



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

농업 이상기후지수 개발
및 적용에 관한 연구



2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

환경대기과학과

김 미 아

이 학 석 사 학 위 논 문

농업 이상기후지수 개발
및 적용에 관한 연구

지도교수 오 재 호

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함.

2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

환경대기과학과

김 미 아

Study on the Abnormal Climate Index and its Application

-with focus on Agricultural Sector in Korea

(농업 이상기후지수 개발
및 적용에 관한 연구)

Advisor: Prof. Jai Ho Oh

Mia Kim

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of

Master of Science

in Department of Environmental Atmospheric Science,
The graduate School,
Pukyong National University

February 2015

김미아의 이학석사 학위논문을 인준함.

2015년 2월



주 심 이학박사 김 재 진 (인)

위 원 이학박사 정 형 빈 (인)

위 원 이학박사 오 재 호 (인)

목 차

그림 목차	vii
표 목차	ix
Abstract	xii
I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 농업 이상기후지수(ACI) 개발	6
II. 자료 및 모델 소개	22
III. 결과	25
1. ACI 검증	25
2. 모델 검증과 ACI 산출	37
IV. 요약 및 결론	50
V. 참고문헌	53

List of Figures

Fig. 1 Distribution of daily maximum temperature (hypothetical graph)	14
Fig. 2 Distribution of normalized daily maximum temperature (hypothetic graph)	14
Fig. 3 Agricultural Abnormal Index(ACI) graph (hypothetical graph)	21
Fig. 4 Analysis region	23
Fig. 5 Icosahedral-hexagonal grid generation	24
Fig. 6 Rice production and ACI graph in Chungcheongnam-do	26
Fig. 7 Rice production and ACI graph in Jeollanam-do	27
Fig. 8 ACI graph in 1980 in Chungcheongnam-do	28
Fig. 9 ACI graph in 2009 in Chungcheongnam-do	28
Fig. 10 ACI graph in 1997 in Chungcheongnam-do	29
Fig. 11 ACI graph in 1999 in Chungcheongnam-do	29
Fig. 12 ACI graph in 1996 in Jeollanam-do	32
Fig. 13 ACI graph in 2012 in Jeollanam-do	32
Fig. 14 The graph of frequencies of damage possibility in Chungcheongnam-do with periods	35
Fig. 15 The graph of frequencies of damage possibility in Jeollanam-do with periods	36
Fig. 16 Taylor diagram of GME about daily maximum	

temperature	44
Fig. 17 Taylor diagram of GME about daily mean temperature	44
Fig. 18 Taylor diagram of GME about daily precipitation	45
Fig. 19 Taylor diagram of GME about daily mean wind speed	45
Fig. 20 The predicted ACI graph in Chungcheongnam-do in 2014	47
Fig. 21 The predicted ACI graph in Jeollanam-do in 2014	47
Fig. 22 The observed ACI graph in Chungcheongnam-do in 2014	48
Fig. 23 The observed ACI graph in Jeollanam-do in 2014	48



List of Tables

Table 1 The criteria of damages on weather/climate and damages occurrence about rice	8
Table 2 The criteria of damages, period and variable about weather/climate for rice	9
Table 3 ACI' description	10
Table 4 Summary of normalization methods (Nardo,2005)	12
Table 5 The range of index about σ for daily maximum temperature	15
Table 6 The range of index about σ for daily mean temperature	16
Table 7 The range of index about σ for sunshine duration	17
Table 8 The range of index about σ for daily maximum wind speed	18
Table 9 The range of index about σ for SPI	19
Table 10 The index of damage proxy variables and ACI about Fig. 3 (hypothetical ACI)	21
Table 11 Selected countries about each province	23
Table 12 The correlations between rice production and ACI on each province (p-value<0.05)	25
Table 13 The damage index and ACI in 1980 in Chungcheongnam-do	28

Table 14 The damage index and ACI in 2009 in Chungcheongnam-do	28
Table 15 The damage index and ACI in 1997 in Chungcheongnam-do	29
Table 16 The damage index and ACI in 1999 in Chungcheongnam-do	29
Table 17 The damage index and ACI in 1996 in Jeollanam-do	32
Table 18 The damage index and ACI in 2012 in Jeollanam-do	32
Table 19 Comparison between frequencies of damage possibility in Chungcheongnam-do and Jeollanam-do	34
Table 20 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily maximum temperature (p-value<0.05)	39
Table 21 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily mean temperature (p-value<0.05) ..	40
Table 22 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily precipitation (p-value<0.05)	41
Table 23 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily mean wind speed (p-value<0.05) ..	42
Table 24 The predicted damage index and ACI in 2014 in Chungcheongnam-do	47

Table 25 The predicted damage index and ACI in 2014 in Jeollanam-do	47
Table 26 The observed damage index and ACI in 2014 in Chungcheongnam-do	48
Table 27 The observed damage index and ACI in 2014 in Jeollanam-do	48



Study on the Abnormal Climate Index and its Application

-with focus on Agricultural Sector in Korea

Mia Kim

Department of Environmental Atmospheric Sciences, the Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

A new index to project a crop production, ACI(Agricultural Abnormal Climate Index) based on the projection of weather conditions, has been developed. The conceptual framework of ACI was defined as impacts of high temperature, cold surge, drought, sunshine duration period and gale. The daily observed data for the period of 1975 to 2013 has been investigated to find a relationship with rice production. The observed meteorological data includes temperature, precipitation, wind speed and sunshine duration. And the target research area has been limited to Chungcheongnam-do and Jeollanam-do. These two provinces are the largest rice production regions in Korea.

The first step to develop ACI is started to judge a criteria value of each meteorological factor to rice production damage. The critical meteorological factors have different units or dimensions,

such as temperature, precipitation, wind speed and sunshine duration. A normalization technique has applied to the distribution of each meteorological factor to merge each other for ACI as the second step. Thus, the mean of normalized variable is 0 together 1 as standard deviation. Then, as third step, the impact of each meteorological variable has judged on the categories of standard deviation values. If any of meteorological index exceed criteria, it has defined as “occurrence of abnormal climate to damage” on the rice production. Finally the ACI has generalized to apply to different regions, in which the criteria values are no longer the same, by setting the ACI as 100 so that a damage may expected when the ACI value exceeds 100. Otherwise, there is no impact from the selected meteorological factor.

The relationship between rice production and ACI in Chungcheongnam-do and Jeollanam-do has been investigated respectively. The results show that the coefficient of correlation between ACI and rice production is -0.4 and -0.3 in Chungcheongnam-do and Jeollanam-do, respectively. The negative relationship means the rice production has marked less than normal with high ACI value and vice versa for the small ACI value. It has been observed that the impact of heat wave has increased and that of cold surge has decreased during 1980's to 2000's. And impact of shortage of sunshine duration has increased conspicuously until 2000's.

The developed ACI has applied to provide a future prospective of rice production at the beginning of 2014 with the projection of long-term weather from Jan. 1st to the end of Oct. ,2014. The long-term climate projection has made with the meteorological condition at the time point of Jan. 1st to 5th, 2014 as initial condition and the observed SST and Sea Ice anomalies as boundary condition for 10 month integration. The climate model is the GME, uniform icosahedral-hexagonal grid global model, used as operational global numerical weather prediction model of the German Weather Service. The estimated ACI is 0 estimated results of this long-term projection of weather for 2014 at the beginning of 2014. It represents there is no meteorological event to damage to rice production. Accordingly, we may expect a good rice production in 2014.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 제 5차 평가 보고서에 따르면 현재 지구온난화는 논란의 여지가 없을 정도로 명백함을 보였다. 기온과 해양 온도의 상승은 물론이며 빙하가 용해되고 해수면이 상승한다고 보도했다(IPCC 제 5차 평가보고서, 2013). 이렇게 전 지구적으로 기온과 강수량 패턴이 변화하여 이상 기상현상이 빈번해졌으며, 특히 20세기 후반의 폭염, 집중호우 등 극한 현상이 증가했다. 또한 추위와 관련된 현상은 감소하고 더위와 관련된 현상은 증가하였다(권원태, 2012).

기상 및 기후조건은 농업생산을 결정하는 주요 환경인자이다. 농작물의 성장과 발육은 기온과 강수량 등과 같은 기상변수들에 의해 직접적으로 영향을 받는다(Menza and Silva, 2009). 기상변수들의 패턴이 한반도에서도 크게 변화하고 있는데, 한국 기후변화 평가 보고서(2010)에 나타난 한반도의 기후변화 현황을 살펴보면 기후변화가 우리나라에 미치는 영향은 세계의 다른 나라보다 빠르게 진행되고 있으며, 기후변화에 의한 피해 역시 점차 증가할 것으로 전망하였다. 이러한 기후변화는 기후 민감도가 높은 농업·임업 분야를 비롯하여 상대적으로 민감도가 적은 공업 분야까지 사회·경제 전반에 막대한 영향을 미친다(안중배 외, 2010). 특히 농업 분야에서 기후변화는 농작물의 생산성 및 안정성과 직결되어 있어 국·내외 곡물 가격 변동 및 식량 위기에 의한 사회 불안과 경제 공황을 야기할 수 있다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2001). 그러나 우

리나라는 대부분의 곡물을 수입에 의존하다보니 세계 식량가격 변동에 민감할 수밖에 없다. 따라서 이러한 문제에 철저히 대비하기 위해서는 식량 안보 전략을 좀 더 장기적 관점으로 바라보아야 한다. 그러나 다양한 이상기후의 형태, 지역별 발생 차이, 농산물 품목별 미치는 영향의 차별성 등 매우 복잡한 요소들로 인해 활용할 수 있는 자료에 대한 연구가 부족하다(농림축산식품부, 2014). 농업 분야에서 이상기후에 대비하기 위하여 고려해야 할 요소는 다양한 이상기후의 형태와 지역적 발생 차이 그리고 재배 작목별로 미치는 영향의 차별성 등 매우 복잡하다. 따라서 다수의 기후요소와 작물의 생리적 요인을 바탕으로 하는 연구들이 국내·외에서 진행되고 있다.

선행연구로 Burhan et al.(2002)은 1975년부터 1999년까지 터키 남부지역에서 재배된 밀의 생산량과 파종시기의 최고기온과 양의 상관관계를, 개화시기의 최대 강수량과 음의 상관관계를 가진다는 것을 보였다. Chen and Chang(2004)은 1977년에서 1996년까지 대만의 쌀, 콩, 피넛 등 7개 작물의 생산량과 기후변화의 상관관계에 대한 패널자료 분석을 하였다. 그 결과 기후변화에 대한 각 작물별 생산량 변화는 작물마다 다르다는 결론을 내렸다. McCarl et al(2004)은 1973년부터 1997년까지 25년간 기후변화가 미국의 농작물 생산량에 어떤 영향을 주는지 48개주의 패널데이터를 통해서 분석하였다. 국내 연구를 살펴보면 이상규 외(2013)는 이상기상 조건이 배추의 생육 및 세포조직에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 안중배 외(2000)는 농업 활동에 있어 기상정보는 어느 분야보다도 중요한 점을 언급하며 상세 국지 모형을 장기 적분하여 생산될 결과와 이를 검증하기 위한 관측 자료를 19개 농업기후지대에 따라 분류함으로써 중·장기 상세 기상 정보의 예측 가능성을 보았다.

선행 연구에서도 살펴보았듯 농업생산은 지역 및 국지 기후조건에 필연적 영향을 받게 된다. 또한 농업기술이 진보함에 따라 기후조건과 농업과의 관계는 다각화되어가고 있는데, 기후자원은 기온, 일사, 강수 등 여러 기후요소의 복합체로서 작물 생산에 깊이 관여하게 된다. 따라서 다수의 기후요소를 지수화하여 특정 지역의 기후 자원량을 분석하고, 종합·판단하여 특정 지역의 농업기후자원의 특성을 한 눈에 알 수 있게 할 필요가 있다(최돈향과 윤성호, 1989). Chmielewski et al.(2000)는 기후변화 시나리오에 의거하여 2070년까지 호주 내 10개의 지역 밀 생산량 가치에 어떤 영향을 주는지 각 작물 별로 생산량의 공간적 분포 분석을 수행하였다. 10개 지역의 밀 생산량에 대한 기후변화 요인을 ‘긍정적임’, ‘긍정적이지만 부정적 요소가 있음’, ‘부정적이지만 긍정적인 요소가 있음’, ‘부정적’으로 크게 4가지 방법으로 구분하였다. 국내에서는 김재철 외(2013)의 연구에서 강원 산악지역에서 재배되는 감자와 무, 배추에 대하여 과거 생산량 자료와 기후와의 상관성을 분석하여 고랭지 농업생산성지수를 개발하고, 북잡산악지역에 대한 기후모델링 시스템을 구축하여 과거 평창 고랭지 지역의 연도별 고랭지 농업 생산성 지수와 생산량과의 관계를 분석하는 연구를 수행하였다.

그러나 기존 연구 중 농업 지수 개발 시 냉해 또는 평년보다 높은 강수, 적은 일조 등 특이 기상을 제외하고 분석하였다. 그러나 농작물은 이상 기상현상으로 인해 생산량이 크게 좌우되므로 본 연구에서는 이상 기상 및 기후 변화에 초점을 맞추었다. 또한 농업 기후 지수를 사용하여 분석한 선행 연구들 대부분 농업기후지대를 대상지역으로 선정하여 분석을 수행하였다(안중배 외, 2000; 심교문 외, 2008; 정명표 외, 2014 등). 농업기후지대란 10년간 기후자료(1973~1982년)를 바탕으로 벼 생육에 영

향을 미치는 기후요소를 이용하여 남한을 19개의 농업기후지대(제주도 제외)로 구분한 것이다. 그러나 이 농업기후지대는 작물 벼의 환경에 제한되어 있으며, 최근 변화한 한반도의 기후요소특성을 반영하고 있지 않기 때문에 활용에 제한이 있다(정명표 외, 2014). 그렇게 때문에 본 연구에서는 작물의 생산과 관련이 되는 지역을 대상 지역으로 선정하였다. 그리고 최근의 기후변화는 계절별, 지역별로 변화 폭이 다르며, 이와 같은 기후변화현상은 농작물 재배 조건에도 많은 영향을 미칠 것으로 전망되기 때문에(정명표 외, 2014) 본 연구에서는 분석하고자 하는 작물의 생리적 특성을 고려하여 기상 변수를 선택 후 지수를 제작하는 방법으로 진행하였다. 그리고 기존에 존재하는 농업 지수인 생육온도지수(Growing degree days: GDD), 유효적산온도(Effective accumulated temperature: EAT), 기후생산력지수(Climatic production index: CPI)등은 각 지수마다 필요로 하는 기상 변수에 대하여 각 지수를 계산하여 지수 값들을 종합적으로 분석해야 하는 번거로움이 있는 반면에 ACI는 벼가 받을 수 있는 여러 재해를 하나의 수치로 나타낼 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 식량 생산 위기 정책 마련 시 참고 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 농업 이상기후지수(Agricultural Abnormal Climate Index, ACI)를 제작하고 이를 적용하여 ACI를 검증하고, 2014년도 쌀 생산량을 예측하는 연구를 수행하였다. 대표 분석 작물로는 벼를 선정하였으며, 선정된 작물의 기상 및 기후 재해 유형을 선정하고 그 유형에 대한 기준을 근거로 하여 시·공간적으로 잘 나타낼 수 있는 지수를 개발하였다. 1장에서는 연구 배경 및 목적과 농업 이상기후지수(ACI)에 대한 정의, 그리고 지수 산출 근거 및 제작 과정을 설명한다. 2장은 1장에서 개발한 ACI를 검증하기 위해 사용한 과거 기상 및 기후 자료를 설명

하고, 예측 자료를 적용하기 위해 사용한 모델을 설명한다. 3장은 먼저 과거 자료를 ACI에 적용하여 ACI를 검증하였으며, 검증된 ACI를 모델 모의 자료에 적용한 분석 결과를 담았다. 마지막 4장은 요약 및 결론으로 본 연구를 마무리 한다.



2. 농업 이상기후지수(ACI) 개발

지수 개발에 앞서 지수 개념을 정리하면, 지수의 본래 뜻은 ‘방향이나 목적, 기준 따위를 나타내는 표지’이며, 최근 지표를 이용한 연구에서의 지표 개념은 ‘어떤 주제의 다양한 측면을 단적으로 나타내는 방식’으로 해석된다(Aall, 2005). 일반적으로 지표와 지수를 엄밀하게 구분하기보다는 혼용하여 사용하는 경우가 많다. 특별히 구분한다면 지표는 단순자료나 기본 자료의 성격이 강한 반면에, 지수는 객관적이며 합리적으로 상호 비교하기 위한 수치이다. 그러므로 지표와 지수는 서로 분리된 개념이 아니다. 우선 다양한 자료와 지표들을 먼저 구상한 후, 구성된 각 지표를 근거로 합리적인 방법을 통하여 지수를 산출하는 것이다(김해동, 2001). 지수는 많은 양의 정보를 하나의 수치로 나타내야 한다는 한계점을 갖고 있으나 주요 장점은 지수라는 도구 하나로 여러 지역의 어떠한 정도를 비교할 수 있다. 지수는 자료의 처리 및 활용 방식에 따라 특정지표, 핵심지표, 복합지표 세 가지로 나뉘어진다. 특정지표는 분석하고자 하는 자료를 그대로 지표로 정의한다. 핵심지표는 많은 자료 중 일부 자료만을 선택하여 지표로 정의한다. 마지막으로 복합지표는 둘 이상의 자료를 이용하여 지표로 정의하고 그 지표를 수학적으로 결합한다(Nardo et al., 2005; Saisana and Tarantola, 2002). 본 연구에서는 각 기후요소를 상관계수에 따라 가중치를 두고 평균을 내어 하나의 지표로 나타내는 복합지표의 방식을 따랐다.

가. 농업 이상기후지수(ACI) 정의

기상 및 기후 변화로 인한 재해는 시기별·지역별로 다양하게 나타

날 뿐만 아니라 각 작물들이 가지고 있는 생리적 특징도 다르므로 이를 고려해야 한다. 이때까지 알려진 기상과 작물의 영향 관계로 보면 기상재해 피해 발생은 작물의 종류 및 기상재해 유형에 따라 달라지는데, 본 연구에서는 대표적으로 벼에 관하여 분석을 실시하였다. 벼는 우리나라에서 재배 면적이 가장 넓고 여름작물로서 대표적이므로, 생리 현상과 기상변화 관계를 잘 나타낼 수 있을 것으로 사료된다. 벼의 생육에 영향을 미치는 기상재해 유형과 재해 발생 기준을 바탕으로, 기상 및 기후의 영향이 재해의 임계값(재해 기준)을 넘어설 경우 벼에 대하여 이상기후가 발생했다고 정의하였다. 표 1은 본 연구에서 사용한 벼에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상이다.

나. 지수 산출 근거

농업 이상기후지수(이하 ACI)는 기후요소를 바탕으로 제작되었는데, 기후 자체의 개념이 복잡적이고 직접적인 관측이나 측정에 어려움이 있기 때문에 농업생산량 및 농업 기상·기후 재해 영향을 잘 반영할 수 있는 대리변수(proxy variable)를 설정하였다. 이상적인 대리변수의 조건은 필요한 정보를 종합하고 단순화시키며, 관심의 대상이 되는 현상을 가시화하거나 인지할 수 있도록 만드는 것이며, 또한 필요한 정보들을 정량화하고 상호 교환할 수 있어야 한다(유가영 외, 2008). 본 연구에서 설정한 대리변수는 벼가 피해를 입을 수 있는 재해에 대하여 각 재해 요소를 평가할 수 있는 세부 항목으로 구성하였다. 따라서 기상재해 유형을 대리변수로 설정한 후(표 1), 이를 바탕으로 각 대리변수를 나타내는데 사용되는 각 기상변수들을 설정하였다(표 2).

Table 1 The criteria of damages on weather/climate and damages occurrence about rice

	Damage type	Criteria of damage	Influence	Damage aspect
R i c e	High temp.	Over 35°C among anthesis time(10am~12pm)	Lose of pollination	Sterility
	Cold damage	Under 17°C on Jul. to Aug.	Delay of the earing season, Atrophy of pollen	Delay of the earing season, Sterility
	Drought	Lack of water during rice transplanter	Impossibility of rice planting	Delay of a transplanta-tion of rice seedlings
	Sunshine lack	Under 4.6 hours about sunshine duration during ripening stage	Decline of photosynthesis, germination of grain filling seed	Grain filling faulty
	Gale	Over 17ms ⁻¹ about daily maximum wind speed during from before 3 days to after 10 days heading	Occurrence of white head causing dehydration, Drop down crop, Occurrence of discoloration causing friction	Sterility, Deterio-ration

Table 2 The criteria of damages, period and variable about weather/climate for rice

	Proxy Variables	Criteria of damage	Period	Variable
R I c e	High temp.	The number of the days over 35°C on temperature	21st Jul. ~20th Aug.	Daily maximum temperature
	Cold damage	The number of the days below 17°C on temperature	Jul. ~ Aug.	Daily mean temperature
	Drought	The number of days below -1 on SPI	May ~ Jun.	Daily precipitation
	Sunshine lack	The number of the days below 4.6 hours for duration of sunshine	21st Aug. ~20th Sep.	Daily sunshine duration
	Gale	The number of the days over 17ms ⁻¹ for wind speed	21st Jul. ~20th Aug.	Daily maximum wind speed

벼의 대리변수 중 가뭄의 분석 지수로 사용되는 표준강수지수 (SPI, Standard Precipitation Index)는 McKee et al.(1993)에 의해 개발된 것으로, 기상학적 가뭄지수에 범주를 두고 있는 지수이다. SPI는 강수 외의 다른 인자는 들어가지 않으므로 지하수와 관계는 정확히 묘사할 수 없으나(Szinell et al., 1998; Szalai et al., 2000) 많은 인자를 사용하지 않고도 효율적으로 계산할 수 있다. 그리고 다양한 시간 간격(1개월, 3개월, 9개월, 12개월 등)의 가뭄에 대한 적용이 가능하며 표준화를 거친다는 장점이 있다(Hayes et al., 1999). SPI의 짧은 기간인 1개월 간격은 농업적 용도로 사용할 수 있으므로 본 연구에서는 1개월에 대하여 계산한 SPI를 사용하였고, SPI에 의한 가뭄 분류인 -1을 가뭄 위험 임계값으로 선정하였다.

ACI는 식(1)로 산출된다.

$$ACI' = \sum_{i=1}^5 \frac{c_i \times v_i}{c_i} \begin{cases} v_i < 100 \rightarrow c_i = 0 \\ v_i \geq 100 \rightarrow c_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

각 수식의 기호는 표 3에 정리되었다. c_i 는 가중치 역할을 하는데, 그 값은 v_i 에 따라 정해진다. v_i 는 대리변수가 나타내는 지수이며, 이 지수가 100 이상인 경우에 c_i 는 1 값을 갖게 된다. 그러나 v_i 가 100을 넘지 못하면 c_i 는 0 값을 갖게 된다. 정리하자면 ACI'는 100 이상인 대리변수를 평균한 값으로 정의된다.

앞서 설명했듯이 ACI'는 복합지표의 성질을 따르고 있다. 따라서 식(1)을 살펴보면 ACI'는 기상 변수들을 지수화 하여 수학적으로 결합한다. 각 기상 변수를 지수화 하는 이유는 기상 변수들은 서로 다른 측정단위를 가지고 있기 때문이다. 서로 다른 측정단위를 가진 자료들을 한데

Table 3 ACI' description

i	Damage (Proxy variable, v)	Description of Proxy variable
1	High temperature	Daily maximum temperature index
2	Cold damage	Daily mean temperature index
3	Drought	Standard precipitation index
4	Sunshine lack	Sunshine duration index
5	Gale	Daily maximum wind speed index

모아 지수를 제작하기 위해서는 표준화(Normalization)과정을 거쳐야 하는데, 그 방법에는 여러 가지가 있다(표 4). 순위 산정(Ranking)은 표준화 방법 중 가장 단순하고 간단한 방법이다. 하지만 그만큼 많은 정보를 알려주는 결과를 얻기는 쉽지 않다(Nardo et al., 2005). 스케일 재조정 방법(Re-scaling)은 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법으로, 이 과정은 지표들을 표준화하여 이것들이 모두 동일한 범위(0~1)를 갖도록 만든다. 하지만 지표 자료의 극값(최대값, 최소값)은 신뢰할 수 없는 이상치가 될 수도 있어서 이러한 요인들이 변환된 지표들에게 왜곡된 효과를 줄 수도 있다(Nardo et al., 2005). 기준선과의 차이(Distance to a reference country)는 기준으로 하는 대리지표에 대한 측정 지표의 비율을 이용하는 방법이며(Nardo et al., 2005), 범주 스케일(Categorical scales)은 각 범주에 포함된 자료들 사이의 비율에 기반을 두는데 이러한 변환 방법의 장점은 계산된 지표가 시간에 따라 어떤 작은 변화를 한다 하더라도 이러한 변환 과정이 결과에 큰 영향을 미치지 않는다는 것이다(Nardo et al., 2005). 그 외에도 표준화 방법으로 평균 상·하위 지표(Indicators above or below the mean), 순환지표(Method for Cyclical Indicators), 연간차이 백분율(Percentage of annual difference over consecutive years) 등이 있다.

본 연구에서 사용한 표준화 방법은 Z-스코어(Z-Score)이다. Z-Score는 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법이며, SPI도 같은 표준화 방법을 이용하여 제작된 지수이므로 표준화 방법을 일치시키기 위하여 이 표준화 방법을 선정하였다. Z-Score는 모든 자료를 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법이다. 따라서 자료의 수치가 분포의 평균으로부터 표준편차의 몇 배나 떨어져있는지를 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다.

Table 4 Summary of normalization methods (Nardo et al., 2005)

Method	Equation
1. Ranking (순위산정)	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
2. Z-score (Z-스코어)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t}$
3. Re-scaling (스케일 재조정)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$
4. Distance to reference country (기준선과의 차이)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}} \text{ or } I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}$
5. Categorical scales (범주 스케일)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 25 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{25th}\} percentile \\ 50 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{50th} - p^{25th}\} percentile \\ 75 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{75th} - p^{50th}\} percentile \\ 100 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{100th} - p^{75th}\} percentile \end{cases}$
6. Indicators above or below the mean (평균 상·하위 지표)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 & \text{if } w > (1+p) \\ 0 & \text{if } (1-p) \leq w \leq (1+p) \\ -1 & \text{if } w < (1-p) \end{cases}$ where $w = x_{qc}^t / x_{qc=\bar{c}}^{t_0}$
7. Cyclical indicators (순환지표)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t))}$
8. Balance of opinions (의견 균형)	$I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_e^{N_e} sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$
9. Percentage of annual differences over consecutive years (연간차이 백분율)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

따라서 원점수의 상대적 위치를 파악할 수 있으나 자료가 정규분포가 아닌 경우 왜곡된 결과를 가져올 수 있기 때문에 주의가 필요하다(Nardo et al., 2005). 표 4의 2번에 그 식이 설명되어 있다.

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t} \quad (2)$$

여기서 I_{qc}^t 는 표준정규분포 확률변수 값, x_{qc}^t 는 정규분포 확률변수 값, $x_{qc=\bar{c}}^t$ 는 정규분포 확률변수의 평균, $\sigma_{qc=\bar{c}}^t$ 는 정규 분포 확률변수의 표준편차이다. 고온을 예로 들면, 그림 1은 가상의 일최고기온 분포이다. 일최고기온의 임계값은 표 2에서 35℃고, 이 값을 Z-Score로 나타내면 그림 2와 같다. 본 가상 자료를 표준화 할 시 임계값 35℃는 1.5로 바뀌며 이때 모든 기상 변수의 단위는 제거된다.

각각의 기상 변수에 대하여 표준화 과정을 거친 후, σ 구간에 대하여 지수를 부여 한다. 지수는 경험적으로 설정하였으며, 확정된 지수 범위는 모든 지역에 대하여 동일하게 적용된다. 표 5~9는 각 기상변수 마다 σ 구간에 대한 지수 적용을 정리한 표이다.

Daily maximum temperature

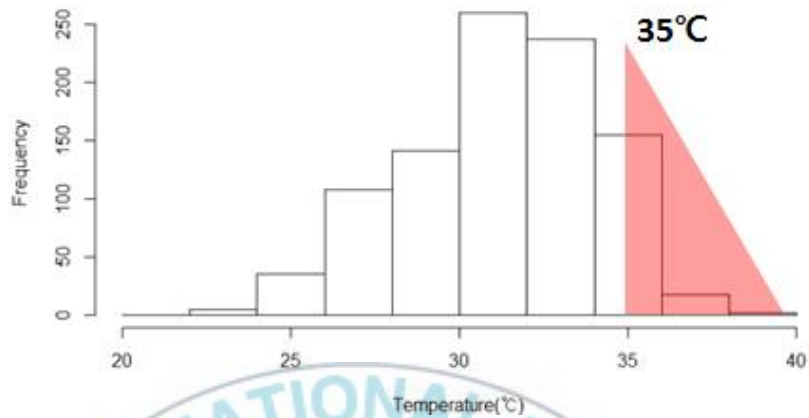


Fig. 1 Distribution of daily maximum temperature (hypothetical graph)

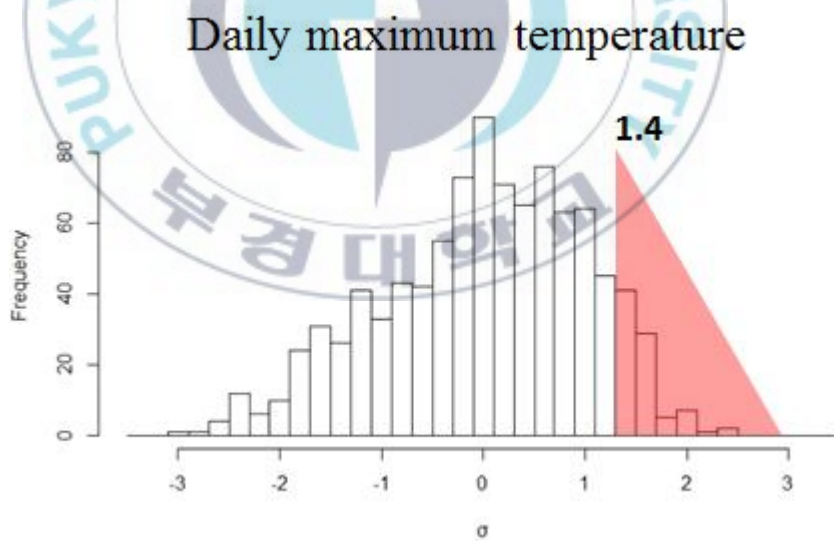


Fig. 2 Distribution of normalized daily maximum temperature (hypothetic graph)

Table 5 The range of index about σ for daily maximum temperature

σ					INDEX
greater than	or equal to	2.4			100
greater than	or equal to	2.08	less than	2.4	95
greater than	or equal to	1.76	less than	2.08	90
greater than	or equal to	1.44	less than	1.76	85
greater than	or equal to	1.12	less than	1.44	80
greater than	or equal to	0.8	less than	1.12	75
greater than	or equal to	0.48	less than	0.8	70
greater than	or equal to	0.16	less than	0.48	65
greater than	or equal to	-0.16	less than	0.16	60
greater than	or equal to	-0.48	less than	-0.16	55
greater than	or equal to	-0.8	less than	-0.48	50
greater than	or equal to	-1.12	less than	-0.8	45
greater than	or equal to	-1.44	less than	-1.12	40
greater than	or equal to	-1.76	less than	-1.44	35
greater than	or equal to	-2.08	less than	-1.76	30
greater than	or equal to	-2.4	less than	-2.08	25
greater than	or equal to	-2.72	less than	-2.4	20
greater than	or equal to	-3.04	less than	-2.72	15
greater than	or equal to	-3.36	less than	-3.04	10
greater than	or equal to	-3.68	less than	-3.36	5
greater than	or equal to	-4	less than	-3.68	0
		-4	less than		0

Table 6 The range of index about σ for daily mean temperature

σ				INDEX
less than or equal to	-3			100
less than or equal to	-2.8	more than	-3	96
less than or equal to	-2.6	more than	-2.8	92
less than or equal to	-2.4	more than	-2.6	88
less than or equal to	-2.2	more than	-2.4	84
less than or equal to	-2	more than	-2.2	80
less than or equal to	-1.8	more than	-2	76
less than or equal to	-1.6	more than	-1.8	72
less than or equal to	-1.4	more than	-1.6	68
less than or equal to	-1.2	more than	-1.4	64
less than or equal to	-1	more than	-1.2	60
less than or equal to	-0.8	more than	-1	56
less than or equal to	-0.6	more than	-0.8	52
less than or equal to	-0.4	more than	-0.6	48
less than or equal to	-0.2	more than	-0.4	44
less than or equal to	0	more than	-0.2	40
less than or equal to	0.2	more than	0	36
less than or equal to	0.4	more than	0.2	32
less than or equal to	0.6	more than	0.4	28
less than or equal to	0.8	more than	0.6	24
less than or equal to	1	more than	0.8	20
less than or equal to	1.2	more than	1	16
less than or equal to	1.4	more than	1.2	12
less than or equal to	1.6	more than	1.4	8
less than or equal to	1.8	more than	1.6	4
less than or equal to	2	more than	1.8	0
less than or equal to	2.2	more than	2	0
		more than	2.2	0

Table 7 The range of index about σ for sunshine duration

σ					INDEX
less than or equal to	-0.7				100
less than or equal to	-0.6	more than	-0.7		96
less than or equal to	-0.5	more than	-0.6		92
less than or equal to	-0.4	more than	-0.5		88
less than or equal to	-0.3	more than	-0.4		84
less than or equal to	-0.2	more than	-0.3		80
less than or equal to	-0.1	more than	-0.2		76
less than or equal to	0	more than	-0.1		72
less than or equal to	0.1	more than	0		68
less than or equal to	0.2	more than	0.1		64
less than or equal to	0.3	more than	0.2		60
less than or equal to	0.4	more than	0.3		56
less than or equal to	0.5	more than	0.4		52
less than or equal to	0.6	more than	0.5		48
less than or equal to	0.7	more than	0.6		44
less than or equal to	0.8	more than	0.7		40
less than or equal to	0.9	more than	0.8		36
less than or equal to	1	more than	0.9		32
less than or equal to	1.1	more than	1		28
less than or equal to	1.2	more than	1.1		24
less than or equal to	1.3	more than	1.2		20
less than or equal to	1.4	more than	1.3		16
less than or equal to	1.5	more than	1.4		12
less than or equal to	1.6	more than	1.5		8
less than or equal to	1.7	more than	1.6		4
less than or equal to	1.8	more than	1.7		0
less than or equal to	1.9	more than	1.8		0
less than or equal to	2	more than	1.9		0
		more than	2		0

Table 8 The range of index about σ for daily maximum wind speed

σ					INDEX
greater than	or equal to	6.4			100
greater than	or equal to	6.1	less than	6.4	96
greater than	or equal to	5.8	less than	6.1	92
greater than	or equal to	5.5	less than	5.8	88
greater than	or equal to	5.2	less than	5.5	84
greater than	or equal to	4.9	less than	5.2	80
greater than	or equal to	4.6	less than	4.9	76
greater than	or equal to	4.3	less than	4.6	72
greater than	or equal to	4	less than	4.3	68
greater than	or equal to	3.7	less than	4	64
greater than	or equal to	3.4	less than	3.7	60
greater than	or equal to	3.1	less than	3.4	56
greater than	or equal to	2.8	less than	3.1	52
greater than	or equal to	2.5	less than	2.8	48
greater than	or equal to	2.2	less than	2.5	44
greater than	or equal to	1.9	less than	2.2	40
greater than	or equal to	1.6	less than	1.9	36
greater than	or equal to	1.3	less than	1.6	32
greater than	or equal to	1	less than	1.3	28
greater than	or equal to	0.7	less than	1	24
greater than	or equal to	0.4	less than	0.7	20
greater than	or equal to	0.1	less than	0.4	16
greater than	or equal to	-0.2	less than	0.1	12
greater than	or equal to	-0.5	less than	-0.2	8
greater than	or equal to	-0.8	less than	-0.5	4
greater than	or equal to	-1.1	less than	-0.8	0
greater than	or equal to	-1.4	less than	-1.1	0
			less than	-1.4	0

Table 9 The range of index about σ for SPI

σ					INDEX
less than or equal to	-3				100
less than or equal to	-2.7	more than	-3		95
less than or equal to	-2.4	more than	-2.7		90
less than or equal to	-2.1	more than	-2.4		85
less than or equal to	-1.8	more than	-2.1		80
less than or equal to	-1.5	more than	-1.8		75
less than or equal to	-1.2	more than	-1.5		70
less than or equal to	-0.9	more than	-1.2		65
less than or equal to	-0.6	more than	-0.9		60
less than or equal to	-0.3	more than	-0.6		55
less than or equal to	0	more than	-0.3		50
less than or equal to	0.3	more than	0		45
less than or equal to	0.6	more than	0.3		40
less than or equal to	0.9	more than	0.6		35
less than or equal to	1.2	more than	0.9		30
less than or equal to	1.5	more than	1.2		25
less than or equal to	1.8	more than	1.5		20
less than or equal to	2.1	more than	1.8		15
less than or equal to	2.4	more than	2.1		10
less than or equal to	2.7	more than	2.4		5
		more than	2.7		0

각 지역에 대하여 수행한 결과를 분석하면, 각 지역마다 기상 변수에 대한 정보(기상 변수에 대한 평균과 표준편차)가 다르기 때문에 임계값에 대한 지수가 다르게 나타나는 현상이 발생한다. 예를 들어 충청남도의 경우 일최고기온 지수 임계값은 80, 전라남도는 85이다. 도별로 지수를 구분할 때 지수가 같은 83을 갖더라도 충청남도의 경우는 임계값을 넘지만 전라남도의 경우 임계값을 넘지 않기 때문에 각 도별로 일일이 그 값을 비교해야하는 불편함이 있다. 이를 보완하기 위해 임계값을 전체 지역과 기상 변수에 대하여 100으로 통일하는 과정을 수행하였다. 방법은 백분율 방식을 적용하였다.

$$ACI = \frac{ACI'_{(analysis)}}{ACI'_{(criteria)}} \times 100 \quad (3)$$

$ACI'_{(criteria)}$ 는 재해 대리변수 임계값이 되는 지수, $ACI'_{(analysis)}$ 는 관측이나 모델에 의해 도출된 지수이며, 이 둘의 비율에 100을 곱한 최종값이 실제로 본 연구에서 적용한 ACI이다.

이와 같은 방식으로 농업 이상기후지수를 개발하였으며, 이를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 점선은 각 재해에 대한 임계값을 연결한 선이고 실선은 분석 기간 동안 각 재해가 나타내는 지수를 연결한 선이다. 따라서 ACI 그래프는 고온, 냉해, 일조부족, 강풍, 가뭄 각각에 대한 피해의 지수 분석이 가능하며, 각 대리변수 지수를 식(1)에 대입하여 계산하여 전체 피해 가능성에 대한 지수인 ACI로도 나타낼 수 있다. 또한 표 1과 같은 타 작물 피해 기준이 명확히 제시되어 있다면 타 작물에도 응용 가능하며, 농업 분야 뿐 만 아니라 다른 분야에도 적용 가능한 장점을 가지고 있다.

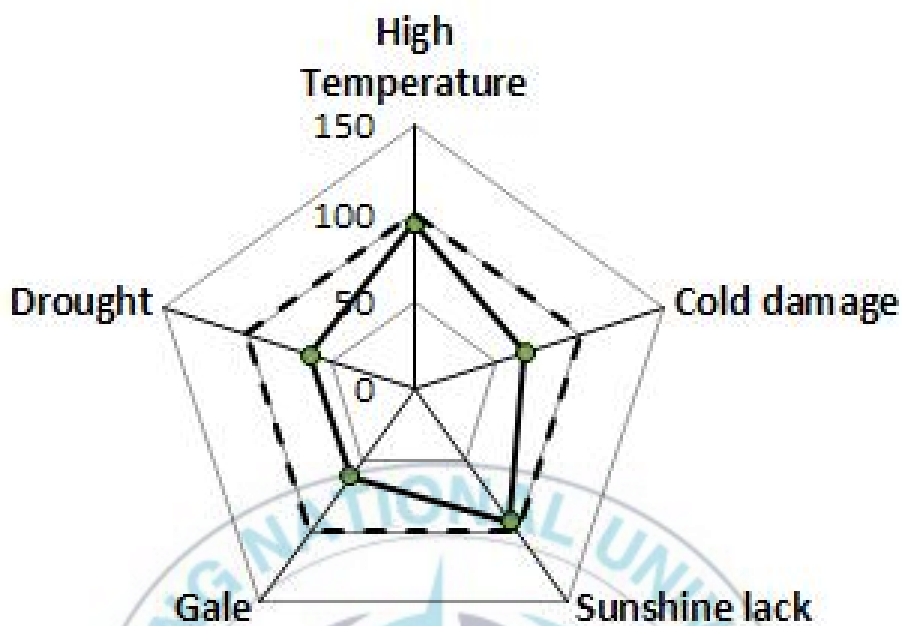


Fig. 3 Agricultural Abnormal Index(ACI) graph (hypothetical graph)

Table 10 The index of damage proxy variables and ACI about Fig. 3 (hypothetical ACI)

Region	High temperature	Cold damage	Sunshine lack	Gale	Drought	ACI
Year	94	98	84	110	92	110

II. 자료 및 모델 소개

본 연구에서 개발한 ACI가 쌀 생산량을 잘 반영하는지 검증하기 위하여 과거 관측 자료를 지수에 대입하여 분석하였다. 사용한 관측 기상 자료는 기상청에서 제공받은 1975~2013년 유인관측소(ASOS, Automated Synoptic Observing System) 관측 자료이다. 분석 변수는 일평균기온, 일최고기온, 일강수량, 일일조시간, 일최대풍속이다. 쌀 생산량 자료는 통계청 농작물 생산 조사의 시·군별 논벼 생산량(kg/10a)을 사용하였다. 쌀 생산량은 벼의 품종이 바뀌고 농업 기술이 발전함에 따라 증가 추세를 보이기 때문에 벼의 생산량 변동만을 보기 위하여 쌀 생산량의 추세는 제거하였다. ACI 적용 지역은 우리나라에서 쌀이 제일 많이 생산되는 충청남도, 전라남도이다(그림 4). 이 두 지역은 통계청이 공식적으로 2009년부터 현재까지 매 해마다 발표하는 쌀 생산량 보도 자료에서 도별 쌀 생산량이 가장 많은 지역으로 선정된 바 있다. 각 도별 ASOS 지점은 표 11에 정리하였다. 도시 선정은 ASOS가 설치된 지역 중 자료가 1975년부터 존재하는 지점을 기준으로 하였으며, 이상기후 및 기상재해에 대한 현상을 살펴보는 것이기 때문에 선정된 도시에 대하여 같은 날짜 중 극값(extremes)을 갖는 도시의 값을 추출하였다.

본 연구에서는 2014년 ACI 예측 및 분석을 수행하였으며, ACI를 적용하기 위해 전지구 모델 GME(Operational Global Model(GM) and the regional model for central Europe)의 모의 결과 자료를 사용하였다. GME는 “Icosahedral-Hexagonal grid” 격자를 활용한 독일 기상청 DWD(Deutscher Wetterdienst)의 NWP(Numerical Weather Prediction)

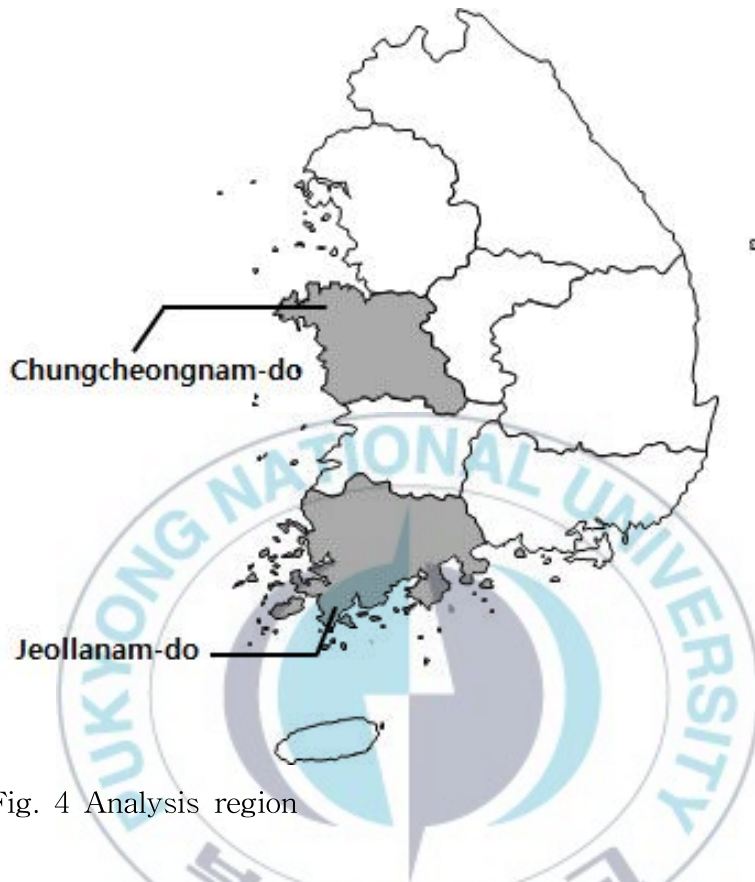


Fig. 4 Analysis region

Table 11 Selected countries about each province

Region	Countries
Chuncheongnam-do	Seosan, Cheonan, Boryeong, Buyeo
Jeollanam-do	Mokpo, Yeosu, Yando, Haenam

크기를 가지고 있기 때문에 일반적인 카테시안 격자가 가지고 있는 CFL(Courant-Frierich-Lewy) 조건에 따른 극 문제에 위배되지 않으며 해상도 증가 조정이 용이하다. 격자 간격은 그림 5와 같이 삼각형 세 변의

모델이다(Majewski et al., 1998). 본 모델은 전구의 격자가 거의 동일한 중심점을 이어 새로운 삼각형을 만드는 방법으로 해상도를 증가시킨다(a)→f)). 모든 삼각형 크기는 오차 5% 이내로 거의 동일한 간격으로 나누어 계산되기 때문에 위도에 관계없이 등 간격으로 나눌 수 있으며 해상도를 증가시키는데 상대적으로 적은 계산량이 요구된다(Heikes and Randall, 1995). 본 연구에서는 GME 2.27버전을 사용하고, 해상도는 수평 40km, 연직 40층이다. 모델 수행 시 경계 조건으로 NOAA OI(National Oceanic and Atmospheric Administration Optimum Interpolation) Weekly SST 자료와 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Sea Ice 자료를 사용하고 약 두 달 간의 Spin-up time을 주었으며, Time-lag method 방식을 적용하여 5개의 앙상블로 2013년 10월 21일부터 2014년 10월 2일까지 모델을 수행하였다.

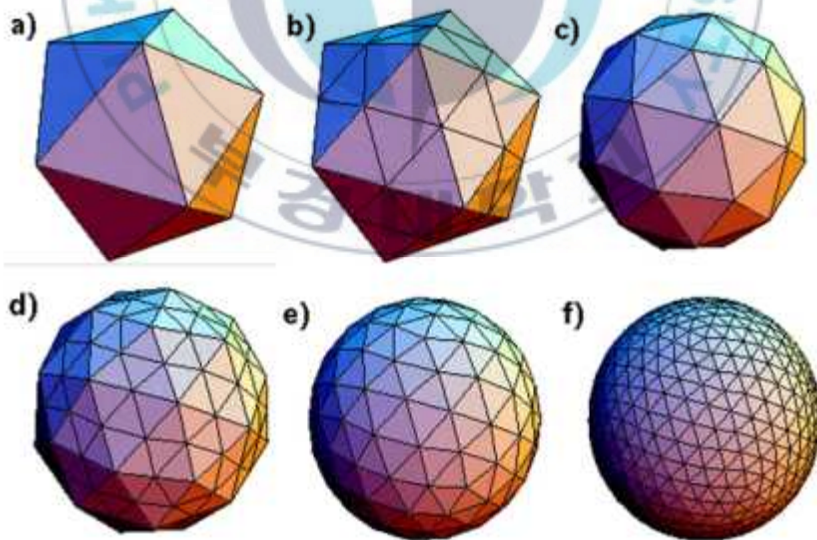


Fig. 5 Icosahedral-hexagonal grid generation (Lee et al.,2002)

Ⅲ. 결과

1. ACI 검증

본 연구에서 개발한 ACI가 기상/기후에 의한 쌀 생산량 피해 가능성을 잘 반영하는지 검증하기 위해 과거 관측 자료를 ACI에 대입하여 그 값을 쌀 생산량과의 상관성 분석을 수행하였다. 추가 분석으로 과거 연대별 재해 대리변수 빈도 변화 추이를 구하여 과거에 어떤 재해 대리변수가 얼마나 발생하였으며 그 빈도가 시대에 따라 어떻게 변화해 나가는지 분석하였다.

가. 쌀 생산량-ACI 분석

관측 자료를 적용하여 산출한 ACI와 지역별 쌀 생산량과의 상관관계를 분석하였다. 충청남도, 전라남도의 쌀 생산량과 ACI 그래프는 각각 그림 6, 7로 나타내었다. 충청남도 쌀 생산량과 ACI의 상관관계를 분석한 결과, 둘은 상관계수가 -0.4로 유의 수준 0.05에서 보통 정도의 음의 상관관계를 가지고 있으며, 전라남도 쌀 생산량과 ACI의 상관관계도 마찬가지로 -0.3으로 유의 수준 0.05에서 보통 정도의 음의 상관관계를

Table 12 The correlations between rice production and ACI on each province (p-value<0.05)

Region	Chungcheongnam-do	Jeollanam-do
correlation	-0.4*	-0.3*

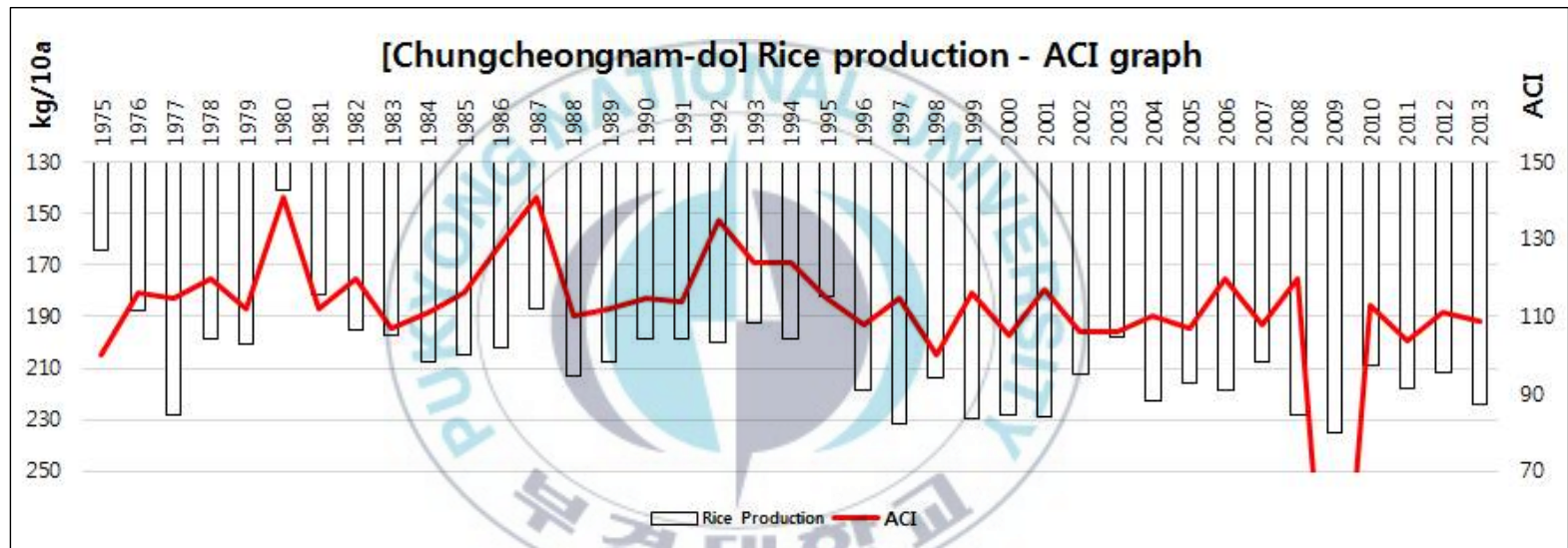


Fig. 6 Rice production and ACI graph in Chungcheongnam-do

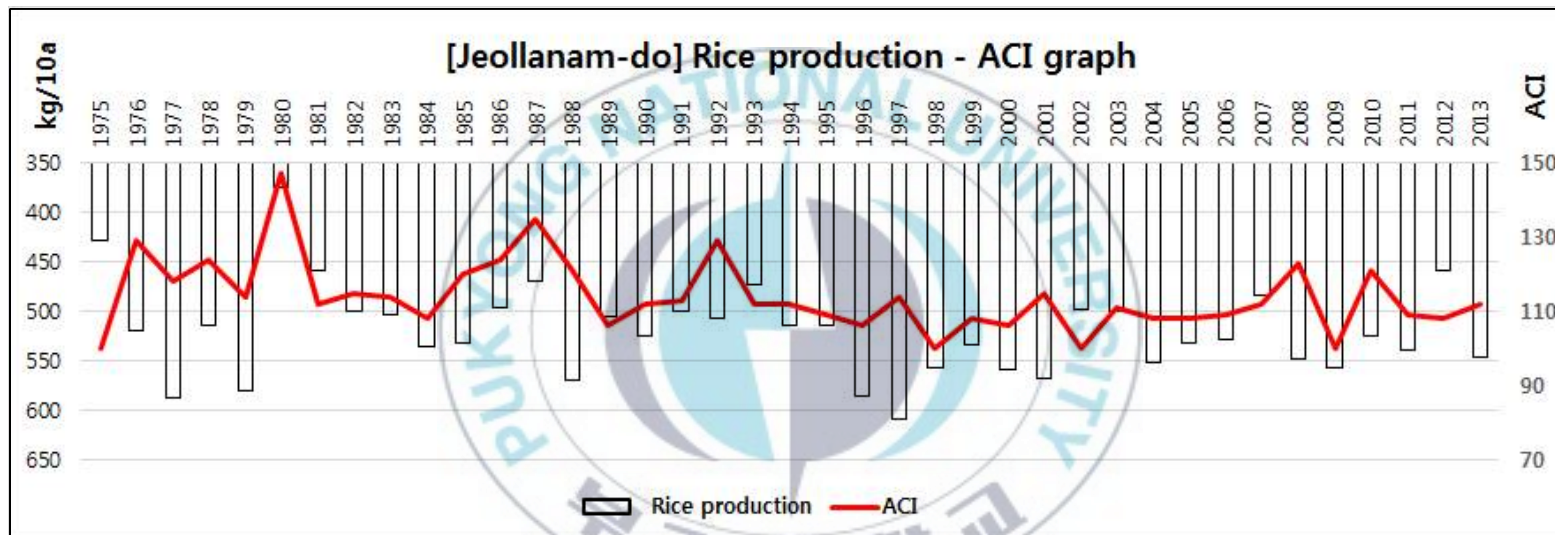


Fig. 7 Rice production and ACI graph in Jeollanam-do

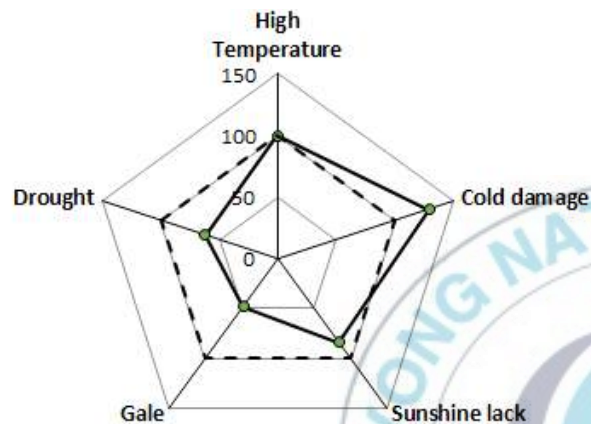


Fig. 8 ACI graph in 1980 in Chungcheongnam-do

Table 13 The damage index and ACI in 1980 in Chungcheongnam-do

Chung -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
1980	69	141	79	67	46	141

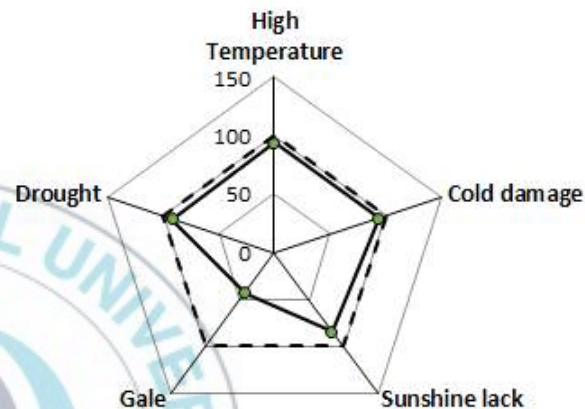


Fig. 9 ACI graph in 2009 in Chungcheongnam-do

Table 14 The damage index and ACI in 2009 in Chungcheongnam-do

Chung -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
2009	94	94	84	43	92	0

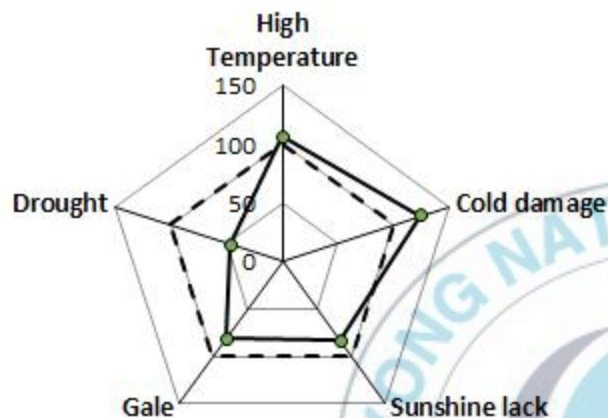


Fig. 10 ACI graph in 1997 in Chungcheongnam-do

Table 15 The damage index and ACI in 1997 in Chungcheongnam-do

Chung -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
1997	106	124	84	81	46	115

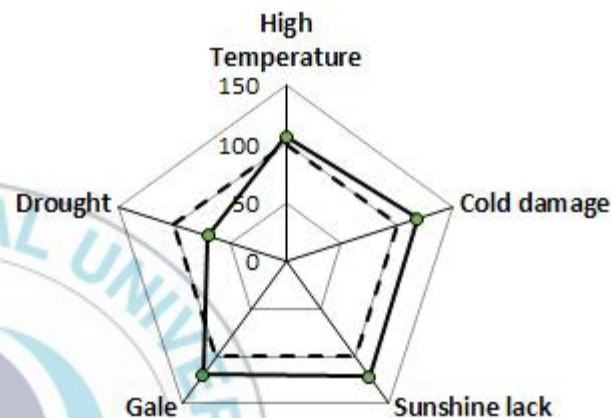


Fig. 11 ACI graph in 1999 in Chungcheongnam-do

Table 16 The damage index and ACI in 1999 in Chungcheongnam-do

Chung -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
1999	106	118	121	119	69	116

갖는다(표 12). 쌀 생산량과 ACI 패턴을 살펴보면 쌀 생산량의 변동 폭과 ACI의 변동 폭이 동일하지 않지만 비슷한 패턴을 나타냈다. 이는 기상 및 기후에 대한 2차적 피해인 병충해 또는 벼의 품종 개량이나 농업 기술에 대한 영향이라 판단되며, 따라서 기상만을 고려하는 ACI의 한계점이다.

충청남도의 경우 쌀 생산량이 가장 높았던 해는, 쌀 생산량 순으로 2009년, 1997년, 1999년 이며, 가장 낮았던 해는 1980년, 1995년, 1987년이다. 그 중에서 쌀 생산량이 가장 적었던 해 1980년과 가장 많았던 해인 2009년 그래프는 그림 8, 9, 표 13, 14에 나타내었다. 먼저 1980년 그래프를 살펴보면, 냉해를 제외하고 나머지 피해 지수들은 80을 넘지 않았다. 따라서 ACI는 냉해 피해 가능성 지수인 141로 표출되었다. 1980년 당시 벼의 전 생육과정에서 사상 유래 없는 저온이 경과되어 초기 생육과 심한 불임 및 등숙 불량에 발생하였다. 통일벼가 냉해에 취약하여 초기 생육과 심한 불임 및 등숙 불량으로 쌀 생산량이 최저치를 기록했고 총 32%에 달하는 벼 수확량 감소 피해가 발생하였다(김연규, 2012). 이후 1992년부터 통일형 품종의 종자 공급을 중단함으로써 통일형 품종의 재배면적은 정부 통계에서 사라졌다(농촌진흥청, 2012). 이후에도 냉해 피해 가능성이 100이 넘는 연도가 상당히 존재했지만 저온에 강한 품종을 재배하면서부터 냉해는 벼의 생산성에 크게 영향을 미치지 않았다. 쌀 생산량이 가장 높았던 2009년의 ACI 그래프를 분석해보면, 재해 지수 중 100을 넘는 경우는 없었다. 따라서 충청남도의 2009년의 ACI는 0으로 분석되었다. 당시 2009년은 7월 장마 이후 수확기까지 기상 여건이 양호하여 포기 당 이삭 수도 늘고 쪽정이가 거의 없던 해이다. 또한 태풍 피해도 없어 벼가 자라기 좋은 환경이었다. 1997년과 1999년은 쌀 생산량은 높았으나 그에 비해

ACI는 낮지 않았다. ACI는 각각 115, 116으로 분석되었다. 그래프 분석 결과 1997년의 경우, 고온과 냉해 피해 가능성이 100을 넘겼으나 1997년은 엘니뇨 시기로 약간 높은 기온과 알맞은 강수량으로 농업 기술을 발휘하기에 좋은 조건이었으며 병충해에 대한 신속 방제로 그 피해를 줄일 수 있었다(그림 10, 표 15). 1999년의 경우는 가뭄을 제외한 모든 피해 가능성이 100을 넘겼다(그림 11, 표 16). 1999년은 여름철 집중호우, 수확기 태풍 등 어려운 기상 여건에도 불구하고 재배면적 확보, 양질 다수성 품종 확대 등 알뜰영농을 추진하여 평년작을 상회하는 쌀이 생산되었다.

전라남도의 경우 쌀 생산량이 가장 높았던 해는, 쌀 생산량이 많았던 순으로 1997년, 1977년, 1996년이며, 쌀 생산량이 낮았던 해는 1975년, 1980년, 2012년이다. 1996년의 경우 ACI는 108을 나타냈다. 자세히 분석해보면 냉해와 일조부족에서 100을 약간 넘는 값을 보였는데, 당시 기상 상황은 벼의 생육단계별 최적 조건이었으며 병충해 신속방제 등 알뜰영농을 추진하여 쌀 생산량이 높았다(그림 12, 표 17). 그러나 2012년은 3번째로 낮은 쌀 수확량을 보였다. ACI는 1996년과 같은 108이다. 2012년 당시 출수기 및 등숙 초기에 8월 말 태풍 불라벤, 덴빈의 영향으로 백수 피해와 풍수해로 쪽정이가 발생했으며, 벼 낱알이 익는 시기에 9월 태풍 산바의 영향으로 비가 많이 내리고 일조시간이 전년보다 적어 낱알이 충실하게 영글지 못했기 때문이다(그림 13, 표 18),(통계청 보도자료, 2012).

따라서 과거 관측 자료를 ACI에 적용했을 때 농업기술 및 벼 품종 개량에 의한 쌀 생산량 변동은 ACI가 나타내지 못하였으나 기상/기후로 인한 피해 가능성은 잘 나타내는 것으로 사료된다. 따라서 미래 예측 자료를 대입할 시 쌀 생산량에 영향을 미치는 기후 인자 및 재해를 예측하여 예방이 가능할 것으로 판단된다.

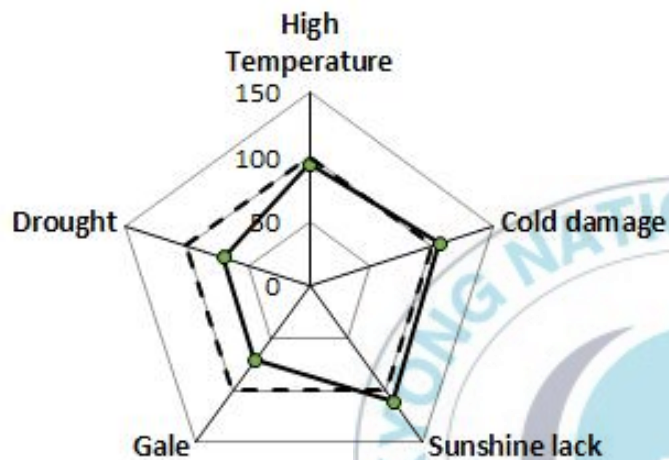


Fig. 12 ACI graph in 1996 in Jeollanam-do

Table 17 The damage index and ACI in 1996 in Jeollanam-do

Jeon -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
1996	94	106	111	71	69	108

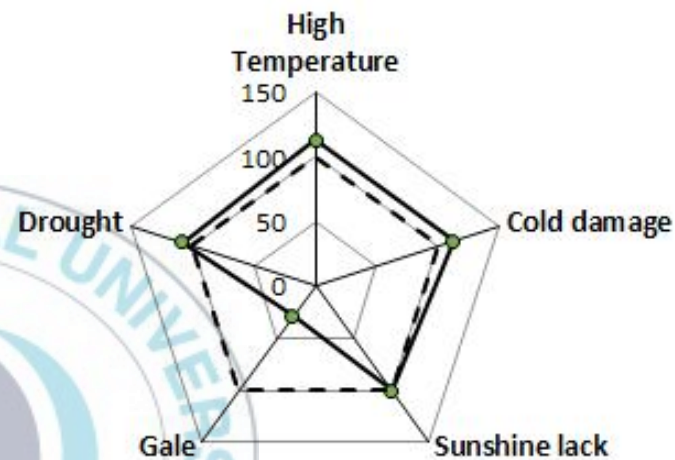


Fig. 13 ACI graph in 2012 in Jeollanam-do

Table 18 The damage index and ACI in 2012 in Jeollanam-do

Jeon -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
2012	113	112	100	29	108	108

나. 시기별·지역별 피해가능성 지수 빈도 분석

벼가 과거에 받은 피해 가능성 빈도 변화를 분석하기 위하여 대상 지역에 대한 각각의 재해 지수가 100이 넘는 값을 그래프로 나타내었다(그림 14, 15). 충청남도, 전라남도의 피해 지수 빈도 그래프를 분석한 결과, 우리나라는 대체적으로 다른 피해 가능성에 대하여 냉해 피해 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

지역별로 살펴보았을 때, 1980년대의 경우, 두 지역의 패턴은 비슷하다. 냉해는 두 지역에서 매 해마다 발생하였으며, 강풍으로 인한 피해는 발생하지 않았다. 충청남도에서 고온과 가뭄 피해 가능성 빈도가 전라남도에 비해 한 해 더 발생하였고, 일조부족으로 인한 피해 가능성은 전라남도에서 충청남도보다 한 해 더 발생하였다. 1990년대의 경우 전라남도가 충청남도에 비하여 냉해를 제외한 벼 피해 가능성 재해 발생 연도가 많았다. 고온으로 인한 피해 가능성 빈도는 7회로 두 지역이 동일하였다. 2000년대의 경우 고온과 냉해 피해 가능성이 충청남도에서 더 많이 발생하였다. 가뭄의 경우 전라남도에서 한 해 더 발생하였고 일조부족 피해 가능성 빈도는 동일하였다. 강풍으로 인한 피해 가능성은 본 지수에서는 발생하지 않았다(표 19).

시기별 분석 결과, 충청남도는 고온과 강풍 피해 가능성 빈도는 시간이 갈수록 크게 증가하지 않았다. 냉해는 2000년도에 1회 감소하였으며 강풍으로 인한 피해 가능성은 큰 변동을 보이지 않았다. 2000년대로 갈수록 일조부족 피해 가능성 빈도가 2회 증가 하였으며 이와 반대로 가뭄으로 인한 피해 가능성 빈도는 1980년대 4회에서 2000년대에는 0회로 감소하였다(그림 14).

전라남도는 고온, 강풍 피해 가능성 빈도는 큰 변동이 없으나 냉

해 피해 가능성 빈도는 2000년대로 갈수록 서서히 감소하였다. 가뭄 피해 발생 가능성 빈도는 1980년대에서 1990년대로 갈수록 증가했다가 2000년대에 다시 감소하는 것으로 분석되었다. 일조부족은 1980년 3회에서 1990년대에 5회로 급증했다가 2000년도에 4회로 감소하며 몇 해마다 꾸준히 발생 한 것으로 나타났다(그림 15).

빈도 분석 결과, 그림 6, 7 그래프에서 대부분의 ACI가 100이 넘는 이유는 매해 발생하는 냉해 피해 가능성 때문인 것으로 나타났으며, 향후 ACI를 재검토할 때 냉해 피해 가능성 임계치를 높여야 할 것으로 분석되었다.

Table 19 Comparison between frequencies of damage possibility in Chungcheongnam-do and Jeollanam-do

	1980's		1990's		2000's	
	Chung-nam	Jeon-nam	Chung-nam	Jeon-nam	Chung-nam	Jeon-nam
High temp.	7	6	7	7	8	6
Cold Damage	10	10	10	9	9	8
Drought	4	3	2	5	1	2
Sunshine lack	2	3	2	5	4	4
Gale	0	0	1	2	0	0

Damage frequencies in Chungcheongnam-do

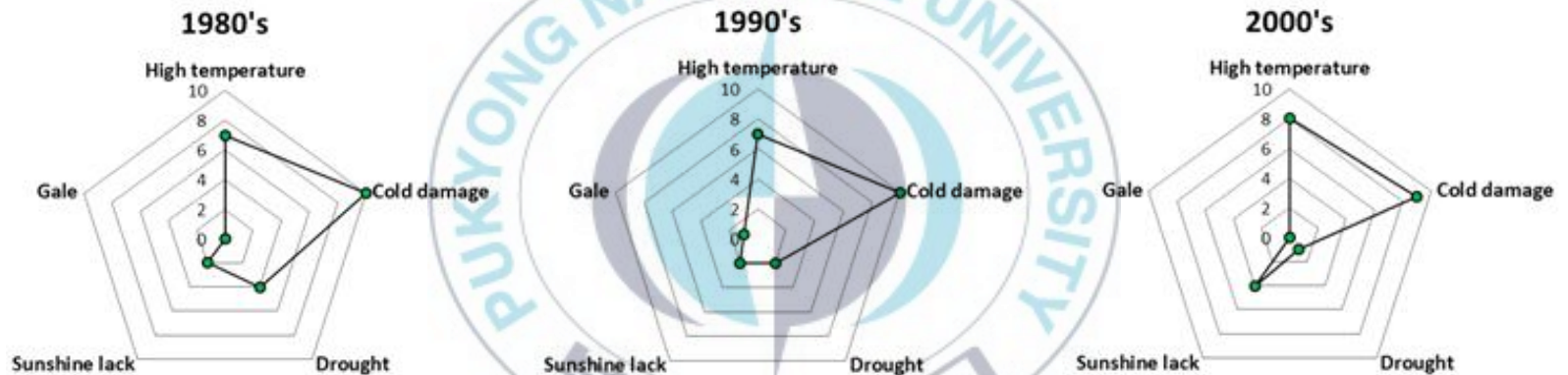


Fig. 14 The graph of frequencies of damage possibility in Chungcheongnam-do with periods

Damage frequencies in Jeollanam-do

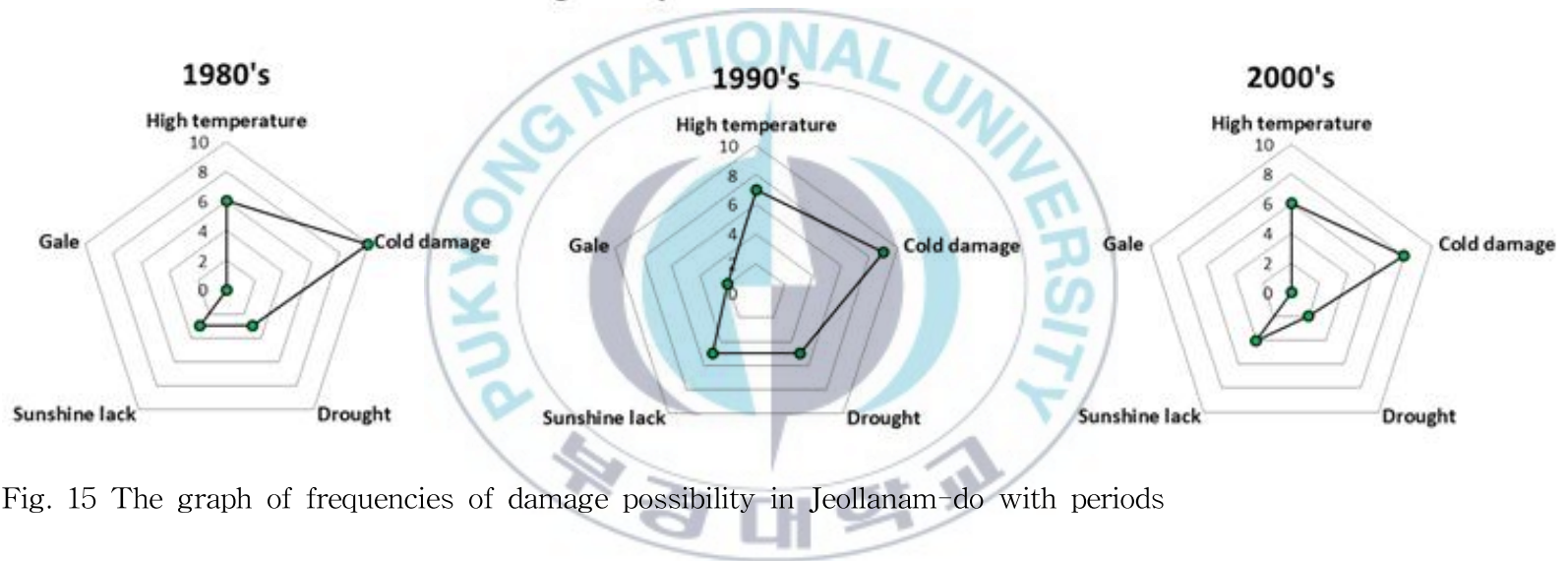


Fig. 15 The graph of frequencies of damage possibility in Jeollanam-do with periods

2. 모델 검증과 ACI 산출

앞서 관측 자료를 사용하여 ACI를 검증했다면, 2절에서는 모델 결과 자료를 적용하여 2014년 ACI를 산출하였다. 2014년 쌀 생산량 피해 예측을 위하여 Spin-up Time을 고려하여 2013년 10월 21일부터 모델을 수행하였다. 그리고 모델 자료를 적용하기에 앞서 모델 검증을 수행하였다. 모델 검증 기간은 5일 평균(Pentad) 자료를 사용하기 위해 2014년 1월 1일~10월 2일의 기간으로 설정하였다. 모델에서 분석 도시를 추출할 때 도시 위·경도가 포함된 격자값을 추출하게 된다. 따라서 격자값을 비교하기 위해 ASOS와 AWS 관측 지점 440곳을 Barnes 객관분석법(Barnes, 1942)을 이용하여 지점 자료를 격자 자료로 변환하였다. 관측값의 격자 간격은 10km로 제작하였으며 따라서 모델 해상도는 Bilinear Interpolation 방법으로 내삽하여 10km로 변환하였다. 따라서 모델 모의 결과 자료에서 분석 지역의 위·경도 값의 격자와 격자화 한 AWS의 분석지역의 위·경도 값의 격자 값을 비교하여 검증을 수행하였다.

모델 검증 방법으로, 먼저 각 기상 변수의 분석 기간에 대하여 평균값, 최고값, 최저값, 표준편차의 차이를 통해 모델 각 값에 대하여 얼마나 높게, 낮게 또는 비슷하게 모의하였는지를 살펴본다. 두 번째로 테일러 다이어그램을 이용한 상관관계와 표준편차 비를 비교한다. 테일러 다이어그램은 모델의 품위를 평가하는데 가장 널리 사용되는 통계적 방법들 중 하나이다. 이 분석은 관측값과 모델의 상관관계수, 정규화된 공간 내 표준편차의 비(Model standard deviation/OBS standard deviation), 평균제곱근 오차(Root Mean Squared Error, RMSE)를 이용하는 방법이다(Taylor, 2001). 본 연구에서는 펜타드 계산을 거친 GME 모델 결과와 관측 자료에

대한 상관계수와 표준편차의 비를 사용하여 분석을 수행하였다. 벼의 피해 기준 선정표(표 2)에서 강풍은 일최대풍속을 사용하도록 명시되어 있으나 AWS에서는 일최대풍속을 관측하지 않으므로 본 검증에서는 일평균 풍속을 사용하였다. 일조시간 또한 AWS에서 제공하지 않으며 모델에서도 일조시간을 모의하지 않으므로 2014년 지수 적용에는 2013년 일조시간 지수가 일정하게 유지되는 가정 하에 2013년 일조시간 지수를 사용하였다.

가. 모델 검증

기상 변수에 대하여 각각 분석 기간 동안 모델과 관측의 평균값, 최고값, 최저값, 표준편차 차이를 분석한 결과, 일평균기온의 보령과 일평균풍속의 여수를 제외하고 모두 유의수준 0.05에서 유의함을 보였다. 일최고기온은 평균값은 모델이 관측과 비슷하게 모의하였고, 여수를 제외하고 모델이 약 0.8°C 에서 1.5°C 높은 것으로 분석되었다. 최고값은 서산, 천안, 목포를 제외하고 모델이 약 0.5°C 높게 모의하였다. 최저값은 모델이 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ 높게 모의하여 모델이 일최고기온에 대해서는 대부분 관측보다 높게 모의되었다. 모델 분산이 관측보다 대체적으로 높아서 모의 자료가 관측 자료에 비해 좀 더 퍼져있는 것으로 분석되었다(표 20). 일평균기온은 최고값과 최저값은 일최고기온과 마찬가지로 관측보다 높게 모의하였으며 최고값은 0.1°C 에서 1°C 높게, 최저값은 3°C 에서 4°C 높게 모의했다. 평균값은 남원과 완도를 제외하고 0.01°C 에서 1°C 작게 모의하였다. 일최고기온과 마찬가지로 모델 분산이 관측보다 큰 값으로 모의되었다(표 21). 기온에 관해서는 모델이 최저값을 작게는 약 3.5°C 에서 약 6°C 까지 높게 모의하였고 분산은 모델이 관측보다 넓게 분포되도록 모의하였다. 일강수량 평균값은 모델이 1mm에서 2mm 정도 높게 모의하였다. 최고값은 모델이

Table 20 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily maximum temperature (p-value<0.05)

Maximum Temperature		OBS				Model				Difference(Model-OBS)			
Country	Station No.	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Seosan	129	19.36	9.53	33.02	-3.29	20.19	9.85	32.74	2.53	0.83	0.32	-0.28	5.82
Cheonan	232	20.00	9.71	33.64	-3.17	20.77	9.91	33.39	2.72	0.77	0.20	-0.25	5.89
Boryeong	235	19.57	9.29	33.04	-2.85	20.46	9.68	33.04	3.16	0.89	0.39	0.00	6.01
Buyeo	234	19.99	9.36	33.37	-2.67	20.86	9.65	33.47	3.38	0.87	0.29	0.10	6.05
Mokpo	165	19.98	8.56	33.53	-0.88	21.29	8.96	33.42	5.07	1.31	0.40	-0.11	5.95
Yeosu	168	30.34	8.20	33.01	0.58	21.89	8.47	33.58	6.58	-8.45	0.27	0.57	6.00
Yando	170	19.95	8.19	32.66	-0.02	21.26	8.61	33.04	5.68	1.31	0.42	0.38	5.70
Haenam	261	20.02	8.39	33.15	-0.44	21.32	8.78	33.26	5.41	1.30	0.39	0.11	5.85

Table 21 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily mean temperature (p-value<0.05, except Boreong)

Mean Temperature		OBS				Model				Difference(Model-OBS)			
Country	Station No.	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Seosan	129	14.29	9.43	28.66	-6.41	14.42	9.76	27.57	-2.71	0.13	0.33	-1.09	3.70
Cheonan	232	14.18	9.68	28.41	-7.00	14.40	9.90	27.52	-3.37	0.22	0.22	-0.89	3.63
Boryeong	235	14.14	9.36	27.84	-6.26	14.46	9.65	27.65	-2.42	0.32	0.29	-0.19	3.84
Buyeo	234	14.08	9.49	28.11	-6.63	14.49	9.68	27.56	-2.73	0.41	0.19	-0.55	3.90
Mokpo	165	14.80	8.72	28.01	-3.62	15.58	8.90	27.97	0.69	0.78	0.18	-0.04	4.31
Yeosu	168	14.99	8.47	27.41	-3.49	15.96	8.59	28.18	1.00	0.97	0.12	0.77	4.49
Yando	170	15.12	8.37	27.79	-3.05	15.76	8.58	27.90	1.40	0.64	0.21	0.11	4.45
Haenam	261	14.96	8.56	27.93	-3.32	15.67	8.74	27.92	1.05	0.71	0.18	-0.01	4.37

Table 22 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily precipitation (p-value<0.05)

Precipitation		OBS				Model				Difference(Model-OBS)			
Country	Station No.	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Seosan	129	2.52	7.28	57.43	0.00	4.58	5.50	33.98	0.02	2.06	-1.78	-23.45	0.02
Cheonan	232	2.65	7.05	51.06	0.00	4.87	5.73	33.34	0.00	2.22	-1.32	-17.72	0.00
Boryeong	235	2.76	7.43	55.21	0.00	4.60	5.15	25.56	0.02	1.84	-2.28	-29.65	0.02
Buyeo	234	2.94	7.72	63.38	0.00	4.78	5.27	27.71	0.06	1.84	-2.45	-35.67	0.06
Mokpo	165	3.89	10.33	75.64	0.00	5.00	5.54	31.15	0.02	1.11	-4.79	-44.49	0.02
Yeosu	168	4.90	14.27	143.79	0.00	5.88	6.31	37.91	0.04	0.98	-7.96	-105.88	0.04
Yando	170	4.32	11.70	124.95	0.00	5.25	5.81	32.83	0.12	0.93	-5.89	-92.12	0.12
Haenam	261	4.06	10.87	102.42	0.00	5.12	5.69	32.85	0.04	1.06	-5.18	-69.57	0.03

Table 23 Comparison between observation data and model data during analysis period in daily mean wind speed (p-value<0.05 except Yeosu)

Mean Wind Speed		OBS				Model				Difference(Model-OBS)			
Country	Station No.	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Seosan	129	1.98	0.68	4.47	0.87	3.57	2.11	9.72	0.00	1.59	1.43	5.25	-0.87
Cheonan	232	1.61	0.55	3.76	0.70	3.45	2.11	9.59	0.00	1.84	1.56	5.83	-0.70
Boryeong	235	1.94	0.68	4.29	0.83	3.53	2.15	9.95	0.00	1.59	1.47	5.66	-0.83
Buyeo	234	1.65	0.58	3.84	0.69	3.34	2.14	9.67	0.00	1.69	1.56	5.83	-0.69
Mokpo	165	2.16	0.89	5.83	0.88	3.39	2.11	10.18	0.00	1.23	1.22	4.35	-0.88
Yeosu	168	2.02	0.68	5.50	0.95	3.36	2.11	9.82	0.00	1.34	1.43	4.32	-0.95
Yando	170	2.33	0.96	7.18	0.99	3.28	2.09	10.29	0.00	0.95	1.13	3.11	-0.99
Haenam	261	2.22	0.92	6.56	0.92	3.35	2.10	10.34	0.00	1.13	1.18	3.78	-0.92

대체로 낮게 모의하였으며 그 차이가 작게는 약 17mm에서 많게는 여수에서 약 105mm까지 나타났다. 최저값은 관측과 모델이 대체로 비슷하게 나타났다. 일강수량은 기온과는 반대로 모델 강수가 관측 강수보다 표준편차가 작아 관측값보다 그 분포가 좁은 것으로 모의하였다(표 22). 일평균풍속의 경우 평균값은 모델이 1ms^{-1} 에서 1.8ms^{-1} 높게 모의하였고, 최고값은 3ms^{-1} 에서 많게는 5ms^{-1} 높게 모의하였다. 최저값은 0.6ms^{-1} 에서 약 1ms^{-1} 낮게 모의하였다. 분산은 모델이 1~1.5 정도 더 크게 모의하였다.

다음은 1월 1일부터 10월 2일까지 펜타드(pentad) 분석(총 55기간)을 수행한 모델 기상 변수들에 대하여 일최고기온, 일평균기온, 일강수량, 일평균풍속 모의 능력을 테일러 다이어그램으로 나타내었다(그림 16~19). 테일러 다이어그램에 나타난 숫자는 분석 도시에 관한 것으로 표 20~23을 참고한다. 분석 결과 기온에 관한 변수들이 관측과 유사하게 나타내어 가장 모의 능력이 우수한 것으로 나타났으며, 강수 모의 능력은 우수하지는 않으나 어느 정도 상관성을 보였다. 풍속의 경우 모델이 관측 패턴을 잘 모의하지 못한 것으로 분석되었다. 자세히 살펴보면, 일최고기온과 일평균기온은 분석 지역 모두 0.95가 넘는 상관관계를 보였으며 관측 대비 표준편차가 1에 가까워 기온 변동성이 작다는 것을 알 수 있다(그림 16, 17). 따라서 기온은 비교적 측정치와 유사한 결과를 보였다. 일강수량의 경우 상관관계는 대부분 분석 지역이 0.5로 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 관측 대비 표준편차는 지역마다 0.2에서 1.25까지 분석 지역에 따라 다양하게 나타났다. 그러나 충청남도는 1에서 1.25로 1에 가까운 값을 보인 반면 전라남도는 0.2에서 0.5까지의 분포를 보였다(그림

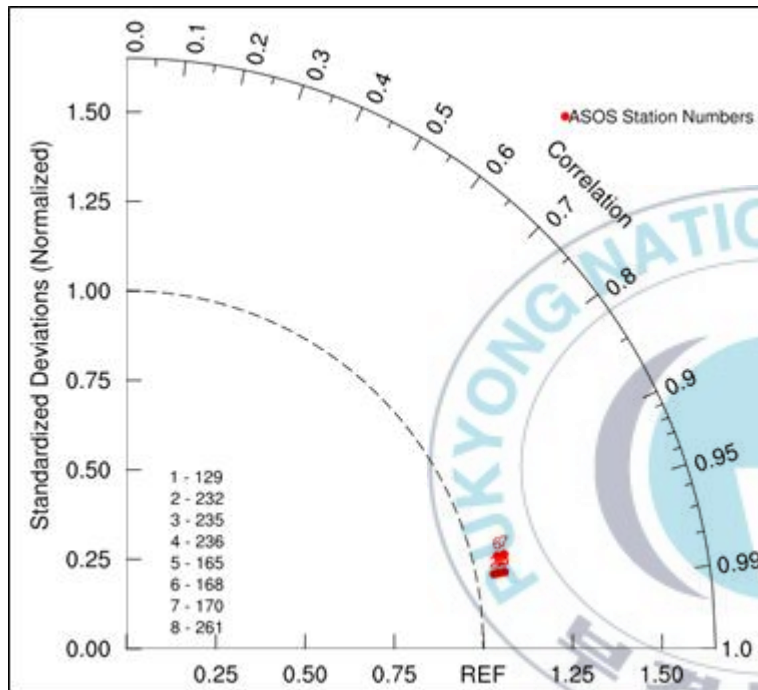


Fig. 16 Taylor diagram of GME about daily maximum temperature

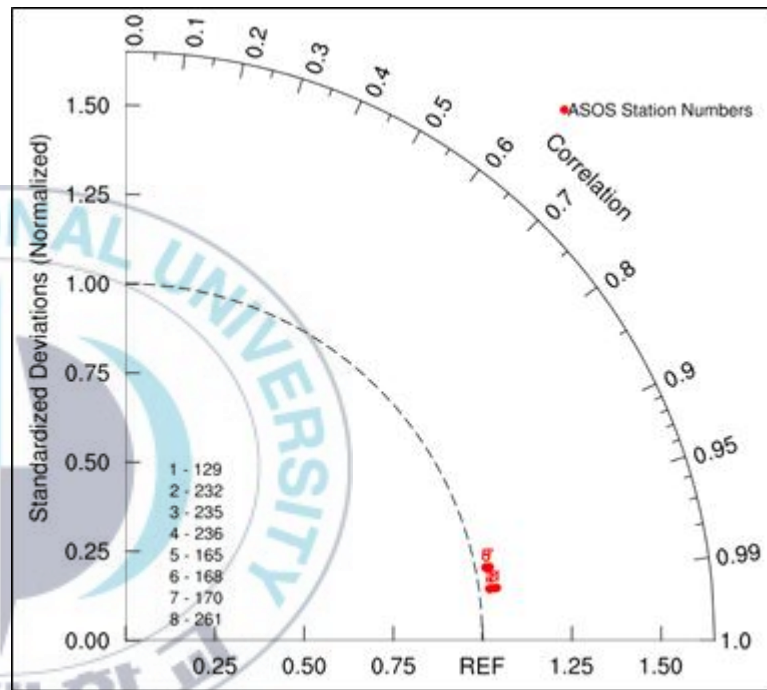


Fig. 17 Taylor diagram of GME about daily mean temperature

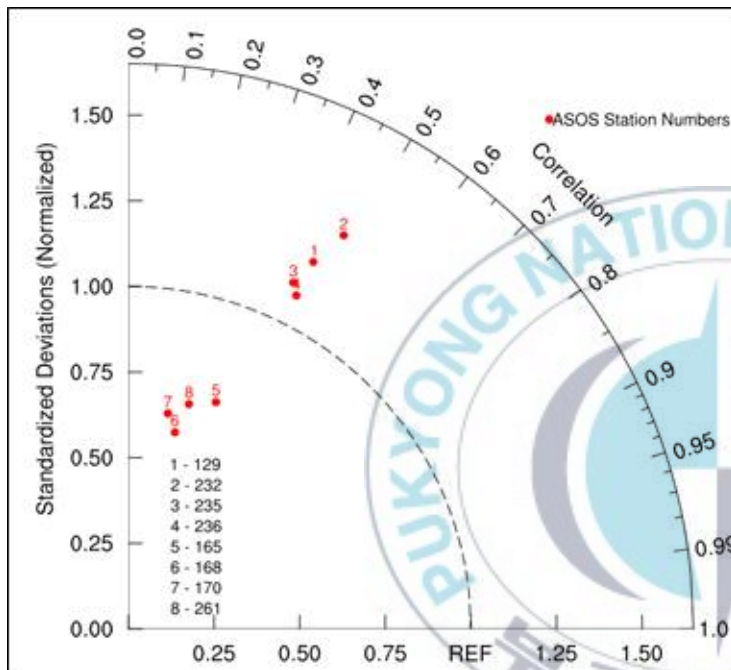


Fig. 18 Taylor diagram of GME about daily precipitation

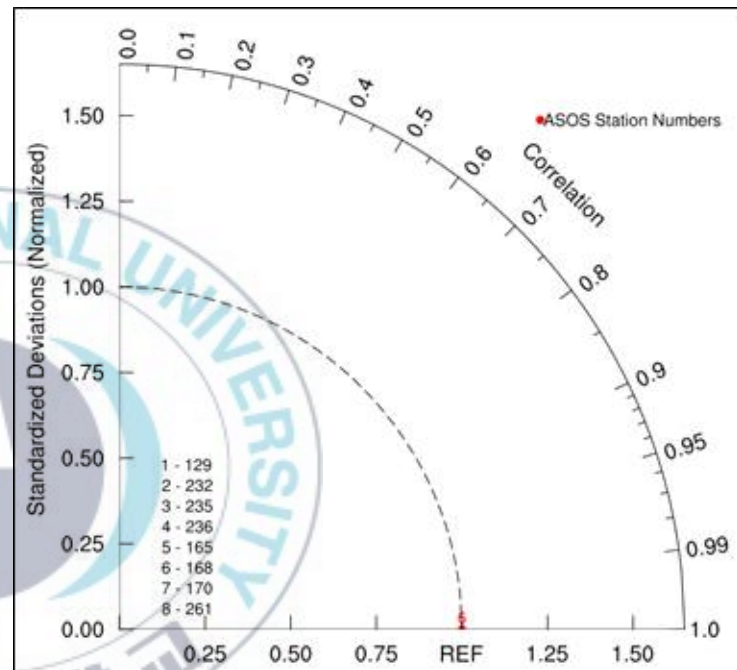


Fig. 19 Taylor diagram of GME about daily mean wind speed

18). 일평균풍속은 대부분 음의 상관관계를 보였으며 관측 대비 표준편차 비도 2에서 3 정도의 값을 보였다(그림 19). 결론적으로 일최고기온과 일평균기온이 관측과 비슷하게 모의하였으며 강수량은 자료의 분포가 다양한 양의 상관관계가 어느 정도 있는 것으로 분석되었다. 그러나 일평균풍속의 경우 GME 모델이 이를 잘 반영하지 못하였다. 관측 대비 표준편차도 마찬가지로 기온이 가장 변동성이 낮았으며 강수의 변동성이 그 뒤를 이었다. 풍속의 경우는 변동성이 매우 큰 것으로 분석되었다.

나. 지수 적용

앞서 검증한 모델 기상 변수 자료들을 사용하여 충청남도과 전라남도 ACI를 도출하였다. 각 지역의 그래프 및 지수는 그림 20, 21, 표 24, 25에 나타내었다. 분석 결과 두 지역은 서로 비슷한 패턴을 나타냈으며 모든 기상 대리변수가 100을 넘지 않아 ACI는 0으로 나타났으며 벼 생산량에 기상요소로 인한 피해 발생이 나타나지 않을 것으로 전망하였다. 두 지역 모두 고온은 100에 가깝고, 그 다음으로 가뭄과 냉해가 50에 가까운 지수를 나타냈다. 강풍이 가장 작은 지수를 나타냈다. 일조부족은 충청남도와 전라남도 모두 2013년 값인 89, 93이 각각 적용되었다. 따라서 GME로 모의한 ACI로 2014년의 쌀 생산량 예측 시 2014년도 쌀 생산량은 두 지역 모두 기상 상황에 의한 큰 피해 가능성을 보이지 않을 것으로 분석되었다.

모델에서 분석한 2014년 ACI와 2014년 관측값을 적용한 ACI를 비교하기 위하여 2014년 관측 기상 변수 값을 ACI에 적용하였으며, 2014년 관측 ACI를 분석 지역에 따라 각각 그림 22, 23, 표 26, 27로 나타냈

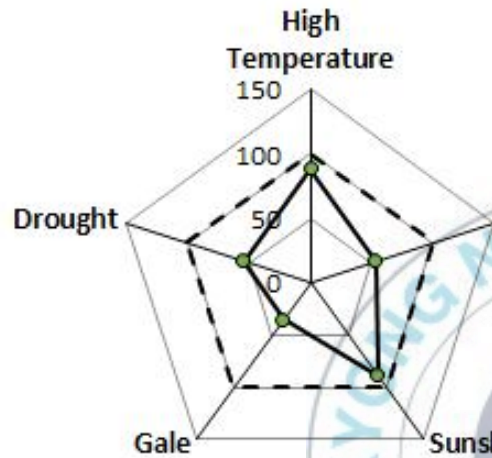


Fig. 20 The predicted ACI graph in Chungcheongnam-do in 2014

Table 24 The predicted damage index and ACI in 2014 in Chungcheongnam-do

Chung -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
2014	88	53	89	35	54	0

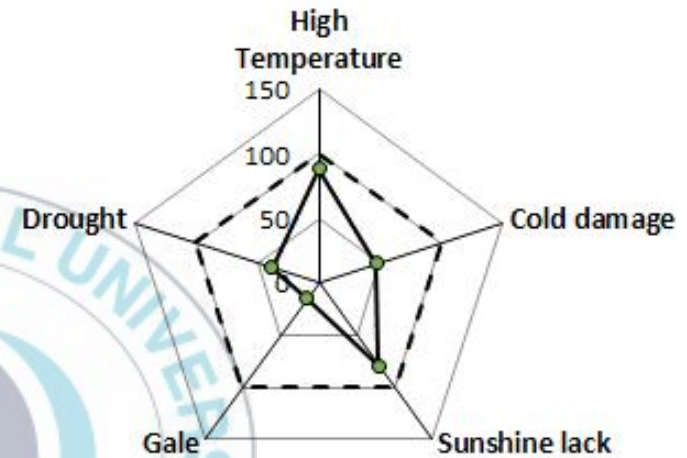


Fig. 21 The predicted ACI graph in Jeollanam-do in 2014

Table 25 The predicted damage index and ACI in 2014 in Jeollanam-do

Jeon -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
2014	88	47	79	15	38	0

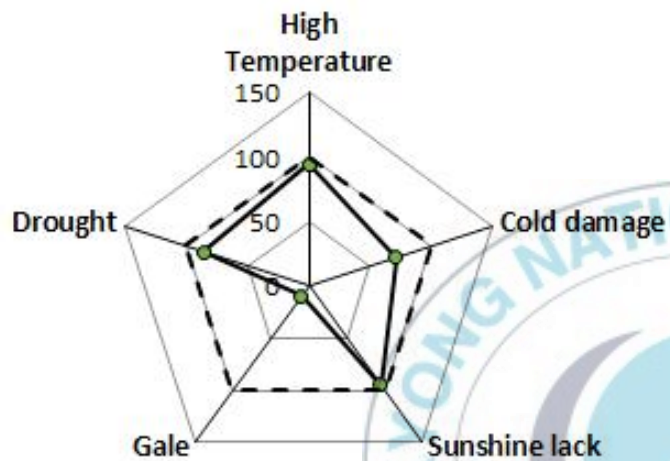


Fig. 22 The observed ACI graph in Chungcheongnam-do in 2014

Table 26 The observed damage index and ACI in 2014 in Chungcheongnam-do

Chung -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
2014	94	71	95	10	85	0

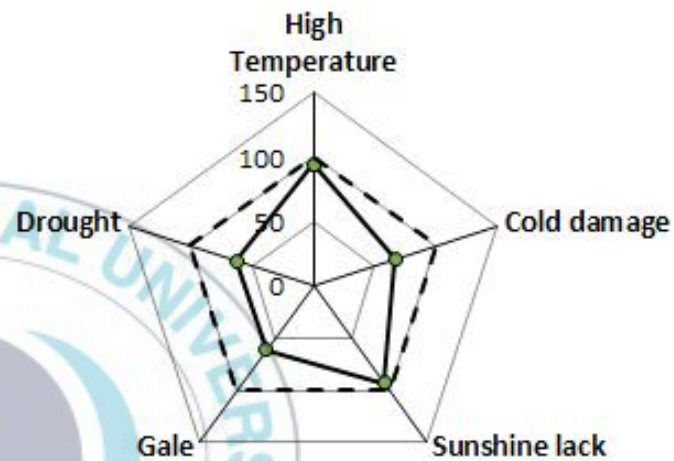


Fig. 23 The observed ACI graph in Jeollanam-do in 2014

Table 27 The observed damage index and ACI in 2014 in Jeollanam-do

Jeon -nam	High temp.	Cold damage	Sun. lack	Gale	Drought	ACI
2014	94	67	93	62	62	0

다. 2014년 충청남도 관측 ACI는 모든 재해 대리변수가 100을 넘지 않았으나 고온과 가뭄은 90을 넘는 지수를 보였다. 그 다음으로 가뭄과 냉해 순으로 그 값이 높았으며 강풍으로 인한 피해 가능성이 가장 낮았다(그림 22, 표 26). 전라남도도 충청남도와 마찬가지로 모든 재해 대리변수가 100을 넘지 않았다. 고온과 일조부족이 90이 넘는 지수를 보였고 나머지 대리 변수는 60 부근의 값을 보였다(그림 23, 표 27).

2014년 관측과 모델 ACI를 비교한 결과, 고온과 일조부족 피해 가능성은 두 지역 모두 비슷하게 나타났으며 냉해 피해 가능성은 두 지역 전부 모델이 관측보다 낮게 분석되었다. 강풍 피해 가능성의 경우, 충청남도는 모델이 그 피해 가능성을 관측보다 높게 모의 하였으나 전라남도는 관측보다 낮게 모의하였다. 가뭄 피해 가능성은 충청남도와 전라남도 모두 낮게 나타났으며 관측값과 차이는 충청남도가 큰 것으로 분석되었다. 결론적으로 2014년도 관측에서도 모델과 마찬가지로 2014년도 쌀 생산량은 기상 여건에 의해 큰 피해 가능성을 보이지 않을 것으로 분석되었다. 발표된 2014년 쌀 예상생산량 조사 결과 보도자료(통계청, 2014.10.14)에 따르면 2014년은 가지치는 시기(초기 분얼기, 5월 하순~6월 중순)에 기상 호조로 유효이삭 분얼수가 늘어 m^2 당 낱알수가 증가하였으며, 벼 낱알이 익는 시기(등숙기, 9월 상순~9월 하순)에 일조시간 증가, 일교차 확대 등 후기 기상 여건이 양호하여 단위 면적($10a$)당 생산량이 증가할 것으로 전망하였다. 또한 전년(2013년)에 이어 병충해, 수해 등의 피해가 크게 없었다고 발표하였다. 따라서 단위 면적($10a$)당 쌀 예상생산량은 전국 평균적으로 $513kg$ 으로 전년의 $508kg$ 보다 $5kg(1.0\%)$ 증가할 것으로 예상하였다. 따라서 본 연구에서 모의한 지수와 관측 지수가 2014년 예상 쌀 생산량을 잘 반영한 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업 이상기후지수(ACI, Agricultural Abnormal Climate Index)를 개발하고 작물 벼에 적용하여 분석하였다. 벼가 받을 수 있는 다섯 가지 피해를 한 가지 수치로 나타내고 벼에 적용하였다. 본 연구의 목적은 쌀 생산량 피해 가능성을 하나의 수치로 나타내어 식량 위기 대책 마련 시 참고자료가 될 수 있는 한반도 기후변화 평가 지수를 개발하는 것이다. 따라서 개발한 ACI가 쌀 생산량을 잘 나타내는지 검증하기 위해 과거 관측 자료를 사용하여 충청남도과 전라남도 두 지역의 쌀 생산량과 비교·분석을 수행하였다. 먼저 과거 기상 자료를 사용하여 1975년부터 2013년 동안 ACI 패턴과 쌀 생산량과의 관계 분석을 수행하였다. 충청남도 쌀 생산량은 신뢰수준 0.05에서 ACI와 -0.4의 상관관계를 보였으며 전라남도는 -0.3의 상관성을 보였다. 상관성이 높다고 판단하기는 어렵지만, 기상 및 기후 자료만을 사용하여 제작한 지수이기 때문에 2차적 피해인 병충해 또는 벼의 품종 개량이나 농업 기술에 대한 영향은 반영하지 못하는 점을 고려하였다. ACI와 쌀 생산량이 맞지 않는 해에 대하여 그래프 분석을 수행해보면 ACI가 당시 기상상황을 잘 반영한 것으로 나타났다.

관측 자료를 사용하여 추가 분석을 수행하였으며, 1980년대에서 2000년대까지 시기별·지역별 재해 대리변수 발생 빈도를 분석하였다. 지역별 분석의 경우 대체로 두 지역 간에 큰 재해 발생 빈도 차이를 보이지 않았다. 1980년대는 두 지역 모두 냉해는 매 해 발생하였으며 강풍으로 인한 피해는 없는 것으로 나타났다. 고온과 가뭄은 충청남도에서 전라남도에 비해 한 해 더 발생하였으나 일조부족은 이와 반대로 전라남도에서 충청남도에 비해 한

해 더 발생하였다. 1990년대는 가뭄과 일조부족은 전라남도가 훨씬 더 많이 발생하였고 고온은 동일한 발생 빈도를 보였다. 냉해는 충청남도는 매 해마다 발생하였고 전라남도는 한 해를 제외하고 발생하였다. 강풍은 전라남도가 2회, 충청남도가 1회 발생하였다. 2000년대는 고온과 냉해는 충청남도가 1~2회 더 많이 발생하였고 가뭄은 전라남도가 1회 더 발생하였다. 일조부족은 동일하게 발생하였고 강풍은 두 지역 모두 피해가 발생하지 않았다. 시기별 분석을 살펴보면, 충청남도는 고온 피해 발생 가능성 빈도가 1980년대에서 2000년대로 갈수록 서서히 증가하는 반면 냉해 피해 발생 가능성은 서서히 감소하는 추세를 보였다. 가뭄으로 인한 피해 가능성 빈도는 4회에서 2회, 2000년대에는 0회로 감소하는 추세를 보였으나 일조부족은 2000년대에 들어서서 크게 증가하는 패턴을 보였다. 전라남도는 고온, 강풍 피해 가능성 발생 빈도는 큰 변동이 없는 것으로 나타났다. 냉해 피해 발생 가능성 빈도는 1980년대 10회에서 2000년대로 갈수록 서서히 감소하여 8회를 기록하였다. 일조부족 피해 가능성 발생 빈도는 3회 이상 꾸준히 존재하였으며, 가뭄 피해 발생 가능성 횟수는 1980년대에서 1990년대로 갈수록 2회 증가했다가 2000년대에서 1회 감소하여 총 2회를 기록했다.

마지막으로 모델 결과 자료를 사용하여 ACI를 도출하였다. 모델은 2014년 쌀 생산량을 예측하기 위해 2013년 10월 21일부터 모델을 수행하였다. 모델 결과 자료를 사용하기 전 모델 검증을 수행하였는데, 모델 검증 결과 기온 관련 기상 변수(일최고기온, 일평균기온)가 관측과 유사한 결과를 나타냈다. 강수량의 경우 약 0.5의 상관관계를 나타냈다. 일평균풍속의 경우 모델이 관측과 유사하게 모의하지 못했다. 이 모델 자료를 적용한 결과, 충청남도와 전라남도는 ACI는 각 재해 대리변수가 100을 넘지 않게 분석되어 ACI가 0으로 계산되었고 따라서 2014년도 쌀 생산량은

기상 상황으로 인해 쌀 생산량에 큰 피해를 입히지 않을 것으로 전망하였다. 실제 2014년도 관측 자료를 ACI에 대입해 본 결과, 관측 재해 대리변수도 100을 넘는 값을 보이지 않았으며, 통계청 예측 쌀 생산량 자료를 참고했을 시 2014년도 기상 상황이 좋아서 쌀 생산량이 증가할 것으로 전망하였다.

본 연구에서 개발한 농업 이상기후지수(ACI)는 타 연구들과는 달리 하나의 수치로 쌀 생산량을 예측 할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에, 기후위기로 인한 쌀 생산량에 관한 정책 마련 시 미래 기후변화 적응 및 이에 대한 자원의 투입이 어느 지역에서 어느 정도의 이루어 질 수 있는지 알려주는 근거를 제시하는 참고 자료로 사용 가능하다. 그리고 재해 대리변수 지수 평가를 통해 어느 지역에서 어떤 재해로 인한 피해가 큰지 판단하고 이에 대한 보완책 마련에 필요한 정보를 얻을 수 있다. 타 연구 분야와 함께 연구가 이루어진다면 더욱 앞으로의 상황 예측도를 상승시킬 수 있는 지수가 될 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

- 권원태, 2012: 기후변화 시나리오와 농업적 활용, 농업전망 2012, 제 31장.
- 국립 환경과학원, 2010: 한국 기후변화 평가보고서, 환경부.
- 김연규, 2012: 기상이변 냉해는 더 큰 문제, 농촌진흥청 News Letter.
- 김재철,이종범,최진용,벨로리드 밀로슬라브,이정석, 2013: 강원산악지역의 고랭지 농업생산성지수 개발 및 적용, 한국자연보호학회지, Vol. 7, No. 1, pp.26-34.
- 김해동, 2001: 인적자원개발 지표(Indicators)와 지수(Index) 개발 동향.
- 농림축산식품부, 2014: 농업 이상기후지수 개발 보고서.
- 농촌진흥청 북방농업연구소, 2012: 2011 경제발전경험모듈화사업. 한국의 녹색 혁명-벼 통일형 품종의 개발과 보급.
- 심교문,김건엽,노기안,정현철,이덕배, 2008: 기후변화에 따른 농업기후지수의 평가, 한국농림기상학회지, Vol. 10, No. 4, pp.113-120.
- 안중배,임은순,박정규,윤원태, 2000: 상세 농업기상정보 예측 가능성 연구, 한국 기상학회 2000년도 정기총회 및 가을 학술발표회.
- 안중배,허지나,심교문, 2010: 수치예보모형을 이용한 역학적 규모 축소 기법을 통한 농업기후지수 모사, 한국농림기상학회지, Vol. 12, No. 1, pp.1-10.
- 유가영,김인애, 2008: 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안, 한국환경 정책평가연구원 연구보고서.
- 이경민,오재호,Detlev Majewski, 2002: 고해상도 Icosahedral-Hexaconal 격자 전구모형 GME를 이용한 태풍예측에 관한 연구, 한국수자원학회 2008년도 학술발표회 논문집.
- 이상규,최장선,최준명,이희주,박수형,도경란, 2013: 이상기상 조건이 배추의 생육 및 세포조직에 미치는 영향, 한국생물환경조절학회 시설원예·식물공장 Vol. 22, No. 2, pp.87-90, 2288-0992.
- 정명표,심교문,김용석,김석철,소규호, 2014: 벼 작물 농업기후지대의 연대별 기후 요소 변화 특성, 기후변화학회지, Vol. 5, No. 1, pp. 13-19.
- 최돈향,윤성호, 1989: 농업 기후 지대 구분과 기상 재해 특성, 한국작물학회지, Vol. 34, No. 2, pp.13-33.

IPCC 제 5차 평가보고서(2013. 9. IPCC AR5 WG I).

Aall C., 2005: The Concept of Indicator, Paper presented at a semina within the EU project Capacity building to enable the incorporation of urban sustainability parameters in spatial urban development and planning policypractices through the use of indicators (URBANGUARD). Nicosia Cyprus.

Barnes Stanley L., 1964: A Technique for Maximizing Details in Numerical Weather Map Analysis. *Journal of Applied Meteorology*, **3**, pp.396-409.

Burhan O., and A., Handan, 2002: Impacts of Climate Factors on Yields for Selected Crops in Southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **7** pp.367-380.

Chi-Chung C., and C-C, Chang, 2004: Climate Change and Crop Yield Distribution: Some New Evidence from Panel Data Models. *IEAS Working Paper*, **4**.

Chi-Chung C., A. M. Bruce and E. S. David, 2004: Yield Variability as Influenced by Climate: A Statistical Investigation. *Climate Change*, **66**(1), pp.239-261.

Chi-Chung Chen, Bruce A. McCarl and David E. Schimmelpfenning, 2004: Yield Variability as Influenced by Climate: A statistical Investigation. *Climate Change*, **66**(1) pp.239-261.

Chmielewski F.-M., W. Kohn, 2000: Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agricultural and Forest Meterorology*. **102** pp.253-261

Hayes M. J., M. D. Svoboda, D.A. Wilhite and O.V. Vanyarkho, 1996: Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Buletin of the American Meteorological Society* **80**(3) pp.429-438.

Heikes, R. and D. A. Randall, 1995a: Numerical integration of the shallow-water equations on a twisted icosahedral grid. Part I: design and results of tests. *Monthly Weather Review*, **123**, pp.1862-1880.

- Taylor K. E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research*, **106**(7) pp.7183-7192
- McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist, 1995: Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan15-20, 1995, Dallas TX, pp.233-236.
- Majewski, D., 1998: The new global icosahedral-hexagonal grid point model GME of the Deutscher Wetterdienst. Proc. ECMWF Seminar on Recent Developments in Numerical Methods for Atmospheric Modeling, *ECMWF, Reading*, United Kingdom, pp.173-201.
- Menza, F. J., and D. Silva, 2009: Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change. *Climate Change*, **94**, pp.143-156
- Ministry of Agriculture and Forestry, 2001: Development of Regional Climate Prediction and Application System for Agriculture. *Ministry of Agriculture and Forest*, pp.8.
- Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli, S. Tarantola, A. Hoffman and E. Giovannini 2005: Handbook On Constructing Composite Indicators: Methodology And User Guide. *OECD Statistics Working Paper JT00188147*, STD/DOC(2005)3.
- Saisana M. and S. Tarantola, 2002: State-of-the-Art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development, EUROPEAN COMMISSION, 20408 EN.
- Szalai, S., and J. Zoboki, 2000: Drought monitoring in Hungary. Early warning systems for drought preparedness and drought management, World Meteorological Organization, Lisboa, pp.182-199
- Szinell, Cs., A. Bussay and T., Szentimrey, 1998: Drought tendencies in Hungary. *International Journal of Climatology*, **18**, pp.1479-1491

통계청 보도자료, 2009: 2009년 쌀 생산량 조사 결과

통계청 보도자료, 2012: 2009년 쌀 생산량 조사 결과

통계청 보도자료, 2014: 2014년 쌀 예상생산량 조사 결과

Table 1: 농촌진흥청 국립식량과학원 제공

Table 2: 농촌진흥청 국립식량과학원 제공