

기후변화에 따른 농업부문 영향분석

김 창 길	연 구 위 원
박 현 태	선임연구위원
이 상 민	부 연구 위 원
주 현 정	초 청 연 구 원
권 오 상	서 울 대 교 수
로버트멘델존	예 일 대 교 수

연구 담당

김 창 길	연구 위원	· 연구총괄, 영향분석 종합
박 현 태	선임연구위원	· 기후변화 실태분석 및 전망
이 상 민	부연구위원	· 기후변화 영향의 경제분석
주 현 정	초청연구원	· 기후변화 농업계 반응조사
권 오 상	서울대 교수	· 기후변화의 농업생산성 분석
로버트멘델존	예일대 교수	· 기후변화 영향분석 미국사례

머 리 말

지구온난화로 대표되는 기후변화는 미래 사회의 변화를 주도할 메가트렌드로 상당히 과학적인 근거가 제시되고 있으며 세계 곳곳에서 피부로 실감할 정도로 나타나고 있다. 우리나라도 지구온난화의 영향으로 지난 100년간 평균기온이 1.5℃ 상승하였고, 겨울이 짧아지고 여름이 길어지며 봄꽃 개화시기가 빨라진 것으로 분석되고 있다. 그 결과 농작물 재배적지가 변동하고 병해충 피해가 증가하는 등 농업생산성이 저하되는 것으로 나타나고 있다. 기후변화에 따른 농업부문의 영향에 관한 과학적인 진단과 경제적인 분석은 농업의 미래 비전 및 농정방향 설정을 위해 매우 중요한 과제로 부각되고 있다.

이 보고서는 「기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략」에 관한 2년 연구과제의 ‘기후변화에 따른 농업부문 영향분석’을 다룬 기본 연구의 1년차 결과물이다. 여기서는 국내외 기후변화의 실태 진단과 전망, 기후변화 영향분석의 이론적 접근, 작물생산에 미치는 영향, 지구온난화에 대한 농업계 인지도, 농업부문 영향의 경제적 분석, 주요국의 영향분석 사례 등을 제시하였다. 아무쪼록 이 연구가 기후변화에 따른 농업부문 영향을 파악하여 대응전략을 수립하는 데 기초자료로 활용하게 되기를 기대한다.

이 연구의 수행에 비모수·준모수적 방법론을 활용한 주요 농산물 생산성 분석을 담당한 서울대학교 권오상 교수, 리카디언 모형의 한국사례 적용에 대한 컨설팅과 미국의 영향분석 사례를 담당한 예일대학교 멘델존 교수, 연구자문위원으로 기여해 준 고려대학교 조용성 교수와 국립농업과학원 심교문 박사 등 관계자들께 감사드린다.

2008. 11.

한국농촌경제연구원장 오 세 익

요 약

지구온난화의 영향으로 지난 100년간 평균기온이 1.5℃(겨울 1.9℃, 여름 0.3℃) 상승하였고 겨울이 짧아지고 여름이 길어지며 봄꽃 개화시기가 빨라진 것으로 분석되고 있다. 이에 따라 농작물 재배지대가 북상하고 월동 병해충 피해가 증가하는 등 농업생산성 저하 현상이 발생하고 있다. 기후변화에 따른 농업부문의 영향에 관한 과학적인 진단과 평가는 미래농업의 비전 및 농정 방향 설정을 위해 매우 중요하며, 특히 장기적인 지역 농업발전계획과 농가의 영농계획 수립 등 적응대책 수립에 유익한 정보를 제공하게 된다.

이 연구는 기후변화 현상에 대한 진단과 농업부문에 미치는 심층적인 영향 분석을 통해 체계적이고 단계적인 대응전략을 제시하기 위해 추진되었다. 이러한 연구목적 달성을 위해 2년 과제로 추진할 계획이며, 금년에 수행한 1년차 연구에서는 기후변화에 따른 농업부문 영향분석에 초점을 맞추고, 2년차 연구에서는 영향분석을 기초로 대응전략을 제시하게 된다.

보고서의 1장 서론에서는 연구필요성과 연구목적 및 범위, 선행연구 검토, 연구방법과 내용 등을 제시하였다. 2장에서는 국내외 기후변화의 실태 진단과 전망을 기술하였다. 3장에서는 기후변화에 따른 농업부문 영향분석의 이론적 접근을 다루었다. 4장에서는 농업기후자원의 변화와 농업인과 정책담당자 설문조사를 기초로 기후변화에 따른 농업계 반응을 살펴보았다. 5장에서는 기후변화가 농업생산성에 미치는 영향, 농산물 생산의 중장기 전망 및 농업경제에 미치는 영향 등을 분석하였다. 6장에서는 농업부문 영향 분석에 관한 일본, 미국, EU 등 주요국 사례를 검토하였다. 끝으로 7장에서는 요약과 결론을 제시하였다.

이 연구의 주요 성과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 국립기상연구소에 따르면 과거 30년(1971~2000년 평균치) 대비 평균기온은 2020년 1.5℃, 2050년 3.0℃, 2080년 5.0℃ 상승할 것으로 전

망된다. 강수량은 2020년 5%, 2050년 7%, 2080년 15% 증가하는 것으로 전망된다.

둘째, 지구온난화에 따른 기온상승으로 재배적지가 이동하고 새로운 병해충이 발생함으로써 작목전환과 농작물 피해 확산이 우려되고 있다. 특히 갈색여치에 의한 사과, 복숭아, 포도, 콩 등의 피해가 증가하고, 쌀의 경우 줄무늬잎마름병의 피해지역이 전국으로 확산되고 있는 것으로 나타났다.

셋째, 기후변화에 대한 인지도를 파악하기 위해 농업인과 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과에서 나타난 농업계의 기후변화에 대한 인지도를 보면 농업인의 경우 대체로 5년 전부터 인지하고 있으며 부정적 영향에 대한 우려가 큰 것으로 나타났다. 또한 많은 전문가들도 5년 전부터 기후변화를 인지하고 있고 이상기상과 물 부족 문제를 핵심 이슈로 제시하면서 온난화로 인한 병해충 발생 문제에 대한 우려의 시각이 높은 것으로 나타났다.

넷째, 기후변화에 따른 농업부문의 생산성 분석을 위해 쌀, 배추, 무, 사과 네 작목을 대상으로 1975~2007년까지 주산지별 농산물 생산 및 기상 자료를 기초로 비모수적(non-parametric) 및 준모수적(semi-parametric) 방법인 커널 회귀분석(kernel regression)을 적용하였다. 대표적인 작물인 쌀의 경우 기온과 강수량 등 기후인자 변화의 영향으로 재배기간의 평균기온이 19℃ 이하인 경우 1℃의 기온상승은 단보당(10a) 수량을 약 24.4kg 증가시키나, 기온이 20℃ 이상인 경우 단보당 수량이 6.2kg 정도 감소되는 것으로 분석되었다. 배추와 무, 사과 등은 품목별·지역별로 생산성에 미치는 영향이 다르게 나타났다.

다섯째, 기후변화가 작물생산에 미치는 장기 전망을 위해서 CERES-Rice 모형을 이용하여 예측한 결과 기온이 평년(1971~2000년)보다 2℃, 3℃, 4℃, 5℃ 상승 시 전국 평년 쌀 단수는 평년대비 각각 4%, 8%, 10%, 15% 감소할 것으로 전망되었다. 사과 재배면적은 기온이 1℃, 2℃, 3℃ 상승 시 현시점 대비 각각 14.8%, 33.3%, 44.4% 감소할 것으로 전망되었다. 감귤의 경우는, 기온상승 시 현재 감귤 주산지인 제주도의 경우 감귤재배 최적지는 기온이 0.5℃, 1℃, 2℃ 상승 시 현시점 대비 1.9배, 2.6배, 3.6배

증가할 것으로 예측되었다.

여섯째, 기후변화가 농가자산에 미치는 영향을 파악하기 위해 리카디언 모형(Ricardian Model)을 적용하여 분석한 결과 연평균 기온(12.4°C)이 1°C 상승하면 ha당 농지가격이 1,455~1,924만원 하락하는 것으로 추정되었다. 이는 평균농지가격의 5.7~7.5% 하락을 의미한다. 한편 월평균 강수량(110.8mm)이 1mm 증가하면 ha당 농지가격은 33~36만원 상승하는 것으로 추정되었다.

일곱째, 기후변화가 농업총수입에 미치는 영향을 알아보기 위해 리카디언 모형을 적용하여 분석한 결과 4월의 온도 상승은 농업총수입에 긍정적인 영향을 미치고, 8월과 10월의 온도 상승은 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 계절적 영향을 종합적으로 고려할 때 기온이 1°C 상승하면 농업총수입은 ha당 260~400만원 감소하는 것으로 나타났다. 이는 ha당 농업총수입 1,700만원의 15~23%에 해당하는 금액으로 농지가격에 미치는 영향보다 높게 나타났다.

리카디언 분석을 통해 기후변화가 농업부문에 미치는 영향을 종합하면 주요국의 선행연구에서도 제시된 바와 같이 기온과 강수량을 동시에 고려했을 경우 우리나라에서도 부정적 영향이 커질 수 있는 것으로 요약할 수 있다. 따라서 기후변화의 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 위험관리를 위한 보험제도 활용, 품종개량과 신품종 도입, 재배방식 개선 등 적절한 적응대책이 필요하다. 2년차 연구에서는 1년차 영향분석 결과를 기초로 기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 핵심 정책 개발 및 단기·중기·장기 등 단계별 추진전략을 심층적으로 다룰 계획이다.

ABSTRACT

Impacts of Climate Change on the Agricultural Sector in Korea

It is analyzed that, because of global warming, the average temperature has risen 1.5°C (1.9°C in winter and 0.3°C in summer) for the past 100 years and winter has shortened while summer has lengthened, and thus advancing the flowering season in spring. As a result, the agricultural cultivation area has been extended northward and the damage by blight and harmful insects during the winter has increased, resulting in the decrease in agricultural productivity.

Scientific diagnosis and evaluation of the impacts of climate change on the agricultural sector is very important in establishing future visions of the agricultural industry and the direction of its policies. It especially provides useful information for establishing adaptive plans such as long-term regional agricultural plans and farming plans.

The purpose of this study is to present a systematic and step-by-step strategy for the agricultural sector by making a diagnosis of the climate change phenomenon and carrying out an in-depth analysis of its impacts on the agricultural sector. Of the 2-year project carried out to achieve this purpose, the first-year study completed this year focused on the analysis of the impacts of climate change on the agricultural sector and the second-year study to be executed next year will present strategies for coping with the impacts based on the result of the analysis.

In this report, Chapter I presents the introduction which covers the necessity of this study and the review of previous studies; Chapter 2 describes the actual conditions of domestic and international climate changes along with the future prospect; Chapter 3 reviews a theoretical approach to analyze the impacts of climate change on the agricultural sector; Chapter

4 presents the reactions of the agricultural industry to climate change based on the results of a survey of farmers and the people in charge of agricultural policies; Chapter 5 analyzes the impacts of climate change on agricultural productivity and agricultural economy; Chapter 6 examines the cases of major countries such as Japan, USA, and EU countries with regard to the analysis of the impacts on the agricultural sector; and Chapter 7 summarizes and concludes this study.

The highlights of the study are summarized as follows:

First, according to the results of climate change forecasted by *National Institute of Meteorological Research (NIMR)*, it is suggested that the average temperature will rise 1.5°C by 2020, 3.0°C by 2050 and 5.0°C by 2080 from that of the past 30 years (1971 ~ 2000). As for the precipitation, it is estimated to have an increase 5% by 2020, 7% by 2050 and 15% by 2080.

Second, the temperature rise due to climate change gives rise to new harmful insects, resulting in increased damages to crops. In particular, it appears that the damages by brown grasshoppers to apples, peaches, grapes and beans have increased. As for rice crops, the areas affected by rice stripe virus appear to have moved northward and spread all over the country.

Third, in order to identify the level of recognition of climate change, a survey was conducted on farmers and experts. According to the result of the survey, it appeared that the farmers had generally recognized climate change for 5 years and had seriously worried about its negative impacts. It was shown that the experts had also recognized its impacts to a considerable extent. They expressed their deep concerns about the occurrence of harmful insects caused by global warming and mentioned the problems of abnormal weather conditions and water shortage as important issues.

Fourth, for an analysis of the agricultural productivity under the influence of climate change, non-parametric and semi-parametric kernel analysis methods were applied to the four crops of rice, Korean cabbage, radish and apples based on the agricultural product and weather data obtained from their major producing districts for the period from 1975 to 2007. In the case of rice, the most representative crop of Korea, a temperature rise of 1°C increased the yield of rice per unit area (10a, approximately 1,000m²)

by 24.4kg when the average temperature during the cultivation period was 19°C or lower. When the average temperature was higher than 19°C, however, the yield of rice per unit area decreased by about 6.2kg. It appeared that the productivities of Korean cabbage, radish, and apple were affected by different factors of crops and districts.

Fifth, to analyze the impact of climate change on the property of farm households, Ricardian model was applied. The result showed that the rise of 1°C in the annual average temperature (12.4°C) brought down the price of farmland per ha by approximately KRW 14.5~19.2 million approximately, equivalent to a 5.7~7.5% drop in the average farmland price. On the other hand, an increase of 1mm in the monthly average precipitation (110.8mm) was estimated to increase the farmland price per ha by KRW 330~360 thousand.

Sixth, on the assumption that the average temperature would rise by about 1.2°C in 2020 and the precipitation would increase by 11% (applying the forecast by NIMR) in the same year, it was estimated that the temperature rise would reduce the farmland price per ha by KRW 14.5~19.2 million; but the increase in the precipitation, on the other hand, is estimated to raise the farmland price per ha by KRW 4.0~4.4 million, thus resulting in the fall of about KRW 13.4~18.7 million per ha in the farmland price.

Lastly, according to the Ricardian analysis result of the impact of climate change on the property of farm households, it appeared that the temperature rise in April had a positive influence on the farm household's total income whereas it had a negative influence in August and December. When such seasonal influences were considered collectively, it was shown that the temperature rise of 1°C reduced the farm household's total income by KRW 2.6~4 million per ha, equivalent to about 15 ~ 23% of KRW 17 million of the average farm household's total income. This implies that climate change has a bigger impact on the farm household's total income than on the farmland price.

When the Ricardian analysis results of the economic impacts of climate change on the agricultural sector were put together, it appeared that climate change, including both temperature and precipitation, had predominantly negative impacts as suggested by previous studies conducted by major

countries. Therefore, in order to minimize negative impacts of climate change, proper adaptive measures are needed, which include insurance system for risk management, breed improvement, introduction of new breeds and modification of cultivation methods. Based on the results of the impact analysis conducted in the first-year study, the second-year study will focus on developing core policies and phased-out implementation strategies (short-, mid- and long-term strategies) to effectively cope with climate change.

Researchers: Kim Chang-Gil, Park Hyun-Tae, Lee Sang-Min, Joo
Hyun-Jeong, Kwon Oh-Sang and Robert Mendelsohn
E-mail address: changgil@krei.re.kr

차 례

제1장 서론

1. 연구의 필요성 1
2. 연구목적 및 범위 3
3. 선행연구 검토 4
4. 연구 방법과 내용 10

제2장 기후변화 실태와 전망

1. 세계 기후변화 진단과 예측 13
2. 우리나라 기후변화 현황과 전망 21

제3장 농업부문의 기후변화 영향분석 이론

1. 개념적 접근 31
2. 기후변화 영향 분석 이론 35

제4장 기후변화에 따른 농업환경 변화 및 농업계 인지도

1. 농업기후자원의 변화 41
2. 주요 농산물 생산에 미치는 영향 47
3. 기후변화에 대한 농업계 인지도 53

제5장 농업부문에 미치는 영향 분석

1. 농업생산성에 미치는 영향 분석 67
2. 농산물 생산의 중장기 전망 82
3. 농업경제에 미치는 영향 분석 89

제6장 농업부문 영향 분석에 관한 주요국 사례

1. 일본	109
2. 미국	115
3. 기타 국가	121
4. 주요국 분석사례의 시사점	123

제7장 요약 및 결론

부록 1: 농업인 설문조사표	129
부록 2: 전문가 및 정책담당자 설문조사표	140
부록 3: 농업부문의 경제적 영향분석을 위한 기초자료	153
부록 4: A1B시나리오에 따른 기후변화 전망치	159
부록 5: 미국의 리카디언 모형 추정 결과	164
참고 문헌	173

표 차례

제2장

표 2- 1.	시나리오별 2100년 기온상승 예측	18
표 2- 2.	여름과 겨울 기간의 변화	22
표 2- 3.	연대별 여름철과 겨울철의 평균기온 변화 추이	22
표 2- 4.	연대별 여름철과 겨울철의 강수량 변화 추이	24
표 2- 5.	한반도의 10년 단위 기상재해 빈도(1904~2000년)	25
표 2- 6.	한반도 기온과 강수량 변화 예측	26
표 2- 7.	주요 도시의 평균기온 변화 및 전망	27

제4장

표 4- 1.	등숙온도 상승에 따른 쌀 품질 저하	49
표 4- 2.	조사 응답자의 사회경제적 특성	54
표 4- 3.	작목별 온난화 체감시기에 대한 인지도	56
표 4- 4.	지구온난화가 농업에 미치는 영향	57
표 4- 5.	농업에서 지구온난화의 중요성	58
표 4- 6.	기후변화 대응책에 대한 농업인의 주요 의견	62

제5장

표 5- 1.	부분선형모형 추정결과(쌀)	73
표 5- 2.	별칙스플라인 회귀분석 결과(쌀)	74
표 5- 3.	부분선형모형 추정결과(배추)	75
표 5- 4.	부분선형모형 추정결과(무)	77
표 5- 5.	부분선형모형 추정결과(사과)	79
표 5- 6.	CERES-Rice모형을 이용한 중장기 쌀 생산 예측	82
표 5- 7.	온도상승에 따른 사과의 재배적지 전망	85
표 5- 8.	기온상승에 따른 제주도 감귤재배 면적 예측	85

표 5- 9.	지역 기후측정 분석모형 추정 결과(전북 김제)	96
표 5-10.	지역 기후측정 분석모형의 추정 결과(충북 충주)	97
표 5-11.	주요 지역의 월별 평균 기온 및 강수량 추정치	98
표 5-12.	인접 관측소의 월별 평균 기온 및 강수량	98
표 5-13.	리카디언 모형의 이용변수	99
표 5-14.	대상지역 농지 가격 현황	100
표 5-15.	농지가격 분석 결과	102
표 5-16.	농업총수입 분석결과	104

제6장

표 6- 1.	기타국가의 기후변화 농업부문 영향분석 사례	122
---------	-------------------------------	-----

그림 차례

제1장

그림 1- 1. 연구 흐름도	11
-----------------------	----

제2장

그림 2- 1. 1961~1990년의 평균기온 대비 기온편차	15
그림 2- 2. 전세계 평균기온과 변화 추세선	16
그림 2- 3. 기후변화 예측을 위한 시나리오 구성 개념도	17
그림 2- 4. 시나리오별 기온상승 추세 예측	19
그림 2- 5. 지구온난화에 따른 온도상승의 파급영향	20
그림 2- 6. 우리나라 연평균 기온편차 변화 추이	21
그림 2- 7. 우리나라 강수량 변화 추세	23
그림 2- 8. 이상고온과 이상저온의 발생월수 변화	25
그림 2- 9. 주요 관측지역의 기온변화 추세	27
그림 2-10. 한반도 기온변화의 추세 및 전망	28
그림 2-11. 한반도 지구온난화의 지역별 분포도 전망	29
그림 2-12. 기후변화 시나리오의 기온변화 전망	29
그림 2-13. 기후변화 시나리오의 강수량 변화 전망	30

제3장

그림 3- 1. 기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 체계	32
그림 3- 2. 온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향	34
그림 3- 3. CERES-Rice 모형의 개념도	35
그림 3- 4. 기후변화 영향에 대한 경제적 모형의 개념	37

제4장

그림 4- 1. 식물온도 출현지속기간의 변화 추이	43
-----------------------------------	----

그림 4- 2.	작물온도 출현지속기간의 변화 추이	44
그림 4- 3.	농업기후지대의 연대별 기온 변화 추이	45
그림 4- 4.	농업기후지대의 연대별 강수량 변화 추이	46
그림 4- 5.	벼 줄무늬잎마름병 확산 추세	47
그림 4- 6.	주홍날개꽃매미에 의한 포도 피해 사례	48
그림 4- 7.	가을보리 재배지대 변화	50
그림 4- 8.	주요 농산물 주산지의 이동도	52
그림 4- 9.	기후변화에 대한 인지도 및 체감도	55
그림 4-10.	지구온난화가 농업에 미치는 영향에 대한 인식	56
그림 4-11.	기후변화로 인한 재배시기와 재배면적 변화에 대한 반응	58
그림 4-12.	기후변화로 인한 품목별 생산량 및 품질변화에 대한 반응	59
그림 4-13.	농작물에 큰 영향을 미치는 자연재해	60
그림 4-14.	지구온난화에 대한 체감 실태	63
그림 4-15.	지구온난화에 대응하기 위한 주요 정책	64
그림 4-16.	지구온난화와 농업 생산 및 병충해 관계	65

제5장

그림 5- 1.	쌀 단수와 기온 및 강수량	71
그림 5- 2.	경작기간 평균 기온과 쌀 단수와의 관계	72
그림 5- 3.	배추 단수와 기온 및 강수량	74
그림 5- 4.	무 단수와 기온 및 강수량	76
그림 5- 5.	사과 단수와 기온 및 강수량	78
그림 5- 6.	기후변화 전망에 따른 벼 생산성 변화 예측	83
그림 5- 7.	온도 상승에 따른 사과 재배적지의 변화	84
그림 5- 8.	기온상승에 따른 제주지역의 감귤재배지 변동 예측도	86
그림 5- 9.	기온상승에 따른 우리나라 감귤재배지 변동 예측도	87

제6장

그림 6- 1. 일본의 기온상승에 따른 농축산부문 영향	112
그림 6- 2. 일본의 기온상승에 따른 쌀 재배 예측	113
그림 6- 3. 온도변화에 따른 미국 토지가치의 한계 영향	119
그림 6- 4. 강수량 변화에 의한 미국 토지가치의 한계 영향	119

1. 연구의 필요성

지구의 기후는 매년 변동을 반복하고 있으며, 최근 들어 지구의 지표면 부근의 기온이 높아지는 온난화 경향이 확실해지고 있다. 지구온난화는 상당히 과학적인 근거를 통해 미래 사회의 변화를 주도할 메가트렌드로 제시되고 있으며 세계 곳곳에서 피부로 실감할 정도로 나타나고 있다. 1972년 로마클럽 보고서에서는 지구온난화가 세계적인 이슈로 공식적으로 제기되었으며 1985년 세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)은 이산화탄소가 온난화의 주범임을 공식으로 선언하였다. 지구온난화 문제에 효과적으로 대처하기 위해 1988년에 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 구성되어 기후변화에 관한 체계적인 조사와 심층적인 연구가 이루어지고 있다.

UN산하 IPCC(2007)의 「기후변화에 관한 제4차 보고서」에 따르면 지구온난화는 논란의 여지가 없을 정도로 명백하며 인간 활동으로 인한 온실가스 증가가 20세기 중반 이후 온난화를 일으켰을 가능성이 매우 큰 것으로 발표하였다. 특히 이 보고서에서는 지금과 같이 인류가 석유·석탄 등 화석연료에 의존하는 생활을 계속하면 21세기 말(2090~2099)에는 지구의 평균기온이 최대 6.4℃ 추가로 상승하고, 해수면은 59cm까지 상승할 것이라고 경고하고 있다. 실제로 지난 100년(1906~2005)동안 지구의 평균기온이 0.74℃ 상승한 것으로 분석되었다.

지구온난화는 기온과 강수량이 변화하는 데 그치지 않고 기온과 강수량 패턴이 변함에 따라 홍수, 가뭄, 열파의 발생빈도가 증가하고, 지역에 따라 태풍이나 허리케인의 강도가 높아지는 추세를 나타내고 있다. 또한 기후변화의 영향은 해수면 상승, 빙하의 감소, 식물서식지 복상, 각종 동물 서식 환경의 변화, 해양의 온난화, 겨울이 짧아지고 봄이 빨라지는 현상, 하천 유출량의 변화, 가뭄의 심화 등 다양한 형태로 나타나고 있다.

우리나라도 지구온난화의 영향으로 지난 100년간 평균기온이 1.5℃(겨울 1.9℃, 여름 0.3℃) 상승하였고 겨울이 짧아지고 여름이 길어지며 봄꽃 개화시기가 빨라진 것으로 분석되고 있다. 이에 따라 농작물 재배적지가 변화하고 월동 병해충 피해가 증가하는 등 농업생산성 저하 현상이 발생하고 있다. 특히 사과 생산지의 경우 경북 대구에서 강원도 양구까지 북상한 것으로 나타나고 있다.

최근의 몇몇 연구들은 지구온난화가 농업생산에 부정적인 영향을 미칠 것이라고 지적하면서, 품종개량과 재배방식 개선 등과 같은 장기적인 대응의 필요성을 강조하고 있다. 농업과학기술원의 최근 연구결과에서는 온난화로 인하여 병해충 발생이 늘어나 농업생태계가 교란되어 이에 대비하여 종합적인 농업생태계 관리, 작물 재배시기, 시비방법, 물관리, 품종개량 등의 장기적인 대책을 제시하였다(심교문 등 2008). 한국환경정책평가연구원의 연구에서는 2040년에 이르면 현재보다 기온이 3℃ 정도 상승하여 남한 대부분이 사과 생산에 부적합한 지역이 될 수 있어 품종개량의 필요성을 강조하고 있다(한화진 등, 2007). 한편 지구온난화에 따른 기온상승은 이모작 확대 등 작물 재배기간의 증가, 월동작물의 저온피해 감소 및 온실재배 농작물의 난방비 감소, 고온성 작물(망고, 키위, 유자, 감귤 등)의 재배 가능지역 확대 등 긍정적인 측면으로도 작용한다. 이와 같이 기후변화는 특히 농업부문에 큰 영향을 미친다.

기후변화가 농업부문에 미치는 영향에 관한 과학적인 진단과 평가는 지구온난화의 부정적 위험을 최소화하고 위기를 기회로 활용하는 적응대책(adaptation measures) 수립의 기초자료가 된다. 또한 농업부문의 기후변화에 대한 체계적이고 심층적인 영향평가는 미래농업의 비전과 농정 방향 설정을

위해 매우 중요하며, 특히 중장기적인 지역농업발전계획이나 영농계획 수립 등 대응책 수립에 유익한 정보를 제공하게 된다.

2. 연구목적 및 범위

이 연구는 기후변화 현상에 대한 진단과 농업부문에 미치는 영향에 대한 심층적인 분석을 통해 체계적이고 실효성 있는 대응전략을 제시하는 데 목적이 있다. 구체적으로는 국내외 기후변화 전망에 대한 평가와 기후변화가 농업생산에 미치는 영향을 진단하고, 관련분야 연구결과를 종합하여 농업부문에 미치는 경제적 파급영향을 분석하고 적절한 대응전략을 제시하려 하고자 한다.

이러한 연구목적을 달성하기 위해 2년 과제로 진행되어, 1차 연도(2008년)에는 기후변화 실태분석과 전망, 기후변화와 영향분석의 이론적 체계화, 기후변화 관련 농업부문 실태 진단, 주요국의 농업부문 분석사례 검토, 농업생태계 영향과 경제적 파급영향 등을 종합적으로 분석한다. 2차 연도(2009년)에는 기후변화에 따른 주요 농산물의 주산지 변동과 지역농업의 변화에 대한 장기 전망을 분석하고, 주요국의 대응정책 사례 검토를 통해 부문별 적응대책과 단계별 추진 로드맵 등 체계적인 대응전략을 제시하게 될 것이다.

이 연구의 기후변화관련 분석범위는 핵심적인 기후요소로 기온과 강수량을 설정하였고, 기후자료는 자료입수가 가능한 1920~2007년까지이며, 농산물 주산지 변동 및 생산량 중장기 예측 등은 작물통계 입수가 가능한 1960~2006년으로 설정하였다. 또한 기후변화에 따른 농업부문의 중장기 전망의 시점은 관련분야 연구결과를 고려하여 최대 2100년까지로 설정하였다. 농업부문의 영향의 분석대상은 농업기후지대, 농업생태계, 농업계의 인식도 등으로 설정하였고, 농업생산성 분석을 위한 분석대상 작목은 쌀, 채소류(배추, 무 등), 과실류(사과, 감귤 등) 등으로 설정하였다.

3. 선행연구 검토

3.1. 기후변화가 농업생태환경에 미치는 영향

기후변화가 농업생태환경에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 이루어졌다.

이병렬(1995)은 기후변화에 따른 농업기후지대의 이동, 시나리오별 농업기후지수 작성, 농업기후지대별 재배기간 변동 등 농업생태계에 미치는 영향을 지도를 이용하여 체계적으로 분석하였다.

심교문 외 3인(2003)은 지난 97년간(1904~2000) 우리나라에 영향을 준 기상재해의 유형과 이들의 발생 현황을 살펴보고 최근 10년간(1991~2000) 농작물에 피해를 준 기상재해의 유형별 발생횟수를 시·군별로 정리·분석하여 기상재해의 지역성과 발생빈도를 파악하였다.

이상돈(2005)은 지구온난화로 인한 기후변화에 따른 생태계의 변화에 대해 농업생태계에 대한 영향, 육상생태계에 대한 영향, 생물다양성에 대한 영향, 해수면 상승에 의한 바다생물의 영향으로 구분하여 분석하였다. 기후변화가 식생에 미치는 영향에 대한 포괄적 해석과 예측을 통해 적응대책의 시사점을 도출하여 제시하였다.

김종일(2007)은 기후변화의 주요 영향 및 전망, 기후변화와 관련 있는 기상재해를 분석하였다. 이 연구에서는 연안지역, 폭풍우, 폭설, 폭염 측면에서 방지대책과 재해위험지도를 작성하여 재해위험지구주민의 이주 등 재해대응체계를 제시하였다.

3.2. 기후변화와 농업생산의 장기적 추세 분석

기후변화와 농업생산의 장기적인 추세분석에 대한 연구로서 이정택 외(1994)는 Kira의 방법을 이용한 온량지표(WI)와 한랭지표(CI)를 이용하여

1931~1960년과 1961~1990년 우리나라의 기상현황을 비교하고, 농업에 큰 영향을 미치는 농업기후자원 분포와 변화를 분석하여 다가올 기후변동을 예측하고 대응책을 제시하였다.

김정호(1998)는 SAS/ETS의 비선형모형을 이용한 로지스틱함수를 통해 평년 단수 및 전망을 추정하고 회귀분석을 통해 재배요인이 단수에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 토대로 단수 결정의 시나리오를 분석하였으며 쌀 생산 및 양곡 수급정책 수립을 위한 정보를 제시하였다.

박현태, 김연중, 한석호(2002)는 과채류 중 생산액 비중이 큰 수박, 딸기, 오이, 참외 4개 품목 및 14개의 주산지 지역을 선정하여 품목별 주산지의 집중도 지수 산정과 주산지별 경쟁력을 분석하였다.

이양수 외 2인(2005)은 벼의 기후변화 취약성을 파악하기 위해 연도별 평균기온의 계절별 변화 추세와 최근 30년간 벼 등숙기간의 적정온도 출현변화를 분석하였다. 특히 과수의 만개를 예측하기 위해 과수가 만개기에 다가가는 발육속도(DVR)와 그 속도에 의해 도달되는 발육단계(DVS)로 나누어 응용산식을 구하여 계산하였고, 또한 최근 일어난 농업기상재해의 분포를 검토하여 농업분야의 기상재해 대책에 대한 정보를 제시하였다.

3.3. 기후변화가 농업생산에 미치는 영향

주영희(1994)는 선진국의 기후변화에 따른 작물수량조사 순환모형과 미국 환경보전국의 GISS(Goddard Institute for Space Studies) 모형, 영국기상청 모형 등을 인용하여 미국, 유럽, 호주, 일본, 러시아 등 주요국의 기후변화에 따른 작물생산량 변동을 분석하고 기후변동이 세계 농업 생산에 미치는 영향을 제시하였다.

김정호·이정환(1996)은 비선형모형을 이용한 로지스틱 함수를 추정하여 1965년 이후 일반계 논벼의 단수에 영향을 미치는 요인을 육종, 보급, 재배기술, 기상조건 측면에서 분석하였으며 1990년대 초의 단수 정제 요인을 규명하였다.

이용선 외 2인(2005)은 자기회기시차분포모형, 가격신축성 함수, 결합최소자승법, 단수함수와 재배면적반응함수를 이용하여 청과물의 작황과 기상조건을 분석하고 청과물의 계절별 수급 현황, 기상요인이 청과물 공급과 가격에 미치는 영향을 분석하였다.

윤성탁(2005)은 여러 학자들에 의해 보고된 지구온난화와 이에 따른 기후변화 예측시나리오를 이용하여 지구온난화의 증거를 진단하고 온난화에 따른 우리나라 기후변화에 대한 예측과 농업생산에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 전망과 대응 방안을 제시하였다.

한화진 외 10인(2006)은 기후변화의 영향평가 및 적응시스템 구축에 관한 연구에서 작물기후통합-미곡(CERES-Rice) 모형을 이용하여 1971~2000년 기준의 단보당 벼 수확량 대비 2080년 벼 수확량 전망치를 제시하였다.

최근 농촌진흥청(2007b)은 지구온난화에 따른 농업환경의 영향평가 및 적응대책과 관련 농작물 재배지대 변화, 월동환경변화에 따른 작물별 병해충 발생 진단, 농업의 생산성 변화 예측, 기후변화 적응품종 개발 등을 제시하였다.

김건엽 외 4인(2008), 심교문 외 5인(2008)은 기후변화에 따른 농업환경 영향평가, 생물계절 및 농업기후자원의 변화와 농업환경변화 등에 대한 분석결과를 체계적으로 제시하였다.

이승호 외 5인(2008)은 나주지역을 대상으로 기온상승에 따른 벼와 보리의 출수기의 상관관계와 수량 분석과 배의 착과수 변화 및 당도와 과중에 미치는 영향, 고추의 역병발생과 강수일수 변화 등 농업생산에 미치는 영향에 관한 실험적 분석결과를 제시하였다.

3.4. 기후변화에 대한 농업의 대응방안 연구

기후변화에 따른 농업부문의 대응방안에 대한 연구로 윤성호 외(2001)는 2001년 IPCC에서 밝힌 기후변화의 과정과 예측 시나리오를 중심으로

기후변화가 국내외 농업생태계에 미치는 영향을 분석하고 우리나라 농업 부문의 기후변화에 대한 대책을 제시하였다.

나영은 외 6인(2007)은 기후변화가 우리나라 농업부문에 미치는 영향 및 적응 방안을 모색하기 위해 IPCC, UNDP, 일본, 영국, 호주, 캐나다 등 국제기관과 주요국의 자료를 수집·분석하였다.

이양수(2007)는 기상청 한국기후표(1971~2000)를 이용하여 기후변화에 따른 작물계절 출현일 변화, 서리 기간 변화, 과수 만개기 변화 및 벼 적정 등숙 기온의 변동을 구함으로써 기후변화가 농업환경과 기상환경에 미치는 영향을 분석하고 이에 따른 대책을 제시하였다.

이정택(2007)은 기후변화가 농업에 미치는 영향을 농업생태계, 벼 등숙 기온과 사과 재배적지 환경 변화 등의 농산물 생산환경 측면에서 분석하고, 농업기상 정보 활용과 재해 경감대책, 적응을 위한 작물 육종 등 기후 변화 대응책을 제시하였다.

3.5. GIS를 활용한 기후변화 분석

서형호(2003)는 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용하여 원예연구소에서 작성한 ‘사과의 기후적 적지 판정 모형’을 바탕으로 기온 상승정도별 적지변동 예측과 기온 상승정도별 적지변동을 예측하였다. 이 연구에서는 생육기온이 상승함에 따라 남쪽에서 북쪽으로, 해안에서 내륙으로, 평지에서 산지로, 도시 중심에서 외곽으로 재배적지가 이동한다는 분석결과를 제시하였다.

전승종(2007)은 기후 온난화가 감귤의 생장과 품질에 미치는 영향과 기후변화별 감귤재배지 분포도를 작성하기 위해 난지농업연구소에서 제작한 감귤의 기후적 생육적지판정모형을 바탕으로 GIS를 이용하여 분석하였다. 기온 상승을 가상하여 감귤재배지의 이동을 예측함으로써 장래 감귤산업의 중장기 발전 계획수립의 기초 자료를 제공하고 있다.

3.6. 해외연구

기후변화에 따른 농업부문의 영향분석 및 대책과 관련하여 해외에서는 많은 연구가 이루어졌다. Solomou and Wu(1999)와 Khatri et al.(1998) 등은 1867-1913년(영국), 1870-1913년(독일)의 기간 동안 유럽 국가들에 있어 전체 농업생산지수가 강수량 및 기온과 같은 기후변수에 의해 어떤 영향을 받는지를 준모수 추정법을 적용하여 분석한 결과 평균기온 이하에서는 기온상승 시 생산량이 증가하나 어느 수준 이상의 고온에서는 추가적인 기온상승이 오히려 산출을 낮추는 것으로 나타났다.

Chang(2002)은 2단계 접근방식을 적용하여 기후변화와 대만 농업의 잠재적 영향을 추정하였다. 첫 번째 단계에서는 기후변화에 따른 주요작물의 단수반응함수를 추정하였고, 두 번째 단계에서는 추정된 함수를 기초로 가격내생 수리계획모형을 적용하였다.

Wang and Mauzerall(2004)은 한국, 중국, 일본 3개국을 대상으로 오존 및 관련 화학적 추적자 모형을 적용하여 1990년과 2020년에 오존의 변화에 따른 곡물 생산량변화와 단수 감소에 따른 경제적 피해 등을 계측하였다.

Adger(2006)는 기후변화에 따른 농업부문 영향 및 적응 방안과 관련하여 IPCC의 분석자료를 이용하여 2100년의 기온변화 예측과 이를 기초로 한 대륙별 주요 작물(미곡, 옥수수, 소맥, 대두 등)의 단보당 수확량 전망치를 제시하였다.

Deschenes and Greenstone(2007)은 온도와 강수량 등 기후변화에 따라 농업수익에 미치는 영향을 분석하여 장기적으로 지구온난화에 따라 기온이 상승할 경우 미국 캘리포니아 지역의 농업수익에 미치는 영향을 추정하여 제시하였다. 특히 이 연구에서는 특성함수(hedonic function)를 이용하여 기후변화에 따른 농업부문의 경제 분석의 새로운 틀을 제시하고 있다.

Tubiello and Fischer(2007)는 생태경제학적 모형을 이용하여 지구온난화로 기온이 상승할 경우 1990~2080년까지 매 10년마다 주요 곡물(소맥, 쌀, 옥수수, 조곡 등)의 세계 지역별 생산량 변화를 분석하였다. 특히 그들의 연구결과에서는 기후변화 정도에 따라 지역별로 식량부족 문제가 심화

될 수 있다는 점에서 특정 개도국의 경우 식량안보가 중요해질 수 있음을 강조하였다.

3.7. 선행연구와 본연구의 차별성

기후변화에 따른 농업부문의 연구는 기후변화대책 수립과 관련 온실가스 감축에 초점을 맞추어 기술적 연구가 산발적으로 이루어져 왔다. 이 연구는 과학적 연구 성과를 기초로 경제적·정책적 측면에서 영향분석과 대응전략을 제시하는 종합적인 연구에 초점을 맞추었다.

1년차 연구에서 농업분야의 기후변화에 대한 심층적이고 신뢰성 있는 영향분석을 위해 국내외 관련분야 최근 연구자료와 전문가를 최대한 활용하였다.

지구온난화 및 전지구 기후변화 추세 및 전망자료는 IPCC(2007)에서 발간한 제4차 기후변화 평가보고서를 활용하였다. 한반도 기후변화의 중장기 전망(1971~2100)과 관련하여 기온 및 강수량 편차 전망치는 국립기상연구소 권원태 박사와 차유미 연구사의 지원을 받았다. 기후변화가 국내 쌀 생산에 미치는 중장기 전망은 국립농업과학원의 심교문 박사에 의해 기상환경과 작물생육을 연계한 CERES(Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis)-Rice 모형을 이용하여 이루어졌다.

일본의 기후변화에 따른 농업부문의 영향분석에 관한 사례는 큐슈대학교 야베 교수와 일본농업환경기술연구소의 관련 자료를 지원 받아 정리하였다.

농업분야의 기후변화 영향분석과 관련 비모수 및 준모수 방식을 적용한 농업생산성 변화 분석은 서울대학교 권오상 교수에게 원고의뢰로 수행되었다. 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 분석 모형에 대한 검증 및 미국의 농업부문 경제적 영향분석 사례는 리카디언 모형을 처음으로 개발하고 이 분야의 연구를 활발하게 수행하고 있는 예일대학교 멘델존 교수가 협동연구자로 참여하였다.

4. 연구 방법과 내용

기후변화에 따른 농업부문 영향에 대한 정확한 실태 진단과 기존의 연구성과를 파악하기 위해 우선 국내외 관련분야의 학술문헌을 검토하였다. 또한 농림수산식품부, 농촌진흥청, 국립농업과학원, 한국환경정책평가연구원, 국립기상연구소 등 유관기관과 연구기관 등에서 이루어진 발간물과 연구보고서를 검토하였다. 이 분야의 해외 연구동향을 파악하기 위해 일본, 미국, 캐나다, 호주 등의 주요국가와 IPCC, OECD 등 국제기구의 관련문헌도 검토하였다.

기후변화에 따른 농업부문 영향분석에 관한 체계적이고 심층적인 연구를 위해 농업계 인지도 파악을 위한 설문조사, 비모수·준모수 모형을 이용한 농업생산성 분석, 기상-작물통합모형을 이용한 작물생산성의 장기전망, 리카디언 모형을 이용한 농업경제 분석 등 네 가지 방법을 이용하였다.

첫째, 기후변화에 대한 농업계의 인식도 파악을 위해 농업인과 관련분야 전문가(정책담당자 포함)를 대상으로 설문조사와 면담조사를 실시하였다.

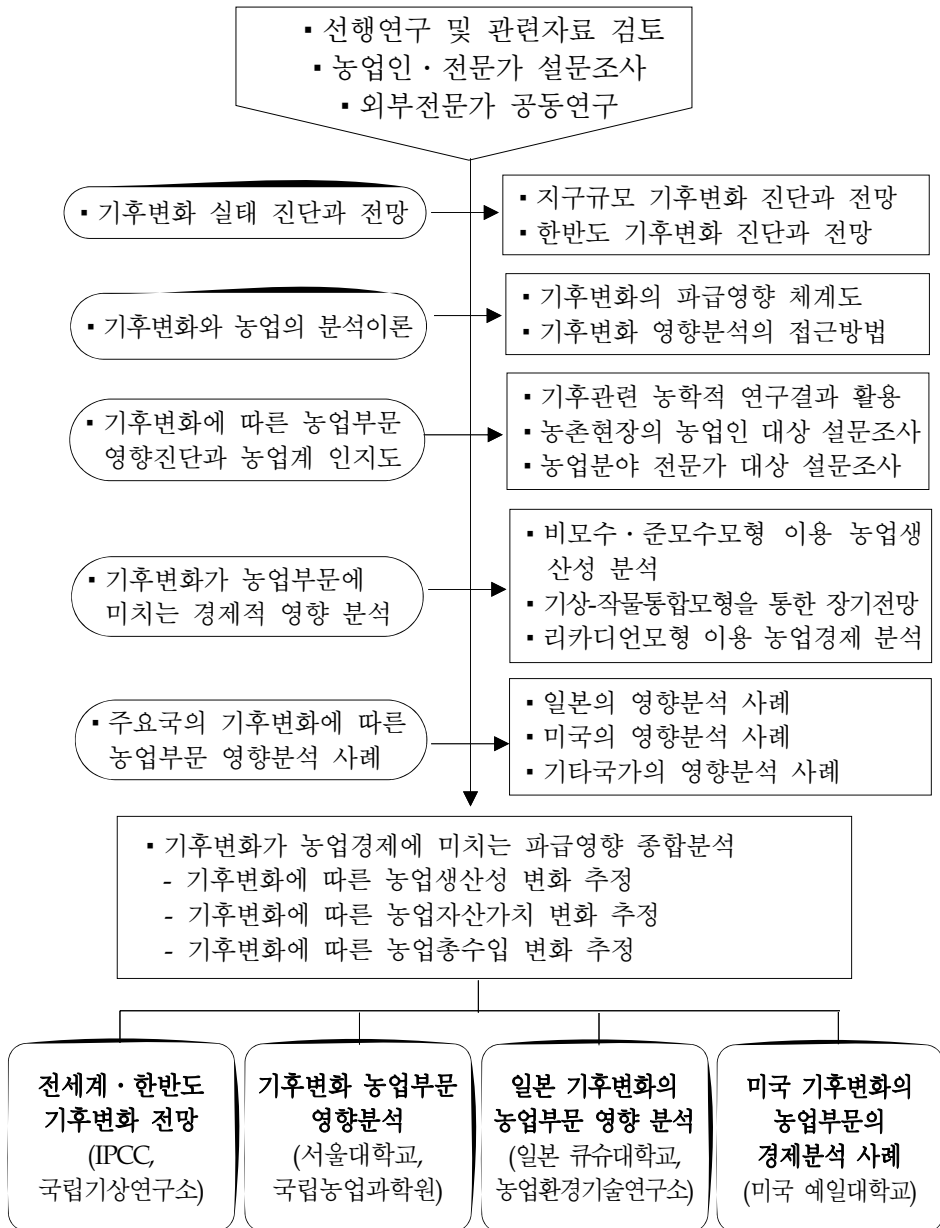
둘째, 기온과 강수량 등 기후요인 변화에 따른 농업부문 영향 계측을 위해 기후-작물반응함수를 설정하고 비모수적 커널회귀분석과 준모수 추정방식을 적용하였다.

셋째, 기후변화에 따른 작물생산의 장기적 전망은 국립농업과학원의 벼생육모형(CERES-Rice)을 통한 생산성 예측치 결과를 이용하였다. 기온상승에 따른 작물의 장기전망과 재배적지 변동은 시각적으로 쉽게 이해할 수 있도록 지리정보시스템을 이용하여 지도로 제시하였다.

넷째, 기후변화가 농가자산 및 농업총수입 등에 미치는 경제적 영향 분석을 위해 2단계의 특성함수(hedonic function) 추정방식인 리카디언 모형(Ricardian model)을 이용하였다.

기후변화의 농업부문 영향분석에 초점을 맞춘 1년차 연구의 내용은 7개의 장으로 구성하였다. <그림 1-1>의 연구 흐름도에 제시된 바와 같이 이 연구는 기후변화 실태분석과 전망, 영향분석의 이론 검토, 기후변화에 대한

그림 1-1. 연구 흐름도(1년차 영향분석 연구)



농업계의 인지도 파악을 위한 설문조사, 농업생산성과 농가자산 및 농업총수입에 미치는 경제 분석, 영향분석에 관한 주요국 사례 검토 등을 체계적으로 다루었다.

우선 서론에서는 연구의 필요성, 연구목적과 범위, 선행연구 검토, 연구방법 등을 제시하였다.

제2장에서는 IPCC 기후변화 전망자료를 이용하여 세계 기후변화를 진단하고 예측하였다. 또한 국립기상연구소, 국립농업과학원, 한국환경정책평가연구원의 기후변화 분석 자료를 이용하여 우리나라의 기후변화 실태를 진단하고 전망하였다.

제3장에서는 기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 체계를 도식화하여 제시하였고, 농업생산의 중장기 예측모형인 CERES 모형, 농업부문의 경제적 영향분석을 위한 리카디언 모형의 이론과 적용 방법 등을 다루었다.

제4장에서는 기후변화에 따른 농업환경 변화를 파악하기 위해 식물온도와 작물온도를 이용한 농업기후자원의 변화, 기온과 강수량 변화를 통한 농업기후지대 분석, 벼·맥류·채소·과실 등 농산물 생산에 미치는 영향과 주산지 이동 등을 다루었다. 또한 기후변화에 대한 농업계의 인지도를 알아보기 위해 농업인과 전문가를 대상으로 한 설문조사 결과를 제시하였다.

제5장에서는 비모수 및 준모수 방법을 적용하여 기후변화에 따른 농업생산성을 분석하고, 기후-작물통합모형(CERES-Rice)을 이용하여 장기적인 쌀 생산을 예측과 과수재배의 현장 시험결과를 기초로 사과와 감귤 재배적지 변화를 전망하였다. 또한 환경과 경제의 통합모형인 리카디언 모형을 이용하여 기후변화가 농가자산 및 농업총수입에 미치는 영향분석 결과를 제시하였다.

제6장에서는 농업부문 영향 분석과 관련 일본과 미국사례를 심층적으로 다루었다. 또한 인도, 아프리카, 중국, 캐나다, 대만 등 주요국의 농업부문 영향분석 사례를 검토하였다.

끝으로 7장에서는 요약과 결론을 제시하였다. 아울러 연구의 한계와 2년차 연구과제의 핵심내용을 간략하게 제시하였다.

기후변화에 따른 농업부문의 영향 분석을 위해서는 기후변화에 대한 현황 파악과 미래 예측이 필요하다. 제2장에서는 기후변화에 대한 정확한 실태 파악과 중장기 예측을 위해 우선 전세계 기후변화의 대표적인 특징인 지구온난화 현상에 대한 진단과 IPCC 제4차 기후변화평가보고서를 기초로 시나리오별 기후변화 미래 예측과 온도상승에 따른 부문별 파급영향을 살펴보았다. 국내 기후변화 실태는 기온과 강수량 및 이상기상 등을 중심으로 진단하였다. 또한 국내 기후변화의 중장기 예측은 관측지점별 기온 자료를 이용하여 주요 지역별로 2030년까지의 기온변화 추세를 전망하였고, 농촌진흥청의 예측치 자료를 이용하여 한반도의 기온과 강수량 변화를 전망하였다. 2100년까지 한반도의 기온 및 강수량에 대한 장기 예측은 국립기상연구소의 A1B 시나리오를 상정한 전망치 결과를 이용하여 제시하였다.

1. 세계 기후변화 진단과 예측

1.1. 지구온난화 현황

기후는 특정지역의 장기간에 걸친 대기상태를 지칭하며, 기후변화란 자연적인 요인과 인위적인 요인에 의해 기후계가 점차 변화하는 것을 의미한

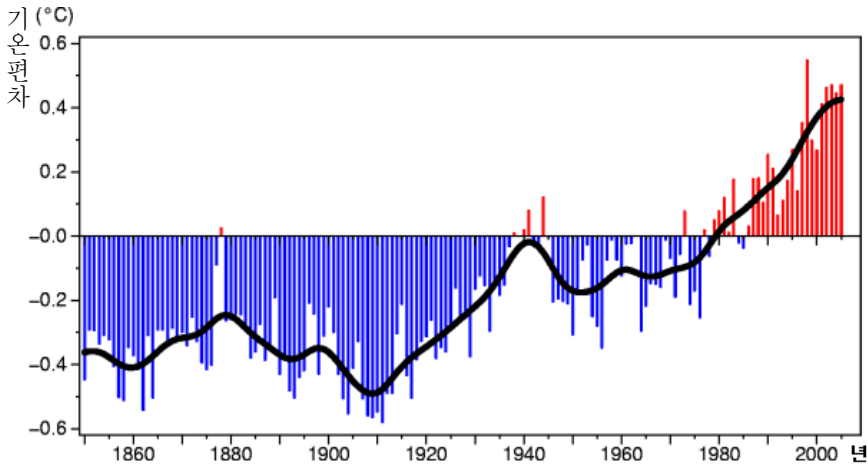
다. 기후변화는 대기권, 수권, 생물권, 설빙권, 지권 등 기후시스템을 구성하는 각 요소의 변화 또는 요소간의 복잡한 상호작용에 의해 발생한다. 기후변화를 일으키는 원인은 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있다. 자연적 요인에는 태양활동의 변화, 화산분출, 해수온도와 빙설분포, 편서풍 파동이나 대기 파동 등을 들 수 있다. 인위적 요인으로는 공업이나 농업 등의 생산활동에 의한 이산화탄소 배출, 산림파괴, 산성비, 프레온가스 등에 의한 오존층 파괴 등이 있으며, 온실가스에 의한 지구온난화(global warming)가 대표적이라 할 수 있다(국가과학기술자문회의, 2007).

지구온난화는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6) 등이 발생시키는 온실효과에 의한 지구온도의 평균적인 상승을 의미한다.¹ 이러한 온실효과에 의해 지구 기온이 지속적으로 상승하는 지구온난화 문제는 화석연료의 소비가 급증한 산업혁명을 기점으로 시작되었다. 지구온난화에 대한 국제 사회의 관심은 1970년대 들어 기후에 대한 과학적 지식이 축적되면서, 인류의 온실가스 배출이 지구 온난화를 초래한다는 가설이 과학자들 사이에 광범위하게 받아들여지면서 커지게 되었다.

전세계의 온실가스 농도는 이산화탄소를 기준으로 산업혁명 이전(1750년)의 280ppm에서 2005년에 379ppm으로 크게 증가한 것으로 추정되고 있다. 지구의 평균기온 분석 자료(Climatic Research Unit, 2006)에 따르면 산업혁명 시기부터 지금까지 진행되어 온 지구 평균기온의 상승은 산업혁명 이전보다 훨씬 빠르게 진행된 것으로 나타났다. 특히 1980년 이후 지구 온난화가 현격히 증가하는 추세이며, 1998년은 1961~1990년의 평균보다 0.58°C 높은 것으로 분석되었다<그림 2-1>. 또한 그림에서 제시된

¹ 온실효과는 대기 중에 포함되어 있는 수증기나 이산화탄소 같은 대기성분이 지구에 도달한 태양에너지가 외부로 복사되는 광선을 차단하여 지구 온도가 비교적 따뜻하게 유지되는 현상을 지칭한다. 이는 1896년 스웨덴의 화학자인 아레니우스(Svante Arrhenius)가 처음 제기한 것으로 대기 중의 이산화탄소 농도 증가가 기온 상승을 초래할 수 있다는 연구에서 비롯되었다(신의순, 김호석. 2005. p.103).

그림 2-1. 1961~1990년의 평균기온 대비 기온편차(1860~2005년)



자료: Climate Research Unit(2006).

바와 같이 1850년 이래 가장 더웠던 12번 중 11번이 최근 12년 내에 이루어진 것으로 기록되었다.

지구온난화에 대한 체계적이고 신뢰성 있는 진단을 위해 기후변화에 관한 과학적인 분석 작업이 1990년 이후 IPCC에 의해 주기적으로 이루어지고 있다. IPCC 기후변화 평가보고서는 지금까지 1차(1990), 2차(1995), 3차(2001) 보고서가 출간되었고, 2007년 2월, 4월, 5월에 각각 제4차 평가보고서의 제1 작업그룹(자연과학적 근거), 제2 작업그룹(영향·적응·취약성), 제3 작업그룹(완화 대책)의 보고서가 발표되었다(IPCC, 2007).²

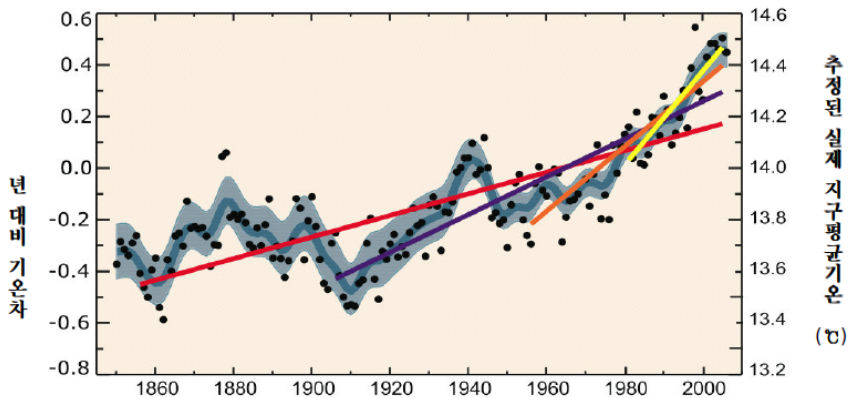
자연과학적 근거를 기초로 정리한 IPCC의 제1 작업그룹 보고서는 지구 온난화 현황에 대해 과거 100년 동안에 이산화탄소 농도가 공업화 이전(약 280ppm)의 약 1.4배(2005년 379ppm)까지 증가한 것으로 제시하고 있다. 이에 따라 지난 100년간(1906~2005) 전세계 평균기온은 0.74℃(0.56~0.92℃) 상승한 것으로 추정되고 있다<그림 2-2>. 특히 20세기 후반의 북

² IPCC는 1988년 설립된 국제기구이며, 2007년 4월에 발간된 제4차 평가보고서는 약 6년간에 걸쳐 전세계 2,500명의 과학자가 참여하였고, 130여개 국가가 이 보고서의 타당성을 인정하였다(국가과학기술자문회의, 2007).

반구 평균기온은 과거 1850년 이후 기온변화 기록에서 가장 높았던 것으로 나타났고, 최근 20년간의 기온상승 경향은 과거 100년간의 2배 이상인 것으로 밝혀졌다. 이 보고서에서는 기후시스템의 온난화 발생은 의문의 여지가 없고 온실가스 증가는 인위적 요인으로 거의 단정하고 있다.³

기상청 국립기상연구소에 따르면 지구온난화로 한국의 평균기온 상승폭은 과거 100년간(1904~2000)에 1.5℃로 지구평균 상승온도인 0.74℃보다 2배 정도 높은 것으로 나타났다(국립기상연구소, 2007).

그림 2-2. 전세계 평균기온과 변화 추세선



자료: IPCC(2007).

지구온난화가 지속되면서 북극과 남극의 기온상승으로 빙하가 감소하고 극지방 호수의 파빙기간도 감소하는 것으로 나타나고 있다. 또한 지구온난화는 홍수와 가뭄 및 해수면 상승 등 이상기후를 발생시켜 세계 여러 곳에서 자연재해가 크게 증가하고 있다(기상청, 2008b).⁴

³ IPCC의 2001년 「제3차 평가보고서」에서는 100년 동안 기온이 0.6℃ 상승한 것으로 추정하면서, 인위적인 요인이 온난화의 원인일 가능성이 있는 것으로 밝혔으나 4차 평가보고서에서는 단정적인 표현을 사용하였다.

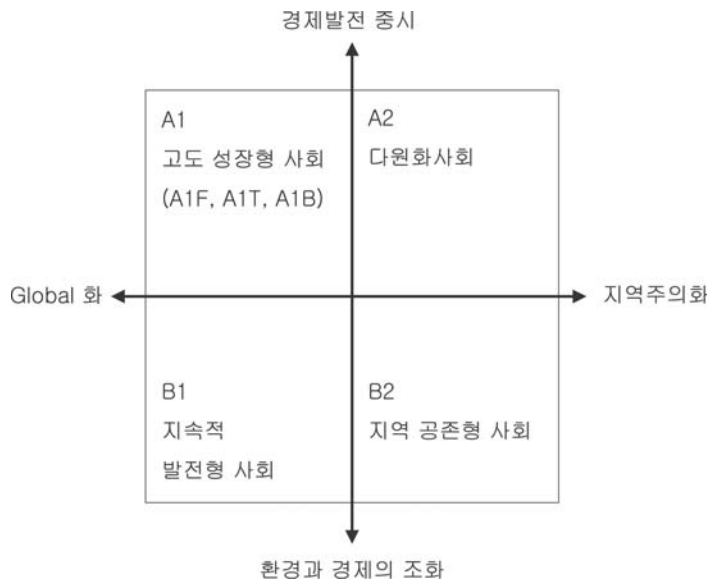
⁴ 지구온난화에 의한 자연재해로 1995년 중국 홍수, 1997년 라인강 홍수, 2000년 동유럽 홍수, 2000년 모잠비크와 유럽홍수, 2004년 방글라데시 홍수 등을 들 수 있다.

1.2. 세계 기후변화의 현황과 예측

세계의 기후변화는 지역적 특성과 사회경제적 변수, 기상변수 등 다양한 요인에 의해 이루어지기 때문에 실현 가능한 몇 가지 시나리오를 구성하여 예측이 이루어진다. IPCC의 기후변화평가 보고서에서는 인구통계와 사회경제적 발달 등에 따른 온실가스 농도의 변화를 예측하여 온실가스 배출 시나리오를 제공하고 있다. 온실가스 배출 시나리오 특별보고서(Special Report on Emission Scenario, SRES)는 크게 네 가지 시나리오(A1, A2, B1, B2)로 나누고 A1에서 중시되는 사항에 따라 변형된 시나리오(A1F, A1T, A1B)를 구성하여 접근하고 있다<그림 2-3>.

A1 시나리오는 세계 경제의 급속한 성장, 인구증가는 2050년에 최고에 도달한 이후 감소 추세, 효율적인 기술도입 등을 가정하는 고도경제성장 시나리오로 화석에너지 사용 시나리오(A1F1), 비화석에너지원 사용 시나리오(A1T), 모든 에너지원 균형 사용 시나리오(A1B) 등으로 나누어진다.

그림 2-3. 기후변화 예측을 위한 시나리오 구성 개념도



A2 시나리오는 인구증가율이 높고 낮은 경제성장, 기술은 가장 분화되고 느리게 발전하는 다원화사회 시나리오이다.

B1 시나리오는 인구는 A1과 같고 경제성장은 낮으나, 경제구조가 서비스와 정보경제 중심으로 변화하며, 청정기술과 자원효율성을 강조하는 지속가능 발전을 추구하는 시나리오이다.

B2 시나리오는 인구와 경제성장이 A1과 B1의 중간이고 경제적·사회적·환경적 지속가능성에 대한 지역적 해법을 강조하는 지역공존형 시나리오이다.

미래의 온도상승 폭에 대해서는 세계평균으로 1980~1999년에 비해 21세기말(2090~2099)의 평균기온 상승은 1.1~6.4℃인 것으로 예측되고 있다. 또한 해수면은 열팽창과 육지빙하의 손실로 18~59cm 상승할 것으로 전망되고 있다<표 2-1>.

표 2-1. 시나리오별 2100년 기온상승 예측

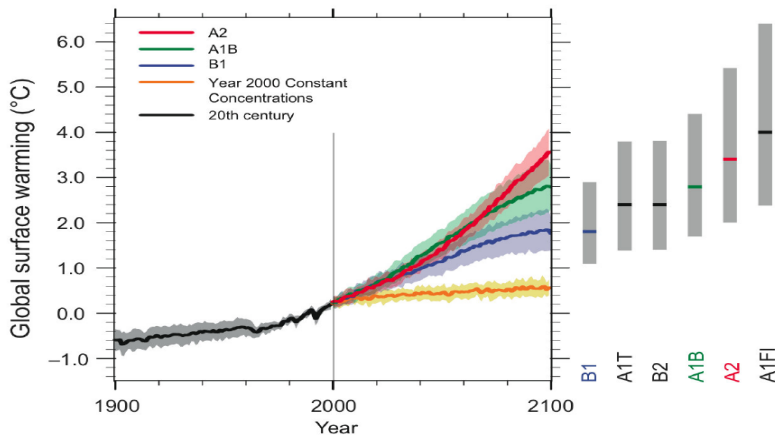
시나리오	온도변화(℃)		해수면상승 (cm)
	최적 추정치	예상 범위	
고도성장형 사회 시나리오(A1FI)	4.0	2.4~6.4	26~59
비화석에너지원 중시(A1T)	2.4	1.4~3.8	20~45
에너지원의 균형 중시(A1B)	2.8	1.7~4.4	21~48
다원화사회(A2)	3.4	2.0~5.4	23~51
지속적 발전형 사회 시나리오(B1)	1.8	1.1~2.9	18~38
지역공존형 사회(B2)	2.4	1.4~3.8	20~43

자료: IPCC(2007), p.8.

시나리오별로 미래의 기후변화 예측치는 큰 차이를 보이고 있다. 환경보전과 경제 발전이 양립하는 「지속적 발전형 사회 시나리오(B1)」에서는 약 1.8℃(1.1~2.9℃), 화석에너지원을 중시하는 「고도성장형 사회시나리오(A1)」에서는 약 4.0℃(2.4~6.4℃)의 상승폭이 예측된다. 단, 2030년까지는

어떤 시나리오를 이용해도 10년당 0.2°C 의 비율로 기온이 상승할 것으로 예측하고 있다<그림 2-4>.

그림 2-4. 시나리오별 기온상승 추세 예측



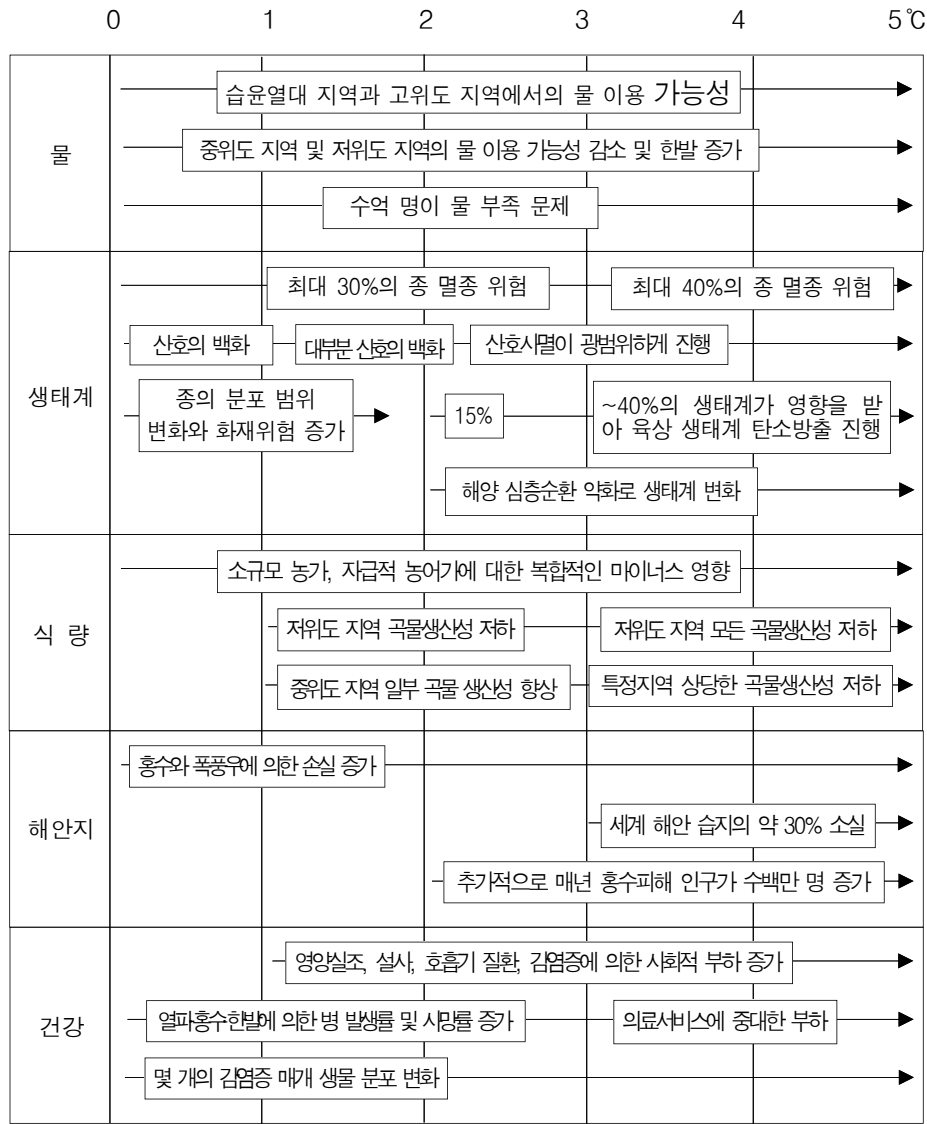
자료: IPCC(2007).

IPCC 제4차 평가보고서에 따르면 기온상승의 정도와 위도별 위치에 따라 온난화 영향은 상당한 차이를 나타내는 것으로 전망되고 있다. 기온상승이 1°C 미만인 경우 물 부족 및 홍수 등 자연재해 피해 발생이 예견되고 있으나 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 인 경우 대부분의 지역에서 피해가 발생하고 평가된 동식물 종의 약 $20\sim 30\%$ 정도가 멸종 위기에 처하게 될 것으로 경고하고 있다. 한편 3°C 이상인 경우 물 부족문제의 심화, 생태계 파괴, 식량생산 감소, 질병발생 증가 등 상당한 경제적·환경적 피해가 발생할 것으로 전망되고 있다<그림 2-5>.

온난화는 대체로 부정적인 영향을 미치나, 정도의 차이에 따라 긍정적인 영향을 미칠 수도 있는 것으로 제시되고 있다. 긍정적인 효과로 이산화탄소의 농도가 높아지면 광합성 활동이 증가하여 비료와 같이 작물생육이나 수량을 증대시키는 효과가 있으며, 이를 ‘ CO_2 시비효과’라고 한다. 현재보다 CO_2 농도가 200ppm정도 증가하는 경우 소맥과 대두 등의 작목에서 약

15%의 수량증가 효과가 있다는 결과가 보고된 바 있다(上路雅子 外2人, 2005).

그림 2-5. 지구온난화에 따른 온도상승의 파급영향



자료: IPCC(2007).

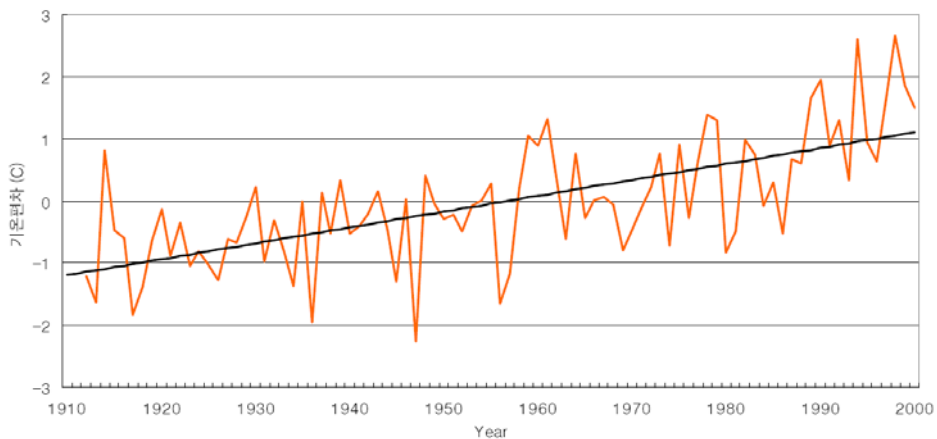
2. 우리나라 기후변화 현황과 전망

2.1. 우리나라의 기후변화 실태 진단

2.1.1. 기온 변화

우리나라는 지리적으로 북반구의 극동지역에 위치한 온대성기후대에 속하고 있어 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하다. 연평균 기온은 전국적으로 보면 12.4°C 이나 지역에 따라 편차가 크다. 대관령의 6.4°C 부터 서귀포의 16.2°C 까지 폭넓게 분포하고 있다. 연평균 기온의 경우 지역차가 큰 편이나 산악지대를 제외하면 대체로 $10\sim 16^{\circ}\text{C}$ 내외이다. <그림 2-6>에 제시된 바와 같이 우리나라에 근대적 기상관측이 시작된 이래, 1904~2000년까지 관측된 기온자료에 대한 분석결과 평균기온은 1.5°C 상승(도시 열섬효과 포함)하여 전세계의 기온상승($0.74\pm 0.18^{\circ}\text{C}$)보다 높은 수준이다. 기온상승의 원인으로는 지구온난화와 도시화이며, 도시화 효과가 20~30% 정도로 분석되고 있다(권원태, 2005; 국립기상연구소, 2006).

그림 2-6. 우리나라 연평균 기온편차 변화 추이



자료: 국립기상연구소(2006), p.4.

기후변화와 관련하여 계절의 변화도 탐지되고 있다. 1920년대에 비해 1990년대는 겨울이 19일 짧아지고, 여름은 16일 길어지는 등 여름과 봄은 길어진 반면 겨울과 가을은 짧아지는 경향을 보이고 있다<표 2-2>.

표 2-2. 여름과 겨울 기간의 변화

		기 간	1920년 대비 1990년 증감
여름	1920년대	6. 3 ~ 9. 21	16일 증가
	1990년대	5. 24 ~ 9. 27	
겨울	1920년대	11. 21 ~ 3. 18	19일 감소
	1990년대	11. 29 ~ 3. 8	

주: 일평균 기온 5℃ 이하를 겨울, 20℃ 이상을 여름, 그 사이를 봄과 가을로 정의함.
자료: 국립기상연구소(2006).

전국의 60개 지점에서 관측된 자료를 평균한 6월부터 8월 사이의 여름철 기온변화를 보면 1960년대에는 23.7℃, 1970년대 23.5℃, 1980년대 23.8℃, 1990년대 23.9℃, 2000년대에는 24.0℃로 상승하여 지난 40년 사이 여름철 평균기온은 1% 상승하여 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 겨울철인 12월부터 2월 사이 기온변화를 보면 1960년대에는 1.3℃이었으나, 1970년대 2.2℃, 1980년대 1.9℃, 1990년대 3.1℃, 2000년대에는 3.2℃로 상승하여 지난 40년 사이 겨울철 온도는 약 140%나 상승한 것으로 나타났다<표 2-3>. 즉 우리나라는 1960년대 이후 지속적으로 온난화 현상이 심화되고 있으며, 이러한 현상은 여름철보다는 겨울철에 훨씬 뚜렷하게 나타나는 것으로 해석될 수 있다.

표 2-3. 연대별 여름철과 겨울철의 평균기온 변화 추이

단위: ℃

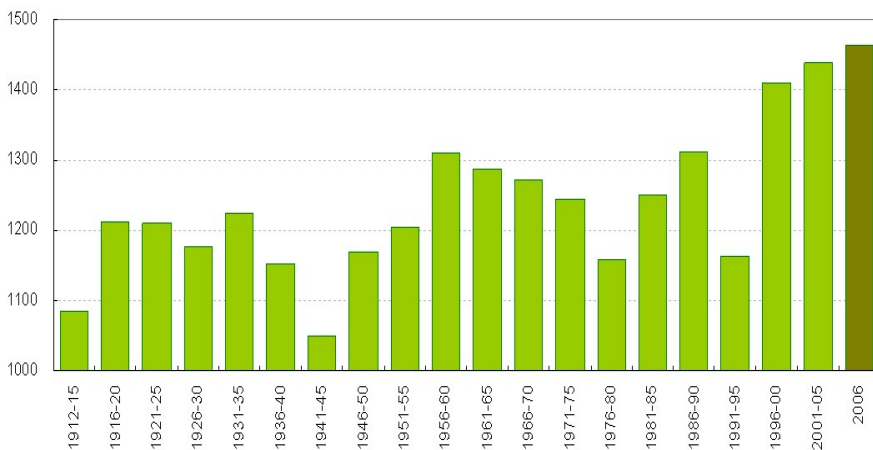
구분	60년대 (A)	70년대	80년대	90년대	2000년대 (B)	A/B 변화
여름철	23.7	23.5	23.8	23.9	24.0	1.01
겨울철	1.3	2.2	1.9	3.1	3.2	2.46

자료: 심교문 외 5인(2008).

2.1.2. 강수량 변화

지난 약 100년간 강수량은 해에 따라 편차가 있으나 장기적으로는 증가하는 추세이다. 1910년대 전반, 1940년대 전반, 1970년대 후반, 1990년대 전반의 강수량은 다른 기간보다 적은 것으로 나타나고 있다. 최근 30년간(1977~2006년) 연평균 강수량은 1,200mm를 중심으로 변화하면서 전체적으로는 다소 증가하는 추세를 보이고 있다<그림 2-7>.

그림 2-7. 우리나라 강수량 변화 추세



자료: 한화진 외 12인(2007), p.105.

우리나라의 연대별 평균 강수량을 보면, 1970년대 1,272mm, 1980년대 1,329mm, 1990년대 1,339mm, 2000년대 1,470mm가 내려 1970년대 대비 2000년대 강수량이 16% 증가하였다. 또한 계절별 강수량 변동을 보면 여름철은 1970년대 598mm, 1980년대 657mm, 1990년대 697mm, 2000년대 761mm로 1970년대 대비 2000년대 여름철 강수량은 27% 증가하였으나, 겨울철은 1970년대 132mm, 1980년대 125mm, 1990년대 110mm, 2000년대 120mm로

1970년대 대비 2000년대 겨울철 강수량은 오히려 10% 감소하였다<표 2-4>. 그 결과 겨울철 대비 여름철 강수량 비율은 1970년대에는 4.5였으나, 2000년대에는 6.3으로 1.4배나 높아져 여름철 집중호우 발생 가능성이 더욱 커졌다. 일 강수량 80mm 이상인 호우발생일수도 1970년대에는 연간 2.1일에서 2000년대에는 3.0일로 1.43배나 증가하고 있다. 이밖에도 겨울철 강수량 부족에 따른 겨울철과 봄철 용수부족 현상도 심화되는 것으로 나타나고 있다.

표 2-4. 연대별 여름철과 겨울철의 강수량 변화 추이

단위: mm

	70년대 (C)	80년대	90년대	2000년대 (D)	비율 (C/D)
여름철 (A)	598	657	697	761	1.27
겨울철 (B)	132	125	110	120	0.90
비율 (A/B)	4.5	5.3	6.3	6.3	-
연강수량	1,272	1,329	1,339	1,470	1.16

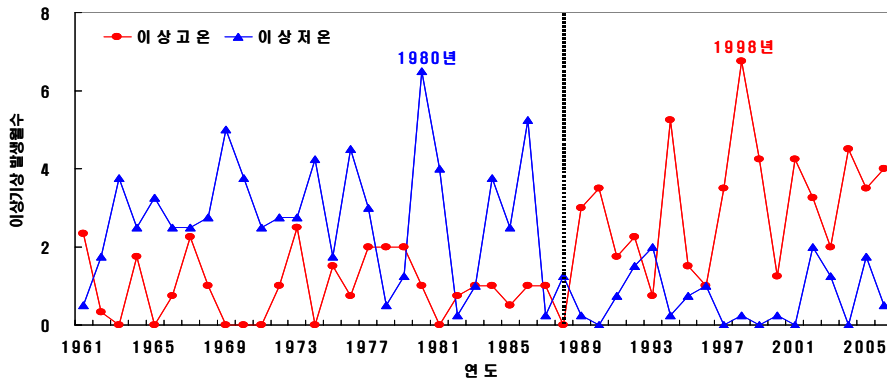
자료: 심교문 외 5인(2008).

2.1.3. 이상기상 발생현황

세계기상기구는 이상기상을 25년에 1회 정도밖에 나타나지 않는 특이한 기상현상으로 정의하고 있다. 지난 46년간(1961~2006년) 수원, 강릉, 대구, 광주 등 4개 지역의 이상기상 발생월수를 보면, 1988년을 기점으로 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 1988년 이전에는 이상저온 발생이 상대적으로 많았으나 그 이후에는 이상고온의 발생이 훨씬 많은 것으로 조사되었다. 저온이 심했던 1980년에 이상저온의 발생월수가 6.5로 가장 많았고, 1998년에 이상고온 발생월수가 6.8로 가장 많았던 것으로 조사되고 있다<그림 2-8>.

1904~2000년까지 재해 유형별 순위를 보면, 가뭄이 5,169일로 가장 많고 다음이 호우, 대설, 이상고온, 강풍, 이상저온, 태풍, 우박, 황사 순으로

그림 2-8. 이상고온과 이상저온의 발생월수 변화(1961-2006년)



자료: 심교문 외 5인(2008), p.47.

나타나고 있다. 기상재해 1회 발생에 따른 평균 발생일수는 가뭄이 45.7일로 가장 길게 지속하였고, 다음으로 이상고온(7.8일), 이상저온(4.0일), 대설(2.6일), 황사(2.5일), 호우(2.4일), 태풍(2.1일), 강풍(1.8일), 우박(1.5일)의 순위로 나타나고 있다<표 2-5>. 최근 이상고온, 이상저온 및 호우 발생이 증가되는 추세를 보이고 있다.

표 2-5. 한반도의 10년 단위 기상재해 빈도(1904~2000년)

	가뭄	폭설	강풍	우박	이상 고온	이상 저온	호우	태풍	황사	계
1904-1910	-	1	2	-	-	2	7	3	-	15
1911-1920	1	6	7	4	-	2	23	5	-	48
1921-1930	1	2	5	4	1	2	6	7	-	28
1931-1940	1	7	6	4	-	4	7	10	-	39
1941-1950	30	23	46	-	-	3	54	5	-	161
1951-1960	29	37	75	9	4	5	53	10	3	225
1961-1970	14	27	19	7	4	10	56	9	3	149
1971-1980	14	32	31	6	3	13	65	8	1	173
1981-1990	13	33	52	9	20	39	56	18	4	244
1991-2000	10	29	3	5	29	30	50	19	15	190
계	113	197	246	48	61	110	377	94	26	1,272

자료: 박정규 외 8인(2003), p.307.

2.2. 우리나라 기후변화 전망

기상연구소의 중장기 기후변화 예측결과에 의하면 우리나라의 2001~2100년 기온은 꾸준히 상승하며, 강수량은 연간 변동이 있으나 전체적으로는 상승하는 추세를 보일 것으로 예측되고 있다(국립기상연구소, 2006).

기후변화 전망을 위해 다원화사회인 A2 시나리오를 상정하여 예측된 2020, 2050, 2080년의 기온, 강수량, 해수면의 변화를 보면 2020년 기온은 과거 30년(1971~2000년)에 비해 1.5℃ 상승하고, 강수량은 5% 증가할 것으로 예측되고 있다. 2050년은 과거 30년 평년기온에 비해 3.0℃ 상승하고, 강수량은 7% 증가하며, 2080년에는 과거 30년 평년기온에 비해 5.0℃ 상승하고 강수량은 15% 증가하는 것으로 예측하고 있다. 또한 해수면은 2100년에 약 50Cm 이상 상승할 것으로 전망되고 있다<표 2-6>.

표 2-6. 한반도 기온과 강수량 변화 예측(A2 시나리오 가정)

	2020년	2050년	2080년
온도증가(℃)	+1.5	+3.0	+5.0
강수량 변화(%)	+5.0	+7.0	+15.0
해수면 변화	2100년 50cm 이상 상승		

주: 1) A2시나리오는 이산화탄소의 배출량이 비교적 급격하게 증가하여 2100년에 농도가 820ppm이 되는 것을 가정한 것이고, B2시나리오는 610ppm을 가정한 것임.

2) 예측된 변화 수치는 1971-2000년의 평균값에 대한 증감임.

자료: 국립기상연구소(2006).

한편 한반도 미래기후 전망을 위해 에너지 균형을 중시하는 A1B 시나리오의 예측결과 평년(1971~2000년) 대비 21세기 말(2071~2100) 우리나라 기온은 약 4℃ 상승하고, 강수량은 약 17% 증가할 것으로 전망하였다. 이와 같은 기후변화가 이루어지는 경우 호우 빈도와 열대야 횟수가 크게 증가할 것으로 전망되고 있다(기상청, 2008a, 2008b)

기후변화의 예측은 다양한 모델과 가정조건 하에서 이루어지고 있다. 실제로 1970~2007년까지 주요 관측지점별 기온변화 추세를 적용하여 전국 주요지

역을 대상으로 2030년의 기온변화를 전망해 보았다. 지역별 기온변화 예측결과를 보면 1970년에 대비하여 군산시 3.0℃, 서귀포시 2.9℃, 서울시 2.7℃, 강릉시 2.3℃, 광주시 2.2℃ 상승할 것으로 전망되고 있다<표 2-7>, <그림 2-9>.

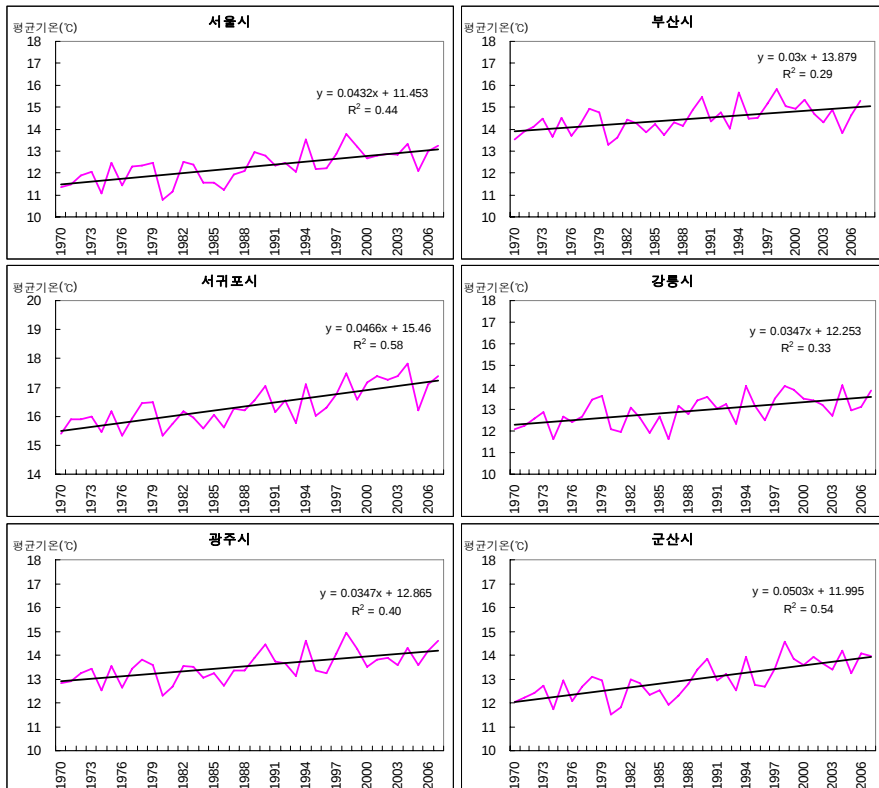
표 2-7. 주요 도시의 평균기온 변화 및 전망

단위: ℃

구분	1970년	2007년	2020년 ^p	2030년 ^p
서울시	11.4 (0.0)	13.3 (1.9)	13.7 (2.3)	14.1 (2.7)
부산시	13.5 (0.0)	15.3 (1.8)	15.4 (1.9)	15.7 (2.2)
서귀포시	15.4 (0.0)	17.4 (2.0)	17.8 (2.4)	18.3 (2.9)
강릉시	12.1 (0.0)	13.9 (1.8)	14.0 (1.9)	14.4 (2.3)
광주시	12.8 (0.0)	14.6 (1.8)	14.6 (1.8)	15.0 (2.2)
군산시	12.1 (0.0)	13.9 (1.8)	14.6 (2.5)	15.1 (3.0)

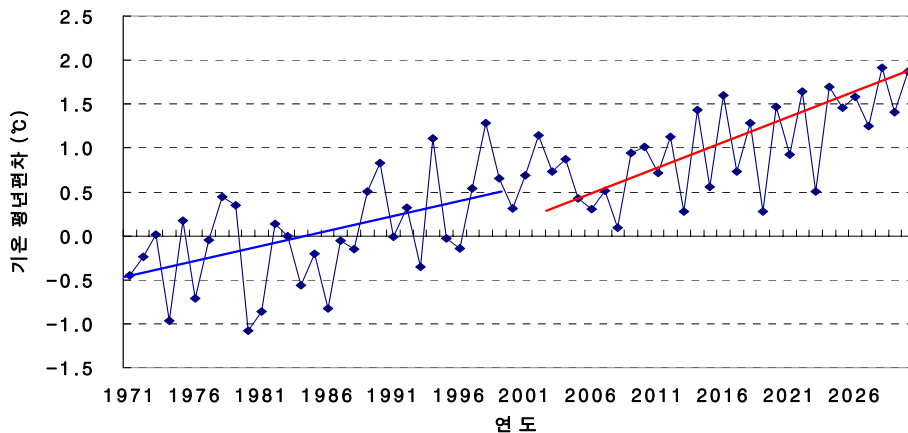
주: ()의 숫자는 1970년 대비 상승한 온도이며, p는 전망치를 나타냄.

그림 2-9. 주요 관측지역의 기온변화 추세(1970~2007년)



지난 30년(1971~2000)의 평년기상과 향후 30년(2001~2030)의 기상변화에 대한 전망치 분석결과를 보면 지난 94년간(1912~2005) 한반도 기온은 1.5°C 상승하였는데, 최근 30년(1971~2000)의 기온 상승폭이 1.04°C 정도나 되어 근래에 가까울수록 기온이 급속히 상승한 것으로 나타나고 있다(심교문 외 5인, 2008). 특히 향후 30년(2001~2030)은 1.79°C 상승할 것으로 전망되어 미래의 기온상승 폭이 현재보다 훨씬 클 것으로 예상되고 있다<그림 2-10>.

그림 2-10. 한반도 기온변화의 추세 및 전망

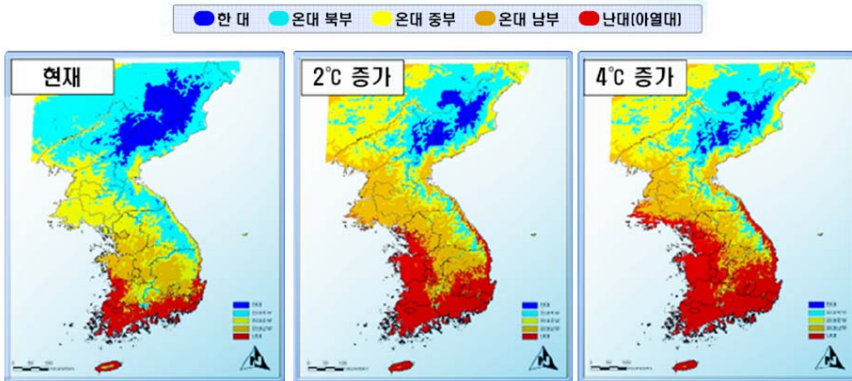


자료: 농촌진흥청(2007b), p.6.

강수량은 연도별 변동폭이 크게 나타난 가운데 뚜렷한 경향을 발견할 수 없으나 조금씩 증가하고 있는 것으로 조사되었다. 향후 30년간의 강수량은 과거 30년간 보다 약 5% 증가할 것으로 전망되고 있다.

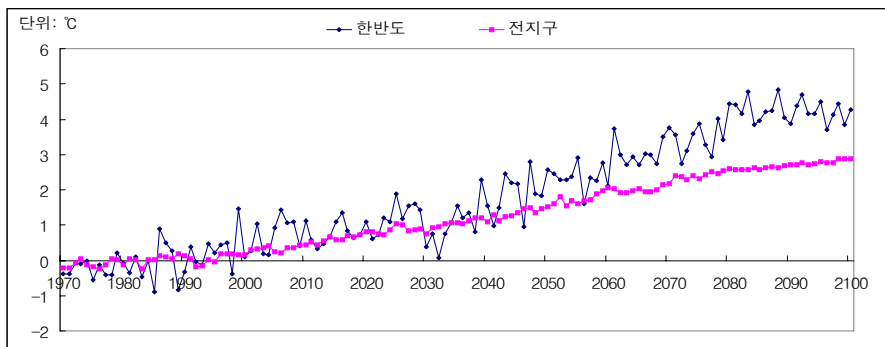
기온상승이 이루어지면 지역별로 상당한 기후대의 변화가 있을 것으로 전망된다<그림 2-11>. 기온이 4°C 상승하는 경우 현재는 제주도와 남해안 일부지역에 해당되는 아열대 기후지역이 태백산맥과 소백산맥을 중심으로 그 주변지역 및 강원도를 제외하고 충청도와 경기도까지 확장될 것으로 예측되고 있다(권영아 외 3인, 2007).

그림 2-11. 한반도 지구온난화의 지역별 분포도 전망



국립기상연구소에서 IPCC 연구결과를 기초로 에너지원의 균형을 중시하는 시나리오(A1B)를 상정하여 전지구의 기후의 경우 1860~2100년, 한반도 기후전망자료는 1971~2100년의 중장기 전망치를 제시하였다. <그림 2-12>에서 보는 바와 같이 평균기온의 경우 한반도의 기후가 세계평균보다 1.5~2℃ 높을 것으로 전망되고 있다. 한반도가 전지구의 기온변화보다 큰 이유로는 우리나라의 이산화탄소 농도 증가와 주변국가인 중국 등 아시아 지역의 인구증가 및 온실가스 증가 요인 등을 들 수 있다(차유미, 2007).

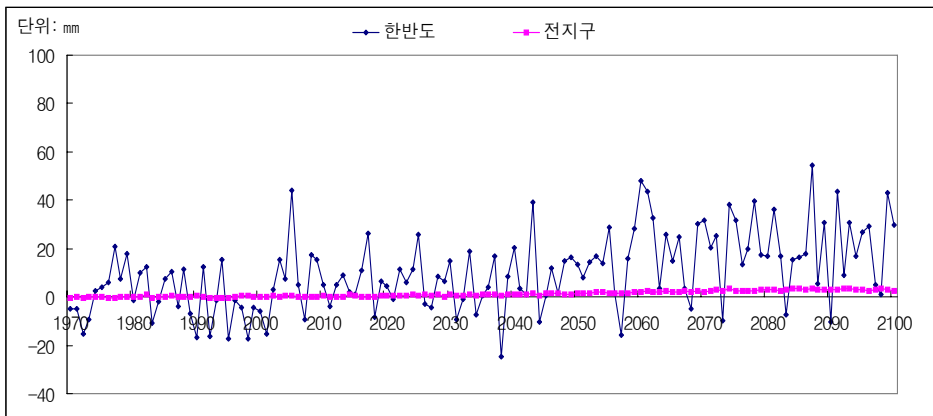
그림 2-12. 기후변화 시나리오의 기온변화 전망



자료: 국립기상연구소(2008).

한편 기후변화 시나리오(A1B)의 강수량 변화 전망치를 보면 세계 전망치보다 연도별로 큰 편차를 나타내는 것으로 전망되고 있다<그림 2-13>. 한반도의 강수량 편차가 전지구의 편차보다 더 크게 나타나는 이유는 기온이 상승하는 경우 수증기 함량이 증가하여 강수확률이 높아지고 또한 한반도 주변의 기온이 상승하게 되면 저기압의 강도가 강해지는 요인 등을 들 수 있다(차유미, 2007).

그림 2-13. 기후변화 시나리오의 강수량 변화 전망



자료: 국립기상연구소(2008).

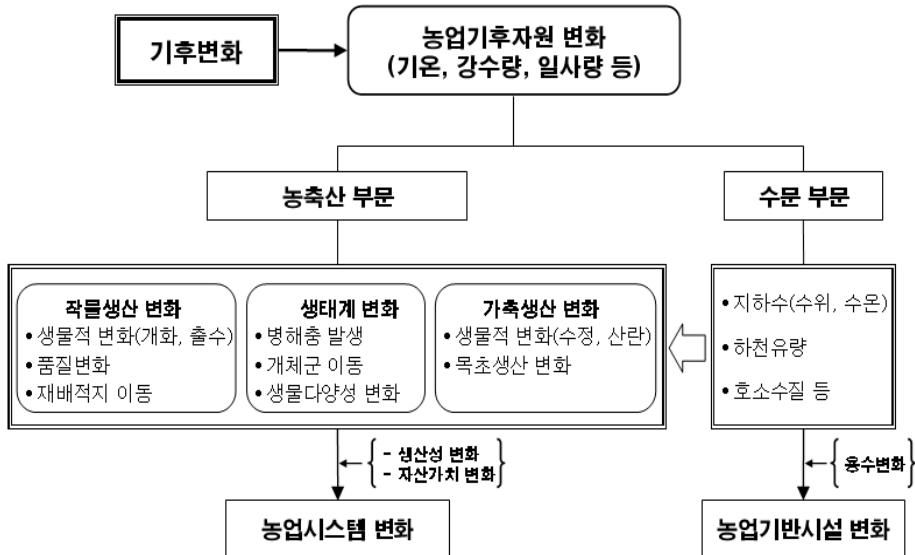
기후변화가 농업부문에 미치는 영향분석은 기술적·경제적 측면에서 여러 가지 이론과 방법론이 적용되고 있다. 제3장에서는 농업부문의 기후변화 영향분석을 위한 이론적 접근으로 우선 농업부문에 미치는 과급영향 체계와 부정적·긍정적 영향에 대한 개념적인 틀을 제시하였다. 농업부문의 기후변화 영향분석 이론으로 생태기후적 이론에 기초를 둔 기후-작물을 통합하는 통합평가모형, 경제적 분석모형으로 속성가격 모형, 프로그래밍 시뮬레이션 모형 등을 제시하였다.

1. 개념적 접근

기후는 어떤 지역에서 어떤 기상현상이 오랜 기간 동안에 되풀이 되어 나타나는 평균적인 기상현상을 말한다. 농업은 그 지역의 기후에 적합한 작물을 선택하고 영농방법을 적용하여 생산 활동이 이루어진다. 따라서 농업은 기후의존적인 산업으로 지역특성이 두드러진 생명산업이다. 지역특성이란 그 지역의 풍토에 따른 생태계의 특성을 말하며, 기후는 지역의 물리적 특성을 대표하는 것 가운데 하나이다. 기후변화는 안정돼 있던 농업 생태계를 교란시켜 기온, 강수량, 일사량 등 농업기후요소 변화를 통해 농축산부문과 수문부문에 영향을 미친다.

기후변화가 농업부문에 미치는 과급영향에 대한 흐름을 <그림 3-1>과

그림 3-1. 기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 체계



같이 나타낼 수 있다. 우선 기후변화가 농작산부문에 미치는 영향으로 작물의 개화·출수 등 생물학적 변화와 품질변화, 재배적지 이동 등을 들 수 있다.⁵ 기후변화는 농업생태계에 영향을 미쳐 병해충 발생과 개체군의 이동 및 생물다양성에 영향을 준다. 또한 축산부문에는 수정과 산란 등 생물학적 변화와 목초생산에 영향을 미친다.

기후변화는 강수량, 증발, 토양수분 등의 변화를 통한 지하수 수위와 수온, 하천 유량, 호소 수질 등 수문 분야에도 영향을 미친다. 기후변화에 의

⁵ 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향은 1차적 영향과 2차적 영향으로 구분될 수 있다. 1차적 영향은 온실가스 증가에 따른 대기 조성성분의 변화로 작물생장 반응의 변화와 농경지 군락내 에너지와 수분 수지변화를 들 수 있다. 이러한 1차적 영향에 의한 농업기후자원의 변동으로 발생하는 2차적 영향은 재배적지변동과 농업생태계의 변화와 농경지도양의 이화학적 변화 등을 들 수 있다(나영은 외6인, 2007, p.94).

한 수자원의 영향을 정량적으로 파악하기 위해서는 대기순환모형(General Circulation Model)을 기초로 확정론적 수문모형을 이용한다.

이와 같이 기후변화는 농업생산성과 농가수익 및 자산가치 등 광범위한 영향을 미쳐 농업시스템을 변화시키며 농업용수원의 변화 등으로 농업기반시설에도 영향을 미친다.

농업부문의 기후변화 영향에 대한 계량적 분석은 주로 실험적이고 횡단면 분석을 중심으로 이루어져 왔다. 여기서의 실험적 분석은 농경제 시뮬레이션모형(agro-economic simulation models)을 기초로 하여 이루어지며, 기후수준 또는 이산화탄소와 같은 관련변수들을 조정하는 통제된 실험과 유사하며, 작물 생산량에 미치는 영향도 추정 가능하다.

농업생태권역분석(agro-ecological zone analysis)은 기후변화에 따른 작물과 농업생태지역에서 발생하는 변화를 추적하는 작물시뮬레이션모형(약칭하여 작물모형)을 이용하여 이루어진다. 작물생육은 작물의 유전적인 특징, 재배기술, 환경(기후, 토양 등)의 세 가지 복합적인 작용에 의하여 결정된다. 작물시뮬레이션모형이란 이들 세 가지 요소를 입력하였을 때 작물의 생육과 수량 등을 미리 예측할 수 있게 만든 컴퓨터 프로그램을 말한다. 작물모형을 이용하면 기후변화에 따른 작물생산량을 추정하고 분석할 수 있다. 미국에서 개발된 작물과 자원환경의 통합을 통한 작물추정(Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis, CERES) 모형을 이용하면 아직 발생하지 않은 상황을 미리 예측하여 그 결과가 어떻게 나올 것인지를 사전에 알아볼 수 있다.

지구온난화에 따른 기온과 강수량 변화가 농업부문에 미치는 영향이 어떻게 이루어지고 어느 정도인지를 분석하기 위해 실험실에서의 연구와 모의실험연구, 포장에서의 현장연구 등 다양한 방법으로 이루어지고 있다. 실제로 기후변화가 농업에 미치는 영향은 관련변수에 따라 큰 차이를 보이기 때문에 정형화된 분석결과를 제시하기는 어렵다.⁶ 따라서 그동안 관련

⁶ 기후변화가 농업부문에 미치는 영향을 다룬 연구성과를 분야별로 체계적으로 정리하는 자료는 농촌진흥청(2002), Kurukulasuriya and Rosenthal(2003), 上路雅

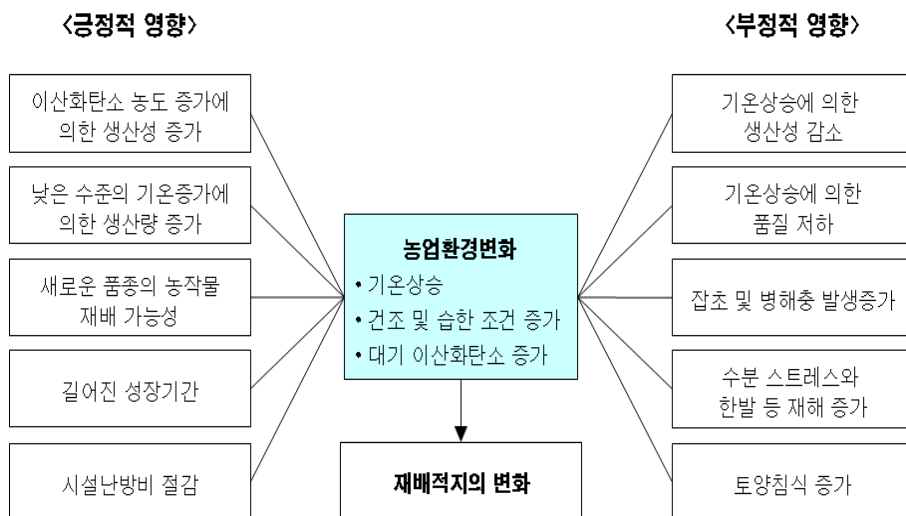
분야의 연구성과를 기초로 개념적으로 긍정적 영향과 부정적 영향으로 나누어 볼 수 있다<그림 3-2>.

지구온난화의 긍정적인 영향으로는 이산화탄소 증가에 따른 시비효과로 작물의 생산성 증가, 새로운 고온성 작물(망고, 키위, 유자, 감귤 등)의 재배 가능지역 확대, 작물재배 기간 증가로 인한 이모작 확대, 월동작물 저온 피해 감소 및 시설재배 농작물의 난방비 절감 등을 들 수 있다.

지구온난화의 부정적인 영향으로는 기온상승에 따른 생육기간 단축으로 인한 작물 수량감소와 품질저하, 특히 사과와 당도저하 및 착색불량과 저장성 저하, 잡초 및 농작물의 병해충 활동 증대, 유기물 분해 촉진으로 인한 지력 저하, 강우 증가로 인한 토양침식의 심화 등을 들 수 있다.

이밖에도 각 작물은 재배에 적합한 기후환경지역을 가지고 있어 기후가 변화하는 경우 작물의 재배한계선과 재배적지가 북상함에 따라 주산지가 변동하게 된다. 주산지 변동은 지역별 위치에 따라 위기로 작용하기도 하고 기회로 작용할 수도 있어 긍정적·부정적 영향으로 구분하기가 어렵다.

그림 3-2. 온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향



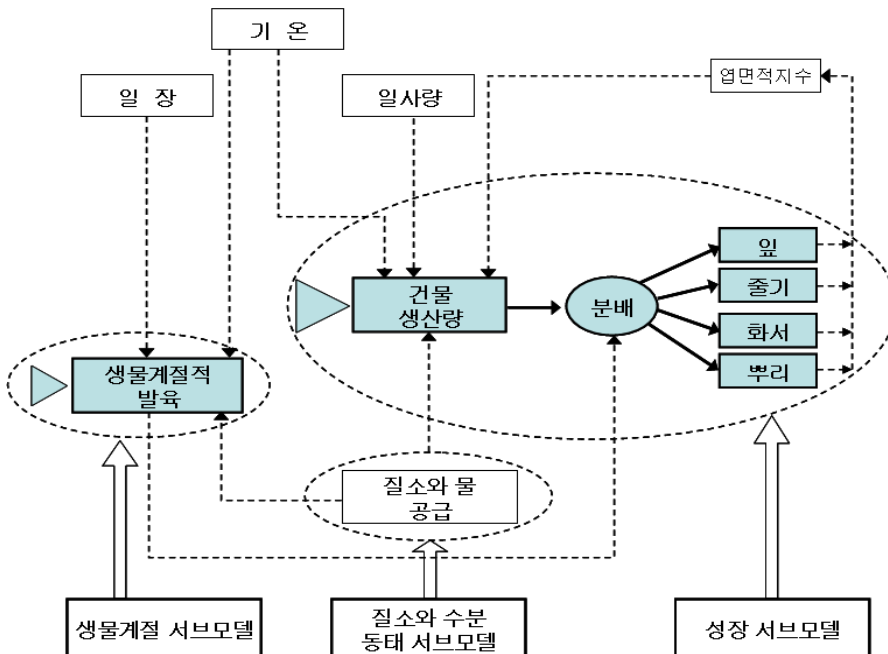
주 外2人(2005), 한화진 외(2008) 등에 잘 제시되어 있다.

2. 기후변화 영향 분석 이론

2.1. 기후변화에 따른 작물생산 영향 분석

기온 및 강수량 등 기후요소 변화에 따른 작물생산 예측의 정량적 평가를 위해 분산된 과학적 지식을 통합·지원하는 통합평가모형(Integrated Assessment Model, IAM)이 활용되고 있으며, 장기간에 걸친 시간을 고려한 동학적인 모형이 주류를 이루고 있다. 대표적인 기후-작물 통합모형으로 CERES 모형과 기후변화 최적화모형 등을 들 수 있다. 예를 들어 CERES-Rice 모형은 기상, 토양, 품종특성 모수 및 재배관련정보를 이용하여 벼의 발육과 수확을 예측하는 모형이다<표 3-3>. 이 모형은 크게 벼의

그림 3-3. CERES-Rice 모형의 개념도



자료: 박정규 외 8인(2003), p.342; 한화진 외 12인(2007), p.159.

발육단계를 예측하는 생물계절 부문모형(phenology-sub model), 벼의 건물 생산 및 식물체 각 기관으로의 분배를 모의하는 성장 부문모형, 질소와 공급을 다루는 질소-수분의 동태적 부문모형 등으로 나누어진다.⁷ 이와 같이 세 가지 부문모형으로 구성된 CERES-Rice 모형은 기후변화에 따른 작물 생산의 중장기 예측모형으로 2030~2100년의 쌀 생산량 예측에 널리 활용되고 있다(심교문 외 5인, 2008).

이밖에도 기후변화에 따른 작물생산 예측모형으로 농업생산시스템 시뮬레이션모형(Agricultural Production System Simulator, APSIM), 동태적 작물모형(Dynamic Crop Model), 농업환경예측모형(Erosion Productivity Impact Calculator, EPIC), 장기간에 걸친 토양 유기물 변동과 작물생장 및 탄소저장량을 예측하는 CENTURY 모형 등 여러 가지 모형을 들 수 있다.

2.2. 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 영향분석

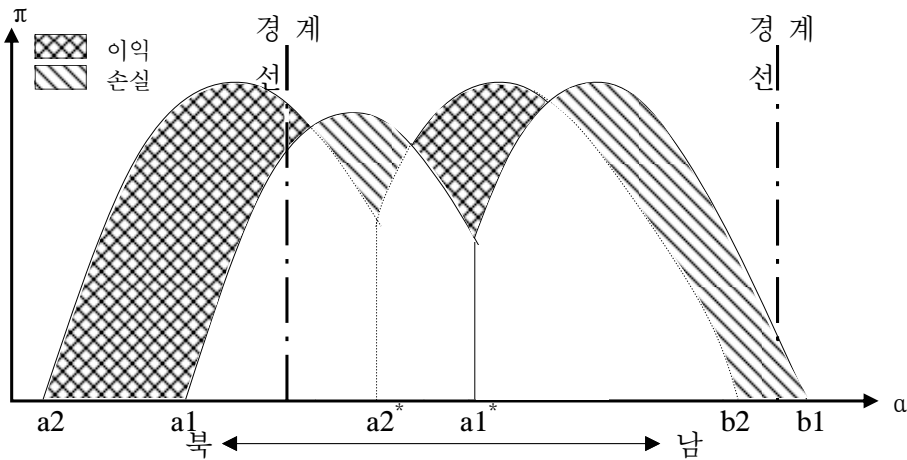
기후변화 영향의 경제적 분석은 기본적으로 과학적 지식을 기초로 하며, 과학적 불확실성은 경제적 불확실성과 직접적인 관련성이 있다. 경제적 영향분석 모형의 경우 불확실성의 결합과 변수의 공간적 이질성(spatial heterogeneity)을 고려하여 두 경계선으로 나눌 수 있다(Zilberman, et al, 2004).

온대성 작물과 한대성 작물이 존재하고, 북반구를 가정하는 기후변화 전후 두 작물의 단위면적당 이익을 그림으로 나타낼 수 있다. <그림 3-4>에서 제시된 바와 같이 α 를 북극에서부터의 거리라고 할 때, 기후변화 이전의 온대성 작물은 $b1 \sim a1^*$, 한대성 작물은 $a1^* \sim a1$, 기후변화 이후 온대성 작물은 $b2 \sim a2^*$, 한대성 작물은 $a2^* \sim a2$ 에서 재배되는 것으로 상정할 수 있다. 이 경우 $b1 \sim b2$ 의 토지는 분명히 사막화될 것이고, $a1 \sim a2$ 의 토지로

⁷ CERES-Rice 모형의 구성과 자료 입력 등에 관한 상세한 내용은 박정규 외 8인 (2003), pp.338-372에 제시되어 있다.

경작지가 정착될 것이다. 즉 영역은 온난화 영향으로 토지가 사막화됨에 따른 손실지역을 나타내며, 영역은 토지가 추가적으로 경작지화됨에 따른 이익지역을 나타낸다.

그림 3-4. 기후변화 영향에 대한 경제적 모형의 개념



기후변화로 인해 경작과 비경작으로 이득과 손실이 발생하나, 전반적인 효과가 부정적일 것인지는 불명확하므로 다른 효과도 함께 고려해야 한다. 또한 기후변화에 있어서 이산화탄소 증가가 작물생산에 미치는 영향과 관련한 시비효과(fertilization effect)는 탄소 증가에 따른 생산량 증가를 의미하며, 일조효과(daylight effect)는 북쪽으로 갈수록 일조량이 줄어들고 생산량도 줄어드는 효과를 의미한다. 해충효과(pest effect)는 기후가 따뜻해 질수록 해충이 북쪽으로 이동하고 생산량이 줄어드는 것을 의미하며, 물효과(water effect)는 온난화에 따른 조기 해빙(snow melt)과 홍수 발생 등을 의미한다. 단백질 효과(protein effect)는 탄소 증가시 생산 증가를 유발하나 단백질 생산을 감소시키는 효과를 의미하며, 정착비용효과(settlement cost effect)는 기후변화로 인해 재분배와 정착비용을 필요로 하는 효과를 의미한다($a1 \sim a2 \rightarrow a1^* \sim a2^*$).

2.3. 경제적 모형의 접근방법

기후변화가 농업에 미치는 경제적 효과 분석을 위해서는 기후와 작물간의 관계를 설명하는 변수에 대한 과학적인 분석과 기후와 경제변수간의 관계에 대한 심층적인 분석을 필요로 한다. 기후변수와 작물변수의 과거 자료에 의존하여 대부분의 분석이 이루어지고 있으나 기온상승과 강수량 변화에 따른 새로운 여건 변화를 상정하는 경우 실제로 나타날 수 있는 현상은 여러 가지 변수들에 의해 크게 영향을 받기 때문에 경제적 분석에 상당한 어려움이 있다. 또한 실제적으로 기후변화는 대체로 10년, 20년 등 수십년 후의 가상적인 변화를 상정하여 분석하기 때문에 가격과 수익 등 미래변수 설정에도 어려움이 있어 여러 가지 가정조건을 설정하여 분석이 이루어진다. 기후변화의 경제적 영향 분석에는 상당한 제약이 따르지만, 이 분야에서 이루어진 분석모형을 종합하면 대표적인 모형으로 크게 네 가지로 나누어 접근될 수 있다.⁸

첫째, 작물반응함수(crop response function)와 생산함수(production function) 등을 이용한 농경제모형(agro-economic model)은 기후변화에 따른 농산물의 생산 단수와 비용 등에 미치는 영향을 추정하기 위해 이용된다. 기본적으로 이들 모형은 함수형태를 구체적으로 설정하여 접근하는 모수적 방법론(parametric method)과 함수형태를 설정하지 않고 접근하는 비모수(nonparametric) 또는 준모수(semi-parametric) 방법론이 적용되고 있다(Solomou and Wu, 1999). 농경제모형은 여러 환경조건과 다양한 지역에서의 기후요소가 변화하는 경우 농산물 생산성 변화와 농가수익 변화 등을 분석하는 데 활용될 수 있다.

둘째, 속성가격(hedonic price) 모형은 기후변화의 영향은 자산 가치(asset values)에 반영되며, 현재 자산가격은 기후 파라미터 변화에 따른 토지가치

8 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 분석에 관한 방법론과 모형에 관해서는 Chang(2002), Kurukulasuriya and Rosenthal(2003), Zilberman(2004), Adger(2006) 등에 잘 제시되어 있다.

의 가격 민감성(price sensitivity)을 추정하는 데 이용된다. 기후변화와 토지 가치를 연계하여 경제적 영향을 분석하는 속성가격 모형으로 Mendelsohn, Nordhaus, and Shaw(1994)가 개발한 리카디안 모형(Ricardian model)을 들 수 있다.⁹

셋째, 프로그래밍 시뮬레이션(programming simulation) 모형은 가상의 조건을 설정하고 기후정보와 토지이용 정보를 활용하여 기후변화에 따른 최적 산출물 공급 및 투입물 수요를 추정할 수 있다. 농업부문모형(agricultural sector model)을 이용하면 보전경운(conservation tillage) 등 온실가스 감축에 따른 다양한 지역에서의 균형가격, 산출 수준, 이익 등을 도출할 수 있다(Adams, 1989; Chang, 2002). 특히 확률적 시뮬레이션은 다양한 지역에서 생산과 수익성에 대한 불확실성과 위험을 반영하여 평균 및 변이지표의 변화 정도를 계측하는 데 적용되고 있다(van Asseldonk and Langeveld, 2007). 수리계획 프로그래밍 모형을 기후변화 영향분석에 적용하기 위해서는 기후요소와 환경변수 등에 대한 여러 가지 기술적 파라미터 값을 알아야 하기 때문에 기후-작물의 통합평가모형과 연계된 분석모형이 활용되고 있다.

넷째, 기후변화와 농업생산과 경제시스템을 연계한 연산일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 모형과 동태적 통합모형(Dynamic Integrated model of Climate and the Economy, DICE)을 들 수 있다(Lewandrowski and Schimmelpfennig, 1999; Cline, 2007). 이들 모형은 기후변화가 농업부문의 성장과 국내총생산 등 거시적 영향을 계측하는데 활용되고 있다.

9 기후변화의 경제적 영향 분석의 접근방식으로 Mendelsohn, Nordhaus, and Shaw(1994)는 작물반응함수와 생산함수 접근방법이 기후변화와 관련한 조정과 적응이 고려되지 않아 비현실적이라고 지적하면서 리카디안 모형을 제시하였다. 리카디안 방법은 토지가치로부터 경제적·기후적·환경적 요인을 측정하기 위한 시도로 전통적인 추정법보다 선호되며, 기후변화에 대한 농민의 효율적인 적응을 자동적으로 고려하게 된다. 그러나 리카디안 모형은 기후변화와 토지수익과의 관계에서 조정비용을 고려하지 못하는 문제점이 지적되고 있다.

지구온난화에 따른 기후변화 현상이 농업·농촌 현장에서 가시적으로 나타나고 있다. 제4장에서는 기후변화가 농업환경에 미치는 실제적인 현상으로 유효적산온도와 기상재해 등 농업기후자원의 변화, 병해충 발생, 벼·맥류·채소류·과수 등의 농산물 생산, 주산지 이동 실태 등을 살펴보았다. 기후변화에 대한 농업계의 인지도와 체감도 및 대응책 등을 파악하기 위해 전국의 농업인과 관련분야 전문가를 대상으로 실시한 설문조사 결과를 정리하여 제시하였다.

1. 농업기후자원의 변화

1.1. 식물온도와 작물온도의 변화

농업생산 활동은 기본적으로 자연환경 가운데 온도와 습도 및 강수량 등 기상환경에 큰 영향을 받는다. 기상상태는 수시로 변하고 있으며, 기후는 장기간에 걸친 기상변화의 종합적 특성을 나타낸다.¹⁰ 지역별 기후 차

¹⁰ 대기현상은 지구를 둘러싸고 있는 대기의 규칙적인 일변화 및 연변화현상과 일

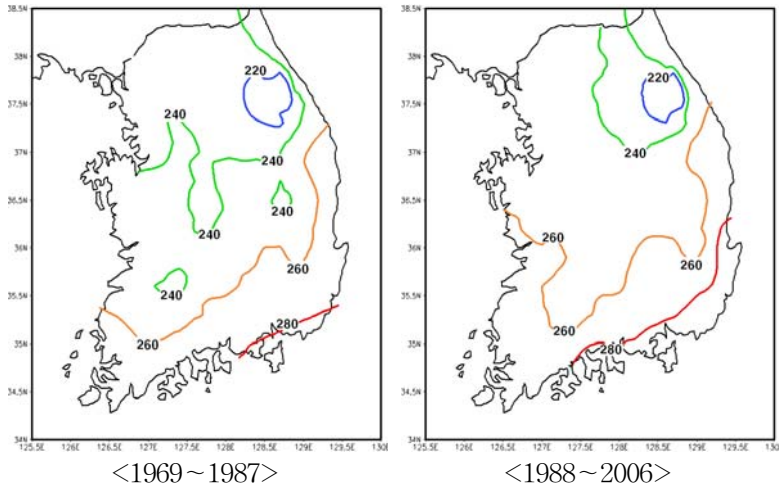
이는 그 지방의 토질과 작물의 생육에도 영향을 주어 그 지방 특유의 농업 생태환경을 만들어낸다. 우리나라는 중위도지대에 위치하고 있어 사계절이 뚜렷하게 구별되는 온대성 기후의 특징을 가지고 있다.

농업기후자원이란 작물의 생장가능기간, 이 기간 중의 식물온도와 작물 온도의 분포, 한발과 저온출현율의 분포 등을 의미한다. 일 평균기온이 5℃ 이상인 일수의 지속기간을 나타내는 식물기간은 작물의 월동과 생육에 중요한 지표가 된다. 왜냐하면 봄에 일평균기온이 5℃ 이상이 되면 월동작물이 생육을 다시 시작하고, 가을철에는 5℃ 이하로 기온이 내려가면 낙엽이 저서 겨울잠에 들어가게 되므로 과수와 같은 영년생 작물의 재배관리에 중요한 지표가 되는 기간이기 때문이다. 특히 과수의 생육은 5℃ 이상이 되는 때부터 시작되므로, 발아기와 개화기의 이르고 늦음은 그 지역의 식물기간이 시작된 이후부터의 일별 평균기온의 높고 낮음과 밀접한 관련이 있다.

우리나라의 식물기간의 분포는 201일에서 280일까지 약 70일의 차이를 두고 분포되는데, 이 기간 중의 적산온도에 따라 식생분포의 다양성이 드러나고 작물의 재배적지가 결정된다(이병렬, 1995). 최근 19년간(1988-2006년) 제주도 지역을 제외한 수원 등 56개 지역의 식물온도의 평균 출현초일은 3월 7일로 과거 19년간(1969-1987년, 3월 12일)보다 평균 5일 빨랐고, 평균 출현종일은 11월 23일로 평균 4일이 늦춰져서, 출현지속기간은 약 9일정도 길어진 것으로 나타났다. 최근 19년간의 평균 식물기간은 대관령지역이 210일 정도로 가장 짧았고 중부내륙지방은 250일 내외, 남부지방은 270일 내외였으며, 부산지역을 중심으로 한 남부해안지역이 280일 이상으로 가장 긴 것으로 분석되었다<그림 4-1>.

시적으로 불규칙한 현상과의 복합적인 현상이다. 기후란 이들의 대기현상이 시간적·공간적으로 일반화된 것을 말한다. 보통 기후는 장기간의 대기현상을 종합한 것이고, 기상은 시시각각으로 변하는 순간적인 대기현상을 가리킨다. 일사량·일조시간·기온·강수량·습도·증발량·구름량·기압·바람 등은 기후를 구성하고 있는 기후요소이고, 이들 요소의 지역적 특성을 주고 있는 위도·고도·수륙분포·지형·식생 등은 기후인자라고 불린다.

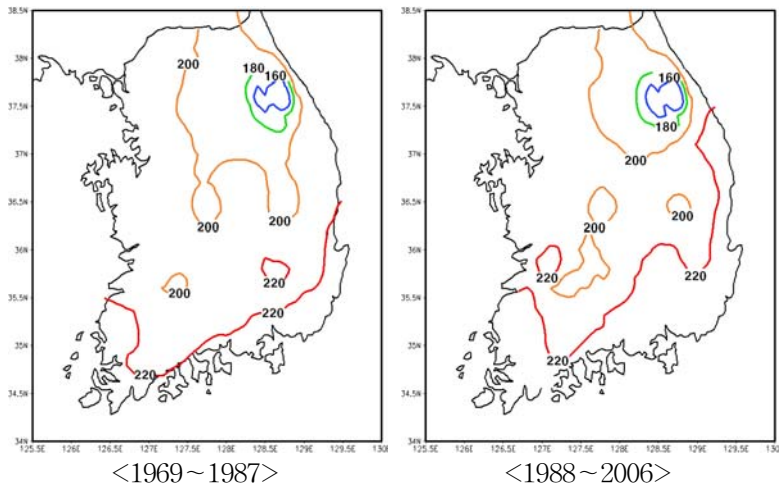
그림 4-1. 식물온도 출현지속기간의 변화 추이



자료: 심교문 외 5인(2008).

농업기상자원의 기온관련 변화 요인으로 일평균기온이 10°C 이상이 되는 작물온도를 살펴볼 수 있다. 10°C 이상이 되면 대체로 여름작물은 생육을 시작하고, 월동작물인 과수는 발아와 개화 등 발육이 한층 빠르게 진행되는 환경조건이 되므로 과수재배에서는 작물온도를 매우 중요시 한다. 최근 18년간(1988-2006년) 일평균기온이 10°C 이상 출현하는 지속기간은 전국 평균 214일로 과거 18년간(210일)보다 평균 4일 정도 길어진 것으로 나타났다<그림 4-2>. 그러나 제천, 금산, 임실 등 태백준고랭지 및 소백산간지에서는 최근의 온도상승에도 불구하고, 오히려 2~4일 정도 짧아진 것으로 조사되었다. 최근에 작물온도 출현지속기간이 가장 크게 늘어난 지역은 수원, 청주, 대전 등 중부의 일부 지역으로 과거 18년간보다 10일 이상 길어진 것으로 조사되었다(심교문 외 5인, 2008).

그림 4-2. 작물온도 출현지속기간의 변화 추이

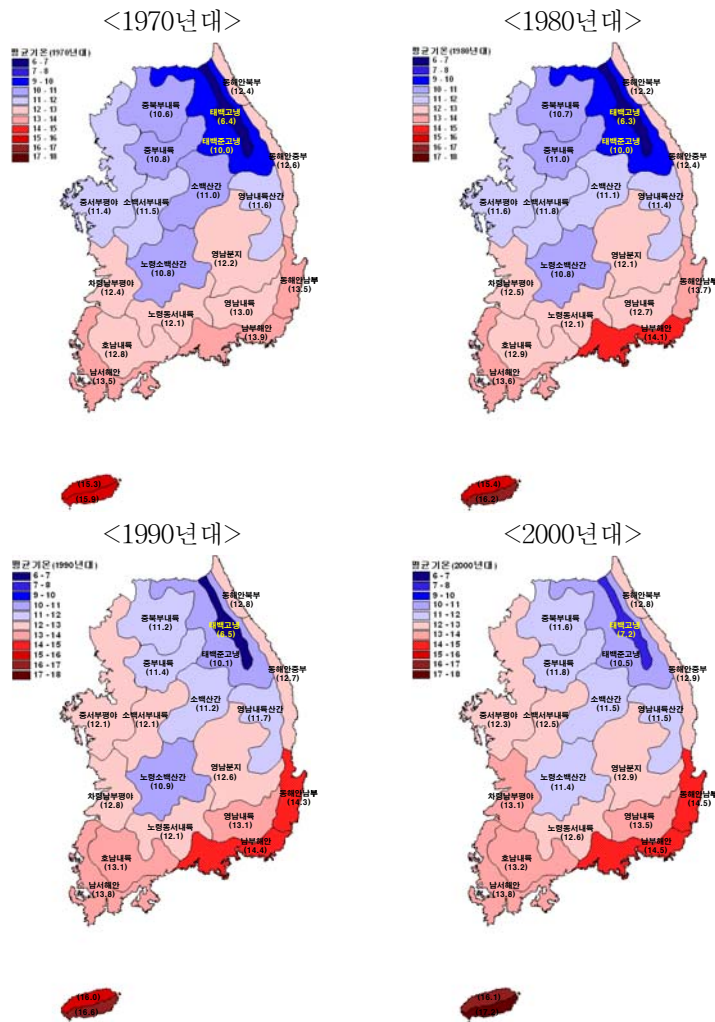


자료: 심교문 외 5인(2008).

1.2. 농업기후대의 농업기상 변화

농업 기후구를 농업 기후조건이 서로 다른 지역으로 구분한 것을 농업 기후지대라고 한다. 우리나라의 농업기후지대별 평균기온은 지난 35년간 (1973~2007) 0.95°C 상승하였다. 기온상승폭이 가장 낮은 기후지대는 영남내륙산간지대(영주, 문경 등)로서 0.2°C 상승한 반면, 춘천과 양평을 포함하는 중북부내륙지대와 중부내륙지대 및 동해안남부지대는 $1.36\sim 1.47^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하는 등 기후지대별로 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 곡창지대인 중서부평야지대(서산, 보령 등)와 차령남부평야지대(군산, 부안, 정읍 등)의 평균기온은 $1.05\sim 1.33^{\circ}\text{C}$ 상승하였고, 대관령을 포함한 태백고냉지대도 1.04°C 상승한 것으로 나타났다<그림 4-3>.

그림 4-3. 농업기후지대의 연대별 기온 변화 추이

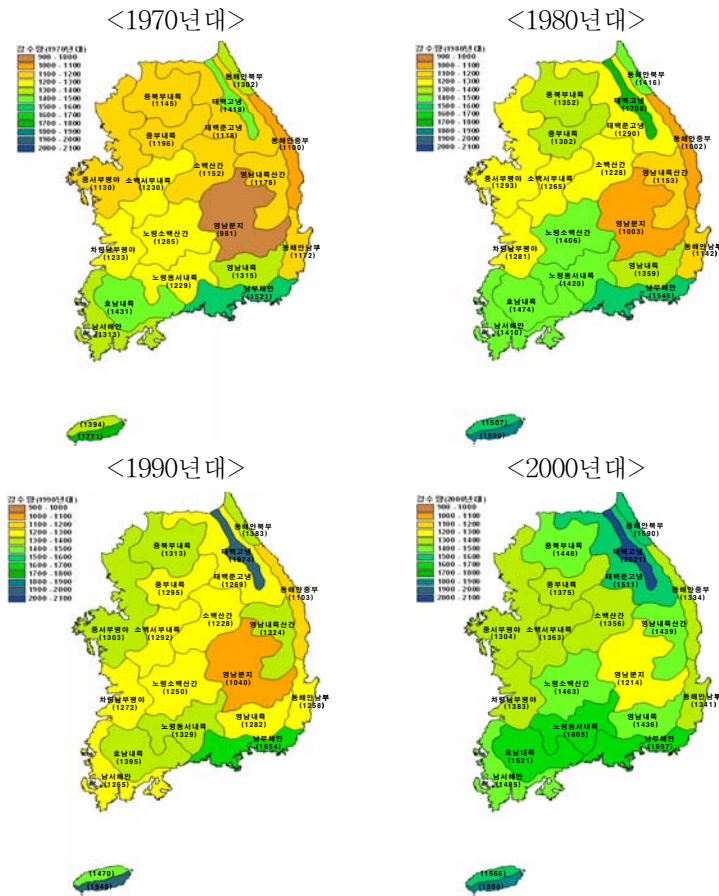


자료: 농촌진흥청(2008).

한편 강수량은 지난 35년(1973~2007) 동안 평균 283mm 증가하였다. 대관령을 포함한 태백고냉지대와 태백준고랭지대, 영남내륙산간지대는 452~778mm 증가하여 증가폭이 가장 컸는데 반해, 영남내륙지대(밀양, 진주 등)의 강수량 증가는 132mm로 증가폭이 가장 낮은 것으로 나타났다. 또

한 중북부 내륙지대의 강수량은 348mm 증가하였고, 곡창지대인 중서부평야지대와 차령남부평야지대는 217~273mm 증가해 거의 전국평균을 약간 하회하는 수준인 것으로 나타났다<그림 4-2>. 강수량 증가추세는 계절적으로 큰 차이를 보였는데, 여름철은 1970년대부터 급속히 증가한 반면 겨울철은 소폭 감소하는 경향을 보이고 있어, 최근 강수량의 여름철 편중현상이 더욱 심화되고 있음을 보여주고 있다.

그림 4-4. 농업기후지대의 연대별 강수량 변화 추이



자료: 농촌진흥청(2008).

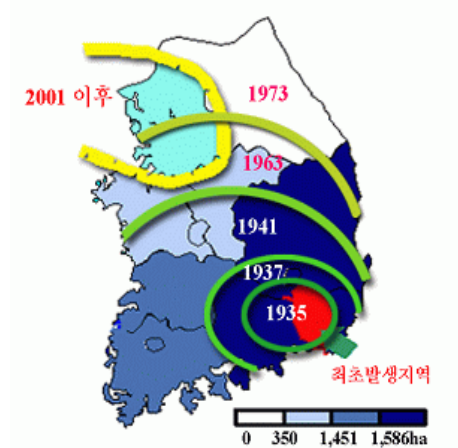
2. 주요 농산물 생산에 미치는 영향

2.1. 병해충 발생 증가

온난화에 따른 기온상승은 새로운 병해충을 발생시키며 이로 인해 농작물 피해가 증가하고 있다. 특히 갈색여치에 의한 사과, 복숭아, 포도, 콩 등의 피해가 증가하는 것으로 보고되고 있다. 갈색여치는 2001년 충북 충주와 단양에서 첫 피해사례가 발생하였고, 2006년부터 충북 영동을 중심으로 옥천, 청원, 보은 지역의 야산에 인접한 복숭아, 포도 등의 과수원에서 대규모 피해사례가 발생하여 피해면적은 약 20ha에 달하며, 2007년에는 충북지역 전역에서 약 30ha의 피해가 발생한 것으로 조사되고 있다.

쌀의 경우 바이러스병인 줄무늬잎마름병의 피해지역이 북상함으로써 피해면적은 경기, 충남, 전남북, 경남 등 전국적으로 14,137ha에 달하는 것으로 나타나고 있다<그림 4-5>.

그림 4-5. 벼 줄무늬잎마름병 확산 추세



자료: 농촌진흥청(2008).

과수의 경우 대만·베트남·일본·인도 등 아시아 일대에서 서식하고 있는 주홍날개꽃매미(*Lycorma delicatula*)에 의해 포도, 복숭아, 사과 등에서 피해가 발생하였다. 이러한 피해는 1979년 최초로 발견된 이후 피해사례에 대한 보고가 없었으나, 2007년 충남 연기군 포도과수원 피해가 발생하였고, 2008년에 포도과수원 약 91ha에서 피해가 발생한 것으로 나타났다<그림 4-6>.

그림 4-6. 주홍날개꽃매미에 의한 포도 피해 사례



<꽃매미충(4령)>



<포도 줄기 산란>



<포도 줄기 피해>



<포도알 피해>

자료: 농촌진흥청(2008).

2.2. 작물별 생산에 미치는 영향

2.2.1. 벼

벼 재배에서 재배기간은 작물생산 계획에서 가장 기본이 되는 조건이며, 기후조건과 품종에 따라 재배기간이 결정된다. 특히 농업기후 조건 가운데 기온은 벼 재배기간 결정의 중요한 요소이다. 일반적으로 벼는 여름작물로 기온이 상승하면 재배 가능지역이 확대되며, 품종과 재배양식도 기후적응을 위해 변화하게 된다. 벼의 품종은 작물 재배기간이 늘어나면 이앙재배에서는 조생종 재배지대가 중생종으로, 중생종 재배지대는 만생종으로 바뀌게 될 것이고, 현재 온도가 낮아 벼농사를 짓지 않고 있는 표고 600m 이상의 산간지대에서 일부 조생종 품종의 벼 재배가 가능할 것으로 보고 있다.

우리나라 과거 기상자료를 살펴보면 1970년대 적정 출수기(등숙기 평균 온도: 21~23℃)는 8월 15일 전후였으나, 2000년대에는 8월 21일로 적정출수기가 약 일주일 늦춰진 것으로 나타났다. 벼 등숙기 평균기온이 21~23℃로 경과되어야 고품질 쌀 생산에 유리한데 등숙기를 고온으로 경과하면 등숙이 충실하지 못해 벼알 무게가 가벼워지고 단백질 함량이 증가하여 외관상 미질과 밥맛이 나빠지게 된다.

기온이 상승하면 벼 발육속도가 빨라지면서 생육기간이 단축되어 생산성이 감소한다. 이는 온난화로 인한 등숙기간의 단축뿐만 아니라 고온에서의 임실을 저하, 야간고온에 의한 호흡손실 등이 원인인 것으로 분석된다<표 4-1>. 또한 등숙기간의 기온상승은 낱알무게를 감소시키고, 단백질 함량을 증가시켜 쌀 품질저하를 초래하는 것으로 지적되고 있다(심교문 외 3인, 2006).

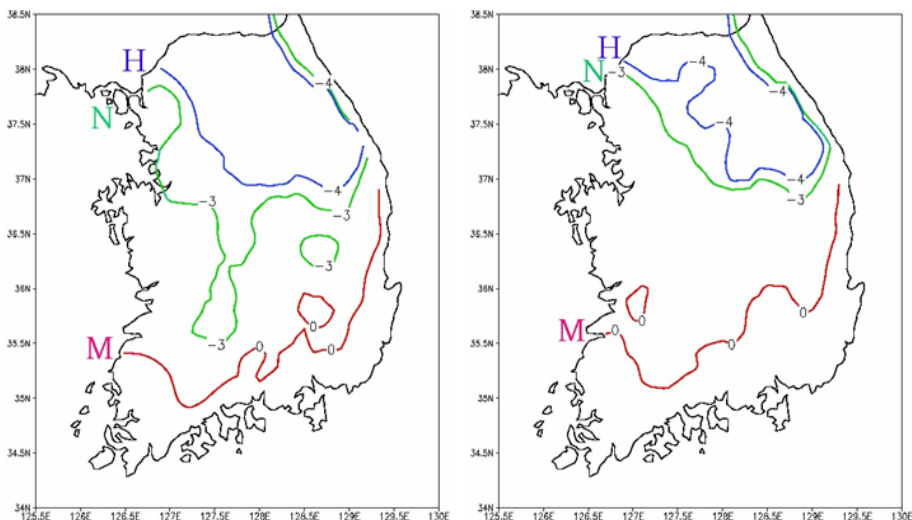
표 4-1. 등숙온도 상승에 따른 쌀 품질 저하

등숙온도 (℃)	현미천립중 (g)	쌀단백질 (%)	심복백비율 (1/4이상, %)	비고
21.5	22.1	8.5	9.4	시험품종: 일품벼, 남평벼
23.0	21.5	8.7	12.3	
24.5	20.8	9.0	21.7	

2.2.2. 맥류

맥류는 재배기간의 혹한 피해를 피하여 재배적지를 선정해 왔으나 현재는 동해안의 동해와 영덕을 기점으로 남해안의 사천, 보성을 거쳐 서해안의 영광, 군산까지 보리를 재배하고 있고, 내륙에서는 거의 재배하지 않고 있다. 이처럼 재배적지가 변하는 이유는 해안의 경우 겨울에 내륙보다 덜 춥고, 보리 등숙기의 온도가 내륙보다 낮아 입중(날알 무게)이 무겁게 여물기 때문이다. 1987년 이후 2000년까지 혹한기 기온이 $1.5 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 상승한 ‘춥지 않은 겨울’ 현상이 지속됨에 따라 가을보리 재배한계선이 재조정된 것으로 분석되고 있다. 농업과학기술원(2000)의 지구온난화에 따른 가을보리 안전재배선에 대한 조사결과에 따르면 1987~1998년의 12년 동안 1월의 평균기온 및 최저기온을 분석한 결과 겨울철 온난화 현상으로 가을보리 안전재배선이 크게 북상한 것으로 나타났다<그림 4-7>.

그림 4-7. 가을보리 재배지대 변화



주: H은 겉보리, N은 쌀보리, M은 맥주보리를 나타냄.

자료: 심교문 외(2004), p.222.

2.2.3. 채소

고온을 요구하는 수박, 고추, 토마토 등 고온성 과채류는 생육저해온도 (35℃) 이하까지는 온도가 상승할수록 생육이 촉진되고 당도 등 품질이 높아진다. 그러나 무·배추 등과 같이 서늘한 기후를 좋아하는 노지채소의 경우는 품질이 저하될 수 있다. 고추의 경우 15℃ 이하나 30℃ 이상이 되면 화분에 이상이 생겨 정상적으로 착과되지 못하며 착과가 되더라도 낙과가 많이 생길 수 있다. 또한 딸기의 경우 고온으로 인한 꽃눈 분화장애를 극복해야 한다. 양파, 파, 상추와 같은 채소는 고온이 화아분화를 유도하여 문제를 일으킬 수 있다.

시설채소재배에는 연료가 덜 소모될 것이라고 기대하지만, 겨울철 일조 부족으로 반대 효과의 가능성이 있다. 겨울철 온도 상승은 일조 부족을 초래하는 것이 우리나라 기후의 특징인 만큼 채소 생산량 감소가 나타날 수 있다. 따라서 온난화는 시설채소의 재배면적을 줄이는 데 이바지할 수도 있을 것으로 보인다.

2.2.4. 과수

기후변화는 과수의 성장과 발육에 영향을 주며, 과실품질과 수확기, 저장력 등에도 영향을 미친다. 사과는 영년생 작물로 한번 재식하면 10년 이상의 장기간 동안 동일지역에서 재배되므로 기후조건의 변화가 생산성과 품질에 크게 영향을 미친다. 현재 국내에서 사과를 재배하는 지역의 연평균 기온은 13.5℃ 이하이며, 이보다 온도가 높아지면 좋은 품질의 사과를 생산하기 어려운 것으로 알려지고 있다. 사과 재배적지는 연평균 기온이 13℃ 이하로서 겨울 온도가 내륙 또는 분지의 특징을 지닌 곳이라야 한다. 온난화로 사과는 더욱 북쪽 아니면 현재의 고랭지로 이동하고 있다. 배, 복숭아, 포도, 단감 등은 재배지역이 점차 북상하나 고온으로 부적지가 되는 곳도 있다. 또한 기온상승으로 남부지방의 바람이 적은 곳에서는 참다래 재배가 보편화 되고, 제주도에서는 아열대 과수재배가 이루어지고 있다.

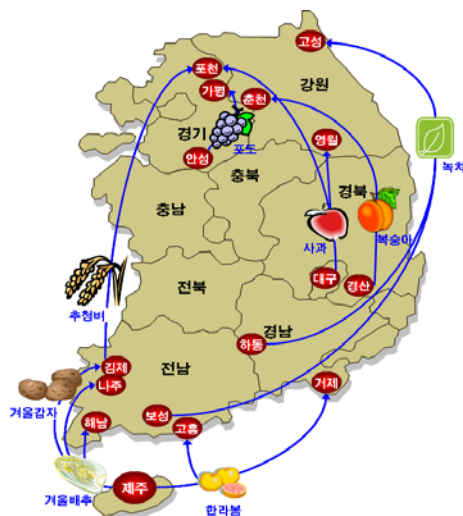
제주도의 경우 온난화로 작물의 생육반응이 가속화되고 연평균 기온은 상승 추세에 있다. 제주도의 기온은 1970년에 15.1~15.9℃였으나, 2004년에는 15.6~17.5℃로 0.5~1.6℃ 상승한 것으로 나타났다. 이에 따라 온주 밀감 발아기는 1994년에는 4월 14일이었으나 2004년에는 4월 5일로 10일 단축된 것으로 나타났다.

2.2.5. 농산물 주산지의 북상 이동

사과의 주산지가 경북에서 충북으로, 제주도에서만 생산되던 원예작물이 남해안지역으로 북상하고 있다. 월동배추는 전남 해남으로, 겨울감자는 전북 김제까지, 한라봉은 전남 고흥과 경남 거제 등까지 북상하고 있는 실정이다.

사과의 주산지인 경산의 경우 1990년 재배면적은 658ha에서 2007년에는 48ha로 크게 줄어들었고, 영월은 1990년 불과 30ha였으나, 2007년에는 186ha로 크게 증가하였다. 또한 한라봉의 경우 제주도 지역에 한정되어 재배되고 있었으나, 2007년 재배면적을 보면 제주도 1,137ha, 고흥 13ha, 거제 8.4ha, 통영 7ha 등으로 점차 북상하는 것으로 나타나고 있다<그림 4-8>.

그림 4-8. 주요 농산물 주산지의 이동도



3. 기후변화에 대한 농업계 인지도

3.1. 농업인 조사

3.1.1. 설문조사 개요

가. 조사 목적과 표본선정

농업인들이 실제로 체감하고 있는 기후변화에 따른 농업부문의 영향을 파악하기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문조사 내용은 농업인의 지구온난화에 대한 인지도와 생활의 변화, 농업에 미치는 영향, 중요한 정부 정책, 작물별 영향 및 대응 계획 등에 대해 조사하였다. 설문 문항은, 조사 대상자의 특성 파악을 위한 응답자 정보 기입란 7문항, 지구온난화 인식을 파악하기 위한 9문항, 지구온난화에 따른 품목별 실태를 파악하기 위해 미곡 및 맥류 14문항, 채소류 13문항, 과실류 15문항 등 총 58문항으로 설계하였다<부표 1>. 조사 시기는 2008년 8~9월 사이에 실시되었으며, 조사 대상은 한국농촌경제연구원 현지통신원 450명(우편조사)과 제주도 감귤 재배 농업인(면접조사) 15명으로 총 465명의 농민으로 구성된다. 465명의 응답 중 축산 농가의 응답(축산과 경종 작물 혼합 농가는 조사에 포함)을 제외한 460 농가의 응답을 분석하였다. 조사 대상자의 지역 분포는 도별 농경지 면적과 온도변화의 정도를 고려하여 경상도 32.0%, 전라도 30.5%, 충청도 17.2%, 경기도 7.5%, 강원도 7.5%, 제주도 5.2%로 구성하였다.

나. 설문조사 대상자의 특성과 분석방법

설문조사에 응한 농업인 460명의 사회경제적 특성을 알아보면, 성별로는 남성 98%, 여성 1%(96.8%)로 나타났고, 연령은 60세 이상이 65%를 차지하고, 50세 미만이 8%를 차지하고, 경력은 30년 이상이 82.1%를 차지하

는 것으로 나타났다<표 4-2>.

재배작목은 주 작목으로 미곡 및 맥류 62.2%, 부 작목으로 채소류 15.3%, 기타 작목으로 인삼, 담배 등의 특용작물, 화훼 등이 포함된다.

조사 자료에 대한 통계분석에는 SPSS 10.0 프로그램을 이용하였으며, 빈도와 교차분석 등을 사용하였다. 교차분석에서 통계적 유의성은 χ^2 검정을 이용하였다.

표 4-2. 조사 응답자의 사회경제적 특성

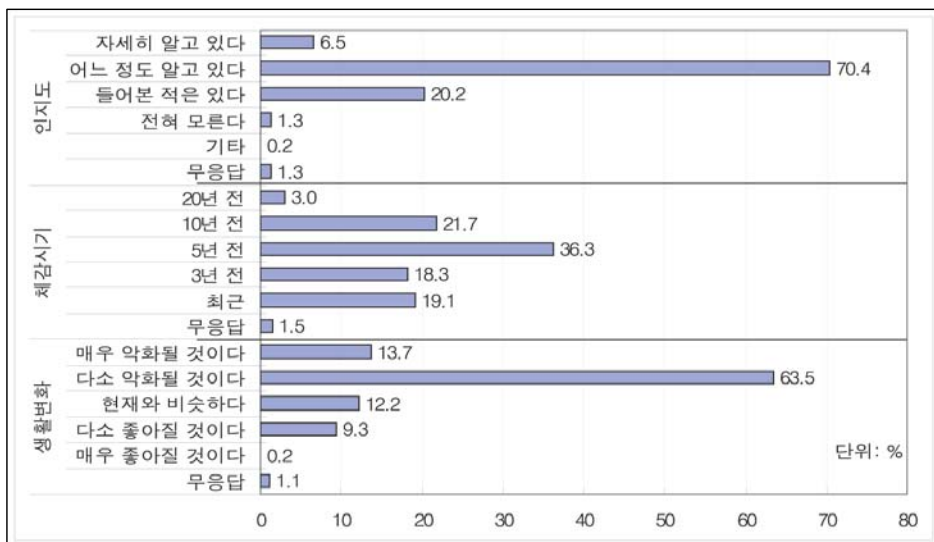
단위: 명, %

항목		응답수	비중
성별	남	450	97.8
	여	4	0.9
	무응답	6	1.3
나이	40세 미만	4	0.9
	40-50세 미만	33	7.1
	50-60세 미만	114	24.5
	60-70세 미만	164	35.3
	70세 이상	150	32.3
학력	중학교 이하	350	76.1
	고등학교 이하	88	19.1
	전문대학교 이상	22	4.8
경력	20년 미만	19	4.1
	20-30년 미만	64	13.8
	30-40년 미만	135	29.0
	40-50년 미만	126	27.1
	50년 이상	121	26.0
주작목	미곡 및 맥류	289	62.2
	채소류	60	12.9
	과실류	79	17.0
	기타	10	2.2
	결측값	17	3.7
부작목	미곡 및 맥류	27	5.8
	채소류	71	15.3
	과실류	43	9.2
	기타	9	1.9
	결측값	306	65.8
계		460	100.0

3.1.2. 기후변화에 대한 인지도와 체감 정도

온난화로 인한 기후변화 인지도와 관련하여 ‘들어본 적은 있다’가 20.2%, ‘어느 정도 알고 있다’는 70.4%, ‘자세히 알고 있다’가 6.5% 등으로 기후변화에 대한 인지도가 매우 높은 것으로 나타났다<그림 4-9>.

그림 4-9. 기후변화에 대한 인지도 및 체감도(n=460)



기후변화에 대한 체감시기에 대해 ‘5년 전’이 36.3%, ‘10년 전’이 21.7%, ‘최근’이 19.1%로 응답하여 체감 시기가 5년 전부터 높게 나타났다.

온난화에 따른 생활변화에 대해 ‘다소 좋아질 것이다’가 9.3%인 반면, ‘다소 악화될 것이다’가 63.5%, ‘매우 악화될 것이다’가 13.7%로 77.2%가 악화될 것이라고 응답하여 우려되는 입장이 높은 것으로 나타났다. 작목별 온난화에 대한 체감시기를 보면 미국·맥류재배 농가는 5년 전 33.7%, 3년 전 21.1%로 나타났고, 채소류의 경우 5년 전 35.0%, 10년 전 33.3%, 과실류의 경우 5년 전 38.8%, 10년 전 22.5%로 대체로 5년 전부터 체감한 농가의 비중이 상당히 높은 것으로 나타났다.

표 4-3. 작목별 온난화 체감시기에 대한 인지도

단위: %

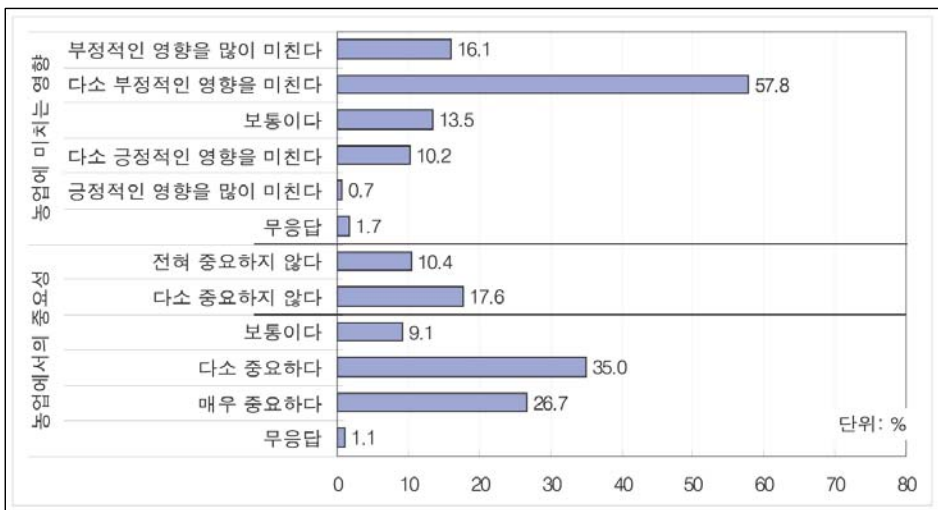
항목		20년 전	10년 전	5년 전	3년 전	최근	무응답	합계
주작목	미곡 및 맥류	4.4	20.1	33.7	21.1	20.1	0.7	100.0
	채소류	0.0	33.3	35.0	11.7	15.0	5.0	100.0
	과실류	1.3	22.5	38.8	16.3	20.0	1.3	100.0
	기타	0.0	0.0	90.0	10.0	0.0	0.0	100.0
	무응답	0.0	18.8	43.8	6.3	25.0	6.3	100.0

주: p<0.05.

3.1.3. 기후변화와 농업

온난화가 농업생산에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 질문에 73.9%가 ‘부정적인 영향을 미친다’라고 응답하였고, 온난화의 중요성과 관련 ‘중요하다’라는 응답이 61.7%로 높게 나타났다<그림 4-10>.

그림 4-10. 지구온난화가 농업에 미치는 영향에 대한 인식(n=460)



기후변화가 농업 생산에 미치는 영향에 대한 계층 간 차이는 주요 재배 작목별로, 미곡 및 맥류 농가는 72.8%가 ‘부정적인 영향을 미친다’, 10.2%가 ‘긍정적인 영향을 미친다’고 응답하였다. 또한 채소류 농가는 66.7%가 ‘부정적인 영향을 미친다’, 15.0%가 ‘긍정적인 영향을 미친다’, 과실류 농가는 82.6%가 ‘부정적인 영향을 미친다’, 11.3%가 ‘긍정적인 영향을 미친다’고 응답하여 주요 재배 작목별로 농업생산에 미치는 영향이 다소 상이하게 나타났다.

전반적으로 과실류 농가는 부정적인 입장을, 채소류 농가는 긍정적인 입장을 보여 지구온난화로 재배 가능 작물이 확대되는데 따른 채소류 농가의 이득이 반영된 결과로 볼 수 있다.

표 4-4. 지구온난화가 농업에 미치는 영향

단위: 명, %

항목		표본수	매우 부정적	다소 부정적	보통	다소 긍정적	매우 긍정적	무응답	합계
주 작 목	미곡 및 맥류	294	13.6	59.2	15.6	9.9	0.3	1.4	100.0
	채소류	60	20.0	46.7	13.3	15.0	0.0	5.0	100.0
	과실류	80	21.3	61.3	6.3	8.8	2.5	0.0	100.0
	기타	10	10.0	70.0	10.0	10.0	0.0	0.0	100.0
	무응답	16	25.0	50.0	12.5	6.3	0.0	6.3	100.0
전체		460	16.1	57.8	13.5	10.2	0.7	1.7	100.0

주: $p < 0.05$.

농업에서 지구온난화가 중요하다는 의견에 대한 계층 간 차이는 주요 재배 작목별로, 응답자 중 미곡 및 맥류 농가의 60.6%, 채소류 농가의 60%, 과실류 농가의 68.8%가 ‘중요하다’라고 응답하였으며, 특히 과실류 농가에서 지구온난화의 중요성이 크다고 생각하는 것으로 나타났다.

표 4-5. 농업에서 지구온난화의 중요성

단위: 명, %

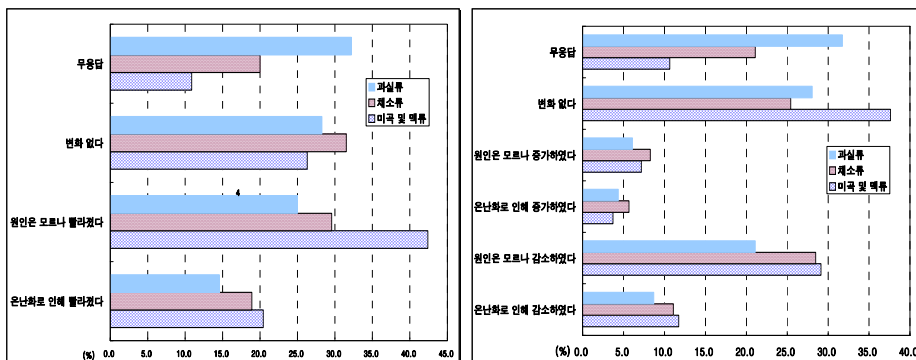
항목		표본수	전혀 중요하 지 않음	별로 중요하 지 않음	보통	다소 중요	매우 중요	무응답	합계
주 작 목	미곡 및 맥류	294	11.2	17.3	10.5	36.1	24.5	0.3	100.0
	채소류	60	11.7	16.7	6.7	41.7	18.3	5.0	100.0
	과실류	80	8.8	17.5	5.0	30.0	38.8	0.0	100.0
	기타	10	0.0	50.0	0.0	30.0	20.0	0.0	100.0
	무응답	16	6.3	6.3	18.8	18.8	43.8	6.3	100.0
전체		460	10.4	17.6	9.1	35.0	26.7	1.1	100.0

주: p값<0.05.

기후변화에 대한 품목별 반응을 알아보기 위해 미곡 및 맥류, 채소류, 과실류 등 세 가지로 설문문항을 분리하여 조사하였다.

재배시기와 관련 ‘온난화로 인하여 빨라졌다’는 응답은 미곡 및 맥류가 20.4%, 채소류 18.9%, 과실류 14.6%로 나타났다. ‘원인은 모르겠으나 빨라졌다’는 응답은 미곡 및 맥류가 42.4%, 채소류 29.6%, 과실류 25.0%로 나타났다. 전반적으로 재배시기는 미곡 및 맥류, 채소류, 과실류 등의 순으로 빠르다고 응답하였다<그림 4-11>.

그림 4-11. 기후변화로 인한 재배시기와 재배면적 변화에 대한 반응



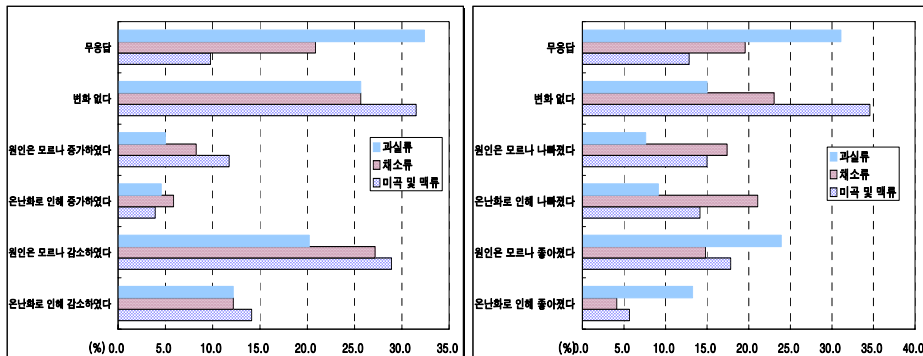
주: 미곡 및 맥류 n=294, 과실류 n=80, 채소류 n=60.

재배면적의 변화와 관련 ‘변화 없다’는 응답이 가장 많았으며 품목별로는 미곡 및 맥류(37.6%), 과실류(28.0%), 채소류(25.4%)의 순서로 나타났다. ‘원인은 모르겠으나 감소하였다’는 응답은 미곡 및 맥류(29.1%), 채소류(28.5%), 과실류(21.1%) 순서로 나타났으며 ‘온난화로 인하여 감소하였다’는 응답도 미곡 및 맥류, 채소류에서 각각 11.7%, 11.1%의 응답을 보였다.

온난화로 인하여 생산량이 변동하였는가에 대한 응답으로 ‘변화 없다’는 응답이 가장 많았으며 품목별로는 미곡 및 맥류 31.5%, 과실류와 채소류가 각각 25.7%의 순서로 나타났다. ‘원인은 모르겠으나 감소하였다’는 응답은 미곡 및 맥류 28.9%, 채소류 27.2%, 과실류 20.2%의 순서로 나타났으며 ‘온난화로 인하여 감소하였다’는 응답도 미곡 및 맥류 14.1%, 채소류와 과실류에서 각각 12.2%의 응답을 보였다<그림 4-12>.

지구온난화로 인한 품질(과실류는 당도)의 변화에 대하여 ‘변화 없다’는 응답이 미곡 및 맥류 34.6%, 과실류 23.0%, 채소류 15.0%의 순서로 나타났다. ‘원인은 모르겠으나 좋아졌다’는 응답은 과실류 23.9%, 미곡 및 맥류 17.8%, 채소류 14.8%의 순서로 나타났으며 ‘온난화로 인하여 나빠졌다’는 응답은 채소류 21.1%, 미곡 및 맥류 14.1%, 과실류 9.1%로 나타났다<그림 4-12>.

그림 4-12. 기후변화로 인한 품목별 생산량 및 품질변화에 대한 반응



주: 미곡 및 맥류 n=294, 과실류 n=80, 채소류 n=60.

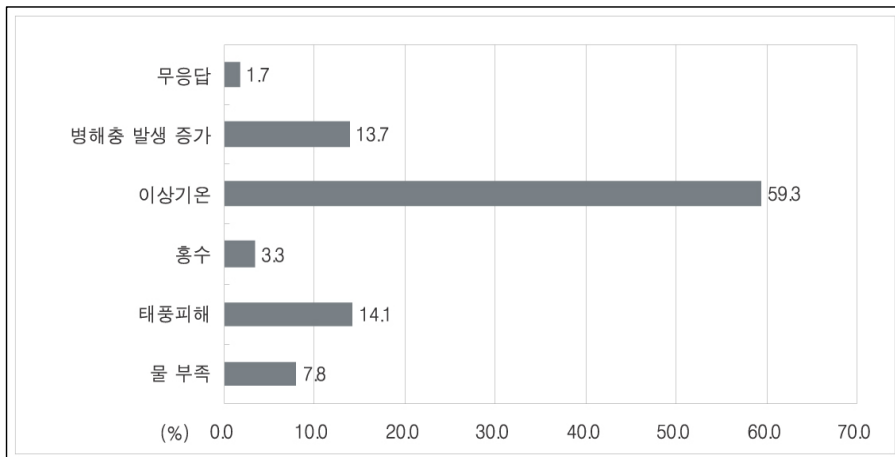
전반적으로 재배시기에 대해서는 원인은 모르나 빨라졌다는 비중이 가장 높았고 재배면적, 생산량, 품질변화에 대해서는 변화 없다는 비중이 가장 높았다. 품질 부분에서는 과실류가 원인은 모르겠으나 좋아졌다고 응답한 반면, 채소류에서는 나빠졌다는 응답이 높았다.

농민들은 잦은 기상 이변 및 기상재해 등을 통하여 기후변화를 체감하고 있으나 아직까지는 농업 생산에 직접적인 영향을 체감하고 있지는 않는 것으로 나타났다. 특히 농업생산의 변화가 기후 때문인지 다른 요인에 의해서인지에 대한 구분도 현재까지는 불분명함을 알 수 있다.

3.1.4. 기후변화와 자연재해

온난화로 인한 자연재해 중 농작물에 가장 해로운 영향을 주는 것으로 이상기온 59.3%, 태풍피해 14.1%, 병해충 발생 증가 13.7% 등으로 나타났다 <그림 4-13>.

그림 4-13. 농작물에 큰 영향을 미치는 자연재해(n=460)



온난화로 인한 자연재해 발생에 대해 연령대별로 다른 반응을 보였다. 40세 미만은 이상기온 50.0%, 물 부족과 홍수가 각각 25.0% 등으로 가장 많았으며, 40~50세 미만은 이상기온 61.3%, 50~60세 미만은 이상기온 69.6%, 60~70세 미만은 이상기온 65.0%, 70세 이상은 이상기온 45.3%로 나타났다. 연령별 공통적으로 이상기온에 대한 피해를 가장 해롭다고 응답하였으며 40세~70세는 이상기온 다음으로 병해충 발생 증가를 큰 피해로 간주하고 있으나, 40세 미만은 물 부족과 홍수 등의 피해를 크게 생각하는 것으로 조사되었다. 최근 물 부족 문제가 이슈화 되면서 40세 미만의 젊은 연령층에서 물 문제의 심각성을 높게 생각하는 것으로 해석된다.

3.1.5. 기후변화에 따른 대응책

온난화 문제는 대체로 최근 5년 전부터 인식하고 있으며 우려의 시각을 보이는 것으로 조사되었다. 특히, 사과, 마늘 등의 재배적지 이동, 병해충 증가, 예상하지 못한 자연재해 발생 증가 등을 통하여 온난화의 영향을 인지하고 있는 것으로 나타났다.

농업인들은 지구온난화에 대해 인식하고 있으나 구체적인 대응책은 마련하고 있지 않는 것으로 나타났다. 지구온난화 문제는 장기적으로 농업 전반에 영향을 미치기 때문에 적절한 대응책 마련이 필요하다. 특히, 농업은 자연환경에 매우 의존적이나 농업인 개인이 대응하는 데 한계가 있으므로 지방자치단체 및 농업 관련단체에서 시범적 대응책 마련이 필요하다는 의견이 많이 제시되었다<표 4-6>.

기후변화에 대응하기 위한 정책적 대응으로 장기적인 영농환경개선, 정확한 기상예보 시스템 구축과 기후변화에 적응할 수 있는 작목 연구 및 홍보가 중요하다는 응답이 높게 나타났다.

표 4-6. 기후변화 대응책에 대한 농업인의 주요 의견

주요사항	내용
정보제공	온난화로 인한 작목전환의 필요성에 대한 홍보 및 정보 제공
	농작물 생태환경정보 신속 제공
	정확한 기상 예보
	과거 및 미래 기후변화 예고
대응책	장기적인 계획 수립
	기후변화로 인한 자연재해, 병충해 발생 대책
	온난화 배출 저감을 위한 정부 규제 및 대책
대체에너지	친환경 에너지 사업 확대
영농환경	장기적인 영농환경 개선
연구	영농환경개선 연구
	온난화에 적합한 품종 개선

3.2. 전문가 조사

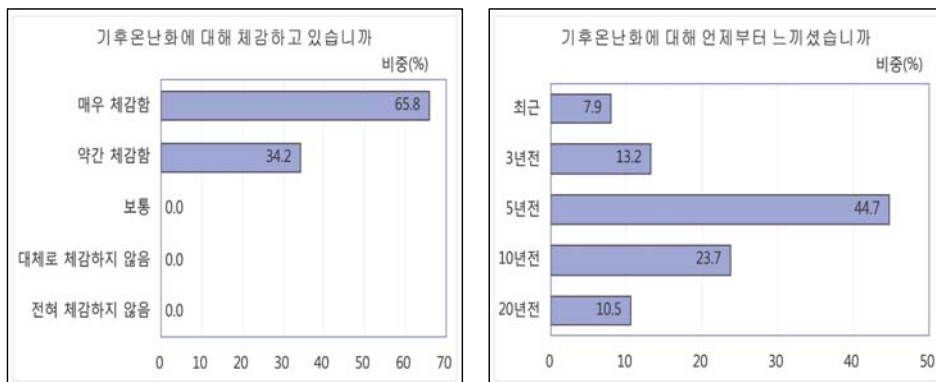
3.2.1. 설문조사 개요

온난화의 농업부문 영향에 대한 전문가(교수, 연구사, 지도사 포함) 조사를 실시하였다<부표 2>. 조사대상 및 방법은 우편조사와 강원도농업기술원이 주관한 『기후온난화 대비 강원농업의 진로탐색 심포지엄』(2008. 6. 13 개최), 농촌진흥청에서 주관한 『기후변화대응 연구개발 중장기 계획 토론회』(2008. 8. 7 개최)에 참석한 전문가 및 교수 등 40명을 대상으로 하였다.

3.2.2. 기후변화에 대한 인지도

지구온난화에 대한 인지도는 정도의 차이는 있으나 대부분 체감하고 있는 것으로 나타났다<그림 4-14>. 농촌현장에서 사과재배지역의 북상, 아열 대과수 등의 노지재배 등을 통하여 지구온난화를 인지하게 되었다는 응답이 많았다.

그림 4-14. 지구온난화에 대한 체감 실태(n=38)



지구온난화에 대한 인식 시기는 5년 전부터 체감하였다는 응답이 44.7%로 가장 많았고 10년 전부터 인식한 경우도 23.7%로 조사되었다. 또한 20년 전부터 인식하였다는 응답도 10.5%로 개인에 따라 지구온난화에 대한 인식시기와 정도가 다른 것으로 나타났다<그림 4-14>.

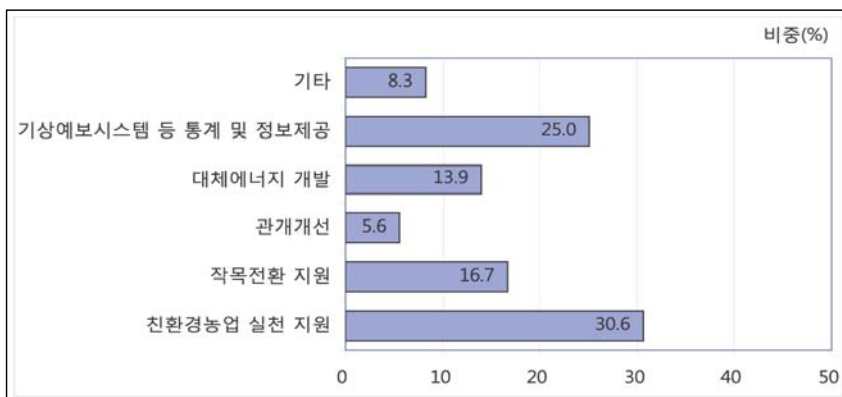
3.2.3. 지구온난화와 농업

지구온난화가 농업생산에 얼마나 영향을 미치는지에 대해서는 92.1%(38명 중 35명)가 영향을 미친다고 응답하였다. 이 중 지구온난화로 인해 농

작물에 가장 해로운 영향을 미치는 자연재해는 이상기온이 52.6%, 물 부족 18.4%, 홍수 및 빈번한 기상이변으로 인한 태풍피해가 각각 13.2% 등으로 나타났다<그림 4-15>.

지구온난화의 대응책으로 가장 중요하다고 생각되는 정책으로는 온실가스 감축을 위한 화학비료 사용 감축 등 친환경농업 실천 지원이 30.6%, 기상예보시스템 등 통계 및 정보제공이 25.0%로 나타났다. 그밖에 대체에너지 개발과 작목전환 지원 정책도 각각 13.9%, 16.7%로 나타났다. 즉, 장기적으로 지구온난화를 감축하는 친환경농업정책이 중요하며 현실적으로 온난화 피해를 대비할 수 있는 기후관련 정보 제공이 중요함을 시사한다.

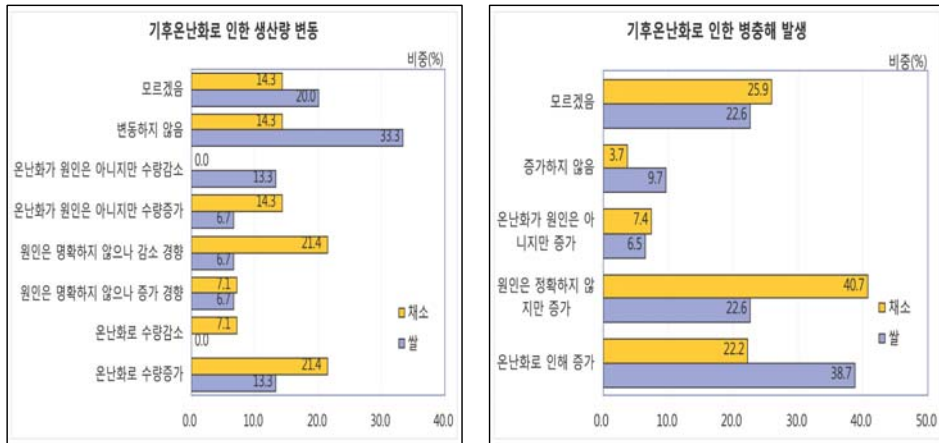
그림 4-15. 지구온난화에 대응하기 위한 주요 정책(n=36)



3.2.4. 지구온난화에 따른 품목별 실태파악

지구온난화로 인한 미곡과 채소류에 대한 영향과 관련하여 아직까지는 생산량 변동 관계가 명확하지 않은 것으로 나타났다<그림 4-16>. 반면, 지구온난화와 병충해와의 관계에서는 쌀의 경우 온난화로 인해 병충해 증가가 높은 반면 채소는 원인은 정확하지 않지만 병충해가 증가하였다는 답변 비중이 높아 작물별로 병충해 정도가 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

그림 4-16. 지구온난화와 농업 생산 및 병충해 관계(n=31)



쌀 수확량 감소에 따른 대책으로 등숙기간의 온도 상승에 대응한 품종 육성, 수광태세가 좋은 품종개발, 수중형품종, 내도복성품종개발 필요, 재배품종을 극조생종, 조생종을 중생종, 만생종으로 분산 재배 권유, 모내기 시기를 늦추는 방법 등이 제시되었다. 한편, 채소 수확량 감소에 따른 대책으로 시설재배 및 작목전환 등도 제시되었다.

벼 병충해를 예방하기 위한 대책으로 작기의 이동 및 품종의 변천, 적지 적작의 원칙준수, 방제비 보급율 증대, 예찰강화 및 방제농약전액보조지원 방안도 제시되었다.

3.2.5. 온난화에 대한 전문가 제언

최근 사과재배지의 복상 및 이상기온의 빈번한 출현 등으로 인하여 지구온난화에 대한 피해가 심각해지고 있다. 실제 농작물에서는 재배시기 변화, 병해충 발생 증가의 문제가 일어나고 있으나, 생산량과 품질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타나고 있다.

온난화 대책으로 환경변화에 적응할 수 있는 적절한 품종개발, 기술개발

및 보급이 필요하며, 농업뿐만 아니라 다른 산업 전체의 온실가스 저감 노력이 필요하다. 또한, 정부는 지속적으로 환경친화적인 농업 육성과 함께 기상예보 및 통계 시스템 구축, 대체에너지 개발 등에도 집중해야 한다. 물 부족 문제도 점차 심각해지고 있으므로 이에 대한 대응책 마련도 필요하다.

마지막으로, 농업전문기관은 농업의 지구온난화 현상에 대한 예찰기능을 강화하여 농업에서 일어나는 온난화 피해 현상 및 대책에 현실적으로 대처할 수 있도록 해야 한다는 견해도 제시되었다.

3.2.6. 지자체 대책과 연구기관 추진 과제

화학비료 및 농약절감 연구, 가축분뇨의 시용연구, 병해충 모니터링 등에 관한 연구가 이루어지고 있다. 최근 온난화 대비 작목개발시험(블루베리, 차나무, 미나리, 사과 등)과 숙기별 시험재배가 진행되고 있다.

기후변화대응 작물 품종개발, 병해충 발생변동조사와 통일 대비 강원 북부 동해안지역의 감자 2기작 품종개발 및 적응성 검정, 남방계 산채자원을 이용한 품종개발(난지 지역에서도 재배될 수 있는 품종) 등이 이루어지고 있다. 농촌진흥청에서는 2009년부터 기후변화대응 중장기 연구과제로 기온상승에 따른 작물생산성 및 재배적지 영향평가, 온도상승에 따른 병해충·잡초 영향평가, 논 생태계 교란대책, 물 부족에 대비한 물 절약형 농업 기술 개발, 농업지대별 기상재해 경감을 위한 기상정보 활용 방안 등의 과제를 핵심과제로 추진할 계획인 것으로 조사되었다.

기후변화가 농업부문에 미치는 영향에 대한 계량화 작업은 중요한 과제이다. 제5장에서는 농업부문에 미치는 영향분석을 위해 비모수 및 준모수 분석법을 이용하여 쌀·배추·무·사과 등의 생산성 분석, CERES-Rice 모형을 이용한 기온상승의 벼 생산성 장기전망, 사과와 귤의 재배지대 변화와 전망, 경제적 영향 분석을 위해 리카디언 모형을 이용한 농지가격과 농업총수입 등 농업경제에 미치는 영향에 대한 분석을 시도하였다.

1. 농업생산성에 미치는 영향 분석

1.1. 분석 모형

1.1.1. 영향분석을 위한 계량 분석모형의 선택

기온과 강수량 등 기후인자의 변화가 농업생산에 미치는 영향계측접근 방법으로 특정 함수를 가정하여 회귀분석을 수행하는 모수적 접근(parametric approach)과 함수 형태를 가정하지 않고 신축적으로 분석하는 비모수적(non-parametric) 또는 준모수적(semi-parametric) 방법이 적용되고 있다.

비모수적 혹은 준모수적 분석법에도 매우 다양한 모형들이 포함되며, 각 모형은 특유의 장단점을 가지고 있어 이용하는 자료와 분석대상의 특성에 따라 이들 모형들 가운데 적절한 것을 선택할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 비모수적 분석법 중에서도 가장 기본적인 분석법이라 할 수 있는 커널 회귀분석(kernel regression)과 준모수적 분석법 중 가장 많이 사용되는 모형 가운데 하나인 부분선형모형(partially linear model)을 이용하였다.

1.1.2. 비모수적 및 준모수적 분석법

설명변수의 J -차원 벡터를 x_i 로, 농산물 단수를 y_i 라 하고, N 개의 관측치($i = 1, \dots, N$)가 이용가능하다고 가정한다. 이러한 가정 하에서 비모수적 분석법은 다음과 같이 모형화할 수 있다.

$$y_i = m(x_i) + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim iid[0, \sigma_\varepsilon^2] \quad (5-1)$$

비모수적 분석에서는 모수적 분석의 경우와 달리 함수형태 $m(\cdot)$ 이 구체적으로 설정되지 않는다. 비모수적 분석법의 대표적인 형태는 국지 가중 평균 추정량(local weighted average estimator)이라 하여 어떤 관측치 x_0 가 있을 때 이 관측치 부근에서의 y_i 들의 평균치를 다음과 같이 산정하는 방법이다.

$$\widehat{m}(x_0) = \sum_{i=1}^N w_{\lambda, h} y_i \quad (5-2)$$

$$w_{\lambda, h} = w(x_i, x_0, h), \quad \sum_{i=1}^N w_{\lambda, h} = 1.$$

여기서 $w_{\lambda, h}$ 는 각 관측치에 부여되는 가중치로서 x_0 로부터 먼 관측치일수록 그 값이 작아진다. 많은 비모수적 분석법이 식 (5-2)와 같은 종류의 추정법에 해당되지만 가중치 $w_{\lambda, h}$ 를 정해주는 방법에 있어 서로 차이가 있고, 아울러 대역폭(window width)이라 불리는 h 를 선택하는 방법도 모형별로 각각 다르다.

국지 가중평균 추정량 가운데 가장 널리 사용되는 분석법이 커널회귀분석(kernel regression)이며, 커널 추정량은 다음과 같다.

$$\hat{m}(x_0) = \frac{\frac{1}{Nh_1h_2\dots h_J} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) y_i}{\frac{1}{Nh_1h_2\dots h_J} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right)} \quad (5-3)$$

$$\text{여기서, } K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) = k\left(\frac{x_{i1} - x_{01}}{h_1}\right) k\left(\frac{x_{i2} - x_{02}}{h_2}\right) \dots k\left(\frac{x_{iJ} - x_{0J}}{h_J}\right)$$

위 식(5-3)에서 $K(\cdot)$ 는 다변량 커널함수로서 J 개의 단일 변량 커널함수의 곱으로 설정되며, h_j 들은 대역폭이라 불린다. 식 (5-3)에서 선택되어야 할 것은 커널함수 $k(\cdot)$ 와 대역폭 h_j 인데, 특히 후자의 선택이 추정결과에 민감한 영향을 주는 것으로 알려져 있다. h_j 는 추정결과에 민감한 영향을 주기 때문에 이를 선택하는 데는 여러 가지 기준이 있다. 추정량의 평균 적분자승오차(mean integrated square error, MISE)를 최소화하도록 고안된 커널함수와 h_j 를 동시에 구하기도 하고, 이 방법을 적용할 때 계산과정에 필요한 정보를 모두 얻는 것이 어려운 과제이므로 해결하기 위한 대안으로서 일종의 교차확인법(cross validation method)을 사용하기도 한다.

연속변수[$x_i^c = (x_{i1}^c, \dots, x_{ip}^c)$]와 이산변수[$x_i^d = (x_{i1}^d, \dots, x_{iq}^d)$]를 모두 포함하는 모형의 비모수 추정은 다음과 같이 이루어진다.

$$\hat{m}(x_0) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W(x_0, x_i; h, \lambda) y_i}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W(x_0, x_i; h, \lambda)} \quad (5-4)$$

$$W(x_0, x_i; h, \lambda) = \prod_{s=1}^p \frac{1}{h_s} k\left(\frac{x_{is}^c - x_{0s}^c}{h_s}\right) \times L(x_0^d, x_i^d, \lambda)$$

다음으로 준모수적 분석법으로 부분선형모형(partially linear model)이 있다. 이 모형은 회귀식을 통상적인 선형함수와 그 형태가 설정되지 않은 함수의 두 부분으로 구성되어 있다고 본다. 준모수적 분석에서는 부분선형

모형(partially linear model)으로 벌치스프라인 회귀식을 이용할 수 있다. 혼합모형에서 확률변수 u 의 공분산이 비교적 복잡한 형태를 지니므로 간단한 변수변환을 통해 모형을 더 단순화시킬 수 있다. 즉, $b = \Omega^{1/2}u$ 와 $\tilde{Z} = Z\Omega^{-1/2}$ 로 변환하고, 전체 추정모형을 $Y = X\beta + \tilde{Z}b + \varepsilon$ 으로 변형할 수 있다. 이렇게 변형하면 $cov(b) = \sigma_b^2 I_K$ 인 새로운 확률변수벡터 b 가 도출되고, 최종추정모형은 다음과 같다.

$$Y = X\beta + \tilde{Z}b + \varepsilon, \quad cov\begin{pmatrix} b \\ \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_b^2 I_K & 0 \\ 0 & \sigma_\varepsilon^2 I_n \end{pmatrix} \quad (5-5)$$

위에서 제시된 식(5-4)과 식(5-5)를 이용하여 곡물류에서 대표적인 작목으로 쌀, 채소류에서 대표적인 작목으로 배추와 무, 과일류에서 대표적인 품목으로 사과 등 네 작물을 대상으로 커널회귀분석이 이루어졌다.

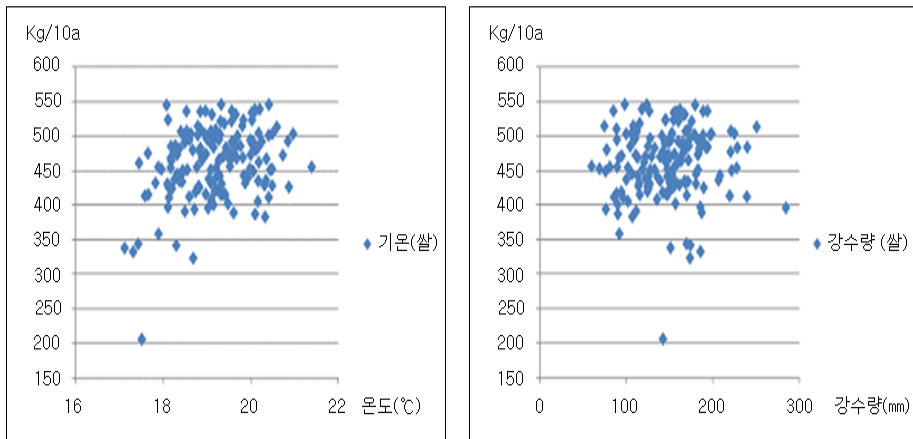
1.2. 분석결과

1.2.1. 쌀

기후변화가 쌀 생산에 미치는 영향을 분석하기 위한 자료는 전국 평균 자료를 이용하는 경우 관측치수가 너무 적어 통계적 유의성 문제가 발생하기 때문에 주요 주산지에서의 연도별 자료를 혼합한(pooled) 패널자료를 이용하였다. 경기, 충남, 전북, 전남, 경북 등 5개도를 대상으로 1975~2006년까지의 일반벼 자료를 이용하여 기온과 강수량의 기후변수에 따른 수량변화의 쌀 생산성을 분석하였다. 1990년대 이전까지는 통일벼와 일반벼가 동시에 생산되었고, 두 품종간 단위면적당 생산성이 큰 차이를 보이기 때문에 일반벼만을 대상으로 분석하였다. 벼의 생육기간인 4~10월 사이의 평균 기온과 평균 월간 강수량과 단수와의 관계를 그림으로 나타낼 수 있다<그림 5-1>. 이상 관측치로 보이는 하나의 관측치에서 매우 낮은

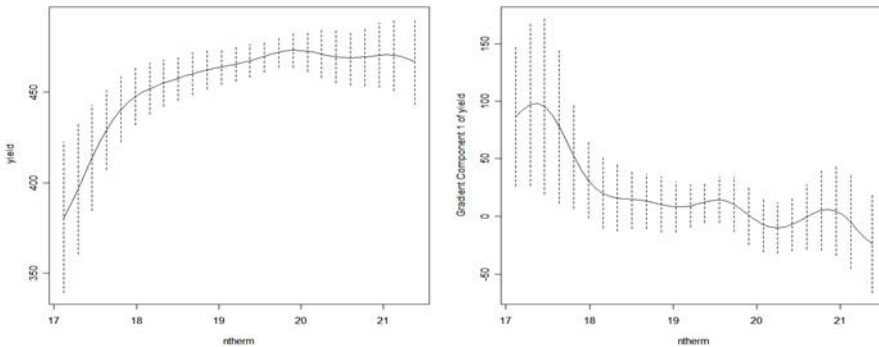
생산성이 나타났고, 각 지역별로 1980년 냉해로 인해 낮은 생산성이 관측되었다. 전체적으로 기온이나 강수량과 생산성이 어떤 관계를 가지는지를 이 그림만으로 파악하기는 어려운 것으로 나타났다.

그림 5-1. 쌀 단수와 기온 및 강수량



비모수적 커널함수 추정과 관련하여 4~10월의 평균기온과 단수와의 관계를 커널회귀분석하되, 연속변수(continuous variable)인 기온변수의 커널함수로 $k(z) = \exp(-z^2/2)/\sqrt{2\pi}$ 와 같은 2차 Gaussian함수를 사용하면, 최적 h 의 값으로 0.33이 추정되고, 쌀 경작기의 평균 기온이 미치는 영향은 <그림 5-2>와 같이 추정되었다(Hayfield and Racine (2007)의 R 패키지 np를 사용). 수직의 점선은 부스트래핑(추출회수 399회)을 통해 얻어진 각 예측치의 95% 신뢰구간을 나타낸다. 이 그림에서는 연평균 기온이 어느 정도 상승할 때까지는 기온이 오를수록 단수가 높아지지만 어느 수준 이상이 되면 기온 상승은 오히려 단수를 낮추는 역할을 하는 것으로 제시되고 있다.

그림 5-2. 경작기간 평균 기온과 쌀 단수와의 관계: 단일 변수 모형



기온변화와 쌀 수량과의 관계를 보면 기온이 19℃를 넘게 되면 도함수의 신뢰구간이 0을 포함하게 되어 기온변화가 쌀 단수에 미치는 영향은 통계적으로는 0이라 할 수 있다. 한편 기온이 19℃ 이하인 관측치(64개)에 있어 추정된 비모수모형의 도함수를 구해보면 평균 24.4kg로서 벼의 생육기간 동안 1℃의 기온 상승은 10a당 평균 24.4kg의 쌀 생산량이 증가함을 알 수 있다. 또한 기온이 20℃ 이상인 관측치(34개)에 있어서는 기온의 1℃ 상승은 10a당 쌀 생산량을 오히려 6.2kg 감소시키는 것으로 추정할 수 있다.

쌀 단수는 연도별 기술변화에 의해서도 영향을 받고, 아울러 지역별로도 차이가 있다. 따라서 발생한 모든 단수 변화를 기온 변화 때문이라 보는 것은 문제가 있다. 강우량, 지역더미, 연도 등도 포함해서 분석할 필요가 있는데, 강우량의 경우 포함해도 변수의 식별이 잘 되지 않는 것으로 나타나 제외하였다. 생산성의 지역별 차이를 감안하기 위해 전남을 기준으로 하여 경기(d1), 충남(d4), 전북(d5), 경북(d7)의 이산변수 혹은 더미변수를 부여하였고, 아울러 연도는 순위를 가지는 이산변수로 취급하였다. 분석결과를 보면 우선 충남과 전북은 전남에 비해 단수가 높는데, 경기는 전남보다 조금 더 높은 것으로 나타났다<표 5-1>.

표 5-1. 부분선형모형 추정결과(쌀)

변수	경작기간 평균 기온과 강수량		8월의 평균 기온과 강수량	
	추정치	t-값	추정치	t-값
경기 더미	25.749 (0.481)	2.913 ^{***}	14.035 (1.376)	1.946 ^{**}
충남 더미	59.910 (0.518)	6.680 ^{***}	46.150 (1.147)	6.410 ^{***}
전북 더미	51.523 (0.462)	7.214 ^{***}	51.589 (0.354)	7.358 ^{***}
경북 더미	18.627 (0.554)	2.011 ^{**}	3.839 (1.119)	0.534
연도	3.025 (1.217)	11.773 ^{***}	3.021 (4.305e5)	12.539 ^{***}
강수량	-0.191 (1.249)	-3.135 ^{***}	-0.075 (0.220)	-4.111
기온 대역폭	0.329		0.760	

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타내고,
()안은 x 변수들의 대역폭 추정치임

부분선형모형과 벌칙스플라인 회귀분석 결과를 보면 두 경우 모두 기온이 낮을 때에는 기온 상승으로 단수가 증가하고 그 효과는 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다<표 5-2>. 한편 기온이 일정수준 이상 상승하면 더 이상의 단수 증가효과가 없거나 오히려 단수가 하락하는 것으로 나타났다. 현재 기온이 이미 높은 수준으로 추가적인 기온상승이 쌀 단수를 하락시키는 영역에서는 추정 도함수의 통계적 유의성이 높지는 않은 것으로 나타났으나, 분명한 사실은 기온상승이 쌀 단수를 증가시키지는 않는다는 것으로 해석될 수 있다.

표 5-2. 벌칙스플라인 회귀분석 결과(쌀)

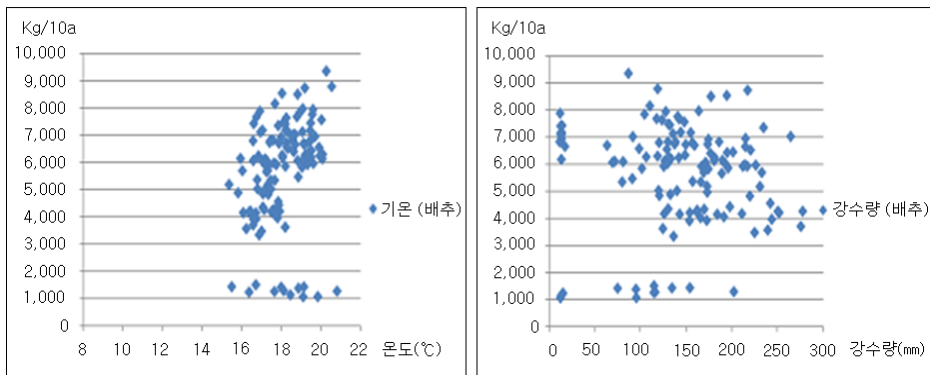
변수	경작기간 평균 기온과 강수량		8월의 평균 기온과 강수량	
	추정치	t-값	추정치	t-값
상수항	-5718.000	-10.650***	-5740.000	-11.100***
경기더미	25.250	2.816***	15.210	2.011**
충남더미	59.710	6.493***	48.390	6.387***
전북더미	51.060	7.032***	50.780	7.154***
경북더미	18.560	1.937*	6.853	0.912
연도	3.025	11.450***	3.061	12.470***
강수량	-0.197	-3.140***	-0.069	-3.944***
기온 평활 파라미터	3.452		4.866	

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

13.2. 배추

배추는 봄배추, 고랭지배추, 가을배추 등 지역별로 생육기간이 다른 문제가 있다. 각 유형의 배추 주산지를 모두 포함하기 위해 전남(d6), 경북(d7), 충북(d3), 강원(d2)의 자료가 사용되었다. 생육기간 4~11월의 평균 기온 및 강수량과 단위와의 관계는 <그림 5-3>과 같다.

그림 5-3. 배추 단위와 기온 및 강수량



배추 종류에 따라 재배기간이 다른 문제로 인해 배추 생산성에 기온이 미치는 통계적으로 유의한 영향을 찾기는 어렵다. 비모수적 모형의 경우 기온이 단수에 영향을 미치지 않는 것으로 추정하며, 준모수적 분석법인 부분선형모형의 추정결과는 <표 5-3>에 제시되어 있다. 특히 배추의 경우 전체 평균자료보다 각 월별 자료를 사용할 경우 기온이나 강수량이 미치는 영향이 더 불규칙한 것으로 나타났다. 지역더미의 경우 비교 기준은 강원도로 설정하였다.

배추는 지역별로 생산성 차이가 커 고랭지인 강원도에 비해 여타 지역의 생산성이 높다. 그러나 연도별로도 생산성이 늘어나는 정도가 통계적으로 유의하지 않고, 강수량도 많으면 생산성이 높아지지만 통계적으로 유의한 정도는 아니다. 기온의 경우도 비교적 낮은 수준에서는 높아지는 것이 도움이 되지만 거의 대부분의 영역에서 기온이 생산성에 미치는 영향이 수평선이다.

표 5-3. 부분선형모형 추정결과(배추)

변수	경작기간 평균 기온과 강수량	
	추정치	t-값
충북더미	2377.982(0.650)	4.565***
전남더미	2686.939(0.463)	5.254***
경북더미	1820.711(0.745)	4.429***
연도	23.684(4.432e5)	1.361
강수량	3.875(0.218)	1.038
기온 대역폭	0.626	-

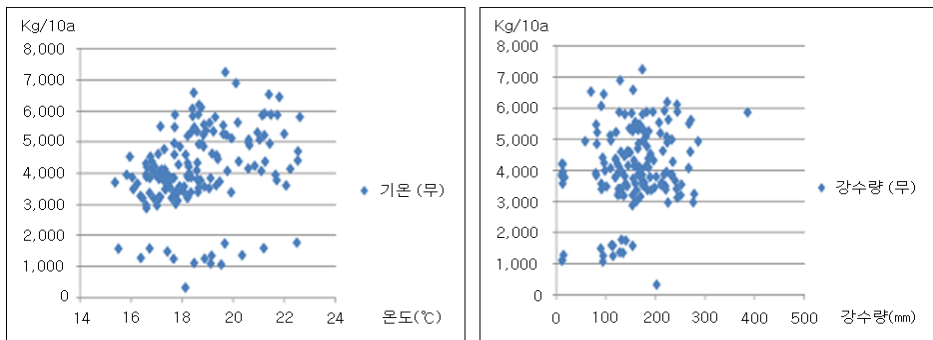
주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타내고, ()안은 x 변수들의 대역폭 추정치임.

1.3.3. 무

무 역시 전국에서 생산되고 각 지역별로 재배기간이 다르다. 4~11월의 자료를 이용할 경우 평균 기온 및 강수량과 단수와의 관계는 <그림 5-4>와 같은데, 포함된 지역은 제주(d9), 경북(d7), 충북(d3), 강원(d2), 전남(d6)이고 역시 강원이 지역더미의 기준 지역이다.

무의 경우도 배추와 마찬가지로 커널회귀분석보다는 부분선형모형이 비교적 성공적으로 추정되었으며, 기온이나 강수량이 생산성에 뚜렷하게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다<표 5-4>. 대신 시간이 지날수록 생산성이 증가하고, 고랭지에 비해 여타 지역의 생산성이 높아진다. 기온의 경우 미약하지만 오히려 생산성이 떨어지는 것처럼 보이는데, 모형 예측치의 신뢰구간이 너무 넓어 통계적으로 유의한 정도는 아니다. 커널회귀분석법을 적용하면 기온이 생산성에 미치는 영향이 없어 두 변수간 그래프가 수평선으로 나타나고, 벌칙스플라인 회귀분석을 하면 두 변수간의 관계는 부분선형모형의 경우와 유사하게 나오지만 그 도함수의 추정치가 0으로 나와 결국 두 변수간의 관계가 통계적으로 유의하지 않음을 의미한다.¹¹

그림 5-4. 무 단수와 기온 및 강수량



¹¹ 배추와 무의 경우 다른 변수들은 포함시키지 않고 기온변수만 포함해서 분석해도 단수에 대한 영향이 통계적으로 유의하지 않다.

표 5-4. 부분선형모형 추정결과(무)

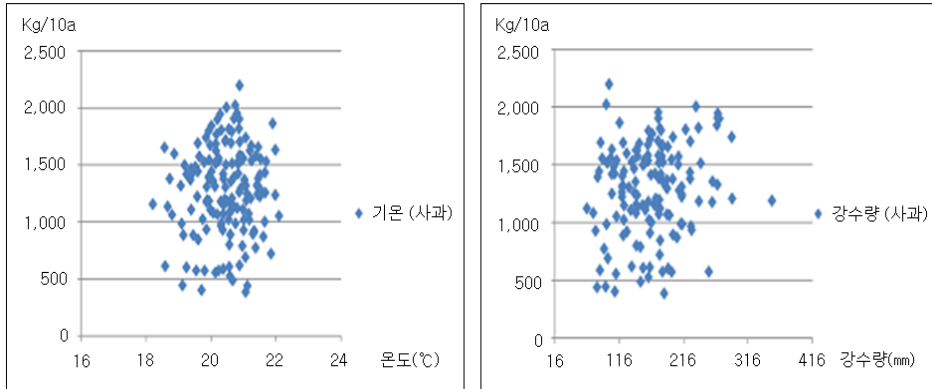
변수	경작기간 평균 기온과 강수량	
	추정치	t-값
충북더미	523.805 (0.489)	1.697*
전남더미	1970.787 (0.269)	7.007***
경북더미	658.303 (0.795)	2.622***
제주더미	1896.852 (0.292)	3.440***
연도	44.699 (3.789)	4.726***
강수량	1.021 (3.048e6)	0.554
기온 대역폭	0.840	-

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타내고,
()안은 x 변수들의 대역폭 추정치임.

13.4. 사과

대표적인 과일인 사과의 주산지인 지역은 경북(d7), 경남(d8), 충북(d3), 충남(d4), 전북(d5)이다. 지역더미의 기준 지역은 경북(d7)으로 설정하였다. 단수와 만개기에서 수확기인 5~10월 사이의 평균 기온 및 강수량과의 관계는 <그림 5-5>와 같다.

그림 5-5. 사과 단수와 기온 및 강수량



사과의 경우에도 완전한 비모수적 분석법인 커널회귀분석은 성공적이지 못하였다. 즉, 비모수적 분석에서는 기온이 단수에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 반면 부분선형모형은 각 변수의 영향을 도출할 수 있고, 그 결과는 <표 5-5>에 제시되어 있다.

사과의 재배기간 평균 자료를 이용할 경우 강수량은 생산성에 영향을 주지 않는다. 지역별 효과의 경우 경북과 비교할 때 전북과 충북은 생산성이 낮으나, 충남과 경남은 경북과 생산성 차이가 없는 것으로 나타났다. 기온이 상승하는 경우 생산성을 증가시키지만 예측치의 신뢰구간 폭이 너무 넓고, 아울러 기온 변수의 대역폭도 너무 크게 추정되어 준모수적 모형보다는 일반 선형모형이 더 적합하다고 할 수 있다. 선형모형을 사용하면 기온과 생산성 사이에는 양의 관계가 존재하며, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다.

표 5-5. 부분선형모형 추정결과(사과)

변수	재배기간 평균 기온과 강수량		8월의 평균 기온과 강수량	
	추정치	t-값	추정치	t-값
충북더미	-149.343 (0.613)	-1.820*	-143.046 (2.277)	-1.973**
충남더미	16.701 (0.835)	0.222	-12.833 (9.885e6)	-0.180
전북더미	-325.137 (0.338)	-3.819***	-340.523 (0.315)	-4.487***
경남더미	-50.781 (0.429)	-0.510	-95.115 (2.025)	-1.321
연도	26.108 (1.033)	9.585***	25.537 (1.228e6)	10.277***
강수량	-0.324 (1.183e7)	-0.720	5.816e-3 (2.622e7)	0.042
기온 대역폭	1.856e6		1.208	

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타내고, ()안은 x 변수들의 대역폭 추정치임.

사과 재배에 중요한 시기라 할 수 있는 8월의 기온 및 강수량 자료를 이용한 결과를 보면 강수량의 영향, 지역차이의 영향, 연도별 영향 등은 재배기간 평균 자료를 사용할 때와 큰 차이가 없다. 그러나 기온의 경우 대역폭 추정치가 크지 않아 비모수적 혹은 준모수적으로 모형화를 하는 것이 적합하며, 또한 예측치의 신뢰구간도 상대적으로 좁아 보다 신뢰할 수 있는 추정결과를 보여준다. 즉 사과의 경우 지역별 수확시기의 차이 등으로 인해 만개기에서 수확기 사이의 전체 기간의 기온보다도 특정 월별 기온변화가 생산성에 더 큰 영향을 주며, 기온이 상승할수록 생산성이 높아지는 것으로 분석된다.

1.3. 시사점

기후변화에 따른 농업부문의 생산성 분석에서는 1975년 이후의 각 주산지별 자료를 이용하여 쌀, 배추, 무, 사과와 단위면적당 생산성이 기후와 강수량, 그리고 여타 변수들에 의해 어떤 영향을 받는지를 알아보기 위해 모수적 및 준모수적 기법들을 적용하였다. 여기서 이루어진 기후변화에 대한 농산물 생산성 분석결과는 대체로 지난 30년의 정상적인 기후를 반영하는 자료를 기초로 하였기 때문에 미래에 발생할 것으로 예상되는 지구온난화의 영향을 예측하는 데 한계가 있다. 현재보다도 상당히 높은 평균기온이 아직은 관측된 적이 없기 때문에 통계적 유의성을 가질 정도의 효과를 예측하는 데 어려움이 있다. 다만 현재 사용되고 있는 농법과 품종이 제한된 범위 내에서 기온이나 강수량 변화에 어떻게 반응하는지를 경험적으로 살펴보는 것은 향후 발생할 영향의 방향을 예견하는 데 어느 정도의 도움을 줄 수 있을 것이다.

분석결과 쌀의 경우가 적용되는 세 가지 모형 모두 기온과 단수 사이에 비교적 유의한 상관관계가 있음을 보여주었다. 쌀의 경우 기온이 과거의 평균보다 낮은 상태에서 평균수준으로 접근할 경우 생산성이 통계적으로 유의하게 증가한다. 예를 들어 재배기간의 평균기온이 19℃ 이하인 경우 1℃의 기온상승은 10a당 생산량을 약 24.4kg 증가시킨다. 그러나 기온이 지금까지의 평균기온이나 비교적 높았던 수준보다도 더 높아지면 단수는 줄어드는 것으로 추정된다. 그러나 이 영역에서는 관측치의 수가 상대적으로 적고, 추정되는 한계효과의 신뢰구간도 0을 포함하는 매우 넓은 구간이기 때문에 높은 기온상승이 생산성을 하락시킨다는 것이 통계적 유의성에 의해 뒷받침되는 것은 아니다. 높은 기온 영역에서의 추가 온도 상승의 효과에 대한 통계적 신뢰성을 얻기 위해서는 향후 발생하는 기온변화를 반영하고 자료상의 온도분포를 더 늘리는 것이 필요할 것이다. 향후 기온상승이 쌀 단수를 감소시키는 효과에 대한 통계적 유의성은 약하나, 기온상승이 쌀 단수를 더 증가시키지는 않을 것이라는 점은 분명하다.

배추와 무의 경우 지역별로 재배시기가 다르다는 자료상의 문제는 있으나, 전체적으로 기후와 단수 사이의 상관관계가 매우 약하다는 결론을 내

릴 수 있다.

대표적인 과일인 사과와 감의 경우 준모수적 모형인 부분선형모형이 성공적으로 적용되며, 대체로 기온 상승이 생산성을 높이는 것으로 나타났다. 그러나 사과와 감의 경우 재배기간 동안의 평균 기온보다는 특정 시기의 기온변화가 더 중요한 영향을 미친다는 것도 보여주었다.

이상의 결과는 기온상승이 농업생산성에 미치는 영향이 품목별로 상당히 다를 수 있다는 점을 보여준다. 아울러 사과와 같은 몇몇 품목을 제외하고는 단기적인 기온변화가 아니라 지금까지의 평균 기온보다 더 상승하는 장기적인 기온상승이 생산성 증가에 도움을 주지는 않는다는 것을 보여준다. 그러나 이러한 결론 도출은 몇 가지 점에 있어 유의할 필요가 있다.

첫째, 본 연구는 이미 밝힌 바와 같이 자료의 제약으로 인해 30년 정도의 관측치밖에 사용할 수 없어 보다 장기적인 기온변화 효과를 예측하기에는 한계가 있다.

둘째, 많은 품목에서 지역별 특성이 생산성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 지역별 토양이나 생산규모 외에 기후 역시 지역특성 형성의 중요한 요소이므로 향후 기온변화가 지금의 지역별 특성에 거의 준하는 생산여건 차이를 가져올 수 있기 때문에 현재 지역특성 차이에서 기후의 차이가 어느 정도 기여하고 있는지를 검토할 필요도 있다.

셋째, 분석모형으로 사용한 커널회귀분석모형은 분석 대상의 특성과 분석 가능한 자료에 따라 그 활용도가 다르므로 향후 추가적인 분석이 이루어지는 경우 대상작목과 자료 등을 고려하여 분석모형을 선택하는 것이 바람직하다.

넷째, 농업생산성 변화를 정확하게 파악하기 위해서는 작물의 수량변화를 기후적 요인과 기술적 요인으로 분리하여 접근하는 것이 바람직하다. 그러나 기술적인 요인의 경우 대체로 일정한 추세로 볼 수 있으므로 기후요인과 작물의 생산성을 함수관계로 설정하여 분석해도 영향력 분석에 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.¹²

¹² 1996/97년을 대상으로 쌀 단위 증가의 요인별 기여도를 보면 기술요인 21.6%, 기상요인 78.4%를 차지하는 분석결과를 제시한 바 있다(김정호, 1998, p.39).

2. 농산물 생산의 중장기 전망

2.1. CERES-Rice 모형을 이용한 쌀 생산성 장기전망

국립기상연구소의 2011~2100년 기간의 기후변화 시나리오를 기초로 CERES-Rice 모형을 이용하여 조생종(오대벼), 중생종(화성벼), 만생종(동진벼)을 대상으로 쌀 생산을 예측한 결과, 세 품종 모두 중장기(2011~2040년)에는 출수기가 7일 정도 빨라지고, 장기(2071~2100년)에는 최대 20일까지, 생리적 성숙기는 최대 1개월까지 단축될 것으로 전망되었다. 또한 CERES-Rice 모형을 이용하여 한반도 기후변화 시나리오(A2 시나리오)에 따른 벼 생산성 변화를 분석 결과에 따르면, 1971~2000년 평년기후도에서 시뮬레이션한 10a당 전국평균 쌀 수확량은 전국 평균 539kg이고, 도별로 보면 충남이 591kg으로 가장 높고, 강원도가 493kg으로 가장 낮은 것으로 나타났다<표 5-6>.

지구온난화로 평년보다 온도가 2℃ 상승하는 경우 10a당 벼 수량은 전국 평균은 515kg으로 평년보다 4.5% 감소하는 것으로 추정되었다. 도별로는

표 5-6. CERES-Rice모형을 이용한 중장기 쌀 생산 예측

단위: kg/10a, %

도별	평년	2℃ 상승		3℃ 상승		4℃ 상승		5℃ 상승	
		수량	평년 대비	수량	평년 대비	수량	평년 대비	수량	평년 대비
강원	493	471	95.5	450	91.3	457	92.6	443	89.8
경기	520	501	96.3	480	92.3	470	90.4	449	86.5
경남	517	488	94.4	474	91.6	463	89.4	444	85.9
경북	550	532	96.7	506	92.1	503	91.5	481	87.6
전남	535	498	93.1	481	89.9	474	88.6	431	80.6
전북	531	500	94.1	487	91.7	472	88.8	456	85.8
충남	591	575	97.3	549	93.0	529	89.6	495	83.8
충북	523	510	97.6	484	92.5	494	94.4	457	87.3
평균	539	515	95.5	495	91.8	486	90.1	459	85.1

자료: 심교문 외(2008).

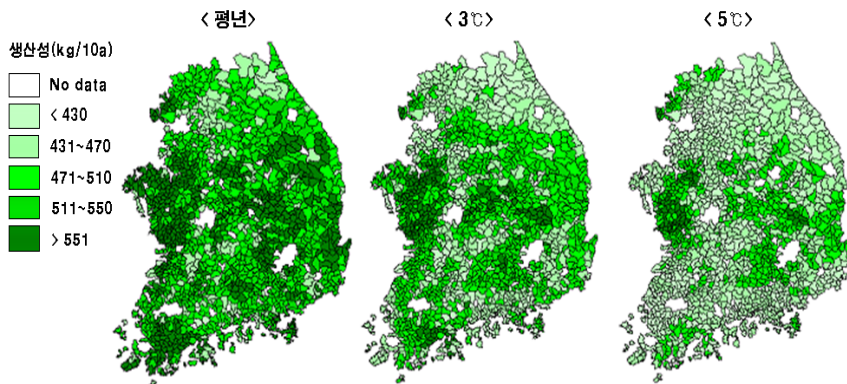
전남과 전북이 5.9~6.9% 감소하여 감소폭이 가장 크고, 충남과 충북은 2.4~2.7% 정도 감소하여 감소폭이 상대적으로 적을 것으로 나타났다.

온도가 평년보다 3℃ 상승하는 경우 10a당 전국평균 벼 수량은 495kg으로 평년보다 8.2% 감소할 것으로 예측되었다. 도별로는 전라남도가 평년 수량 대비 10.1% 감소로 감소폭이 가장 컸으며, 충청남도는 평년대비 7% 감소로 감소폭이 가장 적은 것으로 분석되었다.

온도가 평년보다 5℃ 상승하는 경우 10a당 전국평균 벼 수량은 459kg으로 평년보다 14.9% 감소하는 것으로 분석되었다. 도별로는 전라남도가 19.4% 감소로 감소폭이 가장 컸고, 다음으로 충청남도가 16.2% 감소하는 것으로 예측되었다. 반면에 강원도는 10.2% 감소하는 것으로 추정되어 수량 감소폭이 상대적으로 가장 낮을 것으로 예측되었다. 이러한 생산량 감소는 온난화로 인한 등숙기간의 단축뿐만 아니라 고온에서의 임실을 저하 및 야간고온에 의한 호흡손실 때문인 것으로 분석되고 있다.

평년(1971~2000년) 대비 온도가 상승(3℃, 5℃ 상승) 하는 조건에 따라 전국 1,455개 읍·면별 벼 생산량을 CERES-Rice 모형에 의해 모의한 결과를 <그림 5-6>에 제시된 바와 같이 지도로 나타낼 수 있다 (심교문 외 5인, 2008).

그림 5-6. 기후변화 전망에 따른 벼 생산성 변화 예측

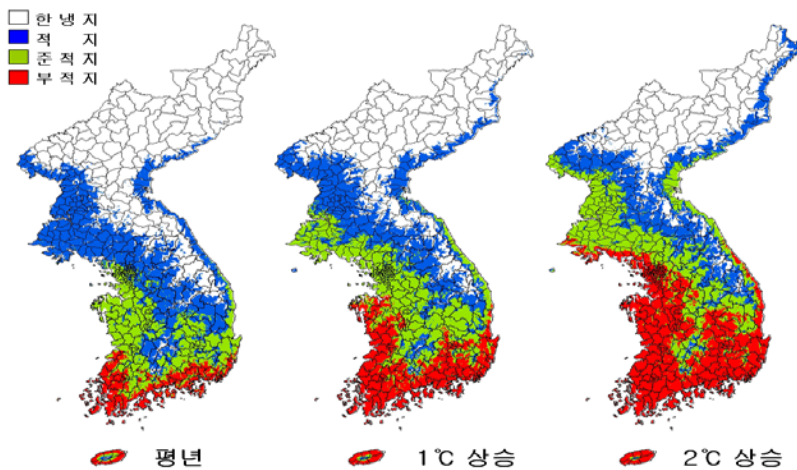


자료: 심교문 외(2008).

2.2. 사과 재배적지 변화와 생산 전망

사과는 영년생 작물로 한번 재식하면 10년 이상의 장기간 동안 동일지역에서 재배되므로 기후조건의 변화가 사과의 생산성과 품질에 크게 영향을 미친다. 온도상승으로 사과 재배적지가 이동할 것으로 전망되고 있다. 생육기의 기온이 상승함에 따라 남쪽에서 북쪽으로, 해안에서 내륙으로, 평지에서 산지로, 도시의 중심에서 외곽으로 사과 재배적지가 점차 축소되는 것으로 분석된다<그림 5-7>.

그림 5-7. 온도 상승에 따른 사과(후지 기준) 재배적지의 변화



농촌진흥청(2007b)의 한반도 사과(후지 기준) 재배적지 변화에 관한 연구 결과에 따르면 현재보다 평균 기온이 1°C 상승 시 남한은 재배적지가 크게 감소하는 반면 북한의 재배적지는 증가하는 것으로 나타나 예상 재배면적은 기준시점의 27,000ha에서 14.8% 감소한 23,000ha로 추정하였다. 기온이 2°C 상승하는 경우 예상재배 면적은 기준시점 대비 33.3% 감소한 18,000ha, 기온이 3°C 상승 시에는 44.5% 감소한 15,000ha로 전망하였다. 따라서 평균

기온이 3℃ 상승하는 경우 남한재배 적지는 현재 시점에 비해 약 80% 감소하고, 북한재배 적지는 7.1% 감소할 것으로 전망된다<표 5-7>.

표 5-7. 온도상승에 따른 사과의 재배적지 전망(후지 기준)

구 분	현재	1℃ 상승	2℃ 상승	3℃ 상승
한반도 재배적지(km ²)	65,464	55,880	44,698	35,790
남한 재배적지(km ²)	34,363	20,284	11,805	6,892
북한 재배적지(km ²)	31,101	35,596	32,893	28,898
예상 재배면적(ha)	27,000	23,000	18,000	15,000

자료: 서형호 외 3인(2005).

2.3. 감귤 재배에 미치는 영향

아열대 과일인 감귤은 기후변화에 민감하여 향후 기온상승이 이루어지는 경우 제주도의 감귤재배 면적이 크게 변화할 것으로 분석되고 있다. 기온상승에 따른 제주도의 감귤재배의 최적지를 예측한 결과 현재 시점을 기준으로 기온이 0.5℃ 상승 시 93% 증가한 61,292ha, 1℃ 상승 시 2.6배 증가한 83,434ha, 2℃ 상승 시 3.6배 증가한 83,434ha로 예측되었다<표 5-8>. 한편 제주도 지역의 재배적지와 재배가능지는 기온상승에 따라 감소할 것

표 5-8. 기온상승에 따른 제주도 감귤재배 면적 예측

구 분	최적지 (15.5℃ 이상)	적지 (14.5~15.5℃)	가능지 (13.8~14.5)
현 재	31,679 (100)	51,758 (100)	22,975 (100)
0.5℃ 상승	61,292 (193)	39,566 (76)	18,024 (78)
1.0℃ 상승	83,434 (263)	30,704 (59)	15,035 (65)
2.0℃ 상승	114,174 (360)	20,303 (39)	11,243 (49)

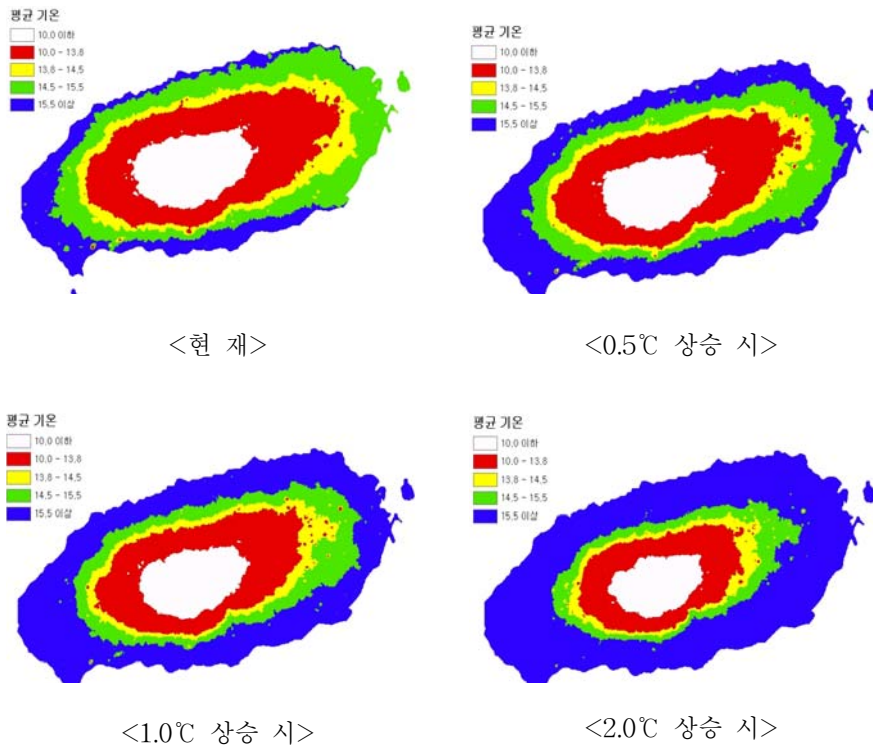
주: ()내 수치는 현재시점(100.0) 대비 지수변화를 나타냄.

자료: 전승중(2007), p.63.

으로 전망되었다(전승중, 2007).

기온상승에 따른 제주도 감귤 재배지 분포도 변화를 예측한 난지농업연구소의 연구결과에서 연평균 기온이 15.5℃ 이상 지역을 최적지(청색), 14.5~15.5℃ 지역을 적지(녹색), 13.8~14.5℃ 지역을 가능지(황색), 10.0~13.8℃ 부적지, 10.0℃ 이하지역을 불가능지(백색) 등 5개 등급으로 구분하여 온도상승 정도에 따른 재배지 변동 상황을 나타내었다(전승중, 2007, pp.62-63). 기온이 상승함에 따라 제주도 감귤재배지는 해발 200m 이하 해안, 평지에서 250~350m 중산간 및 산지로 이동되는 것으로 나타나고 있다<그림 5-8>.

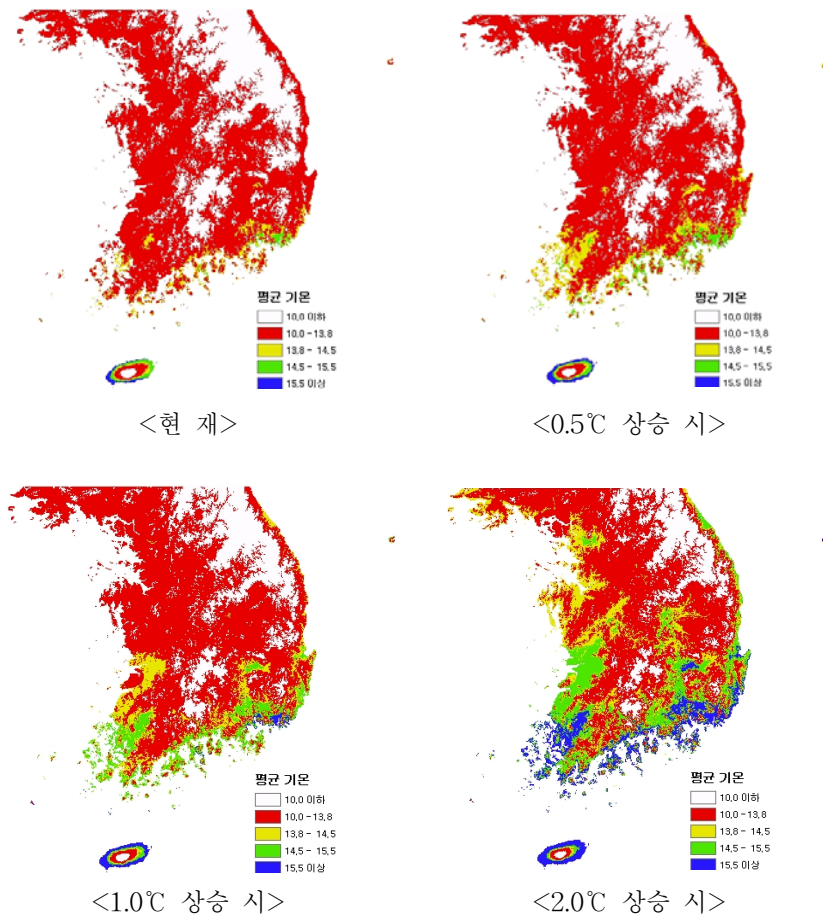
그림 5-8. 기온상승에 따른 제주지역의 감귤재배지 변동 예측도



자료: 전승중(2007).

지구온난화에 따른 기온상승으로 우리나라의 감귤재배지는 남쪽(제주도)에서 북쪽(육지)으로 점차 북상하고 재배지역이 확대될 것으로 전망된다<그림 5-9>. 평균기온이 2.0℃ 상승하는 경우 남해안 도서지방, 전남 및 경남 평야지대까지 북상하여 재배적지가 약 30배 증가할 것으로 전망된다(난지농업연구소, 2005).

그림 5-9. 기온상승에 따른 우리나라 감귤재배지 변동 예측도



자료: 전승중(2007), p.64.

2.4. 시사점

기후변화에 따른 농산물 생산의 증장기 전망을 위해서 기후요인과 작물 생산을 연계한 통합모형인 CERES-Rice 모형을 이용하여 예측하였고, 과수 분야 사과와 귤의 재배적지 예측은 기존의 연구결과를 활용하였다.

CERES-Rice 모형을 이용한 쌀 생산의 증장기 변화를 예측한 결과 기온이 평년(1971~2000년)보다 2℃, 3℃, 4℃, 5℃ 상승 시 전국 평균 쌀 단수는 평년대비 각각 4%, 8%, 10%, 15% 감소할 것으로 제시되었다. 이러한 예측결과는 정도에 따라 차이가 있으나 기온상승은 쌀 생산의 감소요인으로 작용하게 되므로 적절한 적응대책이 마련되어야 함을 시사하고 있다. 기후변화의 쌀 생산 장기예측을 위해서는 기상, 토양, 품종 등 작물재배 관련 정보를 기초자료로 생육과정을 시뮬레이션하게 되므로 연구결과와 실제와는 다를 수 있다. 그러나 CERES-Rice 모형은 기후변화가 작물생산에 미치는 영향을 과학적으로 분석하는 유력한 수단으로 많은 국가에서 활용되고 있고, 이용된 파라미터의 적정성에 대한 검토가 이루어져 국립농업과학원에서 이루어진 모의실험 결과는 상당한 신뢰성을 가지는 것으로 평가될 수 있다.

과수분야에서 기후변화가 사과와 귤의 재배적지에 미치는 영향에 대한 분석은 기존의 연구성과를 기초로 관련분야 전문가에 의해 이루어졌다. 사과 재배적지의 경우 기후변화로 남한지역은 재배적지가 크게 감소하고 북한지역은 기온이 2℃ 상승 시까지는 재배적지가 증가하나, 3℃가 되는 경우 북한지역까지도 재배적지가 감소하는 것으로 전망되었다. 따라서 예상되는 재배면적은 기온이 1℃, 2℃, 3℃ 상승 시 현시점 대비 각각 14.8%, 33.3%, 44.4% 감소할 것으로 예측하였다. 이러한 예측결과는 분석능력과 가정조건에 따라 재배적지 면적이 어느 정도 달라질 수 있으나 대체적으로는 사과 재배의 경우 기온상승으로 상당한 재배면적 감축은 불가피하다는 것이 대체적인 시각이다. 따라서 사과의 경우 기후변화에 대응하여 지역별

재배면적에 대한 예측과 이에 따른 적절한 대응책 마련이 시급한 분야이다.

기후변화가 농업분야에 항상 부정적 요인으로 작용하지는 않는다. 지역과 품목에 따라 긍정적인 요인으로 작용할 수 있다. 감귤의 경우 기온상승 시 현재 감귤 주산지인 제주도의 경우 감귤재배 최적지는 기온이 0.5℃, 1℃, 2℃ 상승 시 현시점 대비 1.9배, 2.6배, 3.6배 증가할 것으로 예측되었다. 또한 감귤재배 지역은 기온이 2℃ 상승하는 경우 제주도에서 북상하여 남해안 도서지방, 전남 및 경남 평야지대에서도 재배가 가능하고 재배면적이 증가할 것으로 전망되었다. 아열대 과일인 감귤은 지구온난화가 진행될수록 재배면적이 확대될 것으로 예측되어 기존의 주산지역인 제주도는 물론이고 향후 재배가 가능한 전남과 경남 등 남부지방에서는 기후변화의 위기를 기회로 활용할 수 있는 적절한 대응책 마련이 이루어져야 한다. 기후변화가 농업분야에 긍정적인 요인으로 작용하는 대표적인 사례로 감귤의 재배지 변동 예측을 살펴보았으나, 지역별·품목별로 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 사례를 발굴하여 적극적으로 활용하는 방안이 마련되어야 한다.

3. 농업경제에 미치는 영향 분석

3.1. 리카디언 접근 방법

기후변화의 경제적 영향분석을 위한 생산함수 접근방법은 기후변화에 따른 직접적인 영향 분석이 가능할 뿐이며 생산에 투입되는 요소들의 대체와 조정, 즉 기후변화의 적응을 위한 투입요소 조정에 따른 생산량 증감 등과 같은 간접적인 영향을 반영하지 못해 경제적인 영향에 대한 과소추정의 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Mendelsohn, Nordhaus and Shaw(1994)는 리카디언 모형(Ricardian Model)을 개발하였다. 이 모형은 기후변화에 따른 농지의 가치와 농산물 수익 변화를 추정함으로써 경제적인 영향을 평가하는 방법이다. 기본적으로 기후가 변화함에 따라 바뀌는

모든 생산요소를 감안한 장기적인 균형 상태에서 토지가격은 토지이용에 따른 수익인 준지대(quasi-rent)를 나타내는 것으로 가정한다. 리카디언 모형은 기후변화 영향 계측과 관련하여 정확히 계측되거나 식별되기 어려운 적응을 포함시킬 수 있는 강점을 보유하고 있다. 따라서 농지의 가치나 이윤을 직접 계측하기 때문에 기후 변화에 따른 작물의 생산성 변화와 같은 직접적인 영향뿐만 아니라 투입 생산요소의 대체효과, 토지 이용의 변화와 같은 간접적인 영향을 모두 고려할 수 있으므로 기후변화의 경제적 영향분석에 널리 활용되고 있다.¹³

3.2. 분석모형

생산자가 이윤극대화 방향으로 토지를 이용할 경우 토지가치는 기후변화에 따라 영향을 받는다는 전제에서 출발하였다. 완전경쟁 시장을 고려할 때 토지의 지대는 토지의 최적 이용에 따른 가치와 같게 된다. 따라서 농지의 가치나 이윤을 직접 계측하여 기후 변화에 따른 작물의 생산성 변화와 같은 직접적인 영향뿐만 아니라 투입 요소의 대체효과, 토지 이용의 변화와 같은 간접적인 영향을 모두 측정할 수 있다.

모형 수립을 위해 우선 효용 극대화 문제에서부터 출발하여 아래와 같은 역수요함수를 도출한다.

$$P = D^{-1}(Q, Y) \quad (5-6)$$

여기서 P 는 가격벡터, Y 는 소득을 나타낸다. 가격은 수요량의 함수이기는 하나 시장개방의 영향으로 기후가 바뀌더라도 변화하지 않는다고 가

¹³ 리카디언 모형의 활용에 따른 문제로 비교정태분석에서 조정비용을 고려하지 않은 점과 적응 등 조정과정의 동태적 변화를 반영하지 못한 점 등이 실제적 연구의 한계점으로 제시되고 있다(Quiggin and Horowitz, 1999).

정하였다.¹⁴

시장에서 구입할 수 있는 노동, 자본 등의 투입요소와 외생적으로 정해지는 기온, 강수량 등의 기후변수로 구성된 생산함수를 제약조건으로 이용한 비용최소화 문제는 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Min}_{K_i} \quad & w \times K_i \\ \text{s.t.} \quad & Q_i = Q_i(K_i, E) \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (5-7)$$

여기서 i 는 품목을 나타내며, $w = [w_1, w_2, \dots, w_j]$ 는 투입요소 가격, Q_i 는 생산량, $K_i = [K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{ij}]$ 는 시장구입이 가능한 투입요소, E 는 기후변수를 나타내는 벡터이다.

여기에서 도출된 비용함수는 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$C_i = C_i(Q_i, w, E) \quad (5-8)$$

이렇게 구해진 비용함수를 이용하여 주어진 가격 하에서 이윤을 극대화시키는 문제를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Max}_{Q_i} \quad P_i Q_i - C_i(Q_i, w, E) - p_L L_i \quad (5-9)$$

여기서 C_i' 는 토지를 제외한 모든 투입요소를 포함한 비용함수이며, p_L 은 해당 지역의 토지가격(또는 지대), L_i 는 i 품목 생산을 위해 이용된 토지면적을 나타낸다.

최적조건을 만족하는 생산 수준에서 완전경쟁일 경우 수익은 영이 된다.

¹⁴ 실제 추정에서도 가격의 변화 정도는 미미하여 영향을 거의 미치지 않는 것으로 제시되고 있다(Mendelsohn et al., 1996).

$$P_i Q_i^* - C_i'(Q_i^*, w, E) - p_L L_i = 0 \quad (5-10)$$

따라서 토지가격은 아래와 같이 i 품목 생산에 따른 이윤에서 가변비용을 제외한 수익을 전체 토지면적으로 나누면 된다.

$$p_L = [P_i Q_i^* - C_i'(Q_i^*, w, E)] / L_i \quad (5-11)$$

미래 토지비용의 현재가치(V_L), 즉 단위면적 당 수익은 토지의 가치를 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$V_L = \int_0^{\infty} p_L e^{-rt} dt = \int_0^{\infty} \{[P_i Q_i^* - C_i'(Q_i^*, w, E)] / L_i\} e^{-rt} dt \quad (5-12)$$

한편 기후가 E^A 에서 E^B 로 바뀔에 따라 변화하는 사회적 후생(social welfare) 변화는 식 (5-13)과 같이 나타낼 수 있다.¹⁵

$$\begin{aligned} \Delta W = W(E^B) - W(E^A) &= \int_{Q^A}^n P_i dQ - \sum_{i=1}^n C_i'(Q_i, w, E^B) \\ &\quad - \left[\int_{Q^A}^n P_i dQ - \sum_{i=1}^n C_i'(Q_i, w, E^A) \right] \end{aligned} \quad (5-13)$$

생산량은 기후변수의 함수이므로 선적분의 정의에 따라 위의 식을 전개하면 다음과 같은 결과를 유도할 수 있다.¹⁶

$$\Delta W = \int_{Q^A}^n \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i Q_i}{\partial Q_i} dQ - \sum_{i=1}^n C_i'(Q_i, w, E^B)$$

¹⁵ 아래의 적분기호는 선적분(line integration)을 나타낸다.

¹⁶ Just, Hueth and Schmitz(1982) Appendix 참조.

$$\begin{aligned}
 & - \left[\int_{Q^A} \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i Q_i}{\partial Q_i} dQ - \sum_{i=1}^n C'_i(Q_i, w, E^A) \right] \\
 & = \int_{E^0}^{E^B} \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i Q_i(E)}{\partial Q_i(E)} \frac{dQ(E)}{dE} dE - \sum_{i=1}^n C'_i(Q_i, w, E^B) \\
 & \quad - \left[\int_{E^0}^{E^A} \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i Q_i(E)}{\partial Q_i(E)} \frac{dQ(E)}{dE} dE - \sum_{i=1}^n C'_i(Q_i, w, E^A) \right] \\
 & = PQ(E^B) - \sum_{i=1}^n C'_i(Q_i, w, E^B) - [PQ(E^A) - \sum_{i=1}^n C'_i(Q_i, w, E^A)] \\
 & = \sum_i (p_{LB} L_B - p_{LA} L_A) \tag{5-14}
 \end{aligned}$$

따라서 미래의 사회적 순후생에 대한 현재가치는 전체 토지가치의 변화와 같게 된다.

$$\begin{aligned}
 \int_0^\infty \Delta W e^{-rt} dt &= \int_0^\infty \sum_i (p_{LB} L_B - p_{LA} L_A) e^{-rt} dt \\
 &= \sum_i (V_{LB} L_B - V_{LA} L_A) \tag{5-15}
 \end{aligned}$$

3.3. 단계적 추정방법

3.3.1. 기후변수 분석

리카디언 접근방법을 이용한 기후변화의 경제적 영향 분석은 두 단계의 과정을 거치게 된다.

첫번째 단계는 분석대상 지역의 정확한 기후를 파악하기 위해 기상관측소의 위치 정보와 그 지역의 기후요소(온도, 강수량)와의 관계를 알아내는 것이다. 이 과정은 이용 자료의 공간적인 위치를 반영하기 위한 작업으로,

행정자료를 이용하는 사회경제 변수와 관측소의 정보를 적용하는 기후 변수가 지리적으로 차이를 나타내기 때문이다. 기후변수 분석 접근방법을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{기후} = f(\text{위도, 경도, 고도, 해변과의 거리 등})$$

여기서 종속변수인 기후는 각 기상관측소에서 측정된 온도 및 강수량을 나타내며, 독립변수는 해당 관측소의 위치에 관한 정보들이다.

특정 지역의 기후 정보는 주변 기상관측소에서 수집된 모든 자료를 이용하는 보간법(interpolation)을 적용하여 추정하게 된다. 각 관측소에서 제공하는 기후 정보는 분석대상 지역의 중앙에서부터 관측소까지 거리의 제곱근(square root) 만큼 가중치를 두어 계산하게 되는데, 관측소별로 미치는 영향을 차별하기 위해서 이러한 과정을 거친다.

3.3.2. 경제 분석

두번째 단계는 추정된 기후 자료와 사회경제적 변수, 토양변수 등을 토지지대 또는 토지이용에 따른 수익(quasi-rent)에 대해 회귀분석하여 기후 변화가 농업에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 추정식을 개념적으로 제시해보면 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$\text{토지가격 또는 수익} = g(\text{기후변수, 사회경제적 변수, 토양변수 등})$$

대표적인 사회경제적 변수로는 농가당 단위면적 소득을 들 수 있으며, 토양변수로는 위도, 경도, 염분, 수분함량, 토양침투성 등이 있다. 여기서 사용된 농지가치는 완전경쟁하의 토지 시장에서 농지가격이 최적 이용가치를 적절히 반영할 경우에는 실제로 조사가가격을 그대로 이용할 수 있다.

3.4. 분석자료

3.4.1. 기후

기후를 예측하기 위해 김제, 당진 등 쌀 주요 생산지를 비롯하여 김장배추, 김장무, 고추, 마늘, 사과, 배의 주산단지 27개 시·군을 분석 대상지역으로 선택하였다. 모든 관측소의 기후 정보가 각 시·군의 기후에 영향을 미친다는 가정 하에 1988~2007년까지 지속적으로 정보를 제공하는 관측소를 모두 포함하였는데, 전체 79개 관측소 가운데 57개소가 해당된다. 농업에 미치는 기후 변화의 장기적인 영향을 측정하기 위해 각 관측소의 20년 자료를 이용하였으며, 농업에 미치는 계절적인 영향을 반영하기 위하여 1월, 4월, 7월, 10월 등의 자료를 적용하였다. 즉 1월의 기온은 병해충 발생에 영향을 미치며, 7월의 기온과 강수량은 작물의 성장에, 10월은 작물 수확에 큰 영향을 미치는 것으로 가정하였다.

27개 시·군의 1월, 4월, 7월, 10월의 기온과 강수량에 대한 분석 결과 김제와 충주의 추정결과를 보면 <표 5-9>과 <표 5-10>에 상세하게 설명되어 있다. 여기서 LONG은 경도를 나타내며, LAT는 위도, ALT는 해발고도를 나타낸다. 또한 SHORE는 관측소에서 가장 가까운 해안까지의 거리를 나타내는 것으로 해양이 기후에 미치는 영향을 반영하였다.

표 5-9. 지역 기후측정 분석모형 추정 결과(전북 김제)

	기온				강수량			
	1월	4월	7월	10월	1월	4월	7월	10월
C	6825.2**	-545.4	-2161.9	4486.0	48823.1**	-176954.6**	-398688.6**	-53519.7*
LONG	-94.6**	10.5	34.4	-66.8	-559.5**	2524.4**	5484.9**	1072.0**
LAT	-44.5**	-8.0	0.8	-11.6	-747.7**	905.5**	2754.0**	-838.0**
LAT ²	0.3**	0.2**	-0.1*	0.2*	1.6**	4.5**	11.8**	2.8**
LONG ²	0.3**	-0.03	-0.14	0.27	1.5	-8.5**	-17.5**	-4.9**
LONG ×LAT	0.18	-0.05	0.07	-0.04	5.0**	-9.8**	-28.3**	5.0**
ALT	-90.1	157.0	87.9	-125.5	-5661.3*	-28664.8**	-29157.4*	-14514.6**
ALT ²	-28.1	8.8	21.4	-39.6	-848.7**	-1360.6**	-2093.4	-1263.9**
LAT×ALT	1.3	-0.3	-1.0	1.8	37.4**	48.8**	69.7	55.3**
LONG ×ALT	0.6	-1.3	-0.7	0.9	43.5*	223.8**	229.9*	111.9**
SHORE	1.185	1.069*	0.518	0.629	31.9**	33.1**	91.4**	38.1**
SHORE ×LONG	-0.006	-0.007	-0.004	-0.004	-0.2**	-0.3**	-0.8**	-0.3**
SHORE ×LAT	-0.011**	-0.006	-0.001	-0.003	-0.1**	0.1	0.4**	-0.1**
SHORE ×ALT	0.142	-0.024	-0.096**	0.108	1.6**	2.9**	1.2	3.2**
Adj R ²	0.9058	0.9841	0.9841	0.9769	0.8880	0.8395	0.9273	0.8146
관측치수	57	57	57	57	57	57	57	57

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

표 5-10. 지역 기후측정 분석모형의 추정 결과(충북 충주)

	기온				강수량			
	1월	4월	7월	10월	1월	4월	7월	10월
C	7612.4**	501.6	-161.2	5691.4*	59891.6**	-174645.0**	-330453.3**	-51594.6
LONG	-106.9**	-8.5	-0.2	-87.6*	-716.6**	2547.2**	4328.9**	1093.8*
LAT	-45.0**	1.3	12.2	-5.1	-808.3**	695.0**	3070.6**	-1025.1**
LAT ²	0.4**	0.2**	-0.05	0.4**	1.541*	4.732**	12.213**	1.724
LONG ²	0.4**	0.06	0.01	0.4*	2.059*	-8.817**	-12.628	-5.283**
LONG ×LAT	0.1	-0.1	-0.07	-0.17	5.467**	-8.258**	-31.020**	7.124**
ALT	-181.7	168.1	193.2	-201.6	-4572.6	-28246.1**	-27693.8	-13216.2**
ALT ²	-2.3	25.2	39.0**	-6.7	-793.9**	-1404.0**	-2065.6*	-1343.1**
LAT×ALT	0.4	-0.81	-1.60**	0.63	36.03**	50.8**	72.88*	59.27**
LONG ×ALT	1.275	-1.385	-1.526	1.439	34.87	220.46**	217.32	101.60**
SHORE	2.000**	0.842	0.214	1.202	31.983**	30.249**	42.159	36.522**
SHORE ×LONG	-0.012*	-0.005	-0.002	-0.008	-0.224**	-0.258**	-0.518*	-0.261**
SHORE ×LAT	-0.015**	-0.005	0.002	-0.006	-0.097**	0.064	0.658**	-0.103*
SHORE ×ALT	0.148**	-0.011	-0.092**	0.123*	1.710**	2.989**	4.045*	3.595**
Adj R ²	0.9225	0.9667	0.9958	0.9316	0.8372	0.7634	0.9459	0.9316
관측치수	57	57	57	57	57	57	57	57

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

회귀분석 결과를 통해 추정된 방정식에 각 시·군 중앙점의 경도, 위도, 해발고도, 해안까지의 최단 거리를 대입하여 27개 시군의 1월, 4월, 7월, 10월 온도와 강수량을 계산하였다. 대표적인 지역의 추정치가 <표 5-11> 과 <표 5-12>에 제시되어 있다.

계측지점과 가장 가까이에 위치한 관측소의 20년 평균 기온과 강수량을 비교해 보면, 기온의 경우 대체로 비슷한 결과를 도출한 것으로 나타났으나 강수량의 경우 오차가 크게 나타났다. 이는 추정방법에서 발생한 문제 일 수 있으므로 추가적인 보완이 필요하다. 즉 모형의 설명력을 높이기 위

하여 자료를 제공하는 관측소를 모두 포함하여 통계적으로 유의한 계수를 추정할 수는 있었다. 그러나 이 과정에서 발생하는 공간적 자기상관 문제를 완전 제거하지 못하였기 때문에 인접한 관측소의 실제 강수량과 전혀 다른 추정치를 나타내고 있는 것으로 판단된다.¹⁷

표 5-11. 주요 지역의 월별 평균 기온 및 강수량 추정치

	기온				강수량			
	1월	4월	7월	10월	1월	4월	7월	10월
김제	-0.01	12.37	25.91	14.33	11.20	54.58	215.64	17.10
나주	2.73	13.38	25.56	16.52	46.68	91.84	269.02	52.74
서산	-1.44	11.27	24.79	13.76	15.71	59.03	227.30	26.65
안성	-2.09	9.63	20.75	14.40	107.14	180.14	501.90	180.64
충주	-2.67	10.79	22.17	13.48	79.18	149.50	477.61	136.98

표 5-12. 인접 관측소의 월별 평균 기온 및 강수량

	기온				강수량			
	1월	4월	7월	10월	1월	4월	7월	10월
전주(김제)	0.30	12.91	25.95	15.07	34.30	78.88	300.07	46.45
광주(나주)	1.26	13.25	25.63	15.74	38.33	79.83	302.53	40.55
서산(서산)	-1.39	10.99	24.27	13.89	27.48	74.34	249.64	43.14
이천(안성)	-2.82	12.04	24.36	12.85	24.44	72.60	356.72	43.67
제천(충주)	-4.37	10.63	22.99	11.31	23.99	81.95	406.13	51.74

3.4.2. 사회경제 및 환경 관련자료

리카디언 모형을 적용하기 위해 기후변수를 비롯하여 사회경제 변수와 농업생산에 영향을 미칠 수 있는 토양, 위치 등에 관한 자료를 이용하였다.

¹⁷ 충주의 10월 강수량 참조.

자료에 관한 자세한 내용은 <표 5-13>에 제시되어 있다. 기후에 관한 기온과 강수량자료는 1단계에서 추정한 기온과 강수량 추정 방정식의 전망 능력이 매우 떨어지는 것으로 나타나 이용하기 힘들 것으로 판단되어 해당 지역 관측소의 자료를 직접 이용하였다.

표 5-13. 리카디언 모형의 이용변수

변수	설 명
Tem _i	i월 평균기온
Tem _i ²	i월 평균기온의 제곱
Rain _i	i월 강수량
Rain _i ²	i월 강수량의 제곱
Avtem	연평균 기온
Avrain	월평균 강수량
Landv	농지가격(내부자료 2007), 논과 밭의 가중평균 가격(천원/ha)
Frevenue	농업총수입(천원/ha, 도별, 통계청>농가경제통계 2007)
Crevenue	농작물수입(천원/ha, 도별, 통계청>농가경제통계 2007)
Landsz	지역별 경지면적(통계청>국토>국토면적 2006, 한국토양정보시스템>토양통계>토양이용통계>논+밭)
Sdis	해안까지의 최단 거리
Long	경도
GRDPPCAP	지역의 1인당 생산액 (도별, 통계청>지역계정>지역소득통계>경제활동별 지역 내 총생산 2006, 통계청>인구>시·군·구별 주민등록 인구 2006)
POPDEN	인구밀도 (통계청>인구>시군구별 주민등록 인구, 통계청>국토>국토면적 2006)
POPGR	인구증가율(%)
SALT	농지면적(논+밭)에 대한 염해답의 비율(한국토양정보시스템>토양통계>토양이용통계>논)
WET	농지면적(논+밭)에 대한 습답의 비율(한국토양정보시스템>토양통계>토양이용통계>논)
KFAC	토양 침식성 인자(k-factor) (농촌진흥청, 전국 토양 침식 위험성 평가 p11)
IRR	관개시설 수혜면적 비율(2006 수혜면적/국토면적, 통계청)
SLOPER	경사도(%), 한국토양정보시스템>토양통계>물리적특성통계>경사, 논+밭을 합친 면적에 대한 각 경사도별 가중평균)
PERMEA	배수등급(한국토양정보시스템>토양통계>물리적특성통계>경사, 논+밭을 합친 면적에 대한 각 등급별 가중(92.5, 77.5, 62.5, 47.5, 32.5, 17.5)평균)
FLOOD	상습홍수 피해지 비율(2006 피해면적/국토면적, 통계청)

농지가격에 관한 자료는 한국농촌경제연구원 내부 자료를 이용하였다. 농지가격의 편의(bias)를 방지하기 위해 농업진흥지역 내외의 농업지역만 대상으로 논 가격과 밭 가격을 평균하여 사용하였다. 농업총수입(Frevenue)과 농작물수입(Crevenue)은 통계청자료를 이용하였는데, 시·군별 자료가 없어 도(道)단위 자료를 적용하였다<표 5-14>. 지역별 1인당 GDP 역시 통계청에서 제공하고 있는 도단위 자료를 이용하였다. SALT, WET, SLOPER, PERMER 등은 한국토양정보시스템의 자료를 이용하였다. SALT는 지역의 논과 밭의 면적 가운데 염해답이 차지하는 비율을 나타낸 것이며, WET는 지역의 논과 밭의 면적 가운데 습답의 면적을 비율로 나타낸 것이다. SLOPER는 구간별로 제시된 경사도에 해당하는 논과 밭의 면적인데, 구간의 중앙값으로 가중 평균한 값이다. PERMEA는 배수등급을 나타내는데, 정성적으로 제시된 여섯 등급에 각각 92.5, 77.5, 62.5, 47.5, 32.5, 17.5점을 부과한 후 면적으로 가중 평균하여 구한 값이다. KFAC는 토양의 침식성 인자를 나타내는데, 구간별로 제공되므로 중간 값을 적용하였다. 해안까지의 최단거리(Sdis)와 경도(Long)는 지역의 중앙지점의 경도와 해안까지의 거리를 나타내는데, GIS를 이용하여 구하였다. 대상지역은 쌀, 김장배추, 김장무, 고추, 마늘, 사과, 배의 주산단지와 농지가격 조사 지역 등 모두 80개 시·군이다.

표 5-14. 대상지역 농지 가격 현황

	단위: 천원/ha		
	평균	논	밭
전국	255,838	231,079	280,597
강원도	245,322	236,166	254,477
경기도	628,658	498,924	758,392
경상남도	228,141	226,789	229,492
경상북도	138,275	140,681	135,869
전라남도	102,159	99,450	104,869
전라북도	120,814	116,151	125,476
충청남도	305,046	238,851	371,241
충청북도	278,289	291,618	264,960

3.5. 분석 결과0

농지가격을 기후변수, 기후변수의 제곱, 사회경제변수, 토양변수 등에 대해 대수-선형함수(log-linear function)를 설정하여 회귀분석을 실시하였다. 농지가격은 농지로부터 나오는 농업소득의 미래가치 이외에 위치에 따른 미래 투자가치를 내포하고 있다. 따라서 지역의 농지가격 및 독립변수에 관한 자료가 전체에 미치는 영향을 차별하기 위해 모든 변수들의 자료를 농지면적 또는 농작물 수입으로 가중하여 회귀분석하는 가중회귀분석(weighted regression)을 적용하였다. 기온과 강수량에 대해 더미변수(Dumterm, Dumrain)를 사용하였는데 각각 연평균 기온이 높은 영암, 강수량이 타 지역에 비해 많은 평창과 하동 지역을 나타낸다.

모형에 2차 항을 포함한 것은 농지가격과 기후변수와의 비선형관계를 점검하기 위한 것이다. 따라서 추정된 2차 항의 계수가 통계적으로 유의할 경우 비선형 관계를 나타낸다고 해석할 수 있다.

회귀분석은 세 가지 모형으로 나누어 실시하였는데, 농지면적으로 가중한 농지가격을 기후변수로만 회귀분석한 경우(모형1), 다른 변수들을 포함하여 회귀분석한 경우(모형2), 그리고 농작물수입으로 가중한 경우(모형3) 등이다. 정도의 차이는 있으나 세 방정식 모두 기후변수에 대해 비슷한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다. 즉 연평균 기온상승이 농지가격에 대해서는 부정적인 영향을 나타내지만, 연평균 강수량은 긍정적인 영향을 보이는 것으로 나타났다. 기후변수와 다른 독립변수를 포함할 경우 경지면적으로 가중한 결과와 농작물수입으로 가중한 결과가 모두 비선형관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 기후변수의 2차 항이 양의 값을 가질 경우 경작 가능한 최저 기후가 있다는 것을 나타내는데, 그 기후에서 벗어나면 농지의 가치가 올라간다는 것을 나타낸다. 반면 2차 항이 음의 값을 가질 경우, 농지의 가치를 최고로 하는 적정 기후가 있다는 것을 나타낸다.

기후변수 이외의 독립변수들의 방향이 두 모형에서 일관성 있게 나타났

다. 지역의 1인당 생산액(GRDPPCAP)과 인구 증가율(POPGR)은 농지가격에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 소득과 인구가 늘어날수록 농지에 대한 수요가 많아지고 결국 농지가격이 상승하는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 한편 농업에 부정적인 요인으로 고려되는 토양 침식성과 경사도는 농지가격에 대해 모두 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 상습피해지 비율(Flood)의 경우 예상과 달리 농지가격에 대해 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 이유는 전체 80개 가운데 53개 시·군에서 피해지가 없는 것으로 나타났으나, 농지가격이 상대적으로 높은 수도권의 시·군이 대부분 피해지역으로 포함되었고 비율도 높게 나타났기 때문인 것으로 해석된다.

추정된 결과에 따르면 연평균 기온인 섭씨 12.4℃에서 1℃ 상승하게 되면 모형2의 경우 농지가격은 약 1,455만원/ha 하락하는 것으로 나타났으며, 모형3의 경우 1,924만원/ha 정도 하락하는 것으로 분석되었다<표 5-15>.

표 5-15. 농지가격 분석 결과

변 수	추정계수		
	경지면적가중 모형(1)	경지면적가중 모형(2)	농작물수입가중 모형(3)
상수항	5.607 (0.671)	16.585*** (3.529)	10.215** (2.511)
Avtem	-2.015 (-1.498)	-1.684* (-1.87)	-1.036 (-1.308)
Avtem ²	0.073 (1.326)	0.066* (1.796)	0.039 (1.181)
Avrain	0.373*** (3.04)	0.131** (2.004)	0.189** (2.165)
Avrain ²	-0.002*** (-3.038)	-6E-04** (-2.01)	-8E-04** (-2.14)
Dumtem	-2.202 (-1.035)	-2.841** (-1.998)	-1.899 (-1.34)
Dumrain	2.151 (1.653)	-	1.000 (1.528)
GRDPPCAP	-	0.023* (1.751)	0.015 (0.965)
SALT	-	-	-0.017 (-1.604)
WET	-	0.050*** (3.466)	0.030** (2.419)
KFAC	-	-39.03*** (-3.058)	-16.21 (-1.157)
POPGR	-	0.121*** (4.625)	0.115*** (4.307)
SLOPER	-	-0.29*** (-4.643)	-0.229*** (-3.993)
PERMEA	-	0.024* (1.628)	-
FLOOD	-	0.125*** (2.906)	0.082** (1.987)
Adjusted R ²	0.96	0.98	0.97

주: 1) Dumtem과 Dumrain은 연평균 기온이 높은 영암, 연평균 강수량이 타지역에 비해 많은 평창과 하동을 각각 나타내는 더미변수임.

2) *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

이 값은 각각 80개 시·군 평균 농지가격의 5.7%, 7.5%에 해당한다. 반면 양의 효과를 나타내는 강수량의 경우 연간 월평균 110.8mm에서 1mm 증가할 경우 즉, 연간 12mm 증가할 경우, 농지가격은 33만원/ha(모형2), 36만원/ha(모형3)씩 상승하는 것으로 나타났다.¹⁸

환경부의 ‘기후변화에 의한 한반도 영향 예측 사례’에 따르면 2020년 우리나라의 기온은 약 1.2℃ 상승하고 강수량은 11% 증가하는 것으로 예측하였다. 이 경우 기온상승에 따라 농지가격은 1,455~1,924만원/ha 하락하지만 강수량이 증가하여 403~440만원/ha 상승하는 효과가 동시에 발생하게 된다. 따라서 종합적인 영향은 농지가격이 약 1,343~1,868만원/ha 감소한다고 할 수 있다.

농지가격 분석과 동일한 방법을 적용하여 농업총수입에 대해서도 기후변화의 영향을 분석하였다. 그러나 연평균 기온과 강수량을 적용하여 추정된 방정식 결과가 의미 없게 나타나 이용하기 힘들었다. 따라서 농업에 미치는 계절적인 영향을 반영하는 1월, 4월, 8월, 10월의 자료를 적용하여 방정식을 추정하였는데, 그 결과가 <표 5-16>와 같이 나타났다.¹⁹ 이 경우에도 온도와 강수량을 동시에 포함한 결과가 일관성 없이 나타났으며, 또한 변수의 수가 많아 자유도가 매우 떨어지는 문제점이 발생한다. 따라서 온도만 적용하여 분석하였다.

대수-선형 형태로 추정된 결과를 보면, 경지면적으로 가중한 방정식과 농작물 수입으로 가중한 방정식의 계수가 매우 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 다만 1월 기온의 2차 항 부호만 다르게 나타났다.

¹⁸ 멘델존에 따르면 미국의 경우 겨울철(1월) 온도가 섭씨 1도 올라가면 농지가격의 변화는 농지면적 가중모형의 경우 약 12만원~14만원, 농작물수입 가중모형은 19~22만원 정도 하락하는 것으로 나타났다. 또한 여름철(7월)의 경우 그 값은 211~241천원, 12~18만원 정도로 분석하였다. 이 결과는 우리나라 농지가격 하락 정도와 비교하면 매우 적은 수치이지만, 두 나라의 농지가격에 차이가 있을 것이라고 가정하면 큰 의미는 없는 것으로 보인다.

¹⁹ 수확기 직전인 8월의 기후가 작황에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있어 7월 대신 8월의 자료를 이용하였다.

표 5-16. 농업총수입 분석결과

변 수	추정 계수			
	대수-선형모형		선형모형	
가중변수	경지면적	농작물수입	경지면적	농작물수입
상수항	5.667(0.713)	7.931(0.863)	-36321(-0.25)	-2261.5(-0.01)
Tem1	0.019(0.588)	0.023(0.610)	457.1(0.77)	601.6(0.88)
Tem1 ²	0.004(0.587)	-0.001(-0.214)	35.1(0.31)	-43.9(-0.38)
Tem4	0.528(1.231)	0.545(1.051)	8645.2(1.11)	9375.4(0.99)
Tem4 ²	-0.019(-1.09)	-0.018(-0.879)	-311.6(-0.99)	-318.4(-0.84)
Tem8	-0.459(-0.593)	-0.323(-0.359)	-8405.2(-0.6)	-5929.2(-0.36)
Tem8 ²	0.010(0.654)	0.008(0.426)	187.6(0.67)	144.2(0.44)
Tem10	-0.471(-1.643)	-0.814***(-2.710)	-9047.8(-1.73)	-15359***(-2.8)
Tem10 ²	0.014(1.554)	0.025***(-2.687)	272.0*(1.62)	473.1***(-2.7)
Long	0.074**(2.501)	0.061*(1.780)	1272.1**(2.35)	1078.7*(1.71)
GRDPPCAP	0.024***(-5.789)	0.019***(-3.139)	343.0***(-4.46)	241.7***(-2.2)
POPDEN	-0.0002*(-2.11)	-0.0003*(-2.153)	-3.358*(-1.89)	-4.37*(-1.97)
POPGR	0.029***(-3.199)	0.032***(-2.695)	501.0***(-3.02)	545.6***(-2.54)
PERMEA	-0.008**(-2.075)	-0.008*(-1.755)	-132.8*(-1.86)	-133.9(-1.59)
FLOOD	0.064***(-5.064)	0.063***(-4.687)	1129.7***(-4.88)	1116.7***(-4.53)
Adjusted R ²	0.9985	0.9948	0.8522	0.8565

주: *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

기후변수를 제외한 독립변수의 방향이 농지가격에 대한 추정결과와 거의 비슷하게 나타났다. 다만 토양의 배수등급에 대해서는 농지가격 모형과 달리 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었는데 그 이유는 배수가 잘 될 경우 농업 이외의 용도로 이용하기에는 좋으나 농업용으로는 적합하지 않기 때문인 것으로 해석된다.

추정 결과에 따른 계절적 영향을 살펴보면, 4월의 온도 상승은 농업총수입에 긍정적인 영향을 미치고, 8월과 10월의 온도 상승은 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이들 값을 모두 합하여 전체적인 영향을 계산해보면, 섭씨 1도 상승할 경우 농업총수입은 260~400만원/ha 감소하는 것으로 나타났다. 이 값은 평균 농업총수입 1,700만원/ha의 약 15~23%에 해당하는 금액으로 농지가격 분석 결과에 비해 높게 나타났다. 선형으로 추정된 방정식을 이용하여 분석한 결과는 약 380~500만원/ha로 더 높게 나타났다.

일반적으로 농지가격 모형보다 농업총수입 모형의 기후변수 한계가치가 더 높게 나타나는데, 그 이유는 토지 이용이 농업에 국한되어 있기 때문이다. 즉 농지가격 모형의 경우에는 토지이용에 대한 미래가치가 모두 포함되어 있지만, 농업총수입 모형의 경우에는 생산함수를 이용한 분석과 마찬가지로 기후 변화에 따라 최적의 토지이용이 이루어지지 않고 농업에만 제한된 상태에서 함수를 추정하였기 때문이다. 한편 강수량에 대한 추정 방정식은 신뢰성이 매우 낮은 것으로 추정되어 결과를 제시하지 않았다.

3.6. 시사점

기후변화에 따른 경제적 영향분석에 있어서 리카디언 분석방법은 완전경쟁 상태에서 적정 농지가격을 얼마나 정확하게 도출해낼 수 있느냐가 관건이다. 이 연구에서 이용된 농지가격이 미래의 농지 이용가치를 어느 정도 반영했느냐가 중요하다. 특히 면적이 좁고 인구가 많은 나라에서는 토지이용에 대한 요구가 매우 다양하게 발생하므로 순수한 미래가치를 반영하는데 어려움이 있고 오히려 과대평가될 가능성이 높다. 도시와 인접한 농지의 경우 개발수요가 늘어나거나 투기적인 수요가 발생할 경우 적정한 토지 가격을 산정하기 어렵다는 문제점도 있다. 또한 우리나라와 같이 농지의 자유로운 거래가 제한된 경우에는 그 가치가 오히려 과소평가될 수도 있다.

이상과 같은 여러 가지 제약에도 불구하고 리카디언 분석방법이 의미

있게 평가되는 이유는 시장경제이론에 적합하며, 기후변화에 따른 적응조치를 포함한 모든 요소들이 최적화된 것으로 가정하여 균형 상태를 추정하는 것이기 때문이다. 다시 말해서 생산함수를 이용하거나 최적화 문제를 해결하여 경제성을 평가하는 방법 등은 최적화된 상태에서 기후 변화의 영향을 평가하기보다는 기존의 상태를 유지하면서 기후요소의 변화에 따른 영향을 평가하는 것이므로 리카디언 접근방법보다 경제학적인 함축성이 떨어진다고 볼 수 있다. 농지가격의 미래가치 반영에 대한 한계점을 보완하는 방식으로 농업총수입 자료를 이용한 영향분석을 시도하였다.

농업이 상당한 비중을 차지하는 80개 시·군의 자료를 이용하여 리카디언 분석을 실시한 결과, 농지가격을 종속변수로 이용한 경우에는 연평균 기온과 연간 월평균 강수량 자료를 적용하여 의미 있는 결과를 도출할 수 있었다. 그러나 농업총수입을 종속변수로 이용한 모형에서는 계절별 기온에 대한 경우에만 나뉘대로 의미 있는 결과를 도출할 수 있었다. 한편 두 경우 모두 농지면적으로 가중했을 때에는 면적이 넓은 시·군의 농지가격이 좁은 지역보다 전체에 미치는 영향이 높게 나타나게 된다. 따라서 넓은 재배 면적을 필요로 하는 곡물에 적합한 모형이라 할 수 있다. 반면 농작물 수입으로 가중한 경우는 단위면적당 높은 수익을 내는 시·군의 자료가 그렇지 않은 경우보다 전체에 미치는 영향이 더 크게 작용하게 되므로 고소득 작물을 재배하는 지역에 적합한 결과라 할 수 있다.

신뢰성 높고 정교한 모형을 만들기 위해서는 몇 가지 해결해야 할 문제점들이 남아 있다. 우선 1단계의 기후 측정을 성공적으로 수행하여 경제성 분석에서 더욱 정밀한 자료를 이용할 수 있어야 한다. 특정 소수 관측소의 관측치는 측정 당시의 사정에 따라 오차가 커질 수 있다. 그러므로 다수의 관측소 정보를 이용하여 오차를 줄이는 작업이 선행되어야 한다. 제2단계 경제성 분석에서는 자료의 제약을 들 수 있다. 특히 도 단위 통계자료와 시·군 단위 자료를 혼합하여 이용함으로써 발생하는 오차로 인해 모형의 정교함이 떨어진다고 볼 수 있다. 이 문제를 해결하게 되면 함수추정에서 더 많은 자료를 이용할 수 있게 되므로 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

리카디언 분석 결과에 대한 정확한 해답은 얻을 수 없다. 그러나 선행연구 결과에 따르면 일반적으로 기온이 올라가면 농업에 부정적인 영향을 미치며, 강수량이 증가하면 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서도 선행연구와 비슷한 결과를 도출함으로써 기후 변화에 따른 영향을 계량적으로 나타낼 수 있게 되었다. 분명한 것은 기온과 강수량을 동시에 고려했을 경우 기후 변화가 농업에 미치는 영향은 부정적이라는 것이다. 따라서 변화하는 기후의 영향을 최소화하기 위해서는 재배작물 변경, 재배 방법 변화 등 적극적인 대응책이 필요하다.

기후변화가 농업부문에 미치는 영향분석과 관련하여 여러 국가에서 과학적·경제적 측면의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 제6장에서는 일본, 미국 및 기타 주요국의 농업부문의 기후변화 영향분석 사례를 정리하여 제시하였다. 일본사례는 농업환경기술연구소에서 이루어진 과학적인 연구결과와 농림수산성의 지구온난화 종합전략 수립시 활용한 영향분석 사례 등을 종합적으로 정리하였다. 미국사례는 리카디언 모형을 이용한 경제적 영향 분석의 결과를 제시하였다. 기타 인도, 아프리카, 중국, 캐나다, 대만 등은 농업부문의 기후변화 영향분석을 수행한 관련문헌에 제시된 연구결과를 발췌하여 핵심내용을 정리하여 제시하였다.

1. 일본

1.1. 기후변화에 대한 농업계의 인지도

일본은 기후변화에 따른 농업부문 대응책 수립을 위해 農業環境技術研究所(2008)가 중심이 되어 1980년대 후반부터 기후변화 영향평가에 관한 심층적인 연구를 체계적으로 수행해 오고 있다.

일본의 農業・生物系特定産業技術研究機構(2006)는 농업에 대한 지구온난화 영향평가를 위해 2003년에 과수, 2005년에 쌀, 밀, 대두, 채소, 화훼, 축산 등에 대해 47개 지방자치단체 농업관련 공립시험연구기관을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과 과수에서는 모든 지역, 채소·화훼는 90%, 쌀은 70% 이상, 밀, 대두, 축산(가축·사료 작물)은 40% 정도의 지역에서 지구온난화 영향을 받는 것으로 조사되었다.

쌀에 있어서 최근 문제가 되고 있는 백색미숙립 발생이 증가하고 있다고 답한 지자체 수는 37개였고 이 중 절반 이상인 22개 지자체가 그 원인을 온난화로 인식하고 있는 것으로 나타났다.²⁰ 백색미숙립 이외의 문제 중에서는 동할립(胴割粒, 균열이 생긴 쌀알) 발생증가가 많았고 온난화가 그 원인이라고 답한 지자체도 6개로 조사되었다. 백색미숙립 대책으로는 모내기 시기의 적정화, 물 관리, 적기 수확 등이 제시되었다. 쌀 재배에서 온난화에 따른 병해충 발생과 관련하여 방귀벌레 외에 몇 가지 해충이 증가하는 것으로 나타났다.

보리의 경우 온난화로 수량감소와 품질저하 등이 발생하는 것으로 답한 지자체는 47개 지자체 가운데 20개 지자체로 42.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 구체적인 원인으로 등숙기간 단축으로 인한 수량감소와 품질저하 발생, 서리 피해증가, 도복 증가, 빨간곰팡이병 발생증가 등이 제시되었다.

대두의 경우 온난화로 영향을 받고 있다고 지자체는 20개로 나타났다. 온난화로 인한 피해로 수량저하, 병해충 증가, 미성숙과 부패에 따른 품질저하 등이 제시되었다.

채소류의 경우 온난화로 수량감소와 품질저하 등이 발생하는 것으로 답한 지자체는 40개 지자체로 거의 대부분의 지자체에서 온난화가 가시화되는 것으로 나타났다. 구체적인 내용으로는 온난화로 인하여 엽채류(양배

²⁰ 쌀의 백색미숙립(白色未熟粒, 하얀 미숙한 쌀알)은 현미의 전부 또는 일부가 유백화(乳白化)하는 현상이며 등숙(登熟)기(출수·개화에서 수확까지의 기간)의 평균기온이 27℃를 넘으면 많이 발생하고 등숙기 평균기온이 상승하는 경향을 보이고 있는 것으로 조사되었다.

추, 양상추, 시금치, 브로콜리, 대파 등), 근채류(무, 당근, 고구마, 감자, 토란 등), 과채류(수박, 딸기 등) 등의 수확시기가 앞당겨지고 계획적 출하에 어려움이 있는 것으로 제시되었다. 또한 노지채소의 경우 온난화로 생육기간이 단축되고 그 결과 생산성이 저하되는 것으로 제시되었다. 채소류의 온난화 대책으로 차광자재 사용, 재배시기 조정, 내항성 품종도입이나 방충망 이용 등의 대안이 제시되었다.

과수의 경우 조사대상 47개 모든 지자체에서 온난화의 영향이 가시화되는 것으로 나타났고, 사과재배에 있어서 개화시기가 빨라지고 늦서리 피해 증가, 낙과증가, 착색불량, 해충피해 증가 등이 제시되었다. 특히 병해충으로 난지계 해충과 진드기 등의 충해가 증가하는 것으로 조사되었다. 배의 경우는 과육이 먼저 익어서 생기는 과실장애, 과실에 물이 들어가는 과실증가, 생리장애 등이 증가하고, 복숭아는 과실장애와 고온장애, 진드기류의 충해 등이 증가하고, 포도는 착색불량, 축과증(과실이 쪼그라드는 현상), 백색화 등이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 감귤류는 조생종의 착색불량, 저장성 악화, 생리장애와 생리낙과가 증가하고 남방형 충해와 월동해충, 병원균 등이 증가하는 것으로 조사되었다.

축산부문의 경우 온난화로 영향을 받고 있다고 답한 지자체는 17개로 36.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 축산부문에 미치는 영향으로는 가축 질병과 가축해충이 주를 이루며, 주로 중소가축에서 열사병으로 인한 폐사 증가, 사료섭취량 저하, 사료효율 저하, 돼지 번식장애, 산란계의 계란 생산 감소 등으로 나타났다. 가축병해로는 파리나 진드기 증가, 유방염 증가, 면역기능 저하로 질병발생 증가 등이 제시되었다. 또한 사료작물 부문에서 온난화로 영향을 받고 있다고 답한 지자체는 15개로 조사되었다. 사료작물의 온난화 영향으로는 한지형 목초의 생육정체, 옥수수의 수량감소, 진딧물 발생 증가 등으로 제시되었다.

1.2. 기후변화의 농업부문 파급영향

日本農林水産省 農林水産技術會議(2007)에서는 「지구온난화가 농림수산업에 미치는 영향과 대책」을 수립하기 위하여 농업환경기술연구소의 온난화 영향 시뮬레이션(100년에 4~5℃ 상승) 예측 결과를 활용하고 있다<그림 6-1>.

쌀의 경우 생육·수량예측 모형(CERES-Rice)을 이용하여 분석한 결과 2060년대에 전국 평균 약 3℃ 상승했을 경우 지역별 잠재적 수량은

그림 6-1. 일본의 기온상승에 따른 농축산부문 영향

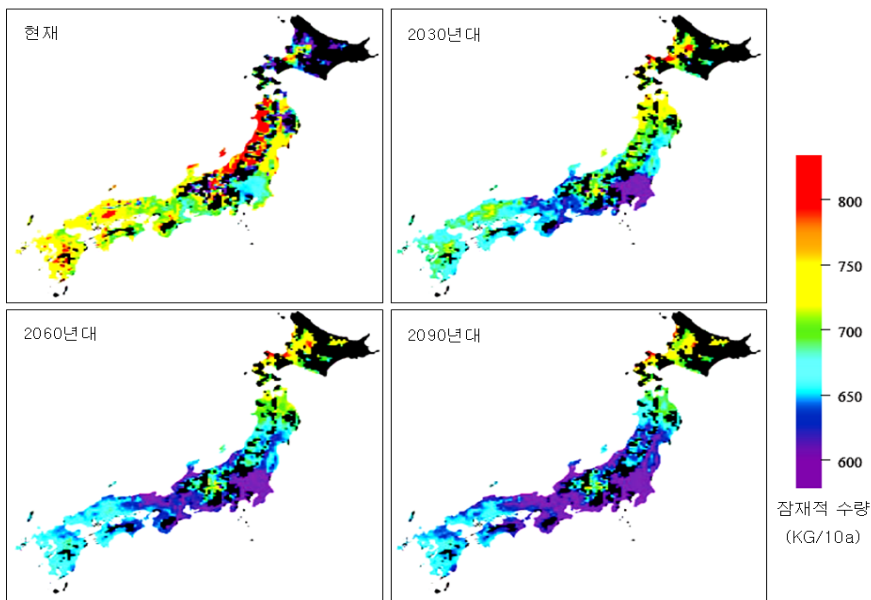
		2010		1℃ 2030	2050	+ 250ppm 3℃ 2070	2090	4℃
수 도	일본지역의 고위장래 발생				CO ₂ 증가로 15% 증수			
					동북 이남 0~10% 감수	동북 이남 8~15% 감수		
					이식일 최적화 5~20% 증수	북해도 13% 증수		
					CO ₂ 증가로 불임율 증가			
대 두					CO ₂ 증가로 28% 증수	고온으로 6~10% 감수		
						CO ₂ 증가와 고온 수량(98~116%)		
사 과						북해도 적지화		
						주산지의 일부 변경		
귤				일본해 연안지역 적지화	관동 평야지역 적지화	남동부 연안지역 적지화		
						주산지의 일부 변경		
축 산				생산량 저하가 서일본에서 점차 증대	15% 이상 저하되는 지역이 1할	동북 이남 생산량 저하		목초 생산량 1.5배 증가
								여름철 불가능 목초재배 지역 1.5배 증가

주: 중장기 기온상승 전망치는 현행 고성장사회 시나리오를 가정한 영향평가 결과를 기초로 평균기온이 2030년대 1℃ 상승, 2060년대 3℃ 상승(CO₂ 농도가 250 ppm 상승), 2090년대 4℃ 상승을 가정한 것임.

자료: 日本農林水産省(2008).

북해도 13% 증가, 동북 이남 8~15% 감소하는 것으로 전망되고 있다. 특히 쌀에서 온난화가 진행되면 고온불임으로 인한 미질악화가 우려되고 있다. CERES-Rice 모형을 이용하여 기온상승에 따른 시대별 쌀 재배지 변동의 예측치를 지도화하여 제시하고 있다<그림 6-2>. 한편 개방계 대기 CO₂ 증가 (Free Air CO₂ Enrichment, FACE) 실험 결과에 따르면 이산화탄소 농도가 현재 수준보다 200ppm 상승했을 경우 지역에 따라서는 약 15%의 미곡 증수의 가능성이 있으나, 온도상승으로 불임 위험의 가능성도 높아지는 것으로 분석되고 있다.²¹

그림 6-2. 일본의 기온상승에 따른 쌀 재배 예측



자료: 日本農林水産省(2008).

²¹ 이산화탄소 농도가 높아지면 광합성 작용이 활발해져 비료처럼 생육이나 수량을 증가시키는 효과가 있기 때문에 이를 ‘CO₂ 시비효과’라 부르고 있다. 이러한 효과를 계측하기 위해 자연조건을 유지하면서 CO₂ 농도만을 증가시킨 환경에서의 식물생장과 영향을 종합적으로 연구하는 방법이 개방계 대기 CO₂ 증가(Free Air CO₂ Enrichment, FACE) 연구이다. FACE 연구는 1989년에 미국에서 처음으로 연구가 시작되어 독일 및 일본 등의 세계 주요국에서 소규모로 산발적인 연구를 수행하고 있다.

과수 분야의 경우 재배적지 변화에 관한 심층적인 연구가 이루어지고 있다. 왜냐하면 과수는 한번 심으면 쉽게 옮길 수 없고 같은 나무로 수십 년 간 계속 생산해야 하기 때문에 경영적으로 불리하고 다른 작물처럼 파종시기를 변경할 수 없기 때문에 온난화에 대한 준비가 특히 필요한 분야이기 때문이다. 사과의 경우 재배적지(연평균기온 $7\sim 13^{\circ}\text{C}$)는 서서히 북상하여 2060년경 기온이 현재보다 약 3°C 상승할 경우 북해도 거의 전역이 재배적지로 전환되고 현재 주산지(아오모리, 나가노 등)는 상당히 축소될 것으로 전망하였다. 또한 고온으로 인한 착색 장애 등 사과의 품질이 저하될 것으로 예측하고 있다. 감귤의 경우 재배적지(연평균기온 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$)는 서서히 북상하여 2030년대에 니가타 평야, 2040년대에 관동 평야, 2060년대에 남동북까지 확대되는 것으로 추정하였다. 또한 2060년대에는 현재 주산지(시즈오카, 와카야마, 미나미큐슈의 연안부)의 대부분이 18°C 이상이 되어 감귤재배 비적합지로 전환될 것으로 전망하고 있다.

축산부문의 경우 서일본으로부터 양계부문에서 산육량 저하가 확산되어 2060년에는 15%이상 저하하는 지역이 10% 정도 출현하고, 동북이남 지역에도 영향을 미치며, 목초생산의 경우 생산량 증가와 생산지역이 확대될 것으로 전망하고 있다.

지구온난화는 수자원부문에도 영향을 미쳐 2030년대 8월경의 잠재적 수자원량은 현재보다 약 30mm 감소(증발산량이 현재보다 약 20% 증가) 할 것으로 예측되고 있다. 특히 가용수자원의 60% 정도를 농업용수가 차지하고 있어 지역적으로 관계용수 사용이 크게 제약될 것으로 전망하고 있다.

이밖에도 지구온난화로 쌀과 채소류와 과일 등에서 병해충 발생이 증가하고, 남부지역에서의 새로운 병해충 정착이 유리해져 외래 병해충 문제가 심화될 것으로 전망하고 있다.

최근 일본에서는 농업부문의 온난화 영향평가와 관련하여 경제적 측면에서의 분석과 불확실성 및 위험관리를 포함시켜 종합적으로 평가하는 방법 개발에 관한 연구가 진행되고 있다.

2. 미국

2.1. 기후변화의 농축산부문 생산 영향

지난 50년간 평균기온 상승, 열파의 증가, 강수량 증가, 집중폭우 증가, 한파의 빈발과 발생기간 증가 등 온난화 현상이 가시화됨에 따라 미국 정부는 1990년 국가과학기술위원회(National Science and Technology Council) 산하에 미국 기후변화과학프로그램(U.S. Climate Change Science Program, CCSP)을 설치하여 정기적인 종합평가보고서(Synthesis and Assessment Product)를 대통령과 의회에 보고토록 하고 있다. 2008년 5월 말에 ‘미국에서의 기후변화가 농업, 토지자원, 수자원 및 생물다양성에 미치는 효과(The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, and Biodiversity in the United States)’에 관한 종합보고서를 발표하였다. 이 보고서에는 향후 30년 후 미국의 기온은 평균 1.2℃ 상승하는 것으로 전망하고, 이러한 기후변화가 이루어지는 경우를 가정하여 작물생산과 농업생태계 및 축산부문에 미치는 영향을 종합적으로 제시하고 있다.

온난화로 기온이 1.2℃ 상승하는 경우 단수에 미치는 영향을 보면 옥수수(적정온도 18~22℃)는 4% 감소, 대두(적정온도 22~24℃)는 중서부에서 2.5% 증가하는 반면 남부는 3.5% 감소로 예측되고 있다. 쌀(적정온도 23~26℃)은 남부에서 12% 감소하는 것으로 전망되었다.

온난화에 의한 기온상승은 잡초발생과 병해충 발생이 증가하여 농작물 생산에 부정적인 영향을 미치는 것으로 제시하고 있다. 또한 기온상승은 돼지 사육과 낙농 생산에도 부정적인 요인으로 작용하는 예측 결과를 제시하고 있다.

미국에서의 기후변화 영향에 관한 계량적 분석은 통제적 상태에서의 실험적 방법과 분석결과를 이용한 작물수량 시뮬레이션 모형 개발 등이 농학자들에 의해 이루어졌다. 그러나 이들 연구는 과학적 연구를 기초로 하고 있지만 중요한 한계점을 가지고 있다. 즉, 작물시뮬레이션 분석은 기후변화에 따른 내생적 적응과 연구대상이 되는 핵심 작물만을 고려하여 많은 작물을 고려하지 못하는 한계점이 있다.

2.2. 농업부문의 경제적 영향²²

2.2.1. 리카디언 모형과 분석자료

기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향분석을 위해 다양한 방법론이 적용되고 있다. Mendelsohn, Nordhaus and Shaw(1994)는 기후변화에 대한 적응이 고려된 장기균형의 비교정태분석 방법인 리카디언 모형을 개발하였다.²³ 여기서는 리카디언 모형을 이용하여 외생변수의 변화에 따라 농업부문 순수입과 농지가치가 어떻게 변화하는지를 알아보기 위해 회귀분석을 시도하였다. 분석에 이용된 자료는 1978~2002년까지의 패널자료와 최근에 수행된 Deschenes and Greenstone (2007)의 연구방법을 활용하

²² 기후변화에 따른 미국 농업부문의 경제적 영향에 대한 분석은 예일대학교 멘델존 교수에 의해 협동연구로 수행되었다. 미국 사례의 리카디언 모형을 이용한 분석결과는 <부록 5>에 상세하게 제시되어 있다.

²³ 리카디언 모델은 농민들이 모든 내생적 선택(작물 중, 가축종, 관개, 비료 등)의 변화를 가능하게 하므로, 적응을 포착할 수 있다. 농민들은 조건이 변화에 따라 그들의 모든 선택을 내생적으로 조정할 수 있다. 이 모델은 또한 생태계에 의한 장기 적응도 포착할 수 있다. 기후로 인한 해충, 잡초, 벌레의 변화 모두 이 분석에 포착될 수 있다. 모델이 이러한 장기 적응을 고려하기 때문에 기후의 단기변화에 대한 모형으로는 적절하지 않다.

였다.²⁴

1978~2002년 사이의 각 센서스 연도의 횡단자료를 사용하여 리카디언 함수를 추정하였다. 특히 1978, 1982, 1987, 1992, 1997, 2002년도 미국 농업센서스 자료를 이용하여 48개 주 2,814지역의 관측치를 가지고 패널분석을 실시하였다. 각각의 사안별 가중치에 따라 지역에 있는 농가의 제공근을 사용하여 가중된 최소자승법(weighted least squares regression)으로 추정하였다. 추정된 결과를 이용하여 기후의 한계효과를 비교하고, 선택된 기후시나리오의 예상되는 영향에 대한 분석을 시도하였다. 분석에서 가격은 불변한다고 가정하였고, CO₂ 농도 증가로 인한 CO₂ 시비효과는 고려하지 않았으며, 경제변수는 GDP디플레이터를 사용하여 2000년 불변가격으로 환산하였다.

기후자료는 48개 주 7,467개 기후 측정소에서 국립기후자료센터(National Climatic Data Center)에 의해 얻어진 1971~2000년까지 월강수량과 평균기온을 사용하였다. 계절적 기후요소는 겨울(12~2월), 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월)로 나누어 해당되는 기간의 산술평균을 이용하였다. 농지가치, 농지, 다른 농업 자료를 위해 미국 농업센서스 자료를 활용하였다. 지역별로 사용된 지표수의 평균사용시간을 이용하여 농민이 사용할 수 있는 물의 장기 가용성을 측정하였다. 연간 지표수의 양과 물에 대한 역사적인 권리는 시장에 덜 의존하므로 지표수는 외생변수로 설정하였다. 농지를 보유하는 기회비용으로는 지역별 소유주가 보유한 집의 중간치를 사용하였다. 주택의 가치는 1980, 1990, 2000년도 센서스 자료의 선형 트렌드를 외삽법을 이용하여 산출하였다.

²⁴ 기후변화의 영향을 측정하기 위한 새로운 방법론으로 농업센서스 자료로부터 주별 패널 자료를 이용하였다. 기후모수는 모든 주의 기후충격을 동일하게 조정 한 후, 기후의 주별 평균의 편차를 활용하였다. 이러한 방식은 헤도닉 분석의 누락된 변수에 대한 편의를 보완할 수 있다. 이들 모형에서는 기후의 단기변동과 농가수익간의 관계를 농업인의 의사결정과 연계되도록 모형을 설정하여 기온과 강수량 등 기후변화에 따라 농업수익이 어느 정도 영향을 받는지를 계측할 수 있다(Deschenes and Greenstone, 2007).

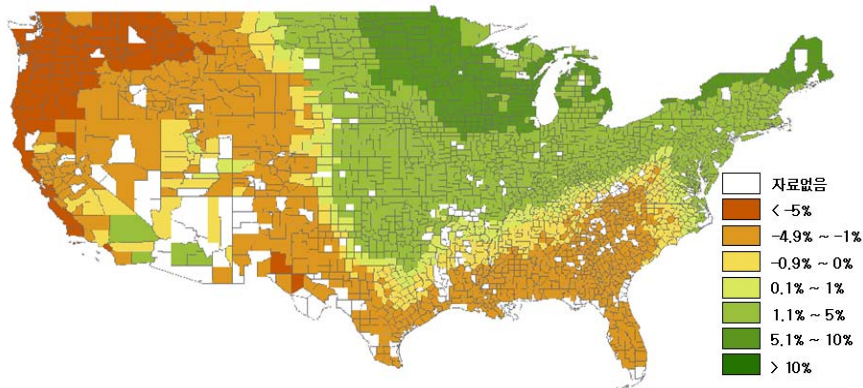
2.2.2. 경제적 영향 분석 결과

리카디언 모형을 이용한 회귀분석 결과 기후계수는 모든 분석모형에서 유의성을 가지는 것으로 나타났고, 회귀분석간 계수 비교 결과 일관성을 가지는 것으로 추정되었다<부표 5-1, 부표 5-2>. 기후계수의 부호는 매년 동일하게 나타났다. 예를 들어 겨울, 봄, 여름 기온의 제곱항은 언덕모양(hill-shaped)으로 음의 부호가 나타나고, 가을 강수량은 U자 모양으로 양의 부호가 나타났다. 통제변수로 습도(wet factor), 토양침식인자(k factor), 경사도, 모래흙, 토지 수분도를 포함한 토지 변수들 중 많은 변수가 유의하였다. 자본당 소득, 인구밀도, 인구밀도의 제곱항 등과 같은 경제변수도 유의하였으며, 예상대로 홍수, 토양침식인자, 모래흙 등은 음의 부호를 나타내었으며 이는 부정적인 영향을 미치는 것을 의미한다.

선형모형에서 시간에 따른 기온의 평균한계기온 값치는 \$65/°C이며 확장된 선형모형에서는 \$47/°C로 분석되었다.²⁵ 또한 평균한계강수량 값치는 선형모형과 확장된 선형모형에서 각각 \$7.8/mm, \$3.6/mm로 추정되었다. 이들 가치의 추정 결과는 지형에 따라 기후의 영향이 달라지는 것으로 나타나 기온 상승은 북동부, 북중부 지역에는 이득이 되는 효과가 있는 것으로 나타났으나, 남부와 서부지방에는 손해를 주는 것으로 나타났다<그림 6-3>. 이는 토지가치와 연간 기온의 관계가 언덕모양이기 때문에 생기는 결과로 해석된다.

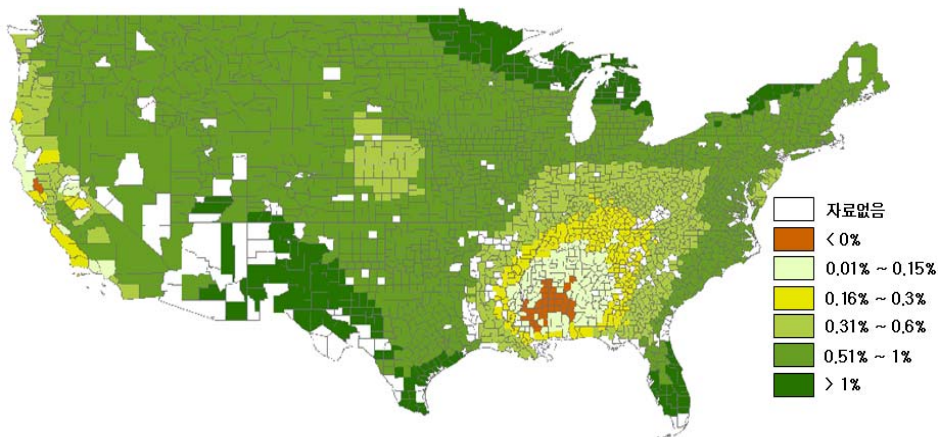
²⁵ 기후변화가 농업부문에 미치는 한계 영향(marginal effect)에 대한 계측치로 리카디언 초기 개발모형(Mendelshon, Nordhaus and Shaw, 1994)에서는 기온이 1°F 상승하는 경우 에이커당 농지자산 가치가 155-177\$ 감소하는 것으로 제시되어 있다. 이를 2006년 기준 가격과 썩씨로 환산하면 기온이 1°C 증가시 ha당 276~320\$ 감소하는 것으로 해석될 수 있다.

그림 6-3. 온도변화에 따른 미국 토지가치의 한계 영향
(확장선형로그 모형, 2002)



한편 강수량 증가는 중남부와 플로리다 주에 상대적으로 큰 이득을 주고 대체로 미국 전역에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다<그림 6-4>.

그림 6-4. 강수량 변화에 의한 미국 토지가치의 한계 영향
(확장로그선형모형, 2002)



기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향 분석을 위해 미국 전역에서 동일하게 기온이 2.3℃ 상승하고 강수량이 7% 증가하는 것으로 가정하는 시나리오를 설정하였다. 이 시나리오에 대한 분석결과 연간 970억 달러의 손실이 발생하며, 확장된 선형모형에서는 1,480억 달러의 손실이 발생하는 것으로 분석되었다. 기후변화의 영향은 지역별로 큰 차이를 보여 북동부와 북중부 지역은 이익이 발생하며, 대평원과 남동부는 소폭의 이익이 발생하는 것으로 나타났다. 한편 서부 지역은 약간 손해를 입으며 태평양 연안은 큰 피해가 발생하는 것으로 분석된다.

이들 분석결과는 지구온난화에 따른 기후변화가 농지가치에 지역적으로는 편익과 손실이 다르게 발생하나 종합적으로 부정적인 영향을 미친다는 것을 제시한다. 선형모형, 강화한 선형모형, 로그 선형모형 모두 기후계수가 유의하게 나타났으나, 기후계수는 추가적인 통제변수와 함수형태에 따라 민감한 것으로 분석되었다. 미래 기후시나리오 분석 결과 시나리오와 경제모형에 따라 결과치가 달라졌다. 기후변화가 미약한 수준에서는 미국 농민들에게 이익을 줄 것이나 기후변화가 급격하다면 큰 피해를 입힌다는 것을 의미한다.

미국은 넓은 국토만큼(북위 45~49도에 위치)이나 지역적인 특성이 강하고 기후도 지역에 따라 다양한 특성을 지니고 있다. 서부 태평양 연안지역은 지중해성 기후, 중부지역은 대륙성 기후, 북동부 지역은 습도가 높은 대륙성 기후, 서남부 지역은 사막기후, 동남부 지역은 습도가 높고 일년 내내 비가 많이 오는 습윤기후 등으로 구분될 수 있다. 지구온난화로 기온이 상승하는 경우 지역별로 큰 차이가 있어 농업부문에 미치는 영향도 다양하게 나타날 수 있다. 기후변화가 미국의 농업부문에 미치는 영향을 종합하면 기온상승은 지역적으로 차이가 있으나 농가자산 및 소득에 부정적 영향을 미치게 되고, 강수량 증가는 긍정적인 효과를 미쳐 기온상승과 강수량 증가를 동시에 고려하는 경우 어느 정도 상쇄효과가 있는 것으로 나타났다. 기온상승의 긍정적인 효과가 여기서는 고려되지 않았지만 이산화탄소 농도증가 시 작물생산이 증가하는 경우도 있으므로 심층적인 영향분석에서는 CO₂ 시비효과가 고려되어야 할 것이다.

3. 기타 국가

기후변화에 따른 농업부문의 파급영향에 대한 경제적 분석과 관련하여 인도, 아프리카, 중국, 캐나다, 대만 등의 국가를 대상으로 생산함수 모형, 리카디언 모형, 프로그래밍 시뮬레이션 모형 및 연산일반균형모형 등 여러 분석 모형을 적용하여 다양한 연구가 수행되었다<표 6-1>.

인도를 대상으로 Seshu and Cady(1984)는 기후-작물통합 시뮬레이션 모형을 이용하여 최저기온이 18℃에서 19℃로 상승하는 경우 쌀 단수가 ha당 0.71톤 감소하고, 평균기온이 22℃에서 23℃로 상승하는 경우 쌀 단수가 ha당 0.41톤 감소하는 것으로 추정하였다. Kumar and Parikh(1998)는 리카디언 모형을 이용하여 평균기온이 2~3.5℃ 상승시, 농가규모별 순수익의 손실은 9~25%로 추정하였고, 이 경우 쌀 단수는 30~35% 감소하여 국가단위로는 약 30~40억 달러의 손실이 발생하는 것으로 분석하였다. 또한 Sanghi, Mendelsohn, and Dinar(1998)는 리카디언 모형을 이용하여 평균기온이 2℃ 상승하고 평균 강수량이 7% 상승하는 경우 농업부문의 순수익은 12.3% 감소하고 재배작물은 여름작물 위주로 재배작목이 변화할 것으로 전망하였다.

아프리카 지역의 경우 Downing(1992)은 생산함수모형을 이용하여 케냐를 대상으로 평균기온이 2℃상승하는 경우 고지대의 작물 생산성은 67% 증가하나, 저지대의 생산성은 감소하는 것으로 분석하였다. Etsia, *et al.*(2002)은 튀니지의 8년간 지역별 횡단자료를 이용한 생산함수모형을 적용하여 기후변화의 영향을 분석하였다. 분석결과 이산화탄소 농도가 2배로 증가하면 기온이 1.5℃ 상승하고 강수량이 7% 증가하여 농업생산이 7~22% 감소하는 것으로 전망하였다.

중국을 대상으로 Wang *et al.* (2008)은 리카디언 모형을 이용하여 농업부문 영향분석을 시도한 결과 기온이 1℃ 상승하는 경우 관개농지 농가의 순수익은 68달러 증가하나, 비관개농지 농가의 순수익은 95달러 감소하는 것으로 예측하고 있다. 한편 월 강수량이 1mm 증가하면 관개농지의 농가는

표 6-1. 기타국가의 기후변화 농업부문 영향분석 사례

출처		과급영향
인도	Seshu and Cady(1984)	인도의 경우 최저기온이 18℃에서 19℃로 상승시 쌀 단수는 ha당 0.71톤 감소하고, 기온이 22℃에서 23℃로 상승시 쌀 단수는 ha당 0.41톤 감소 추정
	Sinha and Swaminathan (1991)	인도 평균기온이 2℃ 상승시 쌀 단수는 산출이 높은 지역에서는 ha당 0.75톤, 산출이 낮은 지역에서는 ha당 0.06톤의 감소. 겨울기온이 0.5℃ 상승시 밀 생산기간은 7일 감소, ha당 0.45톤 단수 하락. 특히, 겨울기온의 상승은 Punjab, Haryana, Uttar Pradesh와 같은 단수산출량이 높은 곳에서의 밀 생산은 10% 하락할 것임.
	Aggarawala and Sinha (1993)	평균기온이 1℃ 상승시 북인도의 밀 단수에는 중요한 영향을 미치지 않으나, 2℃ 증가시 대부분의 지역에서 밀 단수 감소 예측
	Kumar and Parikh (1998)	인도의 횡단자료를 이용한 결과 농민이 기후변화에 스스로 적응을 하여도 손실은 발생할 것이라 예측. 기온이 2℃~3.5℃ 상승시, 농가규모별 순수익의 손실은 9~25%로 추정. 기온이 비슷하게 상승할 경우 인도의 쌀 단수는 30~35% 감소(30~40억불 손실 발생) 예측
	Sanghi A., Robert Mendelsohn, and Dinar A.(1998)	IPCC의 평균기온이 2℃ 상승, 평균 강수량이 7% 상승한다는 가정을 적용한 결과, 전체적인 인도의 순수익은 12.3% 감소. 해안가와 몇몇 지역은 부정적인 영향을 받으며 재배작물은 여름작물 위주로 재배지 이동 전망
아프리카	Downing(1992)	평균기온이 2.5℃ 증가시 케냐 서부 고지대의 작물 생산성은 67% 증가하나 저지대에서는 해를 미칠 것임.
	Muchena(1994)	짐바베의 경우 대기가 2℃ 증가할 경우 단수 감소. 긍정적인 영향을 수반하는 CO ₂ 의 증가를 분석에 포함시켜도 비슷한 결과 도출
	Etsia, et al.(2002)	튀니지에서 CO ₂ 가 2배로 증가하면 기온 1.5℃상승, 강수량 7% 상승하여 농업생산이 7~22% 감소할 것으로 전망
중국	Wang etal(2008)	·1℃ 기온상승은 관개가능한 농가의 순수익 68달러 증가, 비관개농가의 순수익은 95달러 감소 ·월 강수량 1mm증가는 관개농가의 월순수익은 27달러 증가, 비관개농가는 23달러 증가
캐나다	Mendelsohn and Reinsborough(2007)	·기온 1℃ 상승하고 월 강수량이 1mm 증가시 ha당 농가자산은 109달러 감소
대만	Ching-Cheng Chang (2002)	총 작물면적은 온난화 시나리오(온도는 0~+2.5℃, 강수량은 -10~+15%)에 따라 1~6% 감소. 기온이 1.5℃ 이상 변화면 후생감소 전망

자료: Kurukulasuriya and Rosenthal(2003)의 문헌검토 자료와 미국 사례는 해당논문을 참고하여 작성.

월순수익이 27달러 증가하고 비관개농지 농가도 순수익이 23달러 증가하는 것으로 추정하였다.

캐나다를 대상으로 Mendelsohn and Reinsborough(2007)은 리카디언 모형을 이용하여 기온 1℃ 상승하고 월 강수량이 1mm 증가시 ha당 농가자산은 109달러 감소하는 분석결과를 제시하였다.

대만을 대상으로 Chang(2002)은 1977~1996년까지 15개 지역의 작물단수반응모형(crop yield response function)을 이용한 회귀분석과 가격 내생적 공간균형(price-endogenous spacial equilibrium)의 수리계획 프로그래밍 모형을 이용하여 기후변화의 농업부문 경제적 영향 분석을 시도하였다. 기후변화로 기온이 0~2.5℃ 상승하고, 강수량이 10~15% 증가하면 작물재배 면적은 1~6% 감소하는 것으로 예측하였다. 기온과 강수량 변화를 기초로 시나리오를 구성하여 소비자와 생산자에 미치는 경제적 후생변화를 제척하였다. 기온이 1.5℃ 상승하고, 강수량이 15% 증가하는 경우 소비자 후생은 2.54% 증가하고, 생산자 후생은 15.8% 증가하여 전체 경제후생은 약 4.6% 증가하는 것으로 분석하였다. 대만의 경우 타국가와 달리 기온상승과 강수량 증가가 경제적 후생을 증가시킨다는 분석결과를 제시하였다.

4. 주요국 분석사례의 시사점

기후변화에 따른 농업부문의 영향분석과 관련하여 일본의 경우 대체로 자연과학적 연구를 기초로 품목별 작물생육에 미치는 구체적인 분석결과와 대응책을 제시하는 연구가 많이 이루어졌다. 그러나 경제적인 측면의 분석에 관한 연구는 매우 제한적으로 수행된 것으로 조사되었다.

미국은 자연과학적 분석은 물론이고 경제적 분석에 관한 다양한 시도가 이루어지고 있어 영향분석에 관한 통합적 접근이 잘 이루어지고 있다. 특히 기후변화에 따른 영향분석과 관련하여 리카디언 모형을 적용한 연구가 1990년대 중반부터 지속적으로 이루어져 방법론적 발전과 함께 체계적인

분석이 활발하게 이루어지고 있다.

그밖에 인도와 아프리카 등은 세계은행의 기후변화 영향분석에 관한 연구사업의 일환으로 리카디언 모형을 적용하는 사례연구가 이루어졌다. 리카디언 모형은 이론적으로 상당한 타당성을 가지나 분석자료의 제약으로 응용연구에 제약이 있음에도 불구하고 현재까지 31개 국가를 대상으로 연구가 수행된 것으로 나타났다(Mendelsohn and Massetti, 2008). 기후변화는 서서히 지속적으로 장기간에 걸쳐 이루어지기 때문에 한계효과를 나타내는 기후변화 탄력성은 단기적으로는 큰 의미가 없으며 20~30년의 장기간에 걸친 경제적 영향으로 이해되어야 한다. 따라서 미래가 불확실하고 경제적 변수가 상당히 변화될 수 있기 때문에 경제적 파급영향을 나타내는 추정치의 절대적인 수치보다는 영향력의 방향과 상대적인 정도를 파악하는 경제적 분석지표로 이해해야 할 것이다.

주요국의 사례에서 살펴본 바와 같이 기후변화의 영향분석은 기본적으로 과학적 분석이 전제되고 이를 기초로 학제적 접근을 통해 기후와 경제가 통합하는 분석이 이루어지고 있다. 특히 일본은 기후변화 영향분석과 관련 작물별·축종별로 통제된 실험 자료를 기초로 중장기 연구과제를 수행하여 신뢰성 있는 연구결과가 많이 축적되어 분야별 적응대책 수립의 기초자료로 활용하고 있음을 벤치마킹하도록 해야 할 것이다. 기후변화의 농업부문 영향에 관한 심층적인 분석을 위해서는 온도와 강수량 등의 기후요소에 대한 정보는 물론이고 지역별 작물생산통계와 농축산 부문별 산출과 비용에 관한 통계 및 토양통계 등 관련자료와 정보가 잘 구축되어야 한다.

기후변화에 따른 농업부문 영향분석은 미래 지역농업발전 계획과 영농계획 및 적응대책 수립을 위한 기초자료로서 매우 중요하다. 이 연구는 기후변화 현상에 대한 진단과 기후변화가 농업부문에 미치는 심층적인 영향 분석을 통해 체계적이고 단계적인 대응전략을 제시하는 데 목적이 있다. 이러한 연구목적 달성을 위해 2년 과제로 진행될 계획이며, 금년에 수행한 1년차 연구에서는 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 영향분석에 초점을 맞추고, 내년에 수행될 2년차 연구에서는 영향분석을 기초로 대응전략을 제시하게 될 것이다.

국립기상연구소의 기후변화 예측결과에 의하면 과거 30년(1971~2000년 평균치) 대비 평균기온의 경우 2020년 1.5℃, 2050년 3.0℃, 2080년 5.0℃ 상승할 것으로 제시하고 있다. 강수량의 경우 2020년 5%, 2050년 7%, 2080년 15% 증가하는 것으로 전망된다.

온난화에 따른 기온상승으로 농업부문에서는 재배적지가 이동하고 새로운 병해충이 발생하여 이로 인한 작목전환과 농작물 피해 확산이 우려되고 있다. 특히 갈색여치에 의한 사과, 복숭아, 포도, 콩 등의 피해가 증가하고, 쌀의 경우 바이러스병인 줄무늬잎마름병의 발생지역이 북상하고 피해가 전국으로 확산되고 있는 것으로 나타났다. 일본사례에서도 제시된 바와 같이 지구온난화로 기온이 상승하면 작물의 수량감수, 품질감소, 병해충 빈발과 확산 등 실제로 농업생태계에 부정적 영향이 커질 것으로 전망된다.

기후변화에 대한 인지도를 파악하기 위해 농업인과 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과에서 나타난 농업계의 기후변화에

대한 인지도를 보면 농업인의 경우 대체로 5년 전부터 인지하고 있고 부정적 영향에 대한 우려의 시각이 높은 것으로 나타났다. 또한 많은 전문가들도 5년 전부터 온난화 징후를 인지하고 있고 이상기상과 물 부족 문제를 핵심 이슈로 제시하면서 온난화로 인한 병해충 발생 문제에 대한 우려의 시각이 높은 것으로 나타났다.

기후변화에 따른 농업부문의 생산성 분석을 위해 쌀, 배추, 무, 사과 네 작목을 대상으로 1975~2007년까지 주산지별 농산물 생산 및 기상자료를 기초로 비모수적(non-parametric) 및 준모수적(semi-parametric) 방법인 커널 회귀분석(kernel regression)을 적용하였다. 대표적인 작물인 쌀의 경우 기온과 강수량 등 기후인자 변화의 영향으로 재배기간의 평균기온이 19℃ 이하인 경우 1℃의 기온상승은 단보당(10a) 수량을 약 24.4kg 증가시키나, 기온이 20℃ 이상인 경우 단보당 수량이 6.2kg 정도 감소되는 것으로 분석되었다. 배추와 무 및 사과 등은 품목별·지역별로 생산성에 미치는 영향이 다른 것으로 나타났다.

기후변화에 따른 작물생산의 중장기 전망을 위해서 CERES-Rice 모형을 이용하였다. 쌀 생산의 중장기 예측결과 기온이 평년(1971~2000년)보다 2℃, 3℃, 4℃, 5℃ 상승 시 전국 평균 쌀 단수는 평년대비 각각 4%, 8%, 10%, 15% 감소할 것으로 전망되었다. 사과 재배적지는 기온상승으로 남한지역은 재배적지가 크게 감소하고 북한지역은 기온이 2℃ 상승 시까지는 증가하나, 3℃에서는 북한지역까지도 감소하는 것으로 예측되었다. 사과 재배면적은 기온이 1℃, 2℃, 3℃ 상승 시 현시점 대비 각각 14.8%, 33.3%, 44.4.% 감소할 것으로 전망되었다. 한편 아열대 과일인 감귤의 경우는, 기온상승 시 현재 감귤 주산지인 제주도의 경우 감귤재배 최적지는 기온이 0.5℃, 1℃, 2℃ 상승 시 현시점 대비 1.9배, 2.6배, 3.6배 증가할 것으로 예측되었다. 또한 감귤재배 지역은 기온이 2℃ 상승 시 남해안 도서지방, 전남 및 경남 평야지대에서도 재배가 가능하고 재배면적이 현재보다 약 30배 증가할 것으로 전망되었다.

기후변화가 농가자산에 미치는 영향을 알아보기 위해 리카디언 모형을 적용하여 분석한 결과 연평균 기온(12.4℃)이 1℃ 상승하면 모형에 따라

ha당 농지가격이 1,455~1,924만원 하락하는 것으로 추정되었다. 이는 평균 농지가격의 5.7~7.5% 하락에 해당된다. 한편 월평균 강수량(110.8mm)에서 1mm 증가는 ha당 농지가격을 33~36만원 증가시키는 것으로 추정되었다.

기후변화에 따른 농업총수입에 미치는 영향을 알아보기 위해 리카디언 모형을 적용하여 분석한 4월의 온도 상승은 농업총수입에 긍정적인 영향을 미치고, 8월과 10월의 온도 상승은 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 계절적 영향을 종합적으로 고려한 결과 기온이 1℃ 상승하는 경우 농업총수입은 ha당 260~400만원 감소하는 것으로 나타났다. 이는 ha당 평균 농업총수입인 1,700만원의 15~23%에 해당하는 금액으로 농지가격에 미치는 영향보다 높게 나타났다.

기후변화의 농업부문에 대한 생산성 분석과 중장기 작물생산 전망 및 농업경제 분석 결과를 종합하면 주요국의 선행연구에서도 제시된 바와 같이 기온과 강수량을 동시에 고려할 경우 우리나라에서도 부정적 영향이 커지는 것으로 분석되었다. 따라서 기후변화의 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 위험관리를 위한 보험제도 활용, 품종개량과 신품종 도입, 재배방식 개선 등 적절한 적응대책이 필요하다. 2년차 연구에서는 1년차 영향분석 결과를 기초로 기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 핵심 정책 개발 및 단기·중기·장기 등 단계별 추진전략을 심층적으로 다룰 계획이다.

기후변화의 경제적 영향 분석과 관련하여 리카디언 모형을 적용하기 위해서는 지역별 작물 생산량 및 농업수익성 자료는 물론이고 토양특성 등에 관한 세부적인 자료가 필요하다. 우리나라의 경우 아직 지역별 통계자료와 관련정보가 잘 구축되지 않아 리카디언 모형 이용에 어려움이 있다. 일본과 미국 등 주요국의 경우 기후변화에 따른 농업부문의 영향분석이 체계적으로 이루어지고 있다. 특히 일본은 품목별 영향분석과 관련하여 자연과학적 분석을 중심으로 체계적인 연구가 이루어졌다. 또한 미국은 기후변화에 따른 과학적 영향분석은 물론이고 다양한 경제적 분석이 이루어지고 있어 벤치마킹해야 할 것으로 판단된다.

기후변화가 농업부문에 미치는 영향분석을 기초로 대응전략을 모색하는 2년차 과제(2009년 수행)에서는 네 가지 핵심과제를 다루게 될 것이다.

첫째, 주요 농산물의 산지 형성과 기상요소의 영향력에 대한 체계적인 분석을 수행할 것이다. 주요 농산물의 산지 형성의 트렌드 및 심층적인 요인 분석이 이루어지며, 또한 기상요소의 영향력과 향후 전망을 시도한다.

둘째, 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 파급영향에 관한 종합적 분석이 이루어지게 될 것이다. 1년차 연구에서 수행한 연구결과를 기초로 농업생산성 및 농업수익과 농가자산에 미치는 영향은 물론 재배작목 전환에 따른 전환비용 추정 등의 연구를 추진할 것이다.

셋째, 기후변화에 따른 주요국의 농업부문 대응 사례를 정리하여 벤치마킹의 기초자료로 활용할 것이다. 일본, 미국, 유럽, 호주, 뉴질랜드 등 주요국의 기후변화에 따른 농업부문 대응 전략에 대한 심층적인 분석이 이루어지게 될 것이다.

넷째, 기후변화에 따른 농업부문의 대응전략과 정책과제를 체계적이고 단계적으로 제시하게 될 것이다. 이를 위해 농업부문의 기후변화 대응전략의 기본방향을 설정하고 기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 단기·중기·장기 등 단계별 추진전략 및 정책추진 로드맵을 작성하게 될 것이다.

부록 1

농업인 설문조사표

「지구온난화가 농업부문에 미치는 영향에 대한 설문조사」

- 농업인 조사 -

안녕하십니까?

한국농촌경제연구원은 국무총리산하 정부 출연 연구기관으로 농업분야의 연구 사업을 수행하고 있습니다. 금번 저희 연구원에서는 지구온난화가 농업부문에 미치는 영향 및 대책에 관한 연구를 수행하고 있습니다. 이 연구의 목적은 지구온난화가 농업부문에 미치는 영향 및 문제점을 파악하고 향후 이에 대한 농업부문의 대책 마련 및 정책 제안에 있습니다.

본 설문조사는 지구온난화가 농업부문에 미치는 영향을 알아보고 농업부문의 피해를 최소화하고 장기적인 대책을 마련하는 데 필요한 농업인의 의견을 수렴하고자 실시하는 것입니다. 답변해주시는 내용은 연구자료 이외에 다른 용도로 사용되지 않을 것이며, 개인에 관한 사항은 일체 공개되지 않음을 약속드립니다.

바쁘시더라도 설문 조사에 많은 협조를 부탁드립니다.

감사합니다.

조사기관: 한국농촌경제연구원 농산업경제연구센터

조사자: 김창길, 주현정(jhj1013@krei.re.kr)

주소: (우)130-710, 서울시 동대문구 회기동 4-102

조사관련 문의: 02-3299-4265, 4262

현지통신원 번호

* 응답자 정보

응답자 성명		성별	①남	②여
나이	세	전화번호		
주요 재배 작물		농사 경력		년
주소				

<일반사항>

G1. 지구온난화로 인한 기후변화에 대해 어느 정도 알고 계십니까?

자세히 알고 있다	어느 정도 알고 있다	들어본 적은 있다	전혀 모른다	기타()
①	②	③	④	⑤

G2. 지구온난화에 대해 느끼신다면, 언제부터 느끼셨습니까?

20년 전	10년 전	5년 전	3년 전	최근
①	②	③	④	⑤

G3. 기후가 따뜻해지면, 생활은 어떻게 변할 것 같습니까?

매우 악화될 것이다	다소 악화될 것이다	현재와 비슷하다	다소 좋아질 것이다	매우 좋아질 것이다
①	②	③	④	⑤

G4. 지구온난화가 귀하의 농업 생산에 어떠한 영향을 미친다고 생각하십니까?

부정적 영향을 많이 미친다	다소 부정적인 영향을 미친다	보통이다	다소 긍정적인 영향을 미친다	긍정적 영향을 많이 미친다
①	②	③	④	⑤

G5. 농업에서 지구온난화가 중요하다고 생각하십니까?

전혀 중요하지 않다	다소 중요하지 않다	보통이다	다소 중요하다	매우 중요하다
①	②	③	④	⑤

G6. 지구온난화로 인한 자연재해 중 농작물에 가장 해로운 영향을 주는 것은 무엇이라고
생각하십니까?

- ① 물 부족 ② 태풍피해 ③ 홍수 ④ 이상기온
⑤ 병해충 발생 증가 ⑥ 기타()

R6. 최근의 지구온난화로 인해 벼의 이삭수가 줄어들었습니까? 또는 늘어났습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하였다. ② 원인은 모르겠으나 감소하였다.
 ③ 온난화로 인하여 증가하였다. ④ 원인은 모르겠으나 증가하였다.
 ⑤ 변화 없다.

R7. 최근의 지구온난화로 인해 벼와 맥류의 품질이 좋아졌습니까? 또는 나빠졌습니까?

- ① 온난화로 인하여 좋아졌다. ② 원인은 모르겠으나 좋아졌다.
 ③ 온난화로 인하여 나빠졌다. ④ 원인은 모르겠으나 나빠졌다.
 ⑤ 변화 없다.

R8. 최근의 지구온난화로 인해 재배품종이 변하였습니까?

- ① 변하였다. ② 변화 없다. ③ 기타()

R9. 지난 3년간 재배상황을 볼 때 조생종 재배가 늘었습니까?

- ① 늘었다. ② 줄었다. ③ 변화 없다.

R10. 최근의 지구온난화로 인해 병해충의 발생건수 또는 피해가 증가하였습니까? 또는 감소하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
 ③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
 ⑤ 변화 없다.

R11. 지난 3년간 장마와 일조량은 과거와 비교해볼 때 많이 증가하였습니까? 또는 감소하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
 ③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
 ⑤ 변화 없다.

134 부 록

R12. 향후 기온이 더 올라가면 다른 작물로 작목을 전환할 의향이 있으십니까?

- ① 있다. (작목이름:)
- ② 없다.
- ③ 기온 때문은 아니지만 작목 전환할 계획이 있다.
(작목이름:)

<보리를 재배하는 경우만 응답해주세요>

R13. 기온이 따뜻해져서 보리밭기가 필요 없게 되거나 그 횟수가 감소하였습니까?

- ① 겨울 온난화로 보리밭기가 감소하였다.
- ② 원인은 모르지만 보리밭기가 감소하였다.
- ③ 겨울 온난화로 보리밭기가 필요 없어졌다.
- ④ 원인은 모르지만 보리밭기가 필요 없어졌다.
- ⑤ 변화 없다.

R14. 최근의 온난화로 소맥의 키가 커 비바람에 자주 쓰러지는 피해가 증가하였습니까?

- ① 최근의 온난화로 인하여 피해가 증가하였다.
- ② 원인은 모르지만 피해가 증가하였다.
- ③ 변화 없다.

II. 채소류

V1. 지난 3년간 채소류 생산에 큰 변화를 준 사건이 있었습니까? 만약 있었다면 어떠한 일이 있었습니까??

- ① 전혀 없다.
- ② 기온이 상승하여 농사일이 힘들어졌다.
- ③ 예상치 못한 자연재해가 자주 발생하였다.
- ④ 다른 작목으로 전환하였다.

V2. 최근의 지구온난화로 인해 재배기간이 짧아졌습니까?

- ① 온난화로 인하여 짧아졌다. ② 원인은 모르겠으나 짧아졌다.
③ 변화 없다.

V3. 최근의 지구온난화로 인해 수확시기가 빨라졌습니까?

- ① 온난화로 인하여 빨라졌다. ② 원인은 모르겠으나 빨라졌다.
③ 변화 없다.

V4. 최근의 지구온난화로 인해 채소류의 재배면적이 전반적으로 어떻게 변하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하였다. ② 원인은 모르겠으나 감소하였다.
③ 온난화로 인하여 증가하였다. ④ 원인은 모르겠으나 증가하였다.
⑤ 변화 없다.

V5. 최근의 지구온난화로 인해 생산량이 변동하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하였다. ② 원인은 모르겠으나 감소하였다.
③ 온난화로 인하여 증가하였다. ④ 원인은 모르겠으나 증가하였다.
⑤ 변화 없다.

V6. 최근의 지구온난화로 인해 채소류의 품질이 좋아졌습니까? 또는 나빠졌습니까?

- ① 온난화로 인하여 좋아졌다. ② 원인은 모르겠으나 좋아졌다.
③ 온난화로 인하여 나빠졌다. ④ 원인은 모르겠으나 나빠졌다.
⑤ 변화 없다.

V7. 최근의 지구온난화로 인해 재배품종이 변하였습니까?

- ① 변하였다. ② 변화 없다. ③ 기타()

V7.1. 재배품종이 변하였다면, 어떻게 변하였습니까?

과거 () ⇒ 현재 ()

V8. 최근의 지구온난화로 인해 병해충의 발생건수 또는 피해가 증가하였습니까? 또는 감소하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
⑤ 변화 없다.

V9. 지난 3년간 장마와 일조량은 과거와 비교해볼 때 증가하였습니까? 또는 감소하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
⑤ 변화 없다.

V10. 시설채소에서 최근의 지구온난화로 동계 난방비가 감소하는 경향이 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하였다. ② 원인은 모르지만 감소하였다.
③ 증가하였다. ④ 변화 없다.

V11. 채소류 중 기온 상승으로 이익이 되는 작물과 손해를 입는 작물은 무엇이라고 생각되십니까?

이익이 되는 작물()

손해를 입는 작물()

V12. 향후 기온이 더 올라가면 다른 작물로 작목을 전환할 의향이 있으십니까?

- ① 있다. (작목이름:)
 ② 없다.
 ③ 기온 때문은 아니지만 작목 전환할 계획이 있다.
 (작목이름:)

Ⅲ. 과실류

F1. 지난 3년간 과실류 생산에 큰 변화를 준 사건이 있었습니까? 만약 있었다면 어떠한 일이 있었습니까?

- ① 전혀 없다.
- ② 기온이 상승하여 농사일이 힘들어졌다.
- ③ 예상치 못한 자연재해가 자주 발생하였다.
- ④ 다른 작목으로 전환하였다.

F2. 최근의 지구온난화로 인해 재배기간이 짧아졌습니까?

- ① 온난화로 인하여 짧아졌다.
- ② 원인은 모르겠으나 짧아졌다.
- ③ 변화 없다.

F3. 최근의 지구온난화로 인해 수확시기가 빨라졌습니까?

- ① 온난화로 인하여 빨라졌다.
- ② 원인은 모르겠으나 빨라졌다.
- ③ 변화 없다.

F4. 최근의 지구온난화로 인해 재배면적이 전반적으로 어떻게 변하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하였다.
- ② 원인은 모르겠으나 감소하였다.
- ③ 온난화로 인하여 증가하였다.
- ④ 원인은 모르겠으나 증가하였다.
- ⑤ 변화 없다.

F5. 최근의 지구온난화로 인해 성목면적이 감소하였습니까? 또는 증가하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하였다.
- ② 원인은 모르겠으나 감소하였다.
- ③ 온난화로 인하여 증가하였다.
- ④ 원인은 모르겠으나 증가하였다.
- ⑤ 변화 없다.

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
⑤ 변화 없다.

F13. 지난 3년간 장마와 일조량은 과거와 비교해볼 때 많이 증가하였습니까? 또는 감소하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
- ③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
- ⑤ 변화 없다.

F14. 최근의 지구온난화로 인해 열을 가하지 않은(무가온) 시설면적이 많이 증가하였습니까? 또는 감소하였습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하였다. ② 원인은 모르겠으나 증가하였다.
- ③ 온난화로 인하여 감소하였다. ④ 원인은 모르겠으나 감소하였다.
- ⑤ 변화 없다.

F15. 향후 기온이 더 올라가면 다른 작물로 작목을 전환할 의향이 있으십니까?

- ① 있다. (작목이름: _____)
- ② 없다.
- ③ 기온 때문은 아니지만 작목 전환할 계획이 있다.
(작목이름: _____)

부록 2

전문가 및 정책담당자 설문조사표

「지구온난화가 농업부문에 미치는 영향에 대한 설문조사」

- 경종분야 전문가·정책담당자 조사표 -

안녕하십니까?

한국농촌경제연구원(국무총리실 산하 정부출연 연구기관)으로 농업분야의 연구사업을 수행하고 있습니다. 금번 저희 연구원에서는 『기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응 전략』에 관한 연구를 수행하고 있습니다. 이 연구의 목적은 지구온난화가 농업부문에 미치는 영향 및 문제점을 파악하고 향후 이에 관한 농업부문의 대책 및 정책 제안에 있습니다.

본 설문조사는 기후변화가 농업부문에 미치는 영향을 파악하고 피해를 최소화하는 체계적인 대책을 마련코자 전문가와 정책담당자의 의견을 수렴하고자 실시하는 것입니다. 답변해주시는 내용은 연구과제 수행에 매우 소중한 기초자료로 연구과제 이외에 다른 용도로 사용되지 않을 것이며, 개인에 관한 사항은 일체 공개되지 않음을 약속드립니다. 바쁘시더라도 설문 조사에 많은 협조를 부탁드립니다. 답변해 주신데 대한 보답으로 추후 사례품을 꼭 보내드리도록 하겠습니다.

감사합니다.

조사기관: 한국농촌경제연구원 농산업경제연구센터

조사자: 김창길, 주현정(jhj1013@krei.re.kr)

주소: (우)130-710, 서울시 동대문구 회기동 4-102

조사관련 문의: 02-3299-4265, 4262

* 응답자 정보

응답자 성명		성별	①남 ②여	나이	
소속기관/부서		담당업무			
핸드폰 번호		사무실 전화번호			
담당분야 경력	년	e-mail			
주소					

■ 기후변화와 관련하여 아시는 대로 답해주시길 바랍니다.

G1. 현재 지구온난화에 대해 체감하고 있습니까?

전혀 체감하지 않는다	대체로 체감하지 않는다	보통이다	약간 체감한다	매우 체감한다
①	②	③	④	⑤

G2. 지구온난화에 대해 느끼신다면, 언제부터 느끼셨습니까?

20년 전	10년 전	5년 전	3년 전	최근
①	②	③	④	⑤

G3. 지구온난화가 향후 우리나라 농업에 본격적으로 영향을 미치는 데 소요되는
기간이 어느 정도 될 것으로 생각하십니까?

5~10년	11~15년	16~20년	21~30년	30년 이상
①	②	③	④	⑤

G4. 기후가 따뜻해지면, 일상생활은 어떻게 변할 것 같습니까?

매우 악화될 것이다	다소 악화될 것이다	현재와 비슷하다	다소 좋아질 것이다	매우 좋아질 것이다
①	②	③	④	⑤

G5. 지구온난화가 농업 생산에 얼마나 영향을 미칠 것으로 생각하십니까?

전혀 영향을 미치지 않는다	다소 영향을 미치지 않는다	보통이다	다소 영향을 미친다	많은 영향을 미친다
①	②	③	④	⑤

G6. 농업에서 지구온난화 문제가 중요하다고 생각하십니까?

전혀 중요하지 않다	다소 중요하지 않다	보통이다	다소 중요하다	매우 중요하다
①	②	③	④	⑤

G7. 지구온난화로 인한 자연재해 중 농작물에 가장 해로운 영향을 주는 것은 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 이상기온
- ② 물 부족
- ③ 홍수
- ④ 잦은 기상이변으로 인한 태풍피해
- ⑤ 기타()

G8. 지구온난화 대응 관련 정책적인 노력(연구사업, 제도 구축 등)을 하고 계십니까?

- ① 노력하고 있다.
- ② 노력하고 있지 않다.
- ③ 지구온난화로 인한 피해가 커진다면, 향후 노력할 계획이다.
- ④ 기타()

G9. 향후 기후변화에 따른 농업의 피해를 최소화하기 위해 정부 정책 및 지자체의 대응은 어떠한 부분에 중점을 두어야 한다고 생각하십니까?

- ① 기후변화 예방
- ② 기후변화 적응 및 후속대책
- ③ 기타()

G10. 지구온난화 대응 관련 어떠한 정책이 가장 중요하다고 생각하십니까?

- ① 온실가스 감축을 위한 화학비료 사용 감축 등 친환경농업 실천 지원
- ② 작목전환 지원
- ③ 관개개선
- ④ 에너지 작물(유채 등) 및 대체에너지 개발
- ⑤ 기상예보시스템 등 원활한 기후관련 통계 및 정보 제공
- ⑥ 기타()

G11. 지구온난화에 따른 작부체계의 변화에 대해 어떻게 생각하십니까?

- ① 지역에 따라 작부체계가 상당히 변화할 것이다.
- ② 작부체계의 변화는 일부 특정지역에 한정하여 일어날 것이다.
- ③ 작부체계는 특정 품목에 한정되고 크게 변하지 않을 것이다.
- ④ 잘 모르겠다.

G11.1. 귀하의 지역에서 작부체계가 변하였다면 구체적인 사례를 적어주세요.

G11.2. 귀하의 지역에서 작목전환이 이루어진 경우 사례를 적어주세요.

※ 지구온난화와 관련하여 농업부문의 영향 파악 및 대응책 마련에 대해 자유롭게 제안
해주시길 바랍니다(정책제안, 연구과제 등).

■ 다음은 지구온난화에 따른 품목별 실태를 파악하기 위한 질문입니다. 관계되
시거나 아시는 내용이 있는 부문 또는 문항에 답해주시면 됩니다.

I. 미곡(또는 맥류 포함)

R1. 귀하 지역의 쌀 생산에서 있어서 모내기에서 출수까지의 기간이 짧아지고 있습니까?

- ① 온난화 등으로 짧아지고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 짧아지고 있다.
- ③ 짧아지고 있지 않다.
- ④ 잘 모르겠다.

R2. 귀하 지역의 쌀 생산에서 있어서 동할미(금이 간 쌀) 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 최근 온난화로 발생이 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 발생이 증가하고 있다.
- ③ 발생이 증가하고 있지 않다.
- ④ 잘 모르겠다.

R3. 최근의 쌀 생산량이 변동하고 있습니까?

- ① 최근 온난화 등으로 수량증가 경향을 보이고 있다.
- ② 최근 온난화 등으로 수량감소 경향을 보이고 있다.
- ③ 원인은 명확하지 않지만 증가 경향을 보이고 있다.
- ④ 원인은 정확하지 않지만 감소 경향을 보이고 있다.
- ⑤ 온난화가 원인은 아니지만 수량증가 경향을 보이고 있다.
- ⑥ 온난화가 원인은 아니지만 수량감소 경향을 보이고 있다.
- ⑦ 특별히 변동하지 않는다.
- ⑧ 잘 모르겠다.

R3-1. 온난화로 인해 쌀 수확량이 감소하고 있다면 이와 관련하여 시행하거나 권
장하고 있는 대책을 적어주세요.

R4. 최근의 지구온난화로 인해 쌀 품질이 변동하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 미질이 좋아지고 있다.
- ② 온난화로 인하여 미질이 악화되고 있다.
- ③ 원인은 정확하지 않지만 좋아지고 있다.
- ④ 원인은 정확하지 않지만 악화되고 있다.
- ⑤ 변동하지 않고 있다.
- ⑥ 잘 모르겠다.

R4.1. 귀하의 지역에서 온난화로 인해 쌀 품질이 감소하고 있다면 이에 대하여 시행하거나 권장하고 있는 대책을 적어주세요.

R5. 최근의 지구온난화로 인해 병충해가 증가하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하고 있다.
- ② 원인은 정확하지 않지만 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ④ 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

R5.1. 귀하의 지역에서 온난화로 인해 병충해가 증가하고 있다면 이와 관련하여 시행하거나 권장하고 있는 대책을 적어주세요.

R6. 귀하의 지자체(연구기관)에서 미곡(또는 맥류)의 온난화에 관한 대책을 추진하고 있습니까?

- ① 정책프로그램으로 추진하고 있다.
- ② 연구과제로 시행하고 있다.
- ③ 정책프로그램 추진을 계획하고 있다.
- ④ 연구과제 추진 계획이 있다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

R6.1. 귀하의 지자체(또는 연구기관)에서 온난화 대책으로 추진하고 있는 정책 프로그램 또는 연구 과제를 적어주시길 바랍니다.

정책프로그램(또는 연구과제명) :

R7. <보리 등 맥류만 응답> 동계 온난화로 인하여 보리밭기가 필요 없게 되거나 그 횟수가 감소하였습니까?

- ① 동계 온난화로 인하여 보리밭기가 감소하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않으나 보리밭기가 감소하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니나 보리밭기가 감소하고 있다.
- ④ 변화 없다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

R8. 귀하의 지역에서 최근의 온난화로 소맥의 키가 커져 도복(倒伏) 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 최근의 온난화로 인하여 발생이 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않으나 발생이 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니나 발생이 증가하고 있다.
- ④ 변화 없다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

R8.1. 온난화로 인한 도복 발생 시 이에 대해 권장하는 대책을 적어주세요.

II. 채소류

V1. 귀하 지역의 노지채소(고랭지채소 포함) 생산에 있어서 최근 지구온난화로 인해 생육 장애 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 온난화 등으로 인해 발생이 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 발생이 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ④ 발생이 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

V1.1. 생육장애가 발생하고 있는 품목과 내용 및 관련대책이 있으면 적어주시길 바랍니다.

V2. 노지채소(고랭지채소 포함) 재배에 있어서 최근의 온난화로 인한 생육기간 단축으로 생산성 저하 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 온난화 등으로 인해 발생이 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 발생이 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ④ 발생이 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

V2.1. 생산성 저하가 발생하고 있는 품목과 내용, 그리고 시행 및 권장하고 있는 대책을 적어주시길 바랍니다.

V3. 최근의 지구온난화로 인해 노지채소(고랭지채소 포함) 생산량이 변동하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하고 있다.
- ② 온난화로 인하여 감소하고 있다.
- ③ 원인은 명확하지 않지만 증가하고 있다.
- ④ 원인은 명확하지 않지만 감소하고 있다.
- ⑤ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ⑥ 온난화가 원인은 아니지만 감소하고 있다.
- ⑦ 변동하지 않는다.
- ⑧ 잘 모르겠다.

V3.1. 온난화로 인해 생산량이 감소하고 있다면 이에 대하여 시행하거나 권장하고 있는 대책을 적어주세요.

V4. 최근의 노지채소(고랭지채소 포함)의 수확기가 변동하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 변동하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 변동하고 있다.
- ④ 온난화가 원인은 아니지만 변동하고 있다.
- ⑤ 변동하지 않는다.
- ⑥ 잘 모르겠다.

V4.1. 수확기 변동이 발생한 품목과 내용, 권장하고 있는 대책 등이 있으면 적어주시기 바랍니다.

V5. 최근의 병해충 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.

- ④ 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

V6. 시설채소에서 최근의 지구온난화로 동계 난방비가 감소하는 경향이 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하는 경향이 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 감소하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 감소하고 있다.
- ④ 감소하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

V7. 귀하의 지자체(또는 연구기관)에서 채소류에 대하여 온난화 대책을 추진하고 있습니까?

- ① 정책프로그램으로 추진하고 있다.
- ② 연구과제로 시행하고 있다.
- ③ 정책프로그램 추진을 계획하고 있다.
- ④ 연구과제 추진 계획이 있다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

V7.1. 귀하의 지자체(또는 연구기관)에서 온난화 대책으로 추진하고 있는 정책 프로그램
또는 연구 과제를 적어주시길 바랍니다.

정책프로그램(또는 연구과제명) :

Ⅲ. 과실류

F1. 귀하 지역의 과수 생산에 있어서 최근 지구온난화로 인해 생육장애 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 온난화 등으로 인해 발생이 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 발생이 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ④ 발생이 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

F1.1. 생육장애가 발생하고 있는 품목과 내용 및 관련 대책이 있으면 적어주시길 바랍니다.

F2. 과수 재배에 있어서 최근의 온난화로 인한 생육기간 단축으로 인한 생산성 저하 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 온난화 등으로 인해 발생이 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 발생이 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ④ 발생이 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

F2.1. 생산성 저하가 발생하고 있는 품목과 내용, 그리고 시행 및 권장하고 있는 대책을 적어주시길 바랍니다.

F3. 최근의 지구온난화로 인해 과수 생산량이 변동하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하고 있다.
- ② 온난화로 인하여 감소하고 있다.
- ③ 원인은 명확하지 않지만 증가하고 있다.

- ④ 원인은 명확하지 않지만 감소하고 있다.
- ⑤ 변동하지 않는다.
- ⑥ 잘 모르겠다.

F3.1. 온난화로 인해 생산량이 감소하고 있다면 이에 대하여 시행하거나 권장하고 있는 대책을 적어주세요.

F4. 최근의 과수의 수확기가 변동하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 변동하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 변동하고 있다.
- ④ 온난화가 원인은 아니지만 변동하고 있다.
- ⑤ 변동하지 않는다.
- ⑥ 잘 모르겠다.

F4.1. 수확기 변동이 발생한 품목과 내용, 권장하고 있는 대책 등이 있으면 적어주시기 바랍니다.

F5. 귀하의 지역에서 지구온난화로 과수재배의 주산지가 변하고 있습니까?

- ① 변하고 있지 않다.
- ② 변하고 있다.
- ③ 원인은 명확하지 않지만 변하고 있다.
- ④ 잘 모르겠다.

F5.1. 과수재배와 관련하여 산지가 변한 경우가 있으면 적어주세요.

F6. 최근의 지구온난화로 인해 병해충 발생이 증가하고 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 증가하고 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 증가하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 증가하고 있다.
- ④ 증가하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

F7. 시설과수에서 최근의 지구온난화로 동계 난방비가 감소하는 경향이 있습니까?

- ① 온난화로 인하여 감소하는 경향이 있다.
- ② 원인은 명확하지 않지만 감소하고 있다.
- ③ 온난화가 원인은 아니지만 감소하고 있다.
- ④ 감소하고 있지 않다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

F8. 귀하의 지자체(또는 연구기관)에서 과수재배에 대한 온난화 대책을 추진하고 있습니까?

- ① 정책프로그램으로 추진하고 있다.
- ② 연구과제로 시행하고 있다.
- ③ 정책프로그램 추진을 계획하고 있다.
- ④ 연구과제 추진 계획이 있다.
- ⑤ 잘 모르겠다.

F8.1. 귀하의 지자체(또는 연구기관)에서 온난화 대책으로 추진하고 있는 정책 프로그램 또는 연구 과제를 적어주시길 바랍니다.

정책프로그램(또는 연구과제명) :

부록 3

농업부문의 경제적 영향분석을 위한 기초자료

부표 3-1. 농업부문 영향분석 기초자료 I

	지역	경지 면적 (논밭)	인구 밀도 (2006)	연간인구 증감률 (00~05)	염분 비율	습지 비율	경사 평균	배수 등급	토양침식 성인자 K-factor	관개 시설 비율	상습홍수 피해지 비율
		ha	명/km ²	%	%	%	%	%	MT MJ-1 mm-1	%	%
1	고창	29,321	102	-2.9	6.0	6.1	6.9	63.1	0.0400	14.9	0.000
2	김제	31,455	184	-2.5	1.2	2.5	5.2	58.5	0.0325	40.8	0.000
3	나주	26,241	160	-2.6	0.0	4.1	6.1	63.1	0.0375	25.1	0.000
4	당진	33,804	188	-0.9	25.3	7.0	4.2	50.4	0.0375	26.9	0.000
5	상주	44,979	86	-1.9	0.0	2.7	6.7	61.8	0.0325	3.0	0.106
6	서산	35,917	204	0.1	30.2	4.1	4.9	54.5	0.0375	24.9	0.000
7	신안	25,207	71	-3.7	24.6	0.0	5.4	59.0	0.0375	7.8	0.000
8	안동	37,755	111	-1.4	0.0	2.4	7.4	66.1	0.0325	2.7	0.007
9	안성	23,686	288	3.5	0.0	8.7	6.2	58.6	0.0325	15.9	1.626
10	의성	34,517	54	-3.7	0.0	0.5	7.0	64.6	0.0275	10.0	0.428
11	익산	31,309	621	-1.0	0.0	6.9	5.3	58.8	0.0375	34.5	0.000
12	천안	25,744	823	4.5	0.0	12.1	6.6	59.6	0.0325	8.3	0.000
13	충주	30,727	208	-1.3	0.0	3.6	6.3	65.6	0.0275	6.1	0.658
14	여주	25,506	173	0.1	0.0	19.9	5.6	59.7	0.0325	7.4	1.619
15	양평	22,148	98	0.7	0.0	2.3	7.4	64.5	0.0225	3.7	0.252
16	평택	28,563	876	1.5	1.6	4.5	4.8	57.4	0.0425	26.5	8.474
17	화성	33,044	451	9.1	12.0	8.1	5.2	54.5	0.0425	6.4	4.337
18	파주	23,211	435	6.4	0.0	7.7	4.1	57.1	0.0325	11.9	0.868
19	포천	20,159	190	1.2	0.0	2.9	6.0	68.0	0.0325	3.8	0.051
20	연천	16,793	72	-2.2	0.0	4.0	5.0	67.7	0.0275	4.3	0.442
21	이천	22,745	421	0.9	0.0	23.6	6.1	58.0	0.0325	7.3	1.186
22	김포	14,793	751	4.9	4.4	1.9	4.4	57.3	0.0425	30.3	7.589
23	춘천	20,804	229	0.3	0.0	2.5	6.8	69.7	0.0225	2.3	0.000
24	홍천	14,373	39	-1.0	0.0	0.0	7.7	71.4	0.0225	2.2	0.000
25	양구	8,320	33	-1.7	0.0	0.6	6.7	68.6	0.0225	1.9	0.000
26	원주	24,066	339	1.3	0.0	3.0	6.8	66.0	0.0225	5.0	0.000
27	횡성	23,462	43	-1.0	0.0	2.8	7.6	67.8	0.0225	2.8	0.000
28	영월	13,373	36	-3.0	0.0	0.3	7.5	74.1	0.0375	0.9	0.223

부표 3-1(계속).

	지역	경지 면적 (논밭)	인구 밀도 (2006)	연간인구 증감률 (00~05)	염분 비율	습지 비율	경사 평균	배수 등급	토양침식 성인자 K-factor	관개 시설 비율	상습홍수 피해지 비율
		ha	명/km ²	%	%	%	%	%	MT MJ-1 mm-1	%	%
29	평창	10,482	30	-0.9	0.0	0.1	5.3	73.1	0.0325	0.6	0.000
30	철원	12,926	60	-1.7	0.0	1.2	4.7	68.8	0.0275	10.3	0.000
31	양양	9,486	46	-0.7	1.3	19.2	7.0	57.5	0.0275	3.1	0.000
32	강릉	21,322	213	-0.8	0.0	10.3	5.9	61.8	0.0325	3.2	0.000
33	청원	31,051	168	-0.7	0.0	10.3	5.8	60.8	0.0275	9.5	0.000
34	보은	15,962	62	-3.0	0.0	2.7	6.3	65.8	0.0325	7.7	0.000
35	옥천	14,641	102	-1.8	0.0	1.5	6.9	66.4	0.0325	5.5	0.000
36	영동	17,476	60	-2.4	0.0	0.8	6.8	69.1	0.0225	3.8	0.051
37	진천	15,402	148	0.0	0.0	7.5	6.0	62.7	0.0325	19.2	0.000
38	괴산	21,888	45	-2.8	0.0	1.6	7.0	68.3	0.0275	5.4	0.000
39	음성	23,486	167	-0.5	0.1	8.6	6.3	63.5	0.0275	9.9	0.000
40	제천	19,277	154	-1.4	0.0	2.4	7.5	69.2	0.0275	2.7	0.081
41	단양	12,936	43	-3.1	0.0	0.1	8.5	73.9	0.0325	1.0	0.000
42	공주	29,374	136	-0.9	0.0	7.6	7.0	78.2	0.0225	7.9	0.000
43	논산	30,005	237	-1.2	0.0	2.3	5.0	61.3	0.0325	24.1	0.000
44	부여	24,591	127	-2.6	0.0	11.0	5.3	57.1	0.0375	18.4	0.000
45	서천	17,643	175	-3.1	4.0	1.2	5.1	57.2	0.0325	23.7	0.000
46	보령	21,744	189	-1.8	10.6	11.0	5.7	54.0	0.0375	12.3	0.000
47	청양	16,400	71	-3.2	0.0	4.3	6.2	76.6	0.0325	11.9	0.000
48	예산	24,841	165	-2.2	0.2	4.2	5.5	60.5	0.0375	17.4	0.000
49	진안	20,519	34	-1.5	0.0	0.3	8.1	68.5	0.0275	4.3	0.000
50	남원	29,652	121	-2.0	0.0	8.6	7.4	62.4	0.0325	10.5	0.000
51	순창	15,089	66	-1.5	0.0	3.7	7.0	63.0	0.0325	10.8	0.000
52	정읍	33,867	182	-3.2	0.0	4.7	6.1	62.4	0.0375	16.8	0.000
53	부안	24,817	128	-2.7	15.5	3.8	4.0	54.1	0.0375	26.4	0.000
54	군산	31,139	683	-1.1	4.9	1.8	3.1	51.9	0.0325	33.2	0.000
55	완주	24,424	101	-0.1	0.1	1.7	5.9	65.6	0.0325	8.0	0.000
56	담양	18,471	111	-1.8	0.0	0.9	6.1	64.2	0.0325	16.6	0.000
57	함평	16,284	98	-2.3	0.0	1.1	6.2	62.9	0.0375	18.6	0.000
58	보성	24,255	78	-2.8	0.0	1.9	7.1	61.4	0.0275	10.9	0.000
59	장흥	25,831	72	-3.1	0.2	1.3	6.2	60.4	0.0325	11.3	0.000
60	해남	35,207	93	-2.8	9.0	3.2	6.7	62.1	0.0425	11.8	0.000

부표 3-1(계속).

	지역	경지 면적 (논밭)	인구 밀도 (2006)	연간인구 증감률 (00~05)	염분 비율	습지 비율	경사 평균	배수 등급	토양침식 성인자 K-factor	관개 시설 비율	상습홍수 피해지 비율
		ha	명/km ²	%	%	%	%	%	MT MJ-1 mm-1	%	%
61	영암	24,448	105	-1.0	6.3	12.9	6.5	58.7	0.0375	25.9	0.000
62	영광	20,250	127	-3.3	12.5	4.0	6.3	57.8	0.0325	18.1	0.000
63	장성	19,681	92	-2.6	0.0	4.4	7.0	63.7	0.0325	13.4	0.000
64	포항	36,538	448	-0.3	1.8	2.2	6.4	63.7	0.0325	8.1	0.059
65	경주	42,495	207	-1.1	0.1	1.0	6.3	64.8	0.0325	11.9	0.008
66	영천	26,424	114	-2.1	0.0	0.0	6.4	65.6	0.0375	6.4	0.000
67	김천	33,312	138	-1.1	0.0	8.2	7.7	58.7	0.0225	7.5	0.000
68	성주	21,425	75	-1.7	0.0	4.8	7.0	59.1	0.0325	13.0	1.714
69	구미	26,633	627	2.1	0.0	3.7	5.4	60.8	0.0375	13.2	0.000
70	예천	26,374	76	-3.2	0.0	6.8	7.0	61.1	0.0275	9.2	0.000
71	진주	22,887	468	-0.3	0.0	0.2	5.7	62.1	0.0325	10.7	4.844
72	함안	16,197	152	-1.1	0.0	0.7	4.5	63.0	0.0325	17.2	2.603
73	창녕	20,353	119	-2.4	0.0	1.2	5.2	61.3	0.0425	13.0	3.085
74	밀양	20,452	140	-1.8	0.0	0.3	4.7	62.8	0.0375	11.2	0.000
75	창원	14,953	1,721	-0.6	0.6	6.0	5.1	58.3	0.0425	16.1	0.840
76	김해	21,218	979	5.2	0.2	1.3	4.6	58.2	0.0375	12.8	2.773
77	고성	18,132	107	-2.4	2.5	0.3	6.8	61.7	0.0325	13.5	1.679
78	하동	19,122	78	-2.3	0.6	1.2	7.1	59.3	0.0325	10.1	0.000
79	거창	23,775	79	-1.5	0.0	1.2	9.3	63.4	0.0275	6.3	0.000
80	합천	26,468	56	-1.0	0.0	2.2	8.5	62.5	0.0325	7.3	0.444

부표 3-2. 농업부문 영향분석 기초자료 II

	지역	경도	기온						강수량					
			1월	4월	7월	8월	10월	연 평균	1월	4월	7월	8월	10월	연간 월 평균
		도,분	℃						mm					
1	고창	126.617	0.9	11.5	24.5	25.1	14.9	15.4	39	60	304	287	45	147
2	김제	126.917	0.0	12.7	26.2	26.8	15.5	16.2	30	77	269	244	53	135
3	나주	126.717	0.9	13.2	26.0	26.5	15.6	16.4	34	90	294	317	39	155
4	당진	126.650	-2.0	11.1	24.6	25.1	13.8	14.5	22	66	307	316	50	152
5	상주	128.667	-0.8	13.3	24.3	24.7	13.4	15.0	28	117	372	309	17	168
6	서산	126.467	-1.7	11.0	24.6	25.2	14.0	14.6	27	82	273	317	52	150
7	신안	126.667	2.2	12.6	24.6	26.0	16.9	16.5	20	63	229	232	36	116
8	안동	128.783	-1.9	12.5	24.3	24.6	13.3	14.5	20	77	247	245	41	126
9	안성	127.300	-2.3	12.3	25.8	26.1	14.1	15.2	22	71	312	251	53	142
10	의성	128.617	-3.2	11.6	24.3	24.5	12.4	13.9	19	78	233	266	32	126
11	익산	126.983	-0.2	12.4	25.2	25.7	14.9	15.6	27	101	347	288	50	162
12	천안	127.200	-2.4	11.7	24.7	24.9	13.2	14.4	21	70	260	344	62	152
13	충주	127.900	-3.2	11.9	24.6	24.7	12.6	14.1	21	76	296	308	62	153
14	여주	127.618	-3.8	12.0	24.8	24.9	12.3	14.0	19	59	312	296	48	147
15	양평	127.581	-3.5	11.9	24.6	24.7	12.7	14.1	20	77	391	378	47	182
16	평택	126.997	-1.9	12.9	25.6	25.1	14.7	15.3	19	63	296	293	52	145
17	화성	126.876	-1.9	12.1	24.6	25.3	14.8	15.0	21	72	354	274	41	152
18	파주	126.803	-4.2	11.2	23.7	24.1	12.2	13.4	23	100	417	291	29	172
19	포천	127.252	-3.9	12.4	25.0	25.1	12.8	14.3	16	68	363	433	56	187
20	연천	126.990	-3.9	11.6	23.4	24.1	12.4	13.5	23	106	459	323	46	191
21	이천	127.483	-2.8	12.2	24.5	24.7	12.9	14.3	21	78	349	339	53	168
22	김포	126.629	-1.5	11.6	24.4	25.4	15.2	15.0	19	68	327	335	52	160
23	춘천	127.742	-4.0	11.9	24.6	24.6	12.5	13.9	20	72	379	364	51	177
24	홍천	128.076	-4.9	11.0	24.0	24.1	11.7	13.2	20	80	420	356	59	187
25	양구	128.001	-5.6	10.5	23.1	23.0	10.9	12.4	17	61	278	336	44	147
26	원주	127.932	-3.4	12.2	24.8	24.9	12.9	14.3	20	75	353	336	59	169
27	횡성	128.079	-4.1	11.5	39.7	24.4	12.1	16.7	20	75	406	315	59	175
28	영월	128.502	-4.0	11.4	23.5	23.8	12.1	13.4	20	82	298	284	46	146
29	평창	128.484	-7.1	7.1	19.1	19.3	8.7	9.4	64	103	370	421	127	217
30	철원	127.462	-5.7	10.6	23.5	23.6	11.5	12.7	21	70	375	368	50	177

부 표 3-2(계속).

	지역	경도	기온						강수량					
			1월	4월	7월	8월	10월	연 평균	1월	4월	7월	8월	10월	연간 월 평균
		도,분	℃						mm					
31	양양	128.598	-0.1	11.8	22.9	23.7	15.0	14.7	44	71	264	311	95	157
32	강릉	128.833	0.7	13.3	24.3	24.7	15.6	15.7	55	82	256	330	121	169
33	청원	127.501	-3.7	10.7	23.6	23.8	11.8	13.2	22	70	282	281	53	142
34	보은	127.731	-2.9	11.3	23.6	23.9	12.0	13.6	24	87	296	336	52	159
35	옥천	127.659	-2.2	12.5	25.0	25.1	13.2	14.7	22	72	281	308	51	147
36	영동	127.816	-2.3	11.8	24.5	24.7	12.5	14.2	22	66	271	248	45	130
37	진천	127.443	-2.4	12.0	24.1	24.2	12.9	14.2	23	71	296	254	62	141
38	괴산	127.832	-3.0	11.5	24.0	24.0	12.0	13.7	19	66	263	295	60	141
39	음성	127.616	-3.8	11.5	24.6	24.6	12.0	13.8	20	71	300	312	60	153
40	제천	128.143	-4.7	10.7	23.2	23.5	11.3	12.8	20	89	370	321	63	172
41	단양	128.390	-3.4	12.3	24.6	24.8	12.8	14.2	18	64	265	260	47	131
42	공주	127.089	-2.1	12.8	25.0	25.3	13.7	15.0	21	74	386	313	56	170
43	논산	127.160	-1.6	12.1	25.1	25.4	13.8	15.0	25	78	280	292	56	146
44	부여	126.859	-1.6	11.9	25.2	25.5	13.6	14.9	27	88	300	302	68	157
45	서천	126.706	-1.2	11.1	25.1	25.6	14.1	14.9	25	73	244	223	60	125
46	보령	126.595	-0.3	11.2	24.7	25.5	15.0	15.2	27	77	232	326	64	145
47	청양	126.855	-1.9	11.6	25.2	25.2	13.3	14.7	20	82	279	324	57	153
48	예산	126.786	-2.2	12.2	25.6	26.1	14.2	15.2	26	76	281	269	44	139
49	진안	127.432	-1.7	11.0	24.6	25.2	14.0	14.6	27	82	273	317	52	150
50	남원	127.443	-1.4	12.1	25.0	25.1	13.2	14.8	33	77	288	362	46	161
51	순창	127.092	-1.1	12.3	25.2	25.4	13.6	15.1	36	97	383	367	46	186
52	정읍	126.908	-0.1	12.6	25.4	25.7	14.9	15.7	41	84	280	288	61	151
53	부안	126.643	-0.2	11.5	25.0	25.5	14.7	15.3	37	80	274	251	58	140
54	군산	126.730	0.0	11.6	25.1	25.8	15.4	15.6	31	85	275	279	58	145
55	완주	127.217	-0.2	12.5	24.6	26.3	14.8	15.6	34	75	330	324	55	164
56	담양	126.998	0.4	12.8	25.0	25.4	14.8	15.7	31	95	285	348	44	161
57	함평	126.537	1.3	12.5	25.3	26.1	15.7	16.2	37	85	299	298	54	155
58	보성	127.165	-0.3	11.6	22.6	23.4	13.9	14.2	27	126	355	349	43	180
59	장흥	126.924	0.7	12.0	24.4	25.0	14.6	15.3	28	104	283	344	44	160
60	해남	126.525	1.6	12.2	24.8	25.6	15.4	15.9	32	87	238	291	46	139

부표 3-2(계속).

	지역	경도	기온						강수량					
			1월	4월	7월	8월	10월	연 평균	1월	4월	7월	8월	10월	연간 월 평균
		도,분	℃						mm					
61	영암	126.634	1.1	12.9	54.2	26.3	16.9	22.3	28	89	288	310	46	152
62	영광	126.448	1.1	12.4	25.6	26.3	15.9	16.3	38	86	304	269	53	150
63	장성	126.771	-0.2	12.4	25.4	25.7	14.6	15.5	38	98	345	323	54	171
64	포항	129.308	2.2	14.3	24.9	25.8	16.9	16.8	42	74	223	257	52	130
65	경주	129.238	0.6	13.5	25.2	25.4	15.1	16.0	36	66	225	263	47	127
66	영천	128.945	-0.7	12.8	24.7	25.2	13.9	15.2	25	67	234	256	34	123
67	김천	128.080	-0.1	14.3	26.1	26.0	14.5	16.2	21	72	244	290	38	133
68	성주	128.235	-0.7	13.6	25.8	25.7	14.2	15.7	17	65	239	326	41	138
69	구미	128.357	-0.8	13.4	25.0	25.2	13.9	15.4	20	77	238	277	40	131
70	예천	128.425	-1.6	12.7	24.9	24.9	13.1	14.8	29	88	310	286	51	153
71	진주	128.132	0.3	13.1	25.3	25.9	14.9	15.9	30	114	304	338	44	166
72	함안	128.433	-0.4	13.1	25.4	25.6	14.1	15.6	29	80	318	340	44	162
73	창녕	128.495	-0.1	13.5	26.2	26.3	14.7	16.1	29	65	303	382	33	162
74	밀양	128.791	0.5	13.4	25.0	25.5	14.8	15.8	23	86	259	272	42	136
75	창원	128.658	1.2	14.1	26.4	27.3	19.8	17.8	14	116	369	321	17	168
76	김해	128.848	0.5	13.5	26.4	26.7	15.4	16.5	27	81	304	304	36	150
77	고성	128.292	2.0	13.9	26.3	27.4	17.2	17.4	24	132	363	339	59	183
78	하동	127.781	2.2	14.4	26.5	27.1	16.6	17.3	33	118	411	453	47	212
79	거창	127.906	-1.4	12.0	24.0	24.1	12.6	14.3	28	82	308	324	49	158
80	합천	128.143	0.0	13.3	25.0	25.3	14.4	15.6	23	68	271	317	41	144

부록 4

A1B시나리오에 따른 기후변화 전망치

부표 4-1. A1B시나리오에 따른 기온·강수변화 수치(전지구 1860~1970)

구분	기온(℃)	강수량(mm)	구분	기온	강수량(mm)	구분	기온	강수량(mm)
1860	-0.058	0.328	1900	-0.346	0.036	1940	-0.068	0.219
1861	-0.352	-0.693	1901	-0.357	-0.182	1941	-0.192	-0.073
1862	-0.453	-0.109	1902	-0.542	0.036	1942	-0.21	-0.219
1863	-0.391	0.146	1903	-0.749	-0.911	1943	-0.139	0.109
1864	-0.531	-0.583	1904	-0.426	-0.802	1944	-0.262	-0.182
1865	-0.318	0.292	1905	-0.366	-0.328	1945	-0.318	-0.401
1866	-0.471	0.219	1906	-0.588	-0.292	1946	-0.213	0.109
1867	-0.427	-0.401	1907	-0.598	-0.693	1947	0.031	0.219
1868	-0.514	-0.219	1908	-0.498	-0.547	1948	-0.112	-0.073
1869	-0.42	0.146	1909	-0.446	0.292	1949	0.014	0.401
1870	-0.388	0.437	1910	-0.344	0.219	1950	-0.083	0.656
1871	-0.347	0.510	1911	-0.323	0.182	1951	-0.083	0.365
1872	-0.442	0.328	1912	-0.435	-0.182	1952	-0.043	0.474
1873	-0.328	0.109	1913	-0.544	-0.766	1953	-0.048	0.437
1874	-0.293	0.292	1914	-0.569	-0.437	1954	-0.112	0.510
1875	-0.373	-0.073	1915	-0.53	-0.073	1955	-0.075	0.182
1876	-0.357	0.292	1916	-0.452	-0.510	1956	-0.023	0.219
1877	-0.237	0.182	1917	-0.355	-0.292	1957	0.082	0.255
1878	-0.221	-0.182	1918	-0.322	0.292	1958	-0.185	0.109
1879	-0.301	0.073	1919	-0.271	0.292	1959	-0.109	0.146
1880	-0.304	-0.109	1920	-0.351	-0.474	1960	-0.034	0.146
1881	-0.299	-0.292	1921	-0.21	0.547	1961	-0.07	0.255
1882	-0.294	0.146	1922	-0.254	0.328	1962	-0.055	0.365
1883	-0.516	0.109	1923	-0.294	0.328	1963	-0.196	0.109
1884	-0.813	-0.693	1924	-0.269	0.656	1964	-0.33	-0.328
1885	-0.606	-0.182	1925	-0.21	0.182	1965	-0.338	-0.401
1886	-0.611	-0.547	1926	-0.282	-0.365	1966	-0.376	-0.948
1887	-0.54	-0.255	1927	-0.272	-0.255	1967	-0.247	-0.219
1888	-0.705	-0.656	1928	-0.186	0.255	1968	-0.21	0.073
1889	-0.428	-0.182	1929	-0.085	0.182	1969	-0.104	0.182
1890	-0.389	-0.036	1930	-0.163	0.036	1970	-0.229	-0.437
1891	-0.398	-0.292	1931	-0.043	0.693			
1892	-0.384	0.109	1932	-0.189	0.036			
1893	-0.349	-0.036	1933	-0.24	-0.073			
1894	-0.336	0.292	1934	-0.151	0.219			
1895	-0.398	0.182	1935	-0.167	0.073			
1896	-0.494	0.401	1936	-0.323	-0.255			
1897	-0.302	0.109	1937	-0.309	-0.146			
1898	-0.369	0.146	1938	-0.306	-0.401			
1899	-0.353	0.219	1939	-0.261	0.109			
1900	-0.346	0.036	1940	-0.068	0.219			

부표 4-2. A1B시나리오에 따른 기온·강수변화 수치(1971~2100)

구분	기온(℃)		강수량(mm)	
	전지구	한반도	전지구	한반도
1971	-0.222	-0.39	-0.109	-4.65
1972	-0.064	-0.06	-0.583	-15.47
1973	0.037	-0.1	0.073	-9.56
1974	-0.134	0	-0.146	2.43
1975	-0.178	-0.56	-0.109	3.96
1976	-0.235	-0.14	-0.182	5.96
1977	-0.119	-0.41	-0.437	20.78
1978	0.039	-0.41	-0.109	7.35
1979	0.028	0.21	0.219	17.96
1980	-0.132	-0.06	0.036	-1.2
1981	0.035	-0.35	0.073	10.11
1982	0.01	0.09	0.875	12.51
1983	-0.23	-0.46	-0.219	-10.63
1984	0.013	0	-0.073	-1.84
1985	0.02	-0.88	0.292	7.36
1986	0.118	0.89	0.474	10.3
1987	0.112	0.51	0.036	-3.79
1988	0.048	0.26	0.036	11.47
1989	0.181	-0.83	0.000	-6.61
1990	0.139	-0.33	0.510	-16.99
1991	0.056	0.37	0.000	12.32
1992	-0.19	-0.03	-0.510	-16.12
1993	-0.15	-0.12	-0.474	-1.18
1994	0.004	0.48	-0.620	15.47
1995	-0.029	0.22	-0.401	-17.16
1996	0.181	0.44	0.182	-1.3
1997	0.172	0.5	0.401	-4.35
1998	0.186	-0.39	0.365	-17.27
1999	0.153	1.46	-0.109	-4.23
2000	0.158	0.09	0.219	-5.62

부표 4-2(계속).

구분	기온(℃)		강수량(mm)	
	전지구	한반도	전지구	한반도
2001	0.285	0.27	-0.146	-15.31
2002	0.338	1.03	0.729	3.12
2003	0.366	0.18	-0.073	15.36
2004	0.412	0.15	0.365	7.45
2005	0.245	0.92	0.474	44.17
2006	0.226	1.42	-0.036	4.9
2007	0.361	1.06	0.036	-9.23
2008	0.365	1.09	0.182	17.41
2009	0.427	0.4	0.255	15.41
2010	0.442	1.12	0.401	5.03
2011	0.517	0.58	0.255	-3.73
2012	0.449	0.33	0.255	4.96
2013	0.555	0.48	0.073	8.89
2014	0.653	0.66	0.838	2.19
2015	0.592	1.09	0.656	0.9
2016	0.576	1.36	0.146	11.16
2017	0.698	0.85	0.292	26.15
2018	0.679	0.63	0.146	-8.46
2019	0.712	0.72	0.656	6.37
2020	0.816	1.09	0.766	4.52
2021	0.821	0.61	0.693	-0.96
2022	0.764	0.73	0.802	11.41
2023	0.72	1.21	0.474	6.11
2024	0.855	1.08	0.911	11.52
2025	1.027	1.9	0.656	26.03
2026	1.001	1.19	0.948	-2.75
2027	0.851	1.54	0.729	-4.28
2028	0.865	1.59	1.057	8.42
2029	0.882	1.42	0.219	6.44
2030	0.751	0.38	0.948	14.89

부표 4-2(계속).

구분	기온(℃)		강수량(mm)	
	전지구	한반도	전지구	한반도
2031	0.934	0.76	0.620	-9.28
2032	0.951	0.06	0.729	-1.02
2033	1.026	0.74	1.021	19.08
2034	1.078	1.07	0.693	-7.29
2035	1.064	1.55	0.911	0.5
2036	1.042	1.21	0.984	3.82
2037	1.123	1.36	0.984	17.11
2038	1.219	0.8	0.802	-24.88
2039	1.218	2.27	1.021	8.37
2040	1.102	1.54	0.911	20.19
2041	1.281	0.99	0.984	3.7
2042	1.133	1.5	1.094	1.17
2043	1.239	2.46	1.641	39.33
2044	1.267	2.21	0.802	-10.32
2045	1.36	2.18	1.385	0.48
2046	1.473	0.96	1.677	12.19
2047	1.501	2.8	1.349	1.77
2048	1.361	1.89	1.240	14.95
2049	1.468	1.83	1.203	16.29
2050	1.522	2.56	1.422	13.51
2051	1.609	2.46	1.641	7.88
2052	1.802	2.27	1.422	14.52
2053	1.553	2.27	2.078	16.83
2054	1.684	2.38	2.042	14.08
2055	1.597	2.9	1.604	28.52
2056	1.692	1.59	1.568	1.79
2057	1.708	2.34	1.531	-15.73
2058	1.878	2.25	1.713	15.68
2059	1.977	2.77	2.042	28.27
2060	2.046	2.12	2.187	48.02

부표 4-2(계속).

구분	기온(℃)		강수량(mm)	
	전지구	한반도	전지구	한반도
2061	2.015	3.73	2.734	43.59
2062	1.914	2.98	2.005	32.51
2063	1.913	2.71	1.932	3.34
2064	1.972	2.94	2.515	25.59
2065	2.04	2.71	2.151	14.7
2066	1.95	3.03	2.114	24.89
2067	1.934	2.99	2.333	3.78
2068	2.009	2.74	2.005	-4.97
2069	2.128	3.5	2.479	30.15
2070	2.165	3.75	2.114	31.83
2071	2.388	3.56	2.406	20.34
2072	2.381	2.73	2.953	25.24
2073	2.29	3.1	2.370	-9.62
2074	2.407	3.58	3.390	38.23
2075	2.312	3.87	2.625	31.89
2076	2.434	3.27	2.625	13.41
2077	2.505	2.93	2.370	19.73
2078	2.467	4.02	2.588	39.47
2079	2.54	3.42	3.099	17.63
2080	2.601	4.43	2.917	17.06
2081	2.58	4.42	3.062	36.26
2082	2.569	4.15	2.443	17.11
2083	2.558	4.77	3.208	-7.59
2084	2.635	3.84	3.318	15.25
2085	2.557	3.96	3.318	16.6
2086	2.619	4.21	2.989	17.93
2087	2.649	4.25	3.318	54.6
2088	2.622	4.83	2.807	5.65
2089	2.673	4.03	3.172	30.91
2090	2.704	3.87	2.953	-10.09
2091	2.696	4.38	3.281	43.53
2092	2.771	4.69	3.390	8.79
2093	2.718	4.16	3.427	30.97
2094	2.739	4.16	2.989	17.04
2095	2.793	4.5	2.880	26.87
2096	2.764	3.71	2.588	29.42
2097	2.764	4.14	2.953	5.09
2098	2.888	4.45	3.427	0.82
2099	2.892	3.85	2.953	43.14
2100	2.87	4.27	2.515	29.98

부록 5

미국의 리카디언 모형 추정 결과

부표 5-1. 선형 리카디언 모형

	1978	1982	1987	1992	1997	2002
Winter Temp	-1797.2 (-20.91)	-1232.5 (-15.75)	-471.8 (-8.51)	-526.8 (-7.73)	-851.1 (-12.38)	-929.3 (-9.8)
Winter Temp Sq	-42.22 (-11.71)	-11.56 (-3.51)	-10.49 (-4.46)	-7.87 (-2.73)	-18.20 (-6.27)	-18.88 (-4.74)
Spring Temp	1171.2 (5.56)	890.5 (4.65)	549.9 (4.00)	644.6 (3.81)	691.7 (4.05)	473.6 (2.01)
Spring Temp Sq	-30.27 (-3.42)	-27.78 (-3.45)	-29.21 (-5.05)	-37.25 (-5.24)	-29.60 (-4.10)	-25.18 (-2.52)
Summer Temp	-1434.3 (-5.3)	-1787.8 (-7.27)	-176.3 (-1.00)	-756.2 (-3.49)	-558.2 (-2.54)	-654.2 (-2.15)
Summer Temp Sq	-12.28 (-2.12)	6.74 (1.27)	-11.55 (-3.03)	-0.14 (-0.03)	-11.796 (-2.48)	-16.02 (-2.44)
Autumn Temp	1942.0 (4.76)	2208.8 (5.95)	132.2 (0.50)	531.8 (1.64)	861.9 (2.61)	1483.0 (3.27)
Autumn Temp Sq	67.59 (5.20)	20.24 (1.71)	44.05 (5.23)	36.32 (3.52)	44.02 (4.20)	35.58 (2.47)
Winter Prec	41.37 (7.83)	29.49 (6.07)	20.51 (5.93)	20.53 (4.83)	28.71 (6.71)	26.06 (4.44)
Winter Prec Sq	-0.052 (-2.61)	-0.066 (-3.61)	-0.059 (-4.58)	-0.04 (-2.53)	-0.034 (-2.13)	-0.008 (-0.34)
Spring Prec	29.81 (3.12)	64.98 (7.35)	17.90 (2.83)	20.34 (2.06)	18.60 (2.32)	19.41 (1.74)
Spring Prec Sq	-0.225 (-4.08)	-0.32 (-6.28)	-0.134 (-3.63)	-0.134 (-2.92)	-0.124 (-2.66)	-0.129 (-2.02)
Summer Prec	3.54 (0.53)	-20.39 (-3.34)	-6.54 (-1.53)	-13.16 (-2.50)	-16.68 (-3.11)	-13.79 (-1.85)
Summer Prec Sq	0.053 (1.43)	0.119 (3.53)	0.021 (0.88)	0.066 (2.23)	0.092 (3.08)	0.072 (1.75)
Autumn Prec	-102.07 (-8.93)	-99.70 (-9.56)	-44.44 (-5.95)	-50.67 (-5.51)	-54.03 (-5.79)	-45.65 (-3.6)
Autumn Prec Sq	0.443 (6.65)	0.488 (8.04)	0.325 (7.45)	0.306 (5.68)	0.279 (5.11)	0.214 (2.92)

* () 수치는 t-통계치임.

부표 5-1(계속).

Salinity	-100.4 (-0.45)	181.4 (0.89)	3.7 (0.03)	-31.2 (-0.18)	-125.2 (-0.70)	-128.6 (-0.52)
Flooding	-1050.9 (-4.92)	-709.4 (-3.67)	-434.1 (-3.16)	-517.0 (-3.06)	-548.1 (-3.11)	-643.5 (-2.68)
Wet Factor	2826.6 (12.03)	2017.0 (9.44)	419.5 (2.74)	639.4 (3.40)	726.2 (3.85)	340.6 (1.32)
Kfactor	-7903.3 (-9.00)	-5524.7 (-6.88)	-3980.3 (-6.92)	-4605.5 (-6.53)	-5688.6 (-7.90)	-6331.0 (-6.39)
Slope Length	1.626 (7.74)	1.809 (9.48)	1.161 (8.53)	1.332 (7.97)	1.660 (9.64)	1.471 (6.09)
Sand	-41.1 (-0.10)	95.7 (0.25)	-780.4 (-2.80)	-1240.0 (-3.64)	-959.1 (-2.79)	-1441.2 (-3.05)
Clay	-381.5 (-1.57)	-214.3 (-0.97)	38.2 (0.24)	-583.0 (-3.04)	-594.8 (-3.07)	-676.1 (-2.55)
Moisture Level	16356.4 (10.05)	11413.8 (7.70)	2683.7 (2.54)	521.4 (0.40)	3158.7 (2.39)	595.3 (0.33)
Permeability	-39.5 (-0.50)	-92.9 (-1.29)	34.4 (0.66)	33.1 (0.52)	29.4 (0.45)	86.3 (0.97)
Income per Capita	158.06 (12.64)	72.20 (6.89)	91.25 (12.01)	82.05 (9.8)	86.88 (11.42)	92.33 (9.72)
Density	20.49 (15.65)	22.88 (19.3)	17.43 (20.25)	20.21 (19.44)	21.15 (21.53)	25.60 (19.81)
Density Sq	-0.015 (-7.03)	-0.019 (-10.52)	-0.011 (-8.46)	-0.013 (-7.97)	-0.019 (-13.14)	-0.017 (-9.55)
Latitude	81.556 (1.23)	109.497 (1.81)	-66.327 (-1.55)	-63.322 (-1.20)	-0.513 (-0.01)	2.289 (0.03)
Altitude	0.712 (1.59)	0.719 (1.77)	-0.59 (-2.04)	-0.663 (-1.86)	-0.192 (-0.53)	-0.549 (-1.10)
Constant	-5644.2 (-1.06)	-1695.9 (-0.35)	3745.3 (1.08)	8216.7 (1.92)	527.4 (0.12)	1164.1 (0.19)
Adjusted R2	0.707	0.68	0.705	0.664	0.704	0.672

* () 수치는 t-통계치임.

부표 5-2. 확장된 리카디언 모형

	1978	1982	1987	1992	1997	2002
Winter Temp	-1695.6 (-20.89)	-1042.1 (-14.73)	-202.7 (-3.76)	-333.7 (-5.2)	-590.9 (-8.89)	-710.7 (-7.83)
Winter Temp Sq	-49.64 (-14.11)	-26.08 (-8.23)	-14.72 (-6.67)	-18.51 (-6.67)	-24.81 (-9.06)	-24.26 (-6.34)
Spring Temp	1128.5 (5.58)	1155.0 (6.59)	573.1 (4.46)	688.2 (4.28)	790.9 (4.90)	565.4 (2.47)
Spring Temp Sq	-24.46 (-2.95)	-33.94 (-4.66)	-26.78 (-5.01)	-32.06 (-4.76)	-31.32 (-4.65)	-26.13 (-2.72)
Summer Temp	-872.1 (-3.39)	-709.8 (-3.14)	505.7 (3.08)	243.9 (1.18)	334.0 (1.61)	154.0 (0.53)
Summer Temp Sq	-24.77 (-4.44)	-13.05 (-2.67)	-19.30 (-5.53)	-14.67 (-3.35)	-23.73 (-5.42)	-26.18 (-4.23)
Autumn Temp	1451.6 (3.72)	631.6 (1.82)	-873.7 (-3.46)	-738.2 (-2.32)	-459.8 (-1.44)	290.1 (0.66)
Autumn Temp Sq	80.84 (6.47)	61.66 (5.49)	56.42 (7.15)	59.55 (5.92)	67.86 (6.82)	56.11 (4)
Winter Prec	35.91 (7.24)	22.17 (5.08)	11.36 (3.58)	10.29 (2.60)	17.25 (4.36)	9.56 (1.66)
Winter Prec Sq	-0.021 (-1.14)	-0.012 (-0.76)	-0.017 (-1.47)	0.015 (0.99)	0.023 (1.55)	0.057 (2.72)
Spring Prec	3.95 (0.43)	34.59 (4.31)	2.86 (0.49)	1.90 (0.26)	2.71 (0.37)	5.57 (0.53)
Spring Prec Sq	-0.116 (-2.23)	-0.258 (-5.67)	-0.097 (-2.88)	-0.099 (-2.35)	-0.1 (-2.35)	-0.095 (-1.57)
Summer Prec	45.29 (6.78)	28.92 (5.00)	23.51 (5.67)	19.38 (3.81)	11.10 (2.16)	14.40 (1.96)
Summer Prec Sq	-0.125 (-3.47)	-0.066 (-2.12)	-0.098 (-4.38)	-0.055 (-1.97)	-0.018 (-0.64)	-0.043 (-1.08)
Autumn Prec	-96.50 (-9.02)	-82.02 (-8.77)	-25.97 (-3.77)	-27.02 (-3.12)	-32.71 (-3.75)	-24.09 (-1.97)
Autumn Prec Sq	0.371 (5.94)	0.371 (6.85)	0.224 (5.60)	0.169 (3.40)	0.154 (3.06)	0.082 (1.18)
Salinity	38.6 (0.19)	355.5 (1.96)	159.9 (1.21)	172.8 (1.06)	-6.1 (-0.04)	121.1 (0.52)
Flooding	-861.1 (-4.30)	-446.2 (-2.58)	-218.5 (-1.73)	-264.8 (-1.70)	-419.3 (-2.58)	-606.6 (-2.66)

* () 수치는 t-통계치임.

부표 5-2(계속).

	1978	1982	1987	1992	1997	2002
Wet Factor	2972.0 (13.52)	1756.1 (9.16)	351.5 (2.47)	801.7 (4.52)	674.9 (3.78)	590.6 (2.38)
Kfactor	-5359.9 (-6.42)	-4460.8 (-6.24)	-2963.0 (-5.59)	-4195.9 (-6.47)	-4560.9 (-6.88)	-5146.8 (-5.51)
Slope Length	0.711 (3.51)	0.87 (4.96)	0.612 (4.78)	0.876 (5.55)	0.966 (5.93)	0.895 (3.81)
Sand	-272.1 (-0.69)	-414.0 (-1.19)	-950.1 (-3.72)	-1461.6 (-4.63)	-1441.9 (-4.55)	-1616.9 (-3.64)
Clay	-471.1 (-2.09)	-570.7 (-2.89)	-127.2 (-0.89)	-814.7 (-4.62)	-808.0 (-4.55)	-887.1 (-3.55)
Moisture Level	8134.5 (5.06)	3211.7 (2.32)	-1514.4 (-1.47)	-1933.2 (-1.55)	-2774.7 (-2.12)	-2527.8 (-1.44)
Permeability	-110.8 (-1.50)	-159.0 (-2.48)	-21.7 (-0.46)	-2.1 (-0.04)	-4.9 (-0.08)	51.8 (0.62)
Income per Capita	93.36 (6.8)	13.55 (1.23)	46.09 (5.97)	25.39 (2.98)	38.75 (4.82)	24.14 (2.3)
Density	14.14 (10.39)	14.83 (12.53)	10.64 (12.01)	10.81 (9.97)	13.98 (13.89)	18.66 (14.29)
Density Sq	-0.009 (-4.35)	-0.012 (-6.88)	-0.005 (-4.35)	-0.005 (-3.43)	-0.013 (-9.59)	-0.011 (-6.15)
Latitude	141.8 (2.27)	127.2 (2.35)	-58.9 (-1.5)	-50.9 (-1.04)	-35.5 (-0.71)	-44.0 (-0.62)
Altitude	0.373 (0.88)	-0.023 (-0.06)	-1.118 (-4.23)	-1.248 (-3.80)	-0.941 (-2.80)	-1.397 (-2.93)
Dist from Met Areas	-1.373 (-5.36)	-1.886 (-8.50)	-0.838 (-5.27)	-0.935 (-4.79)	-1.027 (-5.15)	-0.685 (-2.38)
Surface Water	160.2 (12.05)	196.0 (17.25)	128.5 (15.58)	129.4 (12.67)	150.4 (14.41)	155.6 (10.29)
Greenhouses	2921.1 (3.23)	2318.0 (3.22)	2337.6 (5.61)	3179.0 (6.66)	2841.4 (7.18)	1558.2 (5.85)
Subsidies	33.7 (8.40)	43.8 (10.35)	4.6 (7.54)	6.7 (3.41)	19.5 (7.36)	6.2 (3.04)
House Value	19.88 (10.58)	23.33 (13.03)	17.00 (14.1)	22.18 (16.12)	14.91 (11.26)	19.62 (11.71)
Constant	-10797.4 (-2.15)	-5760.4 (-1.33)	1328.4 (0.42)	2846.0 (0.72)	-307.5 (-0.08)	348.1 (0.06)
Adjusted R2	0.746	0.748	0.757	0.717	0.752	0.71

* () 수치는 t-통계치임.

부표 5-3. 확장된 대수선형 리카디언 모형

	1978	1982	1987	1992	1997	2002
Winter Temp	-0.341 (-18.75)	-0.270 (-15.27)	-0.155 (-8.56)	-0.251 (-13.38)	-0.236 (-12.27)	-0.302 (-16.19)
Winter Temp Sq	-0.00639 (-8.11)	-0.00583 (-7.36)	-0.00254 (-3.43)	-0.00556 (-6.86)	-0.00502 (-6.33)	-0.00577 (-7.35)
Spring Temp	0.396 (8.74)	0.468 (10.69)	0.322 (7.47)	0.500 (10.62)	0.403 (8.62)	0.355 (7.56)
Spring Temp Sq	-0.0125 (-6.73)	-0.016 (-8.78)	-0.0116 (-6.48)	-0.0183 (-9.31)	-0.0126 (-6.48)	-0.01 (-5.09)
Summer Temp	-0.682 (-11.85)	-0.549 (-9.7)	-0.402 (-7.31)	-0.532 (-8.83)	-0.454 (-7.56)	-0.546 (-9.2)
Summer Temp Sq	0.00576 (4.61)	0.005 (4.09)	0.004 (3.42)	0.00521 (4.07)	0.00349 (2.75)	0.00338 (2.66)
Autumn Temp	0.336 (3.85)	0.0134 (0.16)	-0.0362 (-0.43)	-0.108 (-1.16)	-0.0037 (-0.04)	0.214 (2.35)
Autumn Temp Sq	0.0142 (5.09)	0.0195 (6.96)	0.0136 (5.12)	0.0226 (7.67)	0.0166 (5.77)	0.0146 (5.07)
Winter Prec	0.00968 (8.71)	0.00855 (7.84)	0.00869 (8.16)	0.00955 (8.25)	0.01 (8.73)	0.00598 (5.06)
Winter Prec Sq	-0.0000223 (-5.32)	-0.0000186 (-4.55)	-0.0000255 (-6.38)	-0.0000195 (-4.46)	-0.000024 (-5.51)	-0.0000172 (-3.98)
Spring Prec	0.00837 (4.12)	0.0166 (8.27)	0.0113 (5.82)	0.00972 (4.58)	0.0121 (5.63)	0.0162 (7.45)
Spring Prec Sq	-0.0000431 (-3.70)	-0.000101 (-8.90)	-0.0000734 (-6.50)	-0.0000761 (-6.17)	-0.0000702 (-5.67)	-0.0000725 (-5.86)
Summer Prec	0.011 (7.37)	0.00688 (4.76)	0.00851 (6.12)	0.00541 (3.63)	0.00335 (2.24)	0.00389 (2.58)
Summer Prec Sq	-0.0000305 (-3.78)	-0.0000118 (-1.51)	-0.000035 (-4.65)	-9.23E-06 (-1.14)	2.02E-06 (0.25)	-7.81E-07 (-0.1)
Autumn Prec	-0.0224 (-9.36)	-0.020 (-8.57)	-0.014 (-6.05)	-0.0125 (-4.93)	-0.0156 (-6.19)	-0.0159 (-6.34)
Autumn Prec Sq	0.000091 (6.52)	0.000091 (6.72)	0.0000897 (6.70)	0.0000686 (4.71)	0.00008 (5.48)	0.0000738 (5.17)
Salinity	-0.0754 (-1.62)	-0.0938 (-2.07)	-0.0423 (-0.95)	-0.0346 (-0.73)	-0.0909 (-1.90)	-0.0459 (-0.96)
Flooding	-0.362 (-8.07)	-0.272 (-6.29)	-0.187 (-4.42)	-0.214 (-4.69)	-0.217 (-4.61)	-0.267 (-5.7)

* () 수치는 t-통계치임.

부표 5-3(계속).

	1978	1982	1987	1992	1997	2002
Wet Factor	0.406 (8.25)	0.24 (5)	-0.0605 (-1.27)	0.0185 (0.36)	-0.0236 (-0.46)	-0.0000 (0.00)
Kfactor	-0.48 (-2.57)	-1.06 (-5.96)	-0.793 (-4.46)	-1.36 (-7.17)	-1.32 (-6.90)	-1.27 (-6.60)
Slope Length	0.00007 (1.54)	0.000138 (3.14)	0.000153 (3.56)	0.000198 (4.29)	0.000198 (4.20)	0.00021 (4.36)
Sand	0.175 (1.97)	0.092 (1.05)	-0.0458 (-0.54)	-0.176 (-1.91)	-0.169 (-1.84)	-0.113 (-1.24)
Clay	-0.124 (-2.45)	-0.2 (-4.05)	-0.00176 (-0.04)	-0.202 (-3.92)	-0.244 (-4.75)	-0.223 (-4.36)
Moisture Level	1.18 (3.27)	0.613 (1.77)	-0.501 (-1.45)	0.148 (0.40)	-0.753 (-1.98)	0.514 (1.43)
Permeability	-0.0531 (-3.22)	-0.0515 (-3.21)	-0.0371 (-2.34)	-0.0275 (-1.62)	-0.0397 (-2.30)	-0.0209 (-1.22)
Income per Capita	0.00986 (3.21)	-0.00186 (-0.68)	0.0205 (7.91)	0.0161 (6.44)	0.0182 (7.80)	0.00268 (1.24)
Density	0.0026 (8.54)	0.00266 (8.99)	0.0027 (9.09)	0.00266 (8.37)	0.00214 (7.35)	0.00191 (7.11)
Density Sq	-2.55E-06 (-5.73)	-2.87E-06 (-6.88)	-2.87E-06 (-6.94)	-3.09E-06 (-7.05)	-2.69E-06 (-6.92)	-2.01E-06 (-5.70)
Latitude	0.0108 (0.77)	0.00857 (0.63)	-0.014 (-1.06)	-0.00939 (-0.66)	-0.000326 (-0.02)	0.0181 (1.25)
Altitude	-0.00022 (-2.33)	-0.000296 (-3.24)	-0.000379 (-4.27)	-0.000354 (-3.68)	-0.000304 (-3.13)	-0.000297 (-3.04)
Dist from Met Areas	-0.000658 (-11.48)	-0.000838 (-15.13)	-0.000692 (-12.98)	-0.000957 (-16.75)	-0.00089 (-15.40)	-0.000822 (-13.93)
Surface Water	0.0644 (21.62)	0.0677 (23.85)	0.066 (23.87)	0.0663 (22.19)	0.0738 (24.41)	0.0703 (22.64)
Greenhouses	0.298 (1.47)	0.382 (2.12)	0.476 (3.40)	0.509 (3.64)	0.586 (5.11)	0.46 (8.42)
Subsidies	0.0154 (17.17)	0.0196 (18.51)	0.00289 (14.15)	0.00595 (10.33)	0.0104 (13.56)	0.00366 (8.80)
House Value	0.0059 (14.00)	0.00603 (13.48)	0.00368 (9.09)	0.00445 (11.06)	0.00423 (11.04)	0.00632 (18.39)
Constant	10 (8.92)	10.5 (9.73)	10.6 (9.96)	11.4 (9.86)	10.2 (8.78)	9.51 (8.16)
Adjusted R2	0.844	0.841	0.843	0.846	0.855	0.869

* () 수치는 t-통계치임.

부표 5-4. 온도, 강수량, 물의 한계적 가치

	선형모형	확장된 선형모형	확장된 대수선형 모형
온도 (°C)	(2000\$/ha)	(2000\$/ha)	(ha당 농지가치의 비중, %)
1978	296.88*	324.46*	3.83%*
1982	241.69*	198.74*	1.42%
1987	-55.34	-70.19	-1.33%
1992	-58.96	-48.64	-0.69%
1997	22.34	-26.60	-0.38%
2002	-59.32	-96.49	1.09%
Average	64.5	46.9	0.66%
강수량 (mm)	(2000\$/ha)	(2000\$/ha)	(ha당 농지가치의 비중, %)
1978	4.20	-0.25	0.45%*
1982	6.34	1.81	0.35%*
1987	9.82*	8.81*	0.55%*
1992	7.33*	5.23	0.50%*
1997	10.17*	4.43	0.69%*
2002	8.68*	1.32	0.62%*
Average	7.76*	3.56	0.53%*
지표수 (톤/ 일당 / ha)		(2000\$/ha)	(ha당 농지가치의 비중, %)
1978		160.2*	6.44%*
1982		196.0*	6.77%*
1987		128.5*	6.60%*
1992		129.4*	6.63%*
1997		150.4*	7.38%*
2002		155.6*	7.03%*
Average		153.4*	6.81%*

주: * 은 95%의 유의수준을 나타냄.

부표 5-5. 기후변화에 따른 농업가치의 비율변화

	기후 시나리오		
	Uniform	HADCM3	PCM
선형모형			
1978	26.2%*	20.0%	72.7%*
1982	23.5%*	25.7%	54.8%*
1987	-7.7%	-19.8%	10.8%
1992	-7.5%	-12.2%	14.1%
1997	-0.5%	-16.3%	26.9%*
2002	-9.8%	-47.8%*	24.0%*
평균	4.0%	-8.4%	33.9%*
확장된 선형모형			
1978	27.4%*	1.1%	70.1%*
1982	16.7%*	-6.8%	41.1%*
1987	-9.4%	-30.7%*	-0.6%
1992	-7.4%	-21.1%	5.6%
1997	-7.0%	-34.2%*	11.9%
2002	-14.8%	-60.6%*	11.1%
평균	0.9%	-25.4%	23.2%*
확장된 로그 선형모형			
1978	30.6%	56.4%*	137.7%*
1982	18.5%	40.2%	86.0%*
1987	0.8%	10.5%	11.7%
1992	2.9%	22.1%	28.5%*
1997	4.3%	9.2%	29.5%*
2002	8.4%	11.9%	46.5%*
평균	10.9%	25.1%	56.7%*

부표 5-6. 기후변화에 따른 총 농업가치의 변화

	기후 시나리오		
	Uniform	HADCM3	PCM
선형모형			
Billions, 2000\$			
1978	261.4*	199.8	725.4*
1982	235.1*	256.9	546.8*
1987	-76.7	-198.1	108.0
1992	-75.0	-122.1	141.2
1997	-5.0	-163.2	268.8*
2002	-97.5	-477.2*	239.2*
Average	40.4	-5.3	338.2
확장된 선형모형			
Billions, 2000\$			
1978	273.4*	11.1	699.9*
1982	166.6*	-67.4	410.3*
1987	-94.0	-306.3*	-6.3
1992	-73.8	-211.1	56.0
1997	-69.9	-341.7*	118.7
2002	-148.3	-605.0*	110.7
평균	9.0	-253.4	231.6
확장된 로그 선형모형			
1978	305.8	563.0*	1374.4*
1982	184.5	401.4	858.9*
1987	8.1	105.2	117.2
1992	29.4	220.4	284.6*
1997	43.0	91.4	294.0*
2002	83.9	118.5	464.1*
평균	109.1	250.0	565.5

참고 문헌

- 국가과학기술자문회의. 2007. 「기후변화의 현황과 전망」.
- 국립기상연구소. 2006. 「한반도 기후 100년 변화와 미래」. 기후연구팀.
- _____. 2008. 「A1B시나리오 따른 전지구와 한반도 지역의 평균자료」. 기후연구팀.
- 권오상. 2008. “베이지안 준모수분석법을 이용한 가구별 식료품 소비지출액 분석.” 「농업경제연구」. 제49권 제1호: 61-83.
- 권영아, 권원태, 부경은, 최영은. 2007. “A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후구 전망.” 「대한지리학회지」. 제42권 제3호: 355-367.
- 권원태. 2008. “국제적 기후변화 현황.” 「국제평화」. 제5권 1호: 37-63.
- _____. 2005. “기후변화의 과학적 현황과 전망.” 「한국기상학회지」. 제41권 2-1호: 325-336.
- 기상청. 2008a. 「기후변화의 이해와 기후변화 시나리오 활용(I)」.
- 기상청. 2008b. 「기후변화 현황 및 대책 수립」.
- 김건엽 외 4인. 2008. “기후변화대응 농업환경 영향평가와 온실가스 인벤토리 연구 계획.” 「2008년 농업환경분야 학술대회」. 농업과학기술원. pp.433-450.
- 김정호. 1998. “쌀 단수의 변동과 전망.” 「농촌경제」. 제21권 제1호.
- 김정호, 이정환. 1996. “1990년대 초의 쌀 단수 정체에 관한 요인 분석.” 「농촌경제」. 제19권 제4호.
- 김종일. 2007. “기후변화와 기상재해 대응과제.” 「리전인포」 통권 제105호. 광주전남발전연구원.
- 김창길. 2005. “기후변화협약의 농업부문 영향과 대책.” 「교토 의정서 발효에 따른 한국의 경제 전략」. 2005년 경제사회연구회 소관연구기관 공동워크숍 결과 보고서④. pp.99-122. 경제사회연구회.
- 김창길, 김배성, 김만근, 자슨앤더슨. 2007. 「교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응 전략」. 연구보고서 R541. 한국농촌경제연구원.
- 나영은 외 6인. 2007. “농업부문의 기후변화 영향 및 적응방안에 관한 국외 동향.” 「한국국제농업개발학회지」. 제19권 제2호: 93-100.
- 농촌진흥청. 2002. 「기후변화와 농업생태계 변동 연구동향」. 연구동향분석보고서 2002-2.

- _____. 2007a. “지구 변화에 따른 농업생산 생태계 변화-지구온난화 농업생태계 지각변동 불러.” 『생활과 농약』. 한국작물보호협회.
- _____. 2007b. 『기후변화 대응: 농업환경 영향평가 및 적응대책』.
- _____. 2008. 『농업분야 기후변화대책 추진현황』. 국회기후변화대책특별위원회 보고자료.
- 박정규 외 8인. 2003. 『농업기상 예측 및 활용체계 구축』. 최종연구보고서. 농림부.
- 박현태, 김연중, 한석호. 2002. 『주요 과채의 주산지 구조와 지역간 경쟁력 분석』. R437. 한국농촌경제연구원.
- 서형호. 2003. 『기후 변화가 과수 재배에 미치는 영향』. 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 대한 심포지엄 자료. 농촌진흥청 원예연구소.
- 서형호 외 3인. 2005. 지구온난화에 따른 한반도 사과재배지 변동 연구. 원예연구소.
- 신의순, 김호석. 2005. 『기후변화협약과 기후정책』. 아산재단 연구총서 제178집. 집문당.
- 심교문 외 3인. 2003. “20세기 한국의 농업기상재해 특징.” 『한국농림기상학회지』. 제5권 제4호.
- 심교문 외. 2004. “최근의 기후변화를 고려한 가을보리 안전재배지대 구분.” 『한국농림기상학회지』. 제6권 제4호: 218~234.
- 심교문 등. 2005. “GCM 2×CO₂ 기후변화시나리오에 따른 벼 생산량 변화.” 제7차 한국농림기상학회 학술대회 초록집. pp.88-92.
- 심교문 등. 2006. 『기후변화 시나리오에 따른 벼 생육 및 생산성 평가』. 환경부·기상청 한국기후변화협의체(KPCC). 제4차 기후변화학술대회 발표자료. pp.110-113.
- 심교문 외 5인. 2008. “기후변화가 농업생산 환경에 미치는 영향.” 『기후온난화 대비 강원농업의 진로 탐색』. 제21회 강원농업 발전방안 심포지움. 강원도농업기술원 pp.43-71.
- 양승룡 외. 2006. “농업부문의 기후변화협약/교토의정서 대응 방안.” 『농업경영·정책연구』. 제33권 제2호: 475-494.
- 윤성탁. 2005. “지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책.” 『한국국제농업개발학회지』. 제17권 제3호(2005): 199~207.
- 윤성호 외. 2001. “기후변화와 농업생산의 전망과 대책.” 『한국농림기상학회지』. 제3권 제4호(2001): 220-237.
- 이병렬 등. 1999. “Potential Feedback of Agroecosystem to Climate changes.” 『한국

- 농림기상학회지」. 제1권 제2호.
- 이병렬. 1995. “기후변화에 따른 농업기후시대와 작물재배기간 변동.” 과학기술처.
「기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구환경 대책 연구(II). pp.75-131.
- 이변우 등. 1991. “대기 중 이산화탄소 농도 증가에 따른 기후변화가 농업기후자원,
식생의 순 1차생산력 및 벼 수량에 미치는 영향.” 「한작지」. 36(2): 112-126.
- 이상돈. 2005. “기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안.” 「대한토목학회」.
제53권 제4호: 43-48.
- 이승호 외 5인. 2008. “기후변화가 농업생태에 미치는 영향 - 나주지역을 사례로.”
「대한지리학회지」 제43권 제1호: 20-35.
- 이양수 외 2인. 2005. 「기후변동에 따른 농업기후자원량 변동성 연구」. 농진청 농업
과학기술원.
- 이양수. 2007. “기후문제와 농업기상환경변화.” 「토양과 비료」. 제29호.
- 이용선 외 2인. 2005. 「기상 요인이 청과물 수급에 미치는 영향」. 연구보고 R494.
한국농촌경제연구원.
- 이정택 외. 1994. “우리나라 최근 60년의 기후변화에 따른 농업기후자원 분포.” 「한
국환경농학회지」. 제13권 제2호.
- 이정택. 2007. “기후변화가 농업에 미치는 영향.” 「토양과 비료」. 제32호: 7-20.
- 전성우. 2000. 「기후변화에 따른 식생부문의 변화예측-원격탐사기법과 GIS 기법의
활용」. 서울대학교 공학박사학위논문.
- 전승중. 2007. “지구 온난화에 따른 감귤재배지 변동과 금후 연구방안.” 「난지농업
연구」. 여름 제5권 제2부 통권18호 .
- 정유란, 조경숙, 이변우. 2006: 지구온난화에 따른 우리나라 벼농사지대의 생산성
재평가. 「한국농림기상학회」. 8(4): 229-241.
- 주영희. 1994. “기후변화가 작물생산에 미치는 영향.” 「한국국제농업개발학회지」.
6(3): 231~237.
- 차유미. 2007. “ECHO-G/S를 활용한 미래 동아시아 기후 전망.” 대기지, 제17권 제
1호: 55-68.
- 최광용, 권원태. 2008. “현재와 미래 우리나라 겨울철 강수형태 변화.” 「대한지리학
회지」. 제44권 제1호: 1-19.
- 한화진 외 10인. 2006. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 II」. 연구보고서
2006 RE-01. 한국환경정책평가연구원.
- 한화진 등. 2007. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III」. 연구보고서 2007

- RE-01. 한국환경정책평가연구원.
- 한화진 등. 2008. 「국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립 연구」. 환경부.
- 農林水産省農林水産技術會議. 2007. 地球温暖化が農林水産業に与える影響と對策. 農林水産研究開發レポート No.23.
- 農業・生物系特定産業技術研究機構. 2006. 對する温暖化の影響の現状に關する調査. 研究調査室小論集 第7號.
- 上路雅子 外2人. 2005. 農業と環境 -研究の軌跡と進展. 養賢堂.
- 農業環境技術研究所. 2008. 平成20年度・平成20年度・研究成果情報. 第25集. www.niaes.affrc.go.jp.
- 日本農林水産省農林水産技術會議事務局. 2008. 地球温暖化が農林水産業に与える影響の評価及とび對策技術の開発. 研究成果442.
- 日本農林水産省. 2008. 地球温暖化・森林吸収源對策推進本部. 第5回 議事次第及び配布資料. <www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/s_ondanka/honbu/honbu04.html>.
- Adams, Richard M. 1989. "Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective." *American Journal of Agricultural Economics* 71-5: 1272-1279.
- Adams, Richard M. et al. "The Economic Effects of Climate Change on US Agriculture." in Mendelsohn, R. and Neuwmann, J.E. eds., *The Economic Impact of Climate Change of the Economy of the United States*, Cambridge University Press, pp.15-84.
- Adger, N.E. 2006. The Impact of Climate Change on Agriculture and Options for Adaptation. COM/AGR/CA/ENV/EPOC(2006)25. OECD JWP on Agriculture and Environment.
- Antle, John M. 2008. "Climate Change and Agriculture: Economic Impacts." *Choices* 23(1): 9-11.
- Brumback, B., A., D. Ruppert, and M. P. Wand. 1999. "Comment on Variable Selection and Function Estimation in Additive Nonparametric Regression Using Data-based Prior by Shively, Kohn, and Wood," *Journal of the American Statistical Association* 94: 794-797.
- Callaway, J., F. Cronin, J. Currie, J. Tawil. 1982. An Analysis of Methods and Models for Assessing the Direct and Indirect Economic Impacts of CO₂-Induced Environmental Changes in the Agricultural Sector of the U.S.

- Economy. Richland WA, Pacific Northwest Laboratory, PNL-4384.
- Carraro, Carlo and Alessandra Sgobbi. 2008. Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Italy: An Economic Assessment. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Chang, Ching-Cheng. 2002. "The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture." *Agricultural Economics*, 27: 51-64.
- Cleveland, W. 1979. "Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots," *Journal of the American Statistical Association* 74: 829-836.
- Climate Research Unit. Global Temperature Record. 2006. University of East Anglia. <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/infor/warming>>.
- Cline, William R. 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington: Center of Global Development. www.cgdev.org.
- Cucuzza, Giuseppe. 2008. Climate Change Effects and Agricultural Sector. Any Perspective for an European Risk Management Policy? Paper presented at the 109th EAAE Seminar. Viterbo, Italy, November 20-21, 2008.
- Decker, W., V. Jones, R. Achutuni. 1986. The Impact of Climate Change from Increased Atmospheric Carbon Dioxide on American Agriculture. Washington D.C., U.S. Department of Energy, DOE/NBB-0077.
- Deschenes, O. and M. Greenstone. 2007. The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*, 97-1: 354-385.
- Downing, T.E. 1992. "Climate Change and Vulnerable Places: Global Food Security and Country Studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal, and Chile." Research Paper 1, Environmental Change Unit, University of Oxford, Oxford, United Kingdom.
- Engle, R. F., C. W. J. Granger, J. Rice, and A. Weiss. 1986. "Semiparametric Estimates of the Relation Between Weather and Electricity Sales," *Journal of American Statistical Association* 81, 310-320.
- Etsia, Nabil-Balti, et al. 2002. "Economic impacts of climate change on the Tunisian agriculture sector." Workshop on Regional Climate, Water Agriculture: Impacts on and Adaptations of the Agro-ecological systems in Africa. Cape Town, South Africa.

- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N. and van Velhuizen, H. 2005. Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: an Integrated Assessment, 1990 - 2080. *Philosophical Transactions Royal Society: Biological Sciences* 360: 2067-2083.
- Hayfield T. and J. S. Racine. 2006. Nonparametric Kernel Smoothing Methods for Mixed Datatypes. R package version 0.12-1.
- Ichimura, H. 1993. "Semiparametric Least Squares (SLS) and Weighted SLS Estimation of Single-Index Models," *Journal of Econometrics* 58, 71-120.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* 기상청 역. 『기후변화 2007 -종합보고서』. 2008.
- Just, R. E., D. L. Hueth, and A. Schmitz. 1982. *Applied Welfare Economics and Public Policy.* Prentice-Hall Inc.
- Kandlikar M, Risbey J. 2000. Agricultural Impacts of Climate Change: If Adaptation is the Answer, What is the Question? *Climatic Change* 45: 529-539.
- Khatri, Y., S. Solomou, and W. Wu. 1998. "Weather and Fluctuations in Agricultural Output, 1867-1913," *Research in Economic History* 18: 83-102.
- Kumar, K.S.Kavi, and Jyoti Parikh. 1998. "Climate change impacts on Indian agriculture: The Ricardian Approach." World Bank Technical Paper 402. Washington, D.C.
- Kurukulasuriya, Pradeep and Shane Rosenthal. 2003. *Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations.* The World Bank. Environment Department.
- Lal, R. et al, eds. 2005. *Climate Change and Global Food Security.* Taylor & Francis.
- Lewandrowski, J. and D. Schimmelpfennig. 1999. "Economic Implications of Climate Change for U.S. Agriculture: Assessing Recent Evidence." *Land Economics* 75-1: 39-57.
- Mendelsohn, R. W. D. Nordhaus, and D. Shaw. 1994. "The Impact of Grobal Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis." *American Economic Review*, 84(4): pp. 753-771.

- Mendelsohn, R. and W. D. Nordhaus. 1996. The Impact of Global Warming on Agriculture: Reply." *American Economic Review*, 86(5): 1312-1315.
- Mendelsohn, R. and E. Massetti. 2008. The Impact of Climate Change on US Agriculture. unpublished paper. Yale University.
- Pagan, A. and A. Ullah. 1999. *Nonparametric Econometrics*, Cambridge University Press.
- Powell, J. L., J. H. Stock, and T. M. Stoker. 1989. "Semiparametric Estimation of Index Coefficients." *Econometrica* 57, 1403-1430.
- Quiggin, J. and J.K. Horowitz. 1999. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis - A Comment." *American Economic Review*, 89(4): 1044-1045.
- Rozenzweig, C., M. L. Parry. 1994. "Potential Impact of Climate Change on World Food Supply." *Nature*, 367(6459), pp. 133-138.
- Ruppert, D., M. P. Wand and R. J. Carroll. 2003. *Semiparametric Regression*
- Sanghi A., Robert Mendelsohn, and Dinar A. 1998. "The climate sensitivity of Indian agriculture." World Bank Technical Paper 402. Washington, D.C.
- Seshu and Cady. 1984. "Response of Rice to Solar Radiation and Temperature Estimated from International Yield Trials." *Crop Science* 24:649-654.
- Solomou, S. and W. Wu. 1999. "Weather Effects on European Agricultural Output, 1850-1913," *European Review of Economic History* 3, 351-373.
- Tubiello, F.N. and G. Fischer. 2007. "Reducing Climate Change Impacts on Agriculture: Global and Regional Effects of Mitigation, 2000-2080." *Technological Forecasting & Social Change* 74: 1030-1056.
- Wang, X. and D. L. Mauzerall, 2004. Characterizing Distributions of Surface Ozone and Its Impact on Grain Production in China, Japan and South Korea: 1990 and 2020, *Atmospheric Environment*, 38: 4383-4402.
- Wang, J. et al. 2008. The Impact of Climate Change on China's Agriculture. Unpublished paper.
- Zilberman, D., et al. 2004. "The Economics of Climate Change in Agriculture." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9: 365-382.

연구보고 R565

기후변화에 따른 농업부문의 영향분석(1/2차연도)

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25.)

인 쇄 2008. 12.

발 행 2008. 12.

발행인 오세익

발행처 한국농촌경제연구원

130-710 서울특별시 동대문구 회기동 4-102

전화 02-3299-4000 <http://www.krei.re.kr>

인쇄처 크리커뮤니케이션

전화 02-2273-1775 cree1775@hanmail.net

ISBN 978-89-6013-093-7 93520

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.
무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.