

사과생산량에 영향을 미치는 기상요인 분석

김미리¹ · 김승규^{2*}

¹경북대학교 기후변화학과, ²경북대학교 농업경제학과
(2014년 7월 8일 접수; 2014년 8월 28일 수정; 2014년 9월 29일 수락)

Examining Impact of Weather Factors on Apple Yield

Mi Ri Kim¹ and Seung Gyu Kim^{2*}

¹Department of Climate Change, Kyungpook National University, Bukgu Daehakro 80, Daegu 702-701, Korea

²Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University,
Bukgu Daehakro 80, Daegu 702-701, Korea

(Received July 8, 2014; Revised August 28, 2014; Accepted September 29, 2014)

ABSTRACT

Crops and varieties are mostly affected by temperature, the amount of precipitation, and duration of sunshine. This study aims to identify the weather factors that directly influence to apple yield among the series of daily measured weather variables during growing seasons. In order to identify them, 1) *a priori* natural scientific knowledge with respect to the growth stage of apples and 2) pure statistical approaches to minimize bias due to the subject selection of variables are considered. Each result estimated by the Panel regression using fixed/random effect models is evaluated through suitability (i.e., Akaike information criterion and Bayesian information criterion) and predictability (i.e., mean absolute error, root mean square error, mean absolute percentage). The Panel data of apple yield and weather factors are collected from fifteen major producing areas of apples from 2006 to 2013 in Korea for the case study. The result shows that variable selection using factor analysis, which is one of the statistical approaches applied in the analysis, increases predictability and suitability most. It may imply that all the weather factors are important to predict apple yield if statistical problems, such as multicollinearity and lower degree of freedom due to too many explanatory variables used in the regression, can be controlled effectively. This may be because whole growth stages, such as germination, florescence, fruit setting, fattening, ripening, coloring, and harvesting, are affected by weather.

Key words: Apple yield, Correlation analysis, Factor analysis, Panel analysis, Weather factors

I. 서 론

기후는 과거 30년간 기상의 평균치를 의미하며, 기후변화는 현재의 기후계가 자연적인 요인과 인위적인 요인에 의하여 점차 변화하는 현상을 말한다. 이러한 기후변화는 현재 국내외의 사회·경제·환경 등 다양한 분야에서 중요 관심대상이다. 농업의 경우 생산 전

과정이 환경적 영향, 즉 기후 및 기상조건에 민감하기 때문에 기후변화에 가장 큰 영향을 받는 영역이라고 할 수 있다. 가뭄으로 인한 수세약화, 폭설에 의한 하우스, 방조망 붕괴 등의 이상기후에 따른 피해와 평균 기온의 변화는 농산물의 재배, 수확에 영향을 줄 뿐 아니라, 농산물의 품질 및 재배적지에도 매우 큰 영향을 미친다(Rural Development Administration, 2002).



* Corresponding Author : Seung Gyu Kim
(sgkimwin@knu.ac.kr)

이러한 기후변화가 농업부문에 가져올 영향과 변화에 대응하는 위기대책을 수립하여 피해를 최소화하기 위한 적응 정책이 필요하며 적응적 대안을 위한 연구가 지속되고 있다(Koh and Kim, 2011).

기후변화와 농산물의 생산에 관한 연구는 주요 식량 작물에 대상으로 한 연구들이 주를 이루고 있다. 벼의 경우, 생육 시기별 기상 변수나 장기적 지구온난화가 단수 미치는 영향을 예측하려는 노력이 진행되고 있다(Kwon *et al.*, 2013; Nam *et al.*, 2012). 밀의 경우도 각 지역과 품종에 따라 기상요소가 생장 및 생산량에 미치는 영향이 연구된다(Chmielewski and Kohn, 2000; Ozkan and Akcaoz, 2002; You *et al.*, 2009). 높은 온도에 민감한 품종인 옥수수 역시 기온이 높아지면 2.4%-45.6%까지 생산량이 감소될 것으로 분석된다(Tao and Zhang, 2010). 식량 작물 외에도 배추, 콩, 호박, 오이, 토마토, 딸기, 참외, 고추 등의 작황을 중심으로 생육조건으로서의 기상요인을 설명변수로 활용하는 연구들이 존재한다(Han *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2004; Shin, 2013).

기온, 일조시간, 강수량 등의 기상요인은 본질적인 연속적 속성으로 인하여 연구에 이용되는 설명변수의 설정을 위해서는 일 평균, 주간 평균, 연 평균 등 임의의 시간단위를 기준으로 통계화가 필요하며, 각 기간의 평균 기온만 하더라도 단순평균, 최저기온 평균, 최고기온 평균 등의 다양한 통계량이 존재한다. 이러한 모든 요인을 사용하여 계량적인 분석을 실시할 경우 모형의 효율성 저하뿐만 아니라 다중공선성 등의 오류가 발생하여 신뢰성이 떨어지는 반면 변수를 임의로 선택할 경우 모형의 적합도가 감소할 수 있다. 따라서 기존연구에서는 작물과학에 관한 연구 성과를 최대한 반영하여 농산물의 생육과정에 영향을 미치는 변수로 규명된 요인을 분석에 반영하여 설정한다(Kwon *et al.*, 2013). 한편, 자료 지향적인 노력으로는 상관관계분석을 통한 변수 설정이 주를 이룬다(Kim and Lee, 2005). 예를 들어, 사과 성목 단수에 영향을 미치는 기상요인으로 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온, 강수량, 일조시간으로 설정하고, 상관계수가 가장 높은 월별 기상요인을 설명변수로 활용한다.

그러나 이러한 자료 설정의 방법에 대하여 생산량 예측의 정확성이나 유용성, 계량학적 오류 가능성에 대하여 비교 분석한 연구들은 부족한 상황이다. 더불어 생육기간이 긴 사과와 같은 작목의 경우 기상변수가 생산량에 미치는 영향이 시기적으로 경중의 차이가 있을 수 있지만, 제외된 기상요인이 과실의 생산량에 영향을 전혀 미치지 않는다는 가정은 현실적이지 않다. 따라서 다양하게 통계화된 자료를 변수화하여 모형의 설명력을 높이는 노력이 필요하다. 따라서 본 논문은 기상요인 중 생산량에 미치는 기상요인을 특정하는 기존의 방법론과 추가적인 방법론을 제안함과 동시에 그 결과를 비교 평가한다.

II. 변수설정 및 분석모형

2.1. 자료

본 연구는 우리나라 사과주산지 15개 지역의 2006년부터 2013년 동안의 사과 단위당(10a) 생산량(kg)을 대상으로 수행하였다.¹⁾ 사과 단수자료의 출처는 「주요 작물 생산동향」이며 2007년까지 작물통계조사서는 명칭으로 농림수산식품부(현 농림축산식품부) 국립농산물품질관리원에서 작성되었으며, 2008년 3월에 통계청에 이관되어 작성되고 있다.

사과의 주산지 변화 추이를 살펴보면, 1970년대에 대구·경산을 중심으로 한 경상북도 남부지역이 주산지였으나, 2000년대에는 의성·문경을 중심으로 한 경상북도 북부지역과 무주·장수 등 산간고랭지로 이동하고 있다. 본 논문에서 사용된 주산지는 거창, 문경, 밀양, 봉화, 상주, 안동, 영주, 영천, 예산, 예천, 의성, 제천, 청송, 충주, 포항 15개 지역으로 분류된다(Fig. 1). 주산지로 선정된 지역은 사과재배 면적이 300ha 이상인 지역으로, 재배면적 추계 방법은 표본조사구내 사과재배면적비율을 경지면적에 곱하여 추계하는 비추정 방법을 활용하였다. 분석에 이용된 최근 8년간의 주산지 사과 평균단수의 동향은 다음(Fig. 2)와 같이 나타나며, 이는 면적가중평균을 이용한 것이다. 동향을 살펴보면 2006년부터 2009년까지 소폭 증가함을 보이나 2011년 까지 감소함을 보이나 다시 증가하는 추세

¹⁾ 과실류(사과, 배)의 시·도 단위의 조사는 1987년부터 실시되었으나 본 연구에 이용된 주산지 시·군 단위의 조사는 2006년부터 가용함.

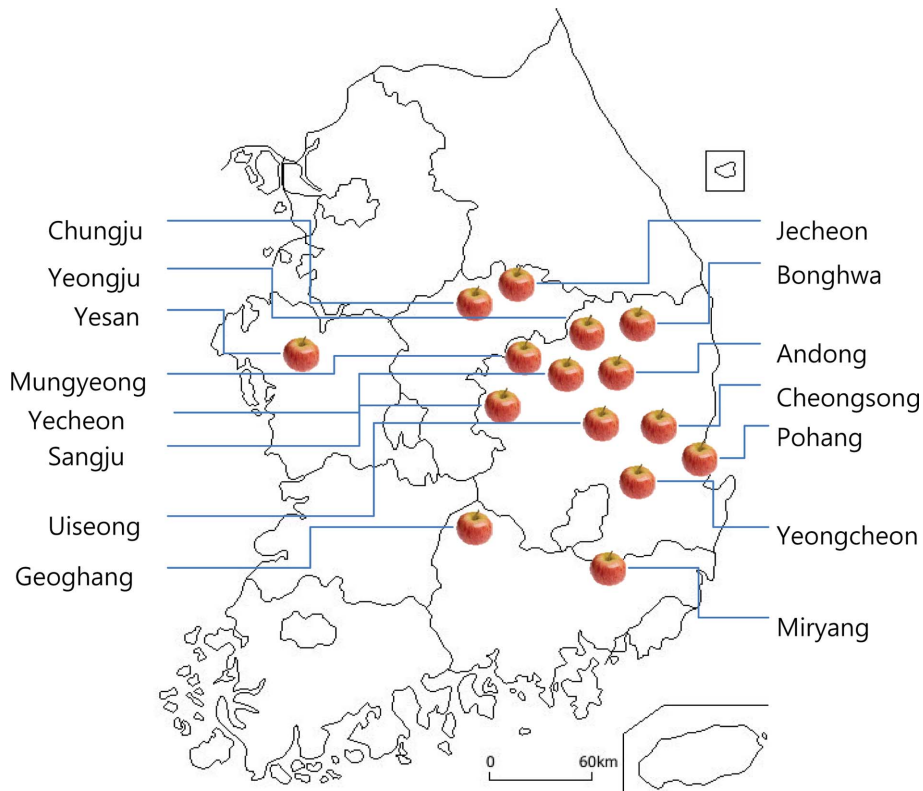


Fig. 1. Study areas of fifteen major producing areas for apples in Korea.

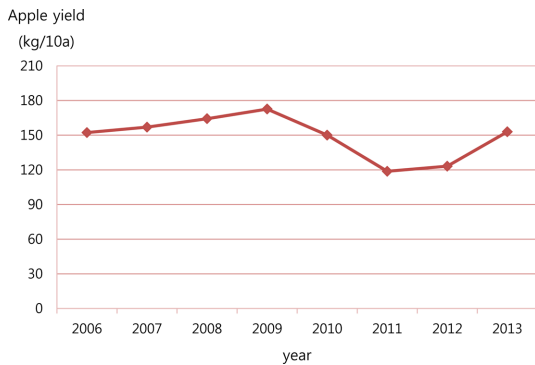


Fig. 2. Time trend of apple yield.

를 보인다.

기상변수로는 선행연구(Kim and Lee, 2005)를 참조하여 사과단수에 영향을 줄 수 있는 기상요인으로 월별 평균기온(°C), 월별 평균최고기온(°C), 월별 평균최저기온(°C), 월별 누적강수량(mm), 월별 일조시간(hr)을 사용한다. 기상요인은 2006년부터 2013년까지의 자료로 기상청에서 제공하는 자료를 활용하였다. 주산

지 총 15개 지역의 기상자료 중 별도의 유인관측 및 무인관측 지점이 마련되지 않은 지역은 거리상 가장 근접한 지역의 기상자료를 분석에 활용하였다. 따라서 예산은 서산, 예천은 영주의 기상자료를 활용하였으며, 청송의 경우 2010년 9월 7일부터 무인관측소가 운영 되었으므로 영덕의 기상자료를 활용하여 분석하였다. 또 강수량 측정에서 눈 날림 현상에 의해 관측은 되었으나 측량에 어려움이 있는 경우 또는 0.01mm이하의 관측치는 0.00으로 표시되며, 자료의 처리 또한 0.00으로 한다. 이처럼 실증분석을 위하여 전국 15개 지역의 사과단수와, 기상요인을 대상으로 패널 자료를 작성하였다. 연구에 활용 된 자료의 기초통계량은 Table 1과 같이 정리된다.

2.2. 변수설정

2.2.1. 생육단계를 고려한 자연과학적 접근방법

기상요인에 따른 사과 생산 및 품질에 관련한 선행 연구와 사과의 생육단계를 고려하여 사과단수에 영향을 미칠 수 있는 변수를 선정하여 모형에 적용한다.

Table 1. Descriptive statistics

Month	Statistics	Mean temperature (°C)	Mean minimum temperature (°C)	Mean maximum temperature (°C)	Accumulated precipitation (mm)	Duration of sunshine (hr)
Jan	Mean	-2.16	-7.51	3.65	19.82	177.73
	Std. Dev.	2.62	3.35	2.48	17.25	24.63
	Min	-10.00	-17.30	-3.10	0.00	126.20
	Max	4.10	0.60	9.10	83.60	237.80
Feb	Mean	0.93	-4.71	7.10	34.99	172.65
	Std. Dev.	2.39	2.86	2.45	25.50	28.12
	Min	-4.40	-11.50	2.60	0.30	113.70
	Max	7.20	3.30	13.30	103.50	235.20
Mar	Mean	5.65	-0.31	11.94	55.09	198.75
	Std. Dev.	1.58	1.95	1.99	34.47	42.70
	Min	1.70	-5.10	7.40	5.00	110.40
	Max	9.70	4.60	16.90	177.20	267.40
Apr	Mean	11.23	4.59	18.02	77.43	201.16
	Std. Dev.	1.61	1.93	1.85	38.04	22.40
	Min	7.20	0.20	13.80	7.00	138.80
	Max	15.10	10.30	22.80	189.80	247.10
May	Mean	17.36	11.01	24.08	109.83	220.21
	Std. Dev.	0.96	1.55	1.31	42.33	24.88
	Min	14.80	7.20	20.30	14.50	154.80
	Max	19.80	15.60	28.00	197.40	275.20
Jun	Mean	21.58	16.42	27.43	126.70	184.24
	Std. Dev.	1.08	1.39	1.45	90.45	30.73
	Min	18.60	12.40	22.60	12.50	112.20
	Max	23.70	19.70	30.50	462.60	257.20
Jul	Mean	24.52	21.03	29.05	321.30	122.57
	Std. Dev.	1.56	1.44	1.86	180.99	34.68
	Min	21.00	17.60	25.10	78.10	49.30
	Max	28.40	24.80	33.00	1111.00	200.60
Aug	Mean	25.36	21.48	30.41	226.84	161.90
	Std. Dev.	1.41	1.62	1.55	133.55	45.90
	Min	21.80	16.60	27.40	37.90	78.50
	Max	28.80	25.20	34.70	707.00	255.70
Sep	Mean	20.10	15.54	25.90	146.37	152.80
	Std. Dev.	1.30	1.83	1.19	116.23	31.45
	Min	16.30	10.30	23.50	9.80	64.50
	Max	23.00	19.50	29.50	629.00	215.30
Oct	Mean	14.03	8.16	21.31	39.11	195.40
	Std. Dev.	1.76	2.40	1.44	28.18	28.20
	Min	9.90	3.00	18.50	5.90	128.10
	Max	19.20	15.60	25.10	204.40	252.90
Nov	Mean	6.64	1.23	13.04	37.13	158.50
	Std. Dev.	2.16	2.82	1.92	26.29	31.26
	Min	2.20	-4.90	8.60	0.00	103.20
	Max	13.00	9.70	17.40	125.70	236.00
Dec	Mean	-0.03	-5.00	5.65	23.44	165.57
	Std. Dev.	2.24	2.63	2.28	13.60	23.02
	Min	-6.50	-12.20	-0.40	3.20	90.70
	Max	4.90	1.70	10.20	65.40	210.00

사과의 생육단계별 기온, 강수량, 일조시간 등의 개별 변수가 사과단수에 미치는 영향을 파악하기 위한 방법으로 적합하다. 사과나무의 생육단계를 요약하면 2월은 꽃눈 형성기로 과실의 수에 직접적인 영향을 주는 시기이고, 3월은 발아기에 해당하여 싹이 틀 준비를 하는 시기이다. 4월은 개화기에 해당하며 수정을 시작한다. 5월은 착과기에 해당하며 6월, 7월, 8월은 비대기로 사과의 중량으로 측정되는 단수가 증가 하는데 중요한 시기이다. 또한 중량 뿐 아니라 황경 중경을 키워 품질을 좋게 한다. 9월, 10월은 성숙 및 착색기에 해당하며 이 시기를 지나면 사과나무는 수확에 들어간다(Kim and Lee, 2005). 또한 자연과학, 작물과학분야의 선행연구 내용을 참고하면 Kim(2002)은 봄철 기온이 낮으면 과실나무의 그루당 착과 수 및 과실의 무게에 부정적인 영향을 미치며, 과실 수확기의 많은 강수량은 과실 비대에 긍정적인 영향을 준다고 분석 하였으며, Kim and Lee(2005)은 과실비대기의 고온은 과실비대에 좋지 않은 영향을 줄 것으로 추정하고, 여름철 일조시간은 과실 비대에 좋은 영향을 주며 품질을 결정하는 당도 또한 높아 질 것으로 예측했다. 또한 Kang *et al.*(2011)은 수확기 최저기온이 높으면 갈색무늬병 등의 병충해로 과실의 품질이 저하되어 수확량이 감소하는 것으로 추정했다. 이처럼 사과의 생육단계를 고려하고, 선행연구내용을 참고하여 모형에 적용 할 기상변수를 선정한다.

2.2.2. 통계적 접근 방법 I: 상관분석

사과단수와 각 월별 기상요인의 상관분석(correlation analysis)을 기초로 상관계수(correlation coefficient)를 이용하여 모형에 사용될 변수를 선정한다. 상관계수는 두 연속변수의 선형관계 정도를 나타내는 척도로서 한 변수와 다른 변수와의 직선적 관계를 -1과 1의 사이 값으로 나타낸다. 따라서 2006년부터 2013년까지 15개 지역의 사과단수와 1월부터 12월까지의 월별 기상요인 중 어떤 달의 기상요소와 가장 관계를 상관계수를 이용하여 파악하며 사과단수예측모형의 기상요인으로 사용한다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (1)$$

(식 1)에서 \bar{x}, \bar{y} 는 각각 x, y 의 평균값을 의미하며, s_x, s_y 는 각각 x, y 의 표준편차를 의미한다. 본 연구

에서는 x 에 사과단수를 y 에 월별 기상요인을 적용하므로 r_{xy} 는 사과단수와 월별기상요인의 상관계수이다. 또, i 는 해당연도를, n 은 수집된 자료의 총 개수를 나타낸다. 1월부터 12월까지 각각의 월별 기상요인과 해당하는 연도의 사과단수와 상관분석 결과를 바탕으로 상관계수가 가장 큰 달의 기상변수 하나를 선택하여 모두 5개의 변수를 선정한다.

2.2.3. 통계적 접근 방법 II : 요인분석

1월부터 12월까지의 월별 평균기온, 평균최저기온, 평균최고기온, 누적강수량, 일조시간 등 모든 기상변수를 활용하여 사과단수예측모형에 적용한다. 수집된 모든 월별기상요인이 요인분석에 적합한지 여부를 판단하기 위해 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)와 Bartlett검정을 실시한다. KMO값은 표본 적합도를 나타내는 값으로 일반적으로 0.5이상이면 자료가 요인분석에 적합하고, 변수 간의 상관행렬이 단위행렬인지 여부를 카이제곱분포를 이용해서 판단한다(Kang and Kim, 2012). 요인추출은 주성분분석(principal components analysis)을 이용하고, 각 요인의 적재값이 높은 변수의 수를 최소화하는 직교회전 방식인 베리맥스(varimax)방법을 사용한다. 변수로 사용되는 요인점수를 구하는 식은 다음 (식 2)와 같다(Kang and Kim, 2012).

$$F_{jk} = \sum_{i=1}^n W_{ji} Z_{ik} \quad (2)$$

n 은 변수의 개수, Z_{ik} 는 표준화된 변수, W_{jk} 는 각 변수에 주어지는 가중치, F_{jk} 는 개별 표본 대상의 요인점수를 나타낸다.

모든 기상요인을 설명변수로 활용하려는 노력은 계량적으로는 다중공선성(multicollinearity)의 문제가 발생하기 때문에 분산팽창계수(VIF: Variance Inflation Factor)를 활용하여 VIF가 10보다 큰 기상 요인들을 모아 요인분석을 실시한다. 요인의 개수는 요인분석 후 새롭게 생성된 변수와 기존변수간의 다중공선성 검사를 통하여 다중공선성이 발생하지 않는 요인의 수들 중 AIC 기준으로 모형의 적합도가 가장 높은 요인개수를 요인수로 선정한다.

2.3. 분석모형

2.3.1. 패널데이터의 개념 및 특성

본 연구의 자료는 패널 데이터로 어떤 특정 개체의 현상이나 사건을 시간 순으로 기록해 놓은 시계열데이

터(time-series data)와 특정시점에 있어 여러 개체의 현상이나 특성을 모아 놓은 횡단면데이터(cross-sectional data)를 하나로 합쳐 놓은 형태이다. 즉 여러 개체에 대해 그 현상이나 특성을 일련의 관측시점 별로 기록해 놓은 것이다(Min and Choi, 2013). 패널 구조의 자료의 속성을 무시하고 OLS(Ordinary least square)로 추정된 선형회귀모형식은 다음 (식 3)과 같다(Min and Choi, 2013).

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \beta_3 x_{3it} + \dots + \beta_n x_{nit} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

i 는 패널 개체를, t 는 개체의 데이터 관측시점을 의미하며 n 은 패널 개체의 수를 의미한다. (식 3)으로 추정한 계수 β_n 은 모든 패널 개체에 동일하다고 가정 한 것으로, 각 i 와 t 의 특성을 고려하지 못한다. 소위 Pooled OLS라고 불리는 방법으로 개체 $n \times t$ 개의 관측치인 것처럼 단순히 결합(pooling) 하여 OLS로 추정된 결과이다. 따라서 패널 데이터의 속성을 반영 하여 선형회귀모형식을 설정하면 $n \times t$ 다음 (식 4)과 같다(Heo, 2013).

$$y_{it} = (\beta_0 + u_i) + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \beta_3 x_{3it} + \dots + \beta_n x_{nit} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

(식 4)는 (식 3)과 달리 오차항이 시간에 따라 변하지 않는 패널의 개체특성을 나타내는 u_i 와 시간과 패널 개체에 따라 변하는 순수 오차항 ε_{it} 로 나누어지며, 오차항의 가정에 따라 고정효과모형(Fixed effects Model)과 확률효과모형(Random effects Model)으로 나누어진다(Noh and Lee, 2012).

고정효과모형은 상수항이 패널 개체별로 서로 다르며, 고정되어 있다고 가정하는 모형을 말한다. 오차항 u_i 를 확률변수(Random variable)가 아닌 추정해야 할 모수로 간주한다. 따라서 기울기 모수인 β 값은 모든 개체에 대해서 동일하지만 상수항 ($\beta_0 + u_i$)는 패널 개체별로 달라진다. 결과적으로 고정효과모형의 추정으로 패널 그룹 내에서의 설명변수 효과를 추정할 수 있다(Min and Choi, 2013). 확률효과모형은 패널 개체의 특성을 나타내는 오차항 u_i 를 추정해야 할 모수로 간주하는 고정효과모형과는 달리 확률변수로 가정하는 모형을 말한다. 두 모형의 차이는 상수항이 없어서 설명변수(x_{it})와 개체특성 오차항(u_i)간의 상관관계가 발생하여도 추정량을 도출할 수 있는 고정효과모형과는 달리, 확률효과모형에서는 $COV(x_{it}, u_i) = 0$ 즉, 설명

변수(x_{it})와 개체특성 오차항(u_i)간의 상관관계가 없어야 한다는 가정이 성립되어야 효율적인 추정량을 얻을 수 있다는 점이다(Min and Choi, 2013).

2.3.2. 모형 적합도 검정

모형의 적합도를 평가하는 지수는 매우 다양하나 본 연구에서는 아카이케 정보 기준(Akaike information criterion, AIC)과 베이저안 정보 기준(Bayesian Information Criterion)을 이용한다. 이를 구하는 식은 다음 (식 5), (식 6)과 같다(Gujarati and Porter, 2009).

$$AIC = -2 \times \ln(\text{likelihood}) + 2 \times k \quad (5)$$

$$BIC = -2 \times \ln(\text{likelihood}) + \ln(N) \times k \quad (6)$$

식에서 n 은 관측치의 수, k 는 추정된 모수의 수, likelihood 는 최우추정법(MLE, Maximum Likelihood Method)의 최우도(Maximum Likelihood)를 의미한다.

2.3.3. 모형 예측력 평가

예측오차들을 통해 예측모형의 정확도를 판단할 수 있다(Park *et al.*, 2009). 예측모형의 정확도를 추정하는 방법으로 본 연구에서는 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE)와 평균제곱오차의 제곱근(Root Mean Square Error, RMSE), 평균절대백분율오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)를 이용하며, 이를 구하는 식은 다음 (식 7), (식 8), (식 9)와 같다(Park *et al.*, 2009).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |e_i|}{N} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N}} \quad (8)$$

$$MAPE = 100\% \times \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|e_i|}{|y_i|}}{N} \quad (9)$$

식에서 n 은 관측치의 수를 나타내며, e_i 는 예측오차를 y 는 실제 관측치를 의미한다.

III. 결 과

3.1. 변수설정 결과

선행연구를 바탕으로 생육단계를 고려한 자연과학적

Table 2. The correlation coefficients between weather factors and apple yields

Month	Mean temperature	Mean minimum temperature	Mean maximum temperature	Accumulated precipitation	Duration of sunshine
Jan	0.47**	0.46**	0.52**	0.23*	-0.33**
Feb	0.34**	0.31**	0.30**	-0.08	-0.01
Mar	0.53** [†]	0.34**	0.45**	-0.07	-0.08
Apr	0.23*	0.21*	0.17	-0.49**	0.10
May	0.19*	0.15	0.14	-0.03	0.21*
Jun	-0.07	0.10	-0.19*	-0.27**	-0.18*
Jul	-0.03	-0.01	-0.03	-0.12	-0.10
Aug	0.04	-0.02	0.08	-0.39**	0.39**
Sep	0.35**	0.28**	0.28**	-0.11	0.08
Oct	0.49**	0.43**	0.53**	-0.20*	0.02
Nov	0.14	0.06	0.19*	-0.35**	0.17
Dec	0.50**	0.43**	0.54**	-0.03	-0.10

The asterisks represent p-values: *p<0.05, **p<0.01

[†]Variables selected for the regression are presented in bold.

Table 3. Results of factor analysis and descriptive statistics

Factor	Mean	Std. Dev.	Max	Min	Weather Factors	
Temperature factor in year	0	1	2.706	-2.033	Mean temperature	Jan, Feb, Mar, Sep, Oct, Nov, Dec
					Mean minimum temperature	Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec
					Mean maximum temperature	Jan, Feb, Dec
Weather factor in summer(1)	0	1	2.466	-1.977	Mean temperature	Jul
					Mean minimum temperature	Jul
					Mean maximum temperature	Jul, Sep
					Accumulated precipitation	Jul
					Duration of sunshine	Jul, Dec
Temperature factor in spring	0	1	2.684	-2.362	Mean temperature	Apr, May
					Mean maximum temperature	Mar, Apr, May
Accumulated precipitation in autumn	0	1	1.931	-2.061	Accumulated precipitation	Sep
					Duration of sunshine	Mar, Sep, Oct, Nov
Duration of sunshine	0	1	1.847	-2.547	Mean temperature	Jun
					Mean maximum temperature	Jun
					Accumulated precipitation	Feb
					Duration of sunshine	Jan, Feb, Jun
Weather factor in summer(2)	0	1	2.691	-1.763	Mean temperature	Aug
					Mean maximum temperature	Aug, Oct
					Duration of sunshine	Apr, Aug
Etc.(1)	0	1	2.288	-2.415	Mean maximum temperature	Nov
					Accumulated precipitation	Jun
Etc.(2)	0	1	1.886	-2.794	Duration of sunshine	May
					Accumulated precipitation	Apr

접근방법으로 변수를 설정하면, 봄철 3월 평균기온, 수확기 9월 10월의 평균최저기온, 과실비대기 8월의 평균최고기온, 수확기 10월의 강수량, 여름철 과실비대기인 7월 8월의 일조시간이 변수로 활용된다.

통계적 접근 방법 I: 상관분석을 이용한 변수설정을 위한 월별 기상요인과 사과단수의 상관분석 결과는 다음 Table 2와 같다.

이러한 상관분석을 기초로 사과단수와 유의미한 상관관계를 가지는 월별 기상요인을 변수로 설정하면 3월의 평균기온, 1월의 평균최저기온, 12월의 평균최고기온, 4월의 강수량, 8월의 일조시간으로 요약할 수 있다.

통계적 접근 방법 II: 요인분석을 위한 변수 설정을 위해 다중공선성 문제를 진단한 결과 1월, 3월, 5월, 8월, 10월, 11월, 12월의 강수량을 제외한 모든 변수에서 다중공선성의 문제가 발생하였다. KMO검정값이 0.752, Bartlett검정 또한 1% 유의 수준에서 귀무가설을 기각하여(p<0.000) 요인분석이 가능하였으며 요인의 개수는 8가지로 분류되었다. 요인에 속한 변수의 공통적인 특성을 요인명칭으로 설정하였으며 결과 및 변수의 기초통계량은 다음 Table 3과 같이 정리된다.

3.2. 모형추정결과

시계열적 안정성 확보를 위하여 IPS 단위근 검정 결과 사과단수를 포함한 모든 변수에서 단위근이 있다는 귀무가설을 기각하였다(Im *et al.*, 2003; McCarl *et al.*, 2004). 고정효과모형과 확률효과모형의 적합성 검정을 위해 하우스만 검정(Hausman test)을 각각 선정된 변수를 적용하여 실시하였고 1% 유의수준 하에서 귀무가설을 기각하지 못하였으므로 확률효과모형을

Table 4. Estimation Results using variables through a priori natural scientific knowledge with respect to the growth stage

Variable	Coefficient of regression	z-value
Constant	1517.588*	2.090
Mar mean temperature	130.280**	3.600
Sep mean minimum temperature	70.266*	2.030
Oct mean minimum temperature	-17.112	-0.570
Aug Mean maximum temperature	-31.299	-1.240
Oct Accumulated precipitation	-4.054**	-3.610
Jul Duration of sunshine	-3.099**	-3.090
Aug Duration of sunshine	3.248*	2.530

The asterisks represent p-values: *p<0.05, **p<0.01

이용하여 회귀분석을 실시하였다.

3.2.1. 생육단계를 고려한 자연과학적 접근방법 추정결과

<생육단계를 고려한 자연과학적 접근방법>의 결과에 따르면 3월 평균기온, 10월 누적강수량, 7월 일조시간이 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의함을 보이며, 9월의 평균최저기온, 8월 일조시간은 5% 유의수준 하에서 의미가 있음을 보여준다.

3.2.2. 통계적 접근 방법 I: 상관분석 추정결과

<통계적 접근 방법 I: 상관분석> 추정 결과는 4월 누적강수량이 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의함

Table 5. Estimation Results using variables through pure statistical approach I: correlation analysis

Variable	Coefficient of regression	z-value
Constant	1781.732**	5.900
Mar Mean temperature	40.295	1.150
Jan Mean minimum temperature	4.262	0.290
Dec Mean maximum temperature	47.033*	2.550
Apr Accumulated precipitation	-4.165**	-4.990
Aug Duration of sunshine	1.853*	2.520

The asterisks represent p-values: *p<0.05, **p<0.01

Table 6. Estimation Results using variables through pure statistical approach II: factor analysis

Variable	Coefficient of regression	z-value
Constant	2413.750**	12.420
factor1	145.767**	3.350
factor2	-23.537	-0.660
factor3	50.931	1.190
factor4	-76.633	-1.020
factor5	-24.811	-0.650
factor6	40.054	1.170
factor7	29.918	0.750
factor8	227.335**	5.050
Jan accumulated precipitation	4.299*	1.960
Mar accumulated precipitation	-2.426	-1.560
May accumulated precipitation	-0.439	-0.420
Aug accumulated precipitation	-0.740*	-2.370
Oct accumulated precipitation	-1.788	-1.630
Nov accumulated precipitation	-1.490	-0.860
Dec accumulated precipitation	9.293**	2.780

The asterisks represent p-values: *p<0.05, **p<0.01

Table 7. Estimation Results for evaluated through suitability and predictability

Model	Suitability		Predictability		
	AIC	BIC	MAE	RMSE	MAPE
<i>A priori</i> natural scientific knowledge with respect to the growth stage	1746.432	1774.307	255.839	329.992	12.56%
Pure statistical approach I: correlation analysis	1741.586	1763.886	248.338	323.929	12.00%
Pure statistical approach II: factor analysis	1724.734	1774.909	221.992	287.528	10.53%

을 보이며, 12월 평균최고기온, 8월 일조시간이 5% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있음을 나타낸다.

3.2.3. 통계적 접근 방법II: 요인분석 추정결과

<통계적 접근 방법II: 요인분석>은 사과단수를 종속 변수로 기상변수의 특성상 다중공선성 문제가 있는 변수들은 요인분석을 통하여 생성된 새로운 변수와 다중공선성 문제가 없는 1월, 3월, 5월, 8월, 10월, 11월, 12월의 강수량이 설명변수로 선정되었다. 추정결과는 다음 Table 6과 같이 정리된다.

<통계적 접근 방법II: 요인분석>의 추정결과는 factor1, factor8, 12월 누적강수량이 각 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의미함을 보이며, 1월, 8월 누적강수량의 경우 5% 유의수준에서 의미가 있음을 나타낸다.

3.3. 모형의 적합도 및 예측력 비교결과

세 모형의 AIC(Akaike information criterion)를 기준으로 적합도를 비교하면 근소하지만 가장 낮은 1724.734로써 <통계적 접근방법II: 요인분석>이 적합도에서 가장 우수함을 보이며, BIC(Bayesian information criterion)를 기준으로 적합도를 비교 할 경우 값이 가장 낮은 값은 1763.886으로 <통계적 접근방법I: 상관분석>이 가장 우수함을 보인다. 또한 모형의 예측력 역시 <통계적 접근방법II: 요인분석>의 결과가 가장 예측력이 높은 모형으로 판단된다. 또 상관분석을 기초로 변수를 설정한 <통계적 접근방법I: 상관분석>은 예측력에서 두 번째로 예측력이 우수함을 보였고, <생육단계를 고려한 자연과학적 접근방법>의 예측력은 세 모형 중 가장 낮은 예측력을 보였다. 모형 간 적합도 및 예측력 비교결과를 정리하면 Table 7과 같다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라 사과 주산지 15개 지역의 사과

단수와 월별 기상요소를 패널 자료로 구축하여 사과단수와 기상요인간의 관계 및 영향력을 분석하였다. 기존의 변수 설정 방법과 요인분석을 통한 변수 설정을 통해 구성된 사과단수예측모형을 확률효과모형(Random effects model)을 이용하여 추정하고 모형의 적합도 및 예측력을 비교하였다.

연구에서 생육단계를 고려하여 자연과학적 접근방법으로 기상변수를 사용한 결과 3월 평균기온이 1°C 증가하면 단수가 평균적으로 120.950kg/10a 증가하며, 9월 평균최저기온이 1°C 증가하면 77.772kg/10a 증가할 것으로 예측되고 10월 누적강수량이 1mm 증가하면 단수는 4.050kg/10a 감소함을 보이며, 7월 일조시간이 1시간 늘어나면 단수는 3.128kg/10a 만큼 줄어드는 반면 8월 일조시간이 1시간 증가할 경우 3.618kg/10a 증가할 것으로 예측되는 결과를 보였다. 사과단수와 기상요인간의 상관분석(correlation analysis)을 기초로 설명변수를 구축한 모형의 경우 12월의 평균기온이 1°C증가하면 단수가 평균적으로 52.035kg/10a증가하고, 4월 누적강수량이 1mm 증가할수록 단수는 4.205kg/10a 감소 할 것이며, 8월 일조시간이 1시간 증가하면 사과단수는 2.105kg/10a 증가할 것으로 추정된다.

<통계적 접근 방법II: 요인분석> 모형을 추정한 결과는 요인분석(factor analysis)의 특성상 개별 기상요인이 단수에 미치는 요인을 특정하기에 어려움이 있지만, 모형의 적합도와 예측력이 가장 우수하게 나타났다. 이는 사과의 특성상 1월부터 12월까지의 모든 기상변수를 활용하여 예측력 제고시킨 결과로 추정된다. 또한 기상요인이 발아, 개화, 착과, 비대, 성숙, 그리고 착색 및 수확에 이르기까지 전 생육과정에 걸친 기상요인이 단수에 영향을 준다는 의미로 해석할 수 있다. 따라서 급속하게 진행되고 있는 모든 기후변화 인자들을 고려하여 정확한 생산량 예측에 적용 가능성이 높다고 판단된다.

본 연구의 가장 큰 한계점은 기상요소 외에 사과 생산량에 변화를 줄 수 있는 변수가 고려되지 않았다는 점이다. 따라서 기후변화와 관련된 토양의 변화, 병해충의 출현, 농가의 기술력 변화 등이 고려될 경우 좀 더 정확한 분석이 이루어질 수 있을 것으로 보인다. 또한 냉해나 태풍, 우박과 서리 등 국지적이고 일시적인 이상기후 등의 변수 활용도 필요하다. 특히 본 연구는 개별 농가를 대상으로 한 것이 아니라 주산지를 연구대상으로 하였기 때문에 원천 데이터에 해당하는 조사 농가의 지리적 정보를 정확하게 파악할 수 없었고 이에 따라 해당하는 기상 변수는 기상청에서 제공하는 해당 관측지역의 것으로써 개별 농장의 기상 변수가 사용되지 못하였다. 마찬가지로 해당 행정구역에서 기상 관측이 이루어지지 않은 경우 가장 가까운 거리에 있는 기상 자료를 대리변수(proxy variable)로 사용한 한계가 있다. 자료와 관련된 또 하나의 한계점으로는 패널로 구성된 주산지의 자료 측정 기간이 2006년부터 2013년까지 8개 연도에 불과하다는 점이다. 물론 패널은 횡단면 자료의 속성도 동시에 가지기 때문에 서로 상이한 기상자료의 지역적 분포에 따라 기상요인이 사과의 단수에 어떤 영향을 주는지 충분한 설명력을 가지게 되지만, 월평균으로 측정된 기상자료의 연간 변화 수준은 미미하기 때문에 좀 더 장기간의 추적 관찰을 통하면 기상요인의 시간적 변화에 따른 사과 단수의 변화 추정이 좀 더 정교해 질 수 있다. 따라서 관측지역의 범위를 주산지 외에 시군구의 작은 행정단위로 미세화하고 관측의 기간도 증가시키는 등 좀 더 세밀한 자료의 수집이 필요할 것으로 보인다. 이러한 자료를 본 논문의 방법론에 적용하여 사과생산단수예측모형을 설계하고, 적합도 및 예측력 평가를 통해 가장 우수한 모형을 선정하는 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

적 요

농업은 기후 및 환경의 영향을 많이 받는 산업으로 기온, 강수량, 일조시간 등에 따라 재배 가능한 작물과 품종이 결정된다. 본 연구의 목적은 사과의 생육과정에서 일별로 측정되는 기상변수를 활용하여 기상변수가 사과단수에 미치는 영향을 파악하는 것에 있다. 기상변수는 1) 생육단계를 고려한 자연과학적 접근방법과 2) 통계적 접근방법을 이용한다. 패널분석을 통

해 추정된 각각의 결과를 모형적합도와 예측력 비교를 통해 평가한다. 사과단수와 기상변수의 자료는 2006년부터 2013년까지 우리나라 사과주산지 15개지역을 대상으로 수집되었다. 분석 결과, 통계적 접근방법 중 요인분석을 이용한 변수 선정 방법이 가장 높은 예측력과 적합도를 보였다. 이는 기상변수와 같이 서로 유사하지만 다양한 설명변수의 사용으로 발생할 수 있는 다중공선성과 낮은 자유도의 문제를 효과적으로 통제하게 될 경우, 보다 많은 기상요인을 회귀분석에 포함하는 것이 적합도와 예측력을 높이는데 기여한 것으로 추정된다. 또한 사과재배에 있어 발아, 개화, 착과, 비대, 성숙, 그리고 착색 및 수확에 이르기까지의 전 생육과정의 기상요인이 단수에 영향력이 있음을 의미한다.

감사의 글

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ009892)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

- Chmielewski, F. M., and W. Kohn, 2000: Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years, *Agricultural and Forest Meteorology* **102**, 253-261.
- Gujarati, D. N., and D. C. Porter, 2008: *Basic Econometrics*, McGraw-Hill.
- Han, S. H., B. H. Lee, M. S. Park, J. H. Seung, H. S. Yang, and S. C. Shin, 2011: A Study of building Crop Yield Forecasting Model Considering Meteorological elements, P152. Korea Rural Economic Institute.
- Heo, S. J., 2013: An Estimation Of Korean Offshore and Coastal Fisheries Production Function Based On Panel Data Analysis, Department of Applied Economics, Bukyung University.
- Im, K. S., M. H. Pesaran, and Y. C. Shin, 2003: Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels, *Journal of Econometrics*, **115**(1), 53-74.
- Kang, B. S., and K. S. Kim, 2012: *Statistical Analysis of Social Science*, Hannarae Academy.
- Kang, S. S., Y. B. Kwak, S. I. Kwon, E. Y. Nam, J. H. Noh, I. S. Shin, and H. S. Hwang, 2011: Fruit Breeding Strategy Corresponding to Climate Changes, *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **29**, 38-39.
- Kim, C. M., 2002: Effects of Climatic Parameters on Flowering, Fruiting and Fruit Quality of Satsuma Mandarin(Citrus

- unshiu Marc.) in Jeju Island, Department of Horticulture, Jeju University.
- Kim, K. P., and W. J. Lee, 2005: A Study on Improvement in Forecasting Production of Apple, M67. Korea Rural Economic Institute.
- Koh, J. K., and J. H. Kim, 2011: Have local officials recognized the importance of adaptive policy?, *Journal of the Korean Urban Management Association* **24**(3), 51-72.
- Kwon, O. S., H. K. Cho, E. B. Cho, and J. S. Roh, 2013: Climate Variables and Rice Productivity: A Semi-parametric Analysis Using Panel Regional Data, *Korean Journal of Agricultural Economics* **54**(3), 71-94.
- Lee, Y. S., H. K. Jeong, W. T. Kim, and I. C. Choi, 2004: An Estimation of Yield Functions of Korean Fruit-Vegetables, P073. Korea Rural Economic Institute.
- McCarl, B. A., C. C. Chen, and D. E. Schimmelpfennig, 2004: Yield Variability as Influenced by Climate: A Statistical Investigation, *Climatic Change* **66**(1-2), 239-261.
- Min, I. S., and P. S. Choi, 2013: *Analysis of Panel Data in STATA*, Jiphil Media.
- Nam, Y. S., S. R. Yang, Y. H. Song, and H. J. Park, 2012: Research on the Change of Milled Rice Production under Climate Change in Korea: Based on RCP 8.5, *Journal of the Korean Agricultural Economics* **53**(4), 61-88.
- Noh, S. C., and H. Y. Lee, 2012: *Analytic of Advanced Statistics*, Bobmunsa.
- Ozkan, B., and H. Akcaoz, 2002: Impacts of climate factors on yields for selected crops in the Southern Turkey, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **7**, 367-380.
- Park, G. H., H. S. Song, and J. Y. Won, 2009: *Management Science*, Kyobomoongo.
- Rural Development Administration, 2002: Research trends of Climate change and Changes in Agricultural Ecosystems.
- Shin, I. A., 2013: The Impacts of Climatic Factor on Red Pepper Yields and Chinese Cabbage Yields, Department of Climate Change, Kyungpook National University.
- Tao, F., and Z. Zhang, 2010: Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options, *European Journal of Agronomy* **33**, 103-116.
- You, L., M. W. Rosegrant, S. Wood, and D. Sun, 2009: Impact of growing season temperature on wheat productivity in china, *Agricultural for Meteorology* **149**, 1009-1014.