

경제·인문사회연구회 미래사회협동연구총서

기후변화·녹색성장 종합연구

1. 협동연구총서

협동연구총서 일련번호	연구보고서명	연구기관
09-06-36	기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략	한국농촌경제연구원 국립식량과학원

2. 참여연구진

	연구기관	연구책임자	참여연구진
주관 연구 기관	한국농촌경제연구원	김창길 연구위원 (총괄책임자)	이상민 연구위원 정학균 전문연구원 장정경 초청연구원
협력 연구 기관	국립식량과학원		이충근 연구사

한국농촌경제연구원

연구 담당

김 창 길	연 구 위 원	연구총괄, 영향분석 종합 및 전략수립
이 상 민	연 구 위 원	기후변화 적응의 의사결정분석
정 학 균	진 문 연 구 원	기상요소 영향력 분석 및 외국사례
장 정 경	초 청 연 구 원	적응 인벤토리 구축 및 설문조사
이 충 근	국립식량과학원 연구사	적응수단의 기상요소 영향력 분석

머 리 말

기후변화는 미래 사회의 변화를 주도할 메가트렌드로 세계 곳곳에서 피부로 실감할 정도로 나타나고 있다. 우리나라의 지난 100년간 기온이 지구 평균 상승 수준보다 훨씬 높은 1.5℃ 상승하여, 농작물 재배적지가 변동하고 병해충 피해가 증가하는 등 농업부문에 상당한 변화가 나타나고 있다. 국내외적으로 기후변화에 대응하여 온실가스 감축과 흡수를 통한 완화 대책을 추진하고 있으나, 지구온난화는 상당한 기간 동안 지속될 것으로 분석되고 있다. 특히 농업부문의 경우 기후변화에 민감하기 때문에 기후변화 적응대책 마련이 시급하다. 기후변화에 따른 적절한 대응책은 미래농업의 농정방향 설정과 중장기적인 지역농업발전 계획이나 농가 영농계획 수립에 꼭 필요하다.

이 보고서는 「기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략」에 관한 2년간 연구과제의 최종 결과물이다. 여기서는 기후변화 실태와 전망, 기후변화가 농업부문에 미치는 종합적 영향분석, 기후변화에 대한 농업인의 반응 분석, 주요국의 대응 사례, 농업부문의 대응전략과 기후변화 적응 마스터플랜 등을 제시하였다. 아무쪼록 이 연구가 기후변화에 따른 농업부문 대응 전략을 수립하는 데 많은 참고가 되기를 바란다.

ORYZA2000 프로그램을 활용하여 적응수단의 기상요소 영향력 분석을 담당한 농촌진흥청 국립식량과학원의 이충근 박사, 기상재해 발생의 농업부문 영향력 분석을 담당한 경북대학교의 김태균 교수, 연구자문위원으로 이 연구에 많은 도움을 준 고려대학교 조용성 교수와 농림수산식품부 장현경 사무관 등 관계자들에게 감사드린다.

2009. 11.

한국농촌경제연구원장 오 세 익

요 약

우리나라는 지구온난화의 영향으로 지난 100년간 평균기온이 1.5℃ 상승하였으며 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 영향 분석을 기초로 마련된 대응책은 미래농업의 비전과 농정방향 설정을 위해 매우 중요하며, 특히 장기적인 지역농업 발전계획과 농가의 영농계획 수립 등에 유익한 정보를 제공한다.

이 연구는 기후변화 현상에 대한 진단과 농업부문에 미치는 심층적인 영향 분석을 통해 체계적이고 단계적인 대응 전략을 제시하기 위해 추진되었고, 연구목적 달성을 위해 2년 과제로 진행되었다. 1차 연도인 2008년에는 기후변화 실태분석과 전망, 기후변화 관련 농업부문 영향 진단, 주요국의 농업부문 영향분석 사례 검토, 기후변화가 농업경제에 미치는 파급영향을 분석하였다. 2차 연도인 2009년에는 기후변화 파급영향을 종합적으로 분석하고 주요 농산물의 주산지 변동과 농가의 적응 수용력 분석 및 적응대책의 우선순위 평가 등을 기초로 단계별 적응 프로그램 등 기후변화 대응 농업부문 마스터플랜을 제시하였다.

이 보고서는 1차연도와 2차연도 연구의 종합 본으로, 보고서의 구성은 1장 서론에서는 연구의 필요성과 선행연구, 연구방법 등을 제시하였다. 2장에서는 국내외 기후변화의 실태와 전망을 기술하였다. 3장에서는 농업부문의 기후변화 대응 관련 개념과 이론적 접근을 다루었다. 4장에서는 기후변화에 따른 농업생태계, 기후요소의 영향력, 작물생산, 주산지 변동, 경제적 영향 등 종합적 영향을 검토하였다. 5장에서는 기후변화에 대한 농업인의 인지도와 기후변화 대응에 대한 농업인의 태도, 위험 및 불확실성하 농업인의 의사결정을 분석하였다. 6장에서는 일본, EU, 영국, 호주, 중국 등 주요국의 농업부문 기후변화 영향 및 대응사례를 제시하였다. 7장에서는 기

후변화 대응전략과 관련 기본방향, 적응 마스터플랜, 핵심과제 등을 제시하였다. 끝으로 8장에서는 요약과 결론을 제시하였다.

이 연구의 주요 성과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 국립기상연구소에 따르면 과거 30년(1971~2000년 평균치) 대비 평균기온이 2020년 1.5℃, 2050년 3.0℃, 2080년 5.0℃ 상승할 것으로 전망되고 있다. 강수량의 경우 2020년 5%, 2050년 7%, 2080년 15% 증가하는 것으로 전망된다.

둘째, 온난화에 따른 기온상승으로 농작물 재배적지가 이동하고 새로운 병해충이 발생하여 이로 인한 작목전환과 농작물 피해 확산이 우려되고 있다. 특히 갈색여치에 의한 사과, 복숭아, 포도, 콩 등의 피해가 증가하고, 수도작의 경우 줄무늬잎마름병의 피해지역이 북상하면서 전국으로 확대될 우려가 있는 것으로 나타났다.

셋째, 재해종류별 농작물 재해에 영향을 미치는 기후변수들을 분석한 결과, 연평균기온이 상승함에 따라 태풍, 돌풍, 설해에 의한 피해가 증가하고, 기온극차가 증가함에 따라 해일, 돌풍, 폭풍, 설해에 의한 피해가 증가하는 것으로 나타났다. 또, 강수량이 증가함에 따라 호우피해가 증가하며, 우박, 낙뢰, 돌풍에 의한 피해는 감소할 것으로 전망된다. 강수집중도가 증가함에 따라 호우, 태풍에 의한 피해가 증폭하는 것으로 분석되었다.

넷째, 기상요인의 영향력을 알아보기 위해 쌀 재배농가의 2002~2003년과 2006~2007년 쌀 수량 정체의 요인별 기여도를 분석한 결과, 2002~2003년의 단수 정체요인은 기술요인 23.6%, 기상요인 76.4%로 나타났고, 2006~2007년은 기술요인 33.5%, 기상요인 66.5%로 기상요인이 매우 큰 것으로 나타났다. 또, 미곡 단수변동의 요인별 추이를 보면, 보급요인의 기여율은 지속적으로 감소하였으며 재배요인은 정체된 반면 기상요인은 증가하는 추세를 나타내었다.

다섯째, 기후변화 적응수단의 영향력을 알아보기 위해 작물 시뮬레이션 분석을 시도한 결과, 벼 생태형, 질소시비량 및 관수조건에 관계없이 재배시기를 고정하였을 경우 온난화가 진전될수록 쌀 수량은 감소하였다. 그러나 재배시기를 조정할 경우 오히려 쌀 수량은 증가하는 것으로 나타났다.

이는 농업분야의 경우 기후변화 적응을 위한 생산기술을 지속적으로 개발함으로써 위험을 최소화할 수 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

여섯째, 기후변화로 인한 농작물의 주산지 이동을 사과, 복숭아, 포도, 한라봉 등 영년생 작물을 통해 살펴본 결과, 대부분 재배적지가 북상하고 있으며, 복숭아나 포도 등은 재배적지가 전국으로 확대되는 것으로 나타났다. 또한 열대작물의 경우 현재 제주도에서 일부 작목이 재배되고 대부분이 적응실험 단계에 있으나 수년 내 상당한 열대과일 품목이 제주도에서 재배될 수 있는 것으로 분석되었다.

일곱째, 기후변화에 따른 농업부문의 생산성 분석을 위해 쌀, 배추, 무, 사과 네 작목을 대상으로 커널 회귀분석을 적용한 결과, 쌀의 경우 기온과 강수량 등 기후인자 변화의 영향으로 재배기간의 평균기온이 19℃ 이하일 때 1℃의 기온상승은 10a당 수량을 약 24.4kg 증가시키나, 기온이 20℃ 이상일 때 10a당 수량은 6.2kg 정도 감소하는 것으로 분석되었다. 배추와 무 및 사과 등은 품목별·지역별로 생산성에 미치는 영향이 다른 것으로 나타났다.

여덟째, 기후변화가 농가 자산에 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. 한편 강수량 변화시 연간 월평균 110.8mm에서 1mm 증가한다면, 즉, 연간 12mm 증가할 경우, ha당 농지가격은 33~36만원 상승하는 것으로 추정되었다.

아홉째, 기후변화에 대한 농업인의 인지도는 높은 것으로 나타났으며, 대체로 기후변화에 따른 기상이변과 병해충 발생 증가를 체감하는 것으로 조사되었다. 기후변화 대응책에 대한 농업인들의 관심이 높고, 향후 농가 단위 적응방안에 대한 참여의사도 높으나 적응대책에 대한 기술과 지식 부족, 정보 부족, 노동력 부족 등의 장애요인이 있는 것으로 나타났다.

열째, 기후변화에 따른 적응수단 분석을 위해 기대효용 모형을 이용하여 기후변화에 적응수단의 적용 유무에 따른 기대수익의 차이를 추정한 결과, 2011~2040년 기후시나리오를 적용하였을 경우 광주 79만원, 밀양 120만원, 전주 140만원정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 직접적이지는 않지만 기대효용 분석결과를 이용하여 농민들의 적응방법 적용확률을 계산하면

약 65% 정도가 채택할 것으로 예측되었다. 이는 농업인들이 기후변화 적응에 상당한 관심을 갖고 있으며, 적절한 기술에 대한 수용력 또한 높음을 시사하고 있다.

끝으로, 농업부문의 적응수단에 대한 우선순위 평가결과 단기와 중장기 모두 1위 품종개발, 2위 농업용수관리, 3위 생산기술개발 등으로 기술개발과 기반시설관리가 중요한 적응수단으로 평가되었다.

그동안 농업부문의 기후변화 대책 수립과 관련하여 주로 온실가스 완화 대책에 초점을 맞추어 왔으나 온난화의 불가피성과 특히 기후의존적인 농업의 특수성을 고려하여 적응대책에 대한 보다 많은 관심과 정책적 지원이 이루어져야 한다. 특히 농업 분야의 기후변화 대책은 위험을 최소화하고 기회로 활용하기 위한 보다 적극적인 인식전환과 공감대 확산이 필요하다. 이를 위해서는 기후변화 대응 관련 농업인, 공무원, 유관기관 담당자 등을 대상으로 적절한 교육프로그램을 개발하여 운용하도록 해야 한다. 그동안 농업분야의 적응대책은 주로 연구개발 분야에 한정되었으나, 농업인을 대상으로 한 기술보급, 적응 매뉴얼 보급, 교육, 적절한 인센티브 프로그램 개발 등 보다 적극적인 정책 프로그램 개발이 시급하다. 농업인 설문조사 결과에서 나타난 바와 같이 농업인들이 기후변화 적응에 대한 관심이 많고 또한 탄소감축 프로그램 참여의지도 높으므로 나타나 농업인이 현장에서 수용할 수 있는 기술개발, 인력양성, 시설관리, 농가적용 기술 및 경영 등의 맞춤형 프로그램 개발이 요구된다. 또한 농업분야의 적응전략이 실효성 있게 추진되기 위해서는 정부, 농업인, 연구자, 유관기관 관계자 등 관련주체별 적절한 역할분담이 중요하며, 기후변화 적응전략을 종합적으로 기획하고 추진할 수 있는 통합관리시스템 구축이 필요하다.

ABSTRACT

Impacts and Countermeasures of Climate Change in Korean Agriculture

The average temperature in Korea has increased by 1.5°C over the last 100 years, the winter season became shorter with a longer summer season, and the time for the blooming of spring flowers has gotten earlier due to global warming. As results of these changes, agricultural productivity decreased, the cultivation regions for crops moved northward, and damages from wintering harmful insects increased. Scientific diagnosis and evaluation of climate change is very important in setting the vision for future farming and the direction for agricultural policy. It will provide useful information for the establishment of countermeasures such as long-term regional agricultural development plans and farm households' planning.

This study was implemented to make a suggestion for systematic and step-by-step countermeasures to such changes through in-depth analysis of climate change and its impact on agricultural sector. In order to accomplish the purpose of the study, this project was planned as a 2-year task, and in 2008, the first year of the task, the study covered current status analysis and forecast of climate change, diagnosis of agricultural production pursuant to climate change, review of cases for impact analysis in agricultural sector in major countries, and the ripple effect of climate change on agricultural economy. In 2009, the general ripple effect of climate change was analyzed while suggesting a master plan to cope with climate change in agricultural sector. The analysis was based on the evaluation by analysts and experts of the priority for the application of countermeasures in major crop production regions and farmhouses' adaptation and accommodation capabilities against climate change.

This report consists of general reports of the first and second year study. Chapter 1 presented the needs for the study, preceding studies and

method of the study. Chapter 2 described the actual state and outlook for climate change at home and abroad. Chapter 3 covered basic concepts and theoretical approach to cope with climate change in agricultural sector. Chapter 4 reviewed general impacts of climate change on the agricultural ecosystem, including climate factors' influence, shift in major production areas of crops, and economic impacts. Chapter 5 described farmers' awareness of climate change, their attitudes to coping with climate change, and their decision making under the risk and uncertainty. Chapter 6 presented impacts of climate change on agricultural sector in major countries (Japan, EU, England and Australia), and countermeasures in the respective countries. In Chapter 7, a basic direction of countermeasures to climate change is discussed along with the master plan for adaptation and core tasks. Lastly in Chapter 8, the summary and conclusion are presented.

The major findings of this study are summarized as follows:

First, the National Institute of Meteorological Research (NIMR) forecasted that average temperature will be increased by 1.5°C by 2020, 3.0°C by 2050 and 5.0°C by 2080 from the 30-year average of 1971~2000. They also forecasted that precipitation will increase by 5% by 2020, 7% by 2050 and 15% by 2080.

Second, due to the increase in temperature by global warming, the appropriate region for cultivation is moving and new kinds of harmful insects are generated, which are expected to result in a change of crop species and diffusion of damage to crops. Especially apples, peaches, grapes and beans are expected to suffer more damage due to brown grasshoppers, and the area being damaged by rice stripe virus (RSV) will be moved northward while the damage is extended nationwide.

Third, the result of an analysis on climate variables by the kind of disaster which causes damage to crops shows that damages by typhoon, strong blast and snow were increased due to the increase in annual average temperature, while damages by seismic wave, strong blast, storm and snow were increased due to the increase in pole temperature difference. The analysis also showed that as precipitation increased, the damage from heavy rain increased, whereas the damage from hail, thunderbolt and strong blast decreased, and the damage by heavy rain and typhoon increased as the intensity of precipitation increased.

Fourth, the result of an analysis on the factors that have contributed to stagnant yield of rice in the periods of 2002~2003 and 2006~2007 showed that the 'weather' factor had a far more impact on the yield than the 'technology' factor. In the period of 2002~2003, weather had a contributing factor of 76.4% whereas technology had a contributing factor of 23.6%. In the period of 2006~2007, weather had a contributing factor of 66.5 % whereas technology had a contributing factor of 33.5%. In both periods, weather had a significantly bigger impact than technology.

Fifth, a crop simulation analysis was attempted to check the influence of means of adaptation to climate change, and the result of the analysis showed that as global warming progressed, the quantity of rice decreased when cultivation timing was fixed, regardless of the ecotype of rice plant, the quantity of nitrogenous fertilization, and irrigation condition. When cultivation timing was adjusted, the quantity of rice was rather increased. This result implies that, in the case of agricultural sector, risk can be minimized by developing production technologies adapted to climate change.

Sixth, the shifting of major production regions due to climate change was observed. In the case of apples, peaches, grapes and the 'Hallabong' citrus fruit, the cultivated regions moved northward while the cultivated regions for apple and grape expanded nationwide. And in the case of tropical crops, some of which are cultivated on Jeju Island, it was analyzed that a considerable number of tropical fruit items can be cultivated on the island within a number of years.

Seventh, for the analysis of climate change's effect on agricultural productivity, the Kernel regression was applied to four crops: rice, cabbage, radish and apple. The result of the regression analysis showed that, in the case of rice, the rise of temperature by 1 °C increased the production quantity by approximately 24.4kg per 10a when the average temperature during cultivation period is lower than 19 °C due to climate factors. When the average temperature is higher than 20 °C, the production quantity fell by approximately 6.2kg per 10a. In the case of cabbage, radish and apple, the influence of climate factors to productivity varied by item and region.

Eighth, for the analysis of climate change's influence on farming assets, the Ricardian model was applied, and according to the analysis, the

price of farmland per ha decreased by 14.55~19.24 million won when annual average temperature (12.4°C) increased by 1°C. An analysis was conducted to identify climate change's influence on gross agricultural income by applying the Ricardian model, and the result of the analysis showed that the increase of temperature by 1°C reduced gross agricultural income by 2.6~4 million won per ha, which is bigger than the influence on farmland price.

Ninth, the result of a survey showed that farmers' awareness of climate change appeared to be high and they felt unusual changes in weather and an increase in diseases and harmful insects. The survey result also showed that farmers had keen interest in the countermeasures to climate change. They showed a high willingness to participate in the adaptation plan at the farmhouse level in the future, but there were bottlenecks such as lack of techniques and knowledge, insufficient information, and shortage of labor.

Tenth, the Expectation Utility Model was used to analyze the benefits of adopting means of adaptation in response to climate change for the period of 2011~2040. The difference of expected income depending on the application or non-application of means of adaptation was found, and the analysis showed that there will be an income difference of approximately 790 thousand won in Gwangju, 1.2 million won in Milyang and 1.4 million in Jeonju. The probability of farmers applying means of adaptation was calculated based on the model even though it is not a direct way of calculating it. According to the calculation, it is anticipated that approximately 65% of farmers would adopt means of adaptation. What this shows is that farmers are keenly interested in adapting to climate change and that their capability to accommodate appropriate technology is high.

Lastly, the result of an evaluation on the priority of means of adaptation in agricultural sector revealed that development of technology and management of agricultural infrastructure are the most important means of adaptation. It showed improvement of plant breeding to be the first priority, management of water supply for agriculture the second priority, and development of production technology the third priority in all cases of short, medium and long-term planning.

Up to now, the main focus of countermeasures to climate change

in agricultural sector was given to the measures to mitigate greenhouse gas, but in consideration of the inevitability of global warming and especially the weather-dependent characteristics of agriculture, more interest and policy-based support will have to be given to the measures for adaptation to climate change. Countermeasures to climate change in agricultural sector are especially required to actively change the perception on climate change and expand the common understanding to minimize the risk and utilize the risk as an opportunity. In order to accomplish this, appropriate education and training programs will have to be developed and operated for farmers, government officials and people in charge of relevant organizations.

In order to effectively implement the adaptation strategy in agricultural sector, it is important to have roles appropriately assigned to the subjects concerned, such as government officials, farmers, research professionals and people in charge of relevant organizations, and establish an integrated administration system to comprehensively plan and drive countermeasures to climate change.

In order to perform a systematic study of climate change's impact on agriculture and prepare countermeasures, it will be important to organize joint research among relevant sciences - agricultural science, ecology, agricultural engineering, hydrology, meteorology and agricultural economics. To ensure higher reliability of the analysis, an integrated simulation model, which connects the scenario-based forecast with the characteristics of agriculture and socio-economic factors, has to be developed continuously. On top of that, future study will have to perform more concrete and systematic analysis of economic and policy effects expected from utilizing different means of adaptation in agricultural sector.

Researchers: Chang-Gil Kim, Sang-Min Lee, Hak-Kyun Jeong,
Jeong-Kyung Jang and Chung-Keun Lee
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. 연구방법	13
5. 보고서 구성	14

제2장 기후변화 실태와 전망

1. 세계 기후변화 진단과 예측	17
2. 우리나라 기후변화 현황과 전망	24

제3장 농업부문의 기후변화 대응 이론

1. 기후변화 대응의 접근방식	32
2. 기후변화 영향분석의 접근방식	35
3. 기후변화 적응의 접근방법	43

제4장 농업부문의 기후변화 영향 평가

1. 농업생태계에 미치는 영향	52
2. 농산물 생산의 기상요소 영향력 분석	61
3. 적응수단의 작물재배 영향분석	73
4. 주요 농산물의 주산지 변동 분석	79
5. 농업부문의 경제적 영향 분석	101

제5장 기후변화에 대한 농업인의 반응 분석

1. 농업인의 기후변화 인지도	117
------------------------	-----

2. 농업인의 기후변화 대응 태도	122
3. 위험 및 불확실성하 농업인의 의사결정 분석	135
제6장 주요국의 농업부문의 기후변화 영향과 대응 사례	
1. 일본	147
2. EU	154
3. 영국	158
4. 호주	162
5. 중국	168
6. 주요국의 대응사례 시사점	173
제7장 기후변화에 따른 농업부문 대응 전략	
1. 전략수립의 기본방향	175
2. 기후변화 적응전략의 우선순위 결정	178
3. 기후변화 적응의 실천전략	188
제8장 요약 및 결론	209
부록 1: 농업인 설문조사표	215
부록 2: 전문가 AHP 설문조사표	226
부록 3: 적응수단의 작물재배 영향분석 결과	234
부록 4: 연도별 미곡 생산의 변화추이	240
부록 5: 농업부문 기후변화 적응옵션 인벤토리(안)	244
부록 6: 지역별 기후변화 적응관련 연구추진 내역	247
참고 문헌	249

표 차례

제1장

- 표 1- 1. KREI 기후변화대응포럼 운영 실적 12

제2장

- 표 2- 1. 시나리오별 2100년 기온상승 예측 22
 표 2- 2. 여름과 겨울 기간의 변화 25
 표 2- 3. 연대별 여름철과 겨울철의 평균기온 변화 추이 25
 표 2- 4. 연대별 여름철과 겨울철의 강수량 변화 추이 27
 표 2- 5. 한반도의 10년 단위 기상재해 빈도(1904~2000년) 28
 표 2- 6. 한반도 기온과 강수량 변화 예측(A2 시나리오 가정) 29

제3장

- 표 3- 1. 반응 시기 및 책임주체별 적응 사례 46
 표 3- 2. 농업분야의 적응 가능한 적응 인벤토리 47
 표 3- 3. 농업부문 기후변화 적응의 접근방법 48
 표 3- 4. 농업부문 기후변화 적응정책 수립 시 고려사항 50

제4장

- 표 4- 1. 등숙온도 상승에 따른 쌀 품질 저하 58
 표 4- 2. 재해발생 영향분석을 위한 주요 변수의 기초통계량 62
 표 4- 3. 농업부문의 재해영향 분석 모형의 추정결과 63
 표 4- 4. 기후변수와 농작물 재해 63
 표 4- 5. 로지스틱 함수 추정에 이용된 단수의 기초통계량 66
 표 4- 6. '02~'03년과 '06~'07년의 단수 전체에 대한 요인 분해 68

표 4- 7.	'02-'03년과 '06-'07년의 쌀 재배농가의 수량 정체 요인별 기여도	70
표 4- 8.	생육모의 연도에 따른 연평균 기온 및 강수량	75
표 4- 9.	기상시나리오(A1B)에 따른 이산화탄소 농도 변화	75
표 4-10.	벼 생태형 및 생육모의 연도별 수량성 변화	77
표 4-11.	연대별 사과 재배지역의 변화 추이	82
표 4-12.	온난화에 따른 사과 재배지 변화 전망	84
표 4-13.	연대별 복숭아 재배지역의 변화 추이	88
표 4-14.	온난화에 따른 복숭아 재배지역 변화 및 향후 재배지 예측 ..	89
표 4-15.	포도 상위 비중별 주요 재배지역	92
표 4-16.	온난화에 따른 포도 재배지역 변화 및 향후 재배지 예측 ..	93
표 4-17.	온난화에 따른 한라봉 재배지역 변화 및 향후 재배지 예측 ..	95
표 4-18.	품목별 온난화에 따른 향후 주산지 예측	100
표 4-19.	CERES-Rice모형을 이용한 중장기 쌀 생산 예측	107
표 4-20.	리카디언 모형을 이용한 농지가격 분석 결과	113

제5장

표 5- 1.	응답자의 사회경제적 특성	119
표 5- 2.	농가단위 기후변화 적응방안 실천 여부(n=482)	124
표 5- 3.	정부 적응정책 프로그램 참여의사(n=482)	127
표 5- 4.	농작물재해보험 및 풍수해보험 가입여부(n=482)	129
표 5- 5.	광주지역 수량반응함수 추정결과(파종시기 고정)	139
표 5- 6.	광주지역 수량반응함수 추정결과(파종시기 변경)	140
표 5- 7.	광주지역 수량편차함수 추정결과(파종시기 고정)	141
표 5- 8.	광주지역 수량편차함수 추정결과(파종시기 변경)	141
표 5- 9.	광주지역 중만생종 최적화 결과비교	142
표 5-10.	밀양지역 중만생종 최적화 결과비교	143
표 5-11.	전주지역 중만생종 최적화 결과비교	143
표 5-12.	적응비용 지불의사 이단계 설문 결과	144
표 5-13.	적응방법에 대한 지불함수 계측결과	145

표 5-14. 광주지역 중만생종 쌀가격·관수가격 변화에 따른 최적화 결과비교	146
---	-----

제6장

표 6- 1. 일본의 지구온난화 적응 관련 단계적 연구추진 계획	151
표 6- 2. 지구온난화에 따른 품목별 현상 및 적응책	152
표 6- 3. 품목별 지구온난화 적응대책	153
표 6- 4. EU의 기후변화 위험에 따른 주요 적응방안	157
표 6- 5. 농업부문 기후변화 적응의 대안적 목적	159
표 6- 6. 새로운 기회를 활용하고 위험에 대응하기 위한 목표	160
표 6- 7. 영국의 농업부문 적응전략	161
표 6- 8. 호주의 평균기온 상승 전망치(1990년과 비교)	162
표 6- 9. 적응의 세부전략에 필요한 행동	166
표 6-10. 농가단위에서 적용되는 다양한 적응 방안	167
표 6-11. ning사지역 농업인들의 적응조치	172
표 6-12. 주요국 기후변화 대응전략 비교	174

제7장

표 7- 1. 평가기준의 수치통합 결과	182
표 7- 2. 평가기준별 기후변화 적응방안의 절대비교 결과	183
표 7- 3. 기후변화 적응방안의 종합평가 결과(단기)	185
표 7- 4. 기후변화 적응방안의 종합평가 결과(중장기)	186
표 7- 5. 적응방안의 단기와 중장기 우선순위 비교	187
표 7- 6. 농업부문 온난화 적응대책 추진 로드맵	189
표 7- 7. 온난화 대응 단계별 연구개발 로드맵	190
표 7- 8. 권역별 기후변화 적응 기술개발 추진과제	193
표 7- 9. 농업기반시설의 해수면 상승 대비 기술개발 방향	196
표 7-10. 농작물재해보험과 풍수해보험제도 운용 현황	200
표 7-11. 주요 품목별 기후변화 적응대책	205

그림 차례

제1장

- 그림 1- 1. 기후변화 대응전략 수립 연구의 흐름도 16

제2장

- 그림 2- 1. 1961~1990년의 평균기온 대비 기온편차 19
 그림 2- 2. 전세계 평균기온과 변화 추세선 20
 그림 2- 3. 기후변화 예측을 위한 시나리오 구성 개념도 21
 그림 2- 4. 시나리오별 기온상승 추세 예측 23
 그림 2- 5. 우리나라 연평균 기온편차 변화 추이 24
 그림 2- 6. 우리나라 강수량 변화 추세 26
 그림 2- 7. 이상고온과 이상저온의 발생월수 변화(1961~2006년) ... 28
 그림 2- 8. 한반도 지구온난화의 지역별 분포도 전망 30
 그림 2- 9. 기후변화 시나리오의 기온변화 전망 31
 그림 2-10. 기후변화 시나리오의 강수량 변화 전망 31

제3장

- 그림 3- 1. 기후변화 대응의 접근방식 체계 33
 그림 3- 2. 기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 체계 36
 그림 3- 3. 온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향 38
 그림 3- 4. 기후변화 영향에 대한 경제적 모형의 개념 40

제4장

- 그림 4- 1. 식물온도 출현지속기간의 변화 추이 53
 그림 4- 2. 작물온도 출현지속기간의 변화 추이 54
 그림 4- 3. 농업기후지대의 연대별 기온 변화 추이 55

그림 4- 4.	농업기후지대의 연대별 강수량 변화 추이	56
그림 4- 5.	가을보리 재배지대 변화	59
그림 4- 6.	평균기온 변화와 벼 수량 변동 추이(1982~2008년)	64
그림 4- 7.	미곡의 수량능력·보급·평년·농가단수 변화 추이	67
그림 4- 8.	미곡의 단수변동 요인별 기여율 추이	71
그림 4- 9.	미곡 단수의 기상요인 기여율 변화 추이	71
그림 4-10.	연도별 사과 재배면적 변화 추이(1980~2008년)	79
그림 4-11.	온난화로 인한 사과 재배적지 북상도	80
그림 4-12.	사과 주산지 중 재배면적 증가 지역	81
그림 4-13.	사과 신규 재배면적 비중 증가 지역	81
그림 4-14.	연대별 사과 재배지역의 지역별 변동 현황	83
그림 4-15.	‘후지’의 생육기 평균기온 상승 정도별 재배적지 변동 예측	84
그림 4-16.	복숭아 주산지의 재배면적 동향	85
그림 4-17.	복숭아의 기간별 동해위험지역 비교	86
그림 4-18.	복숭아 주산지 중 재배면적 증가 지역	87
그림 4-19.	복숭아 신규 재배면적 비중 증가 지역	87
그림 4-20.	연대별 복숭아 재배지역의 지역별 변동 현황	89
그림 4-21.	경기 및 강원 포도 재배면적 및 재배면적 비중 변화	90
그림 4-22.	포도 주산지 중 재배면적 증가 지역	91
그림 4-23.	포도 신규 재배면적 비중 증가 지역	91
그림 4-24.	연대별 포도 재배지역의 지역별 변동 현황	93
그림 4-25.	한라봉 재배지역 변화	95
그림 4-26.	참다래 재배면적 변화	96
그림 4-27.	기온상승 시 스트로베리 구아바 재배가능지역 변동 예측도	98
그림 4-28.	기온상승 시 트로피컬 구아바 재배가능지역 변동 예측도	98
그림 4-29.	쌀 단수와 기온 및 강수량과의 관계	104
그림 4-30.	경작기간 평균 기온과 쌀 단수와의 관계	105
그림 4-31.	CERES-Rice 모형의 개념도	106
그림 4-32.	기온변화와 작물수량 반응 관계	109

제5장

그림 5- 1.	기후변화에 대한 인지도	120
그림 5- 2.	기후변화에 대한 체감 정도	121
그림 5- 3.	농업인의 기후변화 영향력에 대한 반응	122
그림 5- 4.	기후변화에 대응하기 위한 노력 여부	123
그림 5- 5.	농업인의 기후변화 대응 관련 장애요인	124
그림 5- 6.	정부 및 농업관련기관 기후변화 적응방안 중요도	126
그림 5- 7.	정부정책에 대한 나이 및 학력별 참여의사	127
그림 5- 8.	기후변화에 대응한 관련주체별 중요도	128
그림 5- 9.	기후변화 관련 전문성 개발을 위한 적절한 학습방법 ...	128
그림 5-10.	향후 농작물재해보험 및 풍수해보험 가입의사	130
그림 5-11.	주작목별 향후 농작물재해보험 가입의사	130
그림 5-12.	현재 작물다각화 실천 여부	131
그림 5-13.	신품종 및 난지작물 재배의향과 향후 요구사항	131
그림 5-14.	탄소감축 노력에 동참 의사	132
그림 5-15.	주작목 및 학력별 향후 탄소감축 노력 동참 의사	132
그림 5-16.	무경운농법 시행여부 및 향후 의사	133

제6장

그림 6- 1.	일본의 기온상승에 따른 농축산부문 영향	149
그림 6- 2.	기후변화에 따른 호주 주요 농산물 생산 변화	163

제7장

그림 7- 1.	적응방안 우선순위 선정을 위한 적응방안의 계층구조	179
그림 7- 2.	단기와 중장기의 평가기준 중요도	182
그림 7- 3.	단기와 중장기의 적응방안 순위 비교	187
그림 7- 4.	농업분야 기후변화 적응 통합시스템 구축(안)	207

1. 연구의 필요성

기후변화는 지구공전궤도, 화산활동, 지각활동 등의 자연적인 요인과 온실가스 및 에어로졸 농도증가 등 인위적 요인에 의해 평균상태를 벗어나는 대기의 변화를 의미한다. 지구온도의 평균적인 증가를 의미하는 지구온난화에 따른 기후변화는 미래 사회의 변화를 주도할 메가트렌드로 UN 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 「기후변화에 관한 제4차 보고서」(2007)를 통해 상당히 과학적인 근거가 제시되고 있고, 세계 곳곳에서 피부로 실감할 정도로 징후가 나타나고 있다. 또한 온실가스 배출의 지속적인 증가와 기후시스템 변화에 의한 지구온난화는 피할 수 없다는 인식이 확산되고 있다. 1972년 로마클럽 보고서는 지구온난화를 세계적인 이슈라고 공식적으로 언급하였으며 1985년 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 UN 환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)은 이산화탄소가 온난화의 주범임을 공식적으로 선언하였다. 지구온난화 문제에 효과적으로 대처하기 위해 1988년에 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 구성되어 기후변화에 관한 체계적인 조사와 심층적인 연구를 수행하고 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

나타났다. 특히 이 보고서에서는 지금과 같이 인류가 석유·석탄 등 화석연료에 의존하는 생활을 계속하면 21세기 말(2090~2099)에는 지구의 평균기온이 최대 6.4℃ 추가 상승하고, 해수면은 59cm까지 상승할 것이라고 경고하고 있다. 실제로 지난 100년(1906~2005)동안 지구의 평균기온이 0.74℃ 상승한 것으로 분석되었다.

지구온난화는 기온과 강수량의 평균치 변화로 그치지 않고 기온과 강수량 패턴까지 변화시켜 홍수, 가뭄, 열파의 발생빈도가 증가하고, 지역에 따라 태풍이나 허리케인의 강도가 높아지는 현상을 나타내고 있다. 또한 기후변화의 영향은 해수면이 상승하고 빙하가 감소하며, 식물서식지가 북상하고 각종 동물의 서식환경이 변화하며, 해수 온도가 상승하고, 겨울이 짧아지며 봄이 빨라지는 등 다양한 형태로 세계 곳곳에서 나타나고 있다.

국립기상연구소(2009)의 한반도 기후변화 전망에 따르면 21세기 동안 모든 에너지원이 균형적으로 사용된다고 가정한 상태에서 21세기 말(2071~2100) 우리나라의 평균기온은 20세기 말에 비해 4℃ 상승하고, 해수면은 약 1m 상승할 것으로 예측하고 있다. 우리나라도 지구온난화의 영향으로 지난 100년간 평균기온이 1.5℃(겨울 1.9℃, 여름 0.3℃) 상승하였고 겨울이 짧아지고 여름이 길어지며 봄꽃 개화시기가 빨라진 것으로 분석되었다. 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.

지구온난화의 가속화는 자연생태계는 물론이고 인간의 삶에 큰 영향을 미치고 있어 국내외적으로 핵심 현안으로 부각되고 있다. 온난화 문제의 접근은 원인 물질인 온실가스의 감축과 흡수를 중심으로 하는 완화대책과 기후변화로 인한 피해를 최소화하는 적응대책으로 대별될 수 있다. 그동안 기후변화협약과 교토의정서 등 국제환경협약을 기초로 온실가스 감축의 완화조치(mitigation measures)에 역점을 두고 추진해 왔으나, 농업부문의 경우, 최근 기후변화의 영향 및 취약성(vulnerability) 평가를 기초로 한 적응과 적응능력 강화의 중요성이 강조되고 있다. IPCC는 적극적인 완화조치에 의해 기후변화의 원인물질인 온실가스 배출이 현저히 줄어들더라도

향후 수십 년은 과거 배출한 온실가스로 인해 지구온난화가 지속될 것이므로 적응이 매우 중요하다는 점을 강조하고 있다.

기후변화로 인한 영향과 취약성을 평가하여 적절한 대책을 마련하는데 최소한 5~10년 정도의 시간이 필요하며 한반도의 기후변화 진행속도는 세계평균을 상회하여 빠르게 진행되고 있다. 또한 기후의존적인 농업부문의 경우 기후변화에 민감하기 때문에 기후변화 적응대책 마련이 시급한 과제이다. 기후변화에 따른 농업부문 영향에 관한 과학적인 진단과 평가를 기초로 한 적절한 대응책은 미래농업의 비전과 농정방향 설정을 위해 중요하며, 특히 중장기적인 지역농업발전 계획이나 농가 영농계획 수립에 유익한 정보를 제공하게 될 것이다.

2. 연구목적 및 범위

이 연구는 기후변화 현상에 대한 진단과 농업부문에 미치는 영향 분석을 통해 체계적이고 단계적인 대응전략을 제시하는데 목적이 있다. 구체적으로는 기후변화와 농업생산의 관계를 규명하고, 농업부문의 기후변화 관련 연구결과를 종합하여 농업경제에 미치는 파급영향 분석과 체계적인 대응전략을 제시하고자 한다.

2008년에 수행한 1차연도 연구는 기후변화 실태분석과 전망, 농산물의 생산추세 분석, 기후변화 관련 농업생산 진단, 주요국의 농업부문 분석 사례 검토, 기후변화가 농업경제에 미치는 파급영향을 분석하였다. 2009년에 수행한 2차연도 연구는 기후변화의 파급영향을 종합적으로 분석하고 주요 농산물의 주산지 변동과 농가의 적응 수용력 분석 및 적응대책의 우선순위 평가를 기초로 단계별 적응 프로그램 등 농업부문 기후변화 대응 마스터플랜을 제시하고자 한다.

이 연구의 분석범위와 관련하여 기후변화 실태분석을 위한 기상자료 분석은 자료입수가 가능한 1920~2007년으로 하며, 농산물 주산지 및 생

4 서론

산변동에 대한 분석은 작물통계 입수가 가능한 1960~2007년으로 설정하였다. 분석대상 품목은 경종부문의 경우 곡류(쌀)와 과실류(사과, 복숭아, 포도, 한라봉 등)로 설정하였다. 분석대상 지역은 주산지와 새롭게 부각되는 재배지역을 대상으로 하고, 적응대책 수립시 권역별(경기권, 충청권, 호남권, 영남권, 강원권, 제주권) 특성을 고려하도록 하였다.

기후변화 대책은 영향분석을 기초로 한 적응대책에 초점을 맞추고 온실가스 감축과 흡수를 다루는 완화대책은 크게 다루지 않았다. 다만 최근 IPCC 제4차 평가보고서에서 적응과 완화의 연계방안을 제시하고 있어 이 분야는 연구범위에 포함시켰다.

3. 선행연구 검토

3.1. 국내연구

3.1.1. 기후변화가 농업 기후자원 및 생태환경에 미치는 영향

기후변화가 농업생태환경에 미치는 영향에 대해서는 자연과학 분야에서 많은 연구가 이루어졌다.

이정택 외(1994)는 일본 기후학자인 Kira박사의 기후자원지표인 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.

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 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.

3.1.2. 기후변화와 농업생산의 장기적 추세 분석

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

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.

3.1.3. 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 정체 요인을 규명하였다.

이용선 외 2인(2005)은 자기회귀시차분포모형, 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.

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 분

석결과를 체계적으로 제시하였다.

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

3.1.4. 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 적지변동을 예측하였다. 이 연구에서는 생육기온이 상승함에 따라 남쪽에서 북쪽으로, 해안에서 내륙으로, 평지에서 산지로, 도시 중심에서 외곽으로 재배적지가 이동한다는 분석결과를 제시하였다.

전승중(2007)은 기후 온난화가 감귤의 성장과 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.

3.1.5. 기후변화에 대한 농업부문 적응대책 연구

기후변화에 따른 농업부문의 대응방안에 대한 연구로 윤성호 외 4인(2001)은 2001년 IPCC에서 밝힌 기후변화의 과정과 예측 시나리오를 중심으로 기후변화가 국내외 농업생태계에 미치는 영향을 분석하고 기후변화에 대한 우리나라 농업부문의 대책을 제시하였다.

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

한화진 외 12인(2007)은 기후변화에 따른 영향평가와 적응전략에 관해 3년차 연구과제를 통해 기후변화의 영향과 취약성 평가, 적응조치 및 국가 기후변화 적응체계 구축방안을 제시하였다. 이 연구에서는 수자원, 생태계, 산업, 보건, 해양·수산 등 다양한 분야를 다루고 있고, 농업부문은 생태계에서 다루고 있고, 작물기후통합모형(CERES-Rice)을 이용하여 벼 부분의 취약성 평가를 시도하였다.

김연중, 이웅연, 김진년(2008)은 기후변화에 따른 강원도 화천군의 경종 및 과수부문에 미치는 과급영향 계측을 기초로 작물별 대응책 및 관련주체별 역할분담 방안을 제시하였다.

한화진 외 19인(2008)은 18개 분야별 연구기관이 참여하여 기후변화 적응 현황과 성과평가, 해외 적응 논의동향과 적응사례, 부문별 추진 중장기 발전계획 및 국가 기후변화 적응 마스터플랜을 제시하였다. 이 연구에서는 농업부문의 기후변화 적응프로그램과 관련주체의 역할분담, 향후 적응분야 연구과제 등이 제시되었다.

3.2. 해외연구

3.2.1. 기후변화의 영향분석

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 이하에서 기온상승 시 생산량이 증가하나 어느 수준 이상의 고온에서는 추가적인 기온상승이 오히려 산출을 낮추는 것으로 나타났다.

今井鑄藏(1983)는 기후변화가 작물생산에 미치는 영향 분석을 위해 작황지수 산식을 개발하여 제시하였고, 작황지수와 평년단수를 이용하여 기

상요인이 작물생산에 미치는 정도를 계측하였다. Vining(1989)은 기상의 개별요소인 일사량, 기온, 강수량, 습도, 풍속 등의 농작물과 축산물의 생리학 및 생산에 미치는 영향을 분석하였고, Francisco and Guise(1988)은 강수량이 곡물 단수에 미치는 영향을 분석하였다.

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

3.2.2. 기후변화 적응대책 연구

기후변화에 따른 농업부문 적응대책에 관한 연구는 캐나다와 미국 및 일본에서 활발한 연구가 이루어졌다.

Smit and Skinner(2002)는 기후변화에 대한 농업 적응 옵션들을 구별하고 특색을 나타내는 적응옵션을 유형화하였다. 캐나다 농업의 적응옵션들에 대한 연구를 종합하여 기술개발, 정부 프로그램과 보험, 생산방식, 농장 재정관리 등 네 개의 주요 범주로 구분하여 제시하였다.

Ford and Smit(2004)은 취약성의 개념적 모델을 개발하고 캐나다 북극 지역의 기후 위험과 대응전략을 측정하는 분석적 접근방법을 제시하였다. 사례연구를 통해 현재 위험에의 노출을 상세히 보고하고 미래 위험에의 노출과 적응능력의 특성을 밝혔다.

Burton and Lim(2005)는 기후변화에 직면하여 세계농업의 적응에 관한 전망을 검토하였는데, 적응의 지속적 성공은 변화하는 기술과 세계무역자유화 속에서 국가수준의 행동들에 달려있음을 밝혔다.

農業·生物系特定産業技術研究機構(2006)는 수년동안의 관련분야의 연구결과를 종합하여 지구온난화가 벼, 맥류 및 콩, 채소, 과수, 축산 부문에 미치는 영향에 대한 지역별 진단과 품목별 대응책을 제시하였다.

Finger and Schmid(2007)는 생태 물리적 모형을 이용하여 기후변화의 위험이 고려된 기대효용함수를 이용하여 옥수수과 겨울밀의 작물생산에 미치는 영향을 분석하였다. 특히 이 연구에서는 생산농가의 기후변화 및 가격변화의 위험 반응을 고려한 단수분석도 함께 이루어졌다.

Reid, et al.(2007)은 취약성 접근법(vulnerability approach)을 도입하고, 캐나다 온타리오 농장에 초점을 맞추어 기후변동에 대응한 농업부문의 적응 가능성을 분석하였다. 특히 농장들의 기후위험을 식별하고, 농가들의 반응을 조사한 자료를 분석한 결과, 농가들은 농장 운영에 내·외부적인 많은 요인들이 작용하는 복잡한 의사결정 환경 속에서 농장운영과 의사결정에 영향을 미치는 중요한 요인으로 기후와 기상이 작용하는 것으로 제시하고 있다.

農林水産省 農林水産技術會議(2007)는 각 분야별 연구성과를 기초로 CERES-Rice 모형을 이용한 쌀 수량변화의 예측과 일본 농림수산업 분야의 지구온난화 방지, 완화 및 적응 등 종합적인 전략을 분야별로 제시하였다.

Tarleton and Ramsey(2008)은 캐나다 마니토바 지역 농장을 대상으로 사회적, 정치적, 경제적 상황 하에서 기후변화에 의한 위험과 기회들에 대한 농장 수준의 적응방안을 분석하였다. 특히 농가들은 가뭄과 홍수, 여름과 겨울 기온의 변화, 재배기간의 변화와 연관된 위험에 대하여 많은 적응을 해왔으며, 가장 빈번하게 실용된 것으로 재배형태 및 품종의 변화로 조사되었다.

3.3. 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 대응 전략을 제시하는 종합적인 연구에 초점을 맞추었다.

1년차 연구에서 농업분야의 기후변화에 대한 심층적이고 신뢰성있는 영향분석을 위해 국내외 관련분야 최근 연구자료와 전문가를 최대한 활용하였다. 한반도의 기후변화 중장기 전망분석은 국립기상연구소(권원태 박사, 차유미 연구사)의 도움을 받았다. 기후변화가 국내 쌀 생산에 미치는 중장기 전망은 기상환경과 작물생육을 연계한 CERES(Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis)-Rice 모형을 이용하여 국립농업과학원 심교문 박사에 의해 이루어졌다. 또한 농업분야의 기후변화 영향분석과 관련 비모수 및 준모수 방식을 적용한 농업생산성 변화 분석은 서울대학교 권오상 교수에게 의뢰하여 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.

2년차 연구는 기후변화의 영향분석과 적응대책 수립에 관한 기술적 연구를 종합하는 연구를 수행하였다. 농업분야의 기후변화에 관한 국내외 전문가와의 협동연구를 최대한 활용하여 연구 성과를 극대화하도록 하였다. 기상재해 발생의 농업부문 영향분석은 경북대학교 김태균 교수에게 의뢰하여 진행되었고, 기후변화에 따른 적응수단의 쌀 생산 시뮬레이션 분석은 ORIZA2000 모형을 이용하여 국립식량과학원 이충근 박사에 의해 이루어졌다. 특히 2년차 연구에서는 학제 간 통합연구와 관련분야의 정보교류 확대, 실효성 있는 대응전략 제시 등 효과적인 연구수행을 위해 학계, 유관기관 및 전문가가 참여하는 ‘KREI 농업부문 기후변화대응포럼’을 구성(2009. 4. 23 발족)하여 6차례에 걸쳐 워크숍 및 세미나가 개최되었다<표 1-1>¹

표 1-1. KREI 기후변화대응포럼 운영 실적

구분	일시(장소)	주요내용
1차 포럼	2009. 4. 23 (과천 그레이스호텔)	◦ 기후변화 대응 정책과제(농경연 김창길), 과학기술 연구 추진방향(농과원 이덕배), 자원순환형 축산 시스템 구축(축산연 강희설) 등 세 가지 주제발표 및 토론
2차 포럼	2009. 5. 21 (한국농촌경제연구원)	◦ ORYZA2000을 이용한 기후변화 적응 벼 생육 시뮬레이션 분석 발표(식량과학원 이충근)
3차 포럼	2009. 6. 23 (제주 온난화대응센터)	◦ 농업부문 기후변화 적응대책(농경연 김창길), 농업분야 기후변화 적응연구(온난화대응센터 서형호) 발표 및 토론
4차 포럼	2009. 7. 7 (한국농촌경제연구원)	◦ 농업분야 기후변화 적응을 위한 전자기후도 활용(경희대 윤진일) 발표와 토론
5차 포럼	2009. 9. 3 (한국농촌경제연구원)	◦ 기후변화가 농작물생산에 미치는 효과와 대응책에 대한 발표(숙명여대 조은영)와 토론
6차 포럼	2009. 11. 20 (한국농촌경제연구원)	◦ 비료사용, 토지이용 그리고 기후변화가 아산화질소 배출에 미치는 영향 전망발표(아일랜드 농업과학원 김동길)와 토론

자료: 김창길, 정학균 편저(2009), p.2.

¹ ‘KREI 농업부문 기후변화대응포럼’에서 발표된 자료는 농업분야 기후변화 대응책 모색에 유용한 참고자료로 활용될 수 있도록 별도의 자료집으로 발간하였다(김창길, 정학균 편저, 2009).

4. 연구방법

기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략 수립을 위해 우선 국내외 관련분야의 학술문헌을 검토하였다. 농림수산식품부, 농촌진흥청, 국립농업과학원, 한국환경정책평가연구원, 국립기상연구소 등 유관기관과 연구기관 등에서 이루어진 발간물과 연구보고서를 검토하였다. 이 분야의 해외 연구동향을 파악하기 위해 일본, 미국, EU, 호주, 중국 등의 주요국가와 IPCC, OECD, FAO 등 국제기구의 관련문헌도 검토하였다.

기후변화의 영향분석과 대응전략 개발을 위해 다양한 분석방법론이 적용되었다.

첫째, 기후변화에 대한 농업인의 인지도와 대응전략 관련 적응수단에 대한 농업인의 방안을 사전에 알아보기 위해 농업인 설문조사 방법을 이용하였다.

둘째, 기상재해 발생의 농업부문 영향 분석을 위해 패널자료를 이용한 자기회귀모형인 **Parks Method**를 이용하였다.

셋째, 농산물 생산의 기상요소 영향력 분석을 위해 쌀 단수 추정의 로지스틱 함수 추정을 위한 계량분석기법을 적용하였다.

넷째, 기후변화에 따른 농업생산성 평가를 위해 기후-작물 반응함수를 설정하고 비모수적 커널분석과 준모수 추정방식을 이용하였다.

다섯째, 기후변화에 따른 쌀 생산의 중장기 전망을 위해 기후-작물통합 시뮬레이션 모형인 **CERES-Rice** 모형을 이용하였다.

여섯째, 기후변화 적응수단의 작물재배 영향 분석을 위해 국제미작연구소와 네덜란드 와게닝엔대학에서 공동으로 개발한 **ORYZA2000** 프로그램을 이용하였다.

일곱째, 주요 농산물의 주산지 변동 실태와 전망을 위해 농업총조사 자료(1965, 1970, 1980, 1995, 2000, 2005년 농업센서스 자료)를 이용하여 분석하였고, 지도를 이용하여 변동추이와 전망치를 제시하기 위해 **GIS** 방법론을 이용하였다.

여덟째, 기후변화가 농업경제에 미치는 영향 분석을 위해 농가자산의 속성함수(hedonic function)를 기초로 하는 리카디언 모형(Ricardian Model)을 이용하였다.

아홉째, 기후변화에 따른 위험 및 불확실성 하에서 농업인의 의사결정을 분석하기 위해 기대효용모형 이용과 수량반응함수를 계측하였다.

열째, 기후변화 대응전략의 적응 옵션에 대한 우선순위 결정을 위해 전문가 설문조사를 기초로 효율성, 효과성, 시행가능성, 농업인수용성 등의 평가기준을 고려하는 계층분석의사결정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 방법을 활용하였다.

기후변화 연구성과에 대한 전문가 의견수렴과 정보교류를 위해 기후변화 관련 국제학술대회와 국제기구에서 논문발표와 토론에 적극 참여하였다. 네덜란드 에그몬드에서 개최된(2009.3.10~3.12) 기후변화 대응 국제학술대회에 참가하여 논문발표와 토론에 참여하였다. 또한 프랑스 파리에서 개최된(2009.7.1~7.3) OECD 농업환경정책위원회 제28차 합동작업반(JWP) 회의에서 우리나라의 기후변화에 따른 농업부문 영향과 적응대책에 대해서 발표하고 회원국의 의견을 반영하였다. 이 밖에도 일본 나고야대학에서 개최된(2009.9.14~9.15) 자원관리 R'09 트윈월드대회에 참가하여 농업부문 기후변화 대응 완화·적응전략에 대해 발표하였다.

5. 보고서 구성

기후변화에 따른 농업부문의 영향분석과 대응전략은 2년차 과제로 1년차 연구는 주로 기후변화 영향분석에 초점을 맞추었고, 2년차 연구는 영향분석에 대한 보완, 농업부문 적응정책 목록화, 대응전략 개발 등이 주로 이루어졌다<그림 1-1>.

보고서는 2년차 연구결과를 담은 종합보고서로 구성하였다. 1년차 연구에서 수행된 기후변화 영향분석에 관한 핵심내용도 2년차 보고서에 포함시

켜 연구보고서 내용은 8개의 장으로 구성하였다.

먼저 제1장 서론에서는 연구의 필요성, 연구목적과 범위, 선행연구 검토, 연구방법 등을 제시하였다.

제2장에서는 기후변화 실태와 전망을 다루는 내용으로 IPCC 기후변화 전망자료를 이용하여 세계 기후변화를 진단하고 예측하였다. 또한 국립기상연구소, 국립농업과학원, 한국환경정책평가연구원의 기후변화 분석 자료를 이용하여 우리나라의 기후변화 실태 진단과 전망을 담고 있다.

제3장에서는 농업부문의 기후변화 대응 관련 기본개념과 분석 이론을 체계화하여 담고 있다. 기후변화 대응의 접근방식으로 완화방식과 적응방식의 기본적인 틀을 제시하였고, 기후변화 영향분석의 이론을 정리하여 제시하였다. 또한 기후변화의 적용과 적응능력의 개념, 기후변화의 적응 유형과 접근방식도 간략하게 제시하였다.

제4장에서는 농업부문의 기후변화 영향 분석과 관련 농업생태계에 미치는 영향, 농업생산의 기후변화 영향력 분석, 적응수단의 작물재배 영향 분석, 주요 농산물의 주산지 변동분석, 농업부문의 경제적 영향 분석 등 영향 분석 결과와 관련 분야의 분석내용을 다루었다.

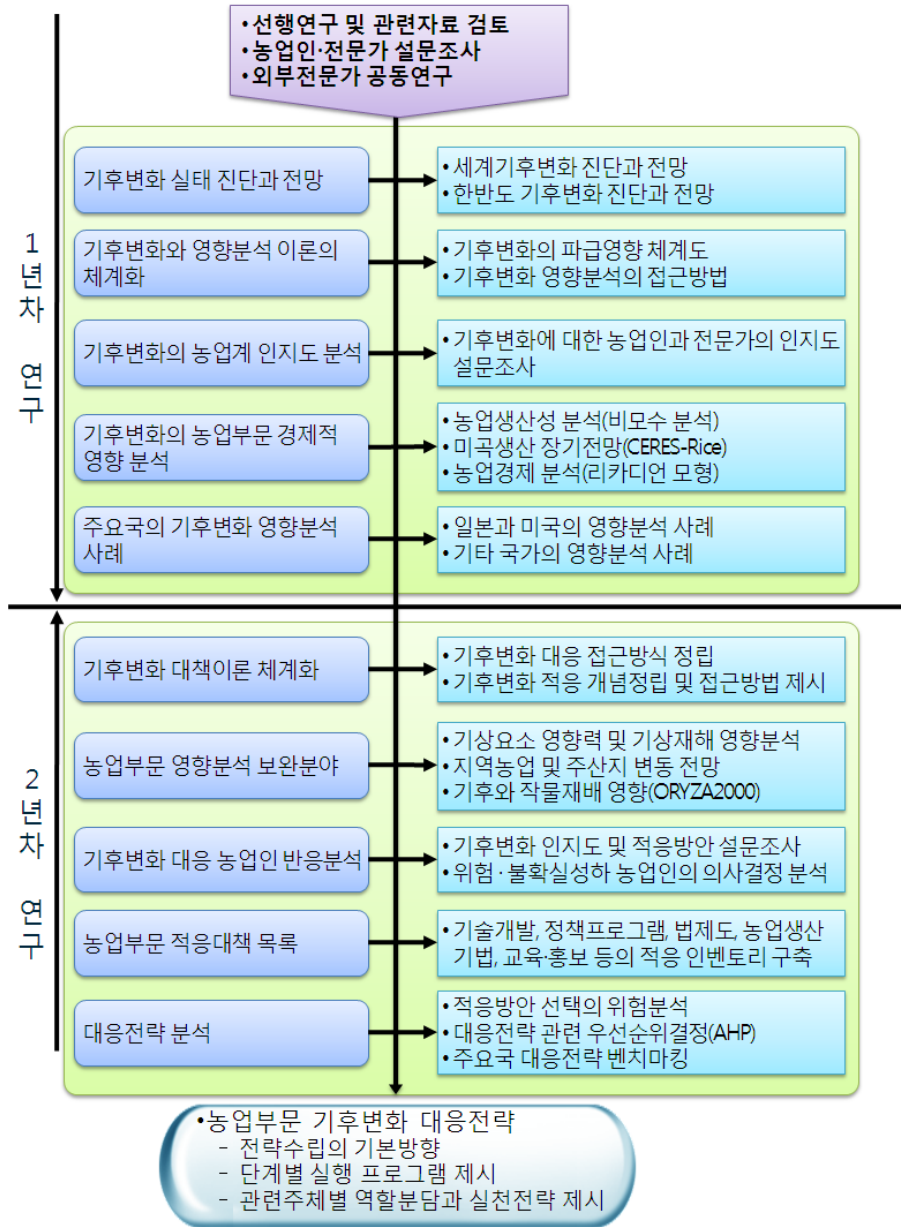
제5장에서는 기후변화에 대한 농업인의 반응분석과 관련 농업인의 기후변화 인지도, 농업인의 기후변화 대응에 대한 태도 등에 대해 설문조사 결과를 제시하였다. 또한 기대효용모형을 이용하여 위험 및 불확실성하 농업인의 의사결정 분석결과를 제시하였다.

제6장에서는 주요국의 농업부문 기후변화 영향과 대응사례로 일본, EU, 영국, 호주, 중국 등을 중심으로 제시하였다.

제7장에서는 기후변화에 따른 농업부문 대응전략을 다루는 내용으로 기본방향과 기후변화 적응전략 제시, 기후변화 적응 마스터플랜과 전략실천을 위한 핵심과제를 담고 있다.

끝으로 제8장에서는 요약 및 결론을 제시하였다. 아울러 연구의 한계점을 간단하게 제시하였다.

그림 1-1. 기후변화 대응전략 수립 연구의 흐름도



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 국립기상연구소와 농촌진흥청의 기온과 강수량 및 이상기상에 대한 분석 자료를 이용하여 진단하였다. 2100년까지의 기온 및 강수량에 대한 장기 예측은 국립기상연구소의 A2시나리오와 A1B 시나리오를 상정한 전망치 결과를 이용하여 제시하였다.

1. 세계 기후변화 진단과 예측

1.1. 지구온난화 현황

기후는 장기간에 걸친 특정지역의 대기상태를 지칭하며, 기후변화란 자연적인 요인과 인위적인 요인에 의해 기후계가 점차 변화하는 것을 의미한다. 기후변화는 대기권, 수권, 생물권, 설빙권, 지권 등 기후시스템을 구성하는 각 요소의 변화 또는 요소간의 복잡한 상호작용에 의해 발생한다. 기

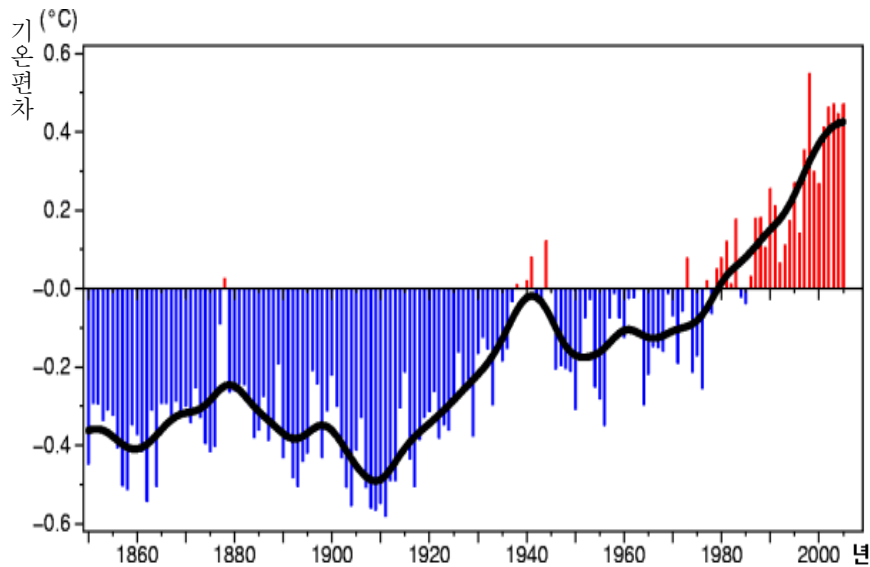
후변화를 일으키는 원인은 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있다. 자연적 요인에는 태양활동의 변화, 화산분출, 해수온도와 빙설분포, 편서풍 파동이나 대기 파동 등을 들 수 있다. 인위적 요인으로는 공업이나 농업 등의 생산 활동에 의한 이산화탄소 배출, 산림파괴, 산성비, 프레온가스 등에 의한 오존층 파괴 등이 있으며, 온실가스 증가에 의한 지구온난화(global warming)가 대표적이라 할 수 있다(국가과학기술자문회의, 2007).

지구온난화는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등이 발생시키는 온실효과에 의한 지구온도의 평균적인 상승을 의미한다.² 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℃ 높은 것으로 분석되었다<그림 2-1>. 또한 그림에서 제시된 바와 같이 1850년 이래 가장 더웠던 12년 중 11년이 최근 12년 내에 이루어진 것으로 기록되었다.

² 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



자료: Climate Research Unit(2006).

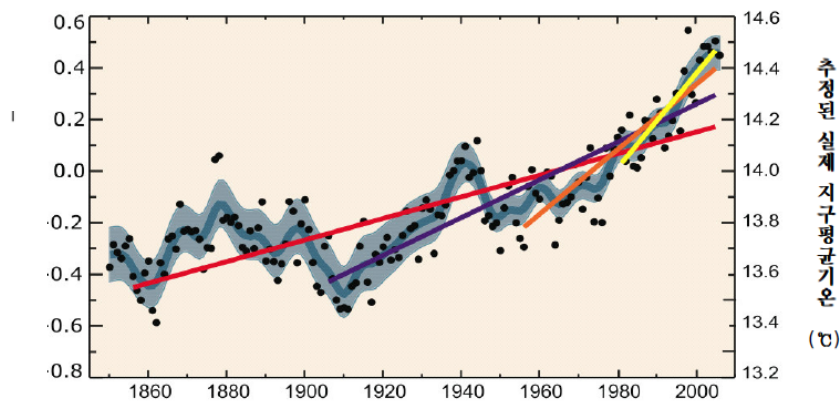
지구온난화에 대한 체계적이고 신뢰성 있는 진단을 위해 기후변화에 관한 과학적인 분석 작업이 1990년 이후 IPCC에 의해 주기적으로 이루어지고 있다. IPCC 기후변화 평가보고서는 지금까지 1차(1990), 2차(1995), 3차(2001) 보고서가 출간되었고, 2007년 4월에 제4차 평가보고서의 제1 작업그룹(자연과학적 근거), 제2 작업그룹(영향·적응·취약성), 제3 작업그룹(완화 대책)의 보고서가 발표되었다(IPCC, 2007).³

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.

³ IPCC는 1988년 설립된 국제기구이며, 2007년 4월에 발간된 제4차 평가보고서는 약 6년간에 걸쳐 전세계 2,500명의 과학자가 참여하였고, 130여 개 국가가 이 보고서의 타당성을 인정하였다(국가과학기술자문회의, 2007).

이에 따라 지난 100년간(1906~2005) 전세계 평균기온은 0.74℃(0.56~0.92℃) 상승한 것으로 추정되고 있다<그림 2-2>. 특히 20세기 후반의 북반구 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.⁴

그림 2-2. 전세계 평균기온과 변화 추세선



자료: IPCC(2007).

지구온난화가 지속되면서 북극과 남극의 기온상승으로 빙하의 감소 속도가 빨라지고 극지방 호수의 파빙기간도 감소하여 해수면의 수위가 크게 상승하는 것으로 나타나고 있다. 또한 지구온난화는 홍수와 가뭄 및 열파 등 극한 기상현상을 발생시켜 세계 여러 곳에서 자연재해가 크게 증가하고 있다(기상청, 2008b).⁵

⁴ 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.

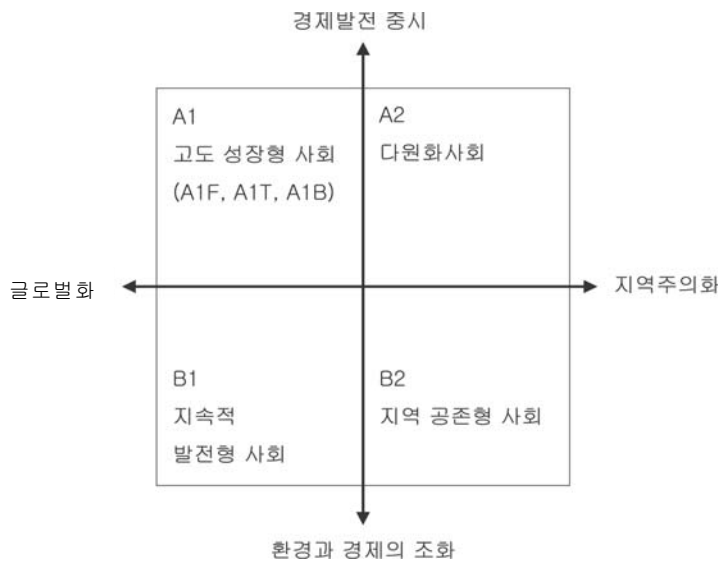
⁵ 지구온난화에 의한 자연재해로 1995년 중국 홍수, 1997년 라인강 홍수, 2000년 동유럽 홍수, 2000년 모잠비크와 유럽 홍수, 2004년 방글라데시 홍수 등을 들 수 있다.

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 증시되는 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 세계온도상승 폭에 대해서는 1980~1999년에 비해 21세기 말(2090~2099)의 평균기온이 1.1~6.4℃ 상승할 것으로 예측되고 있다. 또한 해수면은 열팽창과 육지빙하의 손실로 18~59cm 상승할 것으로 전망되고 있다<표 2-1>.

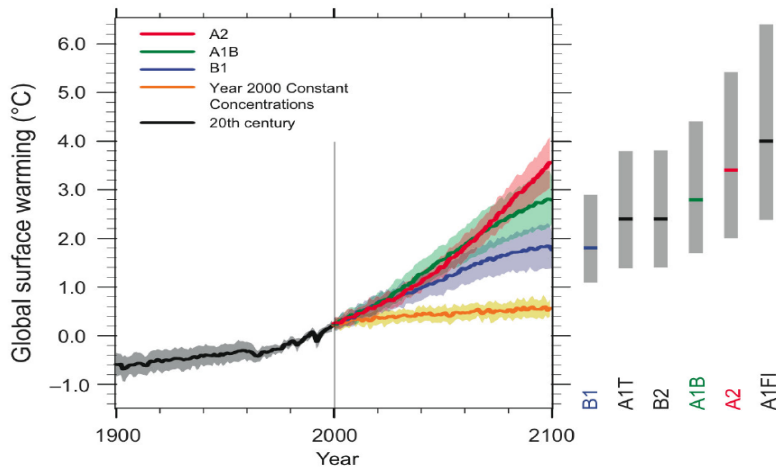
표 2-1. 시나리오별 2100년 기온상승 예측

시나리오	온도변화(℃)		해수면상승(cm)
	최적추정치	예상범위	
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℃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 2~3°C인 경우 대부분의 지역에서 피해가 발생하고 평가된 동식물 종의 약 20~30% 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.

온난화는 대체로 부정적인 영향을 미치나, 정도의 차이에 따라 긍정적인 영향을 미칠 수도 있는 것으로 제시되고 있다. 긍정적인 효과로 이산화탄소의 농도가 높아지면 광합성 활동이 증가하여 마치 비료 살포에 의한 것처럼 작물생육이나 수량을 증대시키는 효과가 있으며, 이를 ‘이산화탄소 시비효과(CO₂ fertilization effect)’라고 한다. 현재보다 CO₂농도가 200ppm 정도 증가하는 경우 소맥과 대두 등의 농작물에서 약 10~15%의 수량증가 효과가 있다는 결과가 보고된 바 있다(上路雅子 外2人, 2005).

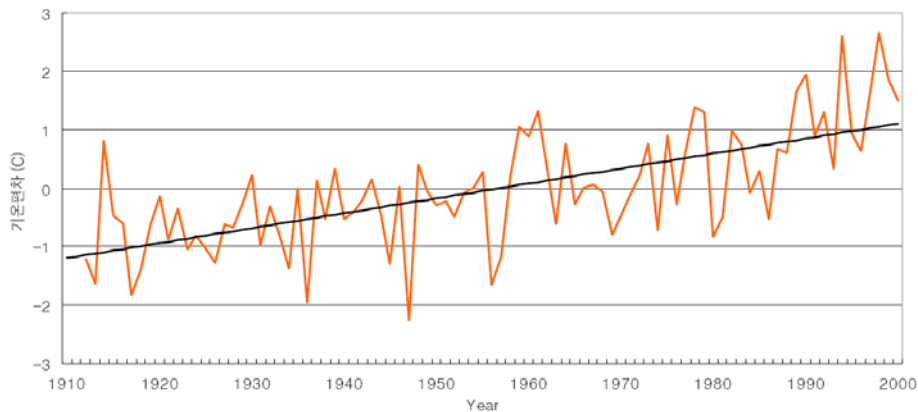
2. 우리나라 기후변화 현황과 전망

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℃이나 지역에 따라 편차가 커 대관령의 6.4℃부터 서귀포의 16.2℃까지 폭넓게 분포하고 있다. 연평균 기온의 경우 지역차가 큰 편이나 산악지대를 제외하면 대체로 10~16℃ 내외이다. <그림 2-5>에 제시된 바와 같이 우리나라에 근대적 기상관측이 시작된 이래, 1904~2000년까지 관측된 기온자료에 대한 분석결과 평균기온은 1.5℃ 상승하여 전세계의 기온상승(0.74±0.18℃)보다 높은 수준이다. 기온상승의 원인으로는 지구온난화와 도시화이며, 도시화 효과가 20~30% 정도로 분석되고 있다(권원태, 2005; 국립기상연구소, 2006).

그림 2-5. 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

구 분	기 간	1920년 대비 1990년 증감
여름	1920년대	06. 03 ~ 09. 21
	1990년대	05. 24 ~ 09. 27
겨울	1920년대	11. 21 ~ 03. 18
	1990년대	11. 29 ~ 03. 08

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℃이 었으나, 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: ℃

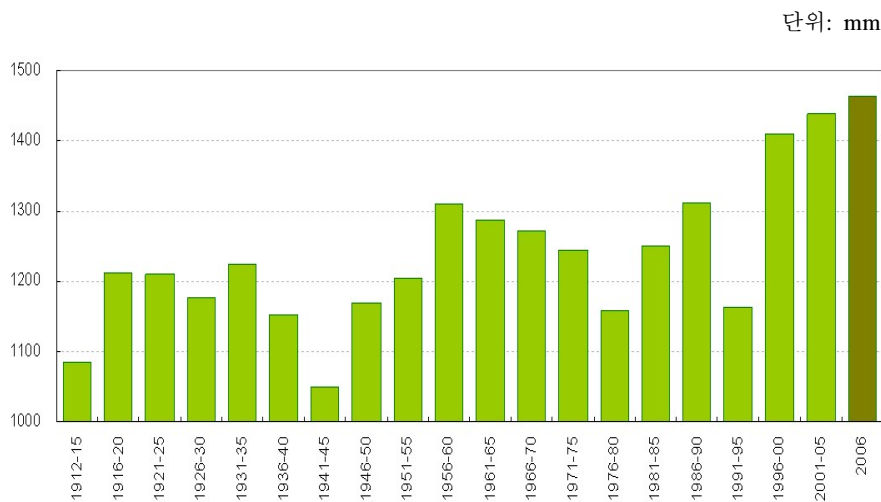
구분	1960년대 (A)	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대 (B)	A/B 변화
여름철	23.7	23.5	23.8	23.9	24.0	1.01
겨울철	1.3	2.2	1.9	3.1	3.2	2.46

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 2-6>.

그림 2-6. 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 강수량이 80mm 이상인 호우발생 일수도 1970년대에는 연간 2.1일에서 2000년대에는 3.0일로 1.43배나 증가하고 있다. 이 밖에도 겨울철 강수량 부족에 따른 겨울철과 봄철 용수부족 현상도 심화되는 것으로 나타나고 있다.

표 2-4. 연대별 여름철과 겨울철의 강수량 변화 추이

단위: mm

구 분	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).

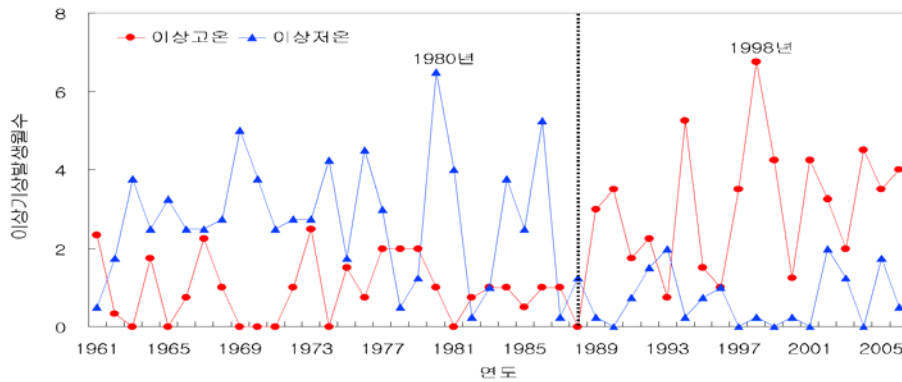
2.13. 이상기상 발생현황

세계기상기구는 이상기상을 25년에 1회 정도밖에 나타나지 않는 특이한 기상현상으로 정의하고 있다. 지난 46년간(1961~2006년) 수원, 강릉, 대구, 광주 등 4개 지역에서 이상기상이 발생하는 월수(月數)를 보면, 1988년을 기점으로 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 1988년 이전에는 이상저온 발생이 상대적으로 많았으나 그 이후에는 이상고온의 발생이 훨씬 많은 것으로 조사되었다. 저온이 심했던 1980년에 이상저온이 발생하는 월수는 6.5로 가장 많았고, 1998년에 이상고온 발생월수가 6.8로 가장 많았던 것으로 조사되고 있다<그림 2-7>.

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

그림 2-7. 이상고온과 이상저온의 발생월수 변화(1961~2006년)



자료: 심교문 외 5인(2008), p.47.

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

기 간	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℃ 상승하고, 강수량은 7% 증가하며, 2080년에는 과거 30년 평년기온에 비해 5℃ 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)

구 분	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.⁶

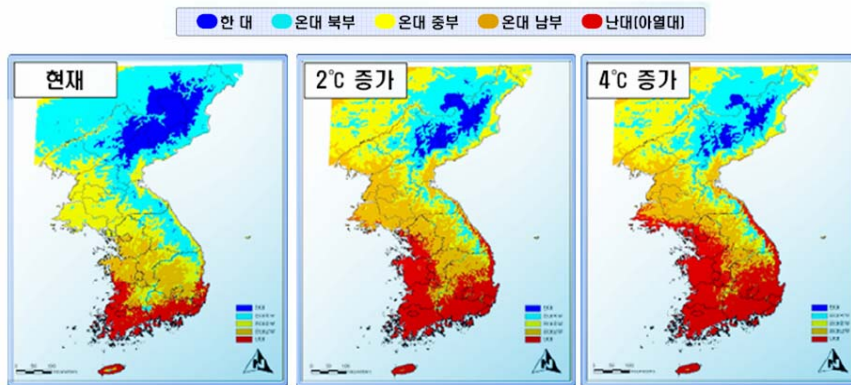
⁶ 국립기상연구소는 IPCC의 시나리오를 기초로 독일 막스플랑크 연구소에서 개발한 대기-해양결합모형(ECHO-G)과 대기대순환모형(ECHAM4)을 이용하여 21세기 말(2071~2100) 한반도 기후변화 예측 결과를 산출하였다(국립기상연구소, 2009).

이와 같은 기후변화가 이루어지는 경우 호우 빈도와 열대야 횟수가 크게 증가할 것으로 전망되고 있다(기상청, 2008b; 국립기상연구소 2009).

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

기온상승이 이루어지면 지역별로 상당한 기후대의 변화가 있을 것으로 전망된다<그림 2-8>. 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).

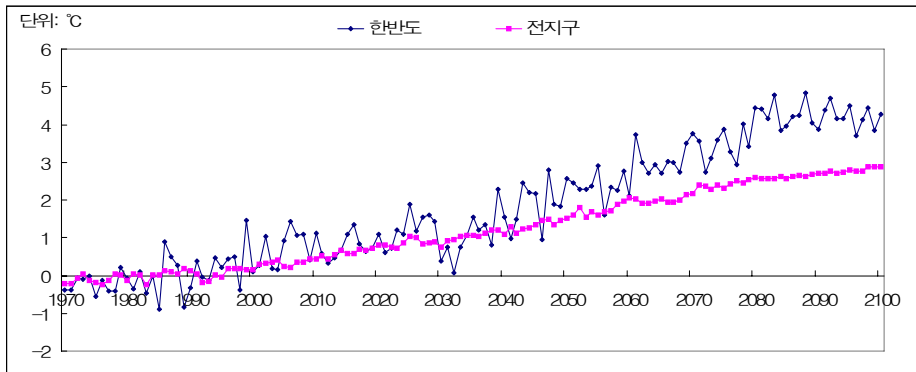
그림 2-8. 한반도 지구온난화의 지역별 분포도 전망



자료: 국립기상연구소(2009).

국립기상연구소에서 IPCC 연구결과를 기초로 에너지원의 균형을 중시하는 시나리오(A1B)를 상정하여 전지구의 기후의 경우 1860~2100년, 한반도 기후전망자료는 1971~2100년의 중장기 전망치를 제시하였다. <그림 2-9>에서 보는 바와 같이 평균기온의 경우 한반도의 기후가 세계평균보다 1.5~2°C 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).

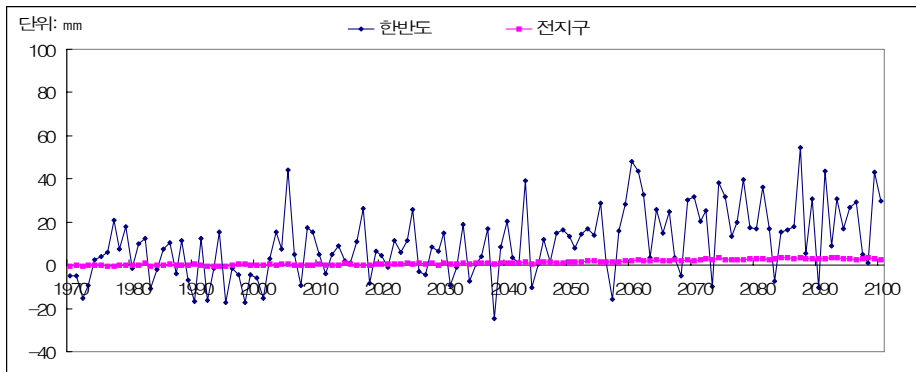
그림 2-9. 기후변화 시나리오의 기온변화 전망



자료: 국립기상연구소(2008).

한편 기후변화 시나리오(A1B)의 강수량 변화 전망치를 보면 세계 전망치보다 연도별로 큰 편차를 나타내는 것으로 전망되고 있다<그림 2-10>. 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 2-10. 기후변화 시나리오의 강수량 변화 전망



자료: 국립기상연구소(2008).

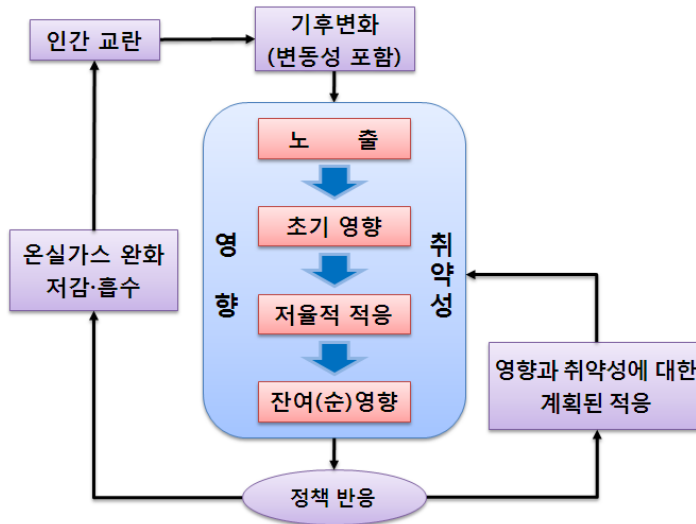
농업부문의 기후변화 대응책을 모색하기 위해서 여러 가지 이론과 방법론이 적용되고 있다. 제3장에서는 기후변화 대응과 관련하여 온실가스의 감축과 흡수를 다루는 완화방식과 온난화의 불가피성을 인정하고 위험을 최소화하는 적응방식 등 기본적인 접근시각을 제시하였다. 농업부문의 기후변화에 따른 대응책 마련을 위해서는 영향분석이 필요하다. 영향분석과 관련하여 기후변화가 이루어지는 경우 파급영향의 흐름에 대한 개념적 접근과 적용될 수 있는 방법론을 제시하였다. 기후변화 영향분석 방법론으로 생태기후적 이론에 기초를 둔 기후-작물을 통합하는 통합평가모형, 경제적 분석모형으로 속성가격 모형, 프로그래밍 시뮬레이션 모형 등을 검토하였다. 농업부문 기후변화의 적응방안 모색, 관련 적응과 적응능력의 개념, 적응의 유형과 접근방식 등 개념적·이론적인 내용을 제시하였다.

1. 기후변화 대응의 접근방식

기후변화의 원인은 대기 중 온실가스와 에어러솔, 토지피복도 및 태양복사량의 변화에 따른 지구기후시스템의 에너지 균형의 변화로부터 비롯된 것으로 알려지고 있다. 특히 지구온난화는 인간의 활동으로부터 비롯되었다는 것이 거의 확실하다는(very likely) 과학적 분석결과가 제시되었다(IPCC, 2007). 지구온난화로 대표되는 기후변화의 위협과 도전에 직면한

농업부문의 대응책은 온실가스의 배출과 흡수를 통해 기후변화 자체의 크기와 비율을 줄이는 완화방식(mitigation method)과 온난화의 불가피성을 인정하고 기후변화의 영향을 파악하고 취약한 분야를 확인하여 피해를 최소화하는 적응방식(adaptation method)으로 대별될 수 있다<그림 3-1>.

그림 3-1. 기후변화 대응의 접근방식 체계



자료: IPCC(2007).

기후변화가 이루어지면 기후시스템(대기권, 수권, 설빙권, 생물권, 지권 등)에 노출되어 초기에 영향을 받게 되고, 자극에 대한 자율적인 적응이 이루어지게 된다. 기후변화의 영향이 크게 미치는 경우 자율적 적응만으로 영향을 감당할 수 없기 때문에 특별한 조치를 필요로 하는 계획된 적응이 수반된다. 계획된 적응 이후에도 기후변화의 영향이 미치는 경우 잔류 영향을 미치게 된다. 기후변화의 적응시스템이 작동하는데 어려움이 있기 때문에 온실가스의 배출과 흡수를 통한 완화조치를 통해 기후변화의 크기를 줄이는 노력이 필요하다. 온실가스 배출을 저감시키는 완화는 기후변화로 인한 다양한 영향들을 회피, 감소 또는 지연시키는데 기여한다. 기후변화의 완화와 적응은 상호 연관성이 크므로, 장기적인 관점에서 완화는 적응

대책에 속한다고 볼 수 있다. 따라서 기후변화 적응은 기후변화 대응에 있어 선택이 아닌 필수적인 수단으로 볼 수 있다.

농업부문의 기후변화 완화방식은 매탄과 아산화질소 등 주요 온실가스 배출을 억제하는 경종부문의 관개조절과 시비량 조절 등 재배방식 개선, 축산부문의 가축분뇨처리 기술, 농경지 토양의 탄소고정 기능을 들 수 있다.⁷ 농업부문의 기후변화의 대응과 관련하여 이 연구에서는 기후변화의 영향분석을 기초로 한 적응방안에 초점을 맞추어 다루고자 한다.

2. 기후변화 영향분석의 접근방식

2.1. 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 안정되어 있던 농업 생태계를 교란시켜 기온, 강수량, 일사량 등 농업기후요소의 변화를 통해 농축산부문과 수문부문에 영향을 미친다.

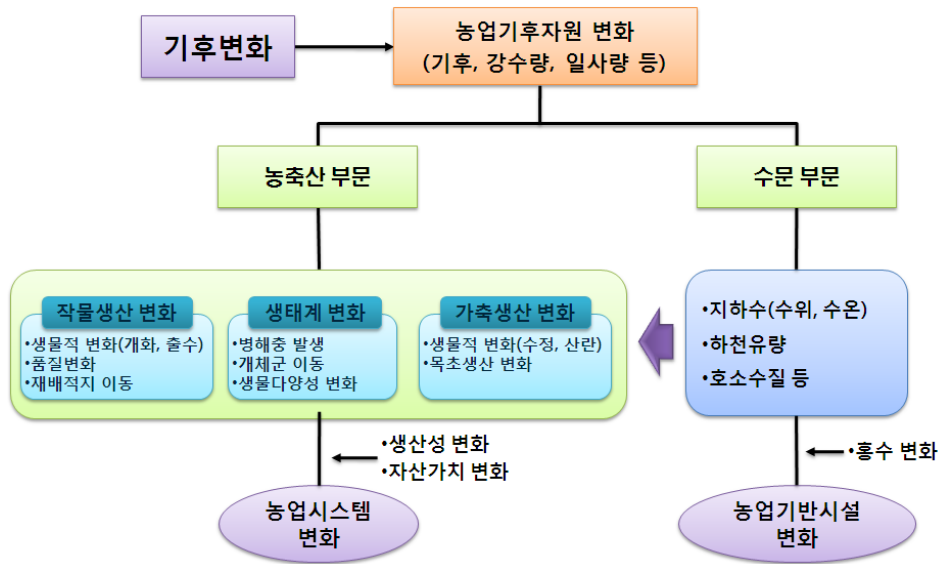
기후변화가 농업부문에 미치는 과급영향에 대한 흐름을 <그림 3-2>과 같이 나타낼 수 있다. 우선 기후변화가 농축산부문에 미치는 영향으로 작물의 개화·출수 등 생물학적 변화와 품질변화, 재배적지 이동 등을 들 수 있다.⁸ 기후변화는 농업생태계에 영향을 미쳐 병해충 발생과 개체군의 이

⁷ 농업부문의 온실가스 배출 감축과 흡수를 중심으로 한 기후변화 완화대책에 관해서는 김창길 외 4인(2007, pp.97-118)에 제시되어 있다.

동 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. 특히 기후변화에 따른 강수의 증가는 유출의 증가로 연결되며, 온도의 상승은 증발산을 증가시켜 유출에는 감소의 요인으로 작용하게 된다. 기후변화에 의한 수자원의 영향을 정량적으로 파악하기 위해서는 대기순환모형(General Circulation Model)을 기초로 확정론적 수문모형을 이용한다.

그림 3-2. 기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 체계



8 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향은 1차적 영향과 2차적 영향으로 구분될 수 있다. 1차적 영향은 온실가스 증가에 따른 대기 조성성분의 변화로 작물 성장 반응의 변화와 농경지 균락 내 에너지와 수분 수지변화를 들 수 있다. 이러한 1차적 영향에 의한 농업기후자원의 변동으로 발생하는 2차적 영향은 재배적지 변동과 농업생태계의 변화, 농경지토양의 이화학적 변화 등을 들 수 있다(나영은 외6인, 2007, p.94).

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

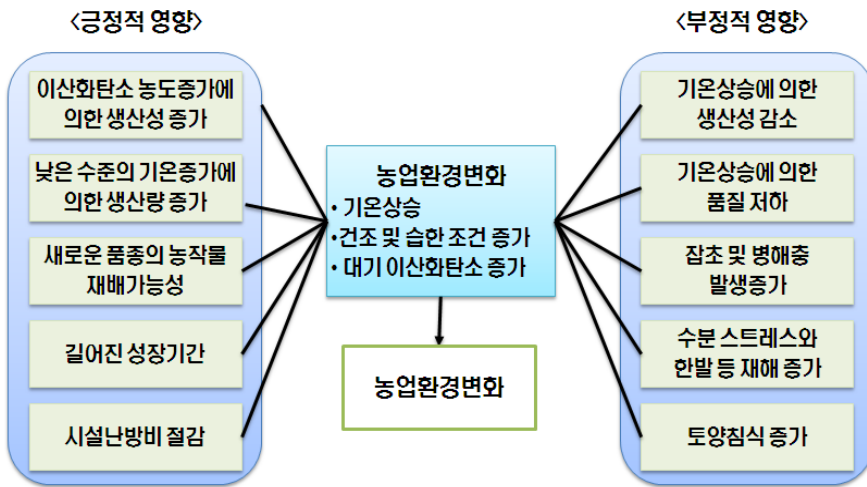
농업부문의 기후변화 영향에 대한 계량적 분석은 주로 실험적이며 횡단면 분석을 중심으로 이루어져 왔다. 여기에서의 실험적 분석은 농경제 시뮬레이션모형(agro-economic simulation models)을 기초로 이루어지며, 기후수준 또는 이산화탄소와 같은 온실가스 관련변수들을 조정하는 통제된 실험과 유사하며, 작물 생산량에 미치는 영향도 추정 가능하다.

농업생태권역분석(agro-ecological zone analysis)은 기후변화에 따른 작물과 농업생태지역에서 발생하는 변화를 추적하는 작물시뮬레이션모형(약칭 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. 따라서 그동안 관련분야의 연구성과를 기초로 개념적으로 긍정적 영향과 부정적 영향으로 나누어 볼 수 있다<그림 3-3>.

지구온난화의 긍정적인 영향으로는 이산화탄소 증가에 따른 시비효과로 작물의 생산성 증가, 새로운 고온성 및 아열대성 작물(망고, 아보카도, 아테모아 등)의 재배 가능지역 확대, 작물재배 기간 증가로 인한 이모작 확

그림 3-3. 온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향



대, 월동작물 저온피해 감소 및 시설재배 농작물의 난방비 절감 등을 들 수 있다.

지구온난화의 부정적인 영향으로는 기온상승으로 생육기간이 단축되어 생기는 작물 수량감소와 품질저하, 특히 과수의 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.

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

지금까지 살펴본 바와 같이 기후변화가 농업부문에 미치는 영향은 긍정적 영향의 기회 측면과 부정적 영향의 위기 측면의 양면성을 보유하고 있어 기회를 살리고 위기를 최소화하는 적응전략 수립은 미래농업의 건전한 발전을 위해 매우 중요한 과제이다.

2.2. 기후변화 영향 분석 이론

2.2.1. 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. CERES-Rice 모형은 기후변화에 따른 작물생산의 중장기 예측모형으로 쌀 생산량 예측에 널리 활용되고 있다(심교문 외 5인, 2008).

기후변화에 따른 작물예측 모형으로 ORYZA2000은 2000년에 벼 생육 모의분석을 위해 네덜란드 와게닝엔대학과 국제미작연구소(IRRI)가 공동으로 개발한 모형으로 작물 및 기후 파라미터가 설정되면 기후변화에 따른 지역별 벼 생산량 예측과 이산화탄소 시비효과 등을 추정할 수 있다.

이 밖에도 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.

2.2.2. 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).



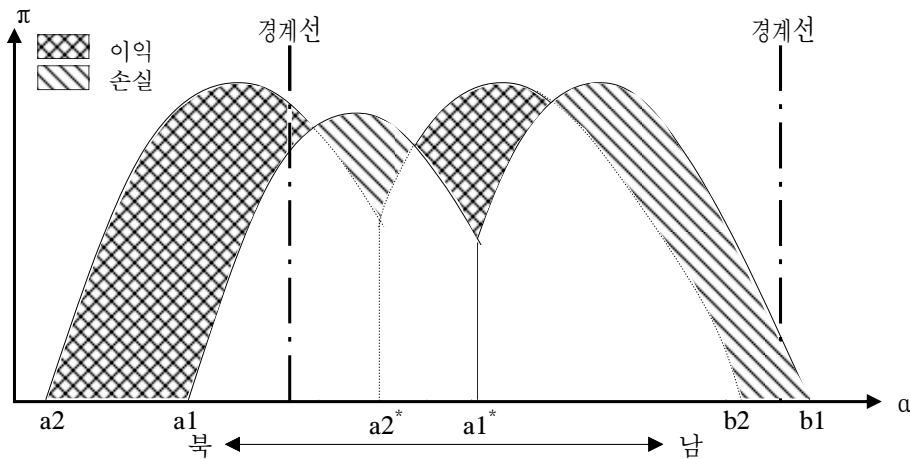
온대성 작물과 한대성 작물이 존재하고, 북반구를 가정하는 기후변화 전후 두 작물의 단위면적당 이익을 그림으로 나타낼 수 있다. <그림 3-4>에서 제시된 바와 같이 a 를 북극에서부터의 거리라고 할 때, 기후변화 이전의 온대성 작물은 $b1 \sim a1^*$, 한대성 작물은 $a1^* \sim a1$, 기후변화 이후 온대성 작물은 $b2 \sim a2^*$, 한대성 작물은 $a2^* \sim a2$ 에서 재배되는 것으로 상정할 수 있다. 이 경우 $b1 \sim b2$ 의 토지는 분명히 사막화될 것이고, $a1 \sim a2$ 의 토지로 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($a_1 \sim a_2 \rightarrow a_1^* \sim a_2^*$).

2.2.3. 경제적 분석 모형의 유형

기후변화가 농업에 미치는 경제적 효과 분석을 위해서는 기후와 작물 간의 관계를 설명하는 변수에 대한 과학적인 분석과 기후와 경제변수 간의 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 실제로 기후변화는 대체로 10년, 20년 등 수십 년 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.⁹

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 모

⁹ 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 분석에 관한 방법론과 모형에 관해서는 Chang(2002), Kurukulasuriya and Rosenthal(2003), Zilberman(2004), Adger(2006) 등에 잘 제시되어 있다.

수적 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 토지가치의 가격 민감성(price sensitivity)을 추정하는 데 이용된다. 기후변화와 토지가치를 연계하여 경제적 영향을 분석하는 속성가격 모형으로 Mendelsohn, Nordhaus, and Shaw(1994)가 개발한 리카디안 모형(Ricardian model)을 들 수 있다.¹⁰

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 변이 지표의 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

¹⁰ 기후변화의 경제적 영향 분석의 접근방식으로 Mendelsohn, Nordhaus, and Shaw(1994)는 작물반응함수와 생산함수 접근방법이 기후변화와 관련한 조정과 적용이 고려되지 않아 비현실적이라고 지적하면서 리카디안 모형을 제시하였다. 리카디안 방법은 토지가치로부터 경제적·기후적·환경적 요인을 측정하기 위한 시도로 전통적인 추정법보다 선호되며, 기후변화에 대한 농민의 효율적인 적용을 자동적으로 고려하게 된다. 그러나 리카디안 모형은 기후변화와 토지수익과의 관계에서 조정비용을 고려하지 못하는 문제점이 지적되고 있다.

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.

3. 기후변화 적응의 접근방법

3.1. 적응과 적응능력의 개념

기후변화를 다루는데 있어서 적응은 다양하게 정의되고 있는데, IPCC는 ‘기후자극과 기후자극의 효과에 대응한 자연과 인간시스템의 조절작용’으로 정의하고 있다. 또한 UNFCCC는 현재와 미래에 예상되는 기후변화로 인해 발생할 가능성이 있는 피해를 줄이기 위한 생태학적, 사회·경제적 시스템의 조절작용으로 지역사회와 생태계가 변화하는 기후조건에 대응하여 취하는 행동으로 보았다.

적응과정을 통해 기후변화의 부정적 위험이 감소되고 긍정적으로 이용할 수 있는 기회를 제공하므로 적응은 기후변화의 영향을 완화시키는데 중요한 역할을 수행한다. 적응에는 기후변화에 의한 피해를 직접적으로 경감하기 위해 실시되는 것과 장래의 적응능력을 높이는 것으로 간접적으로 기후변화 피해의 경감에 이바지하는 것 등이 포함된다.

적응의 실행에는 경제력, 기술, 정보, 인프라, 제도, 형평성 등에 관한 여러 가지 조건이 만족되어야 하며 이들을 적응능력의 구성인자로 지칭하고 있다. 적응은 무상 또는 저가로 이행 가능한 경우도 있으나, 현실적으로 대부분의 효과적인 적응책 실천을 위해서는 어느 정도의 비용이 수반된다.

또한 적응의 실시를 위해서는 이용 가능한 기술이 전제되어야 한다. 적응의 효과적인 실시를 위해서는 적응 이행의 필요성에 대한 인식이 전제되고, 이용 가능한 적응책에 대한 지식 및 적응책 평가에 가장 적절한 것을 선택하여 실천하는 능력도 필요하다.

기후변화의 적응과 관련하여 적응력 또는 적응능력(adaptive capacity)이란 어떤 시스템이 기후변화에 대응하여 스스로를 조절하거나, 잠재 피해를 감소시키고, 기회를 이용하거나 기후변화 결과에 대처하는 잠재능력을 지칭한다(IPCC, 2001). 즉, 적응능력은 효과적으로 적응을 계획하고 실시하는 능력이며 기후변화의 영향에 따른 유해한 결과의 빈도와 정도를 경감시키기 위해 증가하는 위험과 압박에 대해 반응하는 능력을 의미한다. 적응의 실시에는 경제력, 기술, 정보, 인프라, 제도, 형평성 등에 관한 여러 가지 조건이 만족해야 하며, 이들을 적응능력의 구성인자로 지칭한다. 적응능력은 이러한 것들의 구성인자 조합에 의해 얻을 수 있는 것들이지만, 적응이 수행되는 상황 및 직면하는 재해의 특성에 따라 각 구성인자의 상대적인 중요성이 달라진다. 이들 구성인자는 서로 독립적이거나 배타적인 것이 아니며, 상호간의 밀접한 관계를 가지고 있다.

다음으로 취약성(vulnerability)이란 기후변화의 위험으로부터 적응부문을 뺀 부분으로 기후변동성(variability)이나 극단적인 기상현상을 포함하는 기후변화의 악영향을 받기 쉬운 정도, 기후변화의 역효과에 대해 대처할 수 없는 정도를 나타낸다. 이와 같이 취약성은 시스템이 노출된 기후변동의 크기와 속도, 시스템의 민감도와 적응능력의 함수로 볼 수 있다. 여기에서 시스템의 민감도는 기후 교란에 의해 시스템이 받는 영향정도를 의미하며, 즉 시스템이 변화에 순응할 수 있는 정도를 말한다. 적응능력은 기후변화의 영향에 적응할 수 있는 시스템, 지역 또는 사회의 능력을 의미한다. 적응능력의 확충은 기후변화의 불확실성에 대항할 수 있는 실제적인 수단이다. 취약성 평가는 기후변화에 대한 적응정책을 수립하기 위해 반드시 선행되어야 할 단계이다. 취약성 평가를 위해서는 우선 현재 기후의 영향에 대한 평가가 먼저 이루어져야 한다. 영향평가를 통해 어느 시스템이 현재 어떤 부분에서 취약성을 가지는지 파악할 수 있다. 취약성 평가를 위한

고려요인으로 기후변화에 대한 명확한 예측, 취약한 대상 파악 및 원인분석 등 기후변화의 사회경제적 노출에 대한 예측, 예상되는 기후변화에 대한 적응 등을 들 수 있다.

3.2. 농업부문의 적응 유형과 접근방식

3.2.1. 농업부문의 적응 유형과 인벤토리

기후변화에 따른 적응의 유형은 크게 영향을 받는 시스템의 민감도를 줄이는 방식(저수지 저장능력 제고, 내열성 작물재배, 홍수대비 등), 기후변화의 영향에 대한 어떤 시스템의 노출(exposure)을 변경시키는 방식(위험대비투자과 조기경보 활용), 사회적·생태적 시스템의 복원력(resilience)을 증가시키는 방식(자원보존 조치 등) 등으로 나눌 수 있다. 기후변화 적응에 있어서 복원력은 변화와 장애물을 흡수하는 사회나 생물학적 시스템의 능력으로 스스로 조직화하는 능력과 스트레스와 변화에 적응하는 능력을 의미한다. 이러한 복원력은 시스템이 그 기능과 구조를 유지하면서 변화와 스트레스를 견딜 수 있는 양으로 해석될 수 있다.

적응의 유형 구분을 위한 요인으로는 시스템 특성, 의도성, 시점 등을 들 수 있다. 시스템은 크게 자연시스템과 인간시스템으로 대별되며, 의도성 기준에 따라 자생적(autonomous) 적응과 계획된(planned) 적응, 시점에 따라 사전적 적응과 사후적 적응, 기간에 따라 단기와 중장기, 공간적 범위에 따라 농가단위, 지역단위, 국가단위 등으로 구분이 가능하다. 또한 적응시점에 따라 사전적 적응과 사후적 적응으로, 적용기간에 따라 단기와 중장기로의 구분도 가능하다. 이 밖에도 적응정책의 적용범위에 따라 국가적 수준과 지역적 수준, 부문별 수준, 프로젝트 수준 등으로 대별될 수 있다.

적응을 추진하는 관련주체는 농업인과 유관업체 등의 민간부문과 중앙정부와 지방자치단체 등 공공부문으로 대별될 수 있다. 민간부문은 사적 이윤극대화를 추구하고, 공공부문은 공익극대화를 추구하고, 반응시기와

관련주제별 적응사례의 대표적인 프로그램을 제시해 볼 수 있다<표 3-1>.

표 3-1. 반응 시기 및 책임주체별 적응 사례

구 분		반 응 시 기	
		사전적 적응	사후적 적응
반응에 대한 책임 주체	민간 부문	<ul style="list-style-type: none"> • 사적 보험 시장 활용 • 사적 R&D, 투자 	<ul style="list-style-type: none"> • 작물재배, 적응농법 변화 • 보험시장의 조정 • 최소비용 적응 옵션 확인
	공공 부문	<ul style="list-style-type: none"> • 조기경보 시스템 활용 • 공공의 인프라 구축(관개시설) • 농업부문의 위험 의사소통 • 보조금 활용 • 공적으로 이용 가능한 R&D 	<ul style="list-style-type: none"> • 사후재해 복구 • 영향에 대한 보상 • 보험 계약 • 보상지불제도 • 보조금 지원제도

자료: OECD(2006b).

실제로 농업분야의 기후변화 적응에 적용되는 수단은 국가별·지역별 여건에 따라 매우 다양한 프로그램이 활용되고 있다. 캐나다의 경우 기술 개발(작물개발, 기상과 기후정보 시스템, 자원관리 혁신), 정부 프로그램과 보험(농업보조금, 사적보험, 자원관리 프로그램), 농가생산기법(농가생산, 토지사용, 관개, 재배시기 조절), 농가재정관리(작물보험, 작물 선물거래, 소득안정화 프로그램, 가구소득) 등 다섯 가지 수단으로 유형화하여 관리하고 있다(Smit and Skinner, 2002).

일본은 농업분야 기후변화 적응수단을 물·토양의 보전, 토양 질의 개량, 경작활동, 물 이용 효율, 정부 및 관행적인 시책, 신기술 연구투자, 인프라 구축, 교육과 인지, 토지관리, 수자원 관리, 인간행동, 기타수준의 농가적응 등 12개 분야로 유형화하여 관리하고 있다(農林水産省 農林水産技術會議, 2007).

우리나라는 환경부의 기후변화 적응 마스터플랜 수립 연구에서 농업분야의 적응수단을 기술적 조치(28개 수단), 법제도 정비(7개 수단), 경제적 수단(7개 수단), 홍보 및 교육(6개 수단), 평가(모니터링 및 취약성 평가, 14개 수단) 등 다섯 가지 수단으로 유형화하여 총 62개의 세부적인 수단을

제시하고 있다(한화진 외 19인, 2008).

이 연구에서는 실제로 우리나라의 농업분야에 적용 가능한 기후변화 적응수단 목록(inventory)으로 국내외 수단을 종합적으로 검토하여 <표 3-2>에서 제시된 바와 같이, 기술개발 분야 5개, 기반시설관리 분야 8개, 경제적 수단 1개, 법제도 정비 3개, 인력양성 및 교육 2개, 모니터링 1개, 농가적용 기술 및 경영 4개 등 총 19개 적응수단을 고려하였다.¹¹

표 3-2. 농업분야의 적용 가능한 적응 인벤토리

분 야	세부 적응프로그램
기술개발 (R&D)	① 품종개발 ② 생산기술개발 ③ 기반구축기술개발 ④ 자원관리혁신 ⑤ 기후정보시스템
기반시설관리	⑥ 농경지관리 ⑦ 농업용수관리 ⑧ 농업시설관리
경제적 수단	⑨ 보조금 지급
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대 ⑪ 자원관리시스템구축 ⑫ 지역별계획수립
인력양성·교육	⑬ 인력양성 ⑭ 교육·홍보
모니터링	⑮ 적응 및 취약성평가
농가적용 기술·경영	⑯ 생산기술관리 ⑰ 토양관리 ⑱ 용수관리 ⑲ 농가재정관리

3.2.2. 농업부문 기후변화 적응의 접근방법

농업부문 기후변화 적응대책의 접근방법은 영향중심 접근방법, 정황중심 접근방법, 과정중심 접근방법으로 대별하여 이루어지고 있다<표 3-3>.

영향중심 접근방법은 기후변화에 따라 각 분야별·품목별 예상되는 영향은 어느 정도이고 또한 적응조치를 취하는 경우 기후변화의 부정적 영향을 얼마나 완화시킬 수 있는지 등의 질문에 대한 답을 제공한다. 영향분석의

¹¹ 농업부문의 적응 인벤토리로 제시된 19개 수단에 대한 구체적인 내용은 <부표 5>에 제시되어 있다.

주요 내용을 보면 우선 대기순환모형을 기초로 기후변화 시나리오를 선택하여 국가적·지역적 기후변화 정도를 예측하고, 기후변화가 이루어지는 경우 재배적지 변동과 농업생산과 농가경제에 미치는 영향 등을 다루게 된다. 더 나아가서는 구체적인 기후변화 적응수단을 적용하는 경우의 영향분석도 포함된다.

표 3-3. 농업부문 기후변화 적응의 접근방법

분 류	핵심 질문사항	주 요 내 용
영향중심 접근방법 (Impact-based approach)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후변화의 예상되는 영향은? ▪ 기후변화는 얼마나 심각한가? ▪ 예측된 영향을 다룰 수 있는 적응은? ▪ 특정 적응으로 영향이 어느 정도 완화되고 상쇄시킬 수 있나? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대기순환모형을 이용한 기후변화 시나리오 선택 ▪ 농업의 특정부문(예, 단수)에 미치는 영향 모델화 ▪ 이차적인 영향으로 재배적지 변동 ▪ 적응을 포함시켜 여타 영향을 추정
정황중심 접근방법 (Context-based approach)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생산자에게 영향을 미치는 조건은? ▪ 생산자는 조건들을 어떻게 다루는가? ▪ 실제적으로 적응을 용이하게 하는 것 혹은 제약하는 것은? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농가의사결정에 영향을 미치는 기후적·비기후적 요인 식별 ▪ 위험인자와 위험관리 전략 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 보존경작, 품종진환, 관개시스템 ▪ 다양한 적응수단의 선택과 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 정부 보험, 기술개발, 재정지원
과정중심 접근방법 (Process-based approach)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적응의 과정들은 어떻게 작용하는가? ▪ 어떤 조건에서 적응이 이루어지는가? ▪ 도입되는 적응 유형에 어떤 조건들이 영향을 미치는가? ▪ 미래의 조건들 하에서 실행 가능한 적응수단은 무엇인가? ▪ 적응을 용이하게 할 수 있는 방법은? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농업인의 적응에 대한 의사결정 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 실제적인 적응조치에 대한 반응 - 적응 이니셔티브 실행수단 식별 ▪ 현재와 미래 적응능력 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 현재 노출과 적응능력 - 미래 노출과 미래적응능력(인식, 제도, 기술 등)

주: Wall et al(2007)에 제시된 내용을 종합적으로 요약 정리한 것임.

정황중심 접근방법은 기후변화가 생산자에게 미치는 조건은 무엇이고 적응이 쉽게 이루어질 수 있도록 하는 요인과 제약하는 요인이 무엇인지 등의 질문에 대한 답을 제공한다. 정황분석의 주요 내용으로는 농가의 기후변화 적응에 영향을 미치는 기후적 요인과 비기후적 요인(사회경제적 요

인)의 식별, 기후변화의 위험에 대한 이해와 위험관리 전략의 활용, 다양한 적응수단의 선택과 활용 등을 들 수 있다. 정황분석은 농업부문의 기후변화 적응전략 모색에 있어서 중요한 접근방법으로 설문조사와 같은 정성적 분석과 위험 및 불확실성에 대한 정량적·계량적 방법 등 여러 가지 분석방법을 적용할 수 있다.

과정중심 접근방법은 적응의 과정이 어떻게 작용하고, 어떤 조건에서 적응이 이루어지고, 어떤 조건들이 도입되는 적응 유형에 영향을 미치고, 미래 여건을 반영한 실행 가능한 적응수단은 무엇이고, 적응을 용이하게 할 수 있는 방법은 무엇인지 등에 대한 질문에 답을 제공한다. 과정분석의 주요 내용으로는 적응수단에 대한 농업인의 수용력 및 의사결정분석, 현재와 미래의 노출과 적응능력 분석 등이 포함된다. 적응능력에 영향을 미치는 요인으로는 인식도, 적응기술, 인적·사회적 자본, 법·제도 등 위험 관리시스템 등을 들 수 있다.

지구온난화에 따른 농업부문의 기후변화 적응정책 수립 시 고려되어야 할 사항으로 경제적 가변성, 부문 가변성, 주류화(mainstreaming), 적응장벽, 충분한 지원, 커뮤니케이션, 적응능력 향상 등을 들 수 있다<표 3-4>. 경제적 가변성은 소득과 이자율, 에너지 비용과 달러 가치 등 경제적 변수를 종합적으로 고려하여 미래의 기후변화와 기상 위험에 대응할 수 있는 소득 안정화 프로그램을 활용하도록 하고 있다. 부문별 가변성은 품목별·지역적 특성이 반영될 수 있는 신축적 정책프로그램 개발을 권고한다. 주류화는 타분야의 위험관리전략과 농장관리시스템을 고려한 전략통합의 연구·개발과 기후변화적응을 중심으로 한 농업정책체제 재편을 권고한다. 적응장벽은 적응옵션의 농장관리 압박과 유전공학적 해법 및 기존 정책과의 충돌 등의 요인을 종합적으로 고려하여 효율적인 정책추진을 위해 적응 비용과 편익의 분석, 유전공학적 기술응용 등을 권고한다. 충분한 지원은 낙후된 분야의 기술지원과 지식이전, 재정지원 등을 고려하여 기술적 적응옵션을 개선하고 농장관리방법 개선 등을 위한 인센티브 시스템 구축과 적응수단 집행을 위한 적절한 지원 등을 권고한다. 커뮤니케이션은 기후변화 위험정보에 대한 신뢰성 문제와 정보수용력의 한계를 고려하여 보다 신뢰성 높은

정보생산과 정보공유 프로그램 개발을 통해 이용자의 정보접근도를 개선하고 정책효과에 대한 홍보와 공감대 형성을 권고한다. 적응능력 향상은 농장의 위험관리능력 제고와 적응에 대한 인식도 제고를 위해 기후변화 적응의 교육·훈련 프로그램 개발과 운용, 효과적인 국내외 사례 벤치마킹 등이 이루어질 수 있도록 법적·제도적 기반구축, 실효성 있는 다양한 적응 기술 메뉴 확보 등을 권고한다.

표 3-4. 농업부문 기후변화 적응정책 수립 시 고려사항

구분	고려 요인	주요 프로그램	정책적 권고사항
경제적 가변성	<ul style="list-style-type: none"> 가변적 요인 - 소득, 이자율 - 에너지 비용 - 달러 가치 	<ul style="list-style-type: none"> 소득안정화 	<ul style="list-style-type: none"> 농정 주요목표는 농식품부문 안정화 타 부처의 관련 정책프로그램 활용 미래 기후변화와 기상 위험 대응을 위한 소득안정화 프로그램 활용
부문별 가변성	<ul style="list-style-type: none"> 필요조건 가변성 - 품목별, 지역적 고려 - 농장시스템 유형 	<ul style="list-style-type: none"> 공정하고 신축적 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> 지역의 조건, 필요, 기대 등 다양한 요인이 충족되는 정책 프로그램 개발
주류화	<ul style="list-style-type: none"> 타분야 위험전략 고려 농장관리시스템 통합 	<ul style="list-style-type: none"> 전략통합의 연구·개발 잠재장벽 식별 실제적 농장경험 인식 	<ul style="list-style-type: none"> 연구는 정책/프로그램 환경을 포함하여 적응 장벽의 측정 기후변화적응의 농업정책체제 재편
적응 장벽	<ul style="list-style-type: none"> 적응옵션의 농장관리 압박 유전공학적 솔루션 현존 정책과 충돌 	<ul style="list-style-type: none"> 효율적 정책추진 - 적응비용/편익분석 - 유전공학적 기술응용 	<ul style="list-style-type: none"> 관련분야 연구지원 - 기후리스크 적응 옵션 편익/비용 평가 결과 근거한 정책, 프로그램 개발
충분한 지원	<ul style="list-style-type: none"> 일부 옵션의 개선 - 낙후된 기술지원 - 지식이전과 재정지원 	<ul style="list-style-type: none"> 기술적·정책적 적응 옵션 개선 기후적응 옵션에 기초한 농장관리방법 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 생산자가 쉽게 수용할 수 있는 인센티브 시스템 구축 적응수단 집행을 위한 적절한 지원
커뮤니 케이션	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화위험정보의 신뢰성 취약 정보수용력 한계 	<ul style="list-style-type: none"> 신뢰성 높은 정보생산 정보공유 프로그램개발 	<ul style="list-style-type: none"> 이용자의 정보접근도 개선 신뢰할 수 있는 정보제공과 정책집행 정책효과에 대한 홍보와 공감대 형성
적응능력 향상	<ul style="list-style-type: none"> 농장의 위험관리능력 제고 적응에 대한 인식도 제고 	<ul style="list-style-type: none"> 적응 교육훈련프로그램 개발 및 운용 효과적인 국내외 사례 벤치마킹 	<ul style="list-style-type: none"> 법적 제도적 기반 구축 교육과 훈련을 통한 적응 공감대 형성 실효성 있는 다양한 적응기술 메뉴 확보

주: Wall, Smit, and Wandel(2007)에 제시된 내용을 기초로 축약하여 정리한 것임.

기후변화가 농업부문에 미치는 영향에 대한 실제적 분석은 생태적 측면, 작물생산 측면, 경제적 측면 등 여러 측면에서 이루어질 수 있다. 제4장에서는 1년차 연구에서 이루어진 기후변화에 따른 농업생태계와 농가경제에 미치는 영향분석의 핵심내용을 요약하여 제시하였고, 2년차 연구에서 수행한 농산물 주산지 변동분석과 기상재해, 적응수단의 영향력 분석 등 기후변화 영향평가를 종합적으로 제시하였다.

우선 기후변화에 따른 농업기후자원의 변화와 병해충 발생, 작물별 생산 등 농업생태계에 미치는 영향을 살펴보고, 기상재해 발생의 농업부문 영향과 미곡 생산의 기상영향력 등 농업생산에 있어서 기상요소의 영향력을 분석하였다. 쌀 생산에 있어서 재배시기 변화, 시비량 변화, 관개시기 변화 등 적응수단의 작물재배 영향을 이용하여 분석하였다. 또한 적응수단을 고려한 작물생육상의 변화를 파악하기 위해 ORYZA2000을 이용하여 CO₂ 농도와 기온상승에 따른 시뮬레이션 분석 결과를 제시하였다. 다음으로 작물생산에 관한 시계열 통계자료를 이용하여 기후변화에 따른 사과, 복숭아, 포도, 한라봉, 열대과일 등 주요 농산물의 주산지 변동실태와 전망을 분석하였다. 다음으로 기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향분석은 비모수 및 준모수 분석법을 이용하여 쌀·배추·무·사과 등을 대상으로 한 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 제시하였다.

1. 농업생태계에 미치는 영향

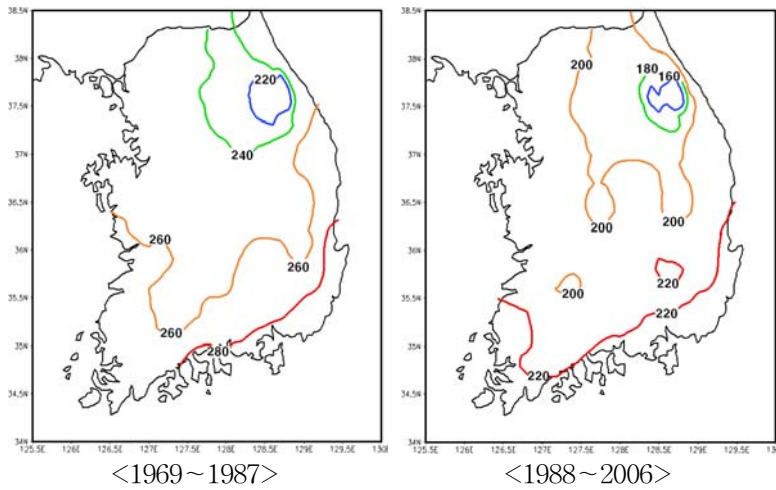
1.1. 농업기후자원의 변화

1.1.1. 식물온도와 작물온도의 변화

농업기후자원이란 작물의 성장가능기간, 이 기간 중의 작물온도의 분포, 한발과 저온출현율의 분포 등을 의미한다(이병렬, 1995). 일 평균기온이 5°C 이상인 일수의 지속기간을 나타내는 식물기간은 작물의 월동과 생육에 중요한 지표가 된다. 왜냐하면 봄에 일평균기온이 5°C 이상이 되면 월동작물이 생육을 다시 시작하고, 가을철에는 5°C 이하로 기온이 내려가면 낙엽이 쳐서 겨울잠에 들어가게 되므로 과수와 같은 영년생 작물의 재배관리에 중요한 지표가 되는 기간이기 때문이다. 특히 과수의 생육은 5°C 이상이 되는 때부터 시작되므로, 발아기와 개화기의 이르고 늦음은 그 지역의 식물기간이 시작된 이후부터의 일별 평균기온의 높고 낮음과 밀접한 관련이 있다.

우리나라의 식물기간은 201일에서 280일까지 약 70일의 차이를 두고 분포되는데, 이 기간 중의 적산온도에 따라 식생분포의 다양성이 드러나고 작물의 재배적지가 결정된다. 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(심교문 외 5인, 2008). 최근 19년간의 평균 식물기간은 대관령 지역이 210일 정도로 가장 짧았고 중부내륙지방은 250일 내외, 남부지방은 270일 내외였으며, 부산지역을 중심으로 한 남부해안지역이 280일 이상으로 가장 긴 것으로 분석되었다<그림 4-1>.

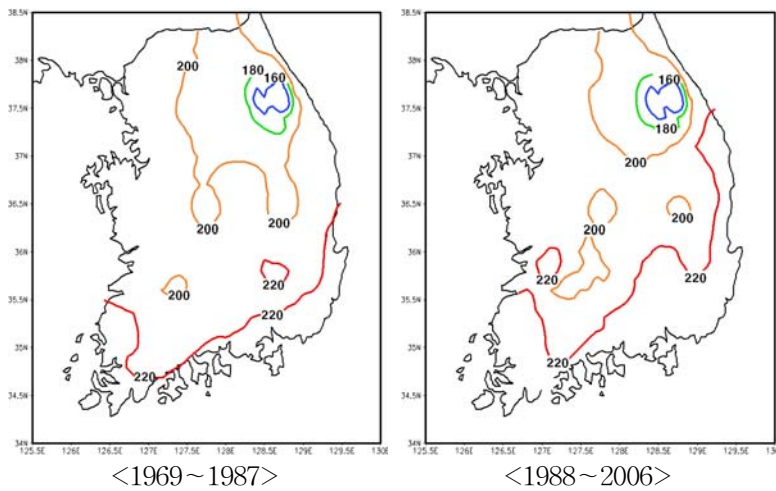
그림 4-1. 식물온도 출현지속기간의 변화 추이



자료: 심교문 외 5인(2008).

농업기상자원의 기온관련 변화 요인으로 일평균기온이 10℃ 이상이 되는 작물온도를 살펴볼 수 있다. 10℃ 이상이 되면 대체로 여름작물은 생육을 시작하고, 월동작물인 과수는 발아와 개화 등 발육이 한층 빠르게 진행되는 환경조건이 되므로 과수재배에서는 작물온도가 매우 중요하다. 최근 18년간(1988-2006년) 일평균기온이 10℃ 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 등, 2008).

그림 4-2. 작물온도 출현지속기간의 변화 추이

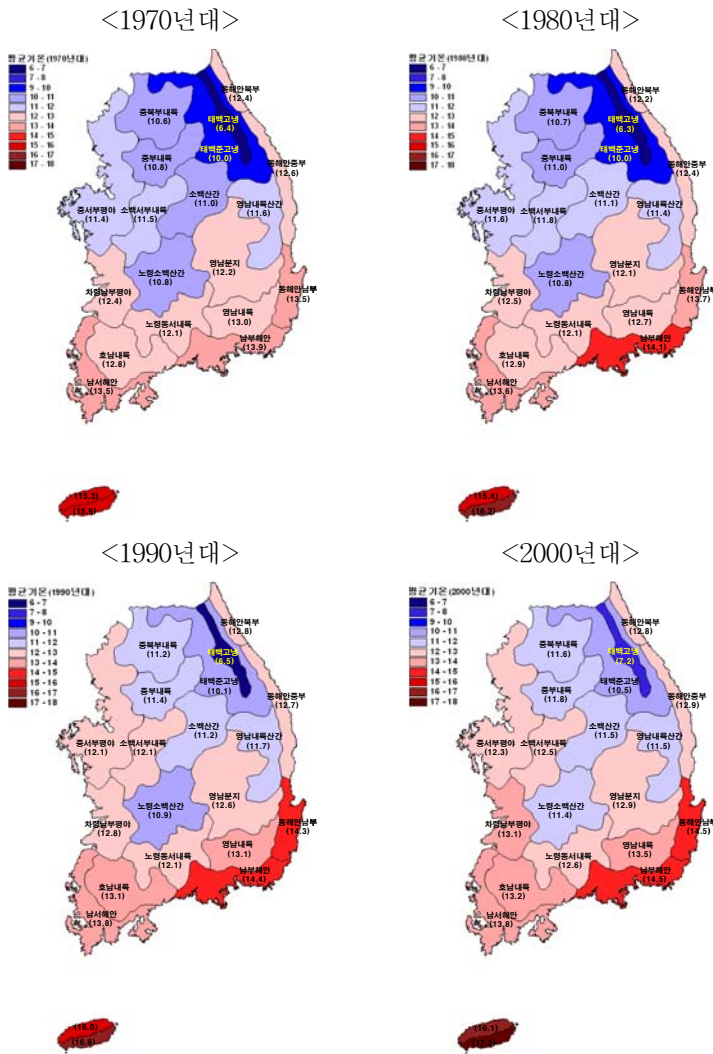


자료: 심교문 외 5인(2008).

1.1.2. 농업기후대의 농업기상 변화

농업 기후구를 농업 기후조건이 서로 다른 지역으로 구분한 것을 농업기후시대라고 한다. 우리나라의 농업기후시대별 평균기온은 지난 35년간 (1973~2007) 0.95℃ 상승하였다. 기온상승폭이 가장 낮은 기후시대는 영남내륙산간지대(영주, 문경 등)로서 0.2℃ 상승한 반면, 춘천과 양평을 포함하는 중북부내륙지대와 중부내륙지대 및 동해안남부지대는 1.36~1.47℃까지 상승하는 등 기후시대별로 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 곡창지대인 중서부평야지대(서산, 보령 등)와 차령남부평야지대(군산, 부안, 정읍 등)의 평균기온은 1.05~1.33℃ 상승하였고, 대관령을 포함한 태백고냉지대도 1.04℃ 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 태백준고랭지지대, 영남내륙산지지대는 452~778mm 증가하여 증가폭이 가장 컸으며 반면, 영남내륙지대(밀양, 진

1.2. 병해충 발생

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 나타났다.

과수의 경우 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.

1.3. 작물별 생산에 미치는 영향

1.3.1. 벼

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 것이

고, 현재 온도가 낮아 벼농사를 짓지 않고 있는 표고 600m 이상의 산간지대에서 일부 조생종 품종의 벼 재배가 가능할 것으로 보고 있다.

우리나라의 과거 기상자료를 살펴보면 1970년대 적정 출수기(등숙기 평균온도: 21~23℃)는 8월 15일 전후였으나, 2000년대에는 8월 21일로 적정 출수기가 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	

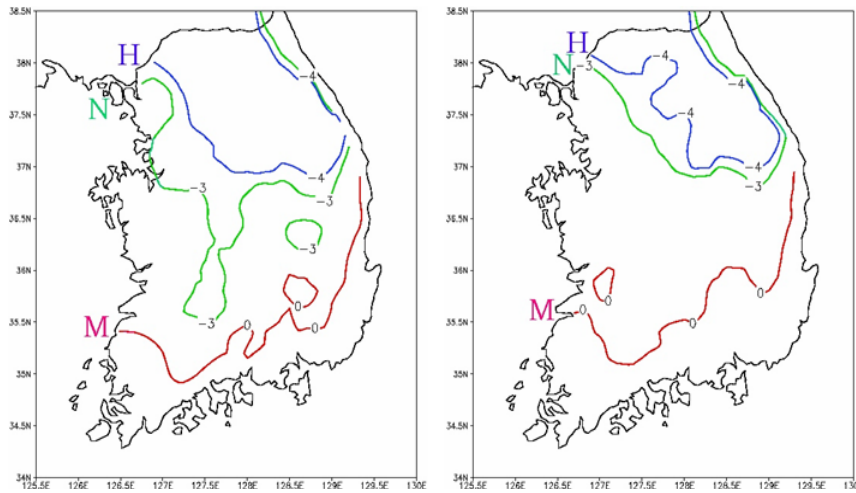
자료: 농촌진흥청(2007b).

13.2. 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(낱알 무게)이 무겁게 여물

기 때문이다. 1987년 이후 2000년까지 혹한기 기온이 1.5~2.5℃ 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 4-5>.

그림 4-5. 가을보리 재배지대 변화



주: H은 겉보리, N은 쌀보리, M은 맥주보리를 나타냄.
 자료: 심교문 외(2004), p.222.

1.3.3. 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.

기온상승이 이루어지는 경우 겨울철 온도 상승에 따라 시설채소 재배에 있어서 난방에너지를 절감할 수 있다. 또한 제주 및 남해안을 중심으로 시설 내에서 재배되던 월동배추는 노지재배가 가능해지게 된다.

13.4. 과수

기후변화는 과수의 성장과 발육에 영향을 주며, 과실품질과 수확기, 저장력 등에도 영향을 미친다. 사과와 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. 농산물 생산의 기상요소 영향력 분석

2.1. 기상재해 발생의 농업부문 영향¹²

기후변화가 진행됨에 따라 기상재해의 발생빈도는 증가하고 이로 인해 농업부문의 재해로 인한 피해도 증가할 것으로 우려하고 있다. 기상재해의 종류(호우, 태풍, 해일, 돌풍, 폭풍, 설해 등)에 따라 피해량이 연 평균기온, 기온극차(평균고온과 평균저온의 차이), 강수량, 강수집중도(1일 극대 강수량) 등 기후변수에 의해 영향을 받는 정도가 상이할 것으로 예상된다. 농작물 재해를 예측하고, 이를 최소화하는 방안을 모색하기 위해서는 기후변화가 각 재해종류별 농작물 재해에 어떤 영향을 미치는지를 분석할 필요가 있다.

기후변수가 재해종류별 농작물 재해에 미치는 영향을 분석하기 위해 각 재해종류별 피해율을 종속변수로, 기후변수들을 독립변수로 하는 모형을 설정할 수 있다.

$$y = g(x) + \epsilon,$$

여기서 y 는 재해 피해율((피해면적/경지면적) × 100)을 나타내며, x 는 기후변수들의 벡터로 고려된 변수로 연평균기온, 기온극차, 강수량, 강수집중도, 연도 등이다.

분석자료는 전국 9개도의 연도별 자료를 혼합한 패널자료조합을 사용하였다. 농업부문의 재해면적의 자료는 1985년부터 2007년까지의 소방방재청의 『재해연보』, 기후요인의 자료는 기상청의 『기상연보』에 제시된 자료를 이용하였다. 분석을 위하여 수집한 도별 재해면적을 각 도별 전체 농경지 면적으로 나누어 재해피해율을 계산하였고, 기후요인의 경우 각 연도의 도별 연평균기온, 기온극차(평균고온과 평균저온의 차이), 강수량, 강수집중도(1일극대강수량) 자료가 사용되었다. 설정된 다중회귀모형 추정방식은

¹² 이 부분은 김태균 교수(경북대학교)에게 원고 의뢰한 ‘기후변화가 재해종류별 농작물 재해에 미치는 영향 분석’의 핵심 내용을 발췌하여 정리한 것이다.

자기회귀모형인 Parks Method를 적용하였다. 분석에 사용된 변수의 평균, 최소치와 최대치, 표준편차 등 기초통계량은 <표 4-2>에 제시하였다.

표 4-2. 재해발생 영향분석을 위한 주요 변수의 기초통계량

구 분	평 균	최 소	최 대	표준편차
호우 피해량(ha)	4,173	0.00	95,786	11,987
태풍 피해량(ha)	5,322	0.00	132,294	16,464
해일 피해량(ha)	4	0.00	282	28
돌풍 피해량(ha)	3	0.00	155	16
폭풍 피해량(ha)	205	0.00	7,031	822
설해 피해량(ha)	29	0.00	1,703	199
경지면적(ha)	232,183	11,640	3,245,159	230,047
연 평균기온(°C)	12.7	9.5	25.0	2.0
기온극차	9.9	5.9	12.5	1.5
강수량(mm)	1,441	713	2,952	355
강수집중도(mm)	144	72	330	46

자기회귀모형을 이용한 추정결과, 각 기후요인이 재해종류별 농작물 재해에 영향을 미치고 있으며 호우에 의한 피해의 경우 강수량과 강수집중도에 의한 영향이 유의도 1%의 수준에서 통계적 유의성을 가지는 것으로 나타났다<표 4-3>. 강수량이 1mm 증가할 때 호우에 의한 피해율이 $2.59 \times 10^{-3} \sim 3.15 \times 10^{-3}$ %포인트 증가하고, 강수집중도가 1mm 증가할 때 호우에 의한 피해율이 0.01~0.02%포인트 증가하는 것으로 분석되었다.

태풍에 의한 피해는 연 평균기온과 강수집중도가 1% 또는 10% 유의수준에서 통계적 유의성을 가지는 것으로 나타났다. 연 평균기온이 1°C 상승함에 따라 태풍에 의한 피해율은 0.29~0.30% 포인트 증가하는 것으로 추정되었다. 강수집중도가 1mm 증가할 때 태풍에 의한 피해율이 0.01% 포인트 증가하는 것으로 나타났다.

연 평균기온의 상승은 태풍, 돌풍, 설해에 의한 피해의 원인이 되고, 기온극차의 증가는 해일, 돌풍, 폭풍, 설해에 의한 피해가 증가시키는 것으로 해석된다. 또한 강수량이 증가함에 따라 호우피해가 증가하며, 반대로 우박/낙뢰, 돌풍에 의한 피해는 감소한다. 강수집중도는 호우, 태풍에 의한 피해의 원인으로 작용하는 것으로 분석되었다.

표 4-3. 농업부문의 재해영향 분석 모형의 추정결과

변 수	호 우	태 풍	우박/낙뢰	해 일	돌 풍	폭 풍	설 해
상수량	-6.764 (-2.33)**	-2.678 (-0.88)	0.489 (2.15)**	-0.001 (-1.21)	-0.007 (-4.48)***	-0.137 (-0.79)	-0.047 (-3.01)***
연평균기온	0.013 (1.37)	0.030 (1.69)*	-0.001 (-1.15)	4.18e-07 (0.06)	3.90e-05 (5.25)***	0.001 (1.19)	1.88e-04 (3.34)***
기온극차	0.028 (1.33)	-0.017 (-0.91)	-0.001 (-1.20)	1.40e-05 (1.78)*	2.10e-05 (2.70)***	0.002 (1.95)*	2.31e-04 (2.86)***
강수량	2.59e-04 (4.26)***	4.70e-5 (1.04)	-4.64e-06 (-2.08)**	6.16e-09 (0.48)	-2.45e-08 (-1.86)*	1.06e-06 (0.37)	7.34e-08 (0.43)
강수집중도	0.002 (4.00)***	0.001 (3.09)***	8.79e-06 (0.61)	7.42e-08 (1.07)	8.12e-08 (1.22)	-2.00e-05 (-1.55)	1.21e-07 (0.14)
연 도	-0.134 (-4.82)***	0.020 (0.51)	-0.009 (-2.40)**	2.30e-05 (0.78)	7.90e-5 (1.51)	-0.006 (-3.71)***	0.001 (1.33)
R ²	0.3322	0.1212	0.0739	0.0466	0.178	0.1074	0.1008
df	201						

주: *** 1%에서 유의, ** 5%에서 유의, * 10%에서 유의한 것을 나타내며, ()안의 값은 t-value임.

추정결과를 이용하여 재해종류별 농작물 재해에 영향을 미치는 기후변수들을 추출한 결과를 보면, 연 평균기온이 상승함에 따라 태풍·돌풍·설해 등에 의한 피해는 증가하는 것으로 나타났다<표 4-4>. 또한 기온극차가 증가함에 따라 해일·돌풍·폭풍·설해 등에 의한 피해가 증가하는 것으로 나타났다, 강수량이 증가함에 따라 호우피해가 증가하며, 우박·낙뢰, 및 돌풍 등에 의한 피해는 감소하는 것으로 분석되었다. 강수집중도가 증가함에 따라 호우·태풍에 의한 피해가 증가하는 것으로 나타났다.

표 4-4. 기후변수와 농작물 재해

변 수	호 우	태 풍	우박·낙뢰	해 일	돌 풍	폭 풍	설 해
연 평균기온		+			+		+
기온극차				+	+	+	+
강수량	+		-		-		
강수집중도	+	+					

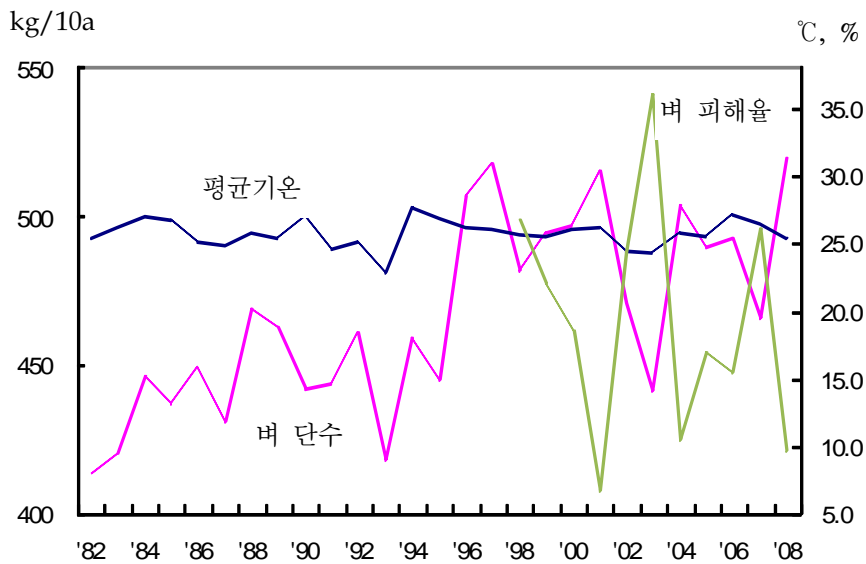
주: +는 기후변수에 따른 재해 증가를 나타내고, -는 재해 감소를 나타냄.

2.2. 농산물의 수량변동 요인

농산물 수량변동은 기상요인 외에도 육종, 보급, 재배 등 기술요인과 정책지원 등 여러 가지 요인이 복합적으로 작용한다. 기후변화에 따른 수량 변동 분석에 관한 선행연구들은 주로 기상요인만을 고려하여 분석하였기 때문에 다른 요인과 비교하여 기상의 영향력이 어느 정도 인지를 파악하기가 곤란하다. 그러므로 농산물 수량변동을 분석하는데 있어 기상요인 외에도 육종, 보급, 재배 등 기술요인을 함께 고려하여 분석할 필요가 있다. 우리나라의 대표적 작물인 미곡을 사례로 수확량 변동을 분석하는데 있어서 기상요인 외에 기술요인도 함께 고려해 보고자 한다.

<그림 4-6>은 기상요소와 미곡의 농가단수와의 관계를 나타내고 있다.

그림 4-6. 평균기온 변화와 벼 수량 변동 추이(1982~2008년)



주: 1) 평균기온은 8대도시(수원, 춘천, 청주, 대전, 전주, 광주, 대구, 부산)의 평균임.
 2) 미곡피해율(피해포구수 비율)은 병충해, 침수, 풍해 등의 합계로 1998년부터 조사된 통계청 내부자료임.
 자료: 농림수산물부, 기상청, 통계청, 각연도.

8월 등숙기 평균기온과 미곡 단수와의 관계를 보면, 대체로 8월 기온이 높으면 단수가 증가하는 패턴을 보이고 있다. 또, 미곡 피해율(미곡 피해 포구수 비율)은 8월 기온이 높으면 낮아져 8월 등숙기의 평균기온이 미곡 수확량 변동의 중요한 변수임을 보여주고 있다.

미곡 수확량은 지속적으로 증가 추세를 보이다 2000년대 들어 정체 내지는 감소하는 추세를 보이고 있다. 미곡 단수의 이와 같은 변화요인으로 고품질 육종 정책, 친환경 벼 재배면적 증가, 태풍·가뭄 등의 극한기상과 기온상승과 같은 기후변화 등이 언급되고 있다.

2.2.1. 분석방법

미곡의 단수는 ‘육종→보급→재배’의 과정을 통하여 농가에서 실현되며, 이 과정에서 육성 품종의 수량능력, 육성품종의 보급률, 농가의 재배기술과 노력, 기상요인이 복합적으로 작용하고 있다. 여기서는 각각의 요인에 대한 영향력을 분해하여 그 효과를 정량적으로 파악하고자 한다.

본 분석을 위해서는 단수에 대한 용어를 살펴볼 필요가 있다. 먼저 ‘수량능력단수’는 매년 새롭게 육성된 품종이 정상적인 재배와 기상여건 하에서 발휘할 수 있는 수량능력의 단순 평균치로서, 정상적인 기상조건 하에서 농가가 신규개발 품종만을 재배할 경우 달성할 수 있는 최고수량을 의미한다.

‘보급단수’는 보급된 품종의 수량능력을 품종별 재배면적 비율로 가중 평균한 수량으로 다수성 품종의 보급 수준을 나타냄과 동시에, 농가가 선택한 품종을 정상적 기상조건 하에서 정상적으로 재배하여 달성할 수 있는 이론 단수를 의미한다.

‘평년단수’는 기상요인에 따른 수량변동을 제거한 농가단수의 추이를 의미하며, 따라서 농가의 재배기술과 증수 노력이 향상될수록 보급단수에 근접하게 된다.

‘농가단수’는 육성된 품종이 보급을 거쳐 농가의 재배를 통하여 실현된 수량으로서, 기상조건에 의하여 평년단수와의 격차가 발생하여 상대적인

풍작 혹은 흉작을 나타낸다.

위의 단수추정에 있어서 보급단수의 자료가 1982년부터 이용가능하여 수량능력단수, 보급단수, 농가단수 모두 1982~2008년간의 자료를 이용하였다. 단수 추정에 사용된 기초통계량은 다음과 같다<표 4-5>.

표 4-5. 로지스틱 함수 추정에 이용된 단수의 기초통계량

단위: kg/10a

구 분	수량능력단수	보급단수	농가단수
평 균	518	490	467
최소값	488	455	413
최대값	546	525	520
표준편차	18	22	32
왜곡도	-0.040	-0.041	0.134
표본수	27	27	27

2.2.2. 추정단수

위에서 정의된 미곡의 수량능력단수와 보급단수 변화 추세를 파악하기 위하여 로지스틱함수(Logistic curve)를 추정하였다. 로지스틱함수의 일반식은 $Y = a / (1 + be^{-cT})$ 이며, 여기에서 a 는 최종적인 단수(Y)의 도달 값을 나타낸다. 추정은 EXCEL 2007을 이용하였으며, a 를 설정하고, b 의 초기 값은 a 의 1/10정도의 값을, c 는 0~1의 값을 주고, ‘해찾기’를 실행하면 최적화된 계수 값이 도출된다. 추정결과 다음과 같은 추세식을 얻었다.

$$\text{수량능력단수 추세식: } Y = 786.5990 / (1 + 0.6190e^{-0.0126T}) \quad (4-1)$$

$$\text{보급단수 추세식: } Y = 770.4140 / (1 + 0.7059e^{-0.0153T}) \quad (4-2)$$

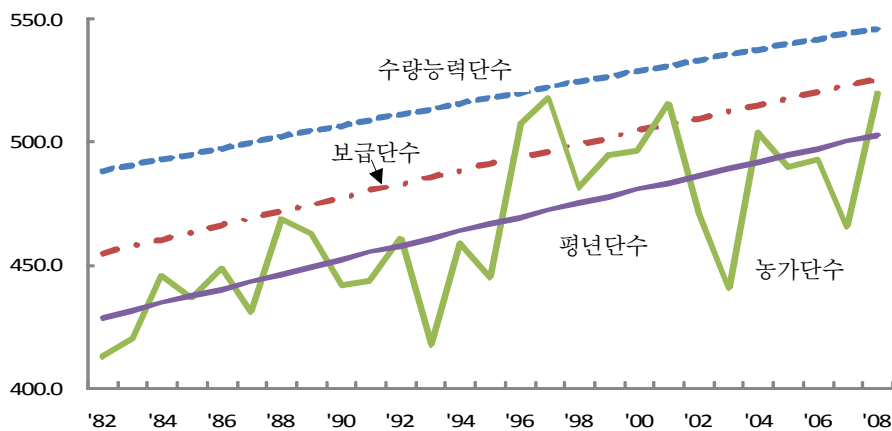
평년단수는 기상조건의 영향이 없는 경우의 수량으로 기상여건은 평년 수준을 유지하고 나머지 요인들을 추세대로 진행되는 경우 수확량 수준을 나타내는 지표로 평균법, 가중평균법, 회귀식에 의한 방법을 적용할 수 있

다. 회귀식에 의한 방법은 연차적으로 증가하는 시계열적인 수량증가를 회귀식에 의하여 추계하는 방법이며, 평방근 함수와 지수함수가 널리 이용된다. 위의 세 가지 산정 방법 중에서 평균법은 적용이 용이한 반면에 기술수준의 향상에 따른 수량증가를 반영하지 못한다는 한계가 있다. 또한 평방근 함수를 이용한 회귀식에서는 연차적인 기술진보의 효과가 체감하는 것으로 가정하지만 이론적으로는 수량이 무한대로 증가하는 특성을 가지기 때문에 최근 단수 정체를 반영하는 함수 형태로 적절하지 않다. 따라서 본 분석에서는 로지스틱함수를 적용하여 아래의 추세식을 도출하였다.

$$\text{평년단수 추세식: } Y = 753.1254 / (1 + 0.7700e^{-0.0161 T}) \quad (4-3)$$

로지스틱 함수를 이용하여 추정된 수량능력, 보급, 평년단수와 실제 농가단수의 연도별 추이를 보여주고 있다<그림 4-7>. 여기에서 수량능력단수와 보급단수의 격차를 보급요인, 보급단수와 평년단수의 격차를 재배요인, 그리고 평년단수와 농가단수의 격차를 기상요인으로 설정하였다.

그림 4-7. 미국의 수량능력·보급·평년·농가단수 변화 추이



2.2.3. 단수 정체에 대한 해석

미곡의 2002~2003년과 2006~2007년 농가단수는 평년단수보다 각각 6.5%, 3.8% 감소하였다. 2002~2003년과 2006~2007년의 이와 같은 단수 감소 혹은 정체의 원인을 분석하기 위해 ‘육종요인→재배요인→기상요인’ 등과 같은 단계로 이전 5년간과 동일한 조건을 적용하여 2002~2003년과 2006~2007년의 수량능력단수로부터 농가단수로 실제 실현된 수량과의 격차를 분해할 수 있다<표 4-6>.¹³

표 4-6. 2002~2003년과 2006~2007년의 단수 전체에 대한 요인 분해
단위: kg

연 도	수량능력 단수 (A)	보급 단수 (B)	평년 단수 (C)	농가 단수 (D)	B/A (%)	C/B (%)	D/C (%)
1997~2001	526.8	501.6	477.8	477.8	95.2	95.3	100.0
2002~2003	534.4	510.8	487.6	456.0	95.6	95.4	93.5
2001~2005	535.5	512.2	489.0	489.0	95.7	95.5	100.0
2006~2007	543.0	521.3	498.6	479.5	96.0	95.6	96.2

주: 농가단수를 제외하고 추정된 수량능력단수, 보급단수, 평년단수를 이용하였으며 각 연도 범위의 평균치임.

육종요인에 의한 기여도를 구하기 위해 2002~2003년 수량능력단수 평균치 526.8kg에서 1997~2001년 수량능력단수 평균치 534.4kg을 빼게 되면 7.6kg이 된다. 이 육종요인에 대한 기여분에 1997~2001년의 보급·재배·기상요인 실현율을 단계별로 적용하면 농가단수에 대한 기여도는 6.9kg이 된다.

¹³ 미곡 단수의 기후요인 영향력 분석을 위한 요인별 분해에 관한 상세한 내용은 김정호(1996, pp.38-39)에서 잘 제시되어 있다.

보급요인에 의한 기여도를 구하기 위해 2002~2003년 보급추정단수에 2002~2003년 수량능력단수×1997~2001년 보급요인을 빼면 2.0kg이 된다. 즉, 2002~2003년 수량능력단수(534.4kg)에 1997~2001년 보급요인(95.2%)을 적용하면 이론적 보급단수는 508.8kg이 되므로 2002~2003년의 실제보급단수 평균치(510.8)가 2.0kg이 증가하였다. 이 보급요인에 대한 기여분에 1997~2001년의 재배·기상요인 실현율을 단계별로 적용하면 농가단수에 대한 기여도는 1.9kg이 된다.

재배요인에 의한 기여도를 구하기 위해 2002~2003년 평년단수에서 2002~2003년 보급추정단수×1997~2001년 재배요인을 빼면 0.9kg이 된다. 즉, 2002~2003년 보급단수(510.8kg)에 1997~2001년 재배요인(95.3%)을 적용하면 이론적 평년단수는 486.7kg이 되므로 2002~2003년의 실제평년단수 평균치(487.6)가 0.9kg이 증가하였다. 이 보급요인에 대한 기여분에 대해 1997~2001년의 기상요인 실현율(여기에서는 평년단수를 가정함으로 100%)을 적용하면 농가단수에 대한 기여도는 0.9kg이 된다.

기상요인에 의한 기여도를 구하기 위해 2002~2003년 농가단수에서 2002~2003년 평년단수×1997~2001년 기상요인(여기에서는 평년단수를 가정함으로 100%)을 빼면 -31.6kg이 된다. 2006~2007년의 단수 정체의 원인도 위의 방법을 적용하여, 이전 5년간(2001~2005년)과 동일한 조건을 적용하면서 2006~2007년의 수량능력단수로부터 농가단수로 실제 실현된 수량과의 격차를 분해할 수 있다.

2002~2003년과 2006~2007년의 단수 정체의 원인을 분석한 결과를 정리하면 <표 4-7>과 같다. 2002~2003년의 단수 정체요인은 기술요인 23.6%, 기상요인 76.4%로 기상요인이 매우 크게 나타났다. 이는 2002년 태풍 ‘루사’와 2003년 태풍 ‘매미’의 영향으로 등숙기의 기온저하와 일사량 부족 등에서 비롯된 것으로 추정된다. 2006~2007년의 단수 정체요인은 기술요인이 33.5%, 기상요인이 66.5%로 기상요인이 매우 크게 나타났다. 이는 2007년 태풍 ‘나리’의 영향으로 풍해를 입어 단수가 감소하였기 때문인 것으로 추정된다.

표 4-7. 2002~2003년과 2006~2007년의 쌀 재배농가의 수량 정체 요인별 기여도

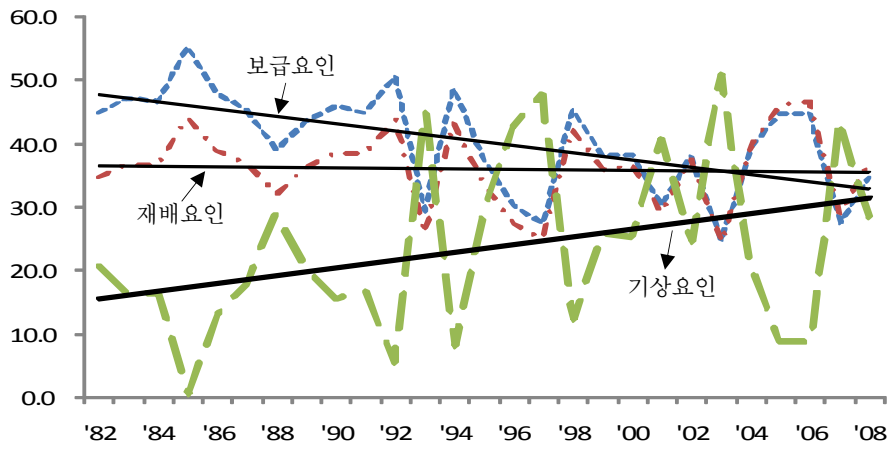
구 분	2002~2003		2006~2007	
	기여도(kg)	기여율(%)	기여도(kg)	기여율(%)
기술요인	9.8	23.6	9.6	33.5
- 육종요인	6.9	70.7	6.8	71.3
- 보급요인	1.9	19.8	1.9	19.4
- 재배요인	0.9	9.4	0.9	9.3
기상요인	31.6	76.4	19.1	66.5
합 계	41.4	100.0	28.7	100.0

2.2.4. 미곡생산의 기후영향력 추이 분석

미곡의 수량능력, 보급, 평년, 농가단수의 연도별 자료를 이용하여 각 연도단수의 변동을 보급요인, 재배요인, 기상요인으로 분해하였다<부표 4>. 농가단수를 제외하고 모두 로지스틱 함수를 기초로 추정된 자료를 이용하였다. 이때 수량능력단수와 보급단수의 격차가 보급요인이 되고, 보급단수와 평년단수의 격차가 재배요인이 되며, 평년단수와 실제단수의 격차가 기상요인이 된다<부표 4>.

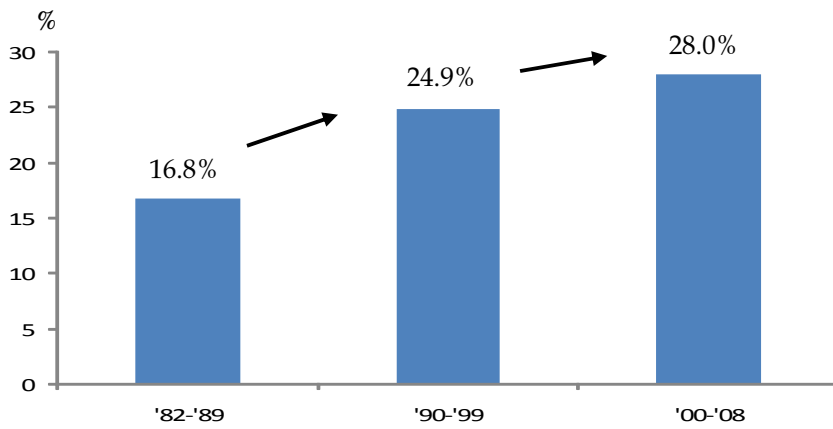
<그림 4-8>은 미곡 단수변동의 보급·재배·기상 요인별 기여율 추이를 나타내고 있다. 그림에서 점선은 전체의 변동에서 차지하는 각 요인별 비중을 나타내고, 실선은 각 점선의 추세선을 보여주고 있다. 미곡 단수 변동의 요인을 분해하고 각 요인별 추이를 살펴보면, 1980년대에 보급요인의 기여율이 가장 높았으나 지속적으로 감소하고, 재배요인의 기여율은 거의 변화가 없으며, 기상요인의 기여율은 지속적으로 상승하는 추세를 보여주고 있다.

그림 4-8. 미곡의 단수변동 요인별 기여율 추이



미곡의 단수변동 요인 가운데 기상요인은 1980년대의 기여율 비중이 16.8%였으나 1990년대에 24.9%, 2000년대 들어서는 28.0%로 점차로 증가하는 것으로 나타났다<그림 4-9>.

그림 4-9. 미곡 단수의 기상요인 기여율 변화 추이



2.3. 기상요소 영향력 분석 요약

농산물 수량변동은 기상요인 외에도 육종, 보급, 재배 등 기술요인과 정책지원 등 여러 가지 요인이 복합적으로 작용한다. 농산물 수량변동을 분석하는데 있어 다른 요인과 비교하여 기상의 영향력이 어느 정도 인지를 파악하기 위해 우리나라 대표적 작물인 미곡을 사례로 수확량 변동을 분석하였다.

미곡의 수량능력단수, 보급단수, 평년단수의 변화 추세를 파악하기 위해 로지스틱함수(Logistic curve)를 추정하였다. 그리고 수량능력단수와 보급단수의 격차를 보급요인, 보급단수와 평년단수의 격차를 재배요인, 그리고 평년단수와 농가단수의 격차를 기상요인으로 각각 설정하였다.

우리나라 미곡 수확량은 2000년대 들어 정체 내지는 감소하는 추세를 보이고 있다. 미곡단수의 이와 같은 변화요인으로 고품질 육종 정책, 친환경 경재배 증가, 기온상승과 같은 기후변화 등이 언급되고 있다.

미곡 농가단수의 2002~2003년과 2006~2007년 정체의 원인을 분석하기 위해 ‘육종요인→재배요인→기상요인’의 단계로 이전 5년간과 동일한 조건을 적용하면서 수량능력단수로부터 농가단수로 실제 실현된 수량과의 격차를 분해하였다. 미곡 단수 정체의 요인별 기여도를 분석한 결과 2002~2003년의 단수 정체요인은 기술요인 23.6%, 기상요인 76.4%로 나타났고 2006~2007년은 기술요인 33.5%, 기상요인 66.5%로 나타나 기상요인이 매우 크게 나타났다. 이는 태풍의 영향으로 등숙기의 기온저하와 일사량 부족 등에서 비롯된 것으로 추정된다.

미곡 단수변동의 요인을 분해하고 각 요인별 추이를 보면, 보급요인의 기여율은 지속적으로 감소하고 재배요인은 정체된 반면 기상요인은 증가하는 추세를 나타내었다. 즉, 미곡의 단수변동 요인 가운데 기상요인은 16.8%('80년대) → 24.9%('90년대) → 28.0%('00년대)로 나타나 기상재해가 발생한 연도에 비해 기여율이 크게 높지 않지만 점차 증가하는 추세를 나타냈다.

3. 적응수단의 작물재배 영향분석¹⁴

3.1. 적응수단의 영향력 분석 배경

이산화탄소의 증가와 그에 따른 지구 온난화는 작물의 생육에 긍정적 혹은 부정적 영향을 미치게 된다. 기후변화에 따른 부정적인 영향을 완화하기 위해 농가들은 적응수단을 활용하게 될 것이므로, 적응수단을 고려한 작물생육상의 변화를 파악하기 위해서는 시뮬레이션 분석이 필요하다.

본 절에서는 온도와 CO₂ 농도의 변화에 따른 벼 생육상의 변화와 함께 농가단위에서 질소량의 변화, 관수, 재배시기의 변화 등 적응수단을 활용할 경우의 벼 수량에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위하여 기후변화(온도와 CO₂)에 따른 벼 생태형 및 생육모의 연도별 잠재수량성 변화를 분석하고, 연도별 적응수단(질소시비량 및 관수량 조절)을 고려한 벼 수량성을 추정한다. 이와 같은 작물생육 시뮬레이션은 기후변화 적응수단의 농가단위 적용함께와 효과성 측정 방법에 이용되는 경제적 기대효용 분석을 위한 기초자료를 제공한다.

3.2. 분석모델

기후변화 적응수단의 영향력 분석을 위해 2000년 국제미작연구소(IRRI)와 네덜란드 와게닝겐 대학에서 개발한 벼 생육모델인 “ORYZA2000”을 활용한다. ORYZA2000에서의 벼 생육모의 환경은 다음의 세 가지가 있다. 첫째, 잠재생산성 조건으로 빛, 온도, CO₂ 등 기상자료 및 발육 형태와 생

¹⁴ ORYZA2000을 이용한 시뮬레이션 분석 연구는 이충근 박사(농촌진흥청 국립식량과학원)에게 위탁하여 수행한 ‘기후변화 적응 관련 작물생육 시뮬레이션(ORYZA2000) 분석’ 연구결과의 주요부분을 요약한 자료이다.

리적 과정에 대한 품종특성(품종모수)이 작물의 생육을 결정한다. 둘째, 도달가능한 생산성 조건으로 잠재수량성의 경우 수분 및 양분과 같은 제한요인에 의해서 도달 가능한 생육이 결정된다. 셋째, 실제 생산성 조건으로 실제에서는 잡초 및 병충해 같은 억제 요인에 의하여 생육이 더욱 축소된다. 현재 ORYZA2000은 잡초 및 병충해와 같은 억제요인은 완벽하게 방제하는 것으로 가정하고, 잠재 생산성 조건이나 질소 시비량 및 수분이 제한되는 도달가능한 생산성 조건에서 생육모의를 한다.

벼 생육모델 ORYZA2000에서의 벼 생육 모의에는 일사량 또는 일조시수, 최저온도, 최고온도, 강수량 등의 기상자료와 발육속도, 동화산물 기관분배율, 등숙기 동화산물 전류속도, 비엽면적지수(SLA) 등 품종모수 자료가 필요하다. 본 연구에서는 벼 생태별로 조생종은 오대벼, 중생종은 화성벼, 중만생종은 일품벼의 품종모수를 적용하여 생육모의를 하였다.

3.3. 분석자료

기후변화 시나리오에 따른 벼 생육모의 지역은 30년 평년자료가 구축되어 있는 기상대 또는 관측소가 위치한 지역 가운데 도서지역 및 벼 재배가 불가능한 지역을 제외한 56개를 선정하였다. 기후변화 시나리오에 따른 잠재수량성 모의를 위해 선정된 지역 전체를 이용하였으며, 기후변화 조건에서 적응수단(질소시비량 및 관수량 조절)을 고려한 생육모의를 위해 17개 지역을 이용하였다. 우리나라의 농업지대를 위치(중부, 호남, 영남 등)와 표고별로 구분하여 대표적으로 철원, 춘천, 강릉, 수원, 청주, 대전, 안동, 대구, 전주, 광주, 진주, 제천, 천안, 임실, 해남, 영덕, 밀양 등 17개 지역을 선정하였다.

기후변화 시나리오에 따른 벼 생육모의를 위해 기상자료를 생성하였다. 생육모의 연도는 1971~2000년(기준연도), 2011~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년의 30년 평년기상을 활용하였다. 기상시나리오는 IPCC의 A1B시나리오를 적용하였다. 기상청에서 제공한 기후 시나리오 자료를 이

용하여 생육모델에 이용할 수 있는 최고온도, 최저온도 및 강수량 자료를 생성하였다. 이 밖에도 IPCC 보고서 내용을 인용하여 기후시나리오에 따른 생육모의 연도의 이산화탄소 농도를 적용하였다.

생육모의 연도에 따른 연평균 기온 및 강수량 분포(56개 지역 평균)를 살펴보면, 기준연도(1971~2000)에 비하여 온난화가 진전될수록 최고기온, 최저기온, 강수량 및 CO₂ 농도 모두 증가하는 경향을 보였다<표 4-8, 표 4-9>. A1B의 기상시나리오에 따르면 100년 후의 전 지구적인 기온상승은 2.8℃인데 비하여, 본 연구에서는 최고 및 최저기온이 각각 4.0%, 4.4℃ 상승하는 것으로 예측되어 한반도의 온난화가 전 지구적인 온난화 보다 심할 것으로 예상되었다<표 4-8>. 또한 2071~2100년의 CO₂ 농도는 661ppm으로 기준연도의 345ppm에 비하여 약 2배 증가하는 것으로 예상되었다.

표 4-8. 생육모의 연도에 따른 연평균 기온 및 강수량

기상요소	생육모의 연도				1971-2000년 대비 편차		
	1971~2000	2011~2040	2041~2070	2071~2100	2011~2040	2041~2070	2071~2100
최고기온(℃)	17.9	19.0	20.4	22.0	1.1	2.5	4.0
최저기온(℃)	7.3	8.5	10.1	11.7	1.2	2.8	4.4
강수량(mm)	1,286	1,367	1,518	1,557	82	232	271

주: 연평균 기온 및 강수량은 56개 지역 평균치임.

표 4-9. 기상시나리오(A1B)에 따른 이산화탄소 농도 변화

단위: ppm

년 도	ISAMS	BERN	평균
1971-2000	346	345	345
2011-2040	438	434	436
2041-2070	552	542	547
2041-2100	666	655	661

주: ISAMS와 BERN은 탄소순환모델(Carbon Cycle Model)임.

3.4. 분석결과

3.4.1. 벼 생태형 및 생육모의 연도별 수량성 변화

벼 생태형 및 생육모의 연도별 수량성 변화를 분석하기 위해 생육모의 연도별로 기후시나리오에 따른 온도를 적용하고, CO₂ 농도는 기준연도를 적용하였을 경우 조생종, 중생종 및 중만생종 모두 온난화가 진전될수록 수량성이 감소하였으며 상대적으로 북부지역 및 중만생종에서 그 경향이 심하였다<표 4-10, 부표 3>.

벼 생육모의 연도별 CO₂ 농도에 따른 수량성의 변화를 분석하기 위해 기준연도의 온도를 적용하고, 생육모의 연도별 기후시나리오에 따른 CO₂ 농도를 적용한 결과 벼 생태형에 관계없이 수량성이 모두 증가하였으며 특히 조생종 및 중생종에 비하여 중만생종의 수량이 크게 증가하였다<표 4-10, 부표 3>. 온도 상승은 벼 수량성의 감소를, CO₂ 농도 상승은 벼 수량성의 증가를 야기하는데, 온도가 1℃ 상승함에 따라 벼 수량성은 ha당 조생종 178kg, 중생종 304kg, 중만생종 395kg 감소하여 평균 292kg 감소하고, CO₂ 농도가 100ppm 상승함에 따라 수량성은 ha당 조생종 201kg, 중생종 254kg, 중만생종 238kg 증가하여 평균 231kg 증가하는 것으로 예측되었다.

생육모의 연도별로 기후시나리오에 따른 온도 및 CO₂ 농도를 적용할 경우 조생종은 수량성이 약간 증가하는데 반하여 중생종은 약간 감소하고, 중만생종은 수량성이 크게 감소한 것으로 나타났다<표 4-10, 부표 3>. 전체적으로 남부지역이 북부지역에 비하여 온난화에 따른 수량성 감소가 심하였는데 이는 남부지역이 조생종의 재배적지가 아니므로 기준연도의 수량성이 비교적 낮아 상대적으로 감소가 적었기 때문이다. 또한, 중만생종의 경우 생육기간이 비교적 길고, 우리나라 대부분의 지역이 재배적지에 가까우므로 온난화 진전에 따른 수량성 감소가 조생종 및 중생종에 비해 큰 것으로 판단된다.

표 4-10. 벼 생태형 및 생육모의 연도별 수량성 변화

구 분		생태형	1971~2000년 대비 편차				총평균
			2011 ~2040	2041 ~2070	2071 ~2100	평 균	
기상 환경	평균온도(℃)		1.1	2.6	4.2	2.7	2.7
	CO ₂ 농도(ppm)		91	202	316	203	203
쌀수량 (kg/ha)	온도 변경, CO ₂ 고정	조 생 종	-232	-465	-601	-433	-695
		중 생 종	-421	-777	-969	-722	
		중만생종	-556	-1,012	-1,222	-930	
	온도 고정, CO ₂ 변경	조 생 종	217	372	567	385	415
		중 생 종	312	486	570	456	
		중만생종	321	435	457	404	
	온도 및 CO ₂ 변경	조 생 종	31	13	88	44	-183
		중 생 종	-53	-124	-144	-107	
		중만생종	-219	-513	-729	-487	
단위온도 변화에 따른 쌀수량성 변화 (kg/ha/1℃)	조 생 종	-211	-179	-143	-178	-292	
	중 생 종	-382	-299	-231	-304		
	중만생종	-506	-389	-291	-395		
단위 CO ₂ 농도 변화에 따른 쌀수량성 변화 (kg/ha/100CO ₂ ppm)	조 생 종	238	184	179	201	231	
	중 생 종	342	241	180	254		
	중만생종	353	216	145	238		

주: 1971~2000년의 평균온도는 12.6℃, CO₂ 농도는 345ppm, 생태형별 수량성은 각각 조생종 4,752, 중생종 4,777, 중만생종 5,180kg/ha임.

3.4.2. 적응수단을 고려한 벼 수량성 추정

기후변화 조건에서 적응수단(질소시비량 및 관수량 조절)을 고려한 생육모의를 위해 17개의 대표적인 지역을 선정하였다. 그리고 적응수단으로는 질소시비량(0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210kg/ha)과 관수일수(0, 3, 6, 9, 12, 15, 30, 200일)를 설정하였다. 관수일수는 논에 물이 없어진 후 관수하

는 일수이며, 매회 관수량은 75mm이다.

벼 생태형, 질소시비량 및 관수조건에 관계없이 재배시기를 고정하였을 경우 온난화가 진전될수록 쌀 수량은 감소하는 경향이었으나, 재배시기를 조정할 경우 오히려 쌀 수량은 증가하는 경향이었으며, 이러한 경향은 조생종, 중생종, 중만생종 순으로 크게 나타났다<부표 3>. 생태형별로 보면, 조생종은 재배시기 고정에 따른 쌀 수량 감소는 크지 않았으나, 생육모의 연도별로 재배시기 이동에 따른 쌀 수량이 다른 생태형에 비하여 크게 증가하였다. 중만생종은 재배시기 고정에 따른 쌀 수량 감소가 컸으나 생육모의 연도별로 재배시기 이동에 따른 쌀 수량 증가는 다른 생태형에 비하여 적었다. 중생종은 조생종과 중만생종의 중간의 경향을 보였다. 재배시기가 고정되었을 경우 온난화가 진전될수록 생육모의 연도별로 재배시기를 조정할 때 보다 등숙기 온도가 크게 상승하여 등숙 불량에 의한 수량 감소를 야기하는 것으로 판단된다.

질소시비량 및 관수조건에 따른 벼 수량성을 분석한 결과 벼 생태형 및 생육모의 연도에 관계없이 질소시비량이 많을수록 식물체 질소흡수와 쌀 수량은 증가하는 경향이었으나 쌀 수량은 질소시비량이 ha당 180kg 이상 일 때는 오히려 감소하는 경향이였다<부표 3>. 실제로 우리나라에 주로 재배되고 있는 벼 품종들은 질소시비량이 150~180kg 이상이 되면 도복, 병충해 발생 및 상호 차광에 의해서 수량이 정체되거나 감소한다. 이러한 현상을 반영하기 위해 질소영양지수를 이용하여 질소 시비량이 어느 한계(180kg/ha) 이상에서 수량이 감소하도록 모델에 반영하였다. 벼 생태형 및 생육모의 연도에 관계없이 논에 물이 없어진 후 관수하는 일수가 짧을수록 관수량이 많았으며, 쌀 수량도 증가하는 경향이였다<부표 3>.

관수일 또는 관수량에 비하여 질소시비량이 쌀 수량에 미치는 영향이 더 크게 나타났다. 실제 우리나라에서는 벼 재배기간 중 강수량은 매우 많은 편이며, 관개시설도 대부분 잘 갖추어져 있으므로 관수의 효과는 크지 않은 것으로 판단된다.

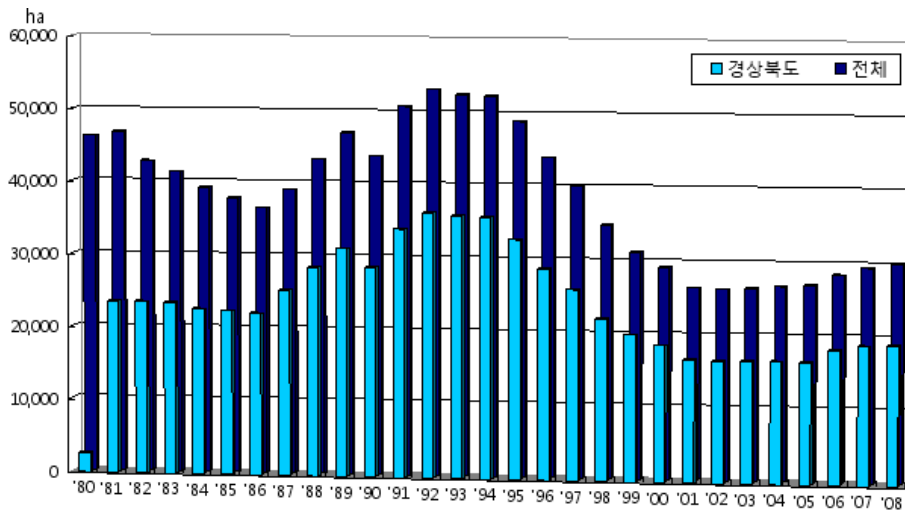
4. 주요 농산물의 주산지 변동 분석

4.1. 사과

4.1.1. 사과의 재배 특성

사과의 재배면적은 1980년대 중반 이후 지속적으로 증가하여 1994년 52,098ha를 정점으로 감소하고 있다. 2000년대 들어 과잉생산으로 가격이 폭락하면서 감소하다 2003년부터 증가추세를 보이고 있다<그림 4-10>. 재배지역 분포를 보면 경북지역이 전체 재배면적의 60% 이상을 차지하고 있고, 경남·충청·전북 등에서 주로 재배되고 있다.

그림 4-10. 연도별 사과 재배면적 변화 추이(1980-2008)

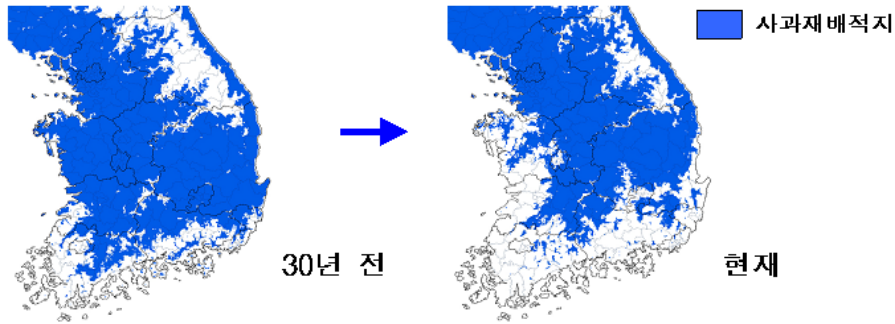


자료: 농림수산식품부, 『농림수산식품 주요통계』, 각 연도, 통계청(KOSIS).

사과 재배적지는 연평균 기온이 8~11℃, 생육기 평균기온이 15~18℃로 겨울 온도가 내륙 또는 분지의 특징을 지닌 지역이 해당된다. 현재 국내에

서 사과를 재배하는 지역의 연평균 기온은 13.5℃ 이하이다. 현재 온난화로 인해 사과 재배적지가 북상하고 있으며 안전재배지대가 확대되고 있는 것으로 나타났다<그림 4-11>¹⁵.

그림 4-11. 온난화로 인한 사과 재배적지 북상도



자료: 농촌진흥청(2009).

4.1.2. 사과 주산지역 변화 특성

사과의 재배면적 기준으로 지역별 변동의 증감을 비교하기는 어려우므로 재배면적 비중을 기준으로 사과 재배지역의 변동을 살펴보았다.

사과 주산지 가운데 재배면적 및 비중이 증가한 지역은 영주, 의성, 안동 등(경북), 청송, 거창, 봉화(고령지·준고령지역), 밀양(산간지역) 등이다<그림 4-12>. 주산지는 아니지만 재배면적 및 비중이 증가하고 있는 지역으로는 영덕, 영양(경북), 장수, 무주(전북), 괴산, 영동, 보은, 단양(충북) 등으로 나타났다<그림 4-13>. 이들 지역은 주로 일교차가 큰 내륙산간지역 및 준고령지·고령지역으로 기온상승으로 인해 과거 재배부적지에서 재배적지로 전환되면서 재배면적이 증가하고 있는 것으로 판단된다.

¹⁵ 안전재배지대란 월동하는 작물이 겨울동안 동사(凍死)하지 않고 견딜 수 있는 최저 기온대를 나타내는 것으로 월동하는 농작물의 재배 가능지역을 의미한다.

1970년대 사과 주산지였던 경북 경산 및 예산, 영천, 청도 등 지역의 재배면적은 감소한 반면, 제천, 당진, 정읍, 장성, 곡성, 익산 등의 재배면적은 큰 변화 없이 유지되고 있는 것으로 나타났다.

그림 4-12. 사과 주산지 중 재배면적 증가 지역

(재배면적 기준)

(재배면적 비중 기준)

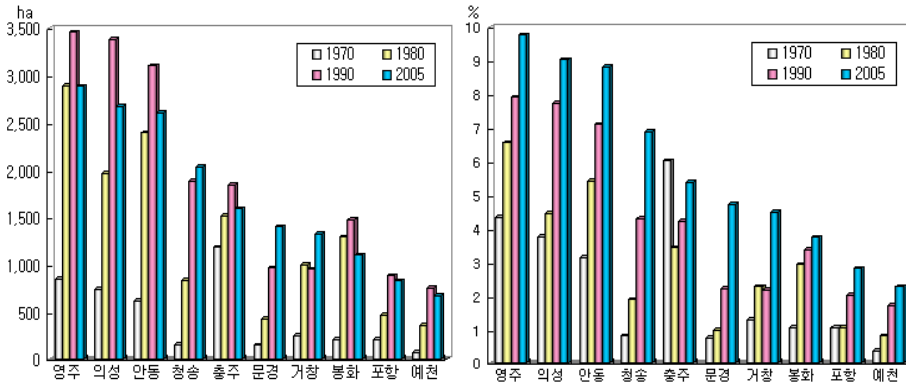
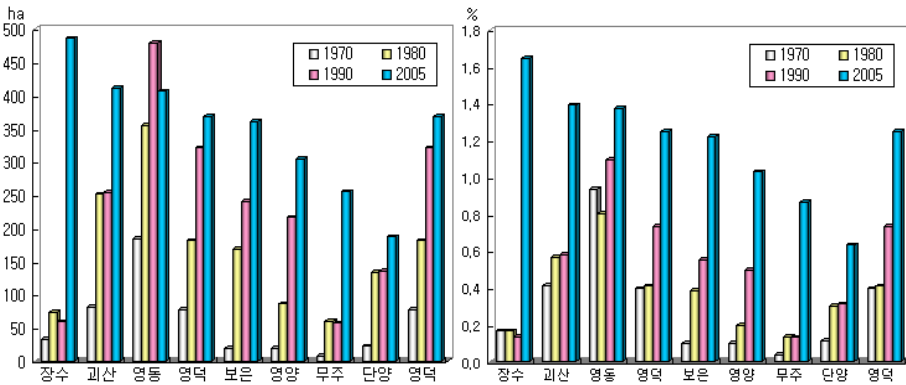


그림 4-13. 사과 신규 재배면적 비중 증가 지역

(재배면적 기준)

(재배면적 비중 기준)



1970년의 사과 주산지(재배지역 상위 10% 기준)는 경산, 영천, 충주, 예산, 영주, 칠곡, 의성, 군위, 홍성, 안동, 청도 등이며, 1990년은 영주, 의성,

안동, 영천, 상주, 청송, 충주, 예산, 군위, 봉화, 경주, 김천, 청도, 문경 등이었다. 또한 2005년은 영주, 의성, 안동, 청송, 충주, 문경, 거창, 봉화, 예산, 상주, 포항, 영천, 예천, 군위 등으로 나타났다.

1970년과 2005년의 사과 주산지를 비교해 보면 군위, 안동, 영주, 영천, 예산, 의성, 충주 등이 주산지를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 1970년 경북 및 경남에서 재배되던 사과는 점차 주산지가 북상하여 2005년에는 주로 경북에서 재배되며 거창, 장수, 무주 등 고랭지·준고랭지역 및 산간지역으로 재배지가 확대된 것으로 분석되었다<표 4-11, 그림 4-14>.

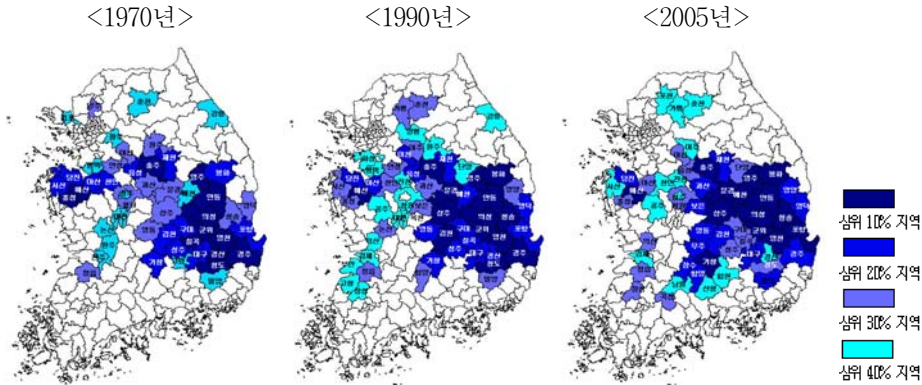
표 4-11. 연대별 사과 재배지역의 변화 추이

단위: 개

구 분		지역수	지 역
1970	전체 조사대상 지역	124	
	상위 10% 지역	12	경산,영천,충주,예산,경주,영주,칠곡,의성,군위,홍성,안동,청도
	상위 20% 지역	25	대구,성주,김천,음성,이산,제천,서산,천안,거창,당진,구미,포항,봉화
	상위 30% 지역	37	상주,영동,원주,청송,안성,이천,문경,청원,정읍,양주,괴산,영덕
	상위 40% 지역	50	강릉,전주,예천,완주,고령,청주,평택,춘천,밀양,논산,광주,김포,대전
1990	전체 조사대상 지역	144	
	상위 10% 지역	14	영주,의성,안동,영천,상주,청송,충주,예산,군위,봉화,경주,김천,청도,문경
	상위 20% 지역	29	거창,포항,예천,제천,경산,구미,이천,칠곡,영동,이산,당진,대구,음성,성주,영덕
	상위 30% 지역	43	홍성,논산,천안,함양,가평,괴산,보은,안성,여주,영양,정읍,춘천,서산,밀양
	상위 40% 지역	58	익산,강릉,청원,김제,공주,단양,평택,고창,진천,장성,화성,원주,대전,양평,부안
2005	전체 조사대상 지역	140	
	상위 10% 지역	14	영주,의성,안동,청송,충주,문경,거창,봉화,예산,상주,포항,영천,예천,군위
	상위 20% 지역	28	밀양,제천,함양,장수,괴산,영동,영덕,김천,보은,당진,영양,경주,무주,대구
	상위 30% 지역	42	음성,단양,청도,성주,구미,정읍,이산,장성,칠곡,곡성,이천,홍성,익산,청원
	상위 40% 지역	56	가평,공주,청주,김제,진천,포천,남원,천안,서산,경산,여주,산청,합천,춘천

자료: 통계청. 「농업총조사 분석보고서」. 1970, 1990, 2005.

그림 4-14. 연대별 사과 재배지역의 지역별 변동 현황



4.13. 사과 주산지 변화 전망

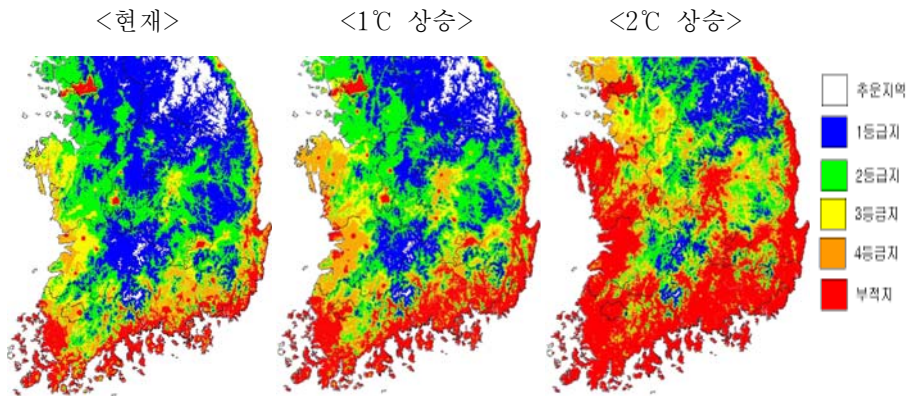
서형호 등(2004)은 전체 사과 재배면적 중 점유율이 70%에 달하는 품종인 ‘후지’를 착색을 기준으로 기온상승 정도별 재배적지 변동을 예측하였다¹⁶. 현재는 남부지방과 일부해안지대 및 내륙 평야지대와 대도시 인근을 제외한 모든 지역이 사과의 기후적 재배적지에 해당하며 현재 사과의 주산지들이 대부분 이 범위에 포함된다. 생육기 평균기온이 1℃ 상승하게 되면 남쪽에서 북쪽으로, 해안에서 내륙으로, 평지에서 산지로, 도시의 중심에서 외곽으로 재배적지가 점차 축소되는 것을 볼 수 있다. 또한 매우 추운지역인 산간지가 점차 적합한 지역으로 변해가는 것을 알 수 있다. 2℃ 상승할 경우 우리나라 대부분 지역이 사과재배 부적지가 되는 것으로 나타났다<그림 4-15>.¹⁷

¹⁶ 후지 품종이 1970년대 도입되어 현재처럼 재배면적이 증가해온 이유는 우리나라의 기후조건에서 최상 품질의 과실을 생산할 수 있었기 때문인데 만약 앞으로 30~40년 후에도 ‘후지’ 품종이 계속 유지가 된다면, 품질 저하뿐만 아니라 우리나라 사과 산업의 경쟁력도 크게 저하될 것으로 예상된다.

¹⁷ 기상청 기후변화 시나리오에 의하면, 사과의 생육기 평균기온이 2℃ 정도 상승하려면 지금과 같은 추세로 약 2050년 이후가 될 것으로 판단된다(서형호 외, 2004).

온난화로 사과 재배지가 북상하고, 향후 경남 및 충남의 사과 재배면적은 계속 감소될 것으로 예상된다. 반면 경북에서도 지금보다 위도가 더 높은 봉화, 청송, 영동, 안동 등의 지역, 포천, 가평 등 경기지역 및 춘천, 양구, 횡성, 영월 등 강원지역으로 재배지가 북상할 것으로 예상된다. 또한 경남 밀양, 거창, 함양 등 고랭지·준고랭지지역 및 산간지역으로 재배면적이 확대될 것으로 예상된다<표 4-12>.

그림 4-15. '후지'의 생육기 평균기온 상승 정도별 재배적지 변동 예측



자료: 서형호 외(2004).

표 4-12. 온난화에 따른 사과 재배지 변화 전망

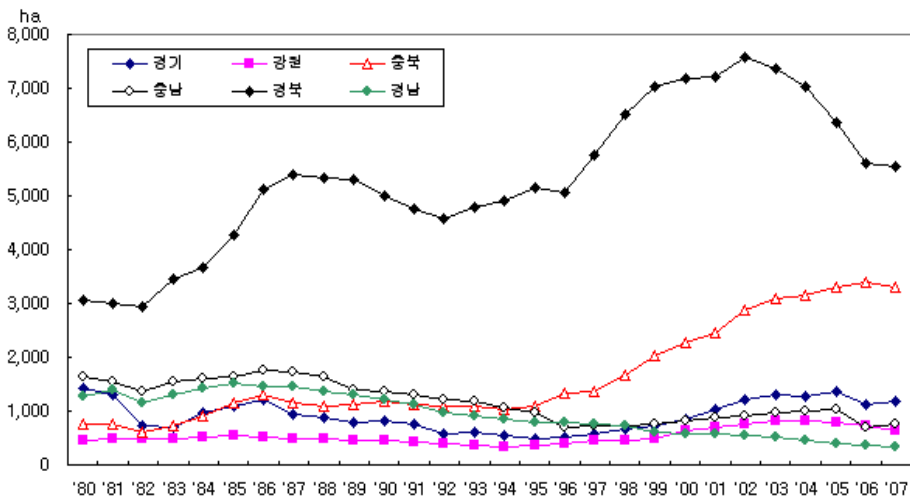
구 분		지 역
증가 지역	주산지역	영주, 의성, 안동, 청송, 충주, 문경, 거창, 봉화, 포항, 예천, 밀양, 함양
	新 증가지역	장수, 괴산, 영동, 영덕, 보은, 영양, 무주, 단양
감소지역		예산, 영천, 군위, 김천, 경주, 대구, 음성, 청도, 성주, 구미, 아산, 칠곡, 이천, 홍성, 청원, 천안, 서산, 경산
유지지역		제천, 당진, 정읍, 장성, 곡성, 영월
향후 사과 주산지		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경북에서도 현재 재배지보다 위도가 더 높은 지역(봉화, 청송, 영주, 안동 등) ▪ 경남에서 밀양, 거창, 함양 등 고랭지·산간지역 ▪ 전북에서 장수, 무주 등 고랭지 지역 ▪ 경기 북부지역(포천, 가평), 강원도 일부(춘천, 양구, 횡성, 영월 등) 지역

4.2. 복숭아

4.2.1. 복숭아의 재배 특성

복숭아 재배면적은 1996년까지 감소하다 이후 2003년 15,880ha까지 증가하였다. 2002년 복숭아 재배면적의 73%를 차지하였던 경북은 이후 재배면적이 감소하면서 2007년 53%를 차지한 반면, 충북, 경기, 강원지역의 재배면적은 증가하고 있는 것으로 나타났다<그림 4-16>.

그림 4-16. 복숭아 주산지의 재배면적 동향



자료: 농림수산물부, 「농림수산물 주요통계」, 각 연도.

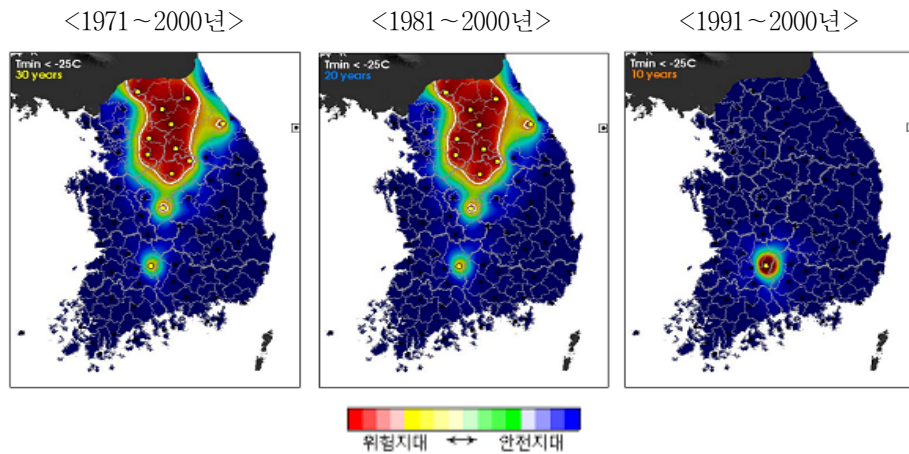
복숭아 최적 생육온도는 연평균 12~15℃이며, 휴면기에는 내한성이 강하나 약 15년 주기의 재배 사이클에 극기온이 -25℃에 이르는 지역은 불안정 지대이다. 겨울철이 자발휴면기간일지라도 한계기온보다 낮아지면 복숭아 꽃눈은 대부분 동사하게 된다.

복숭아는 내습성이 약한 과수로 강수량에 영향을 많이 받아 비가 적게 오는 지방에서 재배하는 것이 유리하다. 특히 새가지 신장기인 5~6월에 비

가 많이 오면 일조량 부족, 동화작용 저하, 토양다습으로 인한 뿌리의 생리 기능이 저하되고, 새가지의 왕성한 생장으로 양분의 소모가 증가하여 배의 발육과 양분의 경쟁으로 생리적 낙과 현상이 증가하게 된다. 성숙기인 여름철에 비가 많이 오면 일조량 부족으로 과실내 당분 축적이 줄어들어 품질저하와 품종에 따라 열과가 발생하며, 다습상태에서는 병해발생이 증가한다.

기온이 상승하면서 동해피해 위험과 빈도가 줄어들고 있다. <그림 4-17>에서 보는 바와 같이 흰색선 안쪽은 동해발생 확률이 아주 높은 지역으로 시간이 갈수록 동해발생 위험지역의 범위가 줄어들고 있음을 알 수 있다.

그림 4-17. 복숭아의 기간별 동해위험지역 비교
(대화조생, 대구보, 기도백도, 사자조생, 동량조생)



자료: 서형호 외(2002).

4.2.2. 복숭아 주산지역 변화 특성

복숭아 주산지 가운데 경북 영천, 충북 충주, 음성, 영동, 경기 이천 등의 재배면적 및 비중이 증가하였다<그림 4-18>. 또한 주산지는 아니지만 재배면적 및 비중이 증가하고 있는 지역은 원주, 춘천, 횡성(강원), 상주, 의성,

영주, 청송(경북 및 준고랭지역), 남원, 임실, 무주(전북 및 준고랭지역), 여주(경기) 등으로 나타났다. 과거에는 온도가 낮아 복숭아 재배에 부적합했던 지역들이 온난화로 인해 재배지역으로 확대되고 있다<그림 4-19>.

복숭아 주산지인 경남 경산, 청도 등의 재배면적은 감소하고 있으며 연기, 대구, 옥천, 청원, 경주 등의 재배면적은 기존과 비슷하게 유지되고 있다.

그림 4-18. 복숭아 주산지 중 재배면적 증가 지역

(재배면적 기준)

(재배면적 비중 기준)

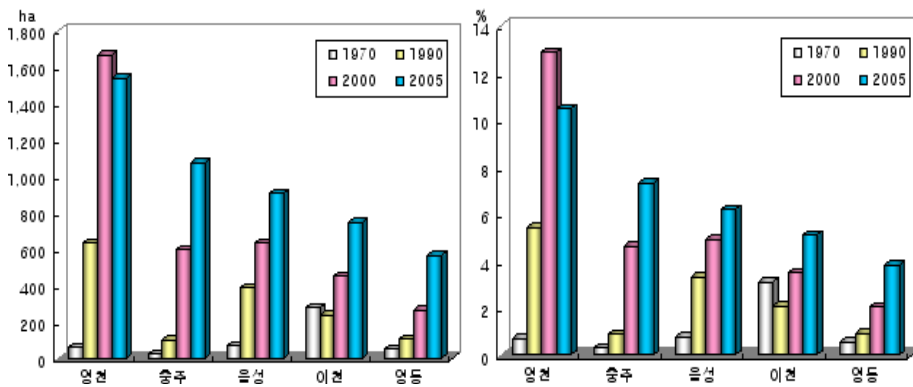
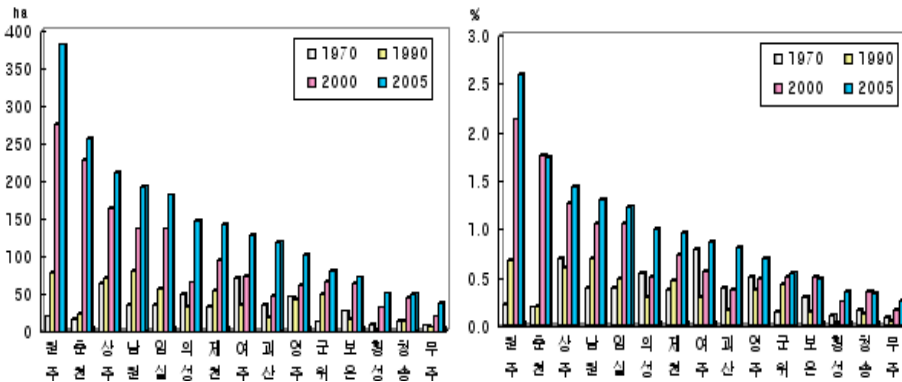


그림 4-19. 복숭아 신규 재배면적 비중 증가 지역

(재배면적 기준)

(재배면적 비중 기준)



1970년과 2005년의 복숭아 주산지를 비교해보면 경산, 연기, 이천, 전주, 청도, 대구 등이 현재까지 주산지로 중요한 위치를 차지하고 있었다. 1970년 복숭아 재배면적 상위 10%에 해당하는 지역이 위의 6개 시군 외에도 나주, 논산, 아산 등이었고, 2005년에는 영천, 충주, 춘천 등으로 변화하였다 <표 4-13>.

표 4-13. 연대별 복숭아 재배지역의 변화 추이

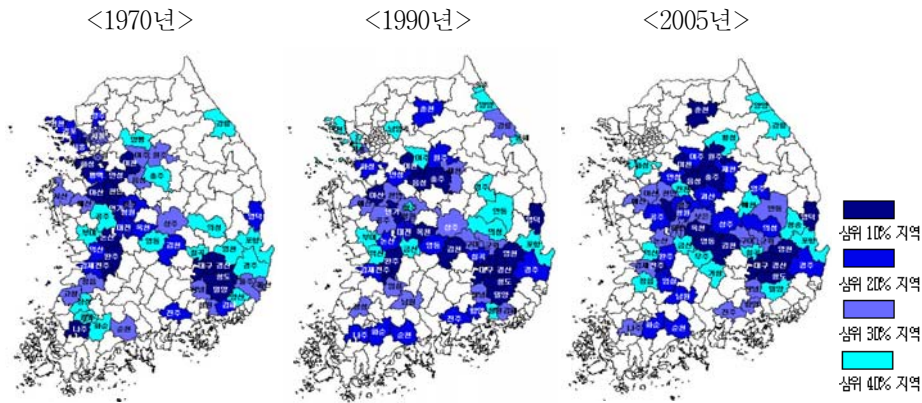
단위: 개

구 분		지역수	지 역
1970	전체 조사대상 지역	147	
	상위 10% 지역	15	나주,논산,부천,이천,원주,아산,밀양,천안,전주,연기,대구,안성,경산,청도,화성
	상위 20% 지역	29	김해,진주,인천,대전,영덕,시흥,김제,김천,평택,청원,익산,양주,옥천,김포
	상위 30% 지역	44	예산,창원,원주,창녕,울산,서울,고창,수원,여주,음성,순천,청주,정읍,상주,서산
	상위 40% 지역	50	영천,충주,광주,공주,화순,강릉,칠곡,경주,부여,영동,장성,의성,양평,양산,포항
1990	전체 조사대상 지역	149	
	상위 10% 지역	15	청도,경산,영천,전주,영덕,대구,음성,원주,연기,옥천,밀양,이천,김천,충주,아산
	상위 20% 지역	30	논산,함안,원주,화성,진주,칠곡,안성,순천,나주,화순,춘천,김제,영동,대전,경주
	상위 30% 지역	45	김해,구미,상주,청원,남원,창녕,천안,장성,예산,임실,공주,제천,강릉,군위,시흥
	상위 40% 지역	60	포항,금산,영주,익산,청주,양양,동해,여주,의성,안동,인천,속초,창원,부여,남양주
2005	전체 조사대상 지역	151	
	상위 10% 지역	15	영천,경산,청도,충주,음성,이천,영동,연기,대구,원주,옥천,영덕,김천,전주,춘천
	상위 20% 지역	30	상주,남원,임실,의성,제천,순천,여주,청원,괴산,영주,화순,경주,원주,안성,공주
	상위 30% 지역	45	김제,논산,안동,군위,진주,창녕,천안,보은,대전,청주,구미,나주,함안,예산,아산
	상위 40% 지역	60	화성,양양,강릉,금산,횡성,청송,정읍,예천,칠곡,무주,밀양,거창,진천,익산,포항

자료: 통계청. 「농업총조사 분석보고서」. 1970, 1990, 2005.

이를 GIS를 이용하여 분석한 지도를 통해 살펴보면 1970년대 복숭아 주 재배지역이 서해안일대와 경남이었으나, 2005년에는 거의 전국적으로 분포하고 있음을 볼 수 있다<그림 4-20>. 즉, 지구온난화로 인한 기온 상승과 동해 발생지역 감소로 복숭아 재배지역이 확대되는 것으로 판단된다.

그림 4-20. 연대별 복숭아 재배지역의 지역별 변동 현황



4.2.3. 기후변화에 따른 복숭아 주산지의 변화 전망

향후 강수량 증가로 경남지역의 복숭아 재배면적은 더욱 감소할 것으로 보이나, 기온 상승으로 인해 고랭지·준고랭지역, 산간지역, 경기 및 강원지역으로 재배가 확대될 것으로 예상된다<표 4-14>.

표 4-14. 온난화에 따른 복숭아 재배지역 변화 및 향후 재배지 예측

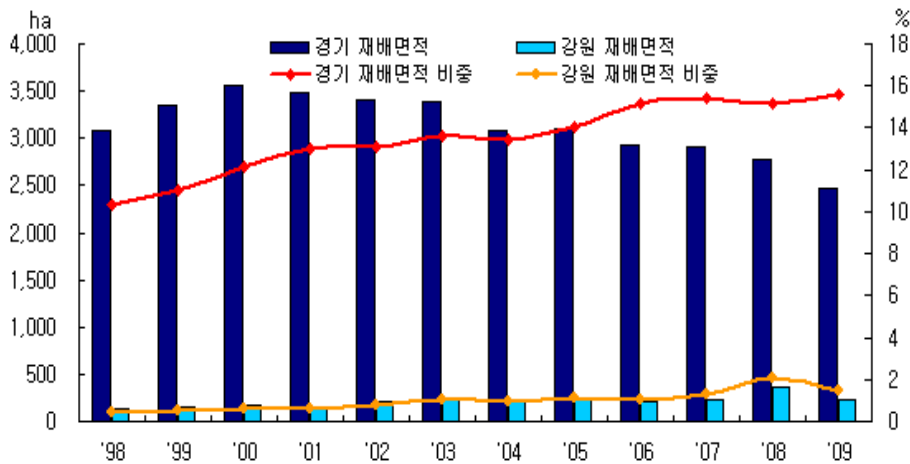
구 분		지 역
증가 지역	주산지역	영천, 충주, 음성, 이천, 영동
	新 증가지역	원주, 춘천, 상주, 남원, 임실, 의성, 제천, 여주, 괴산, 영주, 군위, 보은, 횡성, 청송, 무주
감소 지역	감소지역	나주, 논산, 완주, 아산, 밀양, 천안, 안성, 화성, 김해, 진주, 인천, 대전, 시흥, 김제
	최근감소지역	경산, 청도, 영덕, 김천, 전주, 순천, 화순
유지지역		연기, 대구, 옥천, 청원, 경주, 안동, 구미, 양양, 예천, 거창, 양구, 삼척, 장수
향후 복숭아 재배지역		<ul style="list-style-type: none"> 기존의 충주, 음성, 이천, 원주, 춘천 등 충북 및 강원지역이 주산지로 부상 경남과 전남, 제주 지역 등을 제외한 전국 대부분의 지역으로 재배지역이 확대될 전망

4.3. 포도

4.3.1. 포도의 재배 특성

포도 전체 재배면적은 감소 추세이나 강원 및 경기지역의 재배면적 및 재배면적 비중은 증가하고 있다. 경기지역의 면적은 1998년 3,086ha에서 2000년 3,557ha까지 증가하였으나 이후 감소하여 2009년에는 2,462ha이었다<그림 4-21>. 전체 재배면적에서 차지하는 비중은 1998년 10.3%에서 2009년 15.6%로 증가하였다. 강원지역 포도재배면적은 1998년 140ha에서 2008년 371ha로 증가하였으나 2009년은 226ha로 감소하였다. 재배면적 비중은 1998년 0.5%에서 2008년 2.0%로 증가하였다.

그림 4-21. 경기 및 강원 포도 재배면적 및 재배면적 비중 변화



자료: 통계청(kostat.go.kr).

포도의 생육온도는 20~25℃이며 토양 적응범위는 넓은 편으로 pH 6.0~6.5 정도가 적당하다. 척박한 토양에도 잘 견디며 내습성, 내건성이 강해 재배 범위가 넓은 편이다.

4.3.2. 포도 주산지역 변화 특성

포도 주산지 가운데 경북 영천, 김천, 영동, 상주, 경기 화성, 안산, 충남 천안, 아산, 전북 김제 등의 재배면적 및 비중이 증가한 것으로 나타났다<그림 4-22>. 주산지는 아니지만 재배면적 및 비중이 증가하고 있는 지역은 가평, 포천(경기), 영월(강원), 거창, 무주(준고랭지역), 남원 등으로 이 지역의 재배면적이 증가하는 이유는 과거에는 온도가 낮아 포도 재배 부적지가 온난화로 재배 가능지역으로 전환되었기 때문으로 판단된다<그림 4-23>.

그림 4-22. 포도 주산지 중 재배면적 증가 지역

(재배면적 기준)

(재배면적 비중 기준)

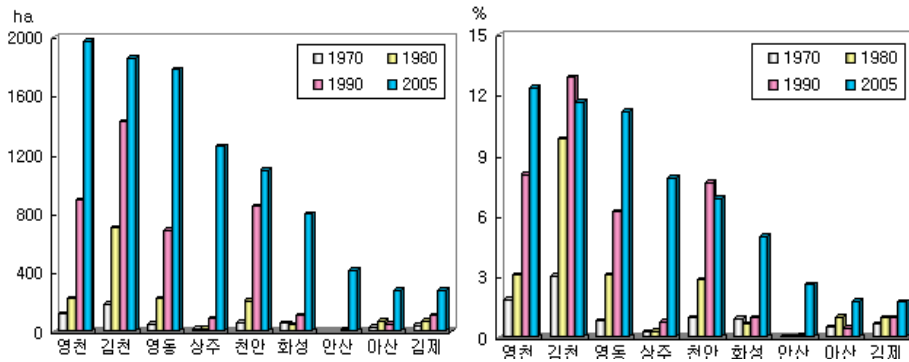
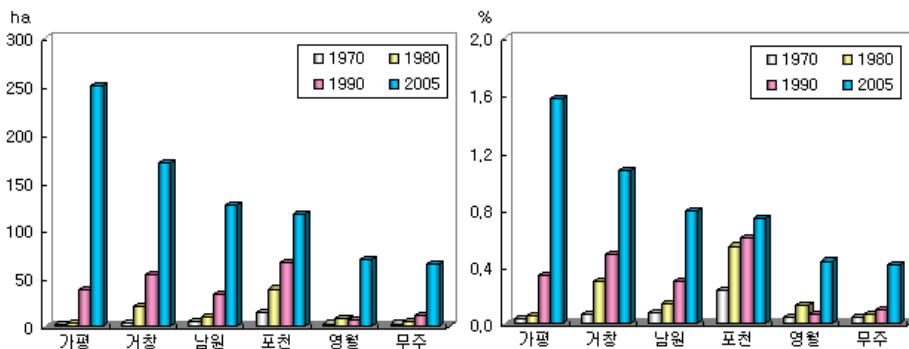


그림 4-23. 포도 신규 재배면적 비중 증가 지역

(재배면적 기준)

(재배면적 비중 기준)



포도 주산지인 경남 경산의 재배면적이 감소하고 있으며 안성, 칠곡, 연기, 보령 등의 재배면적은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

1970년과 2005년의 포도 주산지를 비교(상위 10% 지역 기준)해보면 영천, 김천, 경산, 대구, 안성, 옥천 등이 1970년부터 현재까지 주산지로 나타났다. 1970년은 6개 시군 외에도 대전, 부천, 밀양, 창원 등에서 많이 재배되었는데, 2005년에는 영동, 상주, 천안, 화성 등으로 변화하였다<표 4-15>.

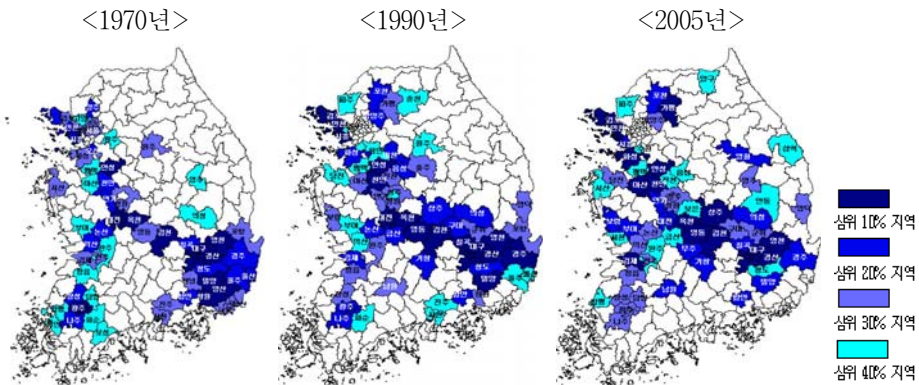
재배적지 변화 지도를 통해 보면 1970년에는 주로 재배가 경남과 서해안지역을 위주로 이루어졌다면 2005년에는 포도 재배적지가 확대되어 경북, 충북, 경기, 강원 등지에서도 재배되고 있음을 볼 수 있다. 또한 2005년에는 과거 포도 재배부적지였던 거창, 무주 등 고랭지·준고랭지역 또는 산간지역에서도 재배가 가능한 것으로 나타났다<그림 4-24>.

표 4-15. 포도 상위 비중별 주요 재배지역

구 분		지역수	지역
1970	전체 조사대상 지역	140	
	상위 10% 지역	14	경산, 대전, 부천, 밀양, 창원, 옥천, 김천, 대구, 광주, 김해, 안성, 영천, 시흥, 양산
	상위 20% 지역	28	경주, 양주, 논산, 인천, 나주, 청도, 연기, 칠곡, 수원, 함안, 장성, 울산, 익산, 천안
	상위 30% 지역	42	화성, 영동, 김포, 청원, 원주, 김제, 포항, 부산, 전주, 진주, 서산, 창녕, 사천, 서울
	상위 40% 지역	56	담양, 아산, 영주, 함평, 고양, 부여, 보성, 평택, 완주, 화순, 광주, 무안, 의성, 정읍
1990	전체 조사대상 지역	153	
	상위 10% 지역	15	김천, 경산, 영천, 천안, 영동, 대구, 김포, 옥천, 안성, 대전, 경주, 밀양, 인천, 시흥, 칠곡
	상위 20% 지역	31	음성, 함안, 화성, 김제, 의성, 금산, 남양주, 광주, 상주, 청도, 나주, 논산, 구미, 포천, 이천, 거창
	상위 30% 지역	46	청원, 아산, 청원, 정읍, 연기, 진천, 보령, 장성, 충주, 포항, 군위, 가평, 완주, 영덕, 남원
	상위 40% 지역	61	춘천, 사천, 익산, 화순, 당진, 부여, 청주, 파주, 원주, 부천, 수원, 용인, 울산, 진주, 평택
2005	전체 조사대상 지역	156	
	상위 10% 지역	16	영천, 김천, 영동, 상주, 경산, 천안, 화성, 대구, 안산, 안성, 아산, 김제, 가평, 김포, 옥천, 인천
	상위 20% 지역	31	경주, 대전, 거창, 칠곡, 남원, 포천, 밀양, 연기, 보령, 의성, 영월, 시흥, 무주, 부여, 함안
	상위 30% 지역	47	영덕, 광주, 전주, 장성, 구미, 청원, 나주, 익산, 영주, 담양, 청주, 논산, 남양주, 군위, 정읍, 당진
	상위 40% 지역	62	수원, 금산, 청도, 평택, 진천, 삼척, 안동, 완주, 보은, 파주, 서천, 영광, 양구, 음성, 서산

자료: 통계청, 「농업총조사 분석보고서」.

그림 4-24. 연대별 포도 재배지역의 지역별 변동 현황



4.3.3. 기후변화에 따른 포도 주산지 변화 전망

지구온난화로 인해 기온이 상승하면서 향후 포도 재배지는 더욱 확대될 것으로 예상된다. 현재 주산지역인 경북 영천, 김천, 영동, 상주, 경기 화성, 안산, 충남 천안, 아산, 전북 김제 등에서 향후 재배지가 북상하면서 경북, 충북 및 경기지역이 주산지역으로 부상하며 강원지역으로 재배가 더욱 확대될 것으로 예상된다<표 4-16>.

표 4-16. 온난화에 따른 포도 재배지역 변화 및 향후 재배지 예측

구 분		지 역
증가 지역	주산지역	영천, 김천, 영동, 상주, 화성, 안산, 천안, 아산, 김제
	新증가지역	가평, 포천, 영월, 거창, 무주, 남원
감소지역		경산, 옥천, 김포, 대전, 밀양, 시흥, 함안, 광주, 나주, 논산, 남양주, 청도, 부천, 창원, 양주, 원주, 김해, 양산
유지지역		안성, 칠곡, 연기, 보령, 장성, 구미, 영주, 군위, 삼척, 양구, 청송, 강릉, 함양, 동해, 영양, 연천, 홍천, 정선, 평창
향후 포도 재배지역		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경북, 충북 및 경기지역이 주산지역으로 부상할 전망 ▪ 경기 및 강원지역으로 재배가 확대 전망

4.4. 한라봉

4.4.1. 한라봉 재배 특성

한라봉은 1990년대 초반 제주도에 처음으로 도입되었고, 기술적 제약으로 보급되지 못하였으나 1990년대 말에 재배기술이 정착되면서 보급 확대되었다. 주로 제주에서 재배되었으나, 지구온난화로 인해 기온이 상승하면서 전남 및 경남지역으로 재배지역이 점차 확대되고 있다. 한라봉 재배면적은 1994년 1.5ha이었으나, 2000년 265ha, 2004년 1,101ha까지 급격히 증가한 이후, 2007년에는 1,137ha로 완만한 증가세를 보이고 있다.

한라봉 생육온도를 보면 발아적온은 15℃ 이상, 육묘적온은 15℃ 이상, 비대적온은 20~25℃, 저장적온은 4~5℃이며 연평균 온도가 16.5℃ 이상인 지역으로 겨울철 기온이 3℃ 이하로 내려가지 않는 지역에서 재배가 가능하다.

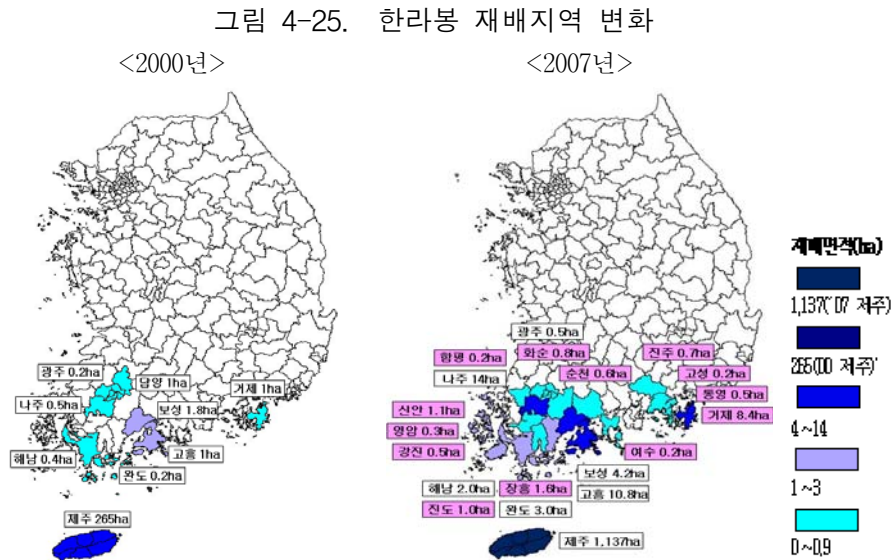
4.4.2. 한라봉 주산지역 변화 특성

2000년 제주와 전남 일부지역에서 재배되던 한라봉은 2007년 확대되어 제주, 전남, 경남지역에서 재배되며 면적도 크게 증가하였다. 2000년 한라봉 재배면적은 제주 265ha, 전남 7개 시군(광주, 나주, 담양, 해남, 보성, 고흥, 완도) 4.2ha, 경남 거제 1ha 등이었다. 2007년에는 제주 1,137ha, 전남 16개(광주, 화순, 순천, 여수, 보성, 고흥, 장흥, 완도, 진도, 해남, 강진, 영암, 신안, 함평, 나주) 시군 40.8ha, 경남 4개 시군(거제, 진주, 고성, 통영) 9.8ha으로 크게 증가하였으며 온난화로 인해 한라봉 재배가능지역이 크게 북상한 것으로 나타났다<그림 4-25>.

4.4.3. 기후변화에 따른 한라봉 주산지의 변화 전망

향후 한라봉 재배지역은 한반도 온난화로 인해 더욱 확대될 것으로 예상된다. 기온이 상승하면서 시설재배가 주로 이루어졌던 제주지역의 한라봉

은 노지재배로 많이 전환될 것으로 전망되며, 재배지역도 전남 및 경남의 다른 지역으로 확대될 것으로 예상된다<표 4-17>.



주: 2007년 지역에 색이 있는 곳은 신규 재배지역임.
 자료: 전남 농업기술원, 제주도청.

표 4-17. 온난화에 따른 한라봉 재배지역 변화 및 향후 재배지 예측

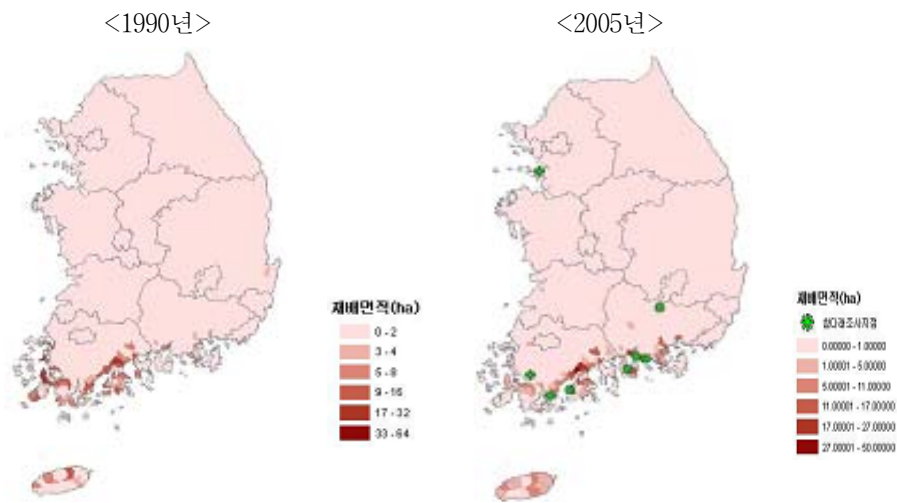
구 분	지 역
2000년	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제주 서귀포 ▪ 전남 광주, 나주, 담양, 보성, 해남, 고흥, 완도 등 7개 시군
2007년	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제주 서귀포, 제주시 ▪ 전남 광주, 화순, 함평, 나주, 신안, 영암, 강진, 해남, 진도, 장흥, 완도, 보성, 고흥, 여수, 순천 등 16개 시군 ▪ 경남 거제, 통영, 진주, 고성 등 4개 시군
향후 한라봉 재배지역	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제주지역 한라봉은 노지재배가 더욱 증가할 전망 ▪ 전남 고흥, 나주 및 경남 거제 지역이 육지부 주산지역으로 확대될 전망 ▪ 기존 재배지 외에도 경남지역(밀양 등)과 전남지역(장성 등)으로 북상할 것으로 전망

4.5. 열대작물

지구가 온난화되면서 과거 우리나라에서는 불가능했던 열대작물의 재배가 가능해지면서 재배면적도 확대되고 있다.

일례로 비교적 신생 재배작물로서 주로 제주도와 남부 해안지역에서 재배되는 참다래의 주산지 변화를 살펴보면, 1990년에 전남 목포, 해남, 고흥과 제주 북부에 형성되어 있던 참다래 주산지가 2005년에는 기존 재배 주산지 이외에 경남 사천 등으로 확대되었다<그림 4-26>. 또한 제주도의 경우, 북부지역에 한정되어 있던 재배지가 제주 전역으로 확대된 것으로 나타났다(곽영순 외, 2009). 불과 15년이라는 짧은 기간에 재배지역이 확대된 것은 참다래의 소비 증가가 주요한 요인이겠지만, 무엇보다도 온난화로 인해 참다래를 재배할 수 있는 따뜻한 지역의 확대가 또 다른 이유일 것으로 판단된다. 무화과도 참다래와 마찬가지로 재배지가 확대되고 있는데, 참다래 및 무화과 같은 아열대과수의 재배가능지역이 확대되면서 구아바, 아보카도 등과 같은 열대과수의 재배가능지역 또한 확대될 것으로 예측된다.

그림 4-26. 참다래 재배면적 변화



자료: 문경환 외(2009).

열대과수를 재배하기 위해서는 기온뿐만 아니라 강수량, 토양, 바람, 일조 등 여러 조건이 함께 고려되어야 하나 본 절에서는 구아바, 아페모야, 망고, 파파야 등 아열대과수의 생육적온을 위주로 살펴보기로 한다.

열대과수는 기온이 영하로 내려가지 않는 지역이 재배가능지역이라고 할 수 있다. 구아바는 다른 아열대과수보다 저온에 강한 편으로 개화시에는 23℃이하, 27℃ 이상에서는 착과가 감소하며 최적온도는 23~28℃이다. 아페모야는 최고기온 22~28℃, 최고기온 10~20℃이며 과실의 성숙 평균적온은 20~26℃이다. 망고는 생육적온이 24~27℃, 개화기나 유과기에는 5℃ 이하로 내려가면 심각한 해를 입을 수 있으며 37℃ 이상에서는 고온장해가 발생할 수 있다. 파파야의 생육적온은 21~33℃이며 최저온도는 12~14℃로 최저온도에 수시간 노출될 경우 생육과 생산에 지장이 있다. 30℃ 이상에서는 광합성능력이 급격히 감소한다.

열대과수 가운데 구아바, 아보카도, 아페모야, 망고, 용과, 파파야 등은 현재 제주에서 가온 및 무가온 시설재로 생산되어 판매되고 있으므로 앞으로 제주가 가장 먼저 열대과수의 재배지역이 될 것으로 판단할 수 있다. 한반도 미래기후 전망 가운데 하나인 A1B 시나리오¹⁸를 이용하여 제주를 제외한 육지부의 향후 열대과수 재배가능성을 예측한 결과는 다음과 같다¹⁹.

먼저 열대과수 중 가까운 미래에 재배 가능성이 높은 구아바의 재배가능성을 분석해보면 현재 기온대에서는 극히 적은 면적이 재배가능지역으로 분류된다. 그러나 기온이 지속적으로 상승한다면 앞으로 40년 후(연평균 2℃ 상승)에는 전남 및 경남지역을 위주로 재배가능지역이 확대되며 70년 후(3℃ 상승) 서해안 및 동해안을 따라 재배가능지역이 더욱 확대될 것으로 예상된다. 따라서 기온만을 고려할 경우, 지구온난화로 인해 향후 상당

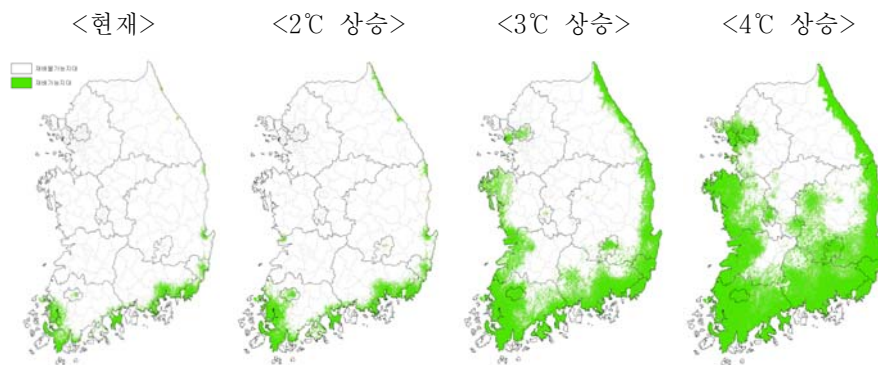
¹⁸ A1B 시나리오의 예측결과, 평년(1971~2000년) 대비 21세기 말(2071~2100) 우리나라 연평균 기온은 약 4℃ 상승하고, 강수량은 약 17% 증가할 것으로 전망되었다.

¹⁹ 열대과수 재배가능지역 변동을 나타내는 지도는 서형호 외(2009)를 이용하였으며 공간해상도는 30m×30m이다.

한 면적에서 구아바 재배가 가능할 것으로 예측된다<그림 4-27, 그림 4-28>.

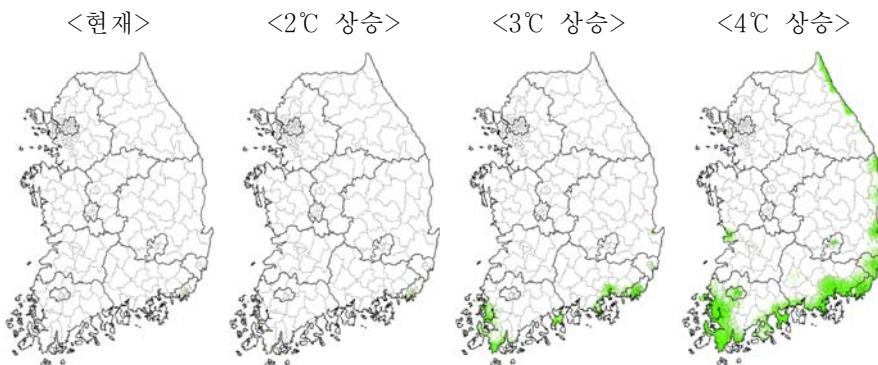
구아바 외에도 아보카도, 아떼모야, 망고, 용과, 파파야의 재배가능지역도 점차 북상하며 ‘구아바·아보카도→아떼모야·망고→용과→파파야’ 순으로 재배가능지역 북상속도가 빠를 것으로 예상된다.

그림 4-27. 기온상승 시 스트로베리 구아바 재배가능지역 변동 예측도



자료: 서형호 외(2009).

그림 4-28. 기온상승 시 트로피컬 구아바 재배가능지역 변동 예측도



자료: 서형호 외(2009).

4.6. 시사점

기후변화로 인한 농작물의 주산지 이동을 사과, 복숭아, 포도, 한라봉 등을 통해 살펴보았다. 선택된 작목의 대부분은 과수로 대부분의 1년생 농작물은 작기를 선택하여 파종하거나 재식하면 되지만, 영년생 작목인 과수는 재식 후에 변경이 불가능하므로 기후변화로 인한 영향을 가장 많이 받고 있는 것으로 나타났다.

앞서 살펴본 작목의 재배적지는 북상하고 있으며 복숭아 및 포도 등은 재배가능면적이 확대되고 있었다. 재배가능면적이 확대되고 있기는 하지만 재배가능면적이 안전재배지대라는 의미는 아니며 일부 지역에서는 이상기온 등으로 인한 피해를 입을 우려도 있다.

최근 보고에 의하면, 겨울철 온난화 등으로 휴면기 동해위험지대가 감소한 것은 사실이지만, 동해의 발생은 줄어들지 않고 있으며, 오히려 시간이 지남에 따라 증가하는 경향도 있다. 이는 동해가 겨울 또는 이른 봄에 아주 낮은 저온에 의해서 일어나는 것만이 아니라 겨울과 초봄에 따뜻해진 후 갑자기 추워질 때도 발생하기 때문이다. 따라서 기후분석에 의한 안전재배지대 평가에 의해 안전재배지대를 설정하는 것이 중요하며 더불어 재배경험이 없는 지역에서는 지속적인 시험재배를 통하여 확실한 안전재배 가능 여부를 확인한 후 작목을 재배하는 것이 무엇보다도 중요하다.

그러나 기후변화가 기존 재배작목의 재배지 북상, 기상재해 증가 등 농업부문에 항상 부정적 요인으로 작용하지는 않는다. 현재 재배중인 작목은 재배지가 북상하면서 재배불가능 지역이 재배가 가능해지면서 새로운 기회가 되며, 기존 재배지에서는 새로운 작물 도입 기회로 삼을 수 있다.

지금까지의 주요 농산물의 주산지 변동분석을 통해 아래와 같은 시사점을 도출하였다.

첫째, 기존 작목의 재배지역 북상에 대처하기 위해 향후 재배가능지역의 대처노력이 요구되며 향후 열대작물의 재배가 가능한 제주는 물론이고 전남과 경남 등 남부지방에서는 기후변화의 위기를 기회로 활용할 수 있는 적절한 대응책 마련이 이루어져야한다. 감귤, 참다래, 무화과 등 난지과수

의 내륙 적응성을 검토하고 지역별 적응품종을 선발 및 육성하여 온대과수 대체 효과를 산정하여야 한다. 망고, 파파야 등 열대성 과일의 난지지역 적응성 검토 및 재배한계 검정도 수행하여 기후변화에 대비한 신수요 소득 작물을 선발하여 육성하여야 한다.

둘째, 기후변화에 의한 온난화는 지역의 기반 농업체계를 흔들 수 있을 정도로 영향력이 대단하므로 예상되는 온난화에 효과적으로 적응하기 위해서는 재배적지 변동에 대한 신뢰성 있는 예측이 우선되어야 한다. 특히 작물과 과수분야에서 기후변화로 인한 영향을 위기가 아닌 기회요인으로 만들기 위해서는 과학적인 영향평가와 장기적이고 효과적인 적응대책 수립이 이루어져야 한다.

셋째, 지역별·품목별로 지구온난화로 인한 영향을 긍정적으로 수용하고 있는 사례를 발굴하여 이를 다른 지역 및 농가에서 적극적으로 활용할 수 있도록 하는 방안이 시급히 마련되어야 한다.

표 4-18. 품목별 온난화에 따른 향후 주산지 예측

품목	주산지 예측 핵심 사항
사과	<ul style="list-style-type: none"> 경북에서도 현재 재배지보다 위도가 더 높은 지역(봉화, 청송, 영주, 안동 등) 경남에서 밀양, 거창, 함양 등 고랭지·산간지역 전북지역에서 장수, 무주 등 고랭지 지역 경기 북부지역(포천, 가평), 강원도 일부(춘천, 양구, 횡성, 영월 등) 지역
복숭아	<ul style="list-style-type: none"> 기존의 충주, 음성, 이천, 원주, 춘천 등 충북 및 강원지역이 주산지역으로 부상 경남과 전남, 제주 지역 등을 제외한 전국 대부분의 지역으로 확대될 전망
포도	<ul style="list-style-type: none"> 경북, 충북 및 경기지역이 주산지역으로 부상할 전망 경기 및 강원지역으로 재배가 확대 전망
한라봉	<ul style="list-style-type: none"> 제주지역은 한라봉의 노지재배가 더욱 증가할 전망 전남 고흥·나주 및 경남 거제 지역이 육지부 주산지역으로 확대될 전망 기존 재배지 외에도 경남지역(밀양 등)와 전남지역(장성 등)으로 부상할 전망
열대작물	<ul style="list-style-type: none"> 제주, 전남 및 경남 일부에서 재배가 가능한 참다래의 재배면적이 부상하며 확대 전망 구아바, 아보카도, 아페모야, 망고, 용과, 파파야 등의 열대과수의 재배 가능지역도 육지부 전지역으로 점차 부상할 것으로 전망

5. 농업부문의 경제적 영향 분석

5.1. 기후변화에 따른 생산성 분석

5.1.1. 비모수적 및 준모수적 분석법

기온과 강수량 등 기후인자의 변화가 농업생산에 미치는 영향계측 접근 방법으로 특정 함수를 가정하여 회귀분석을 수행하는 모수적방법과 함수 형태를 가정하지 않고 신축적으로 분석하는 비모수적·준모수적방법이 적용되고 있다. 비모수적 혹은 준모수적 분석법에도 매우 다양한 모형들이 포함되며, 각 모형은 특유의 장단점을 가지고 있어 이용하는 자료와 분석 대상의 특성에 따라 이들 모형들 가운데 적절한 것을 선택할 수 있다. 이 논문에서는 비모수적 분석법 중에서도 가장 기본적인 분석법이라 할 수 있는 커널회귀분석(kernel regression)과 준모수적 분석법 중 가장 많이 사용되는 모형 가운데 하나인 부분선형모형(partially linear model)을 이용하였다(김창길 외 5인, 2008).

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

$$y_i = m(x_i) + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim iid[0, \sigma_\varepsilon^2] \quad (4-4)$$

비모수적 분석은 모수적 분석의 경우와 달리 함수형태 $m(\cdot)$ 이 구체적으로 설정되지 않는다. 비모수적 분석법의 대표적인 형태는 국지 가중평균 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.

$$\hat{m}(x_0) = \sum_{i=1}^N w_{h, k} y_i \quad (4-5)$$

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

여기서 $w_{\hat{x}, h}$ 는 각 관측치에 부여되는 가중치로서 x_0 로부터 먼 관측치일 수록 그 값이 작아진다. 많은 비모수적 분석법이 식 (4-5)와 같은 종류의 추정법에 해당되지만 가중치 $w_{\hat{x}, h}$ 를 정해주는 방법에 있어 서로 차이가 있고, 아울러 대역폭(window width)이라 불리는 h 를 선택하는 방법도 모형 별로 각각 다르다. 국지 가중평균 추정량 가운데 가장 널리 사용되는 분석법이 커널회귀분석이며, 커널 추정량은 다음과 같다.

$$\hat{m}(x_0) = \frac{\frac{1}{Nh_1h_2\dots h_J} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) y_i}{\frac{1}{Nh_1h_2\dots h_J} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right)} \quad (4-6)$$

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

위 식(4-6)에서 $K(\cdot)$ 는 다변량 커널함수로서 J 개의 단일 변량 커널함수의 곱으로 설정되며, h_j 들은 대역폭이라 불린다. 식(4-6)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.

$$\hat{m}(x_0) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W(x_0, x_i; h, \lambda) y_i}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W(x_0, x_i; h, \lambda)} \quad (4-7)$$

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

다음으로 준모수적 분석법으로 부분선형모형이 있다. 이 모형은 회귀식을 통상적인 선형함수와 그 형태가 설정되지 않은 함수의 두 부분으로 구성되어 있다고 본다. 준모수적 분석에서는 부분선형모형으로 벌칙스프라인 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.

$$Y = X\beta + \tilde{Z}b + \varepsilon, \quad cov\begin{pmatrix} b \\ \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_b^2 I_K & 0 \\ 0 & \sigma_\varepsilon^2 I_n \end{pmatrix} \quad (4-8)$$

위에서 제시된 식(4-7)과 식(4-8)를 이용하여 대표 작목인 쌀을 대상으로 커널회귀분석이 이루어졌다.²⁰

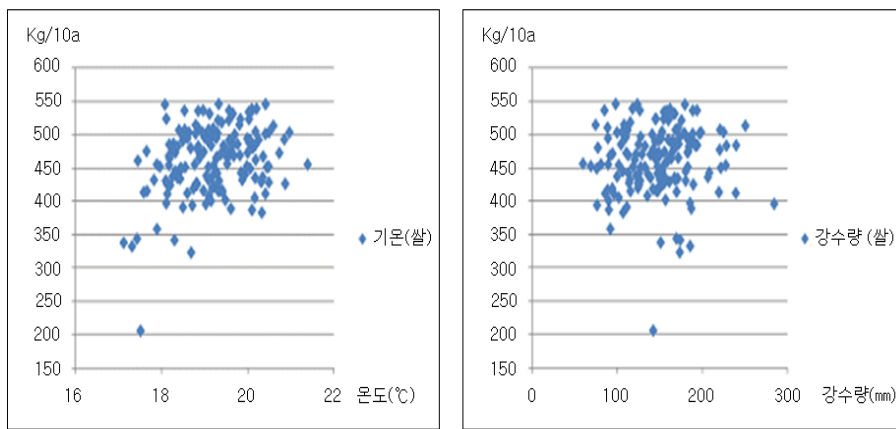
5.1.2. 기후변화에 따른 생산성분석 결과

농업부문의 대표 작목이고 관련 통계자료가 잘 구축된 쌀을 대상으로 기후변화에 따른 생산성 영향을 분석하였다. 분석자료는 전국 평균자료를 이용하는 경우 관측치수가 너무 적어 통계적 유의성 문제가 발생하기 때문에 주요 주산지에서의 연도별 자료를 혼합한 패널자료를 이용하였다. 경기, 충남, 전북, 전남, 경북 등 5개도를 대상으로 1975~2006년까지의 일반벼 자료를 이용하여 기온과 강수량 등 기후변수에 따른 수량변화의 쌀 생산성을 분석하였다. 1990년대 이전까지는 통일벼와 일반벼가 동시에 생산

²⁰ 기후변화에 따른 주요 농산물의 생산성 분석을 위해 쌀 외에도 채소류인 배추와 무, 과실류인 사과 등을 대상으로 커널회귀분석을 실시하였다(김창길 외 5인, 2008, pp.70-81).

되었고, 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 4-29>. 이상 관측치로 보이는 하나의 관측치 수량에서 매우 낮은 생산성이 나타났고, 각 지역별은 1980년 냉해로 인해 낮은 생산성이 관측되었다. 전체적으로 기온이나 강수량과 생산성이 어떤 관계를 가지는지를 이 그림만으로 파악하기는 어려운 것으로 나타났다.

그림 4-29. 쌀 단수와 기온 및 강수량과의 관계

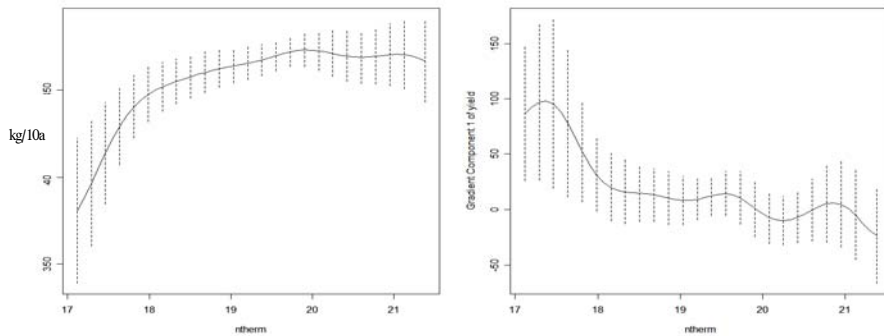


비모수적 커널함수 추정과 관련하여 4~10월의 평균기온과 단수와의 관계를 커널회귀분석하되, 연속변수인 기온변수의 커널함수에 적용하여 추정된 결과 벼 성장기에 평균기온이 미치는 영향은 <그림 4-30>와 같이 추정되었다. 수직의 점선은 부스트래핑(추출회수 399회)을 통해 얻어진 각 예측치의 95% 신뢰구간을 나타낸다. 이 그림에서는 연평균 기온이 어느 정도 상승할 때까지는 단수가 높아지지만 어느 수준 이상이 되면 기온 상승은 오히려 단수를 낮추는 역할을 하는 것으로 제시되고 있다.

기온변화와 쌀 수량과의 관계를 보았을 때 기온이 19°C를 넘게 되면 도함수의 신뢰구간이 0을 포함하게 되어 기온변화가 쌀 단수에 미치는 영향은 통계적으로는 0이라 할 수 있다. 한편 기온이 19°C 이하인 경우 추정된

비모수모형의 도함수를 구해보면 평균 24.4kg으로 벼의 생육기간 동안 1℃의 기온 상승은 10a당 평균 24.4kg의 쌀 생산량이 증가함을 알 수 있다. 또한 기온이 20℃ 이상인 관측치에 있어서는 1℃ 상승은 10a당 쌀 생산량을 오히려 6.2kg 감소시키는 것으로 추정할 수 있다. 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.

그림 4-30. 경작기간 평균 기온과 쌀 단수와의 관계



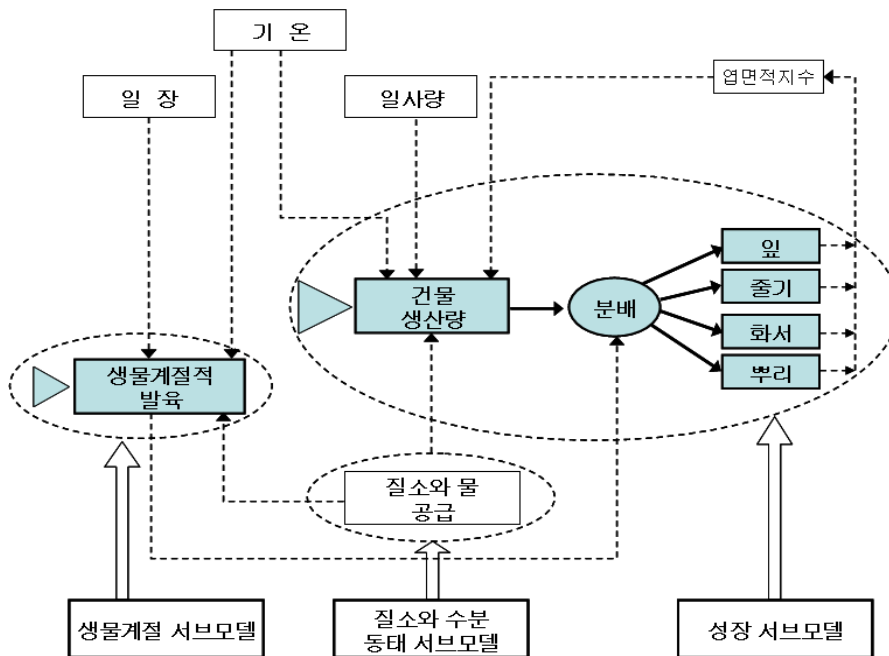
5.2. 농산물 생산의 중장기 전망

5.2.1. 농산물의 중장기 전망 시뮬레이션 모형

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<그림 4-31>. 이 모형은 크게 벼의 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.²¹ 이와 같이 세 가지 부문모형으로 구성된 CERES-Rice 모형은 기후변화에 따

그림 4-31. CERES-Rice 모형의 개념도



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

²¹ CERES-Rice 모형의 구성과 자료 입력 등에 관한 상세한 내용은 박정규 외 8인(2003), pp.338-372에 제시되어 있다.

른 작물생산의 증장기 예측모형으로 2030~2100년의 쌀 생산량 예측에 널리 활용되고 있다(심교문 외 5인, 2008).

5.2.2. 기후변화에 따른 쌀 생산의 증장기 예측

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 증장기(2011~2040년)에는 출수기가 7일 정도 빨라지나, 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 분석한 결과에 따르면, 1971~2000년 평년기후를 기준으로 시뮬레이션한 10a당 평균 쌀 수확량(정곡 기준)은 전국 평균 539kg이고, 도별로 보면 충청이 591kg으로 가장 높고, 강원도가 493kg으로 가장 낮았다<표 4-19>.

표 4-19. CERES-Rice모형을 이용한 증장기 쌀 생산 예측

단위: kg/10a(정곡 기준), %

도별	평년	2℃ 상승		3℃ 상승		4℃ 상승		5℃ 상승	
		수량	평년대비	수량	평년대비	수량	평년대비	수량	평년대비
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

주: 평년은 1971~2000년까지 30년 동안의 평균치를 나타냄.

자료: 김창길, 심교문(2009).

지구온난화로 평년보다 기온이 2℃ 상승하는 경우 10a당 벼 수량은 전국평균은 515kg으로 평년보다 4.5% 감소하는 것으로 추정되었다. 도별로는 전남과 전북이 5.9~6.9% 감소하여 감소폭이 가장 크고, 충남과 충북은 2.4~2.7% 정도 감소하여 감소폭이 상대적으로 적을 것으로 나타났다.

기온이 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.

기온이 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 적을 것으로 예측되었다. 이러한 생산량 감소는 온난화로 인한 등숙기간의 단축뿐만 아니라 고온에서의 임실을 저하 및 야간 고온에 의한 호흡손실 때문인 것으로 분석되고 있다.

5.3. 농가경제에 미치는 영향 분석

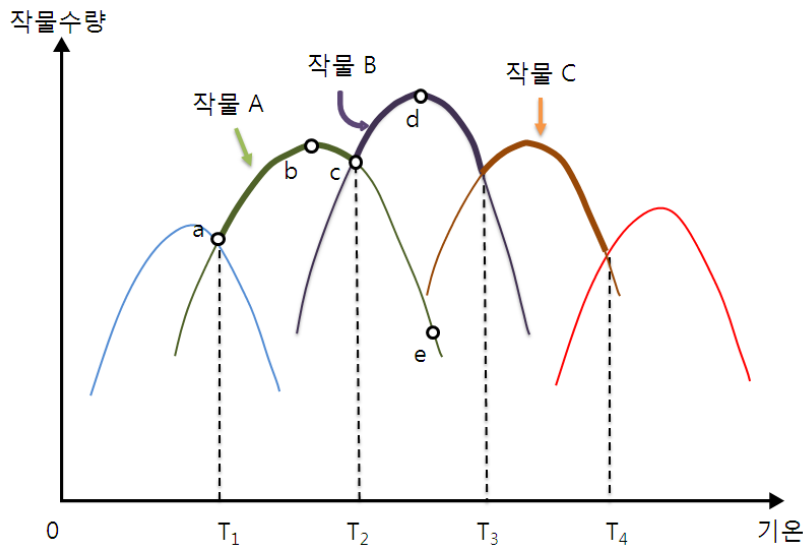
5.3.1. 리카디언 분석모형

기후변화의 경제적 영향분석 방법으로 작물생산함수를 이용한 농경제모형은 기후변화의 적응을 위한 작목전환과 투입요소 조정 등의 간접적인 영향을 반영하지 못해 과소추정의 문제를 발생시킨다. 서론에서 제시된 바와 같이 이러한 문제점을 해결하기 위해 리카디언 모형이 개발되었다 (Mendelsohn, Nordhaus, and Shaw, 1994). 이 모형은 기후변화에 따른 미래 지대의 할인된 현재가치인 농지가격 변화를 추정함으로써 경제적 영향을 평가하는 방법이다. 기본적으로 기후가 변화함에 따라 바뀌는 모든 생산요소를 감안한 장기적인 균형 상태에서의 토지가격은 토지이용에 따른

수익인 준지대(quasi-rent)를 나타내는 것으로 가정한다.²² 리카디언 모형(Ricardian model)은 기후변화 영향 계측과 관련하여 정확히 계측되거나 식별되기 어려운 적응을 포함시킬 수 있는 강점을 보유하고 있다. 따라서 농지의 가치나 수익변화를 계측하기 때문에 기후변화에 따른 작물의 생산성 변화와 같은 직접적인 영향뿐만 아니라 투입 생산요소의 대체효과, 농지 이용의 변화와 같은 간접적인 영향을 모두 고려할 수 있어 기후변화의 경제적 영향분석에 널리 활용되고 있다(김창길 외 5인, 2008).

농경제모형과 리카디언 모형의 차이를 비교하기 위해 기온변화와 세 가지 작물반응 관계를 살펴보기로 한다. 기온변화에 따라 <그림 4-32>에서 작물A의 재배 최적범위는 $T_1 \sim T_2$ 이며, 기온이 상승하면 농업인들은 작물

그림 4-32. 기온변화와 작물수량 반응 관계



²² 준지대는 경제적 지대(economic rent)와 밀접하게 관련된 개념으로 단기적으로 고정된 요소에 대한 수익이나 장기적으로 수익이 사라진다는 개념으로 총수입에서 기회비용 또는 추가변비용을 공제한 것으로 생산자잉여(producer surplus)와 동일한 것으로 볼 수 있다.

A 대신 기온상승에 적응할 수 있는 대체작목으로 작물B를 선택할 것이며, 이 경우 작물B의 최적범위는 $T_2 \sim T_3$ 이다. 여기서 기온이 더 올라가면 농업인들은 작물B에서 작물C로 작목을 전환하게 되며, 작물C의 최적범위는 $T_3 \sim T_4$ 가 된다. 따라서 기온변화에 따른 작물반응의 실질적 민감도는 <그림 4-32>의 굵은 실선과 같이 개별 작물 반응의 포락선, 즉 가치함수의 형태를 나타내게 된다.

농경제모형인 작물의 생산함수 접근방식에 따르면 작물A의 경우 a에서 생산이 이루어지나 기온이 상승함에 따라 b에서 최고점에 도달하지만 기온이 상승하면 수량이 감소하여 c로 하락하고, 기온이 지속적으로 상승하면 e까지 줄어들게 된다. 그러나 작물A의 경우 c까지 줄어들게 되면 작물B로 작목전환이 이루어지고 생산은 c에서 d로 수량이 증가하게 된다. 리카디언 접근방식은 기온상승에 따라 새로운 작목으로 대체되고 투입재의 조정 등을 통한 잠재적 적응의 과정을 반영한다. 이와 같이 기후변화에 따른 적응은 상당한 비용을 수반하며, 이들 비용은 경제적 손실로 볼 수 있다. 또한 적응은 자율적인 것으로 편익이 발생하거나 기대되는 경우에만 농업인들은 적응조치를 수용하게 된다. 따라서 적응은 비용과 편익으로 작용하기 때문에 단순한 생산량 문제가 아니고 농지가치 또는 자본화된 순편익에 달려있다. 따라서 리카디언 방식은 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 비용과 편익을 농지가치 변화에 의해 파악하는 방식이라고 할 수 있다.

리카디언 방식을 실제로 적용하기 위해서는 두 단계의 과정을 거치게 된다. 첫 번째 단계는 분석대상 지역의 기후실태를 파악하기 위해 기상관측소의 위치 정보와 그 지역의 기후요소(온도, 강수량)와의 관계를 알아내는 것이다. 기후변수 분석 접근방법을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$W = \alpha_0 + \alpha_1LAT + \alpha_2LO + \alpha_3ALT + \alpha_4SD + \epsilon \quad (4-9)$$

여기서 종속변수인 W는 각 기상관측소에서 측정된 기온과 강수량의 기후변수를 나타내고, 독립변수인 LAT는 위도, LO는 경도, ALT은 해발고도, SD는 해변과의 거리 등 해당 관측소의 위치에 관한 정보이다.

두 번째 단계는 추정된 기후자료와 사회경제적 변수, 토양변수 등을 토

지지대 또는 토지이용에 따른 수익에 대해 회귀분석하여 기후변화가 농업에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 농지가격과 기후변화의 관계를 나타내는 속성함수 추정식은 다음과 같다.

$$V = \beta_0 + \beta_1 W + \beta_2 W^2 + \beta_3 E + \beta_4 S + u \quad (4-10)$$

여기서 V 는 농지가격을 나타내고, W 는 기온과 강수량 등 기후변수, E 는 농지 단위면적당 소득 등 사회경제적 변수, S 는 위도, 경도, 염분, 수분함량, 토양침투성 등의 토양변수, u 는 잔차항을 나타낸다. 분석모형에 2차 항을 포함한 것은 농지가격과 기후변수와의 비선형관계를 점검하기 위한 것이다. 기후변화가 농지가격에 미치는 영향은 식 (4-10)를 기후변수에 대해 편미분하여 다음과 같은 식으로 산정할 수 있다.

$$\frac{\partial V}{\partial W} = \beta_1 + 2\beta_2 W \quad (4-11)$$

5.3.2. 분석자료

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 기후정보가 각 시·군의 기후에 영향을 미친다는 가정 하에 1988~2007년까지 지속적으로 정보를 제공하는 관측소를 모두 포함하였는데, 전체 79개 관측소 가운데 57개소가 해당된다. 농업에 미치는 기후변화의 장기적인 영향을 측정하기 위해 각 관측소의 20년 자료 평균을 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.

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

지가격의 편의(bias)를 방지하기 위해 농업진흥지역 내의 농업지역만을 대상으로 논 가격과 밭 가격을 평균하여 사용하였다. 농업총수입과 농작물수입은 통계청자료를 이용하였는데, 시·군별 자료가 없어 도단위 자료를 적용하였다. 지역별 1인당 국내총생산(GDP) 역시 통계청에서 제공하고 있는 도단위 자료를 이용하였다. 임해답 비율, 습답 비율, 경사도, 배수등급 등은 한국토양정보시스템의 자료를 이용하였다.

5.3.3. 분석결과

리카디언 모형의 추정은 농지가격을 기후변수, 기후변수의 제곱, 사회경제변수, 토양변수 등에 대해 대수-선형함수로 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 자료에 농지면적 또는 농작물 수입으로 가중하여 회귀분석하는 가중회귀분석을 적용하였다. 회귀분석은 세 가지 모형으로 나누어 실시하였는데, 농지면적으로 가중한 농지가격을 기후변수로만 회귀분석한 경우(모형1), 다른 변수들을 포함하여 회귀분석한 경우(모형2), 그리고 농작물수입으로 가중한 경우(모형3)로 나누었다. 정도의 차이는 있으나 세 방정식 모두 기후변수에 대해 비슷한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다. 즉, 연평균 기온 상승이 농지가격에 대해서는 부정적인 영향을 미치지만, 연간월평균 강수량은 긍정적인 영향을 보이는 것으로 나타났다. 기후변수와 다른 독립변수를 포함할 경우, 경지면적으로 가중한 결과와 농작물수입으로 가중한 결과가 모두 비선형관계를 가지는 것으로 분석되었다. 또한 기후변수의 2차 항이 양의 값을 가질 경우 경작 가능한 최저 기후가 있다는 것을 나타내는데, 그 기후에서 벗어나면 농지의 가치가 올라간다는 것을 의미한다. 반면 2차 항이 음의 값을 가질 경우, 농지의 가치를 최고로 하는 적정기후가 있다는 것을 나타낸다<표 4-20>.

기후변수 이외의 독립변수들의 방향이 두 모형에서 일관성 있게 나타났다.

표 4-20. 리카디언 모형을 이용한 농지가격 분석 결과

변 수 ¹⁾	추정계수 ²⁾		
	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) 변수명으로 Avtem 연평균 기온, Avtem2 연평균 기온의 제곱, Avrain 월평균 강수량, Avrain2 월평균 강수량의 제곱, Dumterm 연평균 기온이 높은 지역 더미, Dumrain 연평균 강수량이 많은 지역 더미, GRDPPCAP 지역의 1인당 생산액, SALT 농경지의 염해답 비율, WET 농경지 습답 비율, KFAC 토양침식성 인자, POPGR 인구증가율, SLOPER 경사도, PERMEA 배수등급, FLOOD 상습 홍수 피해지 비율 등을 나타냄.

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

지역의 1인당 생산액(GRDPPCAP)과 인구증가율(POPGR)은 농지가격에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 소득과 인구가 늘어날수록 농지에 대한 수요가 많아져 결국 농지가격이 상승하는 것으로 해석할 수 있다. 한편 농업에 부정적인 요인으로 고려되는 토양의 침식성과 경사도는 농지

가격에 대해 모두 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 상승피해지 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.

대수선형모형을 바탕으로 추정된 결과는 농지가격의 변화율을 나타낸다. 즉, 경지면적 가중모형에서 연평균 기온의 1차 항과 2차 항에 대한 계수를 앞의 식(4-6)에 적용하여 계산하면 탄력성은 -0.057이 되며, 이 값에 ha당 평균 농지가격 255,838천원을 곱하면 평균 기온상승에 따른 농지가치의 변화를 추정할 수 있다. 이러한 방식으로 추정된 결과에 따라 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. 이 값은 각각 80개 시·군 평균 농지가격의 5.7%, 7.5%에 해당한다. 반면, 양의 효과를 나타내는 강수량에 있어서 연간 월평균 110.8mm에서 1mm 증가한다면, 즉, 연간 12mm 증가할 경우, 농지가격은 33만원/ha(모형2), 36만원/ha(모형3)씩 상승하는 것으로 나타났다.

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.

기후변화에 따른 경제적 영향분석에 있어서 리카디언 분석방법은 완전 경쟁 상태에서 적정 농지가격을 얼마나 정확하게 도출해낼 수 있느냐가 관건이다. 국토면적이 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 의미있게 평가되는 이유는 시장경제이론에 적합하며, 기후변화에 따른 적응조치를 포함한 모든 요소들이 최적화된 것으로 가정하여 균형 상태를 추정하기 때문이다. 다시 말해서 작물반응함수를 이용한 경제분석 방법은 최적화된 상태에서 기후변화의 영향을 평가하기보다는 적응 여건을 고려하지 않은 기존의 상태에서 기후요소 변화에 따른 영향을 평가하는 것이므로, 리카디언 접근방법보다 경제학적인 함축성이 떨어진다고 볼 수 있다.

기후변화의 경제적 영향 분석에 있어서 자료의 제약으로 리카디언 분석은 정확한 추정치를 제시하는데 한계가 있다. 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 기후변화에 따른 영향을 계량적으로 나타낼 수 있게 되었다. 분명한 것은 기온과 강수량을 동시에 고려했을 경우, 기후변화가 농업에 미치는 영향은 부정적이라는 것이다. 따라서 변화하는 기후의 영향을 최소화하기 위해서는 재배작물 변경, 재배방법변화 등 적극적인 대응책이 필요하다.

농업부문의 기후변화 적응대책 수립에 있어서 실제로 현장에서 적응방안을 실천하는 농업인의 반응분석은 기후변화 적응의 정황분석 접근방법에 있어서 중요한 부분을 차지한다. 농업인의 인지도와 적응정책에 대한 평가는 적응능력 향상을 위해 고려해야 할 중요한 요소이다. 제5장에서는 우선 기후변화에 대한 농업인의 인지도와 기후변화 대응 태도 등을 알아보기 위해 설문조사를 기초로 한 분석결과를 제시하였다. 또한 기후변화의 불확실성과 위협에 직면하여 농업인의 적응방안에 대한 의사결정의 정량적 분석을 위해 기대효용 모형과 기후조건에 따른 작물수량의 시뮬레이션 모형을 결합하여 적응방법의 적용 확률에 대한 예측을 시도하였다. 끝으로 기대효용 분석과 결과에 대한 적절성 검증을 위해 농업인 설문조사 결과와 비교하고 시사점을 도출하였다.

1. 농업인의 기후변화 인지도

1.1. 설문조사 개요

1.1.1. 조사 목적과 표본선정

농업인들의 기후변화 인지도와 적응 조치에 대한 반응을 파악하기 위하

여 설문조사를 실시하였다.²³ 설문조사 내용은 기후변화에 대한 농업인의 인지도와 기후변화로 인한 변화여부, 기후변화 대응여부, 적응정책의 중요도, 적응 수단의 참여와 향후 계획 등으로 구성되었다. 설문문항은 기후변화 인식을 파악하기 위한 5문항, 기후변화대응 여부 등을 파악하기 위한 22문항 등 총 27개 문항으로 구성하였다<부록 1>.

조사기간은 2009년 8~9월이며 조사대상은 한국농촌경제연구원 현지통신원 377명(우편조사)과 농업인 105명(면접조사)으로 총 482명이다. 조사대상자의 지역 분포는 기후변화의 체감 정도와 농경지면적 등을 고려하여 전라권 31.5%, 경상권 29.6%, 강원권 11.8%, 충청권 11.0%, 경기권 10.6%, 제주권 2.9% 등으로 구성하였다.

1.1.2. 설문조사 대상자의 특성과 분석방법

설문조사에 참여한 농업인 482명의 사회경제적 특성을 분석해보면, 성별은 남성 82%, 여성 17%이었으며, 연령은 60세 이상이 49%, 50~60세 미만이 31%로 50세 이상이 전체의 80%를 차지하였다. 학력은 고등학교 졸업 이상이 58.6%를 차지하고, 중학교 졸업 이하가 41.4%를 차지하였다. 농업에 종사한 경력은 30년 이상이 66%를 차지하고, 향후 예상 영농 지속 연수는 10년 미만이 57%를 차지하였다. 반면 영농승계자가 있다는 응답은 22%, 없다는 응답은 75%로 나타났다.

주 재배작목은 미곡 및 맥류가 52%로 가장 많았으며 채소류 19%, 과실류 18% 등으로 나타났으며 거주지역은 준산간지대 41%, 평야지대 24%, 산간지대 20%, 도시근교 10%로 분석되었다<표 5-1>.

조사 자료에 대한 통계분석은 SPSS 12.0을 이용하였으며 빈도 및 교차분석을 사용하였다. 교차분석의 통계적 유의성은 χ^2 검정을 이용하였다.

²³ 기후변화에 대한 농업계 인지도 파악을 위해 1년차 연구에서는 농업인과 농업분야 기후변화 전문가를 대상으로 인지도, 체감정도, 생활변화, 농업에 미치는 영향, 지구온난화의 중요성과 우려되는 자연재해 등에 대한 설문조사 결과를 제시하였다(김창길 외 5인, 2008, pp.53-66).

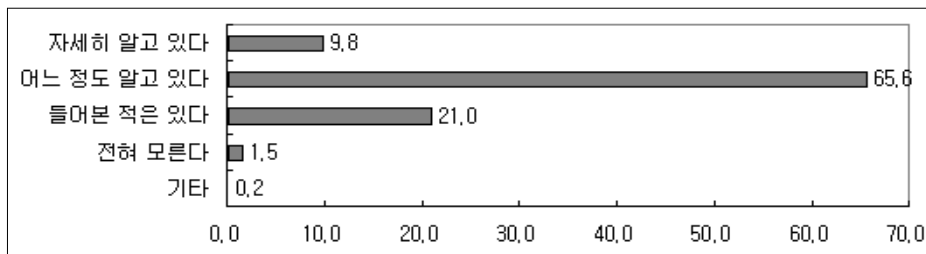
표 5-1. 응답자의 사회경제적 특성

		단위: 명, %	
항 목		응답수	비 중
성 별	남	393	81.5
	여	83	17.2
	무응답	6	1.2
나 이	40세 미만	20	4.1
	40-50세 미만	71	14.7
	50-60세 미만	150	31.1
	60-70세 미만	120	24.9
	70세 이상	116	24.1
학 력	초등학교 이하	64	13.4
	중학교 졸업	134	28.0
	고등학교 졸업	207	43.2
	대학교 졸업 이상	74	15.4
경 력	20년 미만	67	13.9
	20-30년 미만	83	17.2
	30-40년 미만	127	26.3
	40-50년 미만	99	20.5
	50년 이상	92	19.1
주작목	미곡 및 맥류	251	52.1
	채소류	91	18.9
	과실류	85	17.6
	기타	40	8.3
	결측값	15	3.1
거주지역	평야지대	116	24.1
	산간지대	95	19.7
	준산간지대	197	40.9
	도시근교	50	10.4
영농승계자 유무	있다	107	22.2
	없다	359	74.5
향후 영농지속연수	1~5년	121	25.1
	6~10년	153	31.7
	11~20년	122	25.3
	21~30년	33	6.8
	31~40년	7	1.5
계		482	100.0

1.2. 기후변화에 대한 인지도

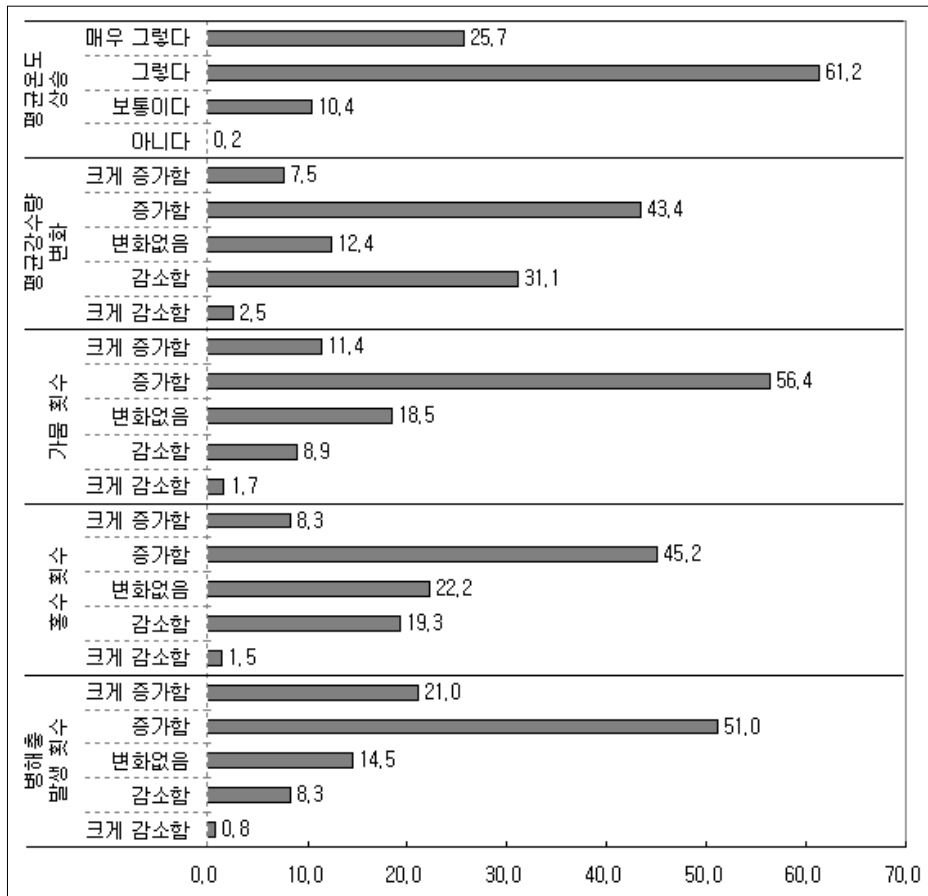
지구온난화로 인한 기후변화 인지도와 관련하여 ‘어느 정도 알고 있다’가 65.6%, ‘자세히 알고 있다’가 9.8%로 약 75.4%가 기후변화를 잘 인지하고 있는 것으로 나타났다. 기후변화에 대해 ‘들어본 적이 있다’고 응답한 농업인이 21.0% 임을 고려하면 거의 모든 농업인들이 기후변화에 대해 인지하고 있는 것으로 나타났다. 한편 ‘전혀 모른다’라고 응답한 농업인은 1.5%로 나타났다<그림 5-1>.

그림 5-1. 기후변화에 대한 인지도(n=482)



농업인의 기후변화에 대한 체감정도와 관련한 문항에서 기후변화로 인해 ‘평균온도가 상승’하였다고 응답한 농업인은 86.9%, ‘평균 강수량 증가’하였다는 응답은 50.9%로 나타나 기온상승에 대한 체감도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 기후변화에 따른 이상기상 현상에 대한 농업인들의 반응으로 ‘가뭄 횟수가 증가’하였다는 응답은 67.8%, ‘홍수 횟수가 증가’하였다는 응답은 53.5%로 나타나, 홍수보다는 가뭄에 대한 반응이 높은 것으로 평가하였다<그림 5-2>. 기후변화에 따른 농업생태계의 주요한 영향으로 ‘병해충 발생 횟수가 증가’하였다는 응답은 72.0%로 나타나, 실제로 농업인들은 병해충 발생 증가를 높게 체감하고 있는 것으로 보인다. 대체로 농업인들의 온난화에 대한 반응을 종합하면 기온상승, 가뭄 횟수 증가, 병해충 발생 증가 등의 체감도가 높은 것으로 해석된다.

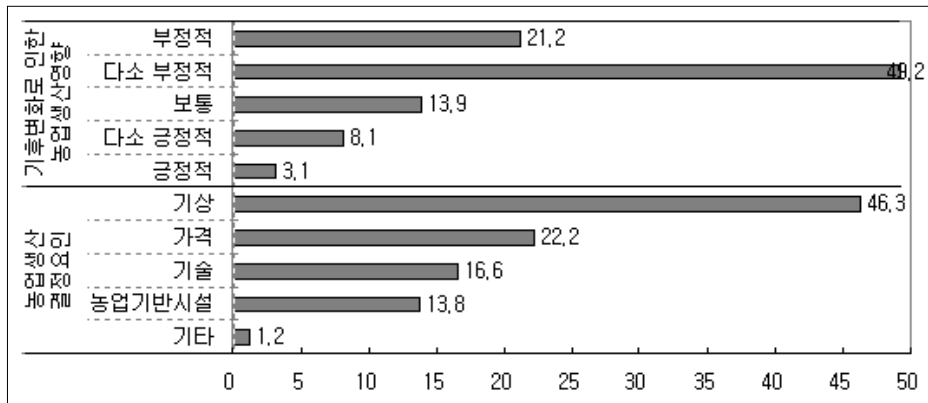
그림 5-2. 기후변화에 대한 체감 정도



기후변화가 농업생산에 ‘부정적인 영향을 미친다’고 응답한 비중이 70.4%로 ‘긍정적 영향을 미친다’라는 응답의 11.2%에 비해 월등히 높아 기후변화로 인한 농업생산에 대해 부정적 반응이 높은 것으로 나타났다.

농업생산의 결정요인으로는 ‘기상여건’ 46.3%, 농산물가격 22.2%, 재배기술 16.6%, 농업기반시설 13.8% 등의 순으로 나타나 농업인들은 기상여건이 농업 생산 결정에 큰 비중을 차지한다고 인식하는 것으로 분석된다<그림 5-3>.

그림 5-3. 농업인의 기후변화 영향력에 대한 반응

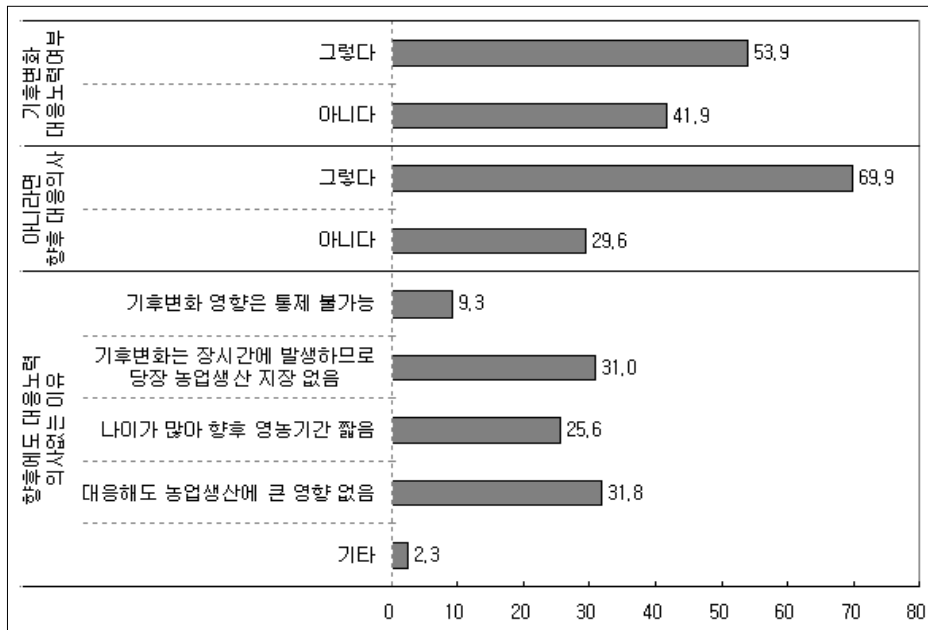


2. 농업인의 기후변화 대응 태도

2.1. 기후변화 대응에 대한 반응

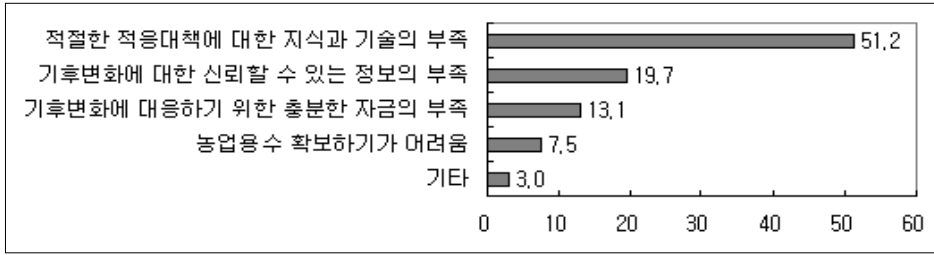
농업인들의 기후변화 대응 노력 여부와 관련하여 기후변화에 대응하기 위해 ‘노력하고 있다’는 응답은 53.9%, ‘노력하고 있지 않다’는 응답은 41.9%로 나타나, 기후변화 대응에 노력하고 있다는 응답이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 현재 기후변화 대응노력을 하고 있지 않다는 응답 가운데 ‘향후 대응하기 위해 노력하겠다’는 응답은 69.9%로 기후변화 대응에 농업인들의 참여와 관심이 상당히 높은 것으로 분석된다. 향후에도 기후변화 대응에 노력하지 않는 이유로는 ‘대응해도 농업생산에 큰 영향이 없음’이 31.8%, ‘기후변화는 장시간에 걸쳐 발생하므로 당장 농업생산에 영향이 없다’는 응답이 31.0%, ‘나이가 많아 향후 영농기간이 짧다’라는 응답도 25.6%로 나타났다<그림 5-4>.

그림 5-4. 기후변화에 대응하기 위한 노력 여부



농업인들이 기후변화 대응과 관련한 장애요인으로 ‘적절한 적응대책에 대한 지식과 기술의 부족’이 51.2%, ‘신뢰할 수 있는 정보의 부족’이 19.7%, ‘기후변화에 대응하기 위한 충분한 자금의 부족’ 13.1%, ‘농업용수를 확보하기 어려움’이 7.5% 등의 순으로 나타났다<그림 5-5>. 농업인들의 기후변화 대응 장애요인은 자금부족 요인보다는 기술 부족과 정보 부족 요인이 상대적으로 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 농업부문의 기후변화 적응대책 모색에 있어서는 농업인들이 현장에 적용할 수 있는 적응기술 및 관련분야 지식 보급, 신뢰할 수 있는 정보제공 등에 상당한 비중을 둔 정책개발이 이루어지는 것이 바람직하다.

그림 5-5. 농업인의 기후변화 대응 관련 장애요인



농가단위에서 실천할 수 있는 기후변화 적응방안 중 ‘품종변경’을 실천하겠다는 응답은 49.2%였으며, ‘파종 및 수확시기를 변경’하겠다는 응답은 61.4%, ‘농약 및 비료 조절사용’ 64.7%, ‘재배작목 변경’ 39.0% 등으로 조사되었다<표 5-2>. 농업인들은 기후변화에 품종변경이나 재배작목의 변경보다는 농약 및 비료의 조절사용이나 파종 및 수확시기의 변경 등을 통한 적응 방안을 더 선호하는 것으로 분석된다.

표 5-2. 농가단위 기후변화 적응방안 실천 여부

단위: 명, %

농가단위 적응방안	그렇다		아니다		아니라면 그 이유		
	응답수	비중	응답수	비중	이유	응답수	비중
품종변경	237	49.2	192	39.8	자금부족	41	21.4
					정보부족	52	27.1
					노동력부족	50	26.0
					기타	19	9.9
파종·수확 시기 변경	296	61.4	133	27.6	자금부족	9	6.8
					정보부족	38	28.6
					노동력부족	35	26.3
					기타	18	13.5
농약·비료 조절사용	312	64.7	115	23.9	자금부족	11	9.6
					정보부족	22	19.1
					노동력부족	39	33.9
					기타	11	9.6
재배작목 변경	188	39.0	236	49.0	자금부족	26	11.0
					정보부족	92	39.0
					노동력부족	50	21.2
					기타	20	8.5

농가단위의 기후변화 적응방안을 실천하지 않겠다는 이유로는 ‘정보 부족’과 ‘노동력 부족’이 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 농업부문 기후변화 적응대책 모색에 있어서는 농업인들이 신뢰할 수 있는 정보제공과 적응조치 이행에 따른 추가적인 노동력에 대한 적절한 보상책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

2.2. 적응정책에 대한 평가

2.2.1. 적응정책에 대한 중요도 평가 및 참여의향

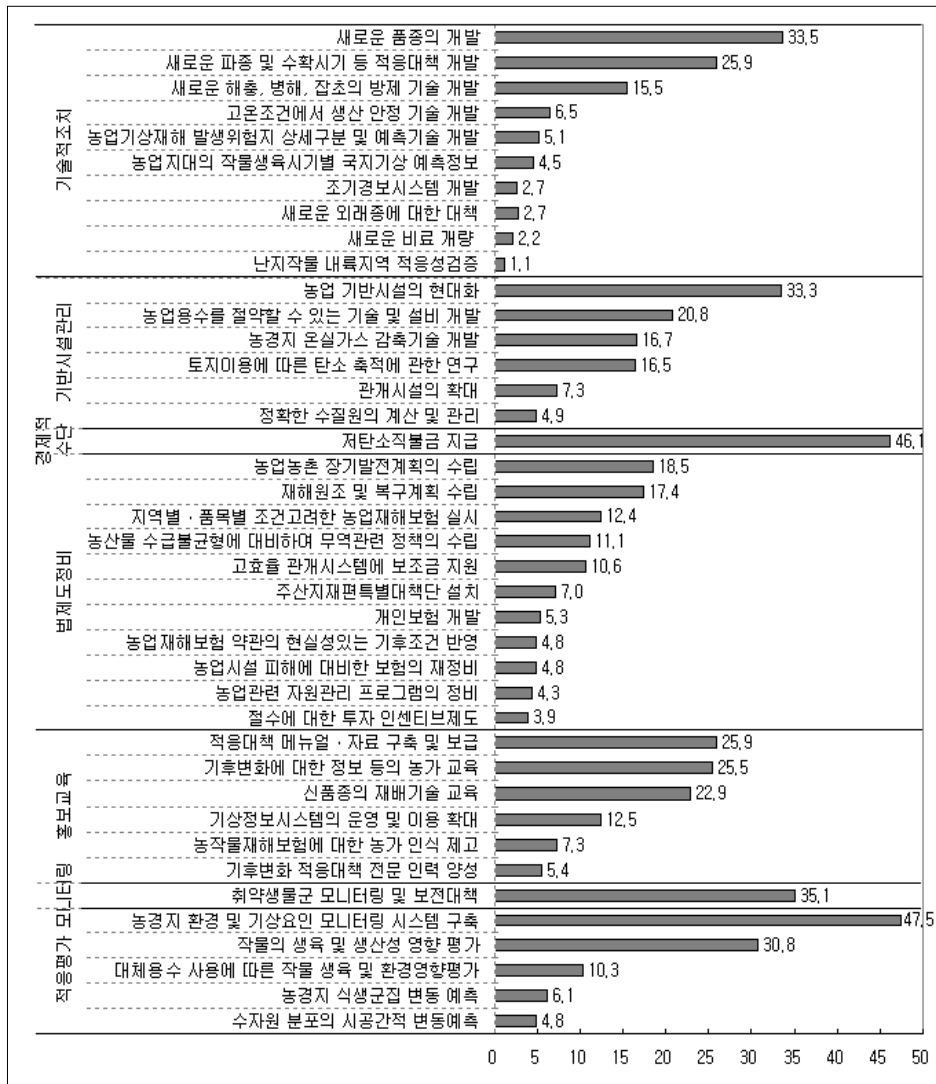
정부의 기후변화 적응방안을 기술적 조치, 기반시설관리, 경제적 수단, 법제도 정비, 홍보 및 교육, 모니터링, 적응평가로 구분하여 조사하였다<그림 5-6>. 이 가운데 기술적 조치에서 ‘새로운 품종개발’과 ‘새로운 파종 및 수확시기 등 적응대책 개발’이 각각 33.5%, 25.9%로 농업인들이 가장 중요하게 생각하는 것으로 평가된다.

기반시설관리에서는 ‘농업기반시설의 현대화’가 33.3%로 가장 높게 나타났다으며 다음으로 ‘농업용수를 절약할 수 있는 기술 및 설비 개발’ 20.8%, ‘농경지 온실가스 감축기술개발’ 16.7%, ‘토지이용에 따른 탄소 축적에 관한 연구’ 16.5% 등으로 분석되었다.

경제적 수단으로 전체 응답자의 46.1%가 ‘저탄소 적응농법 실천시 저탄소직불금 지급’을 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 법제도정비 중에서는 ‘농업농촌 장기발전계획 수립’ 18.5%, ‘재해원조 및 복구계획 수립’ 17.4% 등이 중요한 것으로 나타났다.

홍보 및 교육에서는 ‘적응대책 매뉴얼·자료 구축 및 보급’ 25.9%, ‘기후변화에 대한 정보 등의 농가교육’ 25.5%, ‘신품종의 재배기술 교육’ 22.9% 등의 순으로 중요하며, 적응평가에서는 ‘농경지 환경 및 기상요인 모니터링 시스템 구축’ 47.5%, ‘작물의 생육 및 생산성 영향 평가’ 30.8% 등의 순으로 중요한 것으로 평가된다.

그림 5-6. 정부 및 농업관련기관 기후변화 적응방안 중요도



기후변화에 대한 정부의 적응정책 프로그램에 ‘참여하겠다’는 응답은 60.6%, ‘참여하지 않거나 잘 모르겠다’는 응답이 30.5%로 나타났다. 참여하지 않거나 잘 모르겠다는 이유로는 ‘정부의 적응정책이 검증되지 않아 불확실’하다는 응답이 29.3%, ‘정부의 적응정책이 큰 도움이 안 될 것 같

아서'가 24.5%로 높은 것으로 분석되었다<표 5-3>.

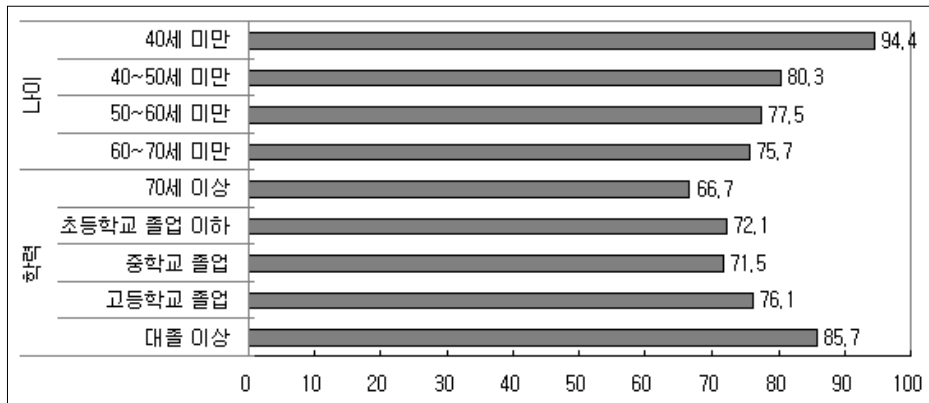
표 5-3. 정부 적응정책 프로그램 참여의사

단위: 명, %

그렇다		아니다		잘 모르겠음		아니거나 잘 모르겠다면 그 이유			
응답수	비중	응답수	비중	응답수	비중	이유		응답수	비중
292	60.6	43	8.9	104	21.6	정부의 적응정책이 큰 도움이 안될 것 같아		36	24.5
						적응정책에 참여하지 않아도 위험을 감당		6	4.1
						정부의 적응정책이 검증되지 않아 불확실		43	29.3
						기타		9	6.1

기후변화에 대응하기 위한 정부의 적응정책 프로그램에 대한 참여의사를 나이별로 보면 40세 미만의 참여의사는 94.4%로 매우 높았으며 나이가 많을수록 참여의사가 줄어드는 것으로 분석되었다<그림 5-7>. 또한 농업인의 학력이 높을수록 정부정책에 참여의지가 높은 것으로 나타났다.

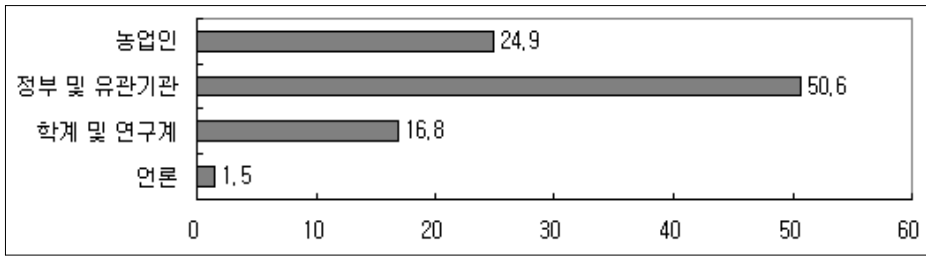
그림 5-7. 정부정책에 대한 나이 및 학력별 참여의사



2.2.2. 관련주체의 역할과 교육에 대한 평가

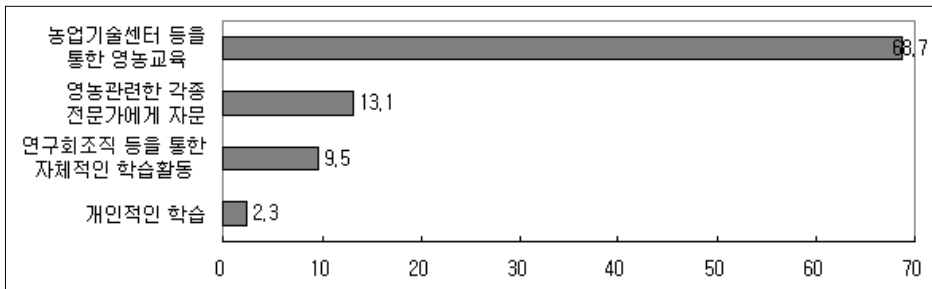
기후변화에 대응하기 위한 관련주체의 역할 중요도 평가에서 ‘정부 및 유관기관’의 역할이 가장 중요하다는 응답이 50.6%로 높았으며 ‘농업인’ 24.9%, ‘학계 및 연구계’ 16.8%로 나타났다<그림 5-8>.

그림 5-8. 기후변화에 대응한 관련주체별 중요도



농업인들이 기후변화에 대응한 학습방법으로 ‘농업기술센터 등을 통한 영농교육’ 68.7%, ‘영농관련 각종 전문가 자문’ 13.1%, ‘연구회조직 등을 통한 자체적인 학습활동’ 9.5%, ‘개인적인 학습’ 2.3%의 순으로 응답하였다<그림 5-9>. 따라서 시군 농업기술센터 등을 중심으로 기후변화에 대한 교육이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

그림 5-9. 기후변화 관련 전문성 개발을 위한 적절한 학습방법



2.2.3 적용 수단별 농업인 실천여부 및 향후 의향

현재 ‘농작물 재해보험에 가입’하고 있는 응답자는 14.9%로 품목별로는 과일류 47.1%, 미곡 및 맥류 36.8%, 채소 및 과채류 10.3%를 차지하였다. ‘풍수해보험에 가입’하고 있는 응답자는 5.0%로 나타나 농작물재해보험 및 풍수해보험의 가입률은 매우 낮은 편임을 알 수 있다<표 5-4>.

표 5-4. 농작물재해보험 및 풍수해보험 가입여부

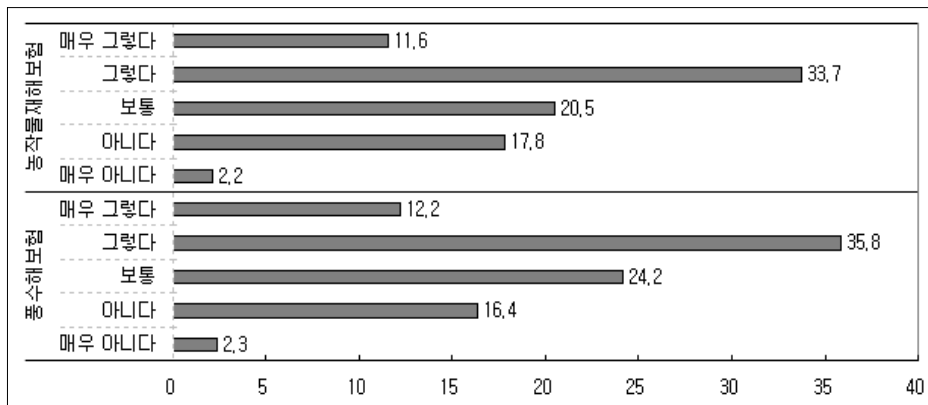
단위: 명, %

유형	가입여부 및 보험료 평가	문항	응답수	비중
농작물재해보험	가입여부	그렇다	72	14.9
		아니다	385	79.9
	품목별 가입자 및 가입비중	미곡 및 맥류	25	36.8
		채소 및 과채류	7	10.3
		과일류	32	47.1
		기타	4	5.9
	·납부중인 보험료 적정성 여부	매우 과다	4	5.6
		과다	24	33.3
		적정	29	40.3
		과소	1	1.4
매우 과소		1	1.4	
풍수해보험	가입여부	그렇다	24	5.0
		아니다	371	77.0
	납부중인 보험료 적정성 여부	매우 과다	2	8.3
		과다	6	25.0
		적정	5	20.8
		매우 과소	1	4.2

농작물재해보험에 가입한 응답자 가운데 ‘납부중인 보험료가 과다’하다는 의견은 38.9%, ‘적정하다’는 40.3%이었으며, 풍수해보험의 경우 보험료가 과다’하다는 의견이 33.3%, ‘적정하다’는 20.8%이었다.

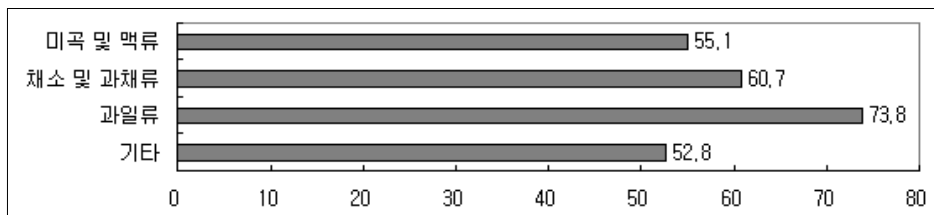
현재 농작물 재해보험이나 풍수해보험에 미가입한 응답자 가운데 기후변화 대응을 위해 농작물 재해보험에 ‘가입하겠다’는 응답은 45.3%, 풍수해보험에 ‘가입하겠다’는 응답은 48.1%로 향후 보험가입 의사가 크게 높지는 않았다. 따라서 보험가입을 독려하기 위해서는 약관에 현실성 있는 기후조건을 반영하고 보험료 조정 등과 같은 대책이 요구된다.<그림 5-10>.

그림 5-10. 향후 농작물재해보험 및 풍수해보험 가입의사



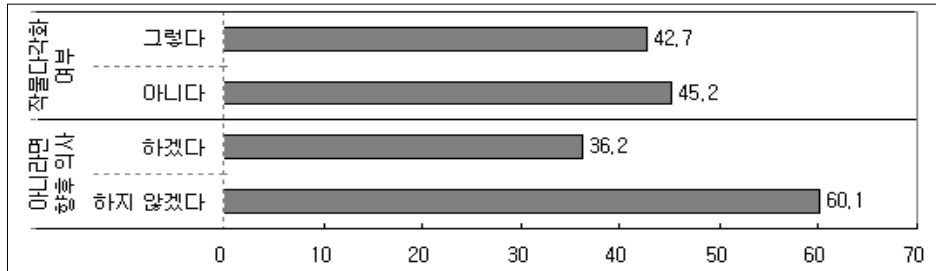
농작물재해보험에 대한 향후 가입의사를 주작목별로 살펴보면 미곡 및 맥류 55.1%, 채소 및 과채류 60.7%, 과일류 73.8%, 기타 52.8%로 과일을 재배하는 농업인의 가입의사가 가장 높은 것으로 분석되었다<그림 5-11>. 이는 기후변화로 인한 농업부문 변화의 체감 강도가 과일에서 가장 크게 인지되기 때문으로 판단된다.

그림 5-11. 주작목별 향후 농작물재해보험 가입의사



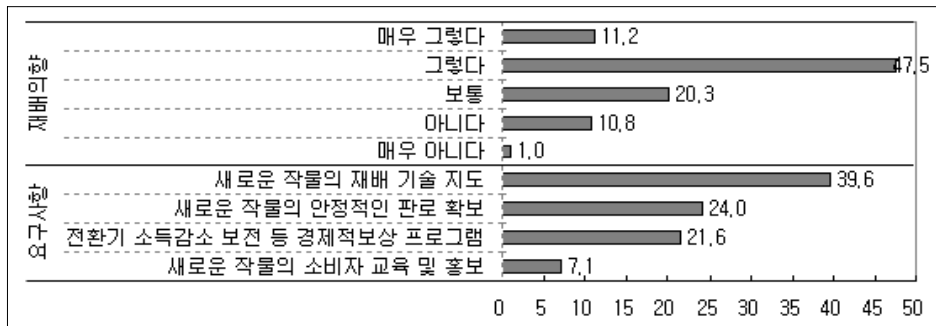
현재 작물다각화를 ‘시행하고 있다’고 응답한 농업인은 42.7%, ‘시행하지 않고 있다’는 응답은 45.2%로 나타났으며 시행하지 않고 있다는 응답 가운데 ‘향후에도 작물다각화를 하지 않겠다’는 응답이 60.1%로 ‘하겠다’는 36.2%보다 높았다<그림 5-12>.

그림 5-12. 현재 작물다각화 실천 여부



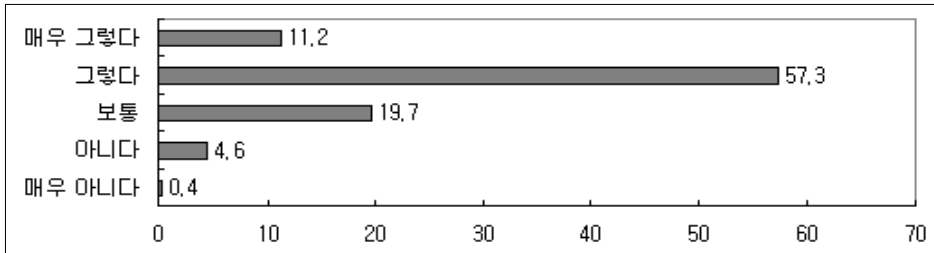
농업인의 신제품 및 난지작물 재배의향은 58.7%로 비교적 높은 편이었으며 재배의향이 있을 경우 향후 요구사항으로는 ‘새로운 작물의 재배기술 지도’ 39.6%, ‘새로운 작물의 안정적인 판로 확보’ 24.0%, ‘전환기 소득감소 보전 등 경제적 보상 프로그램’ 21.6%, ‘새로운 작물의 소비자 교육 및 홍보’ 7.1% 순으로 나타났다<그림 5-13>.

그림 5-13. 신제품 및 난지작물 재배의향과 향후 요구사항



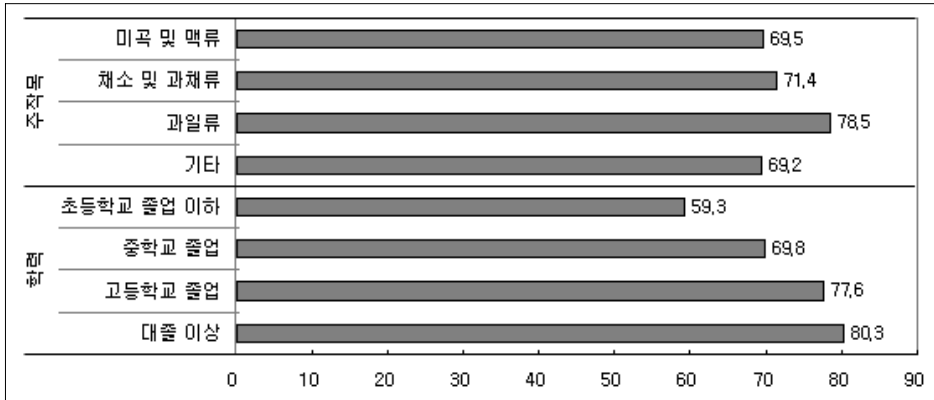
농업인들이 향후 탄소감축 노력에 동참하겠다는 응답은 68.5%, 참여하지 않겠다는 응답은 5.0%로 농업부문의 탄소감축에 대한 참여의지가 높은 것으로 나타났다<그림 5-14>.

그림 5-14. 탄소감축 노력에 동참 의사



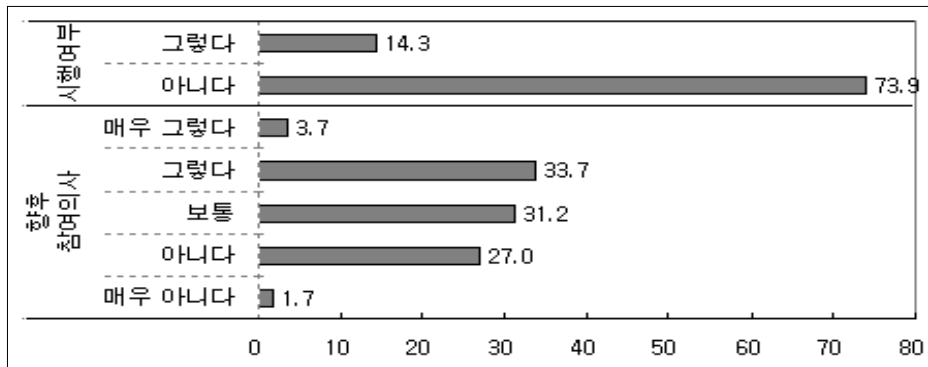
농업인들이 향후 탄소감축 노력에 대한 주작목별 동참 의사에서는 과일류가 78.5%로 가장 높게 나타났다<그림 5-15>. 이는 기후변화로 인한 과일류의 피해가 가장 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 학력이 높을수록 탄소감축에 동참할 의사가 높은 것으로 분석되었다.

그림 5-15. 주작목 및 학력별 향후 탄소감축 노력 동참 의사



탄소감축 방안의 하나로 무경운농법을 실천하고 있다는 응답은 15.3%로 낮지만 향후 무경운농법을 시행하겠다'는 응답은 37.4%로 향후 무경운농법은 시행의지가 낮지 않은 것으로 나타났다<그림 5-16>.

그림 5-16. 무경운농법 시행여부 및 향후 의사



2.3. 농업인 설문조사 결과의 시사점

기후변화에 대한 농업인의 인지도는 높은 것으로 나타났으며, 대체로 기후변화에 따른 기상이변과 병해충 발생 증가를 체감하고 있는 것으로 조사되었다. 농업인들은 기후변화가 농업생산에 대체로 부정적인 영향을 미친다고 생각하고 있으며, 농업생산에 영향을 줄 수 있는 여러 요인 가운데 기상여건이 농업생산에 미치는 영향이 가장 크다고 응답하였다.

기후변화 대응책에 대한 농업인들의 관심이 높고, 향후 농가단위 적응방안에 대한 참여의사도 높으나 적응대책에 대한 기술과 지식 부족, 정보 부족, 노동력 부족 등의 장애요인이 있는 것으로 나타났다.

정부의 기후변화 적응정책 추진과 관련하여 농업인의 참여의지와 관심이 높았는데 정부의 기후변화 적응방안을 기술적 조치, 기반시설관리, 경제적 수단, 법제도 정비, 홍보 및 교육, 모니터링, 적응평가로 구분하여 조사하였을 때, 각각의 항목에서 새로운 품종개발, 농업기반시설의 현대화,

저탄소 적응농법 실천 시 저탄소직불금 지급, 적응대책 매뉴얼·자료 구축 및 보급, 농업농촌 장기발전계획 수립, 농경지 환경 및 기상요인 모니터링 시스템 구축을 가장 중요한 것으로 평가하였다.

기후변화에 대한 관련 주체 가운데서 정부 및 유관기관의 역할이 가장 중요하다고 응답하였으며 기후변화와 관련된 전문성 개발을 위한 학습방법으로는 농업기술센터 등 유관기관을 통한 영농교육이 가장 적절하다고 응답하였다.

현재 농작물재해보험 및 풍수해보험의 가입률은 매우 낮은 수준이며 향후 가입 의사 역시 크게 높지는 않은 것으로 나타났다. 또한 농업인들은 향후 탄소감축 노력에 동참 의사가 높았으며 탄소감축의 일환인 무경운 농법을 시행하겠다는 응답이 높게 나타났다.

위의 내용을 종합하여 볼 때, 다음과 같은 시사점을 제시할 수 있다.

첫째, 향후 기후변화 대응정책을 수립할 때에는 농업인들이 현장에서 적용할 수 있는 적응기술, 정보 및 지식보급이 가장 중요한 것으로 판단되며 이를 위한 방법으로는 농업기술센터와 같은 유관기관을 통한 영농교육이 가장 효율적일 것으로 사료된다.

둘째, 향후 농업인들의 가입을 장려하기 위해서는 농작물재해보험 및 풍수해보험 약관의 현실적인 기후조건을 반영하고 보험료 조정 등을 통해 보험의 재정비가 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 탄소 감축을 독려할 수 있는 적절한 인센티브 프로그램 개발이 이루어진다면 농업분야 탄소감축에 기여할 수 있을 것이다.

마지막으로 위에서 제시한 방법과 더불어 정부의 기후변화 적응정책 수립에 있어 농업인이 신뢰하고 수용할 수 있는 단계적 마스터플랜 수립이 필요하다.

3. 위험 및 불확실성하 농업인의 의사결정 분석

3.1. 기대효용을 이용한 의사결정의 이론적 배경

기후변화는 농작물의 생산성에 영향을 미치는 위험요소를 제공하기 때문에 이를 최소화하기 위해서 여러 가지 적응수단을 강구하게 된다. 정부 차원에서 마련하는 적응수단은 각 농가단위에서 적용여부를 판단하게 되는데, 이 때 판단 기준으로 기대효용을 고려할 수 있다.

기후변화에 따라 생산에 변동(위험)이 발생할 경우, 농가들의 적응수단 적용여부를 분석하기 위하여 Finger와 Schmid(2008)는 CropSyst의 생태물리적 모형과 경제분석 모형을 연계한 기대효용 의사결정 통합모형을 적용하였다. 이 방법은 그동안 보편적으로 사용되었던 과거자료를 이용한 생산함수 추정법의 단점과 작물생육모형을 이용하여 생산량 변화를 예측하는 방법의 단점을 동시에 해결해 줄 수 있다. 즉, 생산함수 추정법은 미래 생산량을 예측하기 위하여 외삽적 방법을 적용해야 하며, 작물생육모형은 기후변화에 따른 적응이 고려되지 않기 때문에 생산량이 과소 추정될 수 있다는 단점이 있다. 그러나 기대효용 의사결정 모형은 미래의 기후변화를 예측하여 작물생산량 모의실험을 실시하고, 그 결과와 생산요소를 이용하여 회귀분석함으로써 미래의 기후변화와 그에 따른 농업인의 적응 행태를 모두 고려하게 된다.

기대효용함수를 이용한 의사결정의 이론적 배경은 기대효용 극대화 문제로부터 출발하게 된다. 이를 위한 기대효용은 다음과 같이 정의된다. 효용을 확률변수인 수익(quasi rent)의 함수라 가정하면 기대효용은 효용과 수익의 밀도함수(density function)의 곱을 적분한 값과 같으며 공식으로 아래 식과 같이 표현된다.

$$E(U(\pi)) = \int_0^{\infty} U(\pi)f(\pi)d\pi \quad (5-1)$$

여기서 π 는 수익을 나타내며, $f(\pi)$ 는 수익의 밀도함수이다.

효용함수를 수익에 대한 선형함수라 가정하면, 기대수익에서 위험에 따른 수익의 표준편차(σ_π)와 위험 회피계수(γ)를 곱한 값의 차이로 나타낼 수 있다(Hazell and Norton, 1986). 따라서 위험에 대한 생산자의 선호는 수익의 편차에 대한 선호계수(회피계수)에 따라 달리 나타나게 된다.

$$U(\pi) = E(\pi) - \gamma\sigma_\pi \quad (5-2)$$

한편 기대수익은 기대이윤에서 비용을 제외한 값이므로 다음과 같이 표현된다.

$$E(\pi) = pE(Q(X)) - wX - IK \quad (5-3)$$

여기서 Q 는 투입요소의 함수로 표현되는 생산량을 나타내며, w 는 투입요소(X)의 가격, 그리고 I 는 적응수단 적용여부, K 는 적응수단 적용비용을 나타낸다. 투입요소에는 적응수단도 포함되며, 기후변화에 따른 생산량만 확률 변수로 취급하고 가격은 주어진 것으로 처리하였다.

한편 수익의 편차는 아래와 같이 생산량의 편차로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_\pi &= |E(\pi - E(\pi))| & (5-4) \\ &= |E(pQ(X) - E(pQ(X)))| \\ &= |E(p(Q(X) - E(Q(X))))| \\ &= p|E(Q(X) - E(Q(X)))| \\ &= p\sigma_Q \end{aligned}$$

위에서 유도된 식들을 이용하여 기대효용 극대화 문제를 기대수익 최대화 문제로 표현하면 아래의 식과 같다.

$$\text{Max}_X E(U(\pi)) = pE(Q(X)) - wX - IK - \gamma p\sigma_Q(X) \quad (5-5)$$

이 문제를 풀기 위해서 수량반응함수($Q(X)$)와 수량편차함수($\sigma_Q(X)$)를 추정하여 대입하는데, 수량반응함수와 수량편차함수는 투입요소의 함수이며

원시함수(prime function)의 형태를 가진다. 따라서 최적화 상태의 투입요소 수준을 찾기 위해서는 식 (5-5)를 1차 미분하여 구할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial E(Q(X))}{\partial X} = \frac{w}{p} + \gamma \frac{\partial \sigma_Q(X)}{\partial X} \quad (5-6)$$

투입요소의 한계생산성은 투입요소 및 생산품 가격비(생산요소가격/생산품가격)와 위험 회피계수와 편차를 투입요소로 미분한 값(생산편차함수의 추정계수)의 곱의 합과 같게 된다. 따라서 위험 회피계수가 주어졌을 경우 가격 및 기후 시나리오에 따른 최적상태의 투입요소 수준을 식 (5-6)에서 구할 수 있으며, 이 값을 수량반응함수에 대입하여 최적생산량, 수량편차함수에 대입하여 최적 편차를 구할 수 있다. 그리고 식 (5-5)에 대입하면 최적 기대효용을 구할 수 있다.

기후변화에 따른 생산의 위험요소를 포함했을 경우 적응수단의 적용여부는 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 기대수익 차이와 적응수단 적용에 지출되는 비용을 비교하여 결정하게 된다. 따라서 적용했을 때에 기대되는 수익에서 적용비용을 제외한 값이 적용하지 않았을 때의 기대수익보다 크면 적응수단을 적용할 것이며 식으로 나타나면 다음과 같다.

$$E(U(\pi_{I=1})) - K > E(U(\pi_{I=0})) \quad (5-7)$$

위 식 (5-7)에서 적용비용 K에 따른 적응수단 적용여부를 결정할 수 있으며, K값이 일정한 확률분포를 가질 경우 시나리오에 따른 적용률을 구할 수 있다.

3.2. 기대효용 모형의 실제적 적용

이상의 이론을 바탕으로 하여 기대효용을 이용한 의사결정을 분석하게 되는데, 이 과정은 자료생성 단계, 수량반응함수 및 수량편차함수 추정 단계, 최적화 문제 해결 단계 등 세 단계로 나뉜다.

3.2.1. 자료생성²⁴

자료생성 단계에서는 기후변화 시나리오에 따라 예상되는 미래 기후 조건을 가정하고, 그 상태에서 생산요소 변화 모의실험(simulation)을 통해 산출되는 수량(yield) 자료를 만드는 것이다. 미래 시점은 2011~2040년, 2041~2070년, 그리고 2071~2100년 등 세 시기로 정하였으며, 각 30년의 평년기후 조건을 기후생성 프로그램에 적용하여 일일기후를 만들어 이용한다. 즉, 기후변화 시나리오(기상청, IPCC 등)를 이용하여 온도, 강수량, 이산화탄소 농도 등 미래 기후에 대한 조건을 설정하고 적응방법을 적용한 후, 조절이 가능한 생산요소를 임의로 변화시켜 생산량 자료를 도출하였다. 이산화탄소의 변화는 IPCC 자료를 기초로 주어진 범위에서 임의로 적용하고, 적응방법으로는 파종시기 변동, 관개시설 설치 등을 고려하였다.

생육모델을 이용하여 자료를 생성하는데 적합한 것으로 국내에는 ORYZA2000과 CERES-Rice 등이 있다. 이들 모형은 기후, 토양의 성격, 작물의 성격, 생산관리 등에 따라 반응하게 된다. ORYZA2000의 경우 이산화탄소 변화에 따른 생산량 변화를 추정하기가 용이하나, 자체적으로 기상조건 생성프로그램을 보유하지 않아 추가 작업이 필요하다. 반면 CERES-Rice의 경우 기상조건을 생성하기는 용이하나, 이산화탄소 변화에 따른 생산성 변화를 효과적으로 추정하기 어려운 단점이 있다. 이 연구에서는 ORYZA2000을 이용하여 자료를 만들었다.

생육모델의 모의실험에 적용할 생산요소로 질소비료와 관개(irrigation)를 선택하였으며, 이 생산요소들은 후차적으로 추정될 수량반응함수와 수량편차함수의 독립변수로 사용된다. 적용 대상지역은 광주, 밀양, 전주로 정하였으며, 대상품종은 중만생종으로 선정하였다.

²⁴ 기대효용 모형 활용을 위한 수량반응함수 자료는 농촌진흥청 국립식량과학원의 이충근 박사의 ORYZA 2000 시뮬레이션 분석을 통해 생성된 것이다.

3.2.2. 수량반응함수 계측

수량반응함수의 경우 과거자료를 이용하여 추정하는 보편적인 방법과 달리 기후요소를 포함하지 않고 질소비료와 관수를 독립변수로 가정하여 추정하게 되며, 아래와 같이 표현된다.

$$Q(X) = f(N, W)$$

여기서 X는 생산요소 벡터, N은 질소비료량, W는 관수량을 나타낸다.

광주지역의 중만생종의 수량반응함수식은 다음과 같이 나타난다. 한계 생산성을 반영하기 위해 2차 함수식을 이용하여 추정하였다. 함수 추정결과 상수항이 점진적으로 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 파종시기를 고정할 경우와 변경할 경우 모두 질소비료와 관수를 공급하지 않으면 시간경과에 따라 생산량이 점차 감소한다는 것을 의미한다. 추정된 수량반응함수에서 관수량의 경우 2071~2100년이 통계적으로 유의성을 가지지만 나머지 연도에서는 유의성이 낮은 것으로 나타났다<표 5-5, 표 5-6>.

표 5-5. 광주지역 중만생종 수량반응함수 추정결과(파종시기 고정)

변수	1971~2000	2011~2040	2041~2070	2071~2100
상수	4360.1** (30.67)	4440.3** (22.94)	4379.3** (38.72)	2008** (6.02)
N	46.3** (23.98)	39.7** (12.56)	37.7** (24.37)	25.3** (25.3)
W	0.43 (0.33)	0.213 (0.11)	0.075 (0.05)	11.9** (4.68)
N ²	-0.153** (-19.33)	-0.112** (-8.11)	-0.1** (-16.31)	-0.05** (-2.79)
W ²	-0.002 (-0.55)	-0.0007 (-0.13)	-0.0005 (-0.09)	-0.015* (-2.65)
NW	0.006 (1.05)	0.0012 (0.16)	0.0015 (0.25)	0.006 (0.59)
R ²	0.96	0.95	0.97	0.82

주: **, *는 각각 1%, 5% 수준에서 통계적 유의성을 나타냄.

표 5-6. 광주지역 중만생종 수량반응함수 추정결과(파종시기 변경)

변수	1971~2000	2011~2040	2041~2070	2071~2100
상수	4360.1** (30.67)	4044.2** (21.21)	4161.5** (17.75)	4039.7** (17.02)
N	46.3** (23.98)	49.3** (18.13)	40.1** (12.31)	23.8** (7.07)
W	0.43 (0.33)	1.24 (0.57)	2.73 (1.54)	4.83** (3.78)
N ²	-0.153** (-19.33)	-0.142** (-12.19)	-0.123** (-9.06)	-0.11** (-7.87)
W ²	-0.002 (-0.55)	-0.004 (-0.69)	-0.01* (-2.40)	-0.01** (-4.55)
NW	0.006 (1.05)	0.006 (0.76)	0.032** (4.39)	0.053** (10.03)
R ²	0.96	0.95	0.93	0.92

주: **, *는 각각 1%, 5% 수준에서 통계적 유의성을 나타냄.

광주지역의 중만생종의 수량편차함수 추정 결과는 아래의 <표 5-7>과 <표 5-8>에 나타나 있다. 선형함수를 이용하여 추정하였는데, 파종시기를 고정할 경우 질소비료는 수량의 편차를 줄이는 것으로 나타났다²⁵. 그러나 관수의 경우 변화방향이 일정하지 않으며, 통계적 유의성도 떨어져 수량편차에 어떤 영향을 미치는지 결론내리기는 어렵다. 파종시기를 변경할 경우 질소비료는 수량편차를 줄여주는 반면, 관수는 편차를 증가시키는 것으로 나타났다. 즉 질소량이 증가함에 따라 안정적인 수량을 기대할 수 있으나, 관수량이 늘어날 경우 생산수량의 불확실성이 증가하게 된다.

²⁵ 수량반응함수의 경우와 마찬가지로 한계편차를 나타내기 위해서는 2차 함수 또는 제곱근함수 형태로 추정하는 것이 적절하나, 최적화 문제의 해를 구하기 어려운 단점이 있다. 여기서도 최종적인 해를 구하기 위해 선형함수 형태를 선택하였다.

표 5-7. 광주지역 중만생종 수량편차함수 추정결과(파종시기 고정)

변수	1971~2000	2011~2040	2041~2070	2071~2100
상수	320.9** (12.63)	373.8** (11.45)	291.4** (14.42)	536.8** (6.40)
N	-1.21** (-8.38)	-1.06** (-4.07)	-1.05** (-8.78)	-1.003* (-2.04)
W	0.167 (1.49)	-	-0.06 (-0.49)	-0.407 (-1.28)
더미	-	-	-	936** (8.62)
R ²	0.55	0.36	0.56	0.57

주: **, *는 각각 1%, 5% 수준에서 통계적 유의성을 나타냄.

표 5-8. 광주지역 중만생종 수량편차함수 추정결과(파종시기 변경)

변수	1971~2000	2011~2040	2041~2070	2071~2100
상수	320.9** (12.63)	406.8** (10.45)	333.4** (6.36)	237.0 (1.51)
N	-1.21** (-8.38)	-0.976** (-3.88)	-0.77* (-2.49)	-0.02 (-0.02)
W	0.167 (1.49)	0.253 (1.22)	0.68** (3.62)	0.46* (1.99)
더미	-	-	-	520** (2.83)
R ²	0.55	0.22	0.24	0.50

주: **, *는 각각 1%, 5% 수준에서 통계적 유의성을 나타냄.

3.2.3. 최적화 문제 해결

수식 (5-5)의 최적화 문제를 풀면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있는데, 이때 사용한 외생변수 수준은 다음과 같이 가정하였다. 쌀 가격은 1,892원/kg, 질소비료가격 723원/kg, 농업용수가격 400원/m³, 그리고 위험에 대한 회피계수(γ)는 0.5로 가정하여 계산하였다²⁶.

²⁶ 쌀 가격은 2009년 8월 15일 통계청 자료이며, 질소비료 가격은 2009년 1월 기준(농협 내부자료)가격이다. 농업용수 가격은 실제로 존재하지 않지만 시·군

과중시기를 고정하여 벼를 생산할 경우 시간이 지남에 따라 최적 생산량은 줄어드는 것으로 나타났으며, 기대수익(기대효용)도 점차 줄어드는 것으로 분석되었다. 반면 과중시기를 변경할 경우 벼 최적생산량은 기후가 변하더라도 점진적으로 증가하며 이에 따라 기대수익도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 과중시기를 변경하였을 경우와 고정하였을 경우에 기대되는 기대수익의 차이는 2011~2040년 기간에 연간 약 79만원/ha, 2041~2070년 기간 155만원/ha, 그리고 2071~2100년 기간에는 500만원/ha 정도인 것으로 계산되었다<표 5-9>. 과중시기를 변경하였을 때 발생하는 비용이 연간 80만원을 넘지 않을 경우 생산자들 입장에서 기후가 변화함에 따라 과중시기를 적절하게 변경하는 것이 유리하다고 할 수 있다.

표 5-9. 광주지역 중만생종 최적화 결과비교

기 간	과중시기 고정				과중시기 변경			
	기대수익 (천원)	생산량 (kg/ha)	질소소비 (kg/ha)	관수 (mm/ha)	기대수익 (천원)	생산량 (kg/ha)	질소소비 (kg/ha)	관수 (mm/ha)
1971~2000	11,386	8,074	157	245	11,386	8,074	157	245
2011~2040	11,353	7,995	179	104	12,146	8,639	179	233
2041~2070	11,317	7,968	190	119	12,863	9,406	222	455
2071~2100	11,752	8,246	280	456	16,789	13,007	434	1,363

동일한 방법을 적용하여 계산한 밀양과 전주의 최적 기대수익을 도출하면 아래와 같다. 2011~2040년까지의 평년기후 시나리오를 적용하고 과중시기를 고정한 경우와 과중시기를 변경한 경우의 기대수익을 비교해 보면,

관리지역의 농업용수 공동운영비를 10a당 약 4,000원으로 가정하고(시군에 문의), 논농업에 필요한 용수량을 1,000mm로 정하였다. 따라서 10a에 필요한 물의 부피인 100m³의 용수값은 4,000원이 되므로 1ha에 1mm의 용수를 공급할 경우 (100m*100m*0.001m=10m³) 그 값은 400원이다. 위험회피계수는 영보다 클 경우(>0) 위험회피(risk-averse)를 나타내며, 영보다 작을 경우(<0) 위험선호(risk-love)를 나타낸다.

밀양지역은 파종시기를 변경했을 때 약 120만원이 더 높은 것으로 나타났으며<표 5-10>, 전주지역의 경우에도 약 140만원이 더 높은 것으로 추정되었다<표 5-11>.

표 5-10. 밀양지역 중만생종 최적화 결과비교

기 간	파종시기 고정				파종시기 변경			
	기대수익 (천원)	생산량 (kg/ha)	질소시비 (kg/ha)	관수 (mm/ha)	기대수익 (천원)	생산량 (kg/ha)	질소시비 (kg/ha)	관수 (mm/ha)
1971~2000	12,529	9,353	232	794	12,529	9,353	232	794
2011~2040	13,161	9,563	301	741	14,358	10,585	308	845
2041~2070	-	-	-	-	16,743	12,785	448	1,531
2071~2100	11,395	8,129	249	30	18,509	14,139	499	1,362

주: 2041~2070 시기의 파종시기 고정에 대한 기대수익은 자료 이상으로 최적화 해를 구하지 못함.

표 5-11. 전주지역 중만생종 최적화 결과비교

기 간	파종시기 고정				파종시기 변경			
	기대수익 (천원)	생산량 (kg/ha)	질소시비 (kg/ha)	관수 (mm/ha)	기대수익 (천원)	생산량 (kg/ha)	질소시비 (kg/ha)	관수 (mm/ha)
1971~2000	10,774	7,946	160	574	10,774	7,946	160	574
2011~2040	11,020	7,787	164	179	12,432	8,966	193	470
2041~2070	10,583	7,628	172	430	12,921	9,343	215	440
2071~2100	10,578	7,554	177	421	14,413	10,543	287	427

3.2.4 적응방법 적용확률 예측

광주의 기대수익 차액 80만원을 기준으로 농민들이 적응방법을 적용할 확률을 계산해 볼 수 있다. 그러나 위의 최적화 문제에서 적응방법은 파종시기를 변경하는 것뿐인데, 이 경우 추가적인 비용 부담이 없으므로 현재

의 모델로는 적용확률을 구하는 데 어려움이 있다. 그러므로 구체적인 적용방법을 제시하지 않고 가상 상황을 설정한 후, 기대수익 80만원을 제시하고 추가되는 비용부담을 선택할 수 있게 하는 이단계 이선선택모형(Double-bounded dichotomous choice)을 적용하였다.²⁷ 앞서 실시한 농업인 설문조사에서 정부 적응정책 프로그램에 참여할 의사가 있는 농업인을 대상으로 지불의사 금액을 추정하였다.

참여의사가 있는 응답자를 4그룹으로 분류하여 각 그룹의 대상자에게 추가비용 10만원, 30만원, 50만원, 70만원을 각각 지불할 의사가 있는지를 질문하였다. 추가비용 지불의사가 있을 경우 기준 지불의사 금액에서 10만원을 더하여 지불의사를 물었으며, 없을 경우 10만원을 감하여 지불의사를 물었다. 제시액 10만원의 경우, 지불의사가 없는 응답자에 대해서는 5만원의 지불의사를 물었다. 설문조사 결과는 <표 5-12>에 제시되었으며, 분석에 활용할 수 있는 자료는 1단계, 2단계 질문에 모두 응답한 256개이다.

표 5-12. 적응비용 지불의사 이단계 설문 결과

구 분	10만원	30만원	50만원	70만원
총대상자	77	64	61	54
YY	47	37	35	32
YN	20	10	10	4
NY	6	7	9	10
NN	4	10	7	8

주: Y는 질문에 긍정적인 대답을 한 경우이며, N은 부정적인 대답을 한 경우임. 순서대로 1차 응답과 2차 응답을 나타냄.

이상의 결과를 이용하여 지불함수를 측정한 결과는 아래의 표와 같으며, 지불의사액의 평균값은 62만 4,650원인 것으로 나타났다<표 5-13>. 이 결

²⁷ 지불의사 금액추정에 있어서 이단계 이선선택모형은 오차가 로지스틱분포를 따른다고 가정하여 Yes라고 응답할 확률을 계측하는 방식이다.

과를 이용하여 80만원 미만의 지불의사액을 제시하였을 경우 적응방법을 채택할 확률을 계산하면 64.8%인 것으로 나타났다.

표 5-13. 적응방법에 대한 지불함수 계측결과

변수명	계수	t값
상수항	5.370	8.867***
ln(T) : 제시액(원)	-1.512	-10.279***
성별더미	1.046	2.921***
나이	0.0234	0.1934
표본수	256	
평균값(원)	WTP	624,650
	95% 신뢰구간	523,331 ~ 770,961

주: 1) ***, *, 는 각각 1%, 10%에서 유의.

2) 95% 신뢰구간은 Krinsky and Robb(1989)의 방법으로 1,000회의 몬테카를로 모의실험에 의한 결과임.

3.3. 기대효용 분석의 기대효과

기대효용 모형을 이용하여 기후변화에 적응하는 방법을 적용했을 경우와 그렇지 않았을 경우에 대한 기대수익의 차이를 추정하였다. 2011~2040년 기후시나리오를 적용하였을 경우 광주 79만원, 밀양 120만원, 전주 140만원 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 지역별로 이러한 차이가 나타나는 이유는 기후변화 시나리오가 상이하며, 그에 따른 파종시기 변경이 다르기 때문이다 <표 5-14>. 직접적이지는 않지만 기대효용 분석결과를 이용하여 농민들의 적응방법 적용확률을 계산하면 약 65% 정도를 채택할 것으로 예측되었다.

기대효용 분석은 시나리오별 적응수단 적용 비율을 추정하는 데 목적이 있다. 기후변화 시나리오에 따라 주어진 적응수단에 대한 농가단위의 적용 확률, 즉 정부 정책에 대한 실효성을 예측할 수 있으므로 정책 결정자 입

장에서 기후변화에 따른 생산성 위험을 감안한 적절한 적응수단 수립의 기초자료로 활용할 수 있다.

표 5-14. 광주지역 중만생종 쌀가격·관수가격 변화에 따른 최적화 결과비교

기 간	쌀가격 (원/kg)	관수가격 (원/m ³)	기대수익 차이 (원/ha)
1979~2000	1,892.0	400	0
2011~2040	1,797.4	600	714,013
2041~2070	1,702.8	1,000	1,115,780
2071~2100	1,608.2	1,500	-

주: 2071~2100 기대수익 차이는 파종시기를 고정했을 때의 최적 해를 구하지 못해 비교가 불가능함.

외생으로 처리한 생산요소와 생산품의 가격 변화를 예측하여 적용할 경우 기후변화뿐만 아니라 가격변화에 따른 최적 생산량, 최적 투입요소 수준, 기대효용 등에 대해서도 동시에 분석할 수 있다. 즉, 미래의 불확실한 시장 변동요소인 기후변화와 가격변화를 동시에 고려한 생산자의 최적 행위를 예측할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 쌀 가격이 5%씩 하락하고 농업용수 가격이 다음과 같이 변한다고 가정하면, 파종시기를 변경했을 때의 기대수익과 고정했을 때의 기대수익 차이는 앞서 계산한 경우보다 떨어지게 된다. 그러므로 적응방법 적용에 따른 추가 부담이 이전과 같다면 농민의 적응확률은 낮아지게 될 것이다.

이상의 분석은 서로 독립된 분석결과를 간접적으로 연계하여 도출하였으므로 그 결과의 신뢰성은 경우에 따라 변할 수 있을 것이다. 즉, 파종시기 변경에 따라 추가비용이 발생하지 않았기 때문에 가상으로 정해진 지불의사 모형을 이용할 수밖에 없는 한계가 있었다. 그러나 쌀 이외의 다양한 작물에 대한 생육모델이 만들어지고, 실제 비용이 발생하는 적응수단이 모델에 적용될 경우보다 실질적인 수치를 계산하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

기후변화가 농업부문에 미치는 영향과 대응방안을 마련하기 위해 여러 국가에서 과학적·정책적 측면의 연구를 활발하게 추진하고 있다. 제6장에서는 일본, EU, 영국, 호주, 중국 등 주요국의 농업부문의 기후변화 영향과 대응방안을 정리하여 제시하였다. 일본사례는 농업환경기술연구소에서 이루어진 과학적인 연구결과와 일본 농림수산성의 지구온난화 종합전략 수립 시 활용한 영향분석 사례 등을 종합적으로 정리하였다. EU와 영국은 유럽집행위원회의 농업부문 적응방안 종합보고서와 관련분야의 연구를 종합하여 제시하였다. 호주는 농업부문의 기후변화 대책을 담은 실행계획에 관한 정부문서와 연구기관의 보고서 내용을 종합하여 제시하였다. 중국은 정부의 기후변화 대응 관련문서와 영국 정부의 지원에 의해 이루어진 닝샤 지역의 특별보고서 핵심내용을 정리하여 제시하였다.

1. 일본

1.1. 기후변화의 영향

일본은 1980년대 후반부터 농업환경기술연구소를 중심으로 기후변화에 따른 농업부문 대응책 수립을 위한 영향평가와 관련하여 심층연구를 수행해오고 있다.

일본 농업·식품산업기술종합연구기구(농연기구)는 2003년 과수, 2005년 수도, 밀, 대두, 채소, 화훼, 축산에 대해 47개 지방자치단체 농업관련 공립 시험연구기관을 대상으로 농업에 대한 지구온난화 영향 현황에 관한 설문 조사를 실시하였다. 설문조사 결과 「과수」는 모든 지역, 「채소·화훼」는 90%, 「수도」는 70% 이상, 「밀·대두」·「축산(가축·사료 작물)」은 40% 정도의 지역에서 지구온난화에 의해 영향을 받는 것으로 조사되었다. 쌀 생산에서 최근 문제가 되고 있는 백색미숙입 발생이 증가하고 있다고 답한 지자체는 37개였고, 그 절반 이상인 22개 지자체는 그 원인을 온난화로 인식하고 있는 것으로 나타났다.²⁸ 백색미숙입 이외에도 동할립(胴割粒, 균열이 생긴 쌀알) 발생이 증가했고 온난화를 원인으로 꼽은 지자체도 6개로 조사되었다.

일본 농림수산성에서는 지구온난화대책 종합전략(2007) 수립과 관련하여 온난화 영향 시뮬레이션(100년에 4~5℃ 상승) 결과를 기초로 농업환경 기술연구소의 작목별 영향분석 결과를 활용하고 있다<그림 6-1>.

수도작의 경우 수도생육·수량예측 모델(CERES-Rice)을 이용하여 분석한 결과, 전국 평균 약 3℃ 상승(2060년)하였을 때, 지역별 잠재적 수량이 북해도도는 13% 증가한 반면, 동북 이남은 8~15% 감소하는 것으로 전망되었다. 한편 이산화탄소 농도가 현재 수준보다 200ppm 상승했을 경우 약 15%의 미곡 증수효과가 있는 것으로 추정되었다.

사과의 경우 재배적지(연평균기온 7~13℃)는 서서히 북상하여 2060년 경에는 북해도가 재배적지로 전환되고 현재 주산지(아오모리, 나가노 등)에서의 사과재배는 상당히 줄어들 것으로 전망하였다. 또한 고온으로 착색장애 등과 같은 사과의 품질저하를 예상하였다.

꿀의 경우 재배적지(연평균기온 15~18℃)는 서서히 북상하여 2030년대에 니가타 평야, 2040년대에 관동 평야, 2060년대에 남동북까지 확대될 것

²⁸ 수도의 백색미숙입(白色未熟粒, 하얀 미숙한 쌀알)은 현미의 전부 또는 일부가 유백(乳白)화하는 현상이며 등숙(登熟)기(출수·개화에서 수확까지의 기간)의 평균기온이 27℃를 넘으면 많이 발생하고 등숙기 평균기온이 상승경향을 보이고 있는 것으로 조사되었다.

으로 추정하였다. 또한 2060년대에는 현재주산지(시즈오카, 와카야마, 미나미큐슈의 연안부)의 대부분이 18℃ 이상 되어 꿀 재배에 부적합지로 전환될 것으로 전망하고 있다.

축산업의 경우 양계부문에서 산육량 저하가 서일본으로부터 확산되어 2060년에는 15% 이상 저하하는 지역이 10% 정도이며, 동북이남 지역에도 영향을 미칠 것이다. 목초생산의 경우, 생산량이 증가하고 생산지역이 확대될 것으로 전망하고 있다.

그림 6-1. 일본의 기온상승에 따른 농축산부문 영향

		2010		1℃ 2030		+250ppm 3℃ 2050		2070		2090 4℃	
수 도	일부 지역 의 기온 상승 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 불임을 증가					
대 두						CO ₂ 증가로 28% 증수		고온으로 6~10% 감수			
							CO ₂ 증가와 고온 수확(98~116%)				
사 과								북해도 적지화			
								주산지의 일부 변경			
꿀								남동부 연안지역 적지화			
								주산지의 일부 변경			
축 산											
						생산량 저하가 서일본에서 점차 확대	15% 이상 저하되는 지역이 1할	동북 이남 생산량 저하			
									목초 생산량 1.5배 증가	어름철 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: 일본농림수산성(2008).

기후온난화는 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 기후온난화로 수도작과 채소류 및 과일류 등에서 병해충 발생이 증가하고, 남부지역에서의 새로운 병해충 정착이 유리해져 외래 병해충 문제가 심화될 것으로 전망하고 있다.

1.2. 지구온난화 적응대책

일본 농림수산성은 2008년 3월에 현재까지의 연구결과를 종합하여 「농림수산성 지구온난화 대책 종합전략」을 발표하였다. 이 종합전략은 지구온난화 방지대책, 지구온난화 적응대책, 농림수산분야 국제협력의 세 부분으로 구성되어 있으며, 지구온난화 적응대책은 지구온난화 적응대책 추진과 지구온난화 적응대책에 관한 기술개발로 세분화되어 있다. 지구온난화 적응대책 추진과 관련된 주요품목에 대해서는 전국단위 조사 결과나 연구기관의 기술개발 결과 등을 근거로 당면의 적응대책이나 향후의 대응방침을 「품목별 적응대책 보고서·일정표」로 제시하였다. 또한, 적응대책에 관한 기술개발로는 생산현장에서 이용할 수 있는 고온내성 품종육성이나 재배관리기술의 개선 등과 같은 안정적인 기술의 조기개발 등을 제안하였다.

일본 농림수산성 생산국에서 2007년 6월에 「품목별 지구온난화 대응책 보고서」를 출판하였는데, 이 보고서에서는 농업생산 현장에서 적용될 수 있는 적응수단과 단기·중장기적인 연구개발 과제 등을 제시하고 있다. 연구과제 추진방식은 단기(2008~2010년), 중기(2010~2030년), 장기(2030년 이후)로 나누어 접근하고 있다<표 6-1>.

표 6-1. 일본의 지구온난화 적응 관련 단계적 연구추진 계획

단 기(2008~2010년)	중 기(2010~2030)	장 기(2030년 이후)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시급성이 높은 과제(프로젝트 연구 등에서 대응) - 벼의 동할미 발생 경감기술 개발 - 식물 생육 조절제를 이용한 감귤의 부피방제 기술 개발 - 토마토의 장해과 역제를 위한 효율적 조광법의 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 계획적인 적응대책 연구추진(탄소배출·흡수량 평가나 농림수산물의 생산성에 대한 영향 고려) - 생산안정기술 개발 - 고온 등의 스트레스에 강한 온난화 적응 품종 육종 - 신규 병해충에 대응 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적응대책의 근본적 견해 검토 - 재배기술에 대한 근본적 재검토 등 생산 안정 기술 개발 - 개능 정보 등을 이용하여 온난화에 고도로 적응하는 품종 개발 - 온난화 영향평가 등에 기초한 작물전환 실시
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 품종육종 등의 중장기적 과제(교부금 등에서 대응) - 수도의 고온내성 품종의 개발 - 고온화에서도 착색이 잘 안 되는 과수품종 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 작물 전환 평가 시스템 개발 - 작물전환의 조건 등에 대한 검토 	

자료: 日本 農林水産省(2008).

적응보고서에 제시된 품목은 벼, 맥류, 두류, 토마토 등이며, 주요 구성은 생산현장 현황, 당면 적응대책, 향후 적응대책으로 구성되어 있다<표 6-2>. 주요 적응대책을 살펴보면, 벼의 경우 백미숙립, 동할립 발생에 대응하여 당면 적응대책으로 지연이식의 도입, 적절한 시비 관리, 고온내성 품종으로의 전환 등이 있으며 향후 대응방안으로 직파에 의한 이삭 패는 시기 연장의 유효성 검증, 기술개발 확립 및 재배관리 체계 보급 등이 있다.

두류의 경우 고온다우에 의한 생육량 부족, 착색 불량 등의 피해를 줄이기 위해 이랑사이에 관수를 철저히 하는 적응책을 세워두고 있고, 병해충의 다발 및 발생기간의 확대, 난지성 병해충의 발생에 대응해 적기, 적정 방제를 철저히 하고 저항성 품종으로 전환하는 적응책을 마련하였다. 온주밀감의 경우 착색불량에 대해 적정 착과량의 엄수, 시트멀칭 재배기술의 도입 등의 적응책과 부피증에 대해 칼슘제 시용을 고려하고 있다.

표 6-2. 지구온난화에 따른 품목별 현상 및 적응책

품 목	주 요 현 상	당면 적응대책	향후 대응방안
벼	백미숙립 발생	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지연이식의 도입 ▪ 적절한 시바수 관리의 실시 ▪ 고온내성품종으로 전환 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 직파에 의한 이삭 패는 시기 연장의 유효성 검증. ▪ 기술개발 확립 및 재배 관리 체계 보급
	동할립 발생		
	방귀벌레류 다발	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 이삭패기 전 논두렁 등의 잡초관리 ▪ 색채선별기로 피해난알 제거 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 페로몬을 이용한 발생 예측의 고도화와 개체군 억제기술 개발.
두류	고온다우에 의한 생육량 부족, 착협(着莢)불량, 여물지 못하는 뿌리의 발생	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 이랑사이 관수 철저 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 배수와 관개의 양립이 시스템에 의한 물 관리기술 확립 및 보급.
	병해충의 다발 및 발생기간의 확대, 난지성 병해충의 발생	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적기·적정방제 철저, 저항성 품종으로 전환 등 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 내병해충성의 강화와 내습성 등을 복합시킨 품종의 육성.
	많은 비로 단수저하, 고온다우로 품질저하.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 배수대책 철저, 불경기(不耕起)과중기술의 도입 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 페로몬 이용 등에 의한 발생 예측·방제기술개발.
온주 밀감	착색 불량	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적정착과량 엄수 ▪ 시트멀칭 재배기술의 도입 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자재 활용·재배관리기술 개발
	부피증	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적정착과량 엄수 ▪ 칼슘제 시용(施用) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 보다 정밀도가 높은 예측 모형 통한 품목 전환검토

자료: 日本 農林水産省(2008).

기후변화 관련 연구성과를 종합하여 품목별 적응대책을 제시하여 농가들이 현장에서 실제로 활용할 수 있도록 기술보급에 상당한 노력을 기울였다<표 6-3>. 벼의 경우 고온장해, 병해충에 의한 백미숙립, 동할립, 고온불임의 발생에 대응하여 고온내성 품종의 육성, 적정한 난알 수 억제 및 유도, 재배밀도 조정, 시비관리 개선 등의 적응대책을 세워두고 있다. 사과와 감의 경우 착색기 고온에 의한 착색불량에 대응하여 착색 우량 계통의 선택, 반사 필름 등에 의한 수광 개선 기술의 도입을 고려하고 있다.

복숭아의 경우 성숙기 고온에 의한 과육 갈변병 피해를 줄이기 위해 조색 품종으로의 전환, 적정착과, 적정수확 엄수, 토양·지초 관리 등의 적응책이 있다. 포도의 경우 착색기 고온에 의한 착색불량에 대응하여 ABA(Absciscic

acid) 처리와 환장박피 처리기술의 적응대책을 세웠으며, 감귤류는 착색기 고온에 의한 착색불량 및 부피과 피해를 최소화하기 위해 반사 멀칭 자재에 의한 수광 개선 기술, 방장착과 등에 의한 큰 열매 억제, 부피과 발생하기 어려운 품종의 육성 등의 적응책을 마련하였다. 두류의 경우 여름과 가을 고온에 의한 한발해를 막기 위해 지하수위 조절 시스템의 개발 등의 적응책을 고려하고 있다<표 6-3>.

표 6-3. 품목별 지구온난화 적응대책

품 목	기 후	영 향	적 응 대 책
벼	고온장해	백미숙립	<ul style="list-style-type: none"> 고온내성 품종 육성 - 고온내성 조생품종 육성 이앙기 연기, 적절한 낫알수 억제·유도, 재배밀도 조정, 시비관리 개선
		동할립	
		고온불임	
	병해충	방귀벌레류	<ul style="list-style-type: none"> 성페로몬트랩에 의한 발생 예측 신약제를 포함한 방제법 재검토
사과	착색기 고온	착색불량(과육연화, 저장성 저하)	<ul style="list-style-type: none"> 쓰가루, 후지 등에서 착색 우량 계통 선택 반사 필름 등에 의한 수광 개선 기술
복숭아	성숙기 고온	밀증상·과육갈변병	<ul style="list-style-type: none"> 조색품종으로의 전환 적정착과나 적정수확 엄수 토양, 지초 관리
포도	착색기 고온	착색불량	<ul style="list-style-type: none"> ABA(abscisic acid) 처리와 환장박피 처리기술 적정 착과 철저
감귤류	착색기 고온	착색불량 및 부피과	<ul style="list-style-type: none"> 반사 멀칭 자재에 의한 수광 개선 기술 방장착과 등에 의한 큰 열매 억제 부피과 발생하기 어려운 품종 육성 식물조절제에 의한 부피과 경감 기술
	여름 고온	생리적 낙과	<ul style="list-style-type: none"> 지베렐린처리에 의한 생리낙과 억제 기술
	병해충	감귤그린병	<ul style="list-style-type: none"> LAMP법을 이용한 신속진단법 매개충 방제
두류	여름과 가을 고온	한발해	<ul style="list-style-type: none"> 지하수위 조절시스템 개발

자료: 日本 農林水産省(2008).

2. EU

2.1. EU 기후변화의 영향: 중부대서양 연안지대 사례

유럽의 농업기후지대 가운데 중부 대서양연안지대에 속하는 국가로는 영국, 네덜란드, 벨기에, 룩셈부르크, 북부 프랑스, 서부 독일, 덴마크, 서부 스웨덴으로 유럽의 주요 국가가 포함된다. 중부 대서양연안지대의 기온은 2080년까지 2.5~4℃ 상승하며, 강수량은 연간으로는 감소하지만 계절적으로 겨울철 비중은 증가할 것으로 전망된다. 겨울철은 강수 집중도가 높아지고 기온 상승으로 폭풍과 홍수의 빈도가 증가하며 여름철은 보다 건조해지고, 뜨거워질 것으로 전망된다.

기후변화가 이 지대의 농업에 이익을 가져올 수 있는데, 재배기간의 연장, 기온상승, 대기 중 CO₂ 농도의 증가에 따른 잠재 단수의 증가로 2080년까지 평균 12%의 곡물수량 증가가 예상된다(Atkinson et al., 2005). 대두, 해바라기와 같은 작물이 재배될 수 있는 북부 지역에서는 단수가 증가할 가능성이 있다. 이곳에는 유럽에서 가장 생산성이 높은 농업 지역이 있으며, 이러한 농업 기후조건이 남부 노르웨이, 남중부 스웨덴, 남서부 핀란드로 확장될 경우 유럽의 식량생산은 잠재적으로 증가할 수 있다.

중부대서양 농업지대는 기후변화의 영향으로 중대한 위험에 직면할 수 있다. 해수면 상승으로 영국 동부, 벨기에, 네덜란드, 독일의 북부해안지역에 있는 대규모 저지대 농지가 물에 잠기게 된다. 겨울철 강수량 비중의 증가로 홍수 위험이 높아지고, 큰 강 주위의 대규모 저지대 농지에 심각한 영향을 미치게 될 것으로 전망되고 있다(Reynard et al., 2001). 기후변화에 따라 유럽의 기후이상 현상이 더욱 빈발해질 것이라는 것이 대체적인 전망이다.

토양의 흡수속도를 초과하는 집중호우의 증가로 축산분뇨를 토양에 투입하는 지역에서 점원오염(point source pollution)의 발생이 증가할 것으로 예상된다. 만약 중요한 곡물 등숙기간 동안 강수량이 감소하거나 기온이 너무 상승하면 작물은 잠재 수량에 도달하지 못할 수도 있다. 이 농업지대

의 몇몇 지역에서는 수량 감소의 위험이 위에서 언급한 수량 증가의 잠재력을 상쇄시켜 수량 증가보다 클 가능성이 있다. 보다 덥고 건조한 여름철 기상은 작물에 따라 다른 영향을 미친다. 건조한 토양 조건에 더욱 민감한 감자와 사탕무의 경우 이 농업지대에서 봄철에 씨를 뿌리고, 잠재 수량에 도달하기 위해서는 관개를 필요로 한다. 향후, 관개 수요는 더욱 증가할 것이며, 감자와 사탕무의 생산성은 하락할 것이다.

기온 상승으로 새로운 병해충의 위험이 나타나고, 이러한 위험에 대응하기 위해 농약 사용을 증가시킨다면, 이는 수질악화로 이어질 것이다. 이 지대의 토양 자원은 많은 비중의 갈색토양을 포함하고 있어 얇거나 거친 조직의 토양보다 가뭄 압박을 잘 견딜 수 있지만, 만약 가뭄 압박이 심해지면 이러한 토양은 잠재단수에 도달하지 못하게 될 것이다.

2.2. EU 기후변화의 적응전략

2.2.1. 적응전략 목표

EU 집행위는 기후변화의 적응전략으로 복원력(resilience) 향상을 목표로 설정하였다. 복원력 향상 전략은 EU의 지속가능한 발전(sustainable development)에 관한 목표를 전체적으로 옹호하며, 동시에 보조성의 원칙(subsidiarity principle)을 존중한다. 2009~2012년까지의 제1단계와 2013년 이후의 제2단계로 구분하여 추진하되, 제1단계에서는 제2단계에 시행할 적응전략의 기초를 다지는 준비를 하고자한다.

제1단계 중점 실천과제로는 EU에 대한 기후변화의 영향에 관한 견고한 지식기반 구축, EU의 주요 정책분야에 적응전략의 통합과 관련 효과적인 적응 구현을 위한 다양한 정책수단(시장유인장치, 가이드라인, 민관 파트너쉽 등)의 조화 및 적응 관련 국제협력 강화를 제시한다. 실천과제로 2011년까지 기후변화의 영향에 대한 모니터링 지표 개발과 적응 수단 간의 비용효과 분석평가, 농업정책의 복원성 제고, 생물다양성, 생태계, 물

관련 정책의 복원성 제고 등이 있다. 기후변화의 완화를 위해서는 EU의 기후변화 온실가스 감축 노력에 한계가 있으므로 기후변화의 영향에 대한 보충 수단(적응노력)이 필요하며, 기후변화의 영향에 대한 인간과 자연의 복원력(resilience)을 증가시킬 수 있는 조치의 필요성을 강조하고 있다. 농업정책, 물 관리정책, 에너지정책, 금융보험 등에 기후변화적응을 고려하는 것이 필요하다. EU 가운데 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 헝가리, 네덜란드, 스페인, 영국 등은 국가적응전략(National Adaptation Strategy)을 채택하였다.

2.2.2. 적응방안

EU 집행위원회는 EU 전 지역의 농업부문과 관련된 기후변화 위험에 대한 잠재적 적응조치(potential adaptation measures)를 상세히 분석하여 제시하였다. 위험의 종류로는 가뭄과 물 부족, 작물생산성 감소, 작물품질 하락, 병해충·잡초 증가, 홍수위험 증가, 수질 악화, 해수면 상승 등이 있으며, 각 위험에 대한 적응방안은 아래 <표 6-4>와 같다.

주요 적응방안들 가운데 가뭄과 물 부족에 대한 대응을 최우선 순위에 두고 있다. 관개의 증대, 물 효율성 향상, 물을 덜 집약적으로 사용하는 작물로의 품종전환 등 기온상승에 따른 물 부족 문제를 완화시키기 위해 상당히 다양한 적응 옵션들이 있다. 물 부족 문제를 완화시키기 위한 인프라 구축도 중요하지만 어떻게 물을 효율적으로 사용할 것인지, 절약하며 사용할 것인지에 대한 방안들을 마련하고 있다. 작물 생산성 감소의 위험은 물론이고 작물 품질 하락의 위험까지도 고려하고 있다.

전 유럽의 사회-경제적 상황과 환경상태가 실제로 다양하며, 특히 소득, 교육 수준, 문화적 규범이 적응전략 개발에 영향을 미칠 수 있기 때문에 특정 지역의 적응전략을 개발하기 전에 그 지역 혹은 농장의 특정 환경을 고려한 적응조치 분석의 중요성을 고려하고 있다.

표 6-4. EU의 기후변화 위험에 따른 주요 적응방안

위험 요소	적응 방안
가뭄과 물 부족	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관개를 늘리고 물 효율성을 향상 ▪ 병충해 영향 줄여 수확량 유지를 위한 퇴비사용 증가 ▪ 물을 덜 집약적으로 사용하는 작물로의 품종전환 ▪ 콩과 같은 열에 강한 새로운 작물 채택 및 개발 ▪ 토양의 물 저장 능력을 증가시키는 조치 ▪ 겨울동안 빗물 저장을 증가시키는 조치
작물 생산성 감소	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 열 압박에 따른 생산성 감소 완화를 위한 내열성 품종 재배 ▪ 초가을이나 초봄에 콩 파종하여 여름 기온 상승하기 전 조기 작물 성숙 ▪ 작물 생산 측면에 초점을 맞춘 품종개발 연구
작물 품질 하락	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 이산화탄소의 증가와 직사광선은 작물의 품질에 영향을 미침. 열차단과 온도계 같은 보호 및 모니터링 장치 사용
병해충, 잡초 증가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저항체와 피해가 적은 품종으로 다양화 ▪ 온실에서 온도계와 빠른 환풍 시설 설치로 병충해 줄임 ▪ 가축질병 적응은 백신을 투약 ▪ 병해충 잠재 위험에 대한 측정과 치료제에 대한 연구와 이에 대한 정보가 요구됨
홍수 위험의 증가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 침수 피해를 줄이기 위한 토양 배수의 개선 필요 ▪ 침수의 부정적 영향을 최소화하기 위해 침수에 대한 정보의 보급이 중요 ▪ 적절한 농장수준의 보험으로 건물과 장비의 손실 방지 ▪ 토양 구조의 개선, 외각의 쟁기질로 토양의 물 흡수 속도를 제고 ▪ 폭우 시 완충장치 역할을 할 산림 조성 ▪ 농가관리 행동들에 대한 정부의 보상 및 지원
수질악화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폭우에 의한 오염 확대를 방지하기 위해 퇴비 효율성과 적용 방법의 개선
해수면 상승	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해수면 상승에 의한 토지 잃은 농업인 지원 ▪ 인구 밀집지역과 해안지역 우선 보호

자료: AEA Energy & Environment(2007).

3. 영국

3.1. 기후변화의 영향

영국은 극단적인 강우가 나타나고, 강의 유량이 증가할 것으로 예상된다. 향후 50년에 걸쳐 최고 유량이 20% 이상 증가하고(MAFF, 2001) 겨울철 강물의 범람이 영국 전역에 걸쳐 증가할 것으로 예상된다(Iglesias et al. 2007).

영국 환경청에 의한 미래의 가뭄 위험에 관한 연구보고서에 따르면, 2020년대 초반까지 가뭄현상이 증가되고 이러한 현상은 낮은 이산화탄소 배출 시나리오에서도 발생하는 것으로 분석되었다(Wade, 2004). 예상되는 가뭄수준의 변화가 자연적인 변동성 수준을 벗어나는지를 증명하기 위해 보다 심층적인 연구가 필요한 것으로 지적되고 있다. 1995년에 경험한 심각한 가뭄이 2080년대까지 더욱 빈번해져 현재의 9년마다 1회에서 15년마다 2회(낮은 이산화탄소 배출 시나리오 하에서) 혹은 3년마다 1회(높은 이산화탄소 배출 시나리오 하에서)로 증가할 전망이다(Iglesias et al. 2007). 가뭄의 빈도 증가는 농업부문에 상당히 부정적 영향을 미칠 것으로 보인다.

3.2. 기후변화의 적응전략

3.2.1. 적응정책 목표

영국은 2005년에 국가 기후변화 적응정책 골격(adaptation policy framework)을 수립하여 추진해 오고 있다. 국가 적응 대책은 홍수 관리, 물 자원, 빌딩 규제, 의료, 농업 및 국제 개발 등을 포함한 많은 분야의 정부 정책이 기후정책과 결합되어 있다. 정부는 기후변화 영향 프로그램(UK Climate Impacts Programme, UKCIP)에 자금을 지원하여 기후영향에 대한

보다 설득력 있는 과학적 근거를 개선하고, 농업부문 종사자들을 포함하여 기후변화 영향을 받는 주체들의 적응에 도움을 주고 있다.

영국 농업부문의 적응정책 목적은 농가와 시장의 활용, 농업환경 계획과 규제에 편입, 재배적지 이동에 따른 지역계획 수립, 작물육종 프로그램 활용 등 네 가지 대안적 목적으로 이루어진다<표 6-5>. 이들 목적들은 부문별, 부문 상호간, 지역적 이슈들을 고려하고, 기후변화의 위험평가를 실시한 후 제시되었다²⁹. 처음 두 가지는 자금지원에 의한 기후영향 방지, 기후변화 복원력, 기존의 정책을 통한 기후변화 복원력 등이 고려되었으며 현실적으로 실행 가능한 목적들이다. 이러한 실현 가능한 목적을 추구하는 목표들이 정책, 기능, 규제, 연구 및 모니터링, 교육 및 지도, 파트너십 등과 관련하여 현재와 미래로 구분하여 제시되고 있다<표 6-6>. 주요 목표들을 살펴보면 자금조달, 취약 작물의 생산비중 제고, 기후변화의 위험에 대응한 다양화 등을 들 수 있다. 네 가지 목적 가운데 나머지 두 가지는 작물 또는 축산물 등 개별적인 위험보다는 부문 내 클러스터에 초점이 맞추어져 보다 폭넓은 범위의 목적들로 가축사료의 적응관리, 관개와 농장 저수지 혹은 새로운 축사에서의 투자와 같은 특정 위험에 대한 해결방안 등이 관계가 된다.

표 6-5. 농업부문 기후변화 적응의 대안적 목적

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농가와 시장으로 하여금 새로운 기회를 활용하고 기후자원의 변화와 위험에 대응할 수 있게 한다. ▪ 기후변화를 예상하고 국가 적응전략이 농업환경 계획과 규제에 확실히 편입되게 한다. ▪ 농작물 재배 적지의 이동에 따라 지역의 특정 계획을 개발하고 새로운 지역의 농산물 가공처리 필요성을 예상한다. ▪ 기온 상승과 여름철 가뭄 상태 때문에 작물 육종 프로그램으로부터 작물을 위한 새로운 필요조건들을 예상한다. |
|---|

²⁹ Defra(2005), p.50.

표 6-6. 새로운 기회를 활용하고 위험에 대응하기 위한 목표

구 분	현 재(2010-2015)	미 래(2015~)
정책 및 계획	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자금조달: 농촌개발 자금 확대 조달로 기후변화에 적응 ▪ 기후변화에 취약한 작물의 생산 비중 제고 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미래예측이 어려워 중기목표 미 설정 ▪ 시간 흐름에 따라 목적 수정
기능	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기업화, 새로운 작물유형, 파종시기 변화, 연구와 정보를 기반으로 한 다양화 등 새로운 기후자원/위험에 부응하는 농장관리 변화 	
표준 및 규제	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지역계획과 지역개발 기관의 평가에 기후변화 적응을 고려 	
연구 및 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 토지이용과 기후변화 적응에 적용할 수 있도록 농기계 개발 	
교육 및 지도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농장연결 서비스와 권고를 통해 기후변화 인식을 제고 	
파트너십	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지역계획과 연계된 모든 공급주체의 파트너십 	

자료: Defra(2005).

3.2.2. 적응전략

영국 농업부문의 최근 적응 증거는 높은 인식에도 불구하고 초기적응대응의 부족을 강조하였다. 어떤 계획을 가지고 적응하는 것보다 계획하지 않은 채 바로 적응하는 것이 훨씬 쉬운 것으로 나타났고, 대부분 계획하의 적응은 ‘적응의 이행’보다는 ‘적응능력의 배양’으로 계획을 변경하였다. 물사용을 감소시키는 점적 관개는 잉글랜드와 웨일즈 관개지역의 5%까지 비중을 높였고, 잉글랜드 관개지역에 거주하는 농민들의 50% 이상이 계절적 물 이용성에 따라 일정을 정하는 것으로 나타났다.

최근 영국은 농업부문의 물 부족, 겨울 강수량 증가, 병해충 문제 등에 대응한 적응전략을 마련하였다<표 6-7>. 물 부족에 관한 전략으로 물을 저장하고 가뭄에 견딜 수 있는 작물을 도입함으로써 물 사용수준을 통제하는 것이 포함되어 있다. 겨울 강수량 증가에 대한 전략은 농업 토지가 홍수관리에 중요한 역할을 하고, 농법이 강수량 증가에 따른 부정적 영향을 줄일 수 있음을 고려한다. 시장, 가공, 소비자에 관한 전략으로는 기후변화에 대응하여 새로운 유형의 농기계 수요의 기회 활용, 이동하기 쉬운 가공공장에의 투자 등을 포함하고 있다.

표 6-7. 영국의 농업부문 적응전략

구 분	적 응 전 략
물 부족	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농지에 작은 규모의 물 저장시설 설치 ▪ 보다 효율적인 물 사용(기술적, 생물 공학적) ▪ 효율적인 사용 촉진을 위한 물 책임/거래가능 허가 계획 ▪ 농민들 사이의 저장해 놓은 물의 거래 ▪ 토양 부식을 통제하기 위한 기술의 선택 ▪ 적응력이 강한 작물 품종과 축종을 선택 ▪ 여름의 물 사용을 위해 표면에 수분을 보존하는 시설설치
겨울 강수량 증가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적절한 보상을 통해 농민을 홍수에 취약한 지역의 관리인이나 고지대의 탄소저장 관리인으로 전환 ▪ 집중호우로 경사면이 붕괴될 위험 줄이기 위해 식물품종 기술 향상 ▪ 비옥도를 높이기 어려운 진흙토양에 유기물을 첨가
병해충 문제	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 새로운 곡물 병해충에 대응하기 위해 지속가능한 통합 제초전략수립 ▪ 씨앗, 병해충 통제 전략의 수립
시장, 가공, 소비자	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관개, 파종, 수확을 위한 새로운 유형의 농기계에 대한 잠재적 수요에서 발생하는 기회를 적극적으로 활용 ▪ 작물재배지가 북쪽으로 이동해 감에 따라 짧은 기간 내 설치하고 이동할 수 있는 유연한 가공공장을 만드는데 투자
기 타	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후변화에 대응할 수 있는 작물생산의 보다 창의적인 사용 ▪ 파종기에 대한 유연성 있는 접근을 장려

자료: Defra(2006).

4. 호주

4.1. 기후변화의 영향

호주의 기후는 시간에 따라 변하고 있고 이것은 강우, 기온 및 극단적 기상현상으로 나타나고 있다. IPCC의 미래의 온실가스 배출 전망치를 가정하면, 2070년 호주의 평균기온은 <표 6-8>에서 제시된 바와 같이 1990년과 비교하여 1~5℃ 상승하고 기온상승은 내륙, 해안 등 지역별로 다양할 것으로 전망된다(CSIRO & BoM, 2007).

표 6-8. 호주의 평균기온 상승 전망치(1990년과 비교)

구 분	단위: ℃		
	2030	2050	2070
국가 평균	1	0.8-2.8	1.0-5.0
- 해안	0.7-0.9	-	-
- 내륙	1.0-1.2	-	-

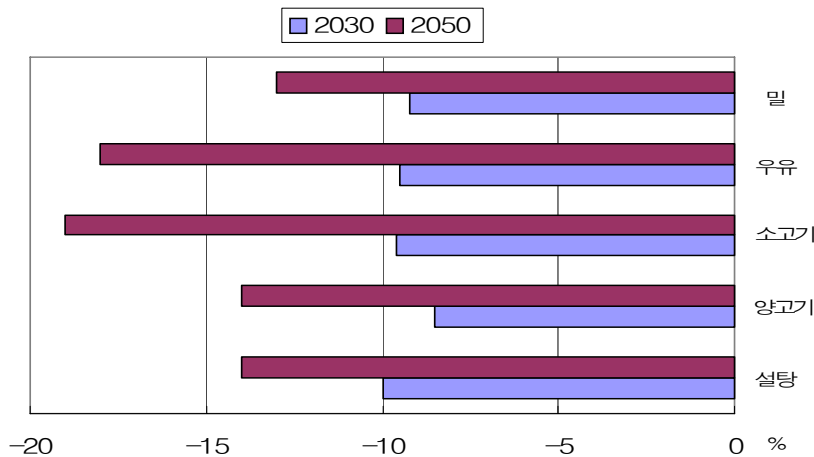
자료: CSIRO & BoM(2007).

호주 북부지역의 경우 2070년 강수량은 1990년과 비교할 때 잠재적으로는 거의 변화가 없고, 남부지역은 약 10% 감소할 것으로 예측되고 있다(CSIRO & BoM, 2007). 이와 같은 강수량의 변화는 지역별 및 계절별로 폭넓고 다양하게 나타날 것으로 보고 있다.

2030년의 가뭄 월수는 1990년 수준과 비교할 때 호주의 대부분 지역에서 20% 이상 더 많고, 극단적인 일 강우 사상의 빈도는 북부지방에서 보다 높아지고 남부지방에서는 낮아질 것으로 예상되고 있다. 호주 전 지역의 강우 사상은 보다 강력해지고, 오랜 건기 후의 발생빈도가 높아져 홍수와 토양침식이 증가할 것으로 전망된다.

호주의 주요 기후 변수의 잠재적 변화로 인해 농산물 생산성이 감소하고, 작물 단수가 줄어들 것으로 전망된다. Gunasekera의 분석에 따르면, 예상되는 미래의 기후변화와 연관된 농업생산성 및 전 세계 경제활동의 감소가 호주와 전 세계의 주요 농작물 생산에 영향을 미치게 된다. 잠재적인 기후변화로 호주의 주요 농산물 생산이 기후변화가 없을 때에 비해 감소할 것으로 나타나 밀은 2030년에 9.2%, 2050년에 13%, 소고기는 9.6%, 19%, 양고기는 8.5%, 14%, 우유는 9.5%, 18% 그리고 설탕은 10%, 14% 감소할 전망이다<그림 6-2>.

그림 6-2. 기후변화에 따른 호주 주요 농산물 생산 변화



자료: Gunasegera D. et al(2007).

4.2. 기후변화 전략

4.2.1. 기후변화 대응 프로그램

호주 정부는 미래농업(Australia's Farming Future)을 통해 1차 산업을 위한 기후변화 대응책을 제시하였는데, 그 핵심은 4년에 걸친 자금지원을 통

해 1차 생산자들이 기후변화에 적응토록 하는 것으로 요약될 수 있다. 호주의 미래농업은 기후변화 연구 프로그램(Climate Change Research Program), 농장준비(FarmReady), 기후변화조정프로그램(Climate Change Adjustment Program) 등으로 구성되어 있다.

기후변화 연구프로그램(Climate Change Research Program)의 주요 내용을 보면 연구 프로젝트와 농장실험에 자금을 지원하여 농업부문이 기후변화에 적응하도록 도와주고, 농업부문이 미래에 대응하도록 한다. 이 프로그램에는 온실가스 저감, 토양 관리 개선, 기후변화 적응에 초점을 맞추어 농가와 농업에 실제적인 관리 해법을 제시해주는 프로젝트들을 포함하고 있다. 이 프로그램은 연구제공자, 산업 그룹, 대학 및 주 정부와 같은 많은 조직들을 포함하는 대규모 공동 프로젝트를 지원하게 된다. 결과적으로 기후변화에 대한 생산자의 적응력과 복원력을 강화하는 개별적 전략을 개발하도록 촉진한다.

농장준비(Farm Ready) 프로그램은 1차 생산자들과 토지 관리자들과의 훈련 기회를 지원하고, 산업, 농업단체 및 자연자원 관리단체로 하여금 기후변화의 영향에 적응하고 대응하는 전략을 개발하도록 하는데 목적이 있다. 이 프로그램의 이용 가능한 보조금(grants)으로는 농장준비 상환보조금(Farm Ready Reimbursement Grants)과 농장준비 산업보조금(Farm Ready Industry Grants)이 있다.

기후변화 조정프로그램(Climate Change Adjustment Program)은 농업 생산자들이 기후변화의 영향에 적응하도록 돕는 프로그램으로, 훈련활동 지원, 적응컨설팅 지원, 농장을 떠나기로 결정한 농가에 대한 지원으로 이루어져 있다. 훈련활동 지원은 공인된 기관을 통해 이루어지며, 전체 농장 계획, 사업 및 리스크 관리, 기후변화의 중요성 이해와 같은 분야에 초점을 맞추게 된다. 적응컨설팅 지원은 가뭄에 의한 피해를 경험한 사람들을 포함하여 기후변화에 부정적으로 영향을 받거나 받을 가능성이 있는, 자격을 갖춘 1차 생산자가 이용할 수 있다. 이 프로그램 하에서 전달된 전문적인 권고와 훈련은 개인적 맞춤형으로, 농업경영의 기후변화에 대한 적응을 돕고 그들의 재정 상황을 개선하기 위한 목표를 설정하고 행동계획을 개발한다.

4.2.2. 기후변화 실천계획

호주의 「2006-2009 국가 농업과 기후변화 실천계획(National Agriculture and Climate Change Action Plan)」은 정부와 농업부문의 기후변화 정책에 중요한 체계를 제공한다. 호주의 연방, 주 및 지방 정부가 협동적, 조율적인 노력으로 실천계획을 수립하였으며 호주의 농가, 지역사회, 기후학자 및 정부의 자문을 거쳐 완성되었다.

실천계획은 변화하는 기후 조건에서 지속가능한 농업을 위하여 다양한 위험들을 관리하며, 농업시스템의 복원력을 위한 적응 전략, 온실가스 배출을 줄이기 위한 감축 전략, 기후변화에 대응할 수 있는 농업부문의 능력을 강화하기 위한 연구와 개발, 1차 생산자와 농촌사회의 의사결정을 알리기 위한 인식과 소통 등 4개의 주요 부분으로 구성되어 있다.

호주의 정부 정책과 과학적 연구는 변화하는 장기적인 전략적 적응계획을 중요하게 다룬다. 특히, 농민들은 기후변화에 대처할 수 있는 실천방안과 도구를 요구하고 있다. 적응정책과 지역발전 프로그램을 연계하여 기후변화에 대처하기 위한 농업시스템의 복원력 배양, 자연자원 관리자와 시스템의 능력 배양을 위한 기존의 프로그램 보완, 자생종과 외래 침입 종, 병해충 유입에 의한 악영향의 최소화, 기후변화로 발생할 수 있는 시장 기회의 장점 활용 등의 적응전략을 제시하고 있다<표 6-9>.

농업시스템의 복원력 배양을 위해 농업관리기술의 개발, 기후변화와 기후변동성 관리도구의 개발, 적응을 촉진하고 온실가스를 완화시키기 위한 농업시스템 개발 등의 행동계획을 수립하고 있다. 자연자원 관리자 및 시스템의 능력 배양을 위해 기후변화에 대한 위험과 취약성 고려, 다각화와 산업구조 조정 촉진 등의 행동계획을 마련하였다. 호주정부는 농업을 기후변화 하에서 산업생존력을 위한 새로운 시장전략을 찾는 것으로 평가하고 있는데 기후변화를 위협으로만 보지 않고 경우에 따라서는 기회로 삼는 다양한 정책들도 고려할 수 있음을 보여주고 있다.

표 6-9. 적응의 세부전략에 필요한 행동

구 분	세부 전략에 필요한 행동
농업시스템의 복원력 배양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후변화의 위험을 기존 및 최근 관리시스템에 통합시키는 동적인 농업관리 기술의 개발 ▪ 기후변화와 기후변동성 관리도구 개발 ▪ 적응을 촉진하고 온실가스 배출과 같은 환경에 대한 악영향의 완화를 위한 농업시스템 개발 ▪ 과거 성공한 적응전략 개선, 농업 환경관리시스템 개발
자연자원 관리자 및 시스템의 능력 배양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자연자원관리 계획과 투자에 기후변화에 대한 위험과 취약성 고려하여 통합 ▪ 다각화와 산업구조 조정 촉진
병해충 유입에 의한 악영향 최소화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 병해충, 잡초 등 기후변화와 관련성이 있는지를 평가 ▪ 우선사항을 결정하여 이들의 위험성에 대하여 기후변화에 따른 잠재적 영향을 정의
시장 기회의 장 점 활용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후문제를 설명하는 사회경제적, 시장 연구를 강화 ▪ 연구결과가 농민들과 자원관리자들에게 충분히 전달되도록 함 ▪ 농업을 기후변화 하에서 산업 생존력을 위한 새로운 시장전략을 찾는 것으로 평가

자료: www.daff.gov.au.

4.2.3. 농가단위 적응방안

호주의 대부분 농가단위 적응방안들은 기후변동을 다루는 기존의 활동들을 확대하거나 발전시킨 것이다. 현재 규모화된 농업은 기후변화에 대응하여 다양한 재배법과 적응방안을 적용할 수 있게 되었다(Howden et al., 2003). 특히 호주 농업부문을 대상으로 농가단위에서 실제로 적용될 수 있는 다양한 적응 방안들이 연구 개발되었다(Kingwell R., 2006). 농가단위에서의 기후변화 적응을 위해 기후 예측시스템, 인공위성 이미지 기술 등 첨단 기술을 활용하고, 기상·계절 예보의 기술 개선 등이 이루어지고 있다. 주요 적응방안들을 살펴보면, 새롭고 독성이 강한 해충 및 질병에 대한 내성을 가진 품종의 개발 등 기후변화에 적합한 품종 포트폴리오의 개발, 기

상예보의 기술 개발, 계절예보 기술의 발전, 재배 방식 및 재배작목 결정의 변화, 인공위성 이미지 기술과 전문 시스템의 이용, 가뭄의 정도 및 기간을 보다 정확히 예측하는 기후예측 시스템의 개선 등이 있다<표 6-10>.

표 6-10. 농가단위에서 적용되는 다양한 적응 방안

적응 방안	사 례
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 보다 커진 기상변동에 적합한 품종 포트폴리오의 개발: 새롭거나 독성이 강한 해충 및 질병에 대한 내성을 가진 품종 개발 	-
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 작물 생산의 하방 위협의 감소 	시차 재배기, 침식 조절 인 프라, 최소의 토양 교란 작물 시설, 작물 부산물 유지, 품종 포트폴리오
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기상예보의 기술 개발에 의한 작물 재배 	파종, 방제, 제초, 수확
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 계절예보 기술의 발전에 의한 재배형태, 품종선택, 작물 투입 수준에 관한 결정 	-
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재배 방식과 재배 결정의 변화 	파종기, 파종 정도, 재식밀도, 질소비료의 기술적 적용
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인공위성 이미지 기술과 전문 시스템을 이용하는 자문 서비스를 기반으로 한 개선된 목초와 작물 경영 결정 지원 시스템 	-
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가뭄의 정도와 기간을 보다 정확히 예측하는 개선된 기후 예측 시스템을 통한 재고와 재고 청산에 관한 결정 	-
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 장기화된 건기와 고온이 잡초와 해충 생태계에 미치는 영향 연구 및 연구결과의 활용 	-
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관개 박물에 물을 공급하기 위해 염분이 함유된 지하수를 사용하는 저비용 탈염 설비의 개발 	-

자료: Kingwell(2006).

5. 중국

5.1. 기후변화가 중국농업에 미치는 영향

기후변화가 중국의 농·목축업에 미치는 영향으로는 농업생산의 불안정 요인의 증가, 일부지역에서의 심각한 가뭄과 고온 피해, 기후온난화에 따라 앞당겨진 농작물 발육시기로 인한 초봄 동해(凍害)의 심화 등을 들 수 있다. 목초생산량과 품질이 하락하였고 기상재해의 피해를 입어 농·목축업의 손실이 증가되고 있다.

기후변화가 농·목축업에 미치는 영향은 향후에도 지속될 것으로 보인다. 기후변화로 2030년에 이르러 중국의 3대 작물인 밀, 벼, 옥수수의 생산량이 감소하며, 중국 재배업 생산력은 5~10% 하락할 것으로 전망되고 있다. 21세기 후반에 이르면, 중국의 주요 농작물인 밀, 벼, 옥수수의 생산량은 최대 37% 감소하여 중국의 장기적인 식량안보에 영향을 미칠 것이다(鄭有飛 外, 2008). 또한 중국의 관개면적은 경지면적의 47%를 차지하며, 식량생산량의 2/3가 관개면적에서 비롯된다. 따라서 수분이 1% 감소하면 관개면적은 1% 이상 감소하게 되어, 중국의 식량생산량에 상당한 영향을 주게 된다. 동시에 북방 대부분 지역의 발작물도 상당한 수준 줄어들 것이다. 뿐만 아니라 가뭄, 반가뭄 지역의 목초 수량도 감소하게 될 것이다(趙其國, 2007).

기후변화는 중국 농업의 생산 분포와 구조를 변화시킬 것으로 보인다. 기후온난화는 중국의 연평균 기온 상승, 적은 증가, 생장기 연장을 가져와 재배지역이 북쪽으로 크게 이동하게 된다. 소맥을 예로 들면 북방재배 한계선은 현재의 만리장성에서 심양-장가구-포두-우루무치로 이동하게 된다(楊尙英, 2006). 2050년에 이르면 기후온난화로 현재의 대부분 2기작 지역은 3기작 지역으로 대체될 것이고, 3기작 지역은 현재보다 북쪽으로 500km 정도 이동하여 현재의 장강유역에서 황하유역으로 이동하게 된다. 2기작 지역은 현재의 1기작 중간까지 이동하게 되고 1기작 지역은 23.1%

감소하게 된다(LI C. et al.). 기온상승을 주요 특징으로 하는 기후변화는 동북지역의 식량 총생산량 증가에 뚜렷한 촉진작용을 하며, 화북, 서북, 서남지역의 식량 총생산량 증가를 어느 정도 억제하나, 화동과 중남지역의 식량 총생산량에 미치는 영향은 분명하지 않다(劉穎杰 外, 2007).

기후변화는 중국 농업의 생산비 투입을 크게 증가시킬 것으로 보인다(鄭有飛 外, 2008). 중국의 극단적인 기후변화는 집중호우가 증가하고 강수가 많아지는 것이다. 특히 1990년대 장강유역과 장강 남부지역의 강수량과 집중호우 비율이 증가추세였고, 황하 및 회하유역의 폭우, 홍수 발생 빈도가 증가하였으며, 여름철 고온 열풍 현상이 증가하였다. 이러한 극한기상의 증가에 따른 재해발생 빈도의 증가로 식량생산의 불안정성과 생산비 증가가 초래될 것으로 보인다.

중국의 기후변화는 농작물 병충해에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 통계에 의하면, 중국 농업생산액은 병충해에 의해 농업총생산액의 20~25%가 손실을 볼 것으로 예측되고 있다. 기후 온난화로 저온 조건하에서 활동을 제한받던 병충해가 기온이 상승하면서 확산되고 농작물의 생장에 영향을 미친다. 동시에 온실효과는 일부 병충해의 활동시기를 연장시켜 주어 농작물 피해가 가중된다(林而達 外, 2003).

기후변화에 대한 중국 농업부문의 정책적 대응방안이 많은 연구를 통해 제시되어 왔다. 그 중에는 농업기초 건설의 강화(鄭有飛 外, 2008), 농업구조의 조정 및 경작제도 개선(杜娟 外, 2007), 농업에 대한 기술적 투입 증가 및 과학기술체계 개혁 강화(杜娟 外, 2007), 생태환경의 건설 강화 및 적극적 관리(趙其國, 2007), 기후에 대한 예측·경보·농업에 대한 영향 평가의 강화(鄭有飛 外, 2008) 등이 있다.

5.2. 기후변화 대응 전략

5.2.1. 기후변화 대응의 정책과 행동

중국 정부는 다음의 네 가지를 기후변화 대응의 기본원칙으로 삼고 있다. 1)지속가능발전의 구조를 기반으로 기후변화에 대응하고 2)기후변화 완화와 적응을 동일하게 중요시하며 3)기후변화에 대응하기 위해 전통생산방식과 소비패턴을 전환하며 4)전체사회의 공동 참여가 필요하다.

중국 정부의 농업부문 기후변화 대응정책으로는 크게 온실가스 완화대책과 기후변화 적응대책으로 나누어질 수 있다. 온실가스 완화대책으로 저배출 다수확의 논벼품종과 반가목식 재배기술을 지속적으로 보급하고 과학적인 관개와 토양검정 시비기술을 채택하며 양질의 반추동물품종기술과 규모 있는 사양관리기술 등을 연구·개발한다. 동물분뇨, 폐수와 고체폐기물에 대한 관리를 강화하고 메탄가스 이용효율을 제고시키며, 메탄배출량을 통제한다.

기후변화 적응대책으로 다양한 재해에 대비하여 측정예보비상대응 메커니즘, 다부서간 정책결정 메커니즘, 사회전체의 포괄적인 참여 메커니즘을 보완함으로써 극한기상재해 측정예보수준 건설을 강화하며 2010년까지 경제사회에 일정한 기초적, 핵심적인 역할을 할 수 있는 기상재해 방어공정을 구축한다. 극단기상재해에 대응하는 종합측정예보수준, 방어수준과 재해저감능력을 제고시킨다. 또한 농경지 기본건설, 재배제도조정, 저항품종 선정육성, 바이오기술개발 등 적응성 대책을 강화하여 2010년까지 신규 개량초원 2,400만ha를 증가시키고 퇴화, 사막화 및 알칼리화 초원 5,200만ha를 정리한다.

기후변화 적응을 위한 정책과 행동을 위해 국가는 <농업법>, <초원법>, <어업법>, <토지관리법>, <돌발중대 동물전염병 비상대책조례>, <초원방화조례> 등 법률·법규를 제정·실시하였고 농업분야 기후변화 적응의 정책법규체계를 구축·보완하기 위해 노력하고 있다. 또한 농업 인프라건설을 강화하고 농경지 수리기초건설을 추진하였으며, 농업관개면적을 확대시키

고, 관개효율과 농경지 종합배관수준을 제고하였다. 내한작물 절수기술을 보급하고 농업재해 방지저감능력과 종합생산능력을 제고하였으며 양질의 다수확, 내고온, 병충해에 견디는 품종을 적극 개발하였다.

향후, 중국은 양질의 품종 보급을 한층 확대하고 양질품종의 피복율을 높일 예정이다. 중대동물 전염병 방지를 강화하고 동물방역체계를 구축·보완하며 동물전염병 측정예보수준을 강화, 동물전염병의 방지 및 통제능력을 향상시킬 계획이다.

5.2.2. Ningxia 자치지역의 기후변화 적응전략

Ningxia 지역은 중국 북서부에 위치한 5개 자치지역 중의 하나로 중국에서 가장 가난한 지역이다. 건조하고 계절적 특성이 매우 뚜렷한 기후를 가지고 있으며 연평균 기온은 5-9℃, 강수량은 262mm이다. Ningxia 지역은 중국의 세 가지 농업생산 시스템(빗물활용, 빗물과 관개용수 활용, 관개용수 활용)을 가지고 있으며, 빈곤도가 높고, 기상재해로 인한 피해 경험이 많으며 기후변화와 관련해 취약한 지역이다. Ningxia 지역의 기후는 안정적이었으나 최근 10년간 0.6~1.2℃ 정도 상승했으며, 특히 2004~2006년에 가뭄이 심화되었다.

Ningxia 북부지역은 황하에서 유입되는 강물을 활용한 관개지역으로 간작을 통해 옥수수, 보밀, 벼, 감자를 재배하며, 주요 축산물은 양계이다. 중부 건조지역은 광대한 목초지를 보유하고 있으며, 관개용수와 빗물을 병행하여 이용한다. 건조한 기후로 인해 옥수수, 보밀, 감자만이 재배가능하며 약간의 소와 양을 사육한다. 남부 산악지역은 다습한 지역으로 빗물을 활용하여 경작하지만, 이 지역도 매우 건조하다. 경종은 감자, 축산은 육우, 양, 양돈, 양계가 주산물이다. Ningxia 지역은 이와 같은 지역적 특성 때문에 기후위험이 어떻게 지역별로 영향을 미치는지를 고려하면서 적응목표를 정하고 있으며, 더 나아가 지역의 주요 개발목표와 기후변화의 적응목표를 통합하는 정책을 추구하고 있다. 지역단위 적응정책을 고려할 때는 자연적인 조건, 기후시스템, 재배되고 있는 작물 등 지역에 대한 심층적인 연구결과

를 바탕으로 지역별로 차별화된 정책이 도출되어야 하고, 기존의 정책들도 함께 고려되어야 함을 시사하고 있다.

기후변화에 대응하여 닝샤 지역의 농가단위에서 적용되는 적응조치들이 있다. 건조한 기후와 가뭄에 대비하여 토양습도 유지 조치로 써레질, 필름 피복, 모래덮개 등을 활용한다. 써레질은 가장 많이 사용되는 조치로써 남부지역과 북부관계지역의 후이농 구, 하란 현에서 대부분 사용되고 있다. 필름피복은 후이농 구에서 많이 적용되고 있으며, 작물유형에 따라 다른 효과를 나타내는데, 감자의 경우 30% 정도 수확이 증가하는 것으로 나타나고 있다. 모래덮개는 해원 현에서만 사용하는 방법으로 가뭄에 효과적인 조치로 알려지고 있다.

용수확보를 위해 여러 가지 빗물수집 조치가 이루어지는데 세 지역의 방법이 상당히 다르다. 물을 절약하기 위해 관개조치도 활용하는데, 북부관계지역에서 주로 적용되며 관개시설이 없어 고랑에 물을 대는 것이 필요하며 보급에 어려움이 많다. 닝샤 지역의 농외소득 비율은 약 50%로 높아 기후변화에 따른 소득취약성은 상대적으로 낮은 편이다. 주민들은 보다 좋은 환경으로 이주했으며, 이주민들은 이주를 성공적인 적응조치라고 평가하고 있다<표 6-11>.

표 6-11. 닝샤지역 농업인들의 적응조치

적응종류	적응내용
건조한 기후, 가뭄, 토양습도유지 조치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 토양수분을 높이기 위해 다양한 방법 사용 ▪ 써레질, 필름피복, 모래덮개 사용
빗물수집조치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 서로 다른 빗물수집조치 <ul style="list-style-type: none"> - 북부는 물 자원 풍부하여 거의 사용하지 않음 - 중부는 지하저장시설에 빗물을 모음 - 남부지역 중 진안은 지하저장시설에 빗물을 모음
물 절약 관개조치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 물 절약 관개는 북부지역에서 주로 적용됨
농업 외 수입	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세 지역 모두 농외 수입 얻는 비율이 약 50%로 높음
이주	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 닝샤주민들은 환경이 더 좋은 곳으로 이주

6. 주요국의 대응사례 시사점

주요국의 농업부문 기후변화 대응 사례를 살펴보기 위해 일본, EU, 영국, 호주, 중국 사례를 검토한 결과 대체적으로 유사한 적응전략들을 채택하고 있으나 특징이 서로 다른 사례들도 있었다<표 6-12>.

일본의 경우 지구온난화 적응대책에는 지구온난화 적응대책 추진과 지구온난화 적응대책에 관한 기술개발로 세분화되어 있다. 주요 품목별 조사결과나 기술개발을 근거로 적응대책을 수립하고 있다. EU의 경우 농업부문의 기후변화에 따른 다양한 위험에 대응하기 위한 적응방안을 마련해 놓고 있다. 영국의 경우 물 부족에 대응하여 물 저장시설 설치, 저장된 물의 거래 등 다양한 전략을 채택하였고, 시장·가공·소비자와 관련한 적응전략까지 준비해 놓고 있다. 호주의 경우는 농업부문 기후변화 행동계획과 함께 농업생산자들이 기후변화의 영향에 적응하도록 돕기 위해 보조금을 지급한다. 중국은 닝샤 지역의 세부지역별 기후변화 적응방안을 통해 농업시스템 특징에 따른 차별화된 적응전략을 제시하고 있다.

주요국의 농업부문 기후변화 대응전략에 관한 사례분석을 통해 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

첫째, 농업부문이 기후변화에 적절하게 대응하기 위해 품목별로 구체적인 적응전략이 제시될 필요가 있고, 이를 위해서는 기후변화의 품목에 미치는 영향에 관한 전국 및 지역 수준의 조사가 뒤따라야 한다.

둘째, 기후변화가 농업부문에 미치는 부정적인 영향을 최소화하기 위해서는 기술개발이 가장 중요하므로 적응을 위한 품종개발 및 재배관리기술 개발이 요구된다.

셋째, 적응전략에는 반드시 비용이 수반되므로 적응전략이 비용 효과적이기 위해서는 농업환경여건별 농업시스템 특징에 따라 차별화된 적응전략이 도출되도록 해야 한다.

넷째, 기후변화에 따른 농업부문 피해는 현 세대뿐만 아니라 다음 세대에 영향을 미치기 때문에 국가가 보조금 프로그램을 통해 농업생산자들

의 기후변화에 대한 적응을 적극 지원할 필요성이 있다.

다섯째, 기후변화 대응전략을 뒷받침하는 법·제도적 장치를 새로 마련하거나 정비하여 농업부문의 기후변화 전략이 원활히 추진될 수 있도록 해야 할 것이다.

여섯째, 향후 물 부족에 대응하여 효율적인 관개시스템의 도입, 물 저장 시설 설치, 저장된 물의 거래 등 적절한 절수 전략방안이 마련되어야 한다.

일곱째, 기후변화에 따른 새로운 시장 수요에 대응한 기회의 활용, 재배 적지 이동에 따른 가공시설의 이동성 등을 포함하는 시장·가공·소비자와 관련한 적응전략도 마련될 필요가 있다.

표 6-12. 주요국 기후변화 대응전략 비교

구 분	일 본	E U	영 국	호 주	중 국	
적응전략 목 표	<ul style="list-style-type: none"> 영향완화 및 순응 	<ul style="list-style-type: none"> 복원력 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 기회활용 및 위협에 대응 	<ul style="list-style-type: none"> 농업시스템 복원력 형성 	<ul style="list-style-type: none"> 지속가능발전 	
주요 세부 전략 (안)	농업 생산	<ul style="list-style-type: none"> 품목별 대응책: 농가단위 적응 	<ul style="list-style-type: none"> 내열성 신종 재배 수확량 유지 퇴비사용증대 간작 등 	<ul style="list-style-type: none"> 적응력 강한 품종 선택 파종기에 대한 유연성 있는 접근 	<ul style="list-style-type: none"> 품종포트 폴리오 개발 작물 생산의 하방위험 감소 	<ul style="list-style-type: none"> 씨레질, 필름 피복 활용 지역용수할당 분배 재난에 대한 조기경보 향상
	농자 용수 수리 시설	<ul style="list-style-type: none"> 기상, 수상 영향사례 파악 적용책 검토 	<ul style="list-style-type: none"> 오염원 제거 위해 퇴비 효율성 향상 해수면상 대비 토양보호 방안 	<ul style="list-style-type: none"> 물 저장시설 설치 저장물의 거래 토양 부식 대응 기술선택 	<ul style="list-style-type: none"> 자연자원관리 투자 시 기후 변화 고려 물관리 효율성 전략의 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 빗물수집조치 물 절약 관개 조치 반-사막화 전략 검토
	적응 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 품종육성 재배기술 개선 	<ul style="list-style-type: none"> 작물품종 개량 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 경사면 붕괴 위험 대응한 식물품종 기술 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 경제성작물 개발 저비용탈염 설비 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 다수확, 내고온성 품종개발
정책적 조치 혹은 수단	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발지원 	<ul style="list-style-type: none"> 시장유인장치, 가이드라인, 민관파트너쉽 	<ul style="list-style-type: none"> 물 책임/거래 가능 허가 계획 농업구조변화 위한 보조금 	<ul style="list-style-type: none"> 농장준비, 적응프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> 「농업법」, 「초원법」 등 법률 법규제정 	

기후변화가 농업부문에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 체계적이고 단계적인 대응전략을 수립해야 한다. 제7장에서는 농업부문의 기후변화에 따른 영향분석과 외국의 대응사례를 토대로 기후변화 대응의 마스터플랜 및 적응전략을 제시하였다. 전략 수립을 위해 우선 기본방향을 설정하고, 이를 기초로 전략적 분석, 전략적 선택, 전략 실천 등 3단계로 나누어 접근하였다. 기후변화 적응방안에 대한 우선순위 결정을 위해 전문가 설문조사를 기초로 한 계층분석의사결정(AHP) 방법론을 적용하였다. 기후변화 대응 실천전략의 핵심과제로 기술개발 분야, 기반시설관리 분야, 경제적 인센티브 분야, 법제도 정비 분야, 인력양성 및 교육 분야, 모니터링 분야, 농가적용 기술·경영분야, 통합관리시스템 구축 분야 등 여덟 개 분야로 나누어 과제를 제시하였다.

1. 전략수립의 기본방향

기후변화에 대응한 농업부문의 전략수립(strategy formulation)은 국가적인 관점에서 비전과 목표를 설정하고 목표달성을 위한 종합적인 활동계획이라 할 수 있다. 농업부문 기후변화 적응의 비전은 ‘기후변화 적응을 통한 안정적인 농업생산 체제 구축’으로 설정하였다. 비전 달성을 위한 단기목표로 종합적이고 체계적인 기후변화 역량 강화와 중장기 목표로 기후변화

위험감소 및 기회의 현실화로 설정하였다. 이들 목표달성을 위해서는 정부의 지원, 환경규제 및 보상시스템 등 적절한 정책결합이 이루어져야 하며, 적극적인 정책의지를 가지고 지속적으로 추진해야 한다.

기후변화에 대응하여 위기를 기회로 활용하는 역량 강화를 기초로 안정적인 농업생산 체제 구축을 위한 전략수립의 기본 방향은 크게 네 가지를 설정하였다.

첫째, 지구온난화에 따른 농업부문 영향분석과 농업인 수용력 분석을 기초로 실효성 있는 적응대책을 제시한다. 앞의 제3장 농업부문의 기후변화 대응 이론에서 제시된 바와 같이 기후변화에 따라 어떤 분야에 어느 정도 영향을 미치는가에 대한 파악과 농업인이 적응방안을 어느 정도 수용하는가 하는 의사결정 분석은 실효성 있는 기후변화 적응방안 모색에 있어서 중요한 부문이다. 따라서 기후변화 적응전략 수립에 있어서는 농업생태계와 작물생산 및 기상재해 발생과 농가경제 등에 미치는 파급영향에 대해 세심한 검토가 이루어져야 한다. 또한 기후변화 적응방안을 현장에서 실천하는 농업인이 어느 정도 수용할 수 있는지에 대한 의사결정 분석결과 및 설문조사 결과를 적절하게 반영토록 해야 한다.

둘째, 기후변화에 대응한 효과적인 적응을 위한 실행프로그램 추진에는 상당한 시간이 소요되므로 단계적으로 접근한다. 기후변화 실태와 전망에서 살펴본 바와 같이 기후변화는 자연적·인위적 요인에 의해 기후계가 서서히 지속적으로 변화하여 위치에 따라 다르나 상당한 기간에 걸쳐 기온과 강수량을 변화시키며 또한 기상이변을 자주 일으키게 된다. 따라서 기후변화 적응대책을 수립함에 있어서는 수년 후의 단기에서 수십 년 후의 장기에 이르기까지 단계적으로 부문별 구체적인 프로그램이 마련되도록 해야 한다. 시기구분은 대내외적인 여건 변화를 종합적으로 고려하여 몇 가지 단계로 나눌 수 있다. 여기서는 2030년을 목표 연도로 설정하고 시스템구축을 위한 단기적인 단계로 기반구축단계(2009~2013), 중장기 단계로 도약단계(2014~2019)와 정착단계(2020~2030) 등 3단계로 나누어 대책을 수립한다.

셋째, 농업부문 적응대책은 기술적·정책적·경영적 측면에서 종합적으로

접근한다. 제3장의 기후변화 적응대책 수립 시 고려사항에서 제시된 바와 같이 경제적·부문별 가변성, 적응장벽, 충분한 지원, 의사소통, 적응능력 향상 등을 반영해야 하므로 기술적인 측면에서 기술개발과 기반시설 관리, 정책적 측면에서 경제적 수단과 법제도 정비 및 홍보·교육과 모니터링, 경영적 측면에서 농가적용 기술과 경영 등으로 범주화하여 적응대책을 마련한다.

넷째, 농업부문 적응대책은 지역적 특성을 반영한 맞춤형 적응 프로그램을 개발하여 추진되도록 해야 한다. 기후변화로 인한 영향이나 위험이 모든 지역에서 동일하게 나타나지 않으며, 기후변화에 대응하는 능력 역시 모든 지역이 다르다. 따라서 지역특성에 맞는 농업부문 적응대책을 발굴하여 추진토록 해야 한다. 특히 기후변화 적응 기술개발에 있어서 지역적 특성을 반영하여 경기권, 경상권, 전라권, 충청권, 강원권, 제주권 등 6개 권역으로 나누어 분야별 과제를 제시한다.

다섯째, 실효성 있는 적응대책 추진을 위해 중앙정부, 지방정부, 유관기관, 농업인 등 관련주체의 적절한 역할분담이 이루어지도록 한다. 기후변화 적응정책의 경우도 일반적인 농업정책의 경우와 마찬가지로 정책수립과 집행, 정책대상 등 관련된 주체의 적절한 역할분담이 이루어져야 정책성과를 이룰 수 있다. 중앙정부는 부문별 적응정책의 마스터플랜을 수립하고, 지방정부는 중앙정부의 정책과 관련하여 해당지역의 여건을 고려한 실행프로그램을 수립 및 집행하는 역할을 담당한다. 농촌진흥청과 소속기관(농업과학기술원, 국립식량과학원, 국립원예특작과학원)은 국가차원의 기후변화 적응 연구개발과 기술보급의 역할을 수행하고, 각도 농업기술원은 지역적 특성을 반영한 적응기술 개발 및 보급의 역할을 담당한다. 유관기관으로 한국농촌경제연구원과 환경정책평가연구원 등 국책연구기관은 적응정책 개발과 사전적·사후적 정책평가의 역할을 담당한다. 또한 농업인은 기후변화에 적절하게 대응할 수 있도록 관련분야 교육에 참여하고, 적응정책과 개발된 기술에 대한 모니터링 및 요구사항을 제시하는 역할을 담당한다.

2. 기후변화 적응전략의 우선순위 결정

2.1. 우선순위 결정을 위한 AHP 활용과 분석절차

기후변화 적응수단의 우선순위를 결정하기 위하여 계층분석의사결정 (Analytic Hierarchy Process, AHP)을 적용하였다.³⁰ AHP분석을 이용하여 의사결정 문제를 해결하고자 하는 경우 일반적으로 의사결정문제의 계층화 단계, 평가기준의 쌍대 비교, 가중치의 추정, 가중치의 종합 등 네 단계로 이루어진다.

2.1.1. 의사결정문제의 계층화 (1단계)

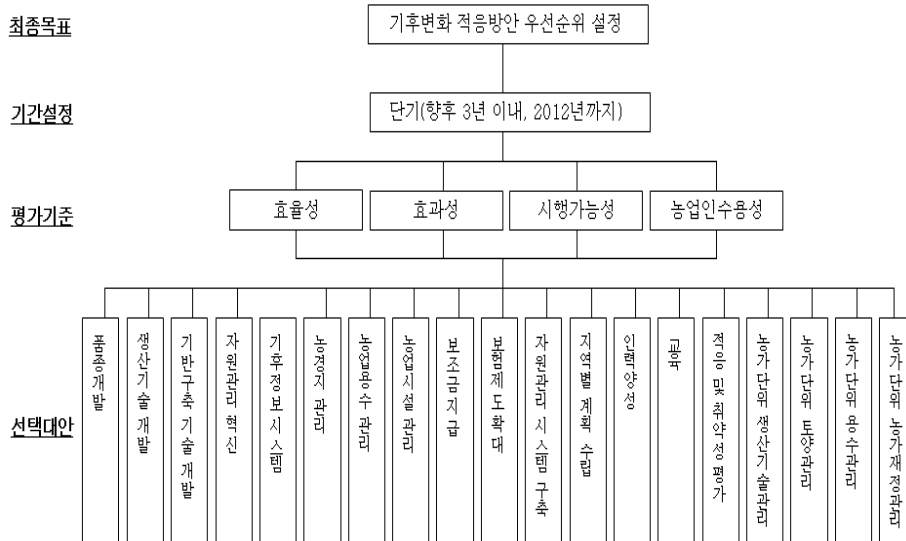
의사결정문제의 계층화는 의사결정계층(Decision Hierarchy)을 설정하는 단계로 문제의 각 요소를 최종목표, 평가기준, 대체안으로 분류하여 여러 의사결정 사항들을 계층화한다. 계층의 최상층은 가장 포괄적인 의사결정의 목적으로 설정되며, 그 다음 계층은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 비교 가능한 다양한 속성으로 구성된다. 마지막으로 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 의사결정대안들로 구성된다.

평가기준을 설정하기 위해서는 AHP 분석의 선택대안별 항목간 독립성이 유지되고(상호배타성), 상위항목에 대한 하위요인의 종속성 확보(완전결합성), 처리가능한 항목의 수를 유지(처리성)해야 한다.

³⁰ AHP분석은 1970년대 Saaty에 의해 개발된 의사결정 방법론으로 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교를 통해 계량화가 곤란한 문제나 불확실한 상황에서 의사결정을 하는데 유용한 방법이다. AHP분석은 목표들 사이의 중요도(weight)를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안들의 중요도를 산출하는 방법으로 정량적인 자료뿐만이 아니라 정성적인 자료도 동시에 고려할 수 있다. AHP 분석을 이용한 농업분야 정책프로그램의 우선순위 결정에 관한 보다 상세한 내용은 김창길 외 7인(2004, pp.156-163)에 제시되어 있다.

본 연구에서는 기후변화 적응방안의 우선순위 선정을 위한 3단계의 계층구조를 설정하였다<그림 7-1>.

그림 7-1. 적응방안 우선순위 선정을 위한 적응방안의 계층구조



기후변화 적응방안의 우선순위 선정을 위해 효율성, 효과성, 시행가능성, 농업인수용성을 평가기준으로 설정하였다. 정책의 효율성은 비용대비 편익을 평가하는 항목이며, 효과성은 정책목표의 달성 정도, 시행가능성은 정책당국이 적응정책을 실제로 시행할 수 있는지를 평가하는 항목이다. 농업인의 수용성은 적응정책을 농업인이 쉽게 받아들일 수 있는 정도에 대한 평가 항목이다.

농업부문 기후변화 적응의 선택대안은 기술개발(품종개발, 생산기술개발, 기반구축 기술 개발, 자원관리 혁신, 기후정보시스템), 기반시설관리(농경지관리, 농업용수관리, 농업시설관리), 경제적 수단(보조금 지급), 법제도 정비(보험제도 확대, 자원관리시스템 구축, 지역별 계획 수립), 인력양성 및 교육(인력양성, 교육·홍보), 모니터링(적응 및 취약성 평가), 농가적용

기술·경영(생산기술관리, 토양관리, 용수관리, 농가재정관리)로 총 19개 항목을 선정하였다<부표 2>.

2.1.2. 평가기준 비교 (2단계)

평가기준 비교단계는 평가기준과 대체안의 중요도를 평가하는 단계로 절대비교 방법과 쌍대비교 방법이 있다. 절대 비교는 경험을 통해 얻게 된 표준을 기억 속에 갖고서 대안을 비교하는 방법이고 쌍대비교는 공통의 속성에 따라 대안을 쌍으로 검토하는 방법이다(Saaty, 1990).

본 연구에서는 선택대안의 수가 19가지로 쌍대비교가 곤란하므로 평가기준에 대해서는 9점 척도의 쌍대 비교치를 이용하여 중요도(weight)를 평가하고 대안은 절대비교 방법을 적용하였다³¹.

전문가 조사대상자는 연구기관이나 대학 등에서 기후변화와 관련된 연구를 시행하고 있는 전문가를 대상으로 하였다. 특히 이 연구에서는 적응방안에 대한 선택과 관련하여 단기(기반구축단계, 2009~2013)와 중장기(도약단계에서 정착단계, 2014~2030)로 나누어 평가기준의 중요도를 평가하였고, 다음으로 기후변화 적응방안을 제시한 후 평가기준에 맞는 중요도를 선택하도록 하였다. 설문조사는 전자메일 및 면담조사를 병행하였으며 56명 전문가의 응답을 회수하였다.

각 전문가들의 평가에서 일관성지수가 1.0 이하인 설문응답자만을 분석대상에 포함시켜 단기의 경우 총 56명의 전문가 중 20명, 중장기는 24명의 조사결과를 이용하여 기후변화 적응방안에 대한 중요도를 평가하였다.

2.1.3. 가중치의 추정 (3단계)

의사결정요소들의 상대적인 가중치와 절대적인 가중치를 구하기 위하여

³¹ AHP분석에서는 계층의 요소간에 1대 1로 쌍대비교하는 상대측정이 이용되지 만 대안수가 10개 이상인 경우에는 쌍대비교가 곤란하다.

Satty의 가중치 계산방법을 이용하였다.

상대적 가중치는 일관성지수(consistency index)와 일관성비율(consistency ratio)을 이용하여 쌍대비교에 의한 가중치가 논리적으로 일관성이 있는지 검토하였다.³² 본 연구에서는 일관성 판정기준으로 Satty가 제안한 일관성비율 0.1이하(10% 이내)를 일관성기준으로 선정하였다.³³

2.1.4. 가중치의 종합 (4단계)

마지막 단계는 3단계에서 구한 평가기준의 가중치와 대안의 가중치를 곱하여 의사결정 사항들의 상대적인 가중치를 종합(aggregation)하는 단계이다. 이를 통해 여러 대안들에 대한 종합적인 순위를 결정할 수 있게 된다.

2.2. 적응방안의 우선순위 계측결과

2.2.1. 평가기준의 쌍대비교 결과

전문가들의 적응방안 평가치를 종합하기 위하여 수치통합방법을 이용하였으며 각 전문가가 작성한 쌍대비교행렬의 원소에 대하여 전체 평가자의 평가치를 기하평균을 이용하여 통합하고 다음으로 기하평균을 원소로 하는 단일 쌍대비교행렬을 구하였다.

단기적인 관점에서 20명의 전문가에게 평가한 쌍대비교행렬을 기하평균

³² 일관성지수(Consistency Index)는 $(\lambda_{\max}-N)/(N-1)$ 로 측정되며 쌍대비교행렬이 완전한 일관성을 가지는 경우에 0이며 일관성이 낮을수록 값이 커진다. 일관성 비율(Consistency Ratio) CI/R로 측정되며 쌍대비교행렬의 CI를 계산하여 무작위 일관성지수(R)로 나눈 값이다.

³³ 일관성의 판정기준과 관련하여 Tone(1986)은 CI와 CR값이 모두 0.15 이하일 경우, Satty(1990)는 CR값이 0.1 이하(10%이내)에 들 경우에 해당 쌍대비교 행렬은 가중치(판단)에 일관성이 있다고 판정하고 있다.

으로 통합한 우선순위벡터(가중치)는 효율성 0.11, 효과성 0.29, 시행가능성 0.30, 농업인수용성 0.30로 나타나, 효과성과 시행가능성 및 농업인수용성이 적응방안 우선순위를 평가하는 중요한 평가기준으로 분석되었다.

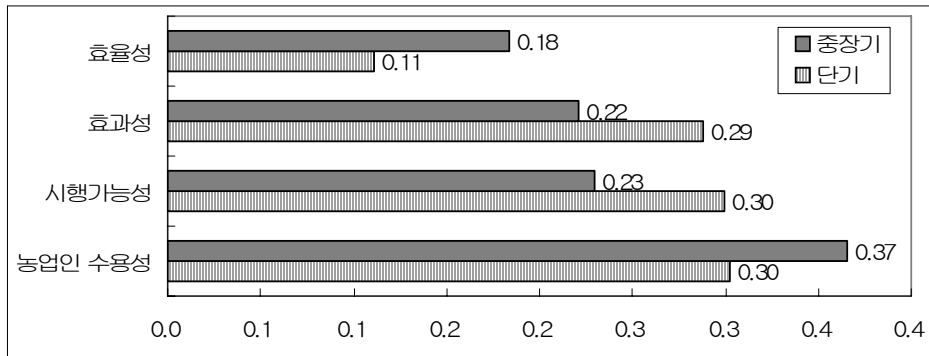
장기적인 관점에서 24명의 전문가에게 평가한 우선순위벡터(가중치)는 효율성 0.18, 효과성 0.22, 시행가능성 0.23, 농업인 수용성 0.37로 나타나, 농업인 수용성이 가장 중요한 평가기준으로 분석되었다<표 7-1>.

단기와 중장기적인 관점의 평가기준 중요도를 비교해 보면, 평가기준의 순위는 비슷하나 시간이 흐를수록 효율성과 농업인수용성의 중요도는 커지나 효과성과 시행가능성의 중요도는 하락하는 것으로 나타났다.

표 7-1. 평가기준의 수치통합 결과

전 체 (기하평균)	단 기				중 장 기			
	효율성	효과성	시행 가능성	농업인 수용성	효율성	효과성	시행 가능성	농업인 수용성
효율성	1.00	0.35	0.35	0.42	1.00	0.88	0.74	0.52
효과성	-	1.00	1.03	0.82	-	1.00	0.99	0.62
시행가능성	-	-	1.00	1.00	-	-	1.00	0.60
농업인 수용성	-	-	-	1.00	-	-	-	1.00
가중치	0.11	0.29	0.30	0.30	0.18	0.22	0.23	0.37

그림 7-2. 단기와 중장기의 평가기준 중요도



2.2.2. 기후변화 적응방안의 절대비교 결과

단기적인 관점에서 정책의 효율성 측면에서는 품종개발과 기후정보시스템의 중요도가 높은 것으로 나타났고, 정책의 효과성 측면에서는 품종개발과 농업용수관리, 정책의 시행가능성 측면에서는 품종개발과 농업용수개발, 농업인 수용성 측면에서는 품종개발과 보조금 지급의 중요도가 높은 것으로 분석되었다<표 7-2>. 네 가지 평가기준 모두에서 품종개발의 중요도가 가장 높은 것으로 나타났다.

표 7-2. 평가기준별 기후변화 적응방안의 절대비교 결과

적응방안		단기				중장기			
		효율성	효과성	시행가능성	농업인수용성	효율성	효과성	시행가능성	농업인수용성
기술개발 (R&D)	품종 개발	0.057	0.057	0.060	0.061	0.058	0.056	0.058	0.059
	생산기술 개발	0.055	0.057	0.058	0.055	0.057	0.059	0.057	0.056
	기반구축기술 개발	0.051	0.054	0.053	0.048	0.052	0.055	0.054	0.048
	자원관리혁신	0.049	0.050	0.047	0.047	0.049	0.050	0.049	0.045
	기후정보시스템	0.057	0.055	0.056	0.048	0.056	0.057	0.054	0.048
기반시설 관리	농경지 관리	0.051	0.050	0.050	0.054	0.051	0.051	0.050	0.052
	농업용수 관리	0.056	0.057	0.058	0.057	0.058	0.056	0.058	0.058
	농업시설 관리	0.047	0.047	0.051	0.059	0.047	0.049	0.054	0.057
경제적 수단	보조금 지급	0.048	0.049	0.047	0.061	0.046	0.046	0.047	0.058
법제도 정비	보험제도 확대	0.053	0.052	0.054	0.058	0.054	0.052	0.055	0.056
	자원관리시스템구축	0.052	0.052	0.050	0.048	0.052	0.050	0.049	0.045
	지역별 계획 수립	0.054	0.054	0.053	0.046	0.054	0.053	0.053	0.045
인력양성 교육	인력양성	0.052	0.052	0.050	0.046	0.051	0.051	0.049	0.047
	교육	0.053	0.057	0.054	0.051	0.052	0.055	0.051	0.053
모니터링	적응 및 취약성 평가	0.054	0.052	0.055	0.043	0.053	0.054	0.056	0.046
농가적용 기술·경영	생산기술 관리	0.053	0.054	0.052	0.057	0.054	0.054	0.054	0.059
	토양 관리	0.051	0.051	0.050	0.051	0.052	0.053	0.052	0.055
	용수 관리	0.054	0.053	0.052	0.053	0.058	0.055	0.054	0.056
	농가재정 관리	0.052	0.048	0.047	0.057	0.046	0.045	0.047	0.056

중장기적 관점에서 정책의 효율성 측면에서는 품종개발, 기반시설로서 농업용수관리, 농가단위 용수관리의 중요도가 높은 것으로 나타났고, 정책의 효과성 측면에서는 생산기술개발과 기후정보시스템, 정책의 시행가능성 측면에서는 품종개발과 농업용수관리, 농업인 수용성 측면에서는 품종개발과 생산기술관리가 중요도가 높은 것으로 분석되었다. 장기적인 관점에서도 품종개발의 중요도가 높은 것으로 나타났다.

2.2.3. 기후변화 적응방안의 종합평가 결과

가. 단기적 관점

적응방안 우선순위 평가에 대한 AHP 분석결과를 종합해 보면 적응방안에 대한 우선순위를 선정하기 위한 평가기준의 경우 단기적 측면에서는 효과성, 시행가능성, 농업인 수용성의 중요도가 높은 것으로 나타났다.

평가기준별 가중치와 적응방안별 가중치를 종합한 종합가중치는 품종개발 0.059로 가장 높았으며, 다음으로 농업용수관리, 생산기술개발 등으로 종합가중치가 거의 같은 수준으로 나타났고, 보험제도 확대, 생산기술 관리, 교육, 기후정보시스템 등의 순으로 계측되어 단기적으로는 이러한 방안들을 우선실시할 필요가 있는 것으로 판단된다<표 7-3>. 단기적인 관점에서 보면 기술개발 분야의 경우 품종개발과 생산기술 개발, 기반시설 관리 분야의 경우 농업용수관리, 법제도 정비 분야의 경우 보험제도 확대, 홍보·교육 분야의 경우 교육, 농가적용 기술·경영 분야의 경우 생산기술 관리와 용수관리 등 적응수단 유형별로 우선순위가 높은 1~2개의 주요 핵심분야가 선정되었다. 따라서 농업부문 기후변화 적응대책 마련에 있어서는 단기적으로 분야별 모든 수단을 적용하기에는 예산적·인적·기술적 제약조건이 수반되므로 가능한 한 핵심 분야를 다룰 수 있는 적응정책 프로그램을 개발하여 추진하면 정책의 효율성과 효과성을 제고시킬 수 있고, 농업인의 적응정책 수용성도 향상시킬 수 있는 것으로 판단된다.

표 7-3. 기후변화 적응방안의 종합평가 결과(단기)

적응방안		평가기준과 적응방안별 가중치				총 합 가중치	우선 순위
		평 가 기 준	효율성	효과성	시행 가능성		
		0.11	0.29	0.30	0.30		
기술개발 (R&D)	품종 개발	0.057	0.057	0.060	0.061	0.059	1
	생산기술 개발	0.055	0.057	0.058	0.055	0.057	3
	기반구축기술 개발	0.051	0.054	0.053	0.048	0.052	11
	자원관리혁신	0.049	0.050	0.047	0.047	0.048	19
	기후정보시스템	0.057	0.055	0.056	0.048	0.053	7
기반시설 관 리	농경지 관리	0.051	0.050	0.050	0.054	0.051	12
	농업용수 관리	0.056	0.057	0.058	0.057	0.058	2
	농업시설 관리	0.047	0.047	0.051	0.059	0.052	9
경제적 수단	보조금 지급	0.048	0.049	0.047	0.061	0.052	10
법제도 정 비	보험제도 확대	0.053	0.052	0.054	0.058	0.056	4
	자원관리시스템구축	0.052	0.052	0.050	0.048	0.050	17
	지역별 계획 수립	0.054	0.054	0.053	0.046	0.051	13
인력양성 교 육	인력양성	0.052	0.052	0.050	0.046	0.049	18
	교육	0.053	0.057	0.054	0.051	0.054	6
모니터링	적응 및 취약성 평가	0.054	0.052	0.055	0.043	0.050	16
농가적용 기술·경영	생산기술 관리	0.053	0.054	0.052	0.057	0.055	5
	토양 관리	0.051	0.051	0.050	0.051	0.051	14
	용수 관리	0.054	0.053	0.052	0.053	0.053	8
	농가재정 관리	0.052	0.048	0.047	0.057	0.051	15

나. 중장기적 관점

적응방안 우선순위 평가에 대한 AHP 분석결과 종합 시 적응방안에 대한 우선순위를 선정하기 위해서는 중장기적으로는 농업인 수용성을 가장 중요시해야 할 것으로 나타났다.

평가기준별 가중치와 적응방안별 가중치를 종합한 종합가중치는 품종개발이 가장 높았으며 농업용수관리, 생산기술개발, 생산기술관리, 용수관리, 보험제도 확대, 토양관리 등의 순으로 계측되어 중장기적으로는 이러한 방안들을 우선실시할 필요가 있다<표 7-4>.

표 7-4. 기후변화 적응방안의 종합평가 결과(중장기)

적응방안		평가기준과 적응방안별 가중치				종합 가중치	우선 순위
		평 가 기 준					
		효율성	효과성	시행 가능성	농업인 수용성		
		0.18	0.22	0.23	0.37		
기술개발 (R&D)	품종 개발	0.058	0.056	0.058	0.059	0.058	1
	생산기술 개발	0.057	0.059	0.057	0.056	0.057	3
	기반구축기술 개발	0.052	0.055	0.054	0.048	0.051	13
	자원관리혁신	0.049	0.050	0.049	0.045	0.048	19
	기후정보시스템	0.056	0.057	0.054	0.048	0.053	8
기반시설 관 리	농경지 관리	0.051	0.051	0.050	0.052	0.051	11
	농업용수 관리	0.058	0.056	0.058	0.058	0.058	2
	농업시설 관리	0.047	0.049	0.054	0.057	0.053	10
경제적 수단	보조금 지급	0.046	0.046	0.047	0.058	0.051	14
법제도 정 비	보험제도 확대	0.054	0.052	0.055	0.056	0.055	6
	자원관리시스템구축	0.052	0.050	0.049	0.045	0.048	18
	지역별 계획 수립	0.054	0.053	0.053	0.045	0.050	15
홍 보 교 육	인력양성	0.051	0.051	0.049	0.047	0.049	17
	교육	0.052	0.055	0.051	0.053	0.053	9
모니터링	적응 및 취약성 평가	0.053	0.054	0.056	0.046	0.051	12
농가적용 기술·경영	생산기술 관리	0.054	0.054	0.054	0.059	0.056	4
	토양 관리	0.052	0.053	0.052	0.055	0.053	7
	용수 관리	0.058	0.055	0.054	0.056	0.056	5
	농가재정 관리	0.046	0.045	0.047	0.056	0.050	16

다. 단기와 중장기 비교

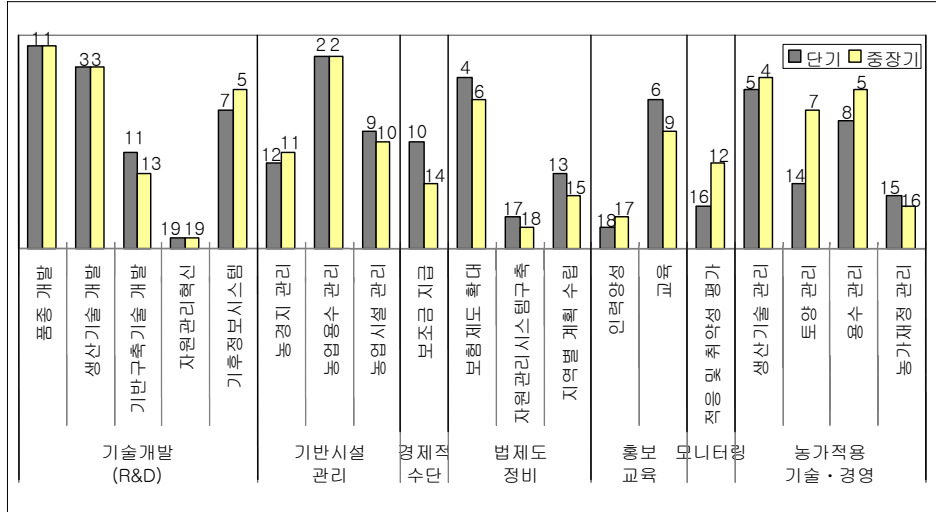
각 적응방안의 단기와 중장기적 관점에 따른 우선순위를 비교해 보면 단기나 중장기에도 품종개발, 농업용수관리, 생산기술개발은 각 1, 2, 3위로 변함이 없는 것으로 분석되었다<표 7-5, 그림 7-3>. 따라서 시기에 상관없이 세 가지 방안을 가장 중요하게 판단하고 있는 것으로 사료된다.

단기에는 기후정보시스템, 보험제도 확대, 교육 등의 중요도가 높았다면 중장기에는 이들의 중요도는 감소하고 단기에 중요도가 낮았던 용수관리, 토양관리와 같은 농가단위에서 적용할 수 있는 기술 및 경영과 관련된 적응방안과 적응 및 취약성 평가 등의 중요도가 높아진 것으로 분석된다.

표 7-5. 적응방안의 단기와 중장기 우선순위 비교

적응방안		단기	중장기	변화여부
기술개발 (R&D)	품종 개발	1	1	-
	생산기술 개발	3	3	-
	기반구축기술 개발	11	13	▽ 2
	자원관리혁신	19	19	-
	기후정보시스템	7	8	▽ 1
기반시설관리	농경지 관리	12	11	△ 1
	농업용수 관리	2	2	-
	농업시설 관리	9	10	▽ 1
경제적 수단	보조금 지급	10	14	▽ 4
법제도정비	보험제도 확대	4	6	▽ 2
	자원관리시스템구축	17	18	▽ 1
	지역별 계획 수립	13	15	▽ 2
홍보·교육	인력양성	18	17	△ 1
	교육	6	9	▽ 3
모니터링	적응 및 취약성 평가	16	12	△ 4
농가적용 기술·경영	생산기술 관리	5	4	△ 1
	토양 관리	14	7	△ 7
	용수 관리	8	5	△ 3
	농가재정 관리	15	16	▽ 1

그림 7-3. 단기와 중장기의 적응방안 순위 비교



3. 기후변화 적응의 실천전략

3.1. 기후변화 적응 로드맵

기후변화는 상당한 기간에 걸쳐 나타나게 될 것이므로 적응로드맵은 기본 방향에서 제시된 바와 같이 2030년을 목표연도로 정하였으며, 단기인 기반구축단계(2009~2013), 중기인 도약단계(2014~2019), 장기인 정착단계(2020~2030) 등 3단계로 나누어 접근하는 것이 바람직하다. 각 시기별로 기술개발 분야, 기반시설관리 분야, 경제적 수단 분야, 법제도 정비 분야, 홍보교육 분야, 모니터링, 농가적용 기술·경영 등 7개 분야의 주요과제를 구분하여 단계별 로드맵을 제시할 수 있다<표 7-6>.

각 시기별 주요과제 가운데 지속적으로 추진되어야 할 과제의 경우는 엄밀하게 시기별로 나누어 구분하여 제시하는데 어려움이 있다. 기후변화 피해를 예방하고 최소화 할 수 있도록 기후변화 적응기술 개발은 모든 기간에 지속적으로 추진되어야 할 분야이다. 특히 소비다수성·내재해성·내열성 품종개발은 시급한 과제이며, 개발된 품종이 농가단위에 보급될 수 있도록 지속적으로 추진해야 한다. 기반시설관리 분야의 경우도 농경지 관리, 농업용수관리, 농업시설관리 등에서 단계별 주요과제를 설정하였다. 특히 무경운 농법의 경우 기후변화 적응과 완화에 있어 중요한 과제이므로 지속적으로 추진되어야 한다. 경제적 수단 분야의 경우 저탄소직불제 도입은 기반구축단계에서 이루어지고 이후 지속적으로 추진되어야 할 핵심과제이다. 법제도 정비 분야의 경우 농업재해보험제도는 확고하게 정착될 수 있도록 지속적으로 추진되어야 할 분야이다. 홍보와 교육은 기후변화 적응에 대한 공감대 형성을 위해 특별히 관심을 가지고 지속적이고 체계적으로 추진해야 할 과제이다. 모니터링 분야의 경우는 기후변화 여건을 반영한 중장기 세계식량수급 예측모형 개발을 위해 단계적인 과제가 추진되도록 해야 한다. 농가적용 기술·경영의 경우는 기술개발과 연계하여 적응기술이 농가에 실제로 보급될 수 있도록 단계별로 실효성 있는 프로그램이 개발되

표 7-6. 농업부문 온난화 적응대책 추진 로드맵

적용방안	기반구축단계(2009-2013)	도약단계 (2014-2019)	정착단계 (2020-2030)
기술개발 (R&D)	<ul style="list-style-type: none"> 소비다수성·내열성 신품종 개발 시비·과중 등 재배기술 보급 재배적지 및 작물분포도 작성 온난화영향 생리적 규명연구 병해충·잡초방제측모델 개발 조기경보시스템 개발 및 활용 가뭄·홍수 등 재해대비 수자원 관리시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 온난화 적응품종 보급 온난화 적응 정보제공 및 교육 시스템 구축 작물형질진환 평가연구 추진 조기경보시스템 정교화 물이용효율 최적화설비 활성화 가뭄·홍수 등 재해대비 수자원 관리시스템 활성화 	<ul style="list-style-type: none"> 온난화적응 시스템 구축 온난화 활용 농업생산 시스템으로 전환 작물형질진환 평가 시스템 구축 조기경보시스템 구축 영농시물레이터 보급 가뭄·홍수 등 재해대비 수자원 관리시스템 활성화
기반시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> 논·밭 탄소감축 기술 보급 무경운농법 기술 보급 물 절약형 관개기준 설정 농업기반시설의 현대화 시설원에 에너지저장기술 보급 	<ul style="list-style-type: none"> 논·밭 탄소감축 활성화 무경운농법 확대 물 절약형 관개기준 보급 농업용수관리자동화 구축 시설원에 에너지저장기술 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 논·밭 탄소감축 활성화 무경운농법 정착 TMIC시스템 구축 시설원에 에너지 저감 융합기술 확대
경제적 수단	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 적응농법 실천 저탄소직불금 도입 검토 절수 투자인센티브 도입 고효율 관개시스템 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 적응 메뉴방식 직불제 확대 절수 투자인센티브 활성화 농업용수사용료 도입검토 	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 적응농법 실천 탄소직불금 활성화
법제도 정비	<ul style="list-style-type: none"> 농업재해보험제도 확대 풍수해보험제도 확대 농가소득안정 프로그램 운용 온난화대책위원회 설치 농작물 피해산정시스템 도입 지역농업농촌장기발전계획 수립 주산지 특별대책반 운영 	<ul style="list-style-type: none"> 농업재해보험제도 활성화 풍수해보험제도 활성화 농가소득안정화 프로그램 정착 온난화대책위원회 운영 농작물 피해량 산정 및 지원시스템 구축 지역농업농촌장기발전계획 정착 	<ul style="list-style-type: none"> 농업재해보험제도 활성화 풍수해보험제도 활성화 농가소득안정화 프로그램 정착 온난화대책위원회 운영 농작물 피해량 산정 및 지원시스템 정착
인력양성 홍보교육	<ul style="list-style-type: none"> 위험관리 전문농업인 육성 위험관리전문컨설턴트 육성 농작물재해보험 및 위험관리에 대한 농가교육 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 위험관리 전문농업인 육성 위험관리 전문컨설턴트 활용 온난화적응 매뉴얼 보급 적응 교육시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 위험관리 전문농업인 육성 온난화 적응매뉴얼 보완 관련주체별 온난화적응 체계적 교육시스템 구축
모니터링	<ul style="list-style-type: none"> 생산성 예측 및 생물상 변화 등 영향평가 모델 도입 농업생태계 모니터링 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 생산성 예측 및 생물상 변화 등 영향평가 모델 활용 작물생육 환경영향평가 시스템 운용 세계 식량수급 중장기 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 대체 용수사용에 따른 작물 생육 및 환경영향평가 시스템 구축 세계 식량수급 중장기 예측
농가적응 기술경영	<ul style="list-style-type: none"> 작물 성장속도 조절, 온실경작, 농약과 잡초의 조절 기후변화에 적합한 작물재배 알칼리 토양개선 등을 통한 토양 비옥화 농가단위 용수관리설비 설치 위험회피 작물보험 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 알칼리 토양개선 등을 통한 토양 비옥화 물이용 효율 제고를 위한 관개 스케줄 작성 소득안정화 프로그램에 참여 작물다각화 등을 통한 농가소득원 다양화 	<ul style="list-style-type: none"> 적당한 기후로의 재배적지 전환 알칼리 토양개선 등을 통한 토양 비옥화 물이용 효율 제고를 위한 관개 스케줄 작성

도록 해야 한다.

기술개발 분야의 경우 작물분야, 원예분야, 열대·아열대 분야로 나누어 로드맵을 제시하였다<표 7-7>. 기후변화 적응을 위한 단계별 기술개발 로

표 7-7. 온난화 대응 단계별 연구개발 로드맵

구 분	기반구축단계 (2009~2013)	도약단계 (2014~2019)	정착단계 (2020~2030)
작물분야	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 따른 농업형질동정 및 우량유전자원 탐색 온난화에 따른 재배작기 및 작형, 품질영향평가 및 재배기술 개발 새로운 문제 병해충모니터링 및 예찰기술 개발 이상기상에 따른 식량작물재해양상 및 경감기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 고온등숙 품종 등 대응품종 및 품질유지기술 개발 온난화 단계별 재배관리기술 개발 기상재해 요인별 피해특성구명 및 경감기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 온난화 대응 육성 신품종의 농가보급 및 작물별 산업화 육성 온난화 적응 재배기술 및 병해충 관리기술 보급 및 현장실증 이상기상에 따른 벼 피해 경감기술 개발
원예분야	<ul style="list-style-type: none"> 고온적응성, 내재해성 신품종 육성을 위한 자원평가 및 기초조사 유전자원 수집 평가 및 국내외 국제공동연구 강화 원예작물 영향평가 연구방법 확립, 원예작물 재배지대 설정 채소·과수의 최적 재배적지 분포도 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 고온적응성, 내재해성 유망계통 및 재배평가, 지역적응시험 실시 온난화 단계별 재배관리기술 개발 주요 채소, 과수 재배품종별 재배적지 변동 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 고온적응성 및 내재해성 신품종 육성 농가보급 및 산업화 육성 기후변화 영향평가를 위한 주요 원예작물별 환경생리 반응 연구 신재생에너지를 이용한 온난화 대응 저투입 고효율 재배기술 실용화
열대·아열대 분야	<ul style="list-style-type: none"> 열대/아열대 유전자원 활용 신 소득작물 개발기반 구축 열대/아열대작물 수집 및 국제협력체계 구축(오끼나와, 미얀마 등) 영향평가 연구 개념정립, 연구방법 확립, 농작물 재배지대 설정 최적 재배적지 분석 및 기후변화 변동 평가(작물별 적지지도 변동 작성) 	<ul style="list-style-type: none"> 열대/아열대 수집 유전자원 적응성 검토 및 선발 선발 작목의 지역적응 시험 및 재배관리기술 개발 열대/아열대의 기후적 재배적지 구분 	<ul style="list-style-type: none"> 개발 신소득 작목 재배확대를 위한 시범사업 및 브랜드 산업화 육성 기후변화 작물 취약성 지도 및 작물 재해지도 작성 온난화 대응 재배관리기술 매뉴얼 작성 보급 개발도상국 열대/아열대 농업전문가 교육 및 교류
연구 인프라	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 종합연구 연구동건립 검토 및 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 연구동 건립 및 운용 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 연구동의 적용분야 연구 전진기지화

주: 농촌진흥청(2007b), 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터(2009), 각 도농업기술원 시험연구계획 등에 제시된 자료를 기초로 재구성하여 작성한 것임.

드맵의 경우 분야별 유관기관 및 전문가의 입장에 따라 추진시기와 내용이 달라질 수 있을 것으로 사료된다. 농촌진흥청의 경우 기후변화 어젠다과제를 수립하여 단기(2009~2011), 중기(2012~2016), 장기(2017년 이후) 등 3단계로 나누어 기후변화 정책지원, 기후변화 영향평가 및 예측, 저탄소 녹색성장 기술개발 등으로 나누어 연구과제가 수행되고 있다(농촌진흥청, 2009).³⁴ 기후변화 적응분야는 별도로 범주화하지는 않고 주로 기후변화 영향평가·예측과 저탄소 녹색성장 기술개발 분야에 포함되어 연구과제가 수행되고 있다. 농촌진흥청에서 수행 중인 기후변화 적응 분야의 핵심과제는 <표 7-7>에서 제시된 바와 같이 작물분야의 품종개량, 원예분야의 재배적지 변동 평가, 열대·아열대 분야의 아열대 과수와 채소의 새로운 품종의 적응성 연구 등으로 요약될 수 있다.

농업부문 기후변화 적응분야의 연구가 지속적으로 이루어지기 위해서는 관련시설과 인력 등 연구 인프라가 기반구축단계에서 확실하게 이루어질 수 있도록 정책적 지원과 관심이 중요하다. 도약단계에는 기후변화 연구동이 운용됨으로써 향후 기후변화 연구의 전진기지로 활용될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 특히 기후변화에 대응하여 장기적인 농업부문 적응대책을 수립하기 위해서는 작물의 생산성, 품질, 재배적지 변화에 대한 과학적인 영향평가가 필요하며, 이를 위해서 인위적으로 기온과 이산화탄소 등의 재배환경 조절이 가능한 종합적인 ‘기후변화 연구동(가칭)’ 시설이 조속히 마련되어야 한다. 일본을 비롯하여 미국과 독일 등 주요국의 경우 국립 농업관련연구원과 관련분야 대학에서 기후변화 연구동이 구축되어 적응분야의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 적응분야의 연구결과는 농업인들과 정책담당자들에게 신뢰성 있는 정보를 제공해 줌으로써 효과적인 정책수립과 정책집행에 크게 기여하는 것으로 평가되고 있다(日本農林水産省, 2008; 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터, 2009).

³⁴ 농촌진흥청에서 수행 중인 2009년 기후변화 어젠다 과제 내역을 보면 기후변화 정책지원 분야에서 18개 세부과제에 958백만원, 기후변화 영향평가 및 예측 분야에서 94개 세부과제에 3,866백만원, 저탄소 녹색성장 기술개발 분야에서 76개 세부과제에 3,962백만원 등으로 구성되어 있다(농촌진흥청, 2009).

3.2. 분야별 전략 실천을 위한 핵심과제

3.2.1. 기술개발 분야

농업부문의 기후변화 적응을 위한 실천전략 개발에 있어서 단기적으로나 중장기적으로 가장 우선적인 과제는 전문가의 적응방안 우선순위결정에서 제시된 바와 같이 품종개발(품종개량 포함)이다. 특히 기후변화에 따른 농업생태계와 주산지 변동 등을 고려한 신품종 개발(외래 품종도입 포함)은 미래 지역농업계획 수립은 물론이고 농업인의 주된 관심사이다.

기후변화 적응을 위한 실효성 있는 품종개발이 이루어지 위해서는 몇 가지 사항이 적절하게 고려되어야 한다.

첫째, 농산물의 고유한 품종 특성을 고려하여 품종개량과 함께 새로운 품종개발이 이루어져야 한다. 예를 들면 벼의 경우 기후조건과 토양 등을 고려하고 각종 재해에 견딜 수 있는 내재해성, 고온등숙성, 지역적응성이 높은 품종을 개발해야 한다. 또한 사과는 저온요구에 둔감하고 고온에서 착색이 용이한 품종을 개발해야 한다.

둘째, 지역적 특성을 반영하여 주산지 변동에 따른 새로운 품종 도입이 필요한 경우 지역적 적응성과 소비자 기호성, 국내외 경합성 등을 종합적으로 고려하여 도입작목을 선정해야 한다. 예를 들면 열대 또는 아열대 작물을 도입하는 경우 환경 적응성이 높고 재배하기 쉬우며 기능성을 함유하고 있어 소비자의 기호성이 높고 해외에서 수입하기 어려우며 수익성이 높은 작물을 선정해야 한다.³⁵

셋째, 권역별 특성을 고려하여 적절한 품종개발 주체별로 적절한 역할분담이 이루어져야 한다<부록 6>. <표 7-8>에서 제시된 바와 같이 경기권의

³⁵ 열대/아열대 기후로 변함에 따른 제주지역의 새로운 작목선택 기준과 관련하여 경쟁력을 갖출 수 있는 기준으로 월동집중 작물의 분산 작목, 수입농산물과의 경쟁력을 피하고 유관산업과의 경쟁력 강화 품목, 기능성 및 보건의 기능이 있는 채소, 환경보전 및 생태계보전 등 농업의 다원적 기능 유지에 기여하는 품목 등이 고려되고 있다(성기철, 2009, pp.91-92).

표 7-8. 권역별 기후변화 적응 기술개발 추진과제

권역	기술개발 분야
경기권	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 대비 고온적응 벼 품종개량 및 재배기술 개발 경기북부지역 사과 주산지 관련 품종개량 및 확대 전략개발 기후변화 대응 복숭아 품종개량 및 재배기술 보급 확대
경상권	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화에 따른 쌀 수량 및 품질변화 연구 <ul style="list-style-type: none"> 저탄소 무경운 자운영피복 벼 기계 이앙기술 보급 온난화 대응 경남북 지역 맥류 재배법 기후변화대응 사과 품종 재배기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> 감귤, 한라봉, 무화과 등 과수류 품종적응 및 재배기술 보급 고온적응 사과 품종개량 및 고위도·고랭지·산간지역의 사과 재배기술 개발 아열대 과종 재배환경 적응성 검토
전라권	<ul style="list-style-type: none"> 벼 이모작 확대 기술개발 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> 이상고온에 따른 병해충의 작물별 피해를 산정기술 개발 온난화 대응 과수류 품종개발 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> 감귤·한라봉 등 난대성과일 재배기술 보급 아보카도, 망고, 패션프룻, 체리모야, 용과, 노니, 캔타로프 등 아열대과일 적응 및 재배기술 온난화 대응 소득증대 작물류 개발 <ul style="list-style-type: none"> 아티초크, 열대시금치, 오크라, 아스파라가스 등 아열대 채소류 적응 연구 전북 고랭지지역의 사과주산지 관련 신품종 육성 및 재배기술 보급
충청권	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 대응 고등숙 적응 고품질 조생종 벼 품종선발 조생종 벼 조기이앙과 적정 재식거리 설정 등 적응기술 개발 및 보급 충청지역 콩 품질향상 및 안전재배 기술연구 충북지역 복숭아, 포도 등 과실류 품종개량 및 재배기술 보급
강원권	<ul style="list-style-type: none"> 고품질 내재해 우량계통 벼 신품종 육성 연구 기후온난화 대비 강원지역 과수류 품종개량 및 재배기술 보급 <ul style="list-style-type: none"> 강원 지대별 사과, 포도, 배 등 주요 과수류 적응 및 재배기술 보급 영동지역의 난지 과수재배가능성 연구 복숭아 고감미 내한성 신품종 육성
제주권	<ul style="list-style-type: none"> 기후온난화에 따른 병해충발생 양상 변화연구 온난화 대응 열대/아열대 작물 개발 연구 <ul style="list-style-type: none"> 열대과수로 망고, 패션프룻의 적응성 평가 도입과종: 망고, 아보카도, 패션프룻, 용과, 마카다미아, 아페모야, 체리모야, 구아바 등 8과종 12품종 채소류: 오크라, 아티초크, 열대시금치, 차요채, 공심채, 페피노, 구와이, 열대토마토, 양빈 등 10개 품종

자료: 주요 농산물의 주산지 변동 분석 결과와 각 도 농업기술원에서 수행 중인 기후변화대응 과제 및 권역별 전문가 심층면담조사 등을 종합하여 작성된 것임.

경우 고온적응 벼 품종 개발과 사과와 복숭아 등 주요 과실의 품종개량 기술이 개발되어야 한다. 경상권의 경우 고온적응 및 고위도에 적합한 사과 품종개량과 새롭게 도입되는 품종으로 감귤, 한라봉, 무화과 등 난대성 과일의 품종개량, 증장기적으로 아열대 과일의 적응성 연구가 이루어져야 한다. 전라권의 경우 감귤과 한라봉 등 난대성 과일의 적응성 연구와 증장기적으로 아열대 과수와 채소에 대한 적응성 연구, 고랭지에 적합한 사과 품종개량 등의 품종개발이 이루어져야 한다. 충청권은 고등숙 적응 고품질 조생종 벼 품종선발, 고온적응 콩 품종개량, 고온적응 복숭아·포도 등의 품종개량이 이루어져야 한다. 강원권의 경우 주산지 변동에 따른 사과, 배, 포도 등 주요 과실류의 적절한 품종선발, 고감미·내한성의 복숭아 신품종 개발이 필요하다. 제주권의 경우 고온성 감귤 및 한라봉 품종개량과 열대 및 아열대 과수와 채소의 신품종 적응성 연구가 필요하다. 특히 제주권의 경우 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터를 중심으로 1990년대 중반부터 열대 및 아열대 과수재배에 연구가 활발하게 이루어지고 있다.³⁶ 품종개량과 새로운 품종의 적응 등 품종개발에 관한 연구는 지역별 기후변화와 농업여건 등을 종합적으로 고려하는 실제적인 현장연구로 상당한 시간을 필요로 한다.

농업부문의 기후변화 적응을 위한 기술개발과 관련하여 생산기술 개발 분야도 중요한 분야이다. 생산기술에는 새로운 병해충·잡초 등에 대응한 방제기술 및 예측모델 개발, 새로운 시비·작목파종 및 수확시기조절 등의 재배기술 개발, 새로운 재배적지의 조정, 과실의 결실 안정기술, 난지작물 내륙지역 적응성 검증기술 등을 들 수 있다. 적응수단의 작물재배 영향 분석에서 제시된 바와 같이 벼의 경우 품종별 재배시기, 질소 시비량 및 농업용수 등의 조절을 통해 기후변화에 따른 수량성 감소를 크게 완화시킬 수 있는 것으로 나타났다. 기후변화에 적응할 수 있는 품목별·지역별 재배

³⁶ 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터의 열대 및 아열대 작물 신품종 도입 연구는 망고, 아보카도, 패션프룻, 용과, 마카다미아, 아페모아, 체리모아, 구아바 등 8과종 12개 품종에 대한 적응성 평가가 이루어지고 있다(농촌진흥청 온난화대응농업연구센터, 2009).

기술 개발은 비용효과적인 적응수단으로 활용될 수 있다. 특히 온난화 적응 관련 생산기술에 있어서 파종시기 조절과 재배적지 조정 분야는 실제로 농가단위에 쉽게 적용되는 분야로 활용도가 매우 높은 기술개발 분야이다.

기후변화 적응이 효과적으로 이루어지기 위해서는 농업분야의 기후정보 시스템 구축을 위한 체계적이고 심층적인 연구도 이루어져야 한다. 기후정보 시스템 구축을 위한 연구과제로는 사전적 기상정보 제공을 위한 조기경보 시스템 개발, 기상재해 모니터링 및 농업기상재해 DB구축, 농업기상재해 발생위험지역 상세구분 및 예측기술 개발, 농업기후 요소별 상세 기후도 구축, 온난화에 따른 농업기상재해 대응기술 개발 등을 들 수 있다. 특히 전자기후도를 활용한 농업기후 요소별 상세기후도 구축은 실제로 온난화에 대응하여 농장경영에 필요한 기후 및 농업 관련정보를 직접적으로 제공할 수 있다.³⁷

기후변화 적응 농업자원관리혁신 분야의 기술개발 과제로는 농업환경정보의 정책연계성 분석 시스템 개발, 가뭄·홍수 등 재해 대비 수자원관리 시스템 개발, 대안적 경작과 배수시스템 등 농업자원관리시스템 개발 등을 들 수 있다.

기후변화 적응 기반구축기술개발 과제로는 농경지 온실가스 감축 기술 개발, 물이용 효율 최적화 설비 개발, 인수(물을 끌어다 댐) 소실 저감 기술 개발, 토양의 침투특성을 고려한 물 절약형 관개자재 개발 등을 들 수 있다. 특히 기후변화에 따른 수자원 부족 문제는 심화될 것으로 보여 이에 대비한 물 관리 현대화 등 농업용수관리 시스템의 보완에 관한 심층적인 연구가 필요하다. 기후변화에 따른 해수면상승에 대비한 농업기반시설 연

³⁷ 전자기후도는 소기후 디지털기후도라고 할 수 있으며 다른 공간정보와 중첩하여 분석이 가능하다는 장점이 있으며 해상도가 높아 필지별 기후정보를 알 수 있다. 전자기후도와 농업시스템 시뮬레이션모형(생육, 품질, 환경)을 구동시킨 분석기후도를 이용하면 적지선정과 같은 농업경영 의사지원정보를 제공할 수 있다(윤진일, 2009). 현재 전자기후도를 공간 DB로 구축하여 농가의사결정지원 시스템이 시범적으로 서비스가 운영되고 있다(www.affis.net/peotal/weather/new/sub2.jsp).

구는 중요한 중장기 과제로 해수면 상승 시나리오 검토, 대상지 파악, 농업 기반시설 진단과 평가 등을 기초로 단계별·분야별 기술개발이 필요하다 <표 7-9>.

표 7-9. 농업기반시설의 해수면 상승 대비 기술개발 방향

관 련 항 목		기술개발 내용
해수면 상승 예측		▪ IPCC의 해수면 상승시나리오 및 국내 예측 결과 활용
영향평가	대상지 분석 기법 개발	▪ GIS/GPS 이용 대상지 분석기법 개발 ▪ 대상지 및 대상시설 분석
	평가기법개발	▪ IPCC 시나리오별 영향평가 기법개발 ▪ 농촌지역, 수리시설물 영향평가 기법개발
	위험지도 작성	▪ 시나리오별 위험지도(Hazard Map) 작성
	시나리오별 영향평가	▪ 시나리오별 농업지역에 미치는 영향평가 ▪ 시나리오별 농업시설에 미치는 영향평가 ▪ 방조제, 양/배수장 등 시설물 영향평가
적응기반 구축	기법개발	▪ 시설물별 적응기반 구축 ▪ 서남해안 저습지대 적응기반 구축
	적응기반 구축	▪ 농촌지역 적응기반 구축사업 개발 ▪ 적응기반 구축사업 실시

자료: 김영화(2007), p.93에 제시된 내용을 기초로 보완한 것임.

3.2.2. 기반시설관리 분야

농업부문의 기후변화 적응을 위한 기반시설관리는 크게 농경지관리, 농업용수관리, 농업기반시설관리 분야로 나눌 수 있다. 이 가운데 기반시설관리 분야의 핵심과제는 전문가 적응방안 우선순위 결정(AHP 분석)에서 단기와 중장기 모두에서 2위를 차지한 농업용수관리이다. 기후변화에 따른 수자원 부족 문제는 심화될 것으로 예상되므로 물 관리 현대화 등 농업용수관리 시스템의 보완은 지속적으로 다루어야 할 중요한 과제이다. 농업용수관리

에 있어서 다루어야 할 세부과제로는 시설재배 작물 물 절약형 관개기준 설정과 재배환경 조건에 적합한 맞춤형 물관리 등을 들 수 있다. 또한 농업용수의 배수시스템 개선을 위한 파이프 도랑수로 정비와 관개수로의 건설, 물 절약을 위한 스프링클러 및 점적관개, 농업용수관리자동화(TMTC)의 확대 등도 농업용수관리에서 비중을 두고 다루어야 할 과제이다.

농업시설관리 분야는 적응방안에 대한 전문가 우선순위 결정에서는 중간 위치를 차지하나 기후변화에 따른 피해를 경감시킬 수 있는 시설물 설치와 관련되어 있다. 농업시설관리 분야의 실행 프로그램으로 태풍 등 기상재해 피해 최소화를 위해 방풍 울타리, 열을 막을 수 있는 장치(보호막), 시설하우스는 기후변화에 대응 현대화 시설물, 수분의 증발산을 억제하기 위한 플라스틱 필름 설치 등을 들 수 있다. 이밖에도 시설관리를 위한 사업프로그램으로 경작 준비기간을 단축하기 위한 기계 이용과 온난화에 따른 농산물 저장시설의 현대화 등을 들 수 있다.

농업부문 기후적응을 위한 농경지 관리의 세부과제로는 메탄 배출 감소를 위한 논외 건답직파 및 간단관개, 아산화질소 배출 감소를 위한 밭에 질소질 비료 사용량 감축, 무경운 농법 확대, 토양 침식을 억제하기 위한 주변 식생 관리 등을 들 수 있다.

3.2.3. 경제적 수단 분야

농업분야 기후변화 적응 전략이 효과적으로 추진되기 위해서는 농가단위에서 적응방안 도입에 따른 추가적인 비용이나 노력에 대해 적절한 인센티브를 부여하는 것이 바람직하다. 현재 많은 나라에서 환경적인 조치를 농가단위에서 집행하기 위해 환경적 상호준수(environmental cross compliance, ECC) 프로그램을 도입하여 운영하고 있다. 농업분야의 기후변화 대응이 효과적으로 이루어지기 위해서는 ECC를 기초로 한 메뉴방식의 직불제 도입이 바람직하다. 하나의 유형으로 저탄소 적응농법을 제대로 실천하는 경우 적절한 모니터링을 통해 경지면적당 일정한 수준의 직불금을 지급하는 저탄소농업 직불제도 도입을 검토할 필요가 있다. 저탄소농업

의 유형으로 유기 및 무농약 등 친환경농법, 무경운 자운영 피복농업, 휴경 등을 들 수 있다. 저탄소농업직불제를 도입하기 위해서는 저탄소 농업이 일반농업에 비해 어느 정도의 탄소저감 효과가 있는지에 대한 검증연구가 필요하고, 저탄소농업과 일반 농업과의 생산비와 소득 차이를 고려하여 적절한 인센티브를 산정해야 하며, 과학적인 방법론을 기초로 지속적인 모니터링이 이루어져야 한다.

기후변화로 물문제가 심화됨에 따라 농업부문의 대응방안으로 영국 사례 등을 벤치마킹하여 절수에 대한 투자 인센티브 도입, 고효율 관개시스템의 보조금 지원 등을 고려해야 한다. 농업용수를 다량으로 사용하는 농장에서 절수기와 중수도시설 등 절수시설 설치를 할 경우 설치자금융자, 세액공제, 상수도 요금 감면, 환경개선부담금 감면 등 인센티브를 제공함으로써 절수시설 설치를 활성화하도록 해야 한다. 또한, 초기 투자비용이 높은 고속정밀 스프링클러, 마이크로 스프링클러 등의 고효율 관개시스템(High Efficiency Irrigation System)을 도입하는 농가에게 보조금을 지원할 필요가 있다.

기후변화로 홍수, 가뭄, 이상기온 등 자연재해가 더욱 증가할 것으로 예상되며 이러한 자연재해는 농가파산으로 이어질 수 있고, 많은 농가에서 동시에 발생하는 경우 농업기반의 붕괴를 가져올 수 있으므로 정부가 적극적으로 개입하여 농가의 손실을 적절하게 보상해 주어야 한다.³⁸ 이러한 위험은 사전적으로 예방조치를 강화하는 것이 중요하고 농가파산이 일어나지 않도록 재해보험과 같은 위험관리프로그램을 운용해야 한다. 농가 지원금을 재해지원프로그램(Disaster Assistance Program) 명목으로 지급함으로써 작물 및 다년생 작물의 재해보상에 재정적 지출을 부담하도록 할 수 있다. 이밖에도 기후변화 적응과 관련한 농가위험관리를 위한 보상 프로그램을 고려할 수 있다. 예를 들면 기후변화에 적응하기 위해 농가단위에서 새로운 작목을 도입하는 경우 재배기술이 안정되고 생산수준이 일정한 수

³⁸ 농가의 거대위험 요인으로 자연재해에 대한 보완대책과 위험관리수단으로 재해보험제도 등에 대한 설명은 황의식, 이용호(2008, pp.120-124)에 잘 제시되어 있다.

준에 도달하기까지 개별농가는 상당한 위험을 부담해야 한다. 이 경우 새로운 작목도입에 따른 생산량 및 소득 감소의 위험성을 완화시켜 줄 수 있도록 일정수준의 직불금을 지급하는 방안에 대한 검토도 필요하다.

경제적 수단은 인센티브 지급을 통해 추가로 발생하는 농업인의 비용을 상쇄하는 효과를 이용하는 것이다. 인센티브 수준을 어떻게 결정하느냐에 따라 사업의 성공여부는 크게 달라질 것이다. 앞서 소개한 농업인의 의사결정 분석은 경제적 수단을 적정 수준을 판단하기 위한 유용한 도구로 활용될 수 있다. 예를 들면, 저탄소농업직불제는 정부의 예산으로 농업인의 탄소절감에 따른 추가비용에 해당하는 직불금을 지불하는 것이다. 이 때 의사결정 분석법을 이용하여 농업인의 추가비용과 적용확률과의 관계를 예측하고, 그 결과에 따라 사업의 적정 예산규모와 탄소감축 목표를 결정하면 저탄소농업직불제를 효율적으로 시행할 수 있을 것이다.

3.2.4. 법·제도 정비 분야

기후변화에 대응하여 적응 프로그램이 지속적이고 효과적으로 이루어지기 위해서는 법적·제도적 장치가 마련되어야 한다. 농업분야의 기후변화 적응 관련 법제도 정비 분야의 핵심전략으로는 전문가 우선순위 결정에서 보험제도 확대가 단기에서 4위, 중장기에서 6위로 나타났다. 농업분야에서 기후변화 적응을 구체적으로 규정한 법령은 아직 제정되어 있지 않다.³⁹ 다만 농업부문의 기후변화 적응을 중요한 정책수단인 재해보험제도의 기본적인 틀을 제시하는 관련법령으로 농작물재해보험법과 풍수해재해보험법이 제정되어 운용되고 있다.⁴⁰ 기후변화 적응을 위한 정책과 행동을 위해 법률·법규를 제

³⁹ 농업분야의 기후변화 대책을 규정한 법령으로 ‘친환경농업육성법’을 들 수 있으며, 여기서는 농업분야 온실가스 발생 최소화를 위한 추진 대책(제10조)인 기후변화 완화만을 다루고 있고, 기후변화 적응을 구체적으로 규정한 법규는 아직 제정되어 있지 않다. 기후변화의 분야별 입법 추진 현황과 과제에 대해서는 김중연(2007, pp.64-70)에 상세히 설명되어 있다.

⁴⁰ 농작물재해보험제도는 자연재해로 인한 경영불안을 해소하여 농가의 소득 및

정·실시한 중국을 벤치마킹하여 농업부문의 기후변화 적응 대책이 보다 체계적으로 수립되고 지속적으로 집행되기 위해서는 중장기적으로 농업부문 기후변화 완화와 적응을 포괄하는 적절한 법령제정이 필요하다.

농가단위에서 기후변화에 따른 위험에 적절하게 적응할 수 있도록 보험제도가 운용되고 있다. 현재 농업부문 자연재해와 관련된 정책보험으로는 농작물재해보험과 풍수해보험을 들 수 있다. <표 7-10>에 제시된 바와 같

표 7-10. 농작물재해보험과 풍수해보험제도 운용 현황

구 분		농작물재해보험 (농림수산식품부)	풍수해보험 (소방방재청)
보험대상물		<ul style="list-style-type: none"> ·확정: 사과, 배, 감귤, 복숭아, 포도, 단감, 뽕은감 등 7개 품목 ·시범: , 자두, 참다래, 밤, 감자, 콩, 양파, 고추, 수박, 버, 마늘, 고구마, 매실, 옥수수 등 13개 품목 	<ul style="list-style-type: none"> ·주택 ·온실(비닐하우스 포함) ·축사
대 상 재 해	주계약 (필수가입)	<ul style="list-style-type: none"> ·태풍(강풍) ·우박 	<ul style="list-style-type: none"> ·태풍 ·호우 ·강풍 ·풍랑 ·해일 ·대설 ·홍수
	특약 (선택가입)	<ul style="list-style-type: none"> ·동상해 ·집중호우 ·과수보상 	<ul style="list-style-type: none"> ·축사분뇨시설 ·하천부지 비닐하우스 (대설)
가입방식		임의가입	
보상수준 유형		<ul style="list-style-type: none"> ·70% ·80% 	<ul style="list-style-type: none"> ·복구비 기준액 대비 50~90%
국 고 지 원	순보험료	<ul style="list-style-type: none"> ·농지별로 산출한 보험료의 50% 보조 	<ul style="list-style-type: none"> ·기본가입 : 50% (국고 : 지방비는 주택 20 : 10, 축사 및 온실 25:10), 추가가입 : 없음
	운영사업비	<ul style="list-style-type: none"> ·100% 	<ul style="list-style-type: none"> ·100%
	국고지원률 (총계)	<ul style="list-style-type: none"> ·약 68% 	<ul style="list-style-type: none"> ·가입금액에 따라 49~65%
보험가입률(%)		<ul style="list-style-type: none"> ·28.5% 	<ul style="list-style-type: none"> ·주택 : 0.7% ·온실 : 0.2% ·축사 : 0.1%
보험운영기관		<ul style="list-style-type: none"> ·농협중앙회(사업운영) 	<ul style="list-style-type: none"> ·민간보험사(위탁관리)

자료: 농림수산식품부, 소방방재청 내부자료.

경영안정을 도모하고 안정적인 농업 생산활동을 뒷받침할 목적으로 2001년 1월에 농작물재해보험법이 제정되어 농림수산식품부가 관장하고 있다. 또한 풍수해보험제도는 2006년 3월에 풍수해보험법 제정으로 실시되고 있으며, 소방방재청이 관장하고 민영보험사가 운영하고 있다.

이 농가들의 보험가입률은 저조한 실정이다. 보험제도 활성화를 위한 조치로 2010년 1월 1일부터는 농어업 전반의 위험을 보장하는 종합적 위험관리 체계 구축을 위해 농작물재해보험, 가축공제, 양식수산물재해보험을 통합하여 농어업재해보험으로 시행할 예정이다. 또한 재해보험 대상을 농작물에서 가축, 농어업용 시설물로 전면 확대하고 대상재해 범위를 자연재해뿐만 아니라 병충해, 야생동물피해, 화재까지 확대할 예정이다. 그러나 기후변화에 대비하여 농업분야의 보험제도가 보다 확대되기 위한 세부과제로는 지역별·품목별 조건을 고려한 농업재해보험 확대, 농업재해보험 약관의 현실성 있는 기후조건 반영, 농가 위험관리를 위한 개인보험 개발, 농업 기반시설 피해에 대비한 풍수해보험의 재정비 등을 들 수 있다.

농어업재해보험이 보다 실효성 있게 운용되기 위해서는 지역별·품목별 조건과 농업인의 참여도 등을 고려한 약관의 현실성 있는 기후조건이 반영되도록 해야 한다. 또한 농업 기반시설 피해에 대비한 풍수해보험의 재정비가 요구되며 농가위험관리를 위한 개인보험도 개발해야 한다.

농업분야 기후변화 적응을 위한 법·제도 정비 분야의 중요한 과제인 지역농업계획 수립에 관한 세부과제로 각 지역별 주산단지 특별대책단 또는 특별작업반(T/F) 구성, 지역단위 농업농촌 장기발전계획 수립, 지역별 기후변화 적응계획 수립 등을 들 수 있다.

기후변화 적응을 위한 농업부문의 자원관리시스템 구축은 적응방안에 대한 전문가 우선순위결정에서 매우 낮은 순위로 나타났으나, 기후변화 적응이 효과적이고 지속적으로 이루어지기 위해서는 중요한 과제이다. 자원관리시스템 구축을 위한 세부과제로는 농작물 피해량 산정 및 지원시스템 구축, 재해방지를 위한 토지이용계획의 변경, 재해 대비 시설물 규격 강화 등을 들 수 있다. 농업은 기후변화에 민감하게 영향을 받는 산업이며 농업 생산에는 기상요인뿐만 아니라 수자원, 관개시설 등이 함께 영향을 미치기 때문에 모든 영역을 통합적으로 관리할 수 있는 농업자원의 효과적인 이용 및 관리를 위한 법률 제정도 검토되어야 할 것이다. 이밖에도 물 절약을 관리할 수 있는 법적 장치로 농업용수의 절약 및 재활용에 관한 법률 제정도 필요하다.

3.2.5. 인력양성 및 교육 분야

농업분야 기후변화 대응 인력양성 분야에서는 적응대책 전문 인력 육성과 기후변화 적응 선도농업인 육성을 위한 교육 프로그램을 운용해야 한다. 농촌현장에서의 기후변화 대응은 시군 농업기술센터의 지도, 작목반장 또는 선도 농업인 등을 통해 이루어지고 있으므로 이들 기관과 핵심적인 지도자에 대한 체계적인 교육이 필요하다.

성공적인 기후변화 대응을 위한 공감대 형성과 인식제고를 위해서는 효과적인 교육 프로그램 개발과 상당한 예산투입이 필요하다. 호주의 기후변화 조정프로그램(Climatic Change Adjustment Program)을 벤치마킹하여 일정한 자격시험을 통과한 사람에게 교육지원금을 보조하고, 국가 인증을 받은 교육기관 혹은 단체에서 교육을 받게 함으로써 농업 기상정보시스템 활용 및 농작물재해보험과 위험관리 등에 대한 농가 인식을 제고할 필요가 있다. 특히 필지별 토양전자지도와 전자기후도의 활용에 대한 교육을 통해 농가 스스로 자신의 지역에 적합한 작목을 선정하거나, 재난에 대비하도록 하는 등 기후변화에 적응하도록 돕는다.

농업인이 현장에서 적용할 수 있도록 지역·품목별 기후변화 영향분석 연구결과를 바탕으로 한 현재와 미래의 품목별 적응대책 매뉴얼을 개발하여 보급함으로써 기후변화의 부정적 영향을 최소화시킬 필요가 있다. 기후변화 영향 및 취약성 평가를 포함하여 보다 정확한 기상정보, 기상재해관련 정보를 제공하는 시스템을 구축함으로써 농업인이 사전적으로 기후변화의 영향에 대응할 수 있도록 한다. 또, 새로운 품종 및 난지작물 등의 재배기술보급을 위한 농가교육을 확대하고, 새로운 재배기술에 대한 적응력을 높이기 위해 우수농가, 외국의 선진사례 등을 견학할 수 있는 프로그램을 개발하여 추진할 필요가 있다.

3.2.6. 모니터링 분야

농업분야 기후변화 적응을 위한 모니터링 분야는 적응방안에 대한 전문

가 우선순위 평가에서 단기의 경우 16위, 중장기의 경우 12위로 우선순위가 높지는 않으나 기술개발과 취약성 평가를 위해서는 중요한 분야이다. 기후변화에 사전적·능동적으로 대처하기 위해서는 과학적인 대응 방안인 기후변화 조기 탐지와 신뢰할만한 예측을 제공하는 조기경보시스템 구축이 필요하다. 조기경보시스템 구축을 위해서는 농경지의 환경 및 기상인자에 대한 모니터링 시스템 구축이 관건이다. 농업생태계 변화에 대한 모니터링 시스템 구축도 모니터링 분야의 중요한 과제이다. 또한 벼 재배단지의 수자원 부존량 변화에 대한 모니터링과 기후변화에 따른 작물의 생육과 생산성에 대한 모니터링도 중요하다.

기후변화의 시나리오를 기초로 한 세계 식량수급 중장기 예측모델 개발도 모니터링 분야에서 중요하다. 기후변화는 적응능력이 미약한 개발도상국의 농업생산에 부정적 영향을 미치게 됨으로써 국제곡물 시장에 과급영향을 미치게 된다. IPCC는 기온상승과 강수량이 상당히 변화하는 경우 농업기술이 발달하지 않은 국가의 농업생산에 상당한 악영향을 미칠 것으로 추정하였다. 또한 기후변화에 따른 고온과 가뭄, 한발 등의 기상이변 빈발과 수자원 감소 등으로 인해 지역적으로 식량생산이 큰 영향을 입게 될 것으로 전망하고 있다. 기온이 약 3℃ 상승하는 경우, 세계 전역의 작물생산은 상당히 부정적인 영향을 받게 될 것으로 분석하였다(IPCC, 2008). 온난화 심화에 따른 국가별·지역별 작물생산 감소는 곡물의 국제가격을 상승시키는 요인으로 작용한다.⁴¹

밀, 옥수수, 콩 등 해외의존도가 높은 곡물에 대해 주요 생산국의 당해연도 식부면적, 생육상황을 위성자료, 기상관측자료 등을 이용하여 추정하고, 중장기 날씨정보 및 전망자료를 기초로 한 생육모델링 기술을 적용하여 곡물생산량을 예측할 수 있다.

지구온난화에 대해 적절하게 대처하지 못할 경우 세계경제가 위축되어 식

⁴¹ 기후변화로 2025년경 국제곡물 가격은 생산량과 수요량 변화에 따라 크게 변할 것으로 예상된다. IPCC의 시나리오를 기초로 한 곡물가격 분석에 따르면 2025년 시점에 쌀의 국제가격은 23%, 소맥은 79% 상승할 것으로 예측하고 있다(大賀圭治., 2008, p.5).

량수요도 축소될 가능성이 있는 것으로 분석된다. 이와 같이 지구온난화는 기온과 강수, 일조 등 기상조건에 결정적으로 의존하는 식량생산에 중대한 영향을 주며, 세계식량수급에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 기상 여건 변화를 고려한 세계 식량수급 증장기 예측모델이 개발된다면 증장기 국내 식량수급 예측의 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

3.2.7. 농가적용 기술·경영 분야

농가단위에서의 기후변화 적응전략을 도출하기 위해서는 지역·품목별 기후변화 영향분석이 이루어져야 하고, 기후변화 영향에 대응할 수 있는 기술개발 및 적응전략이 필요하다. 특히 지역별 농업시스템 특징에 맞는 차별화된 적응 전략이 도출되도록 심층적인 연구가 이루어져야 한다.

기후변화 적응을 위한 농가가 적용할 수 있는 기술과 경영분야의 핵심과 제로는 생산기술관리, 토양관리, 용수관리, 농가재정관리 등으로 나누어 살펴볼 수 있다.

농가적용 기술·경영 분야의 적응방안 전문가 우선순위 조사결과에 따르면, 단기에는 생산기술 분야가 5위, 용수관리 분야 8위로 분석된 반면, 중장기에는 생산기술관리 4위, 용수관리 5위 등으로 나타났다. 생산기술 분야에서 농가가 실제로 실천할 수 있는 기술로는 작물 성장속도 조절, 온실 경작, 농약과 잡초의 조절, 병해 예방, 작물 유형의 다각화, 이식 일자 등의 조절, 적당한 기후로의 재배적지 전환 등이 있다. 농가단위에 적용할 수 있는 품목별 대책은 일본의 경우 주요사업 지침에 상세하게 잘 제시하고 있다. 이를 기초로 주요 품목별 기후변화 적응대책을 제시해 본다<표 7-11>.

토양관리 분야의 세부 프로그램으로 토양침식 방지를 쉽게 하기 위한 밭의 세분화, 토양침식 방지를 위한 경작 회피 및 주변식생관리, 경작체계의 변경(윤작, 간작) 및 다양화를 위한 기술 채택을 들 수 있다.

용수관리 분야의 실행프로그램으로는 스프링클러 관개, 적하관개, 파이프 도랑 수로 이용, 물이용 효율 제고를 위한 관개 스케줄 작성 설비 이용, 농가단위 저수시설 설치 등을 들 수 있다.

표 7-11. 주요 품목별 기후변화 적응대책

품 목	기 후	영 향	적 응 대 책
벼	기상재해	침관수	▪ 재해위험지구 지정, 내병성 품종 선택, 시비량 조절
		풍해	▪ 재배시기 조절, 내풍성 품종의 선별, 방풍시설설치
		도복	▪ 내도복성이 강한 품종 선택, 적정량의 비료 적기 사용, 물 관리와 도복 경감제 처리
		수발아	▪ 휴면성이 강한 품종의 선택, 성장조절제 처리
	고온장해	백미숙립	▪ 고온내성 조생품종 육성
		동할립	▪ 이앙기 연기, 적정 난알수 억제·유도, 재배밀도 조정
		고온불입	▪ 질소, 인산, 칼리 3요소의 균형시비
병해충	방귀벌레류	▪ 성페로몬트랩에 의한 발생 예측	
과실류	고온해	폭염피해	▪ 7-16일간 강우량이 30mm 이하일 때는 일정 간격 정해 점적관수
	병해충	-	▪ 정밀 예찰 우선
사과	작색기 고온	작색불량(과육연화, 저장성 저하)	▪ 쓰기루, 후지 등에서 작색 우량 계통 선택: 반사 필름 등에 의한 수광 개선 기술
		복숭아	성숙기 고온
포도	작색기 고온	작색불량	▪ ABA(abscisic acid) 처리와 환장박피 처리기술: 적정 착과 철지
감귤류	작색기 고온	작색불량 및 부피과	▪ 반사 멀칭 자재에 의한 수광 개선 기술 ▪ 방장착과 등에 의한 큰 열매 억제 ▪ 식물조절제에 의한 부피과 경감 기술
		여름 고온	생리적 낙과
	병해충	감귤그린병	▪ LAMP법을 이용한 신속진단법: 매개충 방제
야채 화훼	기후변동	-	▪ 적지·적품종 선정의사 결정 지원시스템
	서열대책	-	▪ 분무식냉방 온도 상승 억제 기술 ▪ 호박의 내서성 대목 선정 ▪ 가지의 단위결실 품종 육성 ▪ 토마토의 고온착과불량 경감기술
	병해충	담배거세미나방	▪ 방충망, 성페로몬트랩
두류	하·추 고온	한발해	▪ 지하수위 조절시스템 개발

자료: 日本 農林水産省(2008), 농촌진흥청(2007b), 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터(2009)의 자료를 종합하여 작성한 것임.

농가재정 분야에서 농가단위로 적용할 수 있는 프로그램으로는 소득감소 위험회피를 위한 작물보험 활용, 소득 안정화 프로그램에 참여, 작물다각화 등을 통한 농가소득원 다양화, 농산물 선물시장 참여 등을 들 수 있다. 개별 농가는 농가별 여건을 고려하여 적절한 프로그램을 선택할 수 있다. 특히 농가가 새로운 작목을 도입하는 경우 기술적으로 안정될 때까지 수량감소와 소득감소가 우려되기 때문에 지역별 여건이 고려된 소득안정화 프로그램이 마련되어야 한다. 또한 신규작목이 시장에 출하되는 경우 홍보와 판로확보 등도 중요한 과제이므로 유통분야의 대응 프로그램도 수립되어야 한다. 기술적·정책적 측면에서 농가가 기후변화에 적절하게 대응할 수 있도록 사용자 중심의 매뉴얼 보급은 단기는 물론이고 중장기적으로 중요한 과제이다.

농가적용 기술·경영분야의 세부과제는 시행에 앞서 농업인의 의사결정 분석이 반드시 실시되어야 한다. 특히 추가적인 비용을 유발하는 스프링클러 관개, 적하관개, 파이프 도랑 수로 이용, 농가단위 저수시설 설치 등의 용수관리의 경우 농업인의 채택여부를 예측하지 않고 사업을 시행할 경우 기반시설의 낭비를 초래할 수 있기 때문이다.

3.2.8. 기후변화 적응을 위한 통합관리시스템 구축

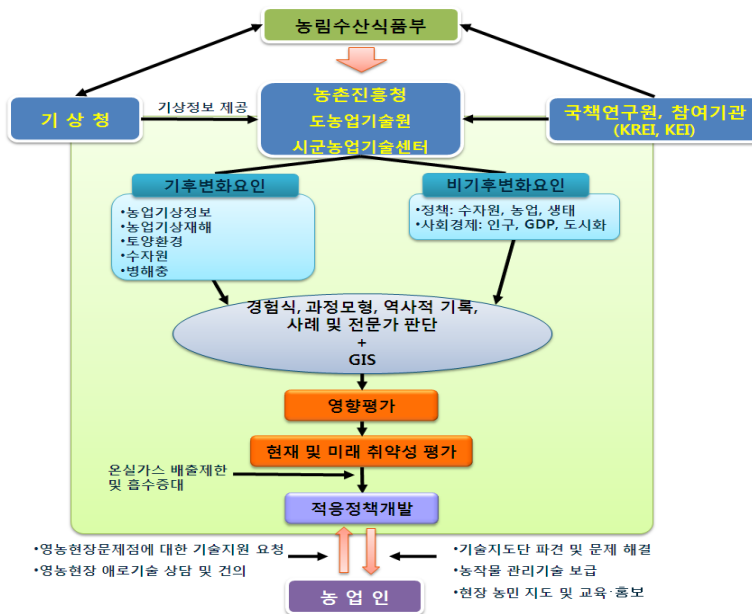
농업분야의 기후변화 적응과 관련하여 실제로 현장에서 적응방안을 실천하는 주체는 농업인이므로 현장 기술지원과 교육이 매우 중요하다. 교육이 제대로 이루어지기 위해서는 기후요인과 비기후요인을 고려한 지역별·품목별 기후변화 영향평가와 현재와 미래의 취약성 평가가 이루어져야 한다. 아울러 기후변화 적응방안에 대한 농가의 수용능력을 고려한 적응정책 프로그램 개발이 이루어져야 한다.

통합관리시스템이 구축되기 위해서는 농림수산식품부를 비롯한 유관기관의 전담인력 확보가 중요한 과제이며, 또한 관련주체별 역할 분담이 제대로 이루어질 수 있는 별도의 기관설립도 중장기적으로 검토해야 할 과제이다. 환경분야의 경우 ‘국가 기후변화적응 종합계획’에 따라 2009년 7월 환경부의 비법정조직으로 한국환경정책평가연구원에 ‘국가기후변화적응센

터’가 설치되어 기후적응 업무를 총괄하고 있다. 국가기후변화적응센터에는 학제간 연구와 협력이 필요하므로 기상청, 국립환경과학원, 국립농업과학원, 국립산림과학원, 국립수산물품질관리원 등 17개 기관이 협력기관으로 참여하고 있다.

농업분야의 기후변화 적응 실천전략이 효과적으로 집행되기 위해서는 국립수산물품질관리부를 중심으로 유관기관과 농업인 등 관련주체의 적절한 역할분담이 이루어질 수 있도록 통합관리시스템이 구축되어야 한다. 이를 위해서는 국립수산물품질관리부(녹색미래전략과)가 기후변화 적응관련 총괄기능을 담당하며, 기상청은 기후변화 모니터링 및 장기예측 등의 정보를 제공하고, 국책연구원인 한국농촌경제연구원(KREI)과 한국환경정책평가연구원(KEI)은 적응정책 수단의 인벤토리와 수단별 경제적·환경적 효과분석에 관한 정보를 제공토록 한다. 기후변화 적응관련 핵심은 기술개발과 보급에 있으므로 농촌진흥청과 시도농업기술원 및 농업기술센터의 유기적인 협력 관계가 이루어지도록 해야 한다<그림 7-4>.

그림 7-4. 농업분야 기후변화 적응 통합시스템 구축(안)



지구온난화의 영향으로 지난 100년간 평균기온이 1.5℃(겨울 1.9℃, 여름 0.3℃) 상승하였고 겨울이 짧아지고 여름이 길어지며 봄꽃 개화시기가 빨라진 것으로 분석되었다. 이에 따라 농작물 재배지대가 북상하고 월동 병해충 피해가 증가하는 등 농업생산성 저하 현상이 발생하고 있다. 기후 변화에 따른 농업부문의 영향에 관한 과학적인 진단과 평가는 미래농업의 비전 및 농정 방향 설정을 위해 매우 중요하다. 특히 장기적인 지역농업발전계획과 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 진행되었으며 2008년에는 기후변화 실태분석과 전망, 농산물의 생산추세 분석, 기후변화 관련 농업생산 진단, 주요국의 농업부문 기후변화 대응방안 사례 검토, 기후변화가 농업경제에 미치는 파급영향을 분석하였다. 2009년에는 기후변화 파급영향을 종합적으로 분석하고 주요 농산물의 주산지 변동과 농가의 적응 수용력 분석 및 적응대책의 우선순위 평가를 기초로 단계별 적응 프로그램 등 농업부문 기후변화 대응 마스터플랜을 제시하였다.

본 보고서는 1차연도와 2차연도 연구의 종합본으로 구성은 다음과 같다. 1장 서론에서는 연구필요성과 선행연구, 연구방법 등을 제시하였다. 2장에서는 국내외 기후변화의 실태와 전망을 기술하였다. 3장에서는 농업부문의 기후변화 대응 접근방식, 영향분석의 방법론, 기후변화 적응의 접근방법

등 이론적 접근을 다루었다. 4장에서는 기후변화가 농업생태계에 미치는 영향, 기상요소의 영향력, 적응수단의 작물재배 영향, 주요 농산물의 주산지 변동, 농업부문의 경제적 영향 등 기후변화에 따른 종합적인 영향분석을 다루었다. 5장에서는 농업인을 대상으로 한 설문조사를 기초로 기후변화에 대한 인지도와 적응방안에 대한 태도, 위험 및 불확실성하 농업인의 의사결정 분석 등을 제시하였다. 6장에서는 일본, EU, 영국, 호주, 중국 등 주요국의 기후변화에 따른 농업부문 영향과 대응 사례를 검토하였다. 7장에서는 기후변화에 따른 농업부문의 대응전략 수립과 관련 기본방향, 적응전략의 우선순위 결정, 기후변화 적응의 실천전략 등을 제시하였다. 끝으로 8장에서는 요약과 결론을 제시하였다.

이 연구의 주요 성과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 국립기상연구소에 따르면 과거 30년(1971~2000년 평균치) 대비 평균기온의 경우 2020년 1.5℃, 2050년 3.0℃, 2080년 5.0℃ 상승할 것으로 전망되고 있다. 강수량의 경우 2020년 5%, 2050년 7%, 2080년 15% 증가하는 것으로 전망되었다.

둘째, 온난화에 따른 기온상승으로 재배적지가 이동하고 새로운 병해충이 발생하여 이로 인한 작목전환과 농작물 피해 확산이 우려되고 있다. 특히 갈색여치에 의한 사과, 복숭아, 포도, 콩 등의 피해가 증가하고, 수도작의 경우 줄무늬잎마름병의 피해지역이 북상하고 전국으로 확대되고 있는 것으로 나타났다.

셋째, 재해종류별 농작물 재해에 영향을 미치는 기후변수들을 분석한 결과, 연 평균기온이 상승함에 따라 태풍, 돌풍, 설해에 의한 피해는 증가하고, 기온극차가 커짐에 따라 해일, 돌풍, 폭풍, 설해에 의한 피해가 증가하는 것으로 나타났다. 또, 강수량이 증가함에 따라 호우피해가 증가하며, 우박·낙뢰, 돌풍에 의한 피해는 감소하였다. 강수집중도가 높아짐에 따라 호우, 태풍에 의한 피해가 증가하는 것으로 분석되었다.

넷째, 기상요인의 영향력을 알아보기 위해 미곡 농가단수의 2002~2003년과 2006~2007년 정체의 요인별 기여도를 분석한 결과, 2002~2003년의 단수 정체요인은 기술요인 23.6%, 기상요인 76.4%로 나타났고, 2006~

2007년은 기술요인 33.5%, 기상요인 66.5%로 나타나 기상요인이 매우 크게 나타났다. 또, 미국 단수변동의 요인별 추이를 보면, 보급요인의 기여율은 지속적으로 감소하고 재배요인은 정체된 반면 기상요인은 증가하는 추세를 나타내었다.

다섯째, 기후변화 적응수단의 영향력을 알아보기 위해 작물 시뮬레이션 분석을 시도한 결과, 벼 생태형, 질소시비량 및 관수조건에 관계없이 재배시기를 고정하였을 경우 온난화가 진전될수록 쌀 수량은 감소하였으나, 재배시기를 조정할 경우 오히려 쌀 수량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 농업분야의 경우 기후변화 적응을 위한 생산기술을 개발함으로써 위험을 최소화할 수 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

여섯째, 기후변화로 인한 농작물의 주산지 이동을 사과, 복숭아, 포도, 한라봉 등 영년생 작물을 통해 살펴본 결과, 대부분 재배적지가 북상하고 있으며, 복숭아나 포도 등은 재배적지가 전국으로 확대되는 것으로 나타났다. 또한 열대작물의 경우 현재 제주도에서 일부 작목이 재배되고 대부분이 적응실험 단계에 있으나 수년 내 상당한 열대과일 품목이 제주도에서 재배될 수 있는 것으로 분석되었다.

일곱째, 기후변화에 따른 농업부문의 생산성 분석을 위해 쌀, 배추, 무, 사과 네 작목을 대상으로 커널 회귀분석(kernel regression)을 적용한 결과, 쌀의 경우 기온과 강수량 등 기후인자 변화의 영향으로 재배기간의 평균기온이 19℃ 이하일 때 1℃의 기온상승은 10a당 수량을 약 24.4kg 증가하나, 기온이 20℃ 이상일 때 10a당 수량이 6.2kg 정도 감소하는 것으로 분석되었다. 배추와 무 및 사과 등은 품목별·지역별로 생산성에 미치는 영향이 다른 것으로 나타났다.

여덟째, 기후변화에 따른 농가자산에 미치는 영향을 알아보기 위해 리카디언 모형(Ricardian Model)을 적용하여 분석한 결과, 연평균 기온(12.4℃)이 1℃ 상승하면 모형에 따라 ha당 농지가격이 1,455~1,924만원 하락하는 것으로 추정되었다. 한편 강수량 변화 시 연간 월평균 110.8mm에서 1mm 증가한다면, 즉, 연간 12mm 증가할 경우, ha당 농지가격은 33~36만원 상승하는 것으로 추정되었다.

아홉째, 기후변화에 대한 농업인의 인지도는 높은 것으로 나타났으며, 대체로 기후변화에 따른 기상이변과 병해충 발생 증가를 체감하는 것으로 조사되었다. 기후변화 대응책에 대한 농업인들의 관심이 높고, 향후 농가 단위 적응방안에 대한 참여의사도 높으나 적응대책에 대한 기술과 지식 부족, 정보 부족, 노동력 부족 등의 장애요인이 있는 것으로 나타났다.

열째, 기후변화에 따른 적응수단 분석을 위해 기대효용 모형을 이용하여 기후변화에 적응 수단의 적용 유무에 따른 기대수익의 차이를 추정한 결과, 2011~2040년 기후시나리오를 적용하였을 경우 광주 79만원, 밀양 120만원, 전주 140만원 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 직접적이지는 않지만 기대효용 분석결과를 이용하여 농민들의 적응방법 적용확률을 계산하면 약 65% 정도가 채택할 것으로 예측되었다. 이는 농업인들이 기후변화 적응에 상당한 관심과 적절한 기술에 대한 수용력이 높음을 시사하고 있다.

끝으로, 농업부문의 적응수단에 대한 우선순위 평가결과 단기와 중장기 모두 1위 품종개발, 2위 농업용수관리, 3위 생산기술개발 등으로 기술개발과 기반시설관리가 중요한 적응수단으로 평가되었다.

그동안 농업부문의 기후변화 대책 수립과 관련하여 주로 온실가스 완화 대책에 초점을 맞추어 왔으나 온난화의 불가피성과 특히 기후의존적인 농업의 특수성을 고려하여 적응대책에 대한 보다 많은 관심과 정책적 지원이 이루어져야 한다. 특히 농업 분야의 기후변화 대책은 위험을 최소화하고 기회로 활용하기 위한 보다 적극적인 인식전환과 공감대 확산이 필요하다. 이를 위해서는 기후변화 대응 관련 농업인, 공무원, 유관기관 담당자 등을 대상으로 한 적절한 교육프로그램을 개발하여 운용하도록 해야 한다. 그동안 농업분야의 적응대책은 주로 연구개발 분야에 한정되었으나, 농업인을 대상으로 한 기술보급, 적응 매뉴얼 작성 보급, 교육, 적절한 인센티브 프로그램 개발 등 보다 적극적인 정책 프로그램 개발이 시급하다. 농업인 설문조사 결과에서 나타난 바와 같이 농업인들이 기후변화 적응에 대한 관심이 많고 또한 탄소감축 프로그램 참여의지도 높으므로 농업인이 현장에서 수용할 수 있는 기술개발, 인력양성, 시설관리, 농가적용 기술 및 경영 등

의 맞춤형 프로그램 개발이 필요하다.

그동안 농업생산기반 정비는 식량자급을 위한 쌀 농업을 위주로 가뭄과 홍수에 대비함으로써 안정적인 영농을 할 수 있도록 수자원을 확보하고 홍수를 방지하며, 기계화영농이 가능하도록 농경지를 정비하는데 중점을 두어왔다. 이제는 기후변화에 따른 국지적 집중호우와 태풍 등 기상이상에 대비하여 농업용수와 시설물 등의 관리에 있어서 보다 체계적인 대책이 마련되어 추진되어야 한다.

농업분야의 적응전략이 실효성 있게 추진되기 위해서는 정부, 농업인, 연구자, 유관기관 관계자 등 관련주체별 적절한 역할분담이 중요하며, 기후변화 적응전략을 종합적으로 기획하고 추진할 수 있는 통합관리시스템 구축이 필요하다.

‘저탄소 녹색성장’이 미래 국가발전의 핵심전략으로 발표되어 관련부처별로 구체적인 정책프로그램을 마련하여 추진 중에 있다. 농업분야의 경우 녹색성장의 역량 강화를 위해서는 기후변화 완화대책도 중요하나 기후변화 적응을 위한 종합대책 마련이 시급하다. 이 연구는 농업분야 기후변화적응 마스터플랜 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 주산지 변동과 전망 및 농업인의 적응대책에 대한 반응분석 결과는 지역별 중장기 농업발전 및 영농계획 수립의 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략에 관한 체계적인 연구를 위해서는 농학·생태학·농공학·수문학·기상학·농업경제학 등 학제간의 공동연구가 중요하다. 보다 신뢰성 있는 기후변화 영향분석이 이루어지기 위해서는 기후변화 시나리오별 예측결과와 농업적 특성을 연계한 시뮬레이션 분석과 사회경제적 요인을 연계한 경제적 분석 등 통합적 모형개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 아울러 향후 연구에서는 농업분야 적응 수단별 경제적·정책적 효과에 관한 보다 구체적인 분석이 이루어져야 할 것이다.

부록 1

농업인 설문조사표

「농업부문 기후변화 대응 농업인 조사」

안녕하십니까?

한국농촌경제연구원은 정부 출연 연구기관으로 농업분야의 연구사업을 수행하고 있습니다. 금번 저희 연구원에서는 기후변화가 농업부문에 미치는 영향 및 대책에 관한 연구를 수행하고 있습니다. 이 연구의 목적은 기후변화가 농업부문에 미치는 영향 및 문제점을 파악하고 향후 이에 관한 농업부문의 대책 및 정책 제안에 있습니다.

본 설문조사는 기후변화가 농업부문에 미치는 영향을 알아보고 농업부문의 피해를 최소화하는 장기적인 대책을 마련하는데 필요한 농업인의 의견을 수렴하고자 실시하는 것입니다. 답변해 주시는 내용은 연구자료 이외에 다른 용도로 사용되지 않을 것이며, 개인에 관한 사항은 일체 공개되지 않음을 약속드립니다.

바쁘시더라도 설문조사에 많은 협조를 부탁드립니다.

감사합니다.

조사기관: 한국농촌경제연구원 농식품정책연구본부

주소: (우)130-710, 서울시 동대문구 회기동 4-102

조사관련 문의: 김창길 팀장 02-3299-4265, changgil@krei.re.kr

장정경 연구원 02-3299-4340, jjk@krei.re.kr

현지통신원 번호

※ 응답자 정보

응답자 성명		성 별	①남 ②여
나 이	세	전화번호	
주요 재배작물		농사경력	년
주 소			
지역형태	①평야지대 ②산간지대 ③준산간지대 ④도시근교		
학 력	①초졸 이하 ②중졸 ③고졸 ④대졸 ⑤대학원 졸		
영농승계자 유무	①있다 ②없다	향후 영농지속 년수	년

◎ 기후변화 관련 일반사항 ◎

1. 지구온난화와 같은 기후변화에 대해 어느 정도 알고 계십니까?

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

2. 귀하께서는 지난 20년 동안 기후변화로 인해 다음과 같은 변화가 어느 정도 있다고 생각하십니까?

평균 온도의 상승	①매우 그렇다	②그렇다	③보통이다	④아니다	⑤전혀 아니다
평균 강수량의 변화	①크게 증가함	②증가함	③변화 없음	④감소함	⑤크게 감소함
비오는 시기의 변화	①아주 빨라짐	②빨라짐	③변화 없음	④느려짐	⑤아주 느려짐
평균 강설량의 변화	①크게 증가함	②증가함	③변화 없음	④감소함	⑤크게 감소함
가뭄의 횟수	①크게 증가함	②증가함	③변화 없음	④감소함	⑤크게 감소함
홍수의 횟수	①크게 증가함	②증가함	③변화 없음	④감소함	⑤크게 감소함
병해충 발생 횟수	①크게 증가함	②증가함	③변화 없음	④감소함	⑤크게 감소함

3. 농업생산에 영향을 줄 수 있는 각 요인들이 귀하의 농업생산에 어느 정도 영향을 미친다고 생각하십니까?

합계	기상 요인	기술 요인 (재배기술 등)	가격 요인 (농자재 및 농산물)	농업 기반시설 요인 (토지, 수리시설 등)	기타 요인 ()
예시	60 %	15 %	15 %	10 %	없음 %
100%	%	%	%	%	%

4. 기후변화가 귀하의 농업생산에 어떠한 영향을 미친다고 생각하십니까?

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

5. 기후변화가 귀하의 농업생산에 영향을 주었다면 어떤 부분입니까? (복수응답 가능)

- ① 품목의 재배기간이 짧아짐
- ② 착색이 불량해짐
- ③ 단수 증가로 인해 생산량이 증가함
- ④ 단수 감소로 인해 생산량이 감소함
- ⑤ 벼 또는 맥류의 품질이 좋아짐
- ⑥ 벼 또는 맥류의 품질이 나빠짐
- ⑦ 채소류의 품질이 좋아짐
- ⑧ 채소류의 품질이 나빠짐
- ⑨ 과실의 당도가 높아짐
- ⑩ 과실의 당도가 낮아짐
- ⑪ 병해충 피해가 증가함
- ⑫ 병해충 피해가 감소함
- ⑬ 변화없음
- ⑭ 기타()

◎ 기후변화 대응 ◎

6. 기후변화로 인해 귀하의 농업생산이 긍정적 혹은 부정적인 영향을 받고 있다면 귀하께서는 기후변화에 대응하기 위한 노력을 하고 계십니까?

그렇다	아니다
①	②
☞ 6-1 문항으로	

6-1. 아니라고 응답하셨으면 향후 기후변화에 대응하기 위해 노력하시겠습니까?

그렇다	아니다
①	②
☞ 6-2 문항으로	

6-2. 향후에도 기후변화에 대응하실 의사가 없으시다면 그 이유는 무엇입니까?

- ① 기후변화에 대응한다고 해도 농업생산에 큰 변화는 없을 것 같아서
- ② 기후변화의 영향은 통제 불가능하다고 생각하기 때문에
- ③ 기후변화는 오랜 시간에 걸쳐 발생하기 때문에 당장 농업생산에는 지장이 없기 때문에
- ④ 나이가 많아 향후 영농활동을 지속할 기간이 짧을 것 같아서
- ⑤ 기타()

7. 기후변화에 적응하는데 실질적으로 가장 큰 어려움은 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 적절한 적응대책에 대한 지식과 기술의 부족
- ② 기후변화에 대한 신뢰할 수 있는 정보의 부족
- ③ 기후변화에 대응하기 위한 충분한 자금의 부족
- ④ 농업용수 확보하기가 어려움
- ⑤ 교통이 발달하지 않아 시장 접근성이 부족
- ⑥ 기타()
- ⑦ 적응 장벽이 없음

8. 농가에서 기후변화에 대응하기 위한 다음과 같은 방안들이 있습니다. 귀하께서는 다음 중 참여하실 부분에 √표하여 주십시오. 하지 않으시겠다면 해당하는 이유에 √표하여 주십시오.

기후변화에 대응할 수 있는 방법	실행 여부		하지 않는다면 이유			
	O	X	①자금 부족	②정보 부족	③노동 력부족	④기타
1. 현재 재배하고 있는 작물 품종의 변경						
2. 작물 파종 및 수확시기의 조절						
3. 농약 및 잡초의 조절 사용, 병해 예방						
4. 농지 개량						
5. 농작물 재해보험 가입						
6. 변화된 기후에 적절한 재배 작목으로 변경						
7. 소득 원천을 다양화하기 위해 여러 작물 재배						
8. 토양 침식 억제를 위한 밭의 세분화						
9. 과도한 경작 회피						
10. 차광을 위한 나무심기 등 주변 식생관리						
11. 경종에서 축산으로 변경						
12. 농외 소득을 벌기 위한 직업						
13. 토지의 임대						
14. 도시로 이주						

15. 귀하께서 기후변화에 대응하는 방법을 적용했을 경우의 질문입니다. 그렇지 않은 경우에 비해 헥타르당 연간 예상수익이 약 80만원(2008년 쌀재배 농가 소득의 13% 해당)정도 더 늘어난다고 가정할 경우, 기후변화에 대응하기 위한 노력에 연간 10만 원 정도의 비용이 소요될 것으로 예상된다면 귀하께서는 대응방법을 적용하시겠습니까?

그렇다 ①	아니다 ②
☞ 15-1 문항으로	☞ 15-2 문항으로

15-1. 그렇다면 비용이 20만 원일 경우 귀하께서는 대응에 참여하시겠습니까?

그렇다 ①	아니다 ②
----------	----------

15-2. 그렇다면 비용이 5만 원일 경우 귀하께서는 대응에 참여하시겠습니까?

그렇다 ①	아니다 ②
----------	----------

16. 귀하께서는 농업부문의 기후변화 대응을 위해서는 누구의 역할이 가장 중요하다고 생각하십니까?

- ① 농업인 ② 정부 및 유관 기관 ③ 학계 및 연구계
- ④ 언론 ⑤ 기타()

17. 향후 기후변화 관련 전문성 개발을 위한 학습방법으로 어떤 것이 가장 적절하다고 생각하십니까?

- ① 농업기술센터 등을 통한 영농교육
- ② 연구회 조직 등을 통한 자체적인 학습활동
- ③ 영농 관련한 각종 전문가에 의한 자문(컨설팅)
- ④ 개인적으로 영농상의 시행착오를 통해 배우거나 서적 구독, 이웃농가 등을 통해 학습
- ⑤ 기타()

18. 귀하께서는 농작물재해보험 또는 풍수해보험에 가입하셨습니다?

	예	아니오
농작물재해보험	①	②
풍수해보험	①	②

19. 귀하께서 현재 농작물재해보험에 가입하셨다면 어떤 품목이며 귀하께서 직접 납입하신 보험료는 얼마입니까?

가입품목	재배면적	직접 납입 보험료
	3.3m ²	원
	3.3m ²	원
	3.3m ²	원

20. 현재 귀하께서 납부하고 계시는 농작물재해보험 및 풍수해보험의 보험료는 적정하다고 생각하십니까?

	매우 과다	과다	적정하다	과소	매우 과소
농작물재해보험	①	②	③	④	⑤
풍수해보험	①	②	③	④	⑤

21. 농작물재해보험 및 풍수해보험 가입하시기에 적당하다고 생각되는 금액을 적어주십시오.

재배품목	재배면적	300평당 소득금액 (소득=수입-경영비)	소득금액 중 보험료로 지불할 의사가 있는 금액
예) 사과	300 평	312만원 (농촌진흥청 2007년 표준소득 기준)	5만원
	평	원	원
	평	원	원
	평	원	원

22. 향후 기후변화로 인한 피해에 대비하기 위해 농작물재해보험 및 풍수해보험에 가입하실 의향이 있으십니까?

	매우 그렇다	그렇다	보통이다	아니다	전혀 아니다
농작물재해보험	①	②	③	④	⑤
풍수해보험	①	②	③	④	⑤

23. 기후변화에 대응하기 위한 방법으로 소득원천의 다양화를 위한 작물유형의 다각화가 있습니다. 귀하께서는 현재 여러 종류의 작물을 재배하고 계십니까?

그렇다 ①	아니다 ② ☞ 23-1 문항으로
----------	----------------------

23-1. 아니라면 향후 기후변화에 대비해 소득원천을 다양화하기 위해 작물유형을 다각화하시겠습니까?

그렇다 ①	아니다 ②
----------	----------

24. 기후변화 시 새로운 기후에 적합한 새로운 품종이나 난지작물 등을 재배할 의향이 있으십니까?

매우 그렇다 ①	그렇다 ②	보통이다 ③	아니다 ④	매우 아니다 ⑤
☞ 24-1 문항으로		☞ 24-2 문항으로		

24-1. 재배할 의향이 있으시다면 향후 가장 요구되는 사항은 무엇입니까?

- ① 새로운 작물의 재배기술을 지도
- ② 전환기 동안 소득감소에 대한 보전 등 경제적 보상 프로그램
- ③ 새로운 작물에 대한 소비자 교육 및 홍보
- ④ 새로운 작물의 안정적인 판로확보
- ⑤ 기타()

24-2. 재배하실 의향이 없으시다면 그 이유는 무엇입니까?

--

25. 기후변화에 대응하기 위해 새롭게 도입하고자 하는 품목은 어떤 것이며 그 이유는 무엇입니까?(기후변화 시 작목의 변경 고려의사가 있을 경우도 답해주시길 바랍니다)

현재 재배하고 있는 품목	
기후변화 시 신규 도입품목	
신규품목 선택 이유	

26. 귀하는 향후 농업생산을 하면서 탄소배출을 줄이기 위한 노력에 동참하실 의향이 있으십니까?

매우 그렇다 ①	그렇다 ②	보통이다 ③	아니다 ④	매우 아니다 ⑤
-------------	----------	-----------	----------	-------------

27. 탄소배출을 줄이는 방법의 하나로 무경운 재배가 있습니다. 현재 무경운으로 농업생산을 하고 계십니까?

그렇다 ①	아니다 ② ☐ 27-1, 27-2 문항으로
----------	----------------------------

27-1. 아니라면 향후 무경운 농법으로 농업생산을하실 의향이 있으십니까?

매우 그렇다 ①	그렇다 ②	보통이다 ③	아니다 ④	매우 아니다 ⑤
-------------	----------	-----------	----------	-------------

27-2. 무경운 농법으로 농업생산을 하려면 정책적으로 어떤 부분이 뒷받침되어야 한다고 생각하십니까?

--

◎ 건의사항

--

※ 끝까지 성의를 다해 설문자료를 작성해 주셔서 감사합니다.

부록 2

전문가 AHP 설문조사표

「농업부문 기후변화 대응 전문가 조사」

우리 연구원에서는 ‘기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략’에 관한 연구과제를 수행하기 위하여 각계 전문가(또는 정책담당자)를 대상으로 미래의 기후변화에 따른 농업부문 대응전략에 대해 조사하고자 합니다. 본 연구결과는 향후 농업부문의 기후변화 적응대책 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 하는 중요한 조사이므로 적극 협조해주시길 부탁드립니다. 조사표에 관한 문의사항은 한국농촌경제연구원 축산·환경팀으로 연락주시기 바랍니다.

조사기관: 한국농촌경제연구원 농식품정책연구본부

주소: (우)130-710, 서울시 동대문구 회기동 4-102

조사관련 문의: 김창길 팀장 02-3299-4265, changgil@krei.re.kr

장정경 연구원 02-3299-4340, jjk@krei.re.kr

※ 응답자 정보

성명		전화번호	
이메일주소			
소속			

* 다음에 나열한 기후변화 적응방안들은 농업부문에서 기후변화에 적응할 수 있는 방안들입니다. 각각 방안들의 주요 내용은 다음과 같습니다.

- | |
|---|
| ① 품종 개발 : 새로운 기후에 적합한 품종의 개발, 새롭게 발생하는 외래종에 대한 연구 등 |
| ② 생산기술 개발 : 병해충 방제기술 개발, 변화하는 기후에 적합한 작목의 파종·수확시기 등 제시, 단수 증가와 같은 생산안정 기술개발, 난지작물의 내륙지역 적응성 검증 등 |
| ③ 기반구축 기술개발 : 농경지 온실가스 감축기술 개발, 물이용 효율 최적화 설비 개발 등 |
| ④ 자원관리 혁신 : 농업의 취약성에 관한 연구, 농가수준의 자원관리 혁신 개발 등 |
| ⑤ 기후정보 시스템 : 장기예보시스템 등 기후관련 통계 및 정보제공, 일별·계절별 예보 제공을 위한 조기경보시스템 개발, 농업지대의 작물 생육시기별 국지 기상예측정보 개발 등 |
| ⑥ 농경지 관리 : 논외의 건답직파 및 간단관개 등을 통한 메탄배출 감소, 무경운 농법확대 등 |
| ⑦ 농업용수 관리 : 농업용수를 절약할 수 있는 기술 및 설비 개발, 지하수 보호 등 |
| ⑧ 농업기반시설 : 농작물시설의 현대화, 관개시설의 확대, 방풍·방열 방치 설치 등 |
| ⑨ 보조금 지급 : 저탄소 적응농업 실천시 저탄소직불금 지급, 고효율 관개시스템의 보조금 지급 등 |
| ⑩ 보험제도 확대 : 지역별·품목별 조건을 고려한 농업재해보험 실시, 농가소득의 위험을 줄이기 위한 개인보험 개발, 농업 기반시설 피해에 대한 보험의 재정보 및 개발 등 |
| ⑪ 자원관리 시스템 구축 : 물 재생 및 재활용에 관한 법률, 농작물 피해량 산정 및 지원 시스템 구축 |
| ⑫ 지역별 계획수립 : 기후변화로 작물의 주산지 이동에 대한 주산지 재편특별대책단 설치, 농업농촌 장기발전계획 수립, 지역별 적응계획 수립 등 |
| ⑬ 인력양성 : 기후변화 적응대책 전문인력 육성 등 |
| ⑭ 교육 : 기후변화 적응대책 매뉴얼·자료 등의 구축 및 보급, 신품종의 재배기술 교육, 농업 기상정보시스템의 운영 및 홍보를 통한 이용확대 등 |
| ⑮ 적응 및 취약성 평가 : 취약생물군 모니터링 및 보전대책, 농경지 환경 및 기상인지 모니터링시스템 구축, 작물의 생육 및 생산성 영향평가 등 |
| ⑯ 생산기술 관리 : 작물 재배시기 조절, 다른 작물의 재배, 기계의 이용 등 |
| ⑰ 토양 관리 : 토양침식 억제하기 위한 주변 식생관리, 등고선식 경작, 알칼리 토양의 개선 등 |
| ⑱ 물 관리 : 스프링클러 관개, 농가단위 저수지 설치, 물 이용 효율 높이는 설비사용 등 |
| ⑳ 농가재정 관리 : 작물보험의 활용, 농가소득원 다양화, 소득안정화 프로그램에 참여 등 |

2. 다음은 정책의 효율성을 기준으로 향후 필요한 여러 적응방안의 중요성을 평가하고 있습니다. 아래에 제시한 각각의 지원정책을 정책의 효율성 측면에서 평가하시고 귀하께서 생각하시는 중요 정도에 √표하여 주십시오.

(정책의 효율성은 기후변화에 적응하기 위한 방안의 비용 < 편익을 의미)

적용 방안		정책의 효율성 측면에서 적용 방안에 대한 평가				
		매우 중요	중요	보통	중요하지 않음	전혀 중요하지 않음
기술개발 (R&D)	① 품종개발					
	② 생산기술 개발					
	③ 기반구축 기술개발					
	④ 자원관리 혁신					
	⑤ 기후정보 시스템					
기반시설 관리	⑥ 농경지 관리					
	⑦ 농업용수 관리					
	⑧ 농업 시설 관리					
경제적 수단	⑨ 보조금 지급					
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대					
	⑪ 자원관리 시스템 구축					
	⑫ 지역별 계획수립					
홍보 교육	⑬ 인력양성					
	⑭ 교육					
모니터링	⑮ 적응 및 취약성 평가					
농가적용 기술·경영	⑯ 생산기술 관리					
	⑰ 토양 관리					
	⑱ 용수 관리					
	⑲ 농가재정 관리					

3. 다음은 정책의 효과성을 기준으로 향후 필요한 여러 적응방안의 중요성을 평가하고 있습니다. 아래에 제시한 각각의 지원정책을 정책의 효과성 측면에서 평가하시고 귀하께서 생각하시는 중요 정도에 √표하여 주십시오.

(정책의 효과성은 정책당국의 기후변화 적응방안의 목표달성 여부를 의미)

적응방안		정책의 효과성 측면에서 적응방안에 대한 평가				
		매우 중요	중요	보통	중요하지 않음	전혀 중요하지 않음
기술개발 (R&D)	① 품종개발					
	② 생산기술 개발					
	③ 기반구축 기술개발					
	④ 자원관리 혁신					
	⑤ 기후정보 시스템					
기반시설 관리	⑥ 농경지 관리					
	⑦ 농업용수 관리					
	⑧ 농업 시설 관리					
경제적 수단	⑨ 보조금 지급					
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대					
	⑪ 자원관리 시스템 구축					
	⑫ 지역별 계획수립					
홍보 교육	⑬ 인력양성					
	⑭ 교육					
모니터링	⑮ 적응 및 취약성 평가					
농가적용 기술·경영	⑯ 생산기술 관리					
	⑰ 토양 관리					
	⑱ 용수 관리					
	⑲ 농가재정 관리					

4. 다음은 정책의 시행 가능성을 기준으로 향후 필요한 여러 적응방안의 중요성을 평가하고 있습니다. 아래에 제시한 각각의 지원정책을 정책의 시행 가능성 측면에서 평가하시고 귀하께서 생각하시는 중요 정도에 √ 표하여 주십시오.

(정책의 시행 가능성은 정책당국이 적응정책을 실제로 시행할 수 있는지를 의미)

적응방안		정책의 시행 가능성 측면에서 적응방안에 대한 평가				
		매우 중요	중요	보통	중요하지 않음	전혀 중요하지 않음
기술개발 (R&D)	① 품종개발					
	② 생산기술 개발					
	③ 기반구축 기술개발					
	④ 자원관리 혁신					
	⑤ 기후정보 시스템					
기반시설 관리	⑥ 농경지 관리					
	⑦ 농업용수 관리					
	⑧ 농업 시설 관리					
경제적 수단	⑨ 보조금 지급					
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대					
	⑪ 자원관리 시스템 구축					
	⑫ 지역별 계획수립					
홍보 교육	⑬ 인력양성					
	⑭ 교육					
모니터링	⑮ 적응 및 취약성 평가					
농가적용 기술·경영	⑯ 생산기술 관리					
	⑰ 토양 관리					
	⑱ 용수 관리					
	⑲ 농가재정 관리					

5. 다음은 농업인의 수용성을 기준으로 향후 필요한 여러 적응방안의 중요성을 평가하고 있습니다. 아래에 제시한 각각의 지원정책을 농업인의 수용성 측면에서 평가하시고 귀하께서 생각하시는 중요 정도에 √표하여 주십시오.

(농업인의 수용성은 적응정책을 농업인이 쉽게 받아들일 수 있는 정도를 의미)

적용 방안		농업인 수용성 측면에서 적용방안에 대한 평가				
		매우 중요	중요	보통	중요하지 않음	전혀 중요하지 않음
기술개발 (R&D)	① 품종개발					
	② 생산기술 개발					
	③ 기반구축 기술개발					
	④ 자원관리 혁신					
	⑤ 기후정보 시스템					
기반시설 관리	⑥ 농경지 관리					
	⑦ 농업용수 관리					
	⑧ 농업 시설 관리					
경제적 수단	⑨ 보조금 지급					
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대					
	⑪ 자원관리 시스템 구축					
	⑫ 지역별 계획수립					
홍보 교육	⑬ 인력양성					
	⑭ 교육					
모니터링	⑮ 적응 및 취약성 평가					
농가적용 기술·경영	⑯ 생산기술 관리					
	⑰ 토양 관리					
	⑱ 용수 관리					
	⑲ 농가재정 관리					

부록 3

적응수단의 작물재배 영향분석 결과

부표 3-1. 생육모의 연도별, 생태별 벼의 수량성 및 환경

생태	재배시기	생육모의 연도	쌀수량 (kg/ha)	등숙기 온도 (°C)	출수전 온도 (°C)	전기간 온도 (°C)	식물체 질소 흡수량 (kg/ha)	강수량* (mm)	관수량* (mm)	생육기간 (day)
조생종	고정	1971-2000	4,821	22.2	25.3	24.2	110.6	752.3	179.0	128
		2011-2040	4,697	24.2	26.3	25.6	106.7	627.9	192.3	120
		2041-2070	4,733	26.4	27.6	27.1	104.2	763.8	128.8	115
		2071-2100	4,416	28.1	28.9	28.6	102.4	798.4	130.7	114
		평균	4,667	25.2	27.0	26.4	105.9	735.6	157.7	119
	이동	1971-2000	4,821	22.2	25.3	24.2	110.6	752.3	179.0	128
		2011-2040	4,928	22.3	27.1	25.4	108.9	594.6	206.3	123
		2041-2070	5,393	22.2	29.0	26.5	107.9	701.0	163.4	121
		2071-2100	5,582	22.1	30.5	27.4	107.1	697.8	160.9	122
		평균	5,181	22.2	28.0	25.9	108.6	686.4	177.4	124
중생종	고정	1971-2000	4,906	22.3	24.1	23.5	105.3	846.6	210.7	141
		2011-2040	4,602	24.5	25.2	24.9	101.3	718.4	215.9	133
		2041-2070	4,447	26.7	26.3	26.4	98.7	808.9	167.3	127
		2071-2100	3,864	28.4	27.6	27.7	96.9	866.2	161.9	125
		평균	4,454	25.5	25.8	25.6	100.6	810.0	188.9	131
	이동	1971-2000	4,906	22.3	24.1	23.5	105.1	846.6	212.9	141
		2011-2040	4,971	22.2	26.4	25.0	103.4	672.3	230.0	133
		2041-2070	5,392	22.2	28.5	26.3	102.0	794.1	158.3	128
		2071-2100	5,527	22.2	30.2	27.4	101.0	742.6	170.6	128
		평균	5,199	22.2	27.3	25.5	102.9	763.9	192.9	133
중만생종	고정	1971-2000	5,166	21.7	22.6	22.3	113.9	920.8	296.8	165
		2011-2040	4,831	24.3	23.6	23.7	109.2	788.5	300.8	154
		2041-2070	4,432	26.7	24.7	25.1	106.1	922.1	228.9	147
		2071-2100	3,471	28.7	25.8	26.4	104.1	940.4	228.4	143
		평균	4,475	25.4	24.2	24.4	108.3	892.9	263.7	152
	이동	1971-2000	5,166	21.7	22.6	22.3	113.9	920.8	296.8	165
		2011-2040	5,083	22.3	25.2	24.3	109.5	764.1	273.7	148
		2041-2070	5,371	22.2	27.8	26.0	106.0	887.9	183.0	140
		2071-2100	5,454	22.2	29.6	27.2	104.7	844.4	182.7	138
		평균	5,269	22.1	26.3	24.9	108.6	854.3	234.0	148

주: * 본답 생육기간 중의 강수량 및 관수량.

부표 3-2. 질소시비량 및 관수조건에 따른 생태별 벼의 수량성

	재배 시기	질소시비량 (kg/ha)	식물체 질소함량 (kg/ha)	쌀수량 (kg/ha)	관수일* (일)	관수량 (mm)	쌀수량 (kg/ha)
조생종	고 정	0	38.6	2,690	0	343.8	5,020
		30	57.8	3,525	3	246.5	4,947
		60	76.8	4,178	6	191.6	4,830
		90	96.1	4,753	9	159.4	4,702
		120	115.6	5,318	12	138.7	4,602
		150	135.0	5,763	15	112.9	4,610
		180	154.3	5,689	30	68.7	4,484
		210	173.3	5,418	200	0.0	4,141
	평균	105.9	4,667	평균	157.7	4,667	
	이 동	0	40.8	3,059	0	385.8	5,546
		30	60.1	3,968	3	280.1	5,470
		60	79.1	4,690	6	215.2	5,343
		90	98.7	5,357	9	182.4	5,243
		120	118.3	5,975	12	154.7	5,156
150		137.9	6,392	15	128.2	5,112	
180		157.4	6,157	30	72.9	4,921	
210		176.7	5,851	200	0.0	4,658	
평균	108.6	5,181	평균	177.4	5,181		
중생종	고 정	0	43.2	2,995	0	406.8	4,957
		이동	59.9	3,684	3	297.5	4,836
		60	76.0	4,082	6	232.4	4,636
		90	92.2	4,375	9	188.2	4,507
		120	108.7	4,754	12	163.2	4,358
		150	125.2	5,140	15	143.7	4,320
		180	141.6	5,361	30	79.7	4,195
		210	157.9	5,243	200	0.0	3,825
	평균	100.6	4,454	평균	188.9	4,454	
	이 동	0	44.3	3,362	0	415.1	5,570
		30	61.1	4,274	3	301.5	5,490
		60	77.4	4,691	6	236.0	5,375
		90	94.1	5,185	9	192.2	5,270
		120	111.1	5,684	12	167.1	5,178
150		128.0	6,149	15	144.1	5,134	
180		145.0	6,256	30	87.5	4,929	
210		161.9	5,990	200	0.0	4,644	
평균	102.9	5,199	평균	192.9	5,199		

주: * 관수일은 논에 증발산, 누수 등에 의해 물이 없어진 뒤 관수하는 일수임.

부표 3-2(계속).

	재배시기	질소소비량 (kg/ha)	식물체 질소흡수량 (kg/ha)	쌀수량 (kg/ha)	관수일* (일)	관수량 (mm)	쌀수량 (kg/ha)
중만 생종	고 정	0	62.9	3,396	0	570.1	5,141
		30	74.3	3,587	3	416.5	4,993
		60	87.4	4,011	6	322.7	4,678
		90	101.1	4,484	9	259.2	4,490
		120	114.7	4,828	12	228.3	4,391
		150	128.3	5,087	15	193.8	4,257
		180	141.9	5,251	30	119.0	4,086
		210	155.7	5,157	200	0.0	3,763
	평균	108.3	4,475	평균	263.7	4,475	
	이 동	0	61.0	3,550	0	499.1	5,570
		30	72.6	3,891	3	365.9	5,542
		60	86.5	4,538	6	289.7	5,454
		90	100.8	5,247	9	237.0	5,363
		120	115.3	5,871	12	196.0	5,286
		150	129.7	6,338	15	175.0	5,213
180		144.0	6,519	30	109.6	5,036	
210		158.5	6,196	200	0.0	4,687	
평균	108.6	5,269	평균	234.0	5,269		

주: * 관수일은 논에 증발산, 누수 등에 의해 물이 없어진 뒤 관수하는 일수임.

부표 3-3. 기온 및 CO₂를 고려한 지역별 쌀 수량변화 예측(조생종)

단위: kg/ha

지역		온도 변경, CO ₂ 고정				온도 고정, CO ₂ 변경			온도 및 CO ₂ 변경		
		1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
경 기 권	서울	4,412	4,167	3,990	3,917	4,709	4,883	4,992	4,469	4,504	4,626
	수원	4,623	4,390	4,123	3,987	4,888	5,012	5,092	4,678	4,611	4,680
	양평	4,778	4,522	4,267	4,135	4,970	5,089	5,295	4,759	4,696	4,732
	이천	4,802	4,506	4,367	4,190	4,945	5,131	5,407	4,688	4,764	4,841
	인천	4,772	4,464	4,222	4,115	4,971	5,093	5,291	4,712	4,652	4,822
경 상 권	거제	4,700	4,432	4,255	4,212	4,853	5,021	5,268	4,631	4,722	4,966
	거창	4,917	4,700	4,373	4,235	5,074	5,308	5,607	4,923	4,742	4,814
	구미	4,754	4,511	4,317	4,176	4,988	5,056	5,236	4,789	4,843	4,920
	남해	4,644	4,444	4,280	4,209	4,835	4,906	5,107	4,735	4,817	4,989
	대구	4,469	4,330	4,166	4,035	4,775	4,929	4,984	4,660	4,766	4,831
	마산	4,370	4,200	3,979	3,978	4,690	4,870	4,950	4,530	4,535	4,681
	문경	4,787	4,571	4,448	4,267	4,932	5,111	5,377	4,754	4,880	4,979
	밀양	4,643	4,474	4,278	4,112	4,910	4,975	5,091	4,775	4,835	4,872
	부산	4,661	4,470	4,305	4,185	4,856	4,904	5,097	4,758	4,855	4,996
	산청	4,667	4,483	4,261	4,169	4,871	4,937	5,118	4,749	4,760	4,906
	안동	4,642	4,429	4,285	4,104	4,875	4,978	5,097	4,722	4,800	4,835
	영덕	4,923	4,683	4,397	4,302	5,076	5,482	5,858	4,846	4,717	4,861
	영주	4,951	4,711	4,438	4,270	5,113	5,400	5,740	4,910	4,778	4,824
	영천	4,739	4,559	4,329	4,164	4,942	5,037	5,209	4,835	4,836	4,858
	울산	4,580	4,390	4,213	4,104	4,843	4,930	5,018	4,691	4,760	4,886
	울진	5,170	4,845	4,400	4,225	5,419	5,943	6,362	4,959	4,723	4,710
	의성	4,745	4,503	4,331	4,186	4,900	5,041	5,254	4,741	4,750	4,810
	진주	4,619	4,402	4,182	4,073	4,938	5,035	5,047	4,738	4,774	4,866
	포항	4,571	4,440	4,229	4,121	4,838	4,927	5,024	4,753	4,788	4,917
합천	4,736	4,546	4,311	4,127	4,964	5,012	5,198	4,839	4,847	4,861	
전 라 권	고흥	4,679	4,498	4,370	4,214	4,811	4,969	5,213	4,749	4,857	4,943
	광주	4,526	4,371	4,158	4,103	4,821	4,956	5,019	4,711	4,738	4,910
	군산	4,582	4,434	4,177	4,090	4,859	4,967	5,053	4,740	4,747	4,854
	남원	4,676	4,451	4,294	4,181	4,920	4,944	5,104	4,764	4,834	4,910
	목포	4,561	4,390	4,232	4,142	4,814	4,883	4,968	4,725	4,813	4,962
	부안	4,713	4,578	4,372	4,240	4,844	5,036	5,319	4,795	4,801	4,914
	순천	4,613	4,406	4,202	4,093	4,886	4,949	5,022	4,724	4,773	4,832
	여수	4,693	4,500	4,331	4,205	4,876	4,936	5,133	4,789	4,900	5,049
	임실	4,974	4,701	4,445	4,350	5,096	5,414	5,774	4,904	4,813	4,939
	장수	5,338	4,897	4,443	4,272	5,474	5,846	6,213	5,147	4,833	4,871
	장흥	4,645	4,394	4,215	4,088	4,949	5,056	5,095	4,730	4,788	4,839
	전주	4,442	4,222	4,121	3,991	4,775	4,975	5,044	4,555	4,690	4,727
	정읍	4,721	4,525	4,312	4,189	4,939	4,993	5,190	4,803	4,812	4,902
	해남	4,716	4,488	4,347	4,238	4,881	4,984	5,195	4,787	4,847	5,009
충 청 권	금산	4,835	4,579	4,350	4,230	4,998	5,150	5,386	4,820	4,820	4,875
	대진	4,619	4,381	4,175	4,083	4,908	5,018	5,095	4,684	4,728	4,841
	보령	4,781	4,649	4,356	4,223	4,956	5,165	5,488	4,835	4,743	4,846
	보은	5,008	4,741	4,481	4,322	5,138	5,467	5,827	4,926	4,845	4,885
	서산	4,724	4,475	4,267	4,079	4,971	5,082	5,200	4,781	4,760	4,821
	제천	5,023	4,689	4,412	4,219	5,189	5,416	5,712	4,896	4,812	4,843
	천안	4,813	4,539	4,385	4,218	4,952	5,142	5,404	4,730	4,798	4,847
	청주	4,587	4,474	4,207	4,077	4,867	4,944	5,014	4,794	4,732	4,824
	충주	4,782	4,559	4,341	4,210	4,947	5,098	5,328	4,781	4,802	4,876
강 원 권	강릉	4,796	4,538	4,185	4,058	5,042	5,170	5,267	4,824	4,659	4,759
	속초	5,236	4,813	4,334	3,986	5,492	5,703	6,064	5,058	4,749	4,513
	원주	4,777	4,594	4,335	4,177	4,952	5,088	5,321	4,820	4,724	4,799
	인제	5,222	4,833	4,378	4,223	5,399	5,755	6,158	5,029	4,715	4,658
	철원	5,045	4,641	4,269	4,012	5,329	5,443	5,611	4,931	4,793	4,674
	춘천	4,748	4,500	4,223	4,035	5,007	5,120	5,227	4,796	4,716	4,693
	홍천	4,808	4,563	4,313	4,142	5,010	5,136	5,353	4,763	4,690	4,707
	평균	4,752	4,520	4,287	4,151	4,969	5,124	5,318	4,783	4,765	4,840

부표 3-4. 기온 및 CO₂를 고려한 지역별 쌀 수량변화 예측(중생종)

단위: kg/ha

지역	1971-2000	온도 변경, CO ₂ 고정			온도 고정, CO ₂ 변경			온도 및 CO ₂ 변경			
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	
경 기 권	서울	4,316	3,986	3,653	3,476	4,719	5,048	5,260	4,350	4,277	4,235
	수원	4,574	4,217	3,789	3,660	4,982	5,278	5,390	4,596	4,429	4,480
	양평	4,951	4,428	4,035	3,864	5,352	5,421	5,425	4,809	4,683	4,702
	이천	4,891	4,420	4,056	3,870	5,261	5,453	5,445	4,775	4,712	4,706
	인천	4,789	4,271	3,854	3,684	5,159	5,407	5,403	4,631	4,494	4,543
경 상 권	거제	4,610	4,183	3,910	3,825	4,961	5,182	5,442	4,539	4,549	4,715
	거창	5,174	4,549	4,120	3,847	5,543	5,545	5,518	4,917	4,768	4,670
	구미	4,666	4,294	3,999	3,835	5,037	5,233	5,451	4,673	4,663	4,701
	남해	4,482	4,125	3,967	3,827	4,838	5,058	5,235	4,483	4,627	4,722
	대구	4,193	4,013	3,812	3,688	4,574	4,886	5,081	4,376	4,455	4,496
	마산	4,002	3,785	3,591	3,630	4,370	4,668	4,868	4,137	4,184	4,360
	문경	4,925	4,471	4,133	3,959	5,289	5,489	5,461	4,841	4,806	4,829
	밀양	4,445	4,219	3,946	3,754	4,814	5,053	5,166	4,599	4,601	4,593
	부산	4,405	4,174	3,888	3,775	4,744	4,948	5,108	4,530	4,522	4,646
	산청	4,577	4,146	3,988	3,789	4,950	5,171	5,349	4,512	4,641	4,632
	안동	4,602	4,254	3,892	3,753	4,991	5,258	5,404	4,617	4,545	4,574
	영덕	5,351	4,730	4,250	3,907	5,468	5,442	5,432	5,070	4,877	4,741
	영주	5,333	4,674	4,205	3,999	5,485	5,465	5,427	5,033	4,878	4,812
	영천	4,752	4,298	4,003	3,849	5,142	5,348	5,506	4,667	4,652	4,683
	울산	4,357	4,078	3,827	3,689	4,735	5,012	5,148	4,432	4,461	4,525
	울진	5,589	4,935	4,235	3,951	5,524	5,457	5,498	5,266	4,865	4,788
의성	4,819	4,350	4,080	3,874	5,205	5,425	5,459	4,713	4,735	4,305	
진주	4,370	4,064	3,824	3,758	4,741	5,034	5,157	4,438	4,463	4,590	
포항	4,366	4,100	3,858	3,738	4,746	5,038	5,188	4,472	4,510	4,588	
합천	4,522	4,200	3,997	3,804	4,902	5,131	5,273	4,573	4,664	4,657	
전 라 권	고흥	4,593	4,270	4,016	3,887	4,950	5,140	5,393	4,640	4,653	4,747
	광주	4,294	4,058	3,826	3,751	4,669	4,982	5,161	4,427	4,466	4,608
	군산	4,500	4,164	3,849	3,729	4,898	5,185	5,321	4,534	4,490	4,579
	남원	4,560	4,274	4,010	3,813	4,945	5,194	5,321	4,653	4,676	4,496
	목포	4,394	4,149	3,959	3,799	4,753	5,016	5,123	4,521	4,631	4,691
	부안	4,828	4,379	4,087	3,929	5,173	5,432	5,517	4,752	4,744	4,798
	순천	4,375	4,040	3,892	3,706	4,758	5,042	5,155	4,406	4,531	4,513
	여수	4,494	4,188	3,968	3,797	4,850	5,054	5,225	4,548	4,639	4,695
	임실	5,388	4,670	4,209	3,955	5,578	5,543	5,514	5,044	4,848	4,796
	장수	5,731	4,972	4,252	3,939	5,619	5,581	5,545	5,374	4,907	4,785
	장흥	4,476	4,181	3,884	3,745	4,868	5,142	5,244	4,562	4,525	4,572
	전주	4,258	4,021	3,802	3,733	4,651	4,976	5,177	4,396	4,452	4,541
	정읍	4,554	4,208	4,001	3,871	4,922	5,140	5,315	4,576	4,656	4,462
	해남	4,607	4,262	4,029	3,920	4,986	5,187	5,388	4,636	4,686	4,816
충 청 권	금산	4,954	4,438	4,054	3,897	5,333	5,506	5,482	4,813	4,710	4,743
	대전	4,471	4,161	3,922	3,745	4,866	5,162	5,317	4,534	4,586	4,592
	보령	4,844	4,497	4,046	3,892	5,194	5,408	5,388	4,862	4,690	4,770
	보은	5,385	4,741	4,192	3,934	5,464	5,433	5,412	5,110	4,833	4,760
	서산	4,757	4,298	3,953	3,726	5,178	5,451	5,478	4,678	4,618	4,593
	계천	5,566	4,802	4,214	3,878	5,478	5,453	5,430	5,206	4,880	4,720
	천안	4,819	4,397	4,085	3,925	5,180	5,417	5,409	4,752	4,737	4,772
	청주	4,462	4,207	3,977	3,766	4,853	5,156	5,293	4,577	4,644	4,602
충주	4,784	4,420	4,036	3,828	5,178	5,412	5,457	4,797	4,693	4,669	
강 원 권	강릉	4,924	4,399	3,897	3,659	5,357	5,437	5,449	4,800	4,559	4,476
	속초	5,485	4,989	4,163	3,635	5,438	5,410	5,346	5,405	4,866	4,442
	원주	4,992	4,478	4,061	3,836	5,373	5,448	5,427	4,845	4,720	4,675
	인제	5,481	5,182	4,363	3,872	5,430	5,363	5,370	5,354	5,049	4,684
	철원	5,540	4,661	4,127	3,757	5,452	5,425	5,430	5,089	4,805	4,580
	춘천	4,976	4,446	3,999	3,727	5,417	5,417	5,414	4,829	4,676	4,550
	홍천	5,075	4,570	4,124	3,853	5,423	5,397	5,385	4,948	4,779	4,668
	평균	4,775	4,354	3,998	3,806	5,087	5,261	5,345	4,722	4,651	4,631

부표 3-5. 기온 및 CO₂를 고려한 지역별 쌀 수량변화 예측(중만생종)

단위: kg/ha

지역	1971-2000	온도 변경, CO ₂ 고정			온도 고정, CO ₂ 변경			온도 및 CO ₂ 변경			
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	
경 기 권	서울	4,882	4,319	3,959	3,827	5,278	5,579	5,674	4,640	4,406	4,256
	수원	5,207	4,465	4,045	3,825	5,623	5,842	5,893	4,809	4,534	4,299
	양평	5,552	4,865	4,286	4,018	5,934	5,835	5,748	5,216	4,787	4,536
	이천	5,510	4,746	4,271	4,004	5,847	5,817	5,732	5,049	4,743	4,502
	인천	5,253	4,576	4,094	3,778	5,614	5,782	5,802	4,934	4,594	4,260
경 상 권	거제	4,801	4,289	4,013	3,848	5,142	5,285	5,467	4,617	4,522	4,363
	거창	5,754	4,889	4,343	3,959	5,994	5,866	5,784	5,270	4,877	4,505
	구미	5,163	4,531	4,090	3,930	5,571	5,757	5,862	4,883	4,564	4,419
	남해	4,562	4,187	3,975	3,859	4,908	5,098	5,154	4,496	4,444	4,344
	대구	4,490	4,142	3,929	3,888	4,838	5,101	5,200	4,430	4,337	4,112
	마산	4,179	3,984	3,902	3,859	4,478	4,741	4,906	4,202	4,184	4,152
	문경	5,519	4,817	4,292	4,063	5,880	5,905	5,819	5,152	4,798	4,579
	밀양	4,732	4,312	4,059	3,930	5,114	5,372	5,416	4,643	4,542	4,380
	부산	4,560	4,166	3,882	3,852	4,915	5,154	5,190	4,479	4,361	4,322
	산청	4,898	4,376	4,058	3,892	5,281	5,483	5,587	4,701	4,531	4,351
	안동	5,200	4,585	4,080	3,956	5,613	5,834	5,901	4,940	4,574	4,475
	영덕	5,692	5,041	4,325	4,074	5,943	5,845	5,766	5,362	4,823	4,586
	영주	5,962	5,098	4,467	4,160	5,946	5,819	5,755	5,439	4,989	4,679
	영천	5,242	4,598	4,210	3,966	5,658	5,856	5,882	4,952	4,740	4,511
	울산	4,663	4,193	3,959	3,832	5,042	5,311	5,408	4,502	4,413	4,236
	울진	5,982	5,330	4,550	4,069	6,061	5,957	5,881	5,637	5,036	4,558
	의성	5,475	4,826	4,303	4,007	5,884	5,951	5,868	5,193	4,834	4,533
진주	4,669	4,209	3,949	3,937	5,060	5,343	5,452	4,525	4,414	4,369	
포항	4,730	4,289	3,982	3,871	5,110	5,374	5,443	4,604	4,446	4,328	
합천	4,865	4,428	4,096	3,912	5,247	5,464	5,539	4,771	4,596	4,410	
전 라 권	고흥	4,837	4,300	4,047	3,932	5,175	5,314	5,518	4,626	4,541	4,454
	광주	4,529	4,126	3,957	3,918	4,902	5,174	5,312	4,416	4,407	4,315
	군산	4,801	4,271	3,982	3,867	5,204	5,466	5,542	4,598	4,489	4,377
	남원	4,935	4,308	4,095	3,974	5,340	5,566	5,638	4,633	4,593	4,457
	목포	4,438	4,147	3,971	3,929	4,794	5,042	5,111	4,467	4,474	4,426
	부안	5,112	4,557	4,183	3,982	5,445	5,629	5,746	4,903	4,684	4,503
	순천	4,756	4,249	4,036	3,979	5,155	5,404	5,507	4,558	4,492	4,416
	여수	4,566	4,184	3,936	3,827	4,919	5,120	5,155	4,509	4,452	4,363
	임실	5,917	5,039	4,404	4,063	5,987	5,873	5,797	5,415	4,947	4,627
	장수	5,830	5,521	4,583	4,083	6,119	6,003	5,941	5,975	5,220	4,745
	장흥	4,697	4,263	4,032	3,961	5,102	5,378	5,488	4,599	4,523	4,435
	전주	4,488	4,166	3,955	3,943	4,859	5,160	5,324	4,472	4,390	4,352
	정읍	4,838	4,420	4,056	3,992	5,202	5,354	5,491	4,752	4,544	4,309
해남	4,856	4,332	4,028	3,956	5,220	5,380	5,533	4,681	4,535	4,514	
충 청 권	금산	5,475	4,760	4,185	3,967	5,882	5,956	5,866	5,127	4,705	4,495
	대진	4,818	4,398	4,020	3,922	5,214	5,495	5,555	4,731	4,500	4,401
	보령	5,347	4,668	4,153	3,909	5,665	5,851	5,777	5,001	4,667	4,369
	보은	6,094	5,221	4,459	4,024	5,967	5,845	5,779	5,598	5,002	4,569
	서산	5,199	4,563	4,082	3,903	5,616	5,849	5,852	4,932	4,586	4,442
	제천	5,990	5,346	4,558	4,143	5,992	5,857	5,796	5,745	5,137	4,760
	천안	5,371	4,757	4,203	3,975	5,722	5,851	5,769	5,078	4,658	4,440
	청주	4,958	4,404	4,036	3,933	5,370	5,624	5,698	4,746	4,527	4,436
충주	5,390	4,762	4,254	3,973	5,765	5,903	5,818	5,101	4,765	4,490	
강 원 권	강릉	5,361	4,756	4,178	3,885	5,765	5,943	5,900	5,120	4,718	4,430
	속초	5,964	5,427	4,558	4,014	6,138	6,013	5,931	5,787	5,141	4,601
	원주	5,698	4,947	4,316	4,060	5,992	5,861	5,798	5,312	4,817	4,586
	인제	5,805	5,731	4,739	4,198	5,989	5,864	5,802	5,898	5,240	4,713
	철원	5,915	5,398	4,456	4,024	6,116	5,982	5,900	5,845	5,066	4,635
	춘천	5,599	4,904	4,283	3,949	6,026	5,909	5,821	5,300	4,840	4,497
	홍천	5,764	5,105	4,389	4,073	5,928	5,799	5,714	5,466	4,907	4,597
	평균	5,180	4,623	4,168	3,958	5,501	5,615	5,637	4,961	4,666	4,451

부록 4

연도별 미국 생산의 변화추이

부표 4-1. 연도별 미국생산의 수량능력·보급·평년·농가단수 변화추이

연도	수량능력단수(A)	보급단수(B)	평년단수(C)	실제단수(D)
1982	488.2	454.5	428.5	413
1983	490.5	457.3	431.4	420
1984	492.9	460.2	434.4	446
1985	495.2	463.0	437.4	437
1986	497.5	465.8	440.3	449
1987	499.8	468.6	443.3	431
1988	502.1	471.4	446.2	469
1989	504.4	474.2	449.1	463
1990	506.7	477.0	452.0	442
1991	508.9	479.8	455.0	444
1992	511.2	482.6	457.9	461
1993	513.4	485.3	460.7	418
1994	515.7	488.1	463.6	459
1995	517.9	490.8	466.5	445
1996	520.1	493.5	469.3	507
1997	522.4	496.2	472.2	518
1998	524.6	498.9	475.0	482
1999	526.8	501.6	477.9	495
2000	529.0	504.3	480.7	497
2001	531.2	506.9	483.5	516
2002	533.3	509.6	486.2	471
2003	535.5	512.2	489.0	441
2004	537.6	514.8	491.8	504
2005	539.8	517.4	494.5	490
2006	541.9	520.0	497.2	493
2007	544.0	522.6	500.0	466
2008	546.1	525.2	502.7	520

부표 4-2. 연도별 미곡 단위결정의 기여도 변화추이

연도	기여요인(kg)				기여율(%)				10년
	보급요인	재배요인	기상요인	전체변동	보급요인	기술요인	기상요인	전체	
	A-B	B-C	C-D		보급요인	기술요인	기상요인		
1982	33.7	26.0	15.5	75.2	44.8	34.6	20.6	100.0	16.8
1983	33.2	25.9	11.4	70.5	47.1	36.7	16.2	100.0	
1984	32.7	25.8	11.6	70.0	46.7	36.8	16.6	100.0	
1985	32.2	25.6	0.4	58.2	55.3	44.1	0.6	100.0	
1986	31.7	25.5	8.7	65.8	48.1	38.7	13.2	100.0	
1987	31.2	25.4	12.3	68.8	45.3	36.9	17.8	100.0	
1988	30.6	25.2	22.8	78.7	38.9	32.1	29.0	100.0	
1989	30.1	25.1	13.9	69.1	43.6	36.3	20.1	100.0	
1990	29.6	25.0	10.0	64.7	45.8	38.6	15.5	100.0	
1991	29.1	24.8	11.0	64.9	44.9	38.3	16.9	100.0	
1992	28.6	24.7	3.1	56.5	50.7	43.7	5.6	100.0	
1993	28.1	24.6	42.7	95.4	29.5	25.7	44.8	100.0	
1994	27.6	24.4	4.6	56.7	48.7	43.1	8.2	100.0	
1995	27.1	24.3	21.5	72.9	37.2	33.3	29.5	100.0	
1996	26.6	24.2	37.7	88.5	30.1	27.3	42.6	100.0	
1997	26.2	24.0	45.8	96.0	27.3	25.0	47.7	100.0	
1998	25.7	23.9	7.0	56.5	45.4	42.2	12.3	100.0	
1999	25.2	23.7	17.1	66.1	38.1	35.9	26.0	100.0	
2000	24.7	23.6	16.3	64.6	38.2	36.5	25.3	100.0	28.0
2001	24.2	23.5	32.5	80.2	30.2	29.2	40.6	100.0	
2002	23.8	23.3	15.2	62.3	38.1	37.4	24.5	100.0	
2003	23.3	23.2	48.0	94.5	24.6	24.5	50.8	100.0	
2004	22.8	23.0	12.2	58.1	39.3	39.7	21.0	100.0	
2005	22.4	22.9	4.5	49.8	44.9	46.0	9.1	100.0	
2006	21.9	22.8	4.2	48.9	44.8	46.6	8.7	100.0	
2007	21.4	22.6	34.0	78.0	27.5	29.0	43.5	100.0	
2008	21.0	22.5	17.3	60.8	34.5	37.0	28.5	100.0	

부표 4-3. 벼 품종별 재배면적과 보급단수 자료(1996~2008년)

	단수	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
오대	481	50,600	44,617	44,327	39,196	31,323	27,455	41,603
봉광	447	16,100	10,846	10,146	6,260	3,321		142
신선찰	485	12,500	11,000	9,573	8,220	6,199	6,010	4,708
추청	453	126,500	90,587	80,263	59,561	35,174	48,940	106,482
동진	479	238,900	185,264	136,826	71,456	38,155	18,243	17,501
화성	493	70,300	86,559	85,704	58,689	48,597	38,672	29,452
일품	534	101,400	84,378	72,022	72,463	83,577	88,202	98,233
서안	505	14,300	18,790	21,551	21,502	15,104	12,215	5,787
계화	478	52,800	30,083	19,726	12,221	3,361	708	1,093
화남	509	31,300	59,083	33,673	18,170	10,616	3,272	1,349
영남	479	41,300	23,649	22,040	15,718	7,185	3,411	1,242
만금	478	43,400	19,173	12,197	5,627	1,826	1,175	2,577
상주	531	19,400	20,024	14,263	12,328	11,028	9,003	3,376
안중	519	14,700	16,038	10,015	5,827	4,800	3,475	469
대산	531		52	11,641	106,822	146,675	65,818	12,194
일미	522	80	18,029	95,830	131,987	122,966	104,459	99,926
화영	505	67,900	80,828	85,420	60,553	58,284	53,548	41,658
대안	511	2,100	16,886	24,700	58,506	55,794	56,259	28,339
금남	521	14,000	62,168	70,726	53,664	34,737	17,906	6,447
대진	504		31	7,998	18,981	28,993	23,242	4,310
화삼	534		944	10,784	15,426	25,347	15,929	2,589
동진1호	567							6,824
남평	547			31	7,339	55,738	115,033	175,978
주남	576						7,012	72,281
운광	586							
신동진	596					512	11,386	29,080
삼광	569							
새추청	558						318	20,691
동안	527		40	9,586	81,577	91,145	91,351	64,529
온누리	594							
동진찰	549					709	3,591	9,474
소계 (비율)		917,580 (87.8)	879,069 (83.8)	889,042 (84.1)	942,093 (89.7)	921,166 (86.8)	826,633 (79.3)	888,334 (86.5)
기타		126,980	169,535	168,661	107,608	140,419	216,141	139,216
총면적		1,044,560	1,048,604	1,057,702	1,049,701	1,061,585	1,042,774	1,027,550
보급단수		489.3	497.5	501.1	509.2	516.8	521.7	524.4

부표 4-3(계속).

	단수	2003	2004	2005	2006	2007	2008
오대	481	46,566	46,557.4	56,075.6	47,197.6	38,585.8	32,604.4
봉광	447	229	37.7	6.0	7.6	8.0	4.0
신선찰	485	2,033	2,282.7	2,102.8	2,146.3	1,860.5	1,584.8
추청	453	113,169	119,000.1	121,997.4	125,817.7	126,628.5	126,281.7
동진	479	7,943	1,478.4	964.1	299.8	263.8	151.4
화성	493	22,195	13,455.7	8,356.2	5,880.6	3,088.0	2,065.0
일품	534	81,636	57,888.0	51,466.9	52,287.6	45,162.5	41,075.8
서안	505	1,736	535.0	230.5	55.5	20.4	56.0
계화	478	360	80.4	123.5	76.0	117.4	14.0
화남	509	125	20.7	9.8	5.0	8.0	
영남	479	672	60.3	55.1	2.0		
만금	478	942	125.8	105.2	9.3		
상주	531	1,675	812.9	847.6	552.7	338.0	148.2
안중	519	16	18.8		1.0		
대산	531	1,166	252.7	140.9	20.0	17.9	13.9
일미	522	111,126	83,045.0	69,664.2	72,533.9	71,575.5	67,494.6
화영	505	32,511	28,239.4	27,863.3	25,255.8	22,818.5	18,308.4
대안	511	20,739	23,258.2	19,388.8	21,764.6	22,171.7	19,113.5
금남	521	892	158.8	28.8	7.0	10.0	6.0
대진	504	1,291	328.1	122.7	73.3	30.5	10.3
화삼	534	344	63.3	3.1	7.5		
동진1호	567	75,494	143,892.3	198,444.9	205,119.5	190,147.2	167,350.2
남평	547	170,263	160,151.4	144,853.3	125,105.8	116,017.7	112,489.5
주남	576	89,642	112,266.4	91,636.9	78,296.3	91,163.3	101,633.3
운광	586			69.8	6,569.6	30,658.7	46,170.0
신동진	596	15,791	9,668.1	17,372.9	22,633.7	31,987.3	35,556.8
삼광	569		4.9	382.5	4,822.0	14,465.4	24,085.1
새추청	558	40,953	41,436.6	41,482.7	36,020.3	25,067.7	16,256.9
동안	527	49,522	25,927.5	15,363.9	17,348.6	16,063.2	12,712.4
은누리	594				305.9	6,238.5	11,135.2
동진찰	549	5,377	6,862.5	7,296.3	9,687.7	10,279.4	10,573.2
소계		894,468	877,909	876,456	859,910	864,793	846,895
(비율)		(89.7)	(90.5)	(92.1)	(93.0)	(93.9)	(93.4)
기타		102,496	92,530	75,118	64,460	56,377	59,495
총면적		996,964	970,439	951,574	924,370	921,170	906,390
보급단수		528.6	532.7	533.8	533.6	536.6	539.4

부록 5

농업부문 기후변화 적응옵션 인벤토리(안)

부표 5. 농업부문 기후변화 적응옵션 인벤토리(안)

범 주		적 용 수 단
기술개발 (R&D)	① 품종개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 변화한 기후에 적합한 새로운 품종 개발 ● 새롭게 발생하는 외래종 연구 ● 고온에서 착색이 용이한 과수품종 개발
	② 생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 새로운 병해충·잡초 등에 방제기술 및 예측모델 개발 ● 새로운 시비, 작목파종 및 수확시기 등 재배기술 개발 ● 새로운 재배적지의 조정 ● 과실의 결실 안정기술, 난지작물 내륙지역 적응성 검증
	③ 기반구축 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 농경지 온실가스 감축기술 개발 ● 물이용 효율 최적화 설비 개발 ● 인수(물을 끌어다 댐) 소실 저감기술 개발 ● 토양의 침투특성을 고려한 물 절약형 관개자재 개발
	④ 자원관리 혁신	<ul style="list-style-type: none"> ● 농업환경 정보의 정책연계성 분석 시스템 개발 ● 가뭄·홍수 등 재해대비 수자원관리 시스템 개발 ● 대안적 경작과 배수 시스템 등 농업자원관리 시스템 개발
	⑤ 기후정보 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ● 사전적 기상정보 제공을 위한 조기경보 시스템 개발 ● 기상재해 모니터링 및 농업기상재해 DB구축 ● 농업기상재해 발생위험지 상세구분 및 예측기술 개발 ● 농업기후 요소별 상세기후도 구축 ● 지구온난화에 따른 농업기상재해 대응기술 개발
기반시설 관 리	⑥ 농경지 관리	<ul style="list-style-type: none"> ● 메탄 감축을 위한 건답직파 및 간단관개 ● 아산화질소 감축을 위한 밭 질소질 비료사용 감축 ● 무경운 농법 확대 ● 토양침식을 억제하기 위한 주변식생 관리
	⑦ 농업용수 관리	<ul style="list-style-type: none"> ● 시설재배 작물 물 절약형 관개기준 설정 ● 재배환경 조건에 적합한 맞춤형 물관리 ● 배수 파이프도랑 및 관개수로 등 수로 시스템 정비 ● 스프링클러 및 적(물방울)하 관개 확대 ● 농업용수 관리자동화(TMTC)의 확대
	⑧ 농업시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> ● 태풍 등 재해피해 최소화를 위해 방풍 울타리 설치 ● 시설하우스는 기후변화에 대응 현대화 시설물 설치 ● 수분의 증발산을 억제하기 위한 플라스틱 필름 사용 ● 온난화에 따른 농산물 저장시설의 현대화 ● 시설원에 에너지 절감기술 개발

부표 5(계속).

범 주		적 응 수 단
경제적 수단	⑨ 보조금 지급	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 적응농법 실천 저탄소직불금 지급 • 절수에 대한 투자 인센티브 도입 • 고효율 관개시스템의 보조금 지원 • 농가 위험관리를 위한 보상정책 개발
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 지역별·품목별 조건을 고려한 농업재해보험 확대 • 농업재해보험 약관의 현실성 있는 기후조건 반영 • 농가 위험관리를 위한 개인보험 개발 • 농업 기반시설 피해에 대비한 풍수해보험의 재정비
	⑪ 자원관리시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 농작물 피해량 산정 및 지원시스템 구축 • 재해방지를 위한 토지이용계획의 변경 • 재해대비 시설물 규격 강화 • 농업용수의 절약 및 재활용에 관한 법률 검토 • 농업자원의 효과적 이용·관리를 위한 법률 검토
	⑫ 지역별계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 주산단지 특별대책단 구성방안 • 지역단위 농업농촌 장기발전계획 수립 • 지역별 기후변화 적응계획 수립
인력양성 및 교육	⑬ 인력양성	<ul style="list-style-type: none"> • 적응대책 전문인력 육성 • 기후변화 적응 선도농업인 육성
	⑭ 교육·홍보	<ul style="list-style-type: none"> • 농업 기상정보시스템 운영 및 홍보를 통한 이용 확대 • 농작물재해보험 및 위험관리에 대한 농가인식 제고 • 적응대책 매뉴얼·자료 등의 구축 및 보급 • 새로운 품종 및 난지작물 등의 재배기술 농가교육 • 농업부문 온난화 적응 홍보
모니터링	⑮ 적응 및 취약성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 농경지 환경 및 기상인자 모니터링 시스템 구축 • 농업생태계 변화 모니터링 시스템구축 • 벼 재배단지의 수자원 부존량 변화 모니터링 • 기후변화에 따른 작물의 생육 및 생산성 영향 평가 • 세계 식량수급의 중장기 예측 • 대체용수 사용에 따른 작물 생육 및 환경영향평가

부표 5(계속).

법 주		적 응 수 단
농가적용 기술경영	⑯ 생산기술 관리	<ul style="list-style-type: none"> ●작물 성장속도를 조절, 온실 경작, 농약과 잡초의 조절 ●병해 예방, 작물유형의 다각화, 이식일자 등의 조정 ●종을 보다 깊게 이식, 작물의 이식밀도 감소 ●열, 염해 등의 스트레스 내성 작물이식 ●물이용 효율이 높은 작물의 이식 ●적당한 기후로의 재배적지 전환(적지적작)
	⑰ 토양 관리	<ul style="list-style-type: none"> ●토양침식 방지를 쉽게 하기 위한 밭의 세분화 ●토양침식 방지를 위한 경작 회피 및 주변식생 관리 ●경작체계의 변경(윤작, 간작) 및 다양화 ●수리용 억제를 위한 절단한 포기 멀칭 ●알칼리 토양의 개선 등을 통한 비옥화
	⑱ 용수 관리	<ul style="list-style-type: none"> ●스프링클러 관개, 적하 관개 ●파이프도랑 수로이용 ●물이용 효율제고를 위한 관개 스케줄 작성 설비이용 ●농가단위 저수시설 설치
	⑲ 농가재정 관리	<ul style="list-style-type: none"> ●소득감소 위험회피를 위한 작물보험 활용 ●소득 안정화 프로그램에 참여 ●작물다각화 등을 통한 농가소득원 다양화 ●농산물 선물시장에 참여

부록 6

지역별 기후변화 적응관련 연구추진 내역

부표 6. 지역별 기후변화 적응관련 연구추진 내역

권역	적용사례	시행기관
경기권	<ul style="list-style-type: none"> ●지구온난화에 따른 농업환경 변동연구 <ul style="list-style-type: none"> - 경기지역 주요 재배작물의 탄소고정 능력평가(2008~'10) - 기후변화 대비 고온적응 벼 재배기술 개발 (2008~'10) - 온실가스 배출저감을 위한 감미재배 적응기술 개발 (2008~'11) - 벼재배 시 동계작물 연작에 따른 탄소흡수배출 수지평가 - 경기지역 온실가스 감축을 위한 작부체계 모형분석 및 농가소득화 방안 연구 (2008~'09) - 경기북부지역 사과재배적지 구분 및 확대전략수립 연구 (2008~'10) - 지구온난화 대응 기상변화에 따른 과수의 생육상황 변화 분석 (2008~'10) 	경기도 농업기술원
경상권	<ul style="list-style-type: none"> ●농업부문 적응분야 추진 연구과제 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화에 따른 쌀 수량 및 품질변화 연구(2009~'11) - 한반도 온난화에 따른 경남지역 맥류 재배법 재설정 연구 (2009~'11) - 남부평야지대에서 녹비작물 이용 화학비료 대체효과 구명 (2009~'11) - 기후변화에 대응한 사과종(무화과) 재배기술 개발(2009~'14) - 양과 농작물재해보험 표준수확량 조사연구(2008~'09) ●기후변화 적응 기술개발 우수사례 <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 무경운 자운영피복 벼기계 이앙(2006~'08) 	경상남도 농업기술원
	<ul style="list-style-type: none"> ●농업부문 적응분야 추진 연구 - 기후변화 대응 경북지대 별 벼 생육 및 미질 분석(2008~'12) ●아열대 과종 재배환경 적응성 검토(2008~'12) ●주요 작물 병해충 발생 모니터링 연구(2009~'12) ●경북지역 맥류 재배법 재설정 연구(2009) ●식량작물 신품종 육성연구(2007~'11) 	경상북도 농업기술원

부표 6(계속).

전라권	<ul style="list-style-type: none"> •온난화 대응 농업부문 연구 로드맵 작성(2009~'30) •온난화 대응 소득증대 과수류 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 아보카도, 패션프룻, 체리모야, 용과, 노니, 캔타로프 •온난화 대응 소득증대 작물류 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 레몬그라스, 아피오스, 아티초크, 페피노, 오크라, 올리브 등 	전라남도 농업기술원
	<ul style="list-style-type: none"> •과수 신품종 육성(2009~'11) •호남지역 콩 파종기 및 재식거리 재설정(2009~'11) •이상고온에 따른 병해충의 작물별 피해율 산정기술 설정연구(2008~'10) 	전라북도 농업기술원
충청권	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화 대응 벼재배 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고등숙 적응 고품질 조생종 품종선발 - 조생종 벼 조기이앙 시 적정 재식거리 설정 •충청지역 콩 품질향상 및 안전재배 기술연구 •충남지역 맥류재배법 재설정 연구 	충청남도 농업기술원
	<ul style="list-style-type: none"> •충북지역 과수품종의 지역적 특성연구 •충북지역 사과주산지별 적품종 개발 	충청북도 농업기술원
강원권	<ul style="list-style-type: none"> •벼 신품종 육성 연구(2002~'10) <ul style="list-style-type: none"> - 고품질 내재해 우량계통 선발 •벼 친환경적 재배 연구(2007~'10) <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화에 따른 환경영향 및 적응성 평가 •기후온난화 대비 강원지역 과수재배(2008~'12) <ul style="list-style-type: none"> - 강원 지대별 사과생육 특성 검정 - 영동지역의 난지 과수재배가능성 연구 •옥수수 농작물재배보험 조사연구(2009) •복숭아 고감미 내한성 신품종 육성(2006~'10) 	강원도 농업기술원
제주권	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화 대응 주요작물 병 발생 변화조사 •기후온난화에 따른 병해충 발생 양상 변화연구 •기후온난화 대응 제주지역 새소득작물 연구 •온난화 대응 열대/아열대 작물개발 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 열대과수로 망고, 패션프룻의 적응성 평가 - 도입과종: 망고, 아보카도, 패션프룻, 용과, 마카다미아, 아페모야, 체리모야, 구아바 등 8과종 12품종 - 채소류: 오크라, 아티초크, 열대시금치, 차요체, 공심채, 페피노, 구와이, 열대토마토, 양빈 등 10개 품종 •온난화 대응 연구시설 신축 추진 	제주특별자치도 농업기술원

주: 각도 농업기술원의 2009년 시험연구계획서에 제시된 기후변화 적응분야의 연구과제를 발췌하여 정리한 것임.

참고 문헌

- 강원도농업기술원. 2009. 「농업과학기술연구개발 2009 연구과제계획서」.
- 경상남도농업기술원. 2009. 「2009년도 농업과학기술개발 시험연구과제계획서」.
- 경상북도농업기술원. 2009. 「2009년도 농업과학기술시험연구계획서」.
- 고승찬 외 5인. 2009. 「신종 과수재배」. 새미출판사.
- 국가과학기술자문회의. 2007. 「기후변화의 현황과 전망」.
- 국립기상연구소. 2006. 「한반도 기후 100년 변화와 미래」. 기후연구팀.
- 국립기상연구소. 2008. 「A1B시나리오 따른 전지구와 한반도 지역의 평균자료」. 기후연구팀.
- 국립기상연구소. 2009. 「기후변화 이해하기 II - 한반도 기후변화: 현재와 미래」.
- 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.
- 권원태. 2005. “기후변화의 과학적 현황과 전망.” 「한국기상학회지」. 제41권 2-1호: 325-336.
- 권원태 외 10인. 2004. 「기후변화협약 대응을 위한 적응부문 시책수립 방안 연구」. 기상연구소.
- 권영순. 2009. 주요 원예작물별 내동성 분석을 통한 안전재배지대 변동 평가. 농진청 어젠다5 중간평가보고서.
- 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.
- 김연중, 이용연, 김진년. 2008. 「기후변화대비 지속가능 발전방안」. 연구보고서 C2008-26. 한국농촌경제연구원.
- 김영화. 2007. “기후변화 대비 농업기반시설 적응기반 구축의 필요성.” 「농어촌과 환경」. 통권 96호(2007. 9): 85-94.
- 김정호. 1998. “쌀 단수의 변동과 전망.” 「농촌경제」. 제21권 제1호: 33-44.
- 김정호, 이정환. 1996. “1990년대 초의 쌀 단수 정체에 관한 요인 분석.” 「농촌경

- 제」. 제19권 제4호: 1-16.
- 김중연. 2007. “기후변화와 입법: 현황과 과제.” 『국회도서관보』 Vol. 343(2007. 12): 60-73.
- 김종일. 2007. “기후변화와 기상재해 대응과제.” 『리전인포』. 통권 제105호. 광주 전남발전연구원.
- 김창길 외 4인. 2007. 『교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응 전략』. 연구보고서 R541. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 외 5인. 2008. 『기후변화에 따른 농업부문 영향분석』. 연구보고서 R565. 한국농촌경제연구원.
- 김창길·심교문. 2009. “기후변화가 농업부문에 미치는 영향.” 『농업전망 2009(I)』. 한국농촌경제연구원. pp. 295-322.
- 김창길, 이상민. 2009. “기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향분석.” 『농업경제연구』 50(2): 1-25.
- 김창길, 정학균 편저. 2009. 『농업부문의 기후변화 적응 방안』. KREI 농업부문 기후변화대응포럼 자료집. 연구자료 D275-1. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 정학균, 장정경 편저. 2009. 『기후변화 대응 농업부문 녹색성장 전략』. 기후변화대응 국제심포지엄 자료집. 연구자료 D275-2. 한국농촌경제연구원.
- 김천환. 2007. “미래농업을 위한 대단위 농촌기반시설 리모델링 방향.” 『농어촌과 환경』. 통권 96호(2007. 9): 32-44.
- 나영은 외 6인. 2007. “농업부문의 기후변화 영향 및 적응방안에 관한 국외 동향.” 『한국국제농업개발학회지』. 제19권 제2호: 93-100.
- 농촌진흥청. 2007a. “지구 변화에 따른 농업생산 생태계 변화-지구온난화 농업생태계 지각변동 불리.” 『생활과 농약』. 한국작물보호협회.
- 농촌진흥청. 2007b. 기후변화 대응: 농업환경 영향평가 및 적응대책』.
- 농촌진흥청. 2005. 『고품질 쌀 생산을 위한 재배 및 수확 후 관리기술 개발』. 연구보고서.
- 농촌진흥청. 2009. 『농업분야 기후변화대책 추진현황』.
- 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터. 2009. 『농업분야 기후변화 적응 연구』.
- 문경환 외. 2009. 『기후변화에 따른 주요작물별 재배적지 변동 연구』. 농촌진흥청.
- 서형호. 2002. 고품질 사과생산을 위한 재배적지 세분화. 원예연구소 2002년도 원예 시험결과보고서.

- 서형호. 2003. 『기후 변화가 과수 재배에 미치는 영향』. 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 대한 심포지엄 자료. 농촌진흥청 원예연구소.
- 서형호, 박서준, 장한익. 2002. 복숭아 동해 위험지대 구분. 원예연구소 2002 시험연구보고서.
- 서형호, 김점국. 2007. 사과 동해 위험지대 구분도 제작. 한국원예학회 학술발표요지. pp.72-72.
- 서형호, 김점국, 이재만. 2007. 기온상승에 따른 한국과 중국의 사과 재배적지 변동 예측. 한국원예학회 학술발표요지. pp.37-37.
- 서형호 외 2009. 주요 아열대작물별 내동성 분석을 통한 안전재배지대 변동 평가. 농진청 어젠다5 중간평가보고서.
- 성기철. 2009. “아열대 채소류 생산(연구) 동향과 발전방향.” 『제주지역 농업 지구온난화-기후변화, 어떻게 적응할 것인가?』. 제주농업마이스터대학 아열대과수학과. pp.85-103.
- 신의순, 김호석. 2005. 『기후변화협약과 기후정책』. 아산재단 연구총서 제178집. 집문당.
- 신진철, 이충근, 윤영환, 강양순. 2000. “기후변화에 따른 작물 생산반응과 기술적 대응, 기후변화에 대응한 농작물 생산관리.” 한국작물학회·한국농림기상학회·한국농업정보과학회 공동심포지엄 및 학술발표회 초록집: 12-27.
- 심교문 외 3인. 2006. 『기후변화 시나리오에 따른 벼 생육 및 생산성 평가』. 제4차 기후변화학술대회 발표자료.
- 심교문 외 5인. 2008. “기후변화가 농업생산 환경에 미치는 영향.” 『기후온난화 대비 강원농업의 진로 탐색』. 제21회 강원농업 발전방안 심포지엄. 강원도농업기술원 pp.43-71.
- 오인수. 2003. 『기후변화가 농업생산 및 유통에 미치는 영향과 대응방안』. 순천대학교 석사학위논문.
- 윤성탁. 2005. “지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책.” 『한국국제농업개발학회지』. 제17권 제3호: 199~207.
- 윤성호 외 4인. 2001. “기후변화와 농업생산의 전망과 대책.” 『한국농림기상학회지』. 제3권 제4호: 220-237.
- 윤진일. 2009. 농업분야 기후변화 적응을 위한 전자기후도 활용. KREI 농업분야 기후변화대응포럼 발표자료. 한국농촌경제연구원.
- 이병렬. 1995. “기후변화에 따른 농업기후시대와 작물재배기간 변동.” 『기후변화가

- 한반도에 미치는 영향과 지구환경 관련 대책 연구」 2차년도 최종보고서, 과학기술처. pp.75-131.
- 이승주. 2004. 「총량시대와 환경제도」. 시그마미래조직 연구서 3. 시그마인사이트컴.
- 이승호 외 5인. 2008. “기후변화가 농업생태에 미치는 영향 - 나주지역을 사례로.” 『대한지리학회지』 제43권 제1호: 20-35.
- 이양수 외. 2005. 「기후변동에 따른 농업기후자원량 변동성 연구」. 농진청 농업과학기술원.
- 이용선 외. 2005. 「기상 요인이 청과물 수급에 미치는 영향」. 연구보고 R494. 한국농촌경제연구원.
- 이중용. 1996. 「무·배추의 생산결정요인 분석에 관한 연구」. 연구보고서 346. 한국농촌경제연구원.
- 이정택 외. 1994. “우리나라 최근 60년의 기후변화에 따른 농업기후자원 분포.” 『한국환경농학회지』. 제13권 제2호.
- 이충근. 2008. “벼 종실중 및 종실질소함량 추정모델 개발 및 적용.” 서울대학교 박사학위논문.
- 전승중. 2007. “지구 온난화에 따른 감귤재배지 변동과 금후 연구방안.” 『난지농업연구』. 여름 제5권 제2부 통권18호 .
- 정유란, 조경숙, 이변우. 2006. “지구온난화에 따른 우리나라 벼농사지대의 생산성 재평가.” 농림기상학회지 8(4):229-241.
- 조근태, 조용근, 강현수. 2003. 「계층분석적 의사결정」. 동현출판사.
- 조덕래, 조재환. 1992. 「주요 과실류의 수급 분석 및 전망」. 연구보고서. 한국농촌경제연구원.
- 주영희. 1994. “기후변화가 작물생산에 미치는 영향.” 『한국국제농업개발학회지』. 6(3): 231~237.
- 충청남도농업기술원. 2009. 「2009년도 시험연구사업 과제계획서」.
- 충청북도농업기술원. 2009. 「2009년도 농업과학기술연구개발 시험연구계획서」.
- 한화진 외 10인. 2006. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 II」. 연구보고서 RE-01. 한국환경정책·평가연구원.
- 한화진 외 12인. 2007. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III」. 연구보고서 RE-01. 한국환경정책·평가연구원.
- 한화진 외 19인. 2008. 「국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립 연구」. 한국환경정책·평가연구원.

- 환경부 외 12개 부처. 2009. 「국가 기후변화 적응 종합계획 - 세부이행계획」.
- 황의식, 이용호. 2008. 「전업농 위험관리방안 연구」. 연구보고 R582. 한국농촌경제연구원.
- 今井鑑藏. 1983. 「作況指數の算定と生産力水準の諸問題. 農業と農村」. pp.22-30.
- 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. 農業に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号.
- 農政ジャーナリストの會編. 2008. 地球温暖化は農業をどう変えるのか. 日本農業の動き, No.165. 農林統計協會.
- 高橋 潔. 2006. 温暖化が農業生産に及ぼす影響とその適應策. 國際環境研 協會. Vol. 11 -1: 111~119.
- 大賀圭治. 2008. 計りしれない世界食料需給への影響. 農林漁業金融公庫工. 公庫月報. 第 694号. pp.3-6.
- 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>.
- 杜娟, 關澤群. 2007. “气候變化及其對農業的影響.” 安徽農業科學, *Journal of Anhui Agri. Sci.* 35(16): 4898-4899, 4905.
- 劉穎杰, 林而達. 2007. “气候變化對中國不同地區農業的影響.” 气候變化 研究進展. 3(4): 229-233.
- 楊尙英. 2006. “气候變化對我國農業影響的研究進展.” 安徽農業科學, *Journal of Anhui Agricultural Science*. 34(2): 303-304.
- 林而達, 楊修. 2003. 气候變化對我國農業影響及其對策. 中國气象報 第T00 版.
- 鄭有飛, 牛魯燕. 2008. “气候變暖對我國農業的影響及對策.” 安徽農業科學, *Journal of Anhui Agricultural Science*: 36-10.
- 趙其國. 2007. “气候變化与農業可持續發展.” 轉中國科學院南京土壤研究所.
- Belliveau, S., Barry Smit, and Ben Bradshaw. 2006. “Multiple exposures and dynamic vulnerability: Evidence from the grape industry in the Okanagan Valley, Canada.” *Global Environmental Change*, 16: 364-378.
- Bouman, B.A.M. et al. 2001. ORYZA2000: Modeling Lowland Rice. Los Banos(Philippines); International Rice Research Institute, and Wageningen:

- Wageningen University and Research Center.
- Burton , I. and L. Bo. 2005. Achieving Adequate Adaptation in Agriculture. *Climatic Change*, 90-1: 191-2005.
- Chang, Ching-Cheng. 2002. "The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture." *Agricultural Economics*, 27: 51-64.
- Climate Research Unit. Global Temperature Record. 2009. University of East Anglia. <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>>.
- CSIRO and BoM (Bureau of Meteorology). 2007. *Climate Change in Australia: Technical Report*. CSIRO, Melbourne.
- Defra. 2005. *Objective-setting for Climate Change Adaptation Policy*, AEA Technology.
- Defra. 2006. *Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme - Countryside and the Rural Economy(GA01078)*.
- Finger, R. and H. Schmid. 2007. "Modeling Agricultural Production Risk and Adaptation to Climate Change." Paper presented at the 101st EAAE Seminar Management of Climate Risks in Agriculture. Berlin, Germany. July 5-7.
- 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.
- Ford, J. D. and B. Smit. 2004. "A Framework for Assessing the Vulnerability of Communities in the Canadian Arctic to Risks Associated with Climate Change." *Arctic*. 57-4: 389-400.
- Francisco, E.M. and J.W.B. Guise. 1988. *A Note on Establishing Yield-Rainfall Relationships*. Elsevier Science Publishers B.V.
- Gunasekera D., Kim Y., Tulloh C., and M. Ford. 2007. "Climate Change: Impacts on Australian Agriculture." *Australian Commodities*. 14-4: 657 - 676.
- Gunasekera D., Tulloh C., Ford M., and E. Heyhoe. 2008. "Climate change: Opportunities and challenges in Australian agriculture." *Proceedings of Faculty of Agriculture, Food & Natural Resources Annual Symposium 2008*. University of Sydney.

- Hazell, P.B.R. and R.D. Norton. 1986. *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. New York: MacMillan Publishing Company.
- Howden, S. M. and Meinke, H. 2003. Climate change: challenges and opportunities for Australian agriculture. In: Proceedings of the Conference on Climate Impacts on Australia's Natural Resources: Current and Future Challenges, Queensland, Australia, Canberra: Standing Committee on Natural Resource Management. Managing Climate Variability Program, pp. 53-55.
- Hui J. et al. 2008. *Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture - Phase II Adaptation Framework and Strategy Part 2: Application of the Adaptation Framework: A Case Study of Ningxia, Northwest China*. AEA Technology.
- Iglesias, Ana et al. 2007. *Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector*. AGRI-2006-G4-05. AEA Energy & Environment.
- IPCC. 2001. *Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 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』.
- Ju, Hui et al. 2008. *Adaptation Framework and Strategy Part 1: A Framework for Adaptation*. in *Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture - Phase II*. University of East Anglia.
- Kandlikar M, and J. Risbey. 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.
- Kingwell R. 2006. "Climate change in Australia: Agricultural Impacts and Adaptation." *Australian Agribusiness Review*, 14.
- Krinsky. I., and A. L. Robb. 1989. "On Approximating the Statistical Properties of Elasticities." *Review of Economics and Statistics* 68: 715-719.
- Matthews, R. B., Kropff, M. J. and Bachelet, D. 1997. Simulating the Impact of Climatic Change on Rice Production in Asia and Evaluating Options for

- Adaptation. *Agricultural Systems* 54: 399-425.
- Mendelsohn, R. W. D. Nordhaus, and D. Shaw. 1994. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis." *American Economic Review*, 84(4): pp. 753-771.
- OECD. 2008. Draft OECD Guidelines on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation. COM/ENV/EPOC/DCD/DAC(2008)2.
- OECD. 2006a. Metrics for Assessing the Economic Benefits of Climate Change Policies in Agriculture. ENV/EPOC/GSP(2006)12.
- OECD. 2006b. The Impact of Climate Change on Agriculture and Options for Adaptation. COM/AGR/CA/ENV/EPOC(2006)25.
- Reid, S., B. Smit, C.W. and S. Belliveau. 2007. "Vulnerability and adaptation to climate risks in Ontario Agriculture." *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 12-4: 609-637.
- Saaty, Thomas L. 1990. "How to Make a Decision the Analytic Hierarchy Process." *European Journal of Operational Research*, 48: 9-26.
- Smit, B. and M.W. Skinner. 2002. "Adaptation options in agriculture to climate change: a typology." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 85-114.
- Solomou, S. and W. Wu. 1999. "Weather Effects on European Agricultural Output, 1850-1913." *European Review of Economic History* 3, 351-373.
- Tarleton, M. and D. Ramsey. 2008. "Farm-Level Adaptation to Multiple Risks: Climate Change and Other Concerns." *Journal of Rural and Community Development* 3-2: 7-63.
- 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.
- Vining, K. C. 1989. "Effects of Weather on Agricultural Crop and Livestock: An Overview." *International Journal of Environmental Studies*, 36: 27-39.
- Wall, E., B. Smit, and J. Wandel. eds. 2007. *Farming in a Changing Climate: Agricultural Adaptation in Canada*. Toronto, Canada: UBC Press.

연구보고 R593

기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25)

인 쇄 2009. 11.

발 행 2009. 11.

발행인 오세익

발행처 한국농촌경제연구원

130-710 서울특별시 동대문구 회기동 4-102

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

인쇄처 (주)문원사

전화 02-739-3911~5 E-mail: munwonsa@chol.com

ISBN 978-89-6013-137-8 93520

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