

## 날씨파생상품을 이용한 경북지역 사과농가 경영안정 효과 분석\*

윤성욱\*\* · 최장훈\*\*\* · 정원호\*\*\*\*

### Analysis of Farm Management Stabilization Effects Using Weather Derivatives for Apple Farmers in Kyeongbuk District

Yun, Sung-Wuk · Choi, Jang-Hoon · Chung, Won-Ho

This study analyzes weather derivatives as an alternative risk management tool to stabilize farm revenue to complement the existing crop insurance program which suffers from asymmetric information problems such as adverse selection, moral hazard, and verifiability. We estimated apple yield functions to observe the relationship between yields and weather indices such as temperature and precipitation. Based on the estimated yield functions we designed weather futures and options products underlying temperature and precipitation, and calculated the prices of futures and options by two different approaches, historical distribution and Monte Carlo simulation. We found that weather futures and options stabilize farm revenue based on the estimated four risk indicators: Coefficient of Variation, Value at Risk, Certainty Equivalence, and Risk Premium. As a result, weather derivatives could be considered as a potential farm risk management tool through studying more in legal and institutional strategies and developing various derivatives products.

Key words : *farm revenue stabilization, futures, Monte Carlo simulation, options, risk management, weather derivatives*

---

\* 본 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5 A8029037).

\*\* 부산대학교 일반대학원 식품자원경제학과 석사(ahpa@pusan.ac.kr)

\*\*\* 보험연구원 생명·연금연구실 연구위원(james021@kiri.or.kr)

\*\*\*\* Corresponding author, 부산대학교 식품자원경제학과 부교수(wchung@pusan.ac.kr)

## I. 서 론

지구온난화로 가뭄, 홍수, 태풍 등 이상기상 현상이 빈번하게 발생하여 농수산업과 에너지 산업 등에 부정적 영향을 미치고 있다. 국립기상과학원의 <한반도 100년의 기후변화> 보고서에 따르면 우리나라 기후는 106년에 걸쳐 10년마다 연평균 기온이 0.18℃씩 상승하였고 연 강수량은 16.3 mm 증가하고 있어 기후 및 기상변화에 특히 민감한 농업의 피해가 증가하는 추세를 보이고 있다. Kim 등(2008)은 기후변화에 따른 농업부문 영향분석을 통해 기온이 1℃ 상승할 경우 ha당 평균 농업 총수입인 1,700만원의 15~23%에 해당하는 260~400만 원이 감소할 것이라 제시하였다.

이러한 예측 속에 기후변화의 대응방안을 연구하는 기존 연구들은 다양한 정책 사업을 통한 생산안정과 농가 소득 및 경영안정 효과에 집중하였다. 정책 사업의 경우 기상청, 농촌진흥청, 국립농업과학원, 농협 등 정부기관의 인프라를 이용하는 등 정부 예산을 통해 거대 사업을 수행할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 정부 예산의 비효율적 운용, 정보의 비대칭성 문제 등의 한계에 직면하고 있다는 지적도 있다. 이에 대한 대안으로 자본시장을 통한 민간자본 활용방안을 고려할 수 있다. 국내에서는 농작물재해보험이 활용되고 있으나 정보의 비대칭성, 역선택, 도덕적 해이, 피해 입증 문제 등으로 정부의 운영비용이 과다하고 농가와의 분쟁이 지속되고 있다. 따라서 미국 등 선진국에서는 농작물재해보험 외에 재해의 원인이 되는 날씨변수를 기초자산으로 하는 날씨파생상품을 위험회피(헷징) 도구로 널리 활용하고 있다.

미국의 경우 시카고상품거래소(CME)에서 뉴욕, 시카고, 애틀랜타, 신시내티 등 24개 미국 도시와 캐나다, 유럽, 호주, 일본 주요 도시들의 기온으로 산출한 온도지수 날씨파생상품이 활발하게 거래되고 있다. 이 외에도 허리케인, 강설, 서리 등 다양한 기상현상을 기초자산으로 하는 파생상품도 등장하였다. 일본의 경우 1999년 날씨파생상품이 시장에 도입된 이후 손해보험사들을 중심으로 활발한 거래가 이루어지고 있다. 우리나라는 2009년 2월 자본시장통합법이 시행되며 금융시장 내 포괄주의가 적용되어 보다 다양한 날씨 연계상품의 등장이 가능해지고 날씨 변화에 직·간접적으로 영향을 받는 기업들이 관심을 갖고 있다(Moon and Sohn, 2012). 그러나 여전히 정부의 법·제도적 보완과 재정적 여건 마련, 그리고 관련 기관들의 연구·개발이 필요한 상황이다(Ecopi Corp., 2018).

국내의 날씨파생상품에 대한 관심이 커짐에 따라 산업부문에 날씨파생상품을 도입하는 연구들이 수행되었다. Moon and Sohn (2012)는 국내 실정에 맞는 날씨파생상품 기준지수를 개발하여 실제 산업에서 적용될 수 있는지를 실증 검증하였다. Yun (2016)은 강수량 부족 사태로 인한 수력 발전사업자들의 수익 악화를 막기 위하여 소양강 수력발전소를 대상으로 강수량을 기초로 한 가상의 날씨 파생상품을 설계하고 이에 대한 수익 안정화 효과를 실증적으로 분석하였다. 농업부문에서의 연구로 Chung (2013)은 국내 지역이 아닌 미국 미네소

타 남부지역의 옥수수과 대두를 대상으로 농작물재해보험과 날씨파생상품의 생산위험 헷징효과를 비교하였다. Chung (2013)은 농가 입장에서는 농작물재해보험의 헷징효과가 높은 것으로 나타났으며, 날씨파생상품은 재보험사나 정부가 위험을 인수하여 분산하는데 유용하게 활용될 수 있음을 제시하였다. 대다수 국내 선행연구들은 보험개발원과 한국거래소 등에서 날씨파생상품을 소개한 보고서와 에너지 관련 산업에서 날씨파생상품의 헷징효과를 분석하였으며 국내 농업부문을 대상으로 분석한 연구는 거의 없었다.

따라서 본 연구는 선진국 자본시장에서 거래되고 있으나 국내 자본시장에 아직 도입되지 않은 날씨파생상품 즉, 기온과 강수량 선물 및 옵션상품을 농업부문에 도입 가능한지 여부를 검토하는데 목적을 두고 있다. 구체적으로 국내 농작물재해보험의 가입률이 가장 높은 사과를 대상으로 국내 농업부문의 자료를 이용하여 날씨변수들이 단수에 미치는 효과를 추정함으로써 가장 적합한 날씨 선물·옵션 상품을 설계하였다. 그리고 이를 통한 농가의 소득안정 효과를 확인하기 위하여 수입 변동계수(CV: Coefficient of variation), 최대손실가능금액(VaR: Value at-Risk), 확실성 등가수입(CE: Certainty Equivalence) 및 위험프리미엄(RP: Risk premium) 등 4개의 위험지표를 측정하였다.

## II. 단수함수 추정 및 날씨파생상품 설계

### 1. 날씨파생상품의 정의

날씨파생상품은 기존의 농작물재해보험과 같이 위험을 보상해 준다는 점은 동일하지만 차이점은 보험이 실제 손해에 대한 직접적인 보상을 제공하는 반면 날씨파생상품은 손해의 원인이 되는 날씨지수를 기초로 한 간접적인 보상금을 지급한다는 점이다. 객관적인 날씨지수의 변동에 따라 보상금이 산출되므로 파생상품의 경우 재해보험의 문제점으로 지적되는 역선택과 도덕적 해이 등 정보의 비대칭성에서 비교적 자유롭다는 장점이 있다. 또한, 보상금 산출에 있어서도 손해가 발생한 후 현장조사를 통해 실제 손해액을 산출하여 보험금이 지급되는 재해보험과 달리 객관적인 날씨지수의 비교를 통해 보상금이 신속하게 산출·지급된다.

날씨파생상품에서 날씨는 날씨위험을 의미하며 날씨위험은 재해적 위험과 비재해적 위험으로 구분된다. 재해적 위험은 홍수, 태풍, 가뭄, 우박 등과 같이 발생할 확률은 다소 낮지만 발생 시 큰 손실이 예상되며 주로 재해보험을 통해 위험이 전가된다. 비재해적 날씨위험은 고온, 저온, 강설, 강우 등 일상적으로 발생하며 특히 농업부문에서 농번기의 극한 기후 현상과 강수의 양극화는 농업 수입에 위험을 초래한다. 날씨파생상품은 재해적 위험은 물론 비재해적 위험도 기초자산으로 지수화 하여 지수변동에 따라 보상금이 지급되므로

보다 광범위하게 위험을 전가하는 수단이라 할 수 있다.

그러나 날씨파생상품이 농작물재해보험에 비해 항상 유리한 것만은 아니다. 재해보험의 경우 실제 손해를 기초로 보험금을 지급하므로 위험회피(헷징) 효과가 높은 반면, 날씨파생상품은 손해의 원인에 기초하여 보상금이 지급되므로 실제 손해액과 보상금 간 차이가 발생하는 베이스스위험(basis risk)에 노출된다.

Table 1. Comparison between crop insurance and weather derivatives

	Crop insurance	Weather derivatives
Redemption	Based on actual crop damage	Based on weather index
Hedging cost	High	Low
Hedging effectiveness	High	Low (due to basis risk)

## 2. 대상품목 선정

현재 시행 중인 농작물재해보험의 단점인 정보의 비대칭성을 해소할 수 있는 방안으로 연구를 추진하기 위해 농작물보험 가입률이 높은 사과를 대상품목으로 선정하였다. 또 단수함수의 유의성과 대표성을 고려하여 주산지인 경북지역의 단수, 가격정보, 대구광역시의 날씨자료 등을 사용하였다.1) 사과의 경우 품종 별로 상이하나 Fig. 1과 같이 대체로 2월부터 8월까지의 생육기간을 가지고 있다.2) 특히 농촌진흥청의 사과 농작업일정자료를 통해 2~4월의 개화기 저온, 강우, 고온과 5~8월의 여름철 가뭄, 고온, 태풍 등이 단수에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L	E   M   L
	Low temperature in bloom		Drought in summer, High temperatures			Rainy season		Typhoon			
	Poor fruiting		Poor growth, fruit hypertrophy, Sun damage, Aphids			Humidity		Multiple pests, Fruit drop			

Note) E: Early (from day 1 to 10), M: Mid (from day 11 to 20), L: Late (from day 21 to the end of each month)

Fig. 1. Weather disasters and related problems for apple.

- 1) 사과 생산 관련 자료의 경우 대구의 사과 생산량은 미미하므로 경북지역의 자료를 이용하고, 날씨 변수의 경우 경북지역 시군들과 상관계수가 가장 높은 대구시의 날씨변수를 사용하였다.
- 2) 사과의 품종을 조생종, 중생종, 만생종으로 나뉘었을 때, 조생종은 3~4월에 개화를 하여 8월 하순 이전에 수확을 하고 중생종은 5월에 개화를 하여 9월 상순에서 10월 중순사이에 수확을 하며 만생종은 5월에 개화를 하여 10월 하순 이후 수확을 한다.

### 3. 단수함수 추정

#### 1) 날씨변수 선정 및 분석절차

사과 농작업 일정자료를 토대로 사과의 생육 및 수확량에 기온과 강수량이 영향을 준다고 판단하였다. 특히 사과의 생육 주기와 날씨 변수의 월별 변화의 상관성을 고려하여 단수와 상관성이 높은 월의 기온과 강수량을 단수함수의 독립변수로 이용한다.<sup>3)</sup>

단수의 경우 기술의 발달과 함께 증가하는 추세를 보이기 때문에 추세제거(Detrending)를 통해 기술적 변화에 따른 단수의 증가 추세를 제거하였다(Table 2). 추세제거 방식은 단수를 종속변수로, 시간변수(1983~2017년)를 독립변수로 한 선형함수를 추정하여 산출하였다.

Table 2. Yield (kg/10a) for apple

	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017
Actual yield	1490	1119	805	1971	1231	1204	2345	1620
Trended yield	1252.43	1313.89	1375.35	1436.81	1498.26	1559.72	1621.18	1645.76
Detrended yield	237.56	-194.89	-570.35	534.19	-267.26	-355.72	723.81	-25.76

Note) Trended yield is the trend representing technological improvement, which is estimated as

$$\text{Trended Yield}_t = 1,215.55 + 12.29 \text{ Trend}, \text{ where number in } ( ) \text{ is p-value and } R^2 = 0.1163. \\ (0.000) \quad (0.045)$$

Detrended yield is the yield which is calculated by subtracting trended yield from actual yield.

기온과 강수량 평균으로부터의 편차를 독립 변수로 하고 추세제거(Detrended) 단수를 종속변수로 하는 단수함수<sup>4)</sup>를 1차 함수와 2차 함수로 추정하였다. 1차 함수는 식 (1)과 같이 경북지역의 7월 평균기온의 편차와 2월 누적 강수량의 편차를 독립변수로 단수함수를 추정했다.

$$(1) \quad y_{\text{Detrended}} = -58.174 \text{Temp}_7 - 5.002 \text{Pre}_2 - 0.009 \\ (0.096) \quad (0.052) \quad (1.000)$$

여기서 ( )의 수치는 p값이고 R<sup>2</sup>는 0.1690이다.

3) 당초 단수모형을 추정함에 기온과 강수량 외에 태풍, 우박, 서리 등의 기상변수를 적용했었으나 이들과 단수와의 상관성이 크지 않았기에 모형의 간소화를 위해 기온과 강수량만을 설명변수로 포함한다. 이는 태풍, 우박, 서리가 결국 기온과 강수량으로 귀결되기 때문으로 해석된다. 실제로 단수함수를 추정한 대부분의 선행연구들이 기온과 강수량만을 설명변수에 포함시켰으며, 본 연구가 선물 및 옵션을 이용하여 위험을 헷지함을 목적으로 하므로 선물 및 옵션의 기초자산은 기온과 강수량이 대표적이므로 기온과 강수량만을 고려한다.

4) 추세제거 단수를 종속변수로 하므로 엄밀한 의미에서 단수함수보다는 단수편차함수가 적절한 함수명이나 선행연구에서 단수편차함수로 지칭한 경우가 거의 없고 단수편차함수도 단수함수의 한 형태이므로 본 연구는 독자의 가독성을 위해 단수함수로 지칭한다.

2차 함수는 식 (2)와 같이 4월과 5월 평균기온의 편차를 제공한 값과 4월과 5월 평균기온 편차, 6월과 7월 누적 강수량의 편차의 제공과 6월과 7월 누적 강수량 편차를 독립변수로 단수함수를 추정하였다. 추정된 단수함수의 독립변수들은 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하다.

$$(2) \quad y_{Detrended} = -161.107 Temp_{4,5}^2 + 266.099 Temp_{4,5} - 0.005 Pre_{6,7}^2 + 0.807 Pre_{6,7} + 346.3849$$

(0.043) (0.000) (0.019)  
(0.054) (0.000)

여기서 ( )의 수치는 p값이고 R<sup>2</sup>는 0.7407이다.

## 2) 단수함수의 파라미터 추정결과를 이용한 날씨파생상품 설계

Fig. 2에서 보는 바와 같이 선물상품의 손익 또는 보상금(payoff)은 선형(linear)이므로 1차 단수함수의 추정결과를, 옵션상품의 손익(payoff)은 꺾인 선형(kinked linear)이므로 2차 단수함수의 추정결과를 날씨파생상품설계에 이용한다.

$$(3) \quad y_{Detrended} = -58.174 Temp_7 - 0.009$$

$$(4) \quad y_{Detrended} = -5.002 Pre_2 - 0.009$$

$$(5) \quad y_{Detrended} = -161.107 Temp_{4,5}^2 + 266.099 Temp_{4,5} + 346.3849$$

$$(6) \quad y_{Detrended} = -0.005 Pre_{6,7}^2 + 0.807 Pre_{6,7} + 346.3849$$

식 (3)~(6)의 파라미터들을 기초로 기온선물, 강수량선물, 기온옵션, 강수량옵션을 각각 설계한다. Fig. 2는 사과와 단수함수와 날씨파생상품의 손익 간 관계를 보여준다. 예컨대, 기온을 기초자산으로 하는 선물상품의 경우 단수의 편차( $y_{Detrended}$ )가 0이 되는 7월 평균 기온은 26.05°C 이고 이 지점에서 단수함수의 기울기는 식 (3)의 추정결과에 기초할 때 -58.174이다. 즉, 7월 평균기온이 26.05°C에서 1°C 증가하면 사과의 단수는 58.174 kg 감소함을 의미한다. 이와 같은 생산위험을 헷징하기 위해서는 기준 평균기온을 26.05°C로 하고 1°C 증가할 때 58.174 kg에 해당하는 금액을 보상해 주는 7월 평균기온 선물상품을 매입하면 된다. 동일한 방법으로 강수량을 기초자산으로 하는 경우 2월 누적 강수량이 27.39 mm에서 단수의 편차( $y_{Detrended}$ )가 0이 되고, 이 때 단수함수 기울기(-5.002)의 반대방향(5.002)으로 보상해주는 2월 누적 강수량 선물을 매입하면 된다.

옵션의 경우 단수의 편차가 0인 지점을 기온과 강수량의 옵션 행사지점으로 설정한다.

즉, 편차가 0인 지점에서 단수함수의 기울기를 구하고 반대방향으로 옵션 상품을 설계하여 기온과 강수량의 변화에 따른 수입 감소의 위험을 헷징할 수 있다. Fig. 2를 보면 4-5월 평균기온을 기초자산으로 하는 옵션의 경우 단수의 편차( $y_{Detrended}$ )가 0이 되는 행사기온은 16.00°C와 19.37°C이다. 하지만 1983~2017년 4월과 5월의 기온 경험분포에서 19.37°C 이상의 평균기온이 관측된 바 없으므로 평균기온이 16.00°C 이하로 떨어질 때 보상금을 지급하는 풋 옵션만 고려하였다. 16.00°C에서 단수함수의 기울기는 542.24로 이와 반대방향(-542.24)의 기울기를 취해주는 옵션상품을 설계하였다. 6~7월 누적 강수량을 기초자산으로 하는 단수함수에서 단수의 편차가 0인 지점은 166.82 mm와 723.38 mm으로 두 군데지만 6~7월 누적 강수량 경험분포에서 723.38 mm 이상의 누적 강수량이 관측되지 않아 누적 강수량이 166.82 mm 이하로 떨어지는 풋 옵션만을 고려하였다. 166.82 mm에서 단수함수의 기울기는 2.728로 이와 반대방향(-2.728)의 기울기를 가진 옵션상품을 설계하였다.

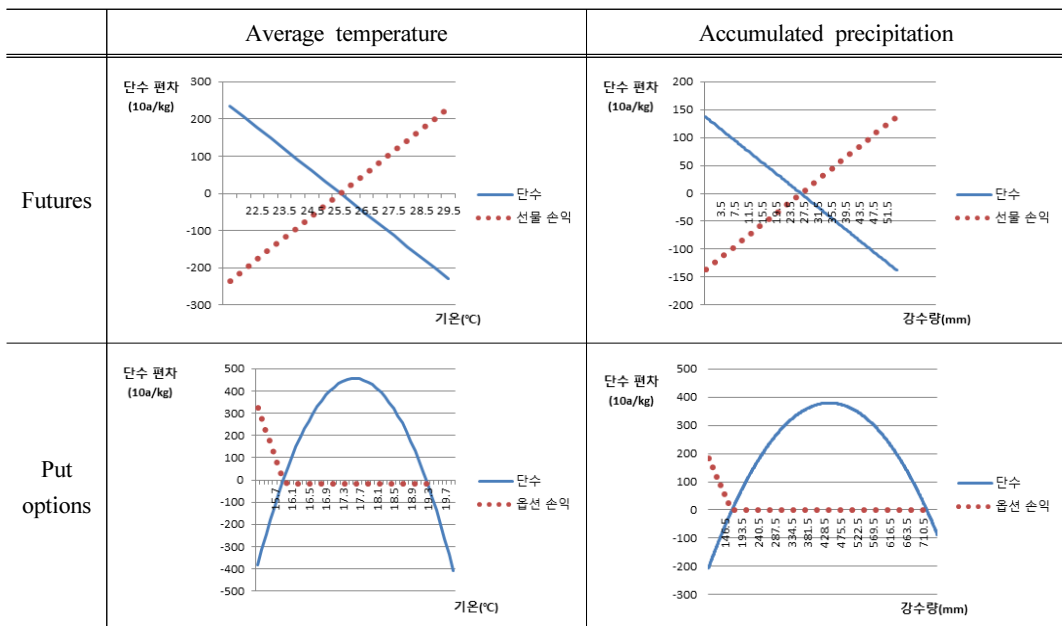


Fig. 2. Yield functions and weather derivatives payoffs for apple.

### Ⅲ. 날씨파생상품의 가격산출

#### 1. 날씨파생상품(옵션) 가격 산출

날씨파생상품 중 선물의 가격은 사과 수확기 단수를 과거 평균단수와 동일하게 고정시

킬 경우 해당되는 날씨지수를 의미한다. 예컨대, 기온선물의 경우 위 절에서 살펴본 대로 7월 기온선물의 기준가격은 26.05℃ 이고 여기서 1℃ 증가할수록 사과 가입농가는 58.174 kg에 해당하는 금액을 보상받는다. 반대로 1℃ 감소할수록 가입농가는 사과 58.174 kg에 해당하는 금액만큼 손실을 보게 되어 7월의 온도가 어떠한 방향으로 움직이든 26.05℃에 기대되는 사과단수를 보장받게 된다. 선물만기인 7월의 평균 온도에 따라 이익 또는 손해를 볼 수 있으므로 선물 가입자(매입자)는 별도의 수수료를 부담하지 않는다. 다만 가입 면적에 따라 사전에 약정된 증거금을 예탁하고 손해가 발생할 경우 이 증거금을 차감하고 이익이 발생할 경우 증가금에 합산해 주는 방식으로 정산한다. 따라서 날씨선물의 경우 별도의 가격산출이 필요 없고 선물만기(예컨대 7월)의 정산 기준지수(26.05℃)와 지수 한 단위(1℃)당 보상금액(파생상품 계약에서는 “틱(tick)”)이라고 부르며 58.174 kg에 해당하는 금액)만 정하면 되므로 본 분석에서 파생상품가격 산출은 옵션가격 산출을 의미한다.

옵션의 경우 매입자는 일정한 수수료(옵션계약에서는 “프리미엄” 또는 “가격”이라고 부름)를 지불하고 본인이 유리할 때만 행사할 수 있는 권리를 갖는다. 선물의 경우 위에서 설명한 바와 같이 만기 상황에 따라 이익이 발생할 수도 손실이 발생할 수도 있으나 옵션의 경우 유리할 경우만 옵션을 행사하여 이익을 거두고 불리할 경우 행사하지 않아 손실을 피할 수 있다. 옵션 매입자는 유리할 경우 옵션 매도자에게 권리를 행사하고 옵션 매도자는 이에 응해야 하는 의무를 가진다. 따라서 옵션 매입자는 매도자에게 일정한 가격(프리미엄)을 지불해야 한다. 적정 옵션가격을 산출하기는 쉽지 않으며 본 연구에서는 경험분포를 이용하는 방식과 시뮬레이션에 의한 방식의 두 가지로 산출한다.

본 연구는 분석 자료 중 가장 최근 년도인 2017년의 경북지역 사과농가 판매가격을 기준으로 날씨옵션상품의 가격을 산출한다. 먼저 경험분포에 의한 산출방식을 이용하여 분석기간(1983~2017년)의 옵션 보상금의 총합을 총 기간(35년)으로 나누어 산출한다. 보상금은 기초자산(날씨지수)의 행사지수와 실제 지수와의 차이에 지수 한 단위당 가격을 곱해줌으로써 산출한다. 지수 한 단위당 가격은 한 단위 변화에 따른 보상금으로 단수함수에서 단수편차가 0일 때 기율기와 사과 1 kg당 산지가격의 곱으로 구한다.<sup>5)</sup> 예컨대, 기온을 기초자산으로 하는 풋옵션 상품의 행사기온(4, 5월 평균기온)은 16.00℃ 이고 이 지점에서의 기율기 542.24에 1 kg당 산지가격 2,180원을 곱하여 1℃ 하락에 따른 10a당 보상금 1,182,092원을 구하였다. 만약 4, 5월 평균기온이 16.00℃ 보다 높으면 옵션 매입자가 행사를 안 하므로 보상금은 0원이 된다. 1983~2017년의 보상금의 총합은 1,359,964원이고 이를 총 기간 35년으로 나눈 옵션가격은 10a당 38,856원이 된다.<sup>6)</sup> 이를 10a당 농가수입 대비 효율로 환산하면

5) 사과 1 kg당 산지가격은 2017년 경북 사과가격을 기준으로 1 kg당 2,180원이다.

6) 실제 옵션가격은 내재가치(옵션만기 시 예상되는 보상금 금액의 평균)와 시간가치(옵션보유 기간에 따라 옵션 행사가능성이 달라짐에 따라 산출되는 가치)의 합으로 산출된다. 그러나 시간가치는 내재가치에 비해 상대적으로 미미하므로 본 연구는 분석의 편이를 위해 내재가치만 고려한다.



2017년 기준 농가수입의 1.1%에 해당되는 수준이다. 강수량을 기초지수로 하는 옵션상품의 행사강수량(6, 7월 누적 강수량)은 166.82 mm이고 이 지점에서의 기율기 2.728에 1 kg당 산지가격 2,180원을 곱하면 1 mm 변화에 따른 10a당 보상금은 5,947원이 된다. 1983~2017년의 보상금의 총합은 94,699원이고 이를 총 기간 35년으로 나눈 옵션가격은 2,705원으로 농가수입 대비 0.08% 수준이다.

Table 3. Weather options premiums calculated based on historical weather distributions

	Temperature	Precipitation
Strike level (°C, mm)	16.00	166.82
Tick value (won)	1,182,092	5,947
Option premium (won)	38,856	2,705
Premium rate (%)	1.1	0.08

## 2. 시뮬레이션 방식에 의한 옵션가격 산출

날씨변수의 경험분포에 의한 옵션가격은 비교적 산출이 간편하다는 장점이 있는 반면 산출된 가격이 과거 경험자료에만 의존되어 이상기후 발생가능성을 충분히 반영하지 못한 한계가 있다(Cao et al., 2003; Richards et al., 2004). 따라서 경험분포에 적합한 확률밀도함수를 추정하여 이를 기초로 난수를 생성하는 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 날씨옵션가격을 재산출하였다. 그리고 추정된 확률밀도함수의 Akaike's Information Criterion (AIC) 값을 구하여 경험분포와의 일치성을 확인하였다.

단수함수별로 상이한 월의 날씨변수를 독립변수를 이용하였으므로 추정된 날씨변수 확률밀도함수도 차이가 있다. 1차 단수함수의 독립변수인인 7월 기온변수와 2월 강수량변수는 Table 4와 같이 정규분포와 지수분포가 경험분포에 유사하고, 2차 단수함수의 4, 5월 기온변수와 6, 7월 강수량변수의 2차항과 1차항은 Table 5와 같이 지수분포, 균등분포, 로그정규분포 그리고 삼각분포가 각각 적합한 것으로 추정되었다. 날씨변수 별로 추정된 확률밀도함수를 기초로 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하여 10,000개의 날씨자료를 생성하였다. 단수의 경우 경험분포를 기초로 몬테카를로 시뮬레이션을 실시할 경우 날씨변수 자료와 상관성을 잃게 된다. 따라서 시뮬레이션을 통해 추정된 10,000개의 날씨자료를 토대로 시뮬레이션 단수를 추정할 수 있다. 시뮬레이션 단수는 2017년 기준으로 날씨파생상품 가격을 산출하므로 2017년을 기준연도로 설정하여 설계한다. 시뮬레이션 방식에서의 단수는 식 (7)과 같이 2017년 추세단수( $y_{2017Trend}$ )와 추세제거 단수함수에 시뮬레이션 날씨변수를 대입한 추세제거단수( $\hat{y}_{Detrended}$ ) 및 오차의 합과 같다.

$$(7) \quad y = y_{2017Trend} + \hat{y}_{Detrended} + e$$

여기서  $y$ 는 10,000개의 시뮬레이션 단수,  $y_{2017Trend}$ 는 2017년 추세단수,  $\hat{y}_{Detrended}$ 는 시뮬레이션 날씨변수로 산출한 추세제거단수,  $e$ 는 오차이다.

Table 4. Estimation results of probability distributions based on historical weather distributions

	Variable	Probability density function	Estimated parameter		AIC
Linear function	Tem <sub>7</sub>	normal distribution	$\mu$	0.000	137.8767
	Pre <sub>2</sub>	exponential distribution	$\lambda$	0.037	308.0984

Note 1) Tem<sub>7</sub> is a deviation from average of July temperature, Pre<sub>2</sub> is a deviation from average of February accumulated precipitation.

Note 2) Estimated probability distributions have probability density functions as follows;

Normal distribution:  $f(x;\mu) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$ ,

Exponential distribution:  $f(x;\lambda) = \lambda e^{-\lambda x}$

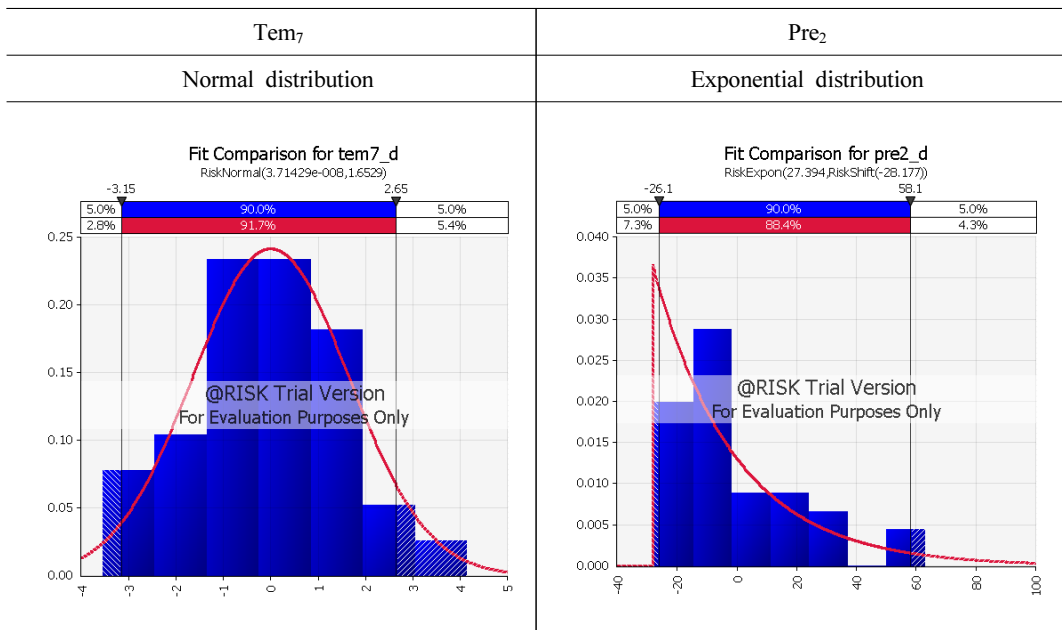


Fig. 3. Graphs of estimated probability distributions based on historical weather distributions.

Table 5. Estimation results of probability distributions based on historical weather distributions

	Variable	Probability density function	Estimated parameter		AIC
Quadratic function	Tem <sub>4,5</sub> <sup>2</sup>	Exponential distribution	λ	1.443	50.6795
	Tem <sub>4,5</sub>	Uniform distribution	a	-1.4924	82.9059
			b	1.5782	
	Pre <sub>6,7</sub> <sup>2</sup>	Lognormal distribution	μ	29,378.51	762.3423
			σ	122,707.50	
	Pre <sub>6,7</sub>	Triangular distribution	a	-211.87	443.1504
			b	393.66	
			c	-211.87	

Note 1) Tem<sub>4,5</sub><sup>2</sup> is a square term of deviation from average of April and May temperature, Tem<sub>4,5</sub> is a deviation from average of April and May temperature, Pre<sub>6,7</sub><sup>2</sup> is a square term of deviation from average of June and July accumulated precipitation, Pre<sub>6,7</sub> is a deviation from average of June and July accumulated precipitation.

Note 2) Estimated probability distributions have probability density functions as follows;

$$\text{Exponential distribution: } f(x;\mu) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$\text{Uniform distribution: } u(a,b) = \frac{1}{b-a},$$

$$\text{Lognormal distribution: } \ln N(\mu, \sigma^2) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$\text{Triangular distribution: } f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x < c \\ \frac{2}{b-a} & \text{for } x = c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c < x \leq b \end{cases}$$

where a, b, c are minimum, maximum, and mode, respectively.

Table 6은 시뮬레이션 방식을 통해 산출한 날씨옵션상품의 가격과 효율이다. Table 3과 같이 경험분포 방식의 행사 기준과 단위당 보상금을 적용했을 때, 강수량옵션상품의 경우 옵션 가격은 2,467원이고 2017년 농가수입 대비 0.07% 수준으로 경험분포 방식과 유사한 수준이다. 반면, 기온옵션상품의 가격은 77,706원이고 2017년 농가수입 대비 2.2% 수준의 효율로 경험분포 방식보다 약 2배 증가하였는데 이는 시뮬레이션 과정에서 이상기온을 반영한 산출결과로 해석할 수 있다.

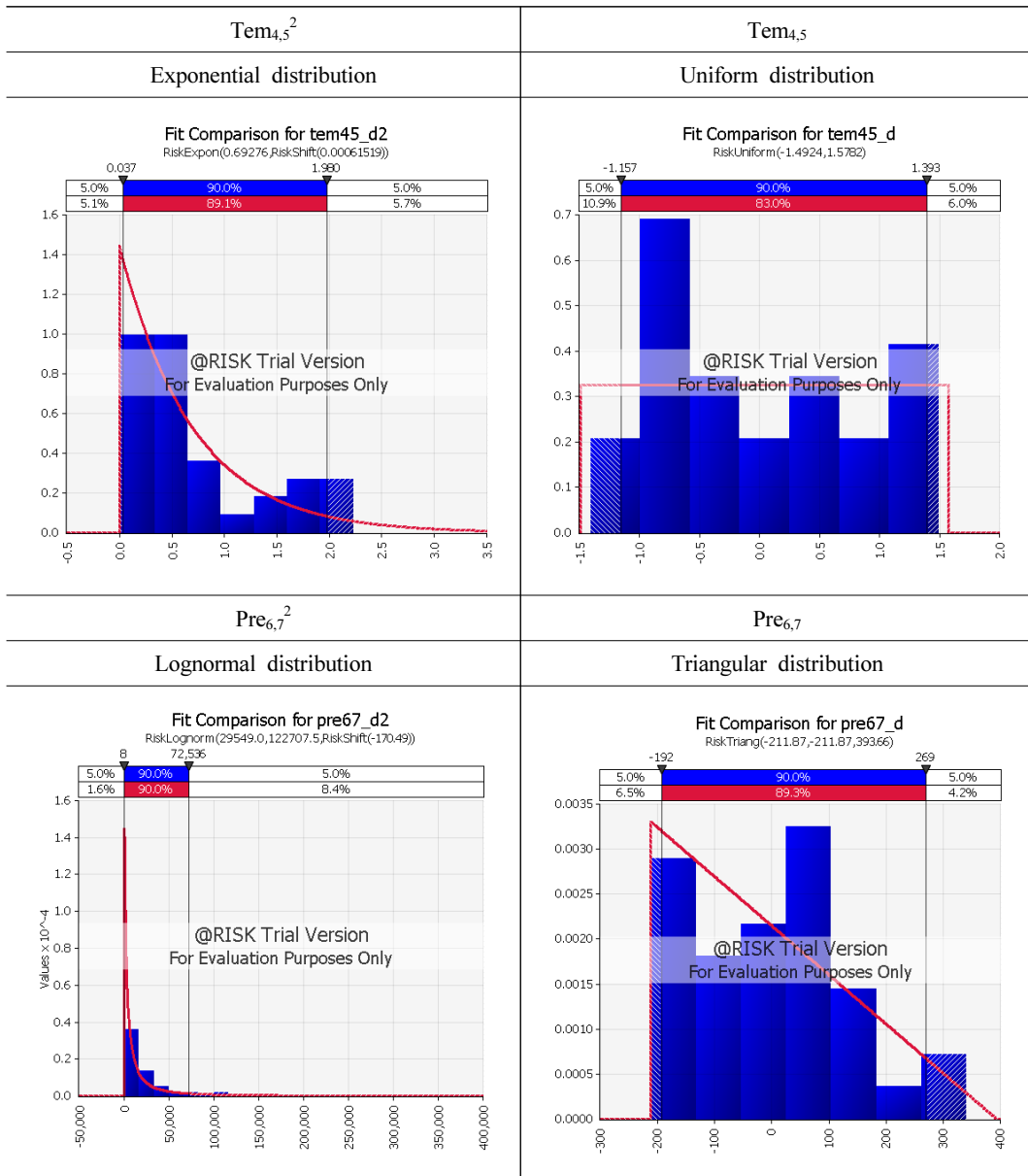


Fig. 4. Graphs of estimated probability distributions based on historical weather distributions.

Table 6. Weather options premiums calculated by monte carlo simulation

	Temperature	Precipitation
Option premium (won)	77,706	2,467
Premium rate (%)	2.2	0.07

## IV. 헷징효과 분석결과

### 1. 농가 수입안정 효과

이상기후로 인한 단수 감소는 농가 수입 감소에 직접적인 영향을 주기 때문에 장기적으로 농가경영안정에 어려움을 준다. 날씨파생상품은 이상 고온·저온, 가뭄, 장마 등으로 인한 단수 및 농가수입 불안정을 헷지를 통해 안정화시켜준다.

본 연구는 날씨파생상품의 수입안정 효과 분석을 위해 사과 품목을 대상으로 수입 변동계수(CV: Coefficient of variation), 최대손실가능금액(VaR: Value at-Risk), 확실성 등가수입(CE: Certainty equivalence), 그리고 위험 프리미엄(RP: Risk premium) 등 4개의 위험지표를 산출한다. 그리고 헷지를 하지 않을 경우와 날씨파생상품으로 헷지를 할 경우의 위험지표들을 비교함으로써 날씨파생상품이 농가 수입안정에 미치는 효과를 계량적으로 분석한다.

수입 변동계수(CV)는 각 연도의 수입이 평균수입에서 얼마나 큰 편차를 보이는지 산출함으로써 안정성을 측정하는 계수로 모든 연도에서 수입의 표준편차( $\sigma_Y$ )를 평균수입( $E(Y)$ )으로 나눈 값이다. 본 연구는 변동계수를 산출하기 위해 1983~2017년 동안의 농가수입의 표준편차를 평균으로 나누었다. 이 때 변동계수는 변동성을 나타내는 지표이기 때문에 변동계수가 낮을수록 농가수입이 안정적임을 의미한다.

$$(8) \quad CV = \frac{\sigma_Y}{E(Y)}$$

최대손실가능금액(VaR)은 농가경영 중 발생하는 위험 등으로 인해 발생할 수 있는 최대 손실가능금액으로 수입의 변동성이 클 경우 최대손실금액 또한 크게 나타난다. 산출방법으로는 모수적 방법과 비모수적 방법이 있다. 모수적 방법은 수입의 표준편차와 신뢰수준을 이용하여 산출해낼 수 있고 비모수적 방법은 수입의 분포에서 직접 구하는 방법이다.

모수적 방법으로 VaR을 산출하기 위해서는 신뢰수준에 상응하는 상수( $\alpha$ ), 수입의 표준편차( $\sigma_Y$ ), 자산가치( $V$ )를 곱하게 된다.

$$(9) \quad VaR = \alpha \times \sigma_Y \times V$$

이 때  $\alpha$ 는 표준정규분포에서 해당 유의수준의 z값으로 유의수준이 5%인 경우  $\alpha$ 는 1.65가 된다. 본 연구에서 VaR는 경북지역 연도별 농가수입의 표준편차와 2017년 경북지역의 사과 농판가격을 기준가격으로 설정한 경북지역 사과농가 조수입을 이용하였다. 비모수적 방법과 모수적 방법 모두 동일한 신뢰수준에서 VaR값이 작을수록 변동성이 낮아 농가의

수입이 안정됨을 의미한다.

확실성 등가수입(CE)은 불확실한 상황에서 기대되는 효용인 기대효용과 동일한 효용을 주는 확실한 현금을 의미한다. 확실성 등가수입은 생산자의 위험 회피정도와 관련이 있으므로 먼저 생산자의 위험성향을 반영할 수 있는 효용함수를 정의할 필요가 있다. 본 연구에서 효용함수는 power 효용함수를 이용하기로 한다.

$$(10) \quad U(Y) = \frac{Y^{1-\gamma}}{1-\gamma}$$

Power 효용함수는 수입( $Y$ )이 증가할수록 효용( $U(Y)$ )은 증가하되 효용의 증가폭은 점점 감소하는 함수이다. 생산자의 위험회피정도( $\gamma$ )에 따라 위험 감소가 효용 증대에 미치는 효과가 다르므로 생산자의 위험성향을 반영할 수 있다는 장점이 있다. 즉,  $\gamma=0$ 이면 위험중립 또는 위험에 무관심이고,  $\gamma=1$ 이면 위험에 대단히 민감하다는 것을 의미한다. 농가에 따라 위험성향은 다양하게 나타나는데 본 연구에서는 일반적 농가 성향을 반영하기 위해 중간 정도의 위험회피성향( $\gamma$ )인 0.5를 가정한다.

확실성 등가수입(CE)은 power 효용함수에 기댓값을 취한 후 수입( $Y$ )에 대하여 정리함으로써 도출된다. 불확실한 상황에서 동일한 기대수입을 갖는 두 농가 중 확실성 등가수입이 큰 농가의 수입이 보다 안정적이라고 할 수 있다.

$$(11) \quad CE(Y) = [(1-\gamma)E(U(Y))]^{\frac{1}{1-\gamma}}$$

위험프리미엄(RP)은 기대수입(불확실한 상황에서 예상되는 수입)에서 확실성 등가수입을 뺀 금액을 의미한다. 동일 기대수입을 갖는 농가 중에서 수입이 안정적인 농가일수록 확실성 등가수입이 크므로 위험프리미엄은 더 낮게 나타난다.

$$(12) \quad RP = E(Y) - CE$$

## 2. 분석결과

Table 7은 몬테카를로 시뮬레이션을 실행한 결과를 이용하여 경북지역 사과농가가 헷지를 하지 않을 경우와 날씨옵션상품을 통해 헷지할 경우로 나누어 위험지표를 비교한 표이다. 추정 결과 날씨옵션으로 헷지할 경우 헷지하지 않을 경우에 비해 수입변동계수(CV), 모수적 방식으로 산출한 최대손실가능금액(VaR), 위험프리미엄(RP)은 낮게 나타나고, 확실성 등가수입(CE)은 높게 나타났다. 이는 날씨옵션상품을 이용하여 헷지했을 경우 생산위험이

감소되고 농가수입이 안정될 수 있음을 의미한다. 아래 Table 8은 날씨선물을 이용하여 헷지를 했을 때에도 옵션의 경우와 마찬가지로 헷지를 하지 않을 때에 비해 위험지표들이 개선되어 사과농가의 수입이 안정될 수 있음을 재확인하였다.

Table 7. Farm revenue stabilization effect by hedging with weather options

(unit: won)

	Average revenue	CV	VaR (95%)	CE ( $\gamma=0.5$ )	RP ( $\gamma=0.5$ )
Without hedging	5,112,100	0.40	390,038,030	3,484,939	1,627,161
Hedging with put options	5,112,100	0.39	374,452,725	3,492,202	1,619,898

Table 8. Farm revenue stabilization effect by hedging with weather futures

(unit: won)

	Average revenue	CV	VaR (95%)	CE ( $\gamma=0.5$ )	RP ( $\gamma=0.5$ )
Without hedging	5,112,100	0.24	324,856,545	3,539,565	1,572,535
Hedging with futures	5,112,100	0.22	296,224,408	3,541,702	1,570,398

## V. 요약 및 결론

온실가스 배출 등에 따른 지구온난화로 이상기상 현상이 빈번히 발생하면서 농수산업과 에너지 산업 등이 부정적인 영향에 노출되어 있다. 특히, 농업의 경우 기후에 민감한 분야로 이상기후에 따른 기상변화는 작물의 생육환경에 직접적인 영향을 주기 때문에 농가 수입에 위험성을 더하고 있다. 이러한 농가 수입의 위험성을 정부의 정책 사업을 통해 해결하고자 했으나 정부 예산의 비효율적 운용, 정보의 비대칭성 등의 문제로 인해 자본시장을 통한 민간자본 활용방안도 고려되고 있다. 예컨대 국내에서는 농작물재해보험을 통해 농가의 수입을 안정화하고자 한다. 그러나 농작물재해보험은 재해로 인한 피해를 보장해 주므로 역선택, 도덕적 해이, 피해입증 문제 등 정보의 비대칭성으로 인하여 정부의 운영비용이 과다하게 투입되고 있고 농가와와 분쟁이 야기될 수 있는 한계가 있다.

본 연구는 농작물 피해 자체가 아니라 피해의 원인이 되는 날씨변수를 기초자산으로 지수화한 날씨파생상품을 이용하여 농가수입의 안정 효과를 측정하고자 한다. 날씨파생상품을 설계하기 위해 경북지역의 사과를 대상품목으로 선정하여 경험분포 자료를 기초로 단수함수를 추정하였다. 추정한 단수함수를 토대로 기온과 강수량을 기초자산으로 하는 선물상품과 풋옵션상품을 설계하여 날씨파생상품의 행사기준, 가격, 보험요율 등을 구하였다. 날

씨 경험분포를 기초로 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하여 10,000개의 기온, 강수량, 단수자료를 생성하였다. 이 자료를 통해 날씨파생상품의 헷지효과를 분석했고, 날씨파생상품을 이용할 경우 이용하지 않을 경우에 비해 수입변동계수(CV), 최대손실가능금액(VaR), 위험프리미엄(RP)은 낮게 나타나고 확실성 증가수입(CE)은 높게 나타났다. 이는 날씨파생상품이 농가 수입 안정에 기여할 수 있음을 의미한다.

본 연구는 농업부문에서 위험관리 수단으로 날씨파생상품이 활용될 수 있음을 확인하였다. 그러나 아직 한국 농업부문에 날씨파생상품을 도입하기 위한 법·제도적 장치가 미흡하고 지속적인 연구와 정부 정책과의 연계 필요성이 있다. 아울러 본 연구는 몇 가지 한계를 가지고 있어 향후 이에 대한 추가연구가 필요하다. 첫째, 대구 사과 농가를 대상으로 날씨파생상품의 수입안정 효과를 분석하고자 하였으나 대구시의 사과단수 자료를 수집하지 못해 경북지역의 단수자료를 사용하였기 때문에 지리적 차이에 의한 베이스스(오차)가 존재할 수 있다. 둘째, 품종의 다양성을 고려하지 않았기 때문에 가격과 단수가 달라질 수 있어 정확한 단수추정에는 한계가 있다. 셋째, 날씨파생상품 상장을 위해서는 상품 설계뿐만 아니라 거래대상 상품의 변동성, 현물시장 규모, 상품 동질성, 인수도 가능 물량, 저장가능성, 시장구조, 현물시장 활성화 수준, 교차헷지 가능성, 헷지와 투기자 유인성 등 다양한 부분에 대한 고려가 필요하지만 이에 대한 분석이 이루어지지 못했다. 따라서 향후 연구에서 개선된 자료를 통한 단수추정과 대상품목의 범위를 넓혀 품목 간 헷징효과를 비교하고 날씨파생상품 상장을 위한 시장여건들을 면밀히 분석한다면 한국 농업 부문에 날씨파생상품이 보다 유용하게 활용되는 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

[Submitted, February. 4, 2020; Revised, September. 23, 2020; Accepted, October. 19, 2020]

## References

1. Cao, M., A. Li, and J. Z. Wei. 2003. Weather Derivatives: A New Class of Financial Instruments.
2. Chung, W. H. 2013. Reducing the Social Cost of Federal Crop Insurance: A Role for US Government Hedging with Weather Derivatives. *Journal of Rural Development*. 36(2): 1-26.
3. Ecopi Corp. 2018. Study on Introducing Weather Insurance Related with Climate Change. Final Report Submitted to the Ministry of Environment.
4. Kim, C. G., H. T. Park, S. M. Lee, H. J. Joo, O. S. Kwon, and R. Medeljon. 2008. Impacts of Climate Change on the Agricultural Sector in Korea. Korea Rural Economic Institute.



R.565.

5. Moon, S. J. and P. D. Sohn. 2012. Korean Weather Derivative Index: Development and Application. The Korean Finance Association 2012 Joint Conference on Research and Publication of 5 Academic Societies: 493-543.
6. National Institute of Meteorological Research. 2018, Climate change over 100 years on the Korean Peninsula.
7. Richards, T., M. Manfredo, and D. Sanders. 2004. Pricing Weather Derivatives. American Journal of Agricultural Economics. 86(4): 1005-1017.
8. Rural Development Administration. Work Schedule List.
9. Yun, W. C. 2016. Analysis on the Hedging Effects of Derivatives on Precipitation. Korean Energy Economic Review 15(2): 1-22.