economics and Rural Development
The Graduate School
Seoul National University

This study analyzed the expected changes in apple and pear yield and the resulting economic impact due to climate change. The fruit production function was estimated to identify what factors, in particular weather factors, affect fruit output. Various spatial econometrics models were applied based on weather, soil, and regional factor data and fruit yield data by region. The spatial autoregression model was selected as the most suitable model for analysis. Based on the model, changes in output in 2040 according to climate change scenarios were simulated. In order to examine the difference by the degree of implementing the greenhouse gas reduction policy, two scenarios were

assumed: RCP6.0 and RCP8.5. Also, one case where only the temperature increases and the other case where precipitation and insolation also change were compared. By linking the result with the multiplier of the social accounting matrix, the economic impacts of the expected fruit yield change on each economic sector such as industries, regional household income, and government revenue were calculated.

As a result of the analysis, apple output decreased when reflecting the temperature change under the RCP6.0 scenario, while additionally considering precipitation and insolation, the output increased. However, if cultivation is virtually impossible because of high temperature, it is practically impossible to increase output due to precipitation and insolation, so the results considering precipitation and insolation are less feasible. Meanwhile, in the RCP8.5 scenario, the impact is estimated to be twice as large as that of the RCP6.0 scenario. Thus, the damage is expected to vary depending on the degree of implementation of the greenhouse gas reduction policy. Unlike the estimated results of apple, pear yield declined in both cases. Additionally considering precipitation and insolation, the amount of decrease slightly reduced compared to the case where temperature only changes. The difference between the results of apple and pear stems from the different estimated effects of weather factors on the output of each fruits.

The direct and indirect impacts on the industries are expected to be about 2.8 times greater than yield change. The effects on fertilizers and pesticides manufacturing industry, wholesale and retail service industries, which are highly related to the vegetable and fruit industries, are particularly large. The influence on

household income by region was measured to be significant in regions where economic activities are active such as Seoul and Gyeong-gi, in addition to areas where production is expected to change remarkably.

keywords : Climate Change, Fruit Production,
Spatial Econometrics Model,
Social Accounting Matrix
Student Number : 2020-29696