

# 혼합주기 모형을 활용한 가을배추 단수 예측모형 연구\*

## - 생육 단계별 기후효과 반영을 중심으로 -

문진언\*\* 김기환\*\*\* 서병선\*\*\*\*

### Keywords

기후 변화(climate change), 배추 단수(cabbage yield), 생육 실측 자료(growth measurement data), 혼합주기 모형(mixed data sampling)

### Abstract

This paper explores the forecasting model of the Korean cabbage yield using the mixed data sampling (MIDAS) model based on high-frequency weather variables and growth measurement data. The principal objective of our research is to improve the predictive accuracy of crop production by incorporating the nonlinear climatic effect by growth stage. A mixed data sampling model is employed to reflect the relationship between climate and the nonlinear effect on the cabbage yield, especially at each growth stage. Our analysis includes the meteorological variables of extreme climatic phenomena such as heat waves and Typhoons and the growth measurement data such as plant heights and number of leaves. By applying the mixed data sampling model, this study obtains the result of improving the prediction accuracy for cabbage yield. In particular, when using a mixed data sampling model including high-frequency temperature data, it achieves an in-sample forecasting accuracy improvement of about 12%~14% and an out-of-sample forecasting accuracy of 15%~27%.

### 차례

1. 서론
2. 배추 수급 동향 및 생육 특성
3. 분석 모형
4. 분석 자료 및 주요 결과
5. 결론 및 시사점

\* 본 논문은 농림축산식품부와 한국농촌경제연구원에서 공동 주최 / 주관하는 '제1회 농산물 수급 예측모형 경진대회'에서 수상작으로 선정된 논문을 수정 및 발전시킨 연구임. 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었음.

\*\* 고려대학교 식품자원경제학과 대학원 석사과정, 공동1저자.

\*\*\* NH농협금융지주 NH금융연구소 책임연구원, 경제학 박사, 공동1저자.

\*\*\*\* 고려대학교 식품자원경제학과 교수, 교신저자. e-mail: seomatteo@korea.ac.kr

## 1. 서론

본고는 농작물 수급 불안정 해소를 위한 연구의 일환으로 고빈도 기상 변수 및 생육 실측 자료의 사용과 함께 혼합주기 모형을 활용하여 배추의 단수 예측모형을 연구한다. 특히 배추 단수의 주기와는 다른 고빈도의 기상 자료와 생육 실측 자료를 결합하여 생육 단계별 비선형적 기후효과를 반영함으로써 농작물 생산에 대한 예측력을 향상하고자 한다. 기후 변화와 함께 농작물 생산의 불확실성이 증가하고 있으며 한국의 대표적인 농작물인 배추 역시 수급 불안정성과 가격 변동성이 증가하고 있다. 따라서 이러한 기후 환경 변화가 배추 생산에 미치는 비선형적 기후효과를 반영하며 생육 실측 자료를 활용할 수 있는 연구가 필요하다.

인간의 삶에 있어서 의식주는 매우 중요하다. 그중 ‘식’은 삶을 살아가는 에너지를 제공해 주는 등 생명 유지에 있어 필수적 요소이며 이와 관련된 식문화는 해당 국가 구성원에게 내재된 기초 먹거리를 포함하고 있다. 이 중 우리나라 전통 식문화에서 빼놓을 수 없는 것이 바로 김치이며 이를 제조하기 위해 쓰이는 핵심 원재료인 배추는 식문화뿐만 아니라 영양학적 관점에서도 매우 중요한 품목이다. 또한 배추는 현재 우리나라에서 생산량이 많은 대표적인 엽채류이며 국민의 기초 먹거리 안전성 유지에 중요한 역할을 하고 있다.

그러나 최근 발생하고 있는 급격한 기후 변화는 우리가 생활을 위해 필요로 하는 원물의 생산 및 공급 측면에서 불안정성을 높이는 요인이 되고 있다. 본 연구에서 분석하고자 하는 배추 역시 수급 불안정성과 가격 변동성이 증가하고 있다. 이러한 생산의 불안정성 증대는 해당 농산물의 출하량, 저장량, 수입물량 등의 변화를 일으키고 가격의 변동을 불러오면서 수요의 변화까지 이어질 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 전통 식문화는 해당 국가 및 국민 생활에 내재된 것이다. 이에 기후 변화로 인해 생산에 문제가 생겼다고 해서 간편하게 다른 품목으로 대체하기에는 어려운 특성이 있다. 그리고 국내산 농산물을 수입산으로 완전 대체하기에도 안전성, 소비자 기호, 해당 생산업 종사자 소득 등을 고려할 때 어려움이 존재한다. 결국 기후 변화로 커지고 있는 생산 변동성에도 불구하고 이러한 여러 요인들로 인해 배추 수급 안정을 위한 노력은 포기할 수 없는 과제이다.

해당 주제와 관련하여 국내 선행연구들을 살펴보면, 먼저 허신행·황연수(1984)는 기상요인을 포함한 배추 공급 함수를 추정하였다. 또한 이용선 외(2004, 2005), 한석호·김병률(2004), 한석호 외

(2011), 박지연·박영구(2013), 최병욱 외(2020) 등에서 기상요인을 포함한 배추 공급 부문 예측 연구를 진행하였다. 그리고 품목의 범위를 타 농산물로 확대하면 주식인 쌀의 공급부문 예측, 양파, 마늘, 토마토 등의 생산량 예측과 생육에 미치는 영향 등 관련 연구가 활발히 진행되었다. 쌀의 공급부문 예측과 관련하여 권오상·김창길(2008), 노재선 외(2012), 심교문 외(2016), 한석호(2016)의 연구가 있었다. 이 외에 최성천·백장선(2016a, 2016b), 송은영 외(2017), 김준철 외(2021), 최성천 외(2021) 등은 양파, 마늘, 토마토 등의 연구를 행하였다. 최성천·백장선(2016a)은 마늘 주산지의 단수 및 기상 자료를 활용하여 패널 회귀모형 추정을 실시하였고 최성천·백장선(2016b)의 경우, 양파 주산지 단수 및 기상 자료를 바탕으로 공간 패널 모형을 사용하여 추정하였다. 송은영 외(2017)는 생육기 온도 변화가 양파 생육에 미치는 영향을 연구하였다. 최성천 외(2021)는 마늘의 생육 및 기상 자료를 활용하여 다층모형을 이용하여 수확기 구증을 추정하였다. 그리고 김준철 외(2021)는 스마트 팜에서 재배되는 토마토 자료와 함께 시설 내부의 온도, 이산화탄소 농도 등 환경 자료를 활용하여 생존분석을 실시하였고 LASSO, ALASSO, SCAD, HL 등을 사용하여 주요 결정요인을 구하였다.

앞서 언급한 바와 같이 농작물에 대한 단수 예측을 위해 작물별, 요인별로 다양한 연구들이 진행되었다. 하지만 자료가 가지고 있는 정보의 양적인 측면에서 유리한 기상 및 생육의 고빈도 자료와 현재까지 자료 수집의 한계로 저빈도 자료로 구성되고 있는 단수 자료를 동시에 이용할 수 있는 형태로 고도화한 모형을 사용한 연구는 찾아보기 어려웠다. 최근 기후 변화에 따른 변동성 확대로 공급 불안정이 증폭되고 있는 상황에서 이를 반영하기 위하여 고도화된 단수 예측모형을 개발하는 연구가 필요하다. 또한 단수 예측의 고도화를 위해서는 기후 변수가 농작물의 단수에 미치는 비선형적 효과를 분석에 효과적으로 반영하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 연구는 혼합주기(Mixed Data Sampling: MIDAS) 모형을 사용한다. 해당 모형은 종속변수에 비해 상대적으로 고빈도의 설명변수를 확보할 수 있을 때 종속변수의 예측 정확도 향상 또는 조기 예측을 위해 사용하는 방법으로, Ghysels et al.(2004, 2006) 이후 경제 예측에 널리 활용되고 있다. 관련한 연구로는 김철현(2014), 이승윤 외(2017)의 연구가 있으며 이들은 각각 전력 수요와 경기에 대한 예측에 MIDAS 모형을 활용하였다. 농작물의 단수 예측과 같이 농업 분야에 적용된 연구는 찾기 어려우며 부족한 문헌을 채우는 점에서 연구 의의가 있다.

작물의 단수 예측에 일단위 기상 자료를 사용할 경우, 단순히 고빈도 자료를 사용하여 예측 정확도를 향상한다는 점 외에 기후가 생육 단계별로 단수에 미치는 영향이 상이하다는 특성을 모형에

반영할 수 있다. 예를 들어, 같은 기온이라고 해도 배추 모종을 정식하는 시기와 결구가 일어나는 시기, 그리고 수확 직전 시기에 단수에 미치는 정도가 상이할 수 있다. 혼합주기 모형을 활용하면 생육 기간 동안 일별 기온이 단수에 미치는 영향의 정도를 나타내는 가중치 함수를 추정하여 생육 단계별 기후 변수의 중요도를 파악할 수 있다.

한편, 비선형적 기후효과의 반영을 위해 자료 측면에서는 이상 기후 요인과 함께 생육 실측 자료가 유용하게 쓰일 수 있다. 생육 실측 자료를 포함한 수급 예측 분석은 이를 포함하지 않았던 연구에 비해 상대적으로 농작물 생육에 대한 보다 정밀한 정보를 반영할 수 있다. 예를 들어, 생육 실측 자료는 작물의 생애 주기를 포함할 수 있다. 농촌진흥청 생육 실측조사의 경우 육묘 이후 생장기와 수확 직전 시기를 포함하여 배추의 초장, 엽수 등에 대하여 총 세 번의 실측 조사를 진행한다. 이에 더하여 병충해 유무와 같은 추가적인 생육 자료를 추가한다면 더욱 정밀한 분석이 가능하다. 따라서 본 연구는 중요 식문화인 김장을 위한 핵심 재료인 가을배추를 중심으로 고빈도의 기상 자료 및 생육 실측 자료를 사용하여 비선형적 기후효과를 반영하기 위한 혼합주기 모형을 활용하여 배추 단수 예측모형을 고도화하고자 한다.

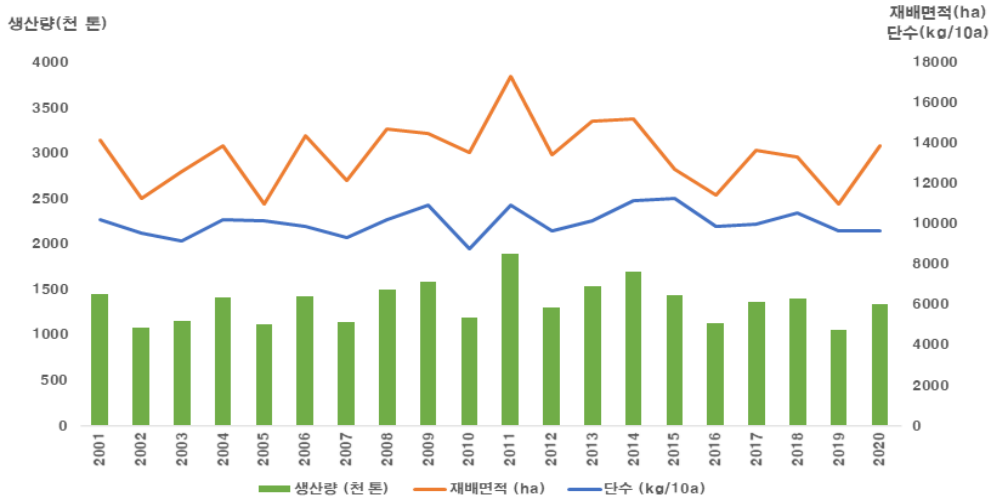
본고의 구성은 다음과 같다. 제2장은 배추의 수급 동향과 생육 특성 및 이상 기후 현황을 설명한다. 제3장은 분석에 사용하는 모형을 설명한다. 제4장은 분석 자료의 특성과 주요 분석한 결과를 보인다. 마지막 제5장은 연구 결과를 요약하고 결론 및 제언을 제시한다.

## 2. 배추 수급 동향 및 생육 특성

### 2.1. 배추 수급 동향

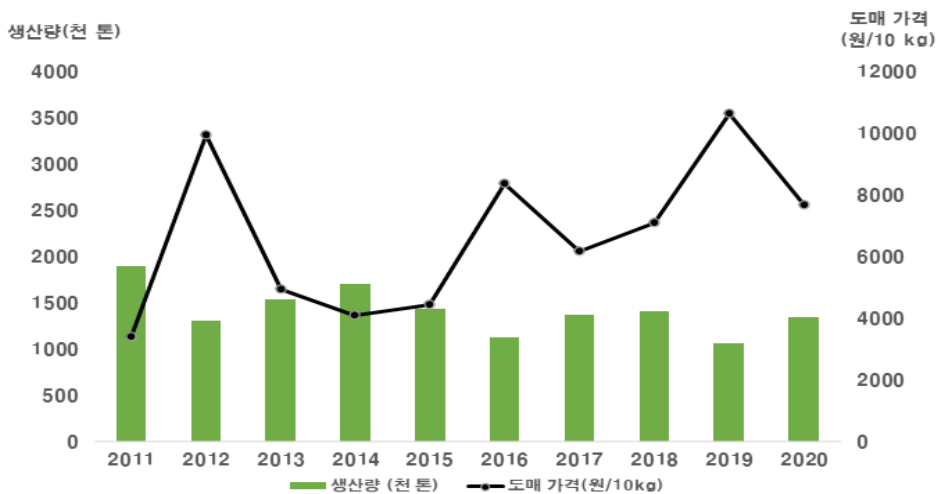
<그림 1>은 대표적인 김장배추인 가을배추의 최근 생산 추이를 보인다. 대체로 단수보다는 생산면적의 변동 폭이 큰 것으로 보이나, 2000년대에 비해 2010년대에 이르러 단수의 변동성이 높아진 것을 확인할 수 있다. 단수에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나가 기후임을 고려할 때, 최근 뚜렷해지는 이상 기후의 영향이 단수 및 생산량에 영향을 미치고 있는 것으로 보인다.

그림 1. 가을배추 생산 추이(2001~2020년)



자료: 통계청.

그림 2. 가을배추 가격 및 생산 추이(2011~2020년)



주: 도매가격은 가을배추 출하기인 10월 하순부터 이듬해 1월 초순까지의 전국 도매시장 가격을 평균한 것임.

자료: KOSIS 국가통계포털; KAMIS 농산물 유통정보.

<그림 2>는 가을배추의 최근 생산량 및 가격 동향을 나타낸 것이다. 가격 자료는 가을배추의 출하기 도매시장 가격을 기준으로 하였다. 가을배추는 다른 작형에 비해 생산량이 비교적 안정적임에

도 불구하고 가격 변동 폭은 매우 높은 것으로 드러난다. 이는 기본적으로 필수재인 농산물의 특성에 기인하며 특히 김장철에 출하되는 가을배추는 고정적인 수요가 존재하여 수요가 더욱 비탄력적이기 때문이다. 이와 같이 생산량이 조금만 변동해도 이에 상응하는 가격 변동 폭이 매우 크기 때문에 생산량을 보다 정밀하게 예측하여야 가격 폭등 또는 폭락에 대비할 수 있다.

## 2.2. 배추의 생육 특성

본 절에서는 배추의 생육 특성을 개괄한다. 농촌진흥청에 따르면 배추는 서늘한 기후를 선호하는 호냉성 작물로 최적 성장 적온은 18~20도이다. 그리고 동해는 일반적으로 -8도로 알려져 있으나 기온 변동 폭에 따라 -3~-4도에서도 발생하기도 한다. 재배의 경우 재배 방식에 따라 크게 노지 재배와 시설 재배, 재배 시기에 따라 봄배추, 고랭지(여름)배추, 가을배추, 시설(겨울)배추로 나눌 수 있다.

표 1. 가을배추 재배 방식 및 시기별 생산면적 및 생산량

재배유형별 항목	노지		시설		계		
	면적(천 ha)	생산량(톤)	면적(천 ha)	생산량(톤)	면적(천 ha)	생산량(톤)	
2017	계	30.02	2,286.00	2.40	109.68	32.42	2,395.69
	가을	13.67	1,362.62	-	-	-	-
2018	계	29.44	2,320.21	1.71	71.74	31.14	2,391.95
	가을	13.31	1,404.15	-	-	-	-
2019	계	24.20	1,788.23	1.63	71.48	25.84	1,859.71
	가을	10.97	1,059.93	-	-	-	-

자료: KOSIS 국가통계포털.

<표 1>은 가을배추의 재배 방식에 따른 생산면적과 생산량을 나타낸 표이다. 이를 살펴보면 최근 스마트팜 등 농작물의 전반적인 생산에 있어 시설 재배가 확대되는 추세이기는 하나 배추의 경우에는 현재까지는 노지 재배가 절대적 생산 규모를 보이고 있다. 이에 해당 농작물은 국내 생산에 있어 기후 변화에 의한 영향이 타 작물에 비해 상대적으로 크게 나타날 수 있다.

또한 배추는 기후 변화 요인 중 기온에 대한 영향이 큰 부분을 차지한다. 배추의 생애를 간략히 정리하면 육묘-정식-결구-수확으로 크게 구분할 수 있다. 육묘 단계에서는 정식 이후와는 다르게 대부분 온도를 인위적으로 조절할 수 있는 육묘장에서 보낸다. 이에 본격적으로 기후 변화에 노출되

는 시기는 정식 후이다. 이를 크게 나누면 정식 후부터 결구까지의 시기를 생육기, 결구 개시 후부터 수확 직전까지를 결구기라고 할 수 있다(김진희 외 2015). 배추는 생애의 주기별로 적정 기온과 한계 기온에서 차이를 보인다. 그리고 기온은 배추 호흡량에 영향을 미치고 이는 실질 광합성량에 영향을 주게 되며 기온의 변화는 배추 생육 주기에 따라 일부 상이한 영향을 발생시킬 수 있다.

표 2. 배추 생애 주기별 적정 기온과 한계 기온

재배 유형별	최소(Min) 한계 기온(℃)	임계(Low) 한계 기온(℃)	적정 기온(℃)	임계(High) 한계 기온(℃)	최대(Max) 한계 기온(℃)
생육기	0	2~5	20~22	25	30
결구기	0	5	15~18	23	30

- 주 1) 생육기: 정식 후부터 결구까지의 시기.
  - 2) 결구기: 결구 개시 후부터 수확 직전까지의 시기.
- 자료: 농촌진흥청 농업기술포털 농사로: 김진희 외(2015).

또한 재배 시기별 생육 불안정을 가져오는 재해와 병충해 종류에도 차이가 있다. 재해는 일반적으로 태풍, 폭우 등을 의미하여 병충해는 해당 농작물에 피해를 주는 생물학적 바이러스 및 벌레 등에 의해 나타나는 피해를 의미한다.

<표 3>을 살펴보면 가을배추는 봄이나 여름 등 타 작기에 비해 상대적으로 자연재해 및 병충해 피해가 적은 편이기는 하나 이상 기후 영향으로 폭우, 태풍, 우박 등에 대한 피해를 주의해야 한다. 또한 대표적인 병충해로는 무름병이 있다. 농촌진흥청에 따르면 잎의 밑동에 반점이 나타나고 진전 되면 담갈색 내지 회갈색의 주정형 병반으로 변해 썩기 시작하는 것으로 점차 잎의 위쪽으로 진행되어 심하면 전체가 물러 썩는 현상을 보이는 것으로 나타나 있다.

표 3. 가을배추 재해 및 병충해 종류

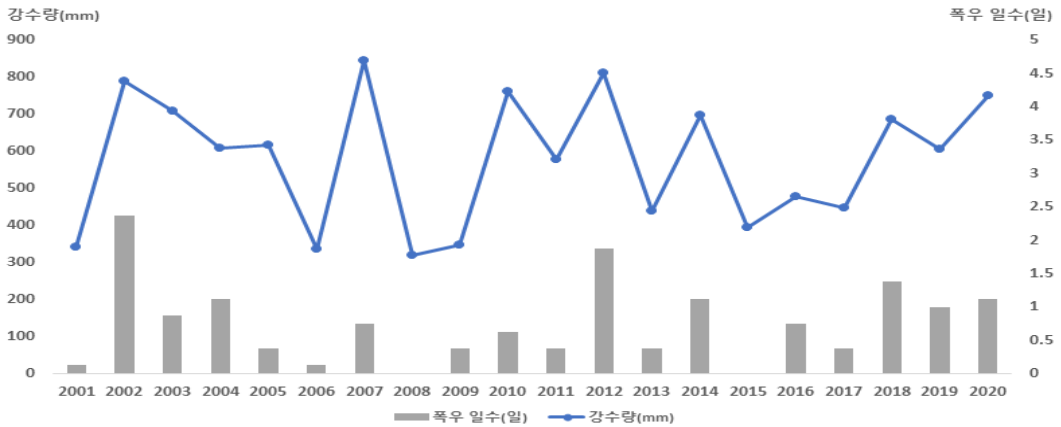
항목	가을
파종 및 생육기	8~11월
주요 재배 지역	전국
자연재해	폭우, 태풍, 우박
병충해	무름병

자료: 농촌진흥청 농업기술포털 농사로: 최병욱 외(2020).

### 2.3. 이상 기후와 배추 생육

본 절에서는 연구의 중심인 가을배추의 생육에 영향을 미칠 수 있는 이상 기후의 최근 발생 현황을 살펴본다. 폭우는 앞서 언급한 것과 같이 가을배추의 생육을 저해하는 요인이다. 이에 본고에서 사용하는 가을배추 단수 지역에 따른 강수량과 폭우 일수에 대한 것은 <그림 3>에 나타나 있다.

그림 3. 연도별 강수량 및 폭우 일수(8~11월)



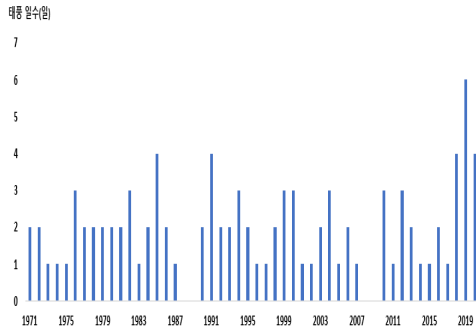
주: 폭우 일수는 폭우 주의보에 해당하는 일 강수량 80mm 이상 일수를 의미하며, 해당 통계는 전국 평균값임.  
 자료: 기상청 기상자료개방포털.

강수량 및 폭우는 2001년부터 현재까지 전체적으로 특정한 추세를 보이지는 않고 있다. 다만 매년 변동성이 크게 나타나기 때문에 농작물 생산에 영향을 미칠 수 있어 관찰이 요구된다.

이 외에도 일부 폭우를 동반하는 것으로 태풍이 있다. 태풍 횡수는 아래 <그림 4>에 나타나 있다. 이를 살펴보면 대부분 연도에서 가을배추의 생육기간 동안 1회 이상의 태풍이 관측되며, 최근으로 들어설수록 태풍의 평균적인 빈도가 잦아지고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 가을배추는 생육 초기인 8~9월의 폭염에 일부 영향을 받을 수 있다. <그림 5>는 국내 폭염 일수가 최근 증가하는 현상을 보인다. 이는 가을배추 기온과 관계되는 요인으로 적온을 넘어서게 되면 작물의 생장이 저해되는 것은 일반적으로 알려진 사실이다. 기온이 일정 수준 이상 상승할수록 생장이 가파르게 악화되며, 특히 호냉성 작물인 배추의 경우 폭염에 해당하는 기온에 이르면 잎이 녹아내리는 경우도 발생한다.

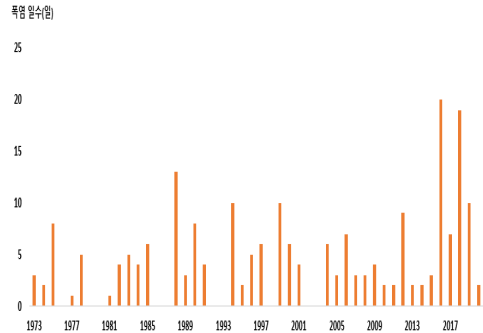


그림 4. 연도별 국내 태풍 일수(8~11월)



자료: 기상청 기상자료개방포털.

그림 5. 연도별 국내 폭염 일수(8~11월)



주: 폭염 일수는 평균 기온이 33도 이상인 일수를 뜻하며, 해당 통계는 전국 평균값임.

자료: 기상청 기상자료개방포털.

상기와 같이 폭우, 태풍 및 폭염과 같은 기후의 이상 현상은 작물의 단수와 기상 변수 간 비선형적 관계를 발생시키는 요인이 된다. 최근 이상 기후 현상이 점점 더 빈번하게 발생하는 만큼 이러한 비선형적 관계를 설명하도록 단수 예측모형에 반영하는 것이 필요하다.

### 3. 분석 모형

#### 3.1. 동태 패널 모형

본 연구의 기본 모형으로는 패널 자료에 기반한 동태 패널 모형을 사용한다. 동태 패널 모형은 패널 자료의 개별적 고유 특성과 함께 종속변수의 계열 상관을 반영함으로써 설명변수와 종속변수 간 동태적 연계성을 고려한 모형이다, 이는 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$(1) Y_{i,t} = \mu + \phi Y_{i,t-1} + X'_{i,t} \beta + w_{i,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$(2) w_{i,t} = u_i + v_t + \epsilon_{i,t}$$

본 연구의 단수 추정 모형에서  $Y$ 는 배추의 단수를 나타내고  $X$ 는 기상 변수와 생육 실측변수를 포함한 설명변수를 의미한다. 식 (1)에서 추정되는 계수 중  $\phi$ 는 종속변수의 자기 의존성을 나타내어 그 값이 1에 가까울수록 충격 및 설명변수의 영향이 오랫동안 지속되어 나타남을 의미한다. 그리고  $\beta$ 는 기상 변수를 포함한 설명변수가 단수에 미치는 영향을 나타낸다. 한편, 모형의 오차항  $w_{i,t}$ 는 식 (2)에서와 같이 패널 개체에 따라 변하는 고유의 특성을 나타내는  $u_i$ , 시간에 따라 변화하는 효과를 나타내는  $v_t$ , 그리고 순수한 확률과정을 나타내는  $\epsilon_{i,t}$ 로 구성된다. 패널 자료 이용 시 각 개체 사이 이질성의 제어 여부에 따라 추정량의 일치성에 영향을 줄 수 있다. 이에 본 연구는 패널 자료 분석에서 고정효과를 반영함으로써 지역 간 이질성을 모형에 반영하였다.

그러나 동태 패널 모형은 일반적인 패널 고정효과 모형과 같은 방식으로 추정하면 설명변수와 오차항 간의 내생성 문제가 해결되지 않아 편향된 추정이 이루어진다. 따라서 Arellano and Bond(1991)가 제시한 일반화적률법(Generalized Method of Moments: GMM)을 이용한 추정을 실시한다. 해당 추정 방법은 우선 고정효과  $u_i$ 를 제거하기 위해 식 (1)을 차분된 형태로 변환한다. 그리고 차분된 전기의 종속변수와 오차항 간의 내생성이 존재하므로 이를 처리하기 위해 적절한 도구변수  $Z_{i,t}$ 를 도입해야 한다.

$$(3) E(Z_{i,t} \Delta \epsilon_{i,t}) = 0$$

도구변수는 식 (3)과 같은 외생성 조건을 만족해야 하는데 본 연구에서는 도구변수로서 종속변수의 (t-2)기 및 그 이전 값, 그리고 다른 설명변수 및 해당 변수의 시차변수를 사용하였다. 단, 도구변수를 구성하는 시차가 길어질 경우 추정 기간이 짧아져 추정의 효율성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 Hansen의 J-검정에 따라 도구변수의 적합성을 판단하여 적절한 차수의 도구변수를 선정하였다.<sup>1</sup>

### 3.2. 혼합주기 모형(Mixed Data Sampling: MIDAS)

혼합주기 모형(MIDAS)은 종속변수의 관측 빈도가 설명변수에 비해 낮아 고빈도 설명변수에 포함된 정보를 충분히 활용하지 못한다는 한계를 극복하기 위해 고안된 모형이다. Ghysels et

<sup>1</sup> 본 연구에서는 동태 패널 모형 추정 시 종속변수인 단수의 t-2기 값과 모든 설명변수의 당기(t기) 값, 그리고 설명변수 중 기온의 전기(t-1기) 값을 포함했을 때 J-검정 결과 도구변수가 적합한 것으로 나타났다.

al.(2006)의 연구에서 분기별 경제성장률의 단기예측에 월별 자료를 사용하여 예측 정확도를 개선할 수 있음을 보였으며, 이후 거시경제 및 금융 분야의 예측 정확도 향상 및 조기 예측에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 종속변수인 배추의 단수 통계가 연 단위로 공표되는 데 반해 기상 자료는 일별로 관측 가능한 변수라는 점에서 혼합주기 모형의 도입을 통한 예측 정확도 향상 가능성을 검토하였다. 혼합주기 모형의 기본적인 형태는 식 (5)와 같다.

$$(5) Y_t = \alpha + B(X_t^{(m)})\beta + Z_t' \gamma + \epsilon_t$$

그리고 앞선 동태 패널 분석에 혼합주기 모형을 결합하면 아래 (6)과 같은 식을 도출할 수 있다.

$$(6) Y_{i,t} = \alpha + \phi Y_{i,t-1} + B(X_{i,t}^{(m)})\beta + Z_{i,t}' \gamma + u_i + v_t + \epsilon_{i,t}$$

$Y_{i,t}$ 는 저빈도 종속변수,  $X_{i,t}^{(m)}$ 는 고빈도 설명변수,  $Z_{i,t}$ 는 종속변수와 빈도가 일치하는 저빈도 설명변수이다. 고빈도 설명변수의 상첨자  $m$ 은 종속변수와의 빈도 비율을 의미한다. 예를 들어  $Y_t$ 가 배추의 연도별 단수,  $X_t^{(m)}$ 이 일별 기온이라면, 연간 일별 기온을 모두 사용한다면  $m$ 은 365가 된다. 본 연구에서는 배추의 생육 기간을 8월에서 11월까지로 설정하였으므로  $m$ 은 8월 1일부터 11월 30일까지의 일수인 122가 된다. 함수  $B$ 는 고빈도 변수에 적용되는 가중치 함수를 의미하며 함수 설정에 따라 추정하는 모수의 개수 및 추정 결과가 달라질 수 있다. 대표적인 가중치 함수로는 Almon 함수가 있으며 식 (7)과 같다.

$$(7) \text{Almon}(k) : B(L^{\frac{1}{m}}; \theta) X_{i,t}^{(m)} = \sum_{j=0}^{m-1} w_j X_{i,t}^{\left(\frac{j}{m}\right)}$$

$$= \sum_{j=0}^{m-1} (\theta_0 + j \theta_1 + j^2 \theta_2 + \dots + j^k \theta_k) X_{i,t}^{\left(\frac{j}{m}\right)}$$

$$= \theta_0 \sum_{j=0}^{m-1} X_{i,t}^{\left(\frac{j}{m}\right)} + \theta_1 \sum_{j=0}^{m-1} j X_{i,t}^{\left(\frac{j}{m}\right)} + \dots + \theta_k \sum_{j=0}^{m-1} j^k X_{i,t}^{\left(\frac{j}{m}\right)}$$

본래는 종속변수의 한 시점에 대응하는 고빈도 설명변수의 각 시차에 대하여 모수를 추정해야 하므로 하나의 고빈도 설명변수에 대하여  $m$ 개의 모수를 추정해야 한다. 그러나 혼합주기 모형에서는 가중치 함수의 형태를 가정함으로써 추정해야 하는 모수의 수를 축소할 수 있다. 예를 들어 Almon 함수의 차수  $k$ 를 3으로 설정하면 고빈도 시차에 따른 가중치는 삼차함수 형태를 가지게 되고 이를 위해 4개의 모수( $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ )를 추정하게 된다.

본 연구에서는 혼합주기 모형에 적용되는 다양한 함수 형태와 차수 선택에 대하여 적합성을 비교 검증하여 차수가 3인 Almon 함수를 적용하였다. Almon 함수 이외의 Step 함수 등 다른 함수를 사용하여 결과를 비교하였으며 다른 차수에 대하여도 검증하였다. 이 결과는 <표 8>에 정리하였다. 가을배추의 생육 단계가 육묘기-생육기-결구기-수확기의 네 단계로 구분되고 생육 단계에 따라 기 후 변수가 단수에 미치는 영향이 다를 수 있다. 따라서 Almon 함수는 형태상 이러한 특성을 설명하는 데 적합한 것으로 사후 검증을 통하여 나타났다.

## 4. 분석 자료 및 주요 결과

### 4.1. 분석 자료

본 연구에서 사용하는 가을배추 자료는 2001년부터 2020년까지의 기간과 8개 도(강원, 경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남)를 포함하며, 이를 패널 자료로 구축하여 분석에 사용하였다. 주요 변수에 대한 기초통계량은 <표 4> 및 <표 5>와 같다.

표 4. 가을배추 단수 및 기상 변수 기초 통계

구분	단수 (kg/10a)	기온(℃)	일조시간(시간)	폭우 일수(일)
평균	9900.32	16.86	702.89	0.08
중앙값	9903.50	16.89	696.90	0.00
최댓값	12986.00	18.97	1089.06	1.00
최솟값	6873.00	13.27	512.82	0.00
표준편차	1274.48	1.09	74.99	0.27
왜도	-0.15	-0.22	0.86	3.06
첨도	2.66	2.96	6.80	10.40
표본 수	160	160	160	160

주: 기후 변수는 연도 및 지역별 생육 기간(8~11월) 중 일평균값(일조시간 및 폭우 일수는 누적값)을 나타냄.

자료: KOSIS 국가통계포털; 기상청 기상자료개방포털.

단수는 단위 면적(10a)당 생산량을 나타낸 것으로, KOSIS 국가통계포털에서 내려받은 농산물 생산조사 자료를 이용하였다. 기후 변수는 기상청 기상자료개방포털에서 제공하는 중관기상관측 (ASOS) 자료를 활용하였다. 기본적으로 생육 기간의 평균 또는 누적값을 구하여 설명변수로 사용 하였으나 기온의 경우 혼합주기 모형 활용 시 일별 자료를 사용하였다. <표 4>에서 기온은 관측지 점의 일평균 기온을 나타내며 일조시간은 태양이 구름이나 안개로 가려지지 않고 실제로 비친 시간 을 뜻한다. 이상 기후 현상을 반영하기 위한 폭우 일수는 생육 기간 동안 일 강수량이 150mm 이상 인 일수를 의미한다. 일 강수량 150mm는 기상청 호우 특보 기준을 적용한 것이다.

표 5. 가을배추 생육 실측 자료 기초 통계

실측 변수	평당 주수 (주/평)	초장(cm)			엽수(매)			평당 주수 _과대 (더미)	초장 및 엽수_과소 (더미)
		1차	2차	3차	1차	2차	3차		
평균	13.11	9.00	16.10	29.04	5.65	10.03	20.26	0.03	0.01
중앙값	12.90	8.50	15.00	29.15	5.00	8.80	18.90	0.00	0.00
최댓값	29.90	19.60	34.00	43.90	12.10	25.00	47.70	1.00	1.00
최솟값	9.00	1.40	7.60	15.90	0.90	4.70	10.20	0.00	0.00
표준편차	2.16	3.62	5.19	4.90	2.53	4.40	6.86	0.17	0.08
왜도	4.07	0.31	1.02	-0.09	0.68	1.51	1.76	5.39	12.53
첨도	32.22	3.08	3.74	3.54	2.98	5.22	7.29	30.03	158.01
표본 수	119	69	112	108	69	112	108	160	160

주 1) ‘평당 주수\_과대’는 실측변수 중 평당 주수 값이 평균보다 1시그마 이상 높은 경우 1의 값을 부여한 변수임.

2) ‘초장 및 엽수\_과소’는 초장 또는 엽수 값이 1~3차 실측에서 모두 평균보다 1시그마 이상 낮은 경우 1의 값을 부여한 변수임.

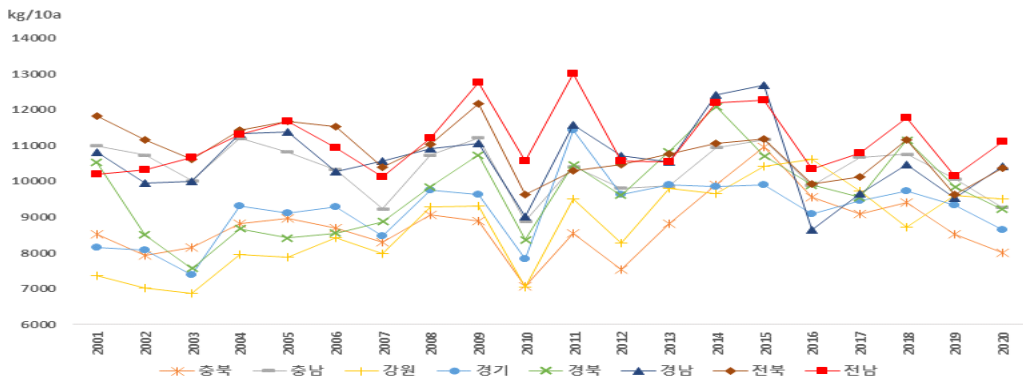
자료: 농촌진흥청.

<표 5>는 가을배추의 생육 실측변수에 관한 기초통계량을 나타낸 표이다. 생육 실측변수는 표본 농가에 대한 농촌진흥청의 시도별 배추 생육 정보를 사용하였다. 평당 주수는 단위 면적(평)당 정식 한 배추 주수를 의미하며, 초장은 각 개체의 평균적인 잎의 길이, 엽수는 잎의 개수를 나타낸다. 일반적으로 생육 기간 동안 총 3회의 실측을 진행하여 각 차수의 초장 및 엽수 값이 존재한다. 실측 가이드라인에 따르면 1차 측정은 정식 후 약 20일, 2차 측정은 정식 후 약 40일, 그리고 3차 측정은 수확 약 5일 전에 이루어진다. 실제 분석에서는 단위 면적당 정식한 개체 수가 과다한 경우 생육이 저해될 수 있는 점과 생육 과정에서 측정된 초장 및 엽수가 지나치게 짧거나 적을 경우 생육 부진의 징

후로 판단하여 각 변수가 평균값보다 일정 수준(1시그마) 이상 낮은 경우를 기준으로 하는 더미변수를 생성하여 단수 예측모형에 포함하였다.

아래 <그림 6>은 가을배추의 지역별 단수 추이를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 배추 단수에 있어 지역별 차이가 두드러지면서도 해마다 증가 또는 감소하는 방향이 대부분 일치한다. 지역별로는 주로 남부지방의 단수가 중부지방의 단수보다 높게 나타난다. 시간상으로는 2009년, 2011년, 2015년에는 풍작으로, 그리고 2003년, 2010년, 2012년에는 흉작으로 전국적으로 단수가 감소한 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 주어진 패널 자료로 모형 분석 시 지역 및 연도별 이질성을 고정 효과 추정과 같은 방식으로 통제해야 할 필요성이 드러난다.

그림 6. 가을배추 지역별 단수 추이



자료: KOSIS 국가통계포털.

## 4.2. 기본 모형 분석 결과

배추 단수 예측에 활용할 주요 모형의 추정 결과는 <표 6>, <표 7> 및 <표 8>에 나타나 있다. 추정 시 종속변수인 단수는 모두 로그를 취하여 모형에 반영하였다. 먼저 <표 6>은 기온 및 일조시간과 같은 기본적인 기상 변수와 이상 기후를 나타내는 폭우 일수를 포함하여 배추의 단수를 추정한 결과이다. 결과를 살펴보면 기본 모형에서 기온 및 전기 단수가 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났으며 일조시간 및 폭우 일수는 10% 수준에서 유의한 것으로 드러났다. 기온의 제공량이 음의 값으로 유의한 것으로 추정된 것은 최적 기온을 기준으로 그보다 높거나 낮을 경우 단수에 악영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 기본 모형으로 사용한 동태 패널 모형의 적합성을 판단하기 위해 다른 모형과의 비교를 실시하였다. Akaike Information Criterion(AIC) 및 Schwarz Criterion(SC) 값을 기준으로, 지역별 이질성을 고려하지 않은 Pooled OLS에 비해 패널 고정효과를 통해 이를 반영한 고정효과 추정의 적합도가 높으며, 동태적 영향력을 고려하지 않은 기본적인 고정효과 추정에 비해 동태 패널 분석을 적용한 모형의 적합도가 더 뛰어난 것으로 나타났다. 결정계수와 조정결정계수에서도 동태 패널 모형의 설명력이 가장 높은 것으로 드러났다. 한편, 동태 패널 모형에 설명변수로 포함된 종속변수의 시차에 대한 검정에서 시차 1은 유의하였으나 이후 2 이상의 시차는 유의하지 않았다. AIC 값을 비교한 결과에서도 시차가 1일 때의 모형 적합성이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 동태 패널 모형의 추정에 사용되는 도구 변수의 적합성을 J 통계량으로 검정한 결과 GMM 추정을 위한 도구 변수 선정이 적절한 것으로 나타났다. 따라서 동태 패널 모형을 기본 모형으로 설정한 후 추가적인 분석을 진행하였다.

표 6. 기상변수를 활용한 단수 모형 추정 결과

변수	기본 모형		패널 모형			
	동태 패널		고정 효과		Pooled OLS	
	계수	표준오차	계수	표준오차	계수	표준오차
상수항	-5.4361**	2.4524	4.9829***	1.4076	5.8966***	1.5458
기온	1.1694***	0.2377	0.4608***	0.1655	0.2943	0.1853
기온 <sup>2</sup>	-0.0345***	0.0070	-0.0138***	0.0050	-0.0068	0.0055
일조시간	0.0004*	0.0002	0.0005***	0.0002	0.0004***	0.0001
폭우 일수	-0.0388*	0.0210	-0.0405*	0.0239	-0.0186	0.0332
단수(-1)	0.4854***	0.1251				
Adj. R <sup>2</sup>		0.831		0.746		0.401
SSR		0.315		0.576		1.629
AIC		-2.870		-2.402		-1.687
SC		-2.251		-1.806		-1.591
D-W		2.032		1.098		1.667
J-Stat (p-value)		1.103 (0.294)				

주 1) \*, \*\*, \*\*\* 는 추정된 계수가 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의하다는 것을 의미함.

2) 폭우 일수는 생육기간 동안 기상청 호우경보 기준인 일 강수량 150mm 이상인 일수를 의미함.

### 4.3. 혼합주기 모형 분석 결과

<표 7>은 기온에 대해서 혼합주기 모형을 적용한 결과를 기본 모형인 동태 패널 모형과 비교한 것이다. 분석 결과, 앞선 모형에 비해 각 설명변수의 유의성이나 모형의 설명력은 소폭 차이를 보였다. 그리고 AIC 및 SC 값을 통한 모형의 적합도 판단에서는 기본 모형이 다소 우수한 것으로 나타났다. 그러나 고빈도 기온변수를 포함한 혼합주기 모형의 추정치는 이후 실시한 예측력 비교에서 기본 모형에 비해 우수한 결과를 보였다. 또한 단수에 대한 기온의 혼합주기 모형에서 추정되는 기온의 일별 가중치는 기온이 단수에 미치는 영향이 생육 시기별로 어떻게 다르게 나타나는지를 보여준다.

표 7. 혼합주기 모형 반영 시 추정 결과 비교

변수	기본 모형(동태 패널)		MIDAS(기온) 모형	
	계수	표준오차	계수	표준오차
상수항	-5.4361**	2.4524	-1.1368	1.5914
기온	1.1694***	0.2377	0.6008***	0.1405
기온 <sup>2</sup>	-0.0345***	0.0070		
일조시간	0.0004*	0.0002	0.0006***	0.0002
폭우 일수	-0.0388*	0.0210	-0.0615***	0.0214
단수(-1)	0.4854***	0.1251	0.4771***	0.1258
$\theta_0$			11.5247	14.1709
$\theta_1$			-4.1898***	1.3372
$\theta_2$			0.1448***	0.0341
$\theta_3$			-0.0009***	0.0002
Adj. $R^2$		0.831		0.825
SSR		0.315		0.330
AIC		-2.870		-2.726
SC		-2.251		-1.963
D-W		2.032		2.252
J-Stat (p-value)		1.103 (0.294)		0.392 (0.531)

주 1) \*, \*\*, \*\*\* 는 추정된 계수가 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의하다는 것을 의미함.

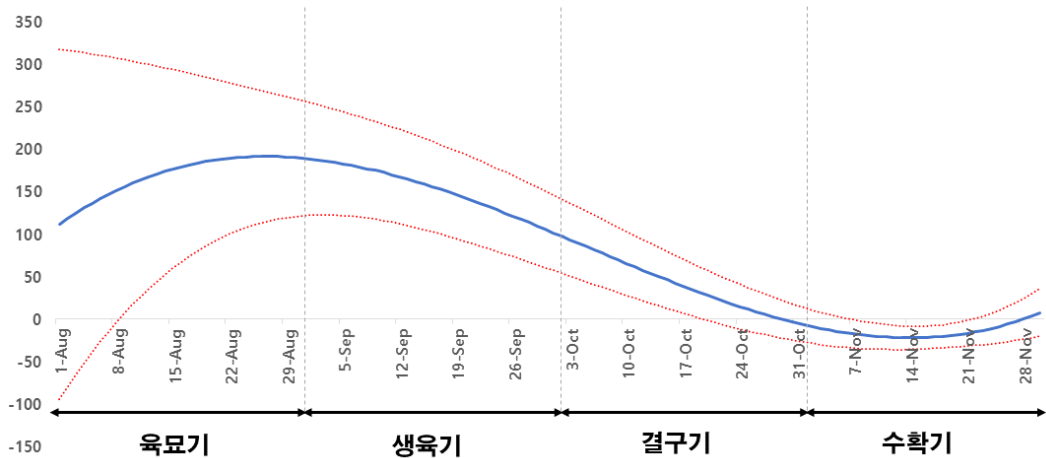
2) MIDAS(기온) 모형에서의 기온 변수는 연도별 단수를 일별 기온으로 MIDAS 추정하여 적합한 값 (fitted value)을 의미함.

3)  $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3$  는 연도별 단수를 일별 기온으로 MIDAS 추정된 가중함수의 상수항부터 삼차항까지 각 차수의 계수를 의미함.



<그림 7>은 일일 기온을 고빈도 설명변수로 사용하여 단수를 추정한 결과 도출된 MIDAS 계수를 나타낸다. 고빈도 자료에 기초한 기상 변수가 생육 단계에 따라 단수에 미치는 영향이 상이하게 반영됨을 확인할 수 있다. 혼합주기 모형은 기존 저빈도 변수만을 사용한 모형에 비해 생육 단계에 따라 고빈도 기상 변수의 영향을 반영할 수 있다. 배추의 생애 주기 측면에서 살펴보면 생육 후반의 결구기보다는 전반기인 육묘기와 생육기에 MIDAS 계수가 높게 추정되므로 결국 육묘기와 생육기에 기온이 단수에 미치는 영향이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

그림 7. 일일 기온에 대한 MIDAS 계수



주: 파란색 실선은 추정된 일별 계수. 빨간색 점선은 95% 신뢰구간의 상한 및 하한을 의미함.

MIDAS 함수로 사용하는 Almon(k=3) 함수가 적합한 가중함수인지를 확인하기 위해 차수 및 가중함수를 달리하여 모형 적합도를 비교하였다. 비교 대상 함수인 Step 함수는 전체 고빈도 시차를 q개의 구간으로 나누어 구간별 계수를 추정하는 방식이다. 모형 적합성을 판단하는 기준으로 AIC 및 SC를 활용하였다.

모형 적합도 비교 결과, <표 8>과 같이 일별 기온의 영향을 다항함수로 추정한 Almon 함수가 구간별 계수를 추정한 Step 함수에 비해 상대적으로 적합성을 나타냈다. 또한 배추의 생육 단계에 기반하여 추정에 사용한 Almon(k=3) 함수를 활용했을 때 다른 차수에 비하여 AIC 기준으로 모형 적합도가 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 가을배추의 생육 단계에 따라 기후 변수가 단수에 미치는 영향을 설명하는 데 Almon 함수가 적합한 것으로 검증 결과를 얻었다.

표 8. MIDAS 모형 적합도 비교

변수	Almon					Step			
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	q=2	q=3	q=4	q=5
AIC	-2.640	-2.721	-2.726	-2.644	-2.623	-2.665	-2.644	-2.659	-2.633
SC	-1.959	-1.999	-1.963	-1.840	-1.777	-1.985	-1.922	-1.896	-1.829

주: k는 Almon 함수의 최대 차수, q는 Step 함수의 구간 수를 의미함.

#### 4.4. 실측 자료 활용 분석 결과

표 9. 생육 실측변수를 포함한 단수 모형 추정 결과

변수	기본 모형		생육 실측변수 포함 모형			
	동태 패널		동태 패널		MIDAS	
	계수	표준오차	계수	표준오차	계수	표준오차
상수항	-5.4361**	2.4524	-5.8742**	2.4781	-1.0021	1.5903
기온	1.1694***	0.2377	1.2014***	0.2343	0.5971***	0.1385
기온 <sup>2</sup>	-0.0345***	0.0070	-0.0354***	0.0069		
일조시간	0.0004*	0.0002	0.0004*	0.0002	0.0006***	0.0002
폭우 일수	-0.0388*	0.0210	-0.0403*	0.0206	-0.0633***	0.0211
단수(-1)	0.4854***	0.1251	0.5041***	0.1293	0.4651***	0.1291
평당 주수_과대			-0.0550*	0.0293	-0.0418	0.0298
초장 및 엽수_과소			-0.1050*	0.0574	-0.1058*	0.0587
Adj. R <sup>2</sup>		0.831		0.838		0.830
SSR		0.315		0.297		0.314
AIC		-2.870		-2.903		-2.747
SC		-2.251		-2.243		-1.943
D-W		2.032		2.051		2.205
J-Stat (p-value)		1.103 (0.294)		1.242 (0.265)		0.100 (0.752)

주 1) \*, \*\*, \*\*\* 는 추정된 계수가 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의함을 의미함.

2) '평당 주수\_과대'는 실측변수 중 평당 주수 값이 평균보다 1시그마 이상 높은 경우 1의 값을 부여한 변수임.

3) '초장 및 엽수\_과소'는 초장 또는 엽수 값이 1~3차 실측에서 모두 평균보다 1시그마 이상 낮은 경우 1의 값을 부여한 변수임.

<표 9>는 농촌진흥청에서 제공한 가을배추의 생육 실측 자료를 포함한 추정 결과를 기본 모형과 비교한 것이다. 추가로 생육 실측변수의 포함과 기온에 대한 혼합주기 모형을 동시에 적용한 결과도 비교 대상에 포함하였다. 각각의 생육 실측변수를 그대로 모형에 사용할 경우 불규칙적으로 결

측값이 존재하여 제대로 된 추정이 어렵기 때문에 실측변수의 값이 평균으로부터 지나치게 벗어난 경우를 기준으로 설정한 더미변수를 생성 및 포함하여 추정하였다. 추정 결과, 과밀한 평당 주수 또는 초장 및 엽수의 생육 부진을 보이는 경우 배추 단수가 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 생육 실측변수를 모형에 포함했을 때 AIC 기준으로 모형의 적합도가 다소 개선되었다.

#### 4.5. 예측력 평가

본 절에서는 혼합주기 모형의 예측력을 평가하기 위하여 기본 모형을 기준으로 각 모형이 예측에 활용되었을 때 실제 단수에 대한 예측 정확성을 비교 평가한다. 모형 추정 시에는 종속변수로 단수의 로그 값을 사용하였으나 예측 정확도 지표는 실제 단수와의 비교를 위해 원자료 값 기준으로 측정하였다.

표본 내(In-Sample) 예측의 경우 전체 기간(2001~2020년)을 대상으로 모형을 추정한 뒤 단수의 예측값과 실측값을 비교하여 예측 정확도를 측정하는 RMSE, MAE, MAPE를 도출하였다. RMSE(Root Mean Squared Error) 및 MAE(Mean Absolute Error)의 단위는 단수와 동일한 kg/10a이며 MAPE(Mean Average Percentage Error)의 단위는 %이다. 표본 외(Out-of-Sample) 예측의 경우 2001년부터 2019년까지의 자료로 모형을 추정한 뒤 2020년 지역별 단수에 대한 예측을 실시하고 실측값과 비교하여 예측 정확도를 산출하였다.

<표 10> 및 <표 11>은 앞서 추정한 모형을 토대로 각각 표본 내(In-Sample) 및 표본 외(Out-of-Sample) 예측력을 비교한 표이다. 분석 결과, 표본 내(In-Sample) 예측에서는 비교 대상인 모형과 비교하여 모두 기본 모형보다 향상된 예측력을 보였다. 기온에 대해 혼합주기를 적용한 모형의 경우 기본 모형에 비해 예측오차를 약 12~14%, 생육 실측변수를 추가한 모형의 경우 약 1~4%, 그리고 두 가지 모두를 적용한 모형의 경우 약 15~17%의 예측오차 감소를 보였다. 한편, 표본 외(Out-of-Sample) 예측에서는 기온에 대해 혼합주기를 적용한 경우의 예측력 향상이 더욱 두드러져 MAE 또는 MAPE를 기준으로 할 때 기본 모형에 비해 예측오차를 약 27% 감소시키는 것으로 나타났다.

생육 실측변수를 포함한 모형의 경우 MAE 및 MAPE 기준으로 기본 모형에 비해 약 8%의 예측력 향상이 나타났다. 마지막으로 기온에 대한 혼합주기 및 실측변수 포함을 모두 적용한 모형의 경

우 혼합주기만을 적용한 모형과 유사한 예측력을 보였다. RMSE 기준으로는 기온에 대한 혼합주기를 적용한 모형이, MAE 및 MAPE 기준으로는 기온에 대한 혼합주기와 생육 실측변수를 모두 적용한 모형이 다소 우수한 것으로 나타났다. 생육 실측변수가 단수 예측력에 미치는 영향이 혼합주기 모형 적용에 비해 두드러지지 않은 것은 결측값이 존재하는 자료를 활용하기 위해 원자료 대신 생육 부진을 나타내는 더미변수를 만들어 사용한 점에 기인한 것으로 보인다. 생육 실측을 위한 주기와 빈도를 개선하면서 세분화된 지역 구분과 자료의 질적 정밀도가 높은 생육 실측 자료를 활용한다면 혼합주기 모형을 이용한 배추 단수 예측력을 더욱 향상할 수 있을 것이다.

표 10. 모형 예측력 평가(표본 내, In-Sample)

구분	기본 모형	MIDAS(기온) 모형	기본 모형 (실측변수 포함)	MIDAS(기온) 모형 (실측변수 포함)
RMSE	550.28 (100.00%)	475.22 (86.36%)	544.87 (99.02%)	466.23 (84.73%)
MAE	419.82 (100.00%)	371.32 (88.45%)	404.44 (96.34%)	356.29 (84.87%)
MAPE	4.32 (100.00%)	3.79 (87.41%)	4.15 (95.87%)	3.60 (83.33%)

주: 괄호 안의 숫자는 기본 모형에서의 값을 100%로 두었을 때 상대적인 비율을 나타낸 것.

표 11. 모형 예측력 평가(표본 외, Out-of-Sample)

구분	기본 모형	MIDAS(기온) 모형	기본 모형 (실측변수 포함)	MIDAS(기온) 모형 (실측변수 포함)
RMSE	631.42 (100.00%)	535.49 (84.82%)	619.58 (98.14%)	547.44 (86.71%)
MAE	573.18 (100.00%)	422.51 (73.71%)	532.84 (92.96%)	414.84 (72.37%)
MAPE	6.10 (100.00%)	4.49 (73.60%)	5.57 (91.38%)	4.38 (71.82%)

주: 괄호 안의 숫자는 기본 모형에서의 값을 100%로 두었을 때 상대적인 비율을 나타낸 것.

## 5. 결론 및 시사점

본 연구는 농작물 수급 불안정 해소를 위한 연구의 일환으로 가을배추의 단수 예측모형 고도화를 위해 고빈도 기상 변수를 활용한 혼합주기 모형(MIDAS)의 적용 및 이상 기후, 생육 실측 자료를 활용하여 분석을 실시하였다. 이에 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 비선형적 기후효과는 각 생육시기 및 결과(단수)에 영향을 미친다. 먼저 기온의 제공함을 모형에 포함하여 분석한 결과, 기온이 단수에 미치는 영향은 역 U자 형태를 보였다. 그리고 고빈도 기상 변수에 대하여 일일 가중치를 적용하는 혼합주기 모형을 활용하여 단수에 미치는 기상 변수의 영향을 확인한 결과, 기후효과는 생육 단계에 따라 다르게 나타남을 확인하였다.

둘째, 혼합주기 모형의 적용을 통해 단수에 대한 예측 정확도를 개선하였다. 특히 기온에 대한 고빈도 자료를 포함하는 혼합주기 모형을 활용할 경우, 단수에 대한 표본 내(In-Sample) 예측력이 약 12~14%, 표본 외(Out-of-Sample) 예측력은 약 15~27% 개선되었다.

셋째, 생육 실측 자료를 활용하여 생육기간 동안 이상 관측치가 나타날 경우 통계적으로 유의한 단수 감소가 나타났다. 생육 실측 자료를 모형에 포함할 경우 표본 내 예측력을 약 1~4%, 표본 외 예측력을 약 2~8% 개선하는 결과를 보였다. 생육 실측 자료의 지속적인 축적 및 표준화 작업 등이 충분히 축적되면 예측 결과는 더욱 개선될 것으로 기대된다.

이상으로 방법 측면에서는 기후 변수의 생육 단계별 비선형적 영향을 반영하는 혼합주기 모형(MIDAS)의 적용을, 자료 측면에서는 기후 요인 및 생육 실측 자료의 활용을 통해 배추 단수 모형의 예측력 향상 방향성을 확인하였다. 특히, 포함할 수 있는 자료의 크기 및 정확도의 한계에도 불구하고 앞서 언급한 분석 모형의 고도화 방향을 통해 예측력이 개선됨을 확인하였다.

향후 연구에서는 본 연구에서 이루어진 고도화된 단수 예측모형 등을 기반으로 재배면적 및 수요 부문도 고려하여 배추의 수급 및 가격에 대한 정밀한 예측이 추가로 이루어져야 할 것이다. 또한 생육 실측 자료가 충분한 기간이 축적되면서 질적 수준이 확보되면 딥러닝 알고리즘과 같이 대규모의 자료를 다루기 위한 예측모형 등의 적용도 가능할 것이다. 이러한 점에서 추후 연구가 지속되어야 하겠다.

## 참고 문헌

- 권오상, 김창길. 2008. “기후변화가 쌀 단수변화에 미치는 영향: 비모수적 및 준모수적 분석.” 『농업경제연구』 제49권 제4호. pp. 45-64.
- 김준철, 권숙희, 하일도, 나명환. 2021. “스마트팜 토마토 빅데이터를 활용한 생존분석.” 『한국데이터정보과학회지』 제32권 제2호. pp. 361-374.
- 김진희, 윤진일. 2015. “온도시간 기반의 배추 생육단계 추정.” 『한국농림기상학회지』 제17권 제4호. pp. 333-339.
- 김철현. 2014. 『혼합주기 자료를 이용한 전력수요 예측 모형 구축』. 에너지경제연구원.
- 노재선, 권오상, 조승현. 2012. “기후변수와 쌀 단수간의 인과성 및 이상기후가 쌀 단수에 미치는 영향 분석.” 『농업경제연구』 제53권 제1호. pp. 21-39.
- 박지연, 박영구. 2013. 『배추·무 예측모형 고도화 방안』. 한국농촌경제연구원.
- 심교문, 정명표, 김용석, 최인태, 김호정, 강기경. 2016. “엘니노 발생연도의 우리나라의 이상기상 특성과 쌀 수량과의 관계.” 『한국농림기상학회지』 제18권 제3호. pp. 143-150. <http://doi.org/10.5532/KJAFM.2016.18.3.143>
- 송은영, 문경환, 위승환, 김찬환, 임찬규, 오순자, 손인창. 2017. “생육기 온도상승이 극조생 양파의 생육 및 구비에 미치는 영향.” 『한국농림기상학회지』 제19권 제4호. pp. 223-231.
- 이승윤, 이은경, 한진현. 2017. “기계학습과 혼합주기 모형을 활용한 단기전망시스템.” 『한국은행 조사통계연보』 제71권 제5호. pp. 16-41.
- 이용선, 정학균, 김원태, 최익창. 2004. 『과채류의 작형별 단수함수 추정』. 한국농촌경제연구원.
- 이용선, 정학균, 심승보. 2005. 『기상요인이 청과물 수급에 미치는 영향』. 한국농촌경제연구원.
- 최병욱, 최선우, 임효빈. 2020. “기상환경 변화가 배추·무 단수와 가격 변동성에 미치는 영향 분석.” 『농촌경제』 제43권 제1호. pp. 21-47. <http://doi.org/10.36464/jrd.2020.43.1.002>
- 최성천, 백장선. 2016a. “기상자료를 이용한 마늘 생산량 추정.” 『한국데이터정보과학회지』 제27권 제4호. pp. 969-977. <http://doi.org/10.7465/jkdi.2016.27.4.969>
- 최성천, 백장선. 2016b. “공간 패널 회귀모형을 이용한 양파 생산량 추정.” 『응용통계연구』 제29권 제5호. pp. 873-885.
- 최성천, 김준기, 서홍석. 2021. “마늘의 생육자료와 기상자료 기반으로 다층모형을 이용한 수확기 구중 추정.” 『원에 과학기술지』 제39권 제4호. pp. 521-529. <http://doi.org/10.7235/HORT.20210047>
- 한석호. 2016. “쌀 단수 예측모형 개발연구.” 『농업생명과학연구』 제50권 제3호. pp. 219-229. <http://doi.org/10.14397/jals.2016.50.3.219>
- 한석호, 김병률. 2004. “시장개방하의 배추 수급 모형과 전망.” 『농촌경제』 제27권 제3호. pp. 35-53.
- 한석호, 이병훈, 박미성, 승준호, 양현석, 신성철. 2011. 『기상요인을 고려한 단수예측모형 개발 연구』. 한국농촌경제연구원.
- 허신행, 황연수. 1984. “가격형성의 시차성을 이용한 김장채소생산의 예측가능성.” 『농촌경제』 제7권 제4호. pp. 11-25.
- Arellano, M. and S. Bond. 1991. “Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations.” *Review of Economic Studies* vol. 58, no. 2, pp. 277-297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- Ghysels, E., P. Santa-Clara, and R. Valkanov. 2004. “The MIDAS touch: Mixed Data Sampling Regression Models.”

Mimeo. University of North Carolina, Chapel Hill.

Ghysels, E., P. Santa-Clara, and R. Valkanov. 2006. "Predicting Volatility: Getting the Most out of Return Data Sampled at Different Frequencies." *Journal of Econometrics* vol. 131, pp. 59-95. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.01.004>

KAMIS 농산물 유통정보. <<https://www.kamis.or.kr>>. 검색일: 2021. 9. 11.

KOSIS 국가통계포털. <<http://kosis.kr>>. 검색일: 2021. 9. 11.

기상청 기상자료개방포털. <<http://www.kma.go.kr>>. 검색일: 2021. 9. 11.

농촌진흥청 농업기술포털 농사로. <<http://www.nongsaro.go.kr>>. 검색일: 2021. 6. 19.

원고 접수일: 2021년 10월 18일
원고 심사일: 2021년 11월 3일
심사 완료일: 2021년 12월 21일