



최우수상

고랭지 배추 단수예측 추정

이병훈 · 김경덕 · 김명배 · 강형준 · 안용진

고랭지 배추 단수예측 추정 토양수분균형모형과 공간회귀모형 중심으로

이병훈* 김경덕* 김명배** 강형준** 안용진**

Key words

토양수분균형모형(Soil water balance model), 공간효과(Spatial effect),
유실곡선지수(Runoff Curve Number), 공간회귀모형(Spatial regression model)

ABSTRACT

This study established and estimated a singularity prediction model to predict the national production change of high-altitude Chinese cabbage by considering meteorological factors, soil factors, and spatially dependent factors of 16 main producing regions of high-altitude cabbage. In particular, the growth of Chinese cabbage in high altitudes is greatly affected by not only climatic environmental factors but also soil environmental factors, thereby affecting yield. In particular, it can be said that the moisture content of the soil among the factors of the soil environment is very important as it is a singular determinant. In this study, the soil moisture content was measured by using a soil water balance model to measure the moisture content of soil moisture during the growing period after planting of Chinese cabbage in high cold regions, and this was applied when constructing the singular model.

차례

- | | |
|------------------|------------|
| 1. 서론 | 4. 분석 결과 |
| 2. 연구의 이론적 배경 | 5. 요약 및 결론 |
| 3. 분석 모형 구조 및 자료 | |

* 강원대학교 교수

** 대아청과 기획팀장

*** 강원대학교 석사

**** 강원도농업기술원 연구관

1. 서론

고랭지 배추는 연도별 수확면적과 단수의 변동 폭이 가장 큰 품목 중 하나이다. 이는 공급량의 불안정성이 크기 때문에 배추 작기 중에서 가격의 변동성도 가장 큰 것으로 알려져 있다. 실례로서, 지난 2020년도에는 54일이라는 유례없이 긴 장마와 세 차례 잇따른 태풍의 영향으로 배추의 수확량 급감으로 고랭지 배추 가격은 사상초유의 폭등으로 이어진바 있다.

배추는 일반적으로 기온이 선선한 환경에서 잘 자라는 채소로써 여름철 고온 환경에서는 재배가 어려운 채소이다. 그러나 고랭지는 고도가 높을수록 기온이 차츰 낮아지는 기후 환경적 특징을 가지고 있어 여름철에도 배추 재배가 가능한 지역이다(농진청, 2019). 고랭지 배추는 말 뜻 그대로 고도가 높고(高), 온도가 찬(冷) 곳에서 생산되는 배추이고, 그래서 초여름부터 늦은 여름까지 3~4개월 짧은 생육기간 동안 강원도 등 400m 이상의 고원이나 산지 등의 고산 지역에서 생산된다. 이와 같이 고랭지 배추는 봄배추, 가을배추, 월동배추가 생산되는 저지대와 비교했을 때 재배 기간과 지역이 극히 일부 기간과 지역에 국한되어 있다. 따라서 이상 기상요인, 병충해, 가뭄, 폭우 등 기상이변에 의해 배추의 단위당 수확량이 변동했을 경우 여름철 배추 수급 및 가격 불안이 매우 클 수밖에 없는 특성을 보이고 있는 것이다. 특히, 최근 들어 이상기후가 빈번하고 심해짐에 따라 고랭지 배추 생산 변동성에 미치는 영향이 점차 확대되면서 과거보다 여름철 배추 수급 및 가격 불안에 대한 우려가 더욱 커지고 있다.

이에 따라 배추 생육에 지대한 영향을 미치는 기상 요인을 고려한 보다 신속하고 정확한 고랭지 배추 단수 예측의 필요성이 그 어느 때보다도 절실해 지고 있다. 만일, 배추 생산 예측이 신속 정확하게 이루어진다면, 특히, 배추 생산자, 산지유통인의 경우 생산 예측 정보를 활용하여 출하량 및 출하시기 의사결정시 적절히 활용될 수 있을 것이다. 아울러, 정부는 여름 배추 출하기 수급안정대책의 긴급 기초자료로서 활용가치가 매우 높을 것으로 보인다.

본 연구의 목적은 전국 고랭지 배추 주산지 16개 지역의 기상요인, 토양환경 요인, 지형 공간적 상관요인 등을 고려하여, 고랭지 배추의 전국 생산변화를 예측하는 단수 예측모형을 추정하는데 있다. 특히, 모형의 구조를 직관적으로 단순화하고 자료 갱신도 손쉽게 구성하여 관측센터 배추 관측 담당자 또는 주산지 시군 담당자들도 쉽게 모형을 다룰 수 있게끔 하고자 하

였다. 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구의 이론적 배경으로써 배추의 생육 특성과 기상요인 및 공간적 종속요인, 그리고 토양 내 수분 환경에 대해 살펴보고, 3장은 분석 모형 및 자료에 관하여 정리하며, 4장에서는 추정결과를 제시하고, 5장에서는 요약 및 결론으로 마무리 한다.

2. 연구의 이론적 배경

본 장의 제1절은 배추의 생육 관련 선행연구를 통해 생물학적 생육주기의 특징과 해당 주기별 최적의 생육 환경에 대해 살펴본다. 특히, 온도, 일조, 강수, 토양 환경 등 여건과 생육 간 관계를 면밀히 살펴본다. 이어서 제2절은 배추 주산지 간 상호 지정학적 연계성을 고려하기 위해 공간적 상관성에 대해 논의하고, 제3절은 여름철 수분을 많이 요구하는 고랭지 배추 재배의 특성상 관수가 매우 중요하기 때문에 토양의 생장유효 수분과 측정방법에 대하여 정리한다.

2.1. 고랭지 배추의 생육¹⁾

저온성 작물인 배추는 우리나라 여름의 경우 배추의 생육적기가 아니기 때문에 평지 재배 시 고온으로 인해 배추의 결구에 문제가 생긴다. 또한 강우량이 많으면 흑부병이 확산되고, 강우량이 부족하면 바이러스 발생하며, 특히 고온 환경이 지속되면 무름병이 극심하고 결구 불량률이 대량으로 발생하여 생산이 거의 불가능한 수준에 이른다. 따라서 고랭지에서 재배하는 가장 큰 이유는 평지에 비해 비교적 서늘하기 때문이다. 이에 고랭지 배추는 고랭지 여름배추라고도 부른다. 고랭지의 작형은 높이에 따라 여름배추를 다시 해발 400~600m의 준고랭

1) 농업기술길잡이 128, 농촌진흥청(2019)의 생육관련 내용을 참조함.

지 작형과 해발 600m 이상에서 재배하는 작형으로 나눈다. 따라서 여름배추의 주산단지는 해발 400m 이상의 강원도 평창, 정선, 태백 등의 지역과 전북 무주, 경북의 고랭지 일부 지역에 국한되어 있다. 고랭지 배추의 출하기는 봄배추 수확에 이어 7~9월에 집중적으로 이루어지며 재배 시기 및 지역의 한계 때문에 단수가 적고 시장출하가 불안정하여 가격 등락이 매우 심하다. 고랭지 배추의 생산현황을 지역별로 살펴보면, 강원도의 경우 전체 고랭지 배추 재배 면적의 95%를 차지하고 있으며 경상북도 및 충청북도의 고랭지에서 일부 재배되고 있다. 최근 기후 온난화로 인해 경북 및 충북 지역의 고랭지 배추 재배면적은 급속히 위축되었으며, 심지어 강원도 지역의 고랭지 배추 면적도 감소하는 경향을 보이고 있다.

2.1.1. 재배 환경

일반적으로 배추는 서늘한 기후를 좋아하는 채소로써 성장에 적합한 온도는 약 20℃ 내외이다. 결구시기에는 이보다 더욱 낮은 15~18℃ 정도가 적절하며, 최저 온도는 4~5℃ 정도로 알려져 있다. 생육초기의 경우 높은 온도에서 생장이 촉진되며, 이후 결구가 시작되면 오히려 고온이 결구 불량 생육이 낳게 된다. 배추는 강렬한 태양 아래에서 광합성 활동이 왕성해 지고 생육에 필요한 물질의 생성도 활발해 진다. 생육 초기 광을 최대한 충분히 받을 수 있도록 하고, 이후 결구가 시작되면 강한 광보다 약한 광이 생육에 유리하게 작용한다.

수분의 경우 배추의 구성성분은 대부분이 수분이고 단기간에 왕성한 발육이 되므로 절대적으로 많은 수분을 요구한다. 따라서 배추는 건조한 기후환경에 약하여 생육 초기에 물이 부족하면 잎 발생과 생육이 억제되어 수량이 급격히 감소하게 된다. 배추의 가장 좋은 생장기에는 하루 10a당 200kg 이상 체중이 증가하고, 수분이 가장 많이 필요한시기는 파종 후 40~50일 정도의 초기 단계이다. 또한 뿌리가 너무 젖으면 뿌리에 충분한 물을 유지하면서 배수가 잘되는 토양을 선택해야 한다. 배추의 생육 초기인 8~9월에는 수년 동안 계속되는 가뭄이 있으며, 이 경우 관개를 통해 물 관리를 한다.

표 1. 고랭지 배추 지대별 작형

작형	파종기	수확기	지대
초여름 재배	4월 하순 ~ 5월 중순	6월 하순 ~ 7월 하순	400~600m
한여름 재배	5월 중순 ~ 7월 상순	7월 하순 ~ 9월 중순	600m 이상
늦여름 재배	6월 하순 ~ 8월 상순	9월 중순 ~ 10월 중순	400~600m

자료: 농촌진흥청(2019)

토양의 경우 배추는 뿌리가 넓고 잔뿌리가 많기 때문에 흙이 깊고 배수가 잘되는 토양을 선호한다. 따라서 배추의 주산지인 보수력이 좋고 배수가 좋은 충적토이며 토양층이 깊은 사질양토 지역이다. 충적토에서는 배추가 잘 자라고 배추의 빠른 성장을 가능하게 하는 반면, 모래 토양에서는 초기 생장은 빠르지만 늦은 생장은 좋지 않아 잎에 황변이 나타난다.

2.1.2. 주요 기상 및 병해충 피해

배추의 구성 성분은 90~95%가 대부분 수분이며 단시간에 성장하는 특징이 있어 비교적 많은 물을 필요로 한다. 특히 정식 후 약 20~30일이 지나면 생장이 정점인 시기인데, 1일 10a당 200kg 이상의 무게가 증가하는데 이를 늘리기 위해서는 10a당 200kg 이상의 물이 필요하며, 이를 증발량 기준으로 10a당 하루에 3,000~4,000L에 이른다.

30℃ 이상의 고온과 가뭄이 2주 이상 지속되면 배추의 생체중이 현저히 떨어지고 결구 불량, 석회 결핍, 무름병이 발생한다. 결구기에는 성장을 위해 약물과 영양분을 뿌린다. 특히 밤에 드립 및 스프링클러와 같은 관개 시설을 사용하여 관리하여 물을 주면 토양에서 칼슘을 흡수하는 데 도움이 된다. 가뭄에 대처 방법으로 비닐 멀칭으로 토양 수분을 보존하고 토양을 개량하여 보수력을 높이고 뿌리를 관리하여야 한다.

2.2. 주산지 지역 간 공간적 연계성

행정구역 단위로 집계되는 고랭지 배추 단수와 기상, 병충해, 토양환경 등 지역 요인과 지역 농민의 성품, 언행, 정보력, 농업기술 등 지역 특색은 지정학적으로 긴밀히 연계되어 있다

(윤성은, 2013). 따라서 단수모형 추정 시 이와 같은 지역 간 공간적 연계성을 고려하여야 하나, 일반적으로 지역 간 자료는 독립적으로 간주하고 추정함으로써, 지역 간 공간적 인접 정보를 단수모형 추정 시 활용하지 못하고 있다. 따라서 공간적으로 연계되어있는 지역 간 자료를 고려하여 단수 모형 추정의 고도화를 통한 예측력 개선이 필요하다.

즉, 특정 지역의 공간에서의 지역요인 및 지역 특색이 해당 공간에만 영향을 미치지 않고 인접 지역이나 근거리에 위치한 생산자, 주민 등 의사결정자에게도 영향을 미칠 수 있는데 이를 ‘공간적 인접성, 종속성 또는 공간적 자기상관성이 발생한다’고 한다. 이 같은 공간적 인접 내지 종속 또는 자기상관 특성 고려하기 위해 Anselin(1988)이 제안한 공간회귀모형을 차용할 필요가 있다. 본 연구에서는 주산지 간 거리 기준의 공간가중치행렬을 이용한 공간회귀모형(Spatial regression model) 3가지 형태²⁾를 고려할 수 있다. 공간가중치 행렬(W)을 포함한 공간회귀모형 기본 식은 하여 다음과 같다.

$$(1) y = \lambda Wy + X\beta + \epsilon, \epsilon = \rho W_2\epsilon + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1j} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ w_{i1} & w_{i2} & \cdots & w_{ij} \end{bmatrix}$$

여기서 y 는 종속변수, X 는 설명변수의 행렬 그리고 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$ 는 오차항이다. λ, ρ 는 공간회귀계수를 의미하며 지역의 공간적 연계성 정도를 의미하며, 만일 $\lambda, \rho > 0$ 이라면 각 지역의 종속변수 및 오차항이 다른 지역의 종속변수 및 오차항들과 정(+)의 관계로 연계되어 있음을 의미한다. 추정방법 등 보다 자세한 사항은 이성우 외(2006)를 참조할 수 있다.

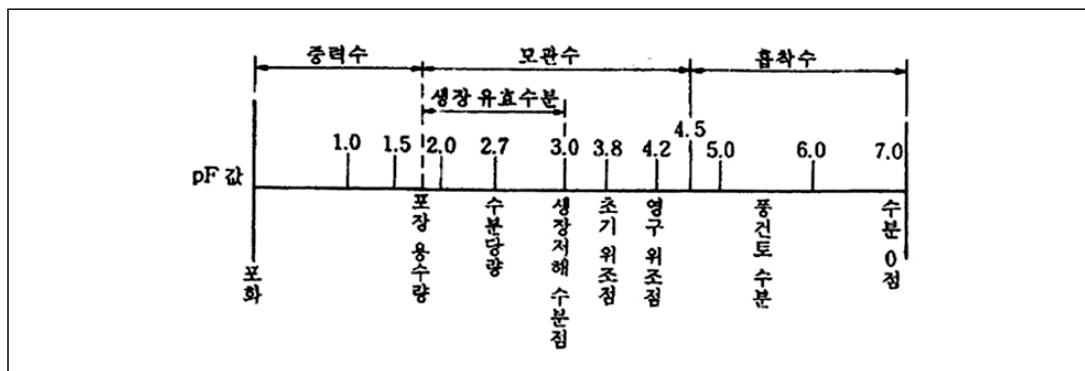
2) 공간자기회귀모형(SAR: spatial autoregressive model), 공간오차모형(SEM: spatial error model), 공간회귀오차모형(SAE: spatial autoregressive-error model) 등이며 공간가중치행렬(W)이 $W_2 = 0, W_1 = 0, (W_1, W_2) \neq 0$ 일 경우 각각 SAR, SEM, SAC모형이 적용된다. 공간가중치행렬은 각 지역의 공간상관관계를 나타내며 모든 지역이 인접성(근접성) 정도에 따라 가중치를 가지되 행 합 1이 되도록 하여 활용된다(이성우 외(2006)).

2.3. 토양의 생장유효 수분

고랭지 배추의 생육은 기후환경 요인뿐만 아니라 토양환경 요인에도 지대한 영향을 받아 단수에 영향을 주게 된다. 토양환경은 일반적으로 토양의 구조, 토성, 토양의 수분, 양분을 말한다. 배추는 단년생 작물이지만 상대적으로 뿌리가 길고, 잔뿌리가 많아 생육과정에서 표토층 수분 함유가 매우 중요하다. 앞서 살펴본 바와 같이 배추는 구성 성분이 대부분 물이고 짧은 기간 동안 왕성하게 자라며, 정식 후 20~30일 경과한 후부터는 배추가 흡수할 물 요구량이 급격히 증가한다.

배추 생육에 있어서 유효수분은 모관수의 포장용수량과 영구 위조점 차이의 수분을 의미하며 배추 생육에 중요한 수분을 말한다. 배추의 정상적인 생육을 보장하고 배추가 쉽게 이용할 수 있는 수분량을 '생장유효수분'이라고 하며 모관수의 포장수용량과 생장저해수분점 사이의 수분함량을 의미한다. 토양수분 측정기 기준 pF 1.8~4.2 사이가 생장유효수분에 해당된다. 참고로 배추는 pF 2 내외(포장수용량 75% 수준)에서 생육에 가장 적합하다.

그림 1. 토양수분의 분류 및 작물 이용성³⁾



자료: 농촌진흥청(2019)

3) 중력수는 토양 공극을 통해 밑으로 흐르는 물을 의미하고, 모관수는 토양 입자 사이에 존재하는 공극수를 일컬으며, 포장수용량은 최적 식물생육 물(水)량이고 이는 비온후 중력수가 빠져나간 다음 남은 물(水)량임(농진청, 2019).

2.3.1. 토양수분균형 모형(Soil water balance model)

고랭지 배추의 생육과정과 단수 결정에 있어서 토양환경 중 토양의 함수량은 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 그동안 대부분 선행연구(한석호 외, 2011; 정호중 외, 2016; 최병옥 외, 2020)의 작물의 단수함수 구성은 최고온도, 최저온도, 강수량, 일조량 등 기후요인을 중심으로 단수 추정을 시도해 왔다. 그러나 고랭지 토양의 경우 토성이 보수력이 좋을 지라도 급격한 경사지라서 강수가 발생해도 모두 침투되지 않고, 그대로 흘러내리는 표면유실로 실제 강수량과 토양 수분의 함수량 간의 차이가 크게 발생해 왔다. 또한 해발고도가 높아 안개와 구름으로 일조량이 그대로 토양에 영향을 미치지 않아 토양의 증발량을 시산할 때도 곤란함을 겪는 것으로 알려져 있다.

따라서 고랭지 배추의 정식 이후 생육기간동안 토양 수분의 함수량 측정은 단수 예측 추정을 위한 핵심 과정이라고 할 수 있으며, 다음의 절차에 따라 토양 수분의 함수량을 계측하고자 한다. 토양수분균형모형을 이용하여 고랭지 배추 주산지의 표토층(top soil layer)⁴⁾ 토성 기준 하에서 토양 수분함량을 추정할 수 있다(Seonghuyk, H et al., 2009).

$$(2) \quad SW_t = SW_{t-1} + P + I - ET - R - D,$$

여기서 SW_t 는 월별 토양 수분 함량(mm)을 나타내며, P 는 월 누적강수량(mm), I 는 관개수(mm), R 는 표면유실량(mm), ET 는 실제 증발량(mm), D 는 심층배수량(mm)을 나타낸다. 관개수는 생산자가 기후환경 및 토양환경에 인위적으로 조정하므로 측정이 불가하여 실제 토양 수분함량 추정 시 생략할 수 있다.

$$(3) \quad R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}, \quad P \geq 0.2S,$$

4) 식물이 성장하는 맨위 토양층을 표토라 하며 동생물 유해 또는 부식물로 구성된 부식토가 포함되어 식물생장에 있어 최적토라 함(농진청 2019).

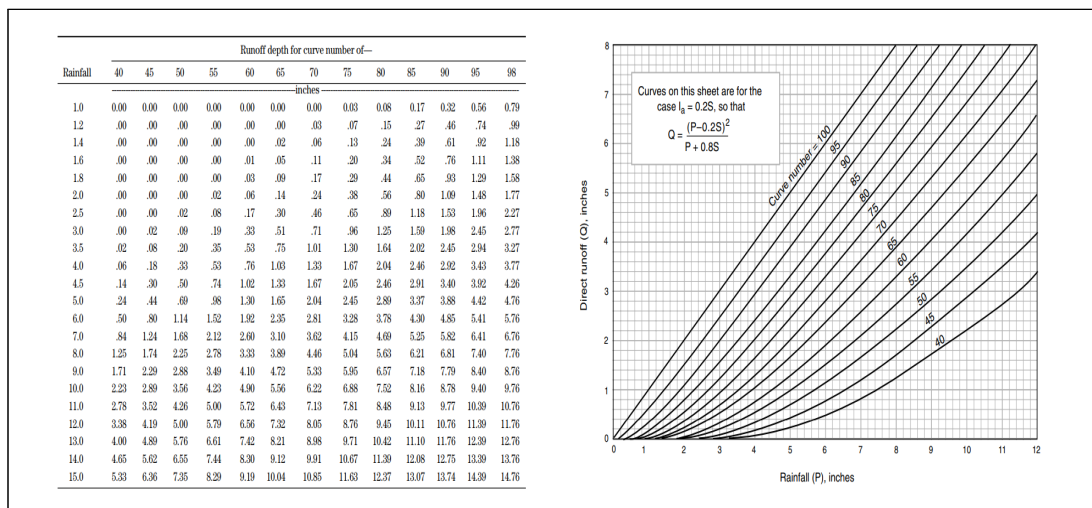
R 은 표면유실량(surface runoff)이며 누적강수량(P)와 보수력 계수(S)를 이용하여 계산된다. 누적강수량은 $0.2S$ 보다 큰 조건이 있다.

$$(4) S = \frac{25400}{CN} - 254$$

보수력 계수(S)식의 CN 은 유실곡선지수(Runoff Curve Number)을 나타내며 미국 토양보호국(U.S. Soil Conservation Service)의 토성별 기준 값을 적용하여 계산된다. CN 값의 범위는 누적강수량과 유실량 수준에 따라 40~100까지 분포하게끔 정해져 있다.

식 (4)와 식 (3)을 토대로 살펴보면, 유실곡선지수(CN) 값이 작은(큰) 경우 토양보수력계수(S)은 증가(감소)하고, 표면유실량(R)은 감소(증가)하게 된다. 다시 정리하면, CN 값 40~100 분포하며, 토양보수력이 좋은(나쁜) 경우 낮은(높은)수치 값을 갖게 된다. 실제 본 연구에서 실제 CN 값은 주산지별 토양보수력 환산값(표 3)을 역수 범위로 정하여 시산한 결과 평균 63.7, 최대 100 최소 50 수준의 값으로 시산되었다.

그림 2. 유실곡선지수 산출 기준표



자료: U.S. Soil Conservation Service(1986)

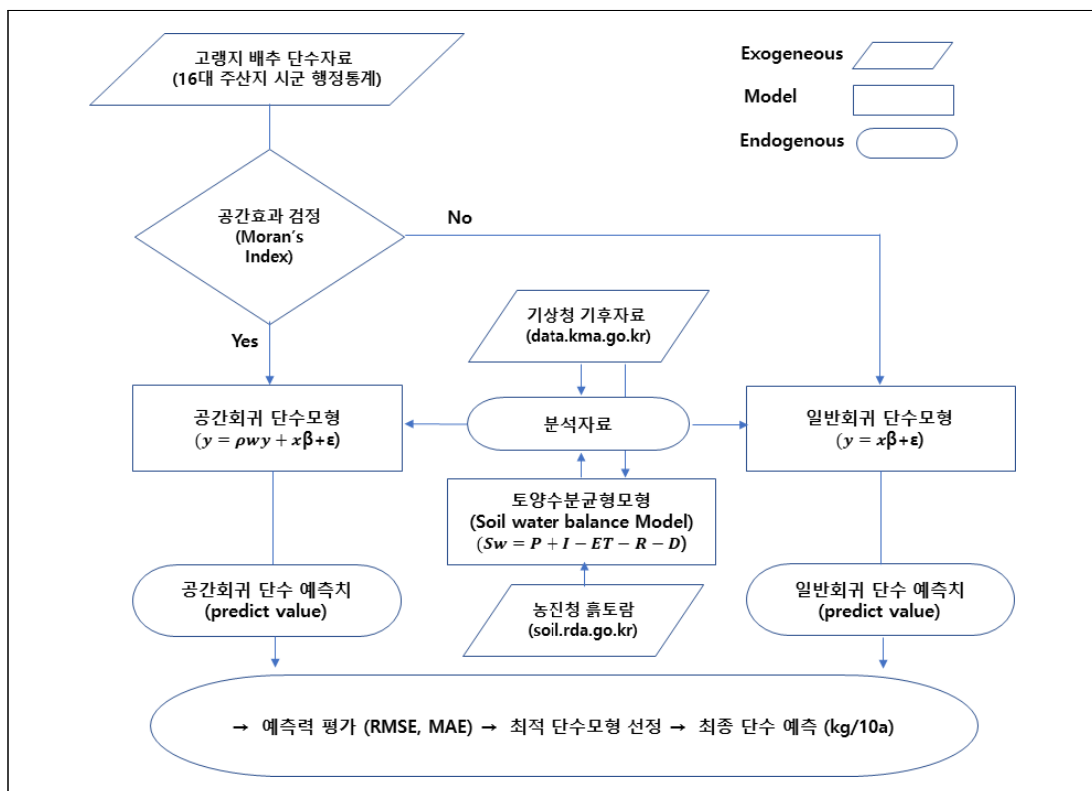
$$(5) ET = (\text{상대습도} \times \text{평균온도} \div 100) \times \text{토양보수력}$$

증발량(ET , mm)은 주산지 지역의 월평균 상대습도(%)와 평균온도(°C)을 기준으로 산출하며, 해당 지역의 양토비율을 기준으로 토양 보수력을 산정하여 활용한다.

$$(6) D = 0.5(P - R) \times \text{토양배수력}$$

D 는 침출배수량(mm)으로 지역의 월평균 누적강수량(mm)과 유실량(mm) 그리고, 토양의 배수력(≒토양 보수력 역산)을 산정하여 활용한다. 0.5는 배수계수(drainage coefficient)로써 일반적으로 0~1사이 값을 사용한다.

그림 3. 연구의 흐름도



자료: 저자 작성

3. 분석 모형 구조 및 자료

이 장에서는 고랭지 배추의 단수 자료를 이용하여 지역 간 공간적 연계성 여부를 Moran's I 값을 이용하여 살펴보고, 연계성 여부에 따라 일반회귀 단수 모형과 공간회귀 단수 모형을 선택하게 된다. 이어서 토양수분균형모형을 통해 주산지별 월별 토지수분 함수량을 추계하고, 기상청 기후자료와 함께 단수모형 추정 시 활용할 수 있도록 구축한다. 마지막으로 추정된 단수 예측치를 토대로 예측력 평가 하에 최적단수모형을 선정한다.

3.1. 분석 모형 구조 및 절차

3.1.1. 단수 모형

고랭지 배추 단수와 기후 및 토양 환경 간 관계를 식 (7)과 같이 행렬식 형태로 나타낼 수 있고, 이를 다시 패널형태인 실증 일반 단수 함수식으로 정리하면 식 (8)과 같으며, 여기에 공간 연계성 효과를 고려한 공간회귀 함수식은 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$(7) \quad y = X\beta + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

$$(8) \quad y_{it} = \sum_j^n \beta_j X_{jit} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

$$(9) \quad y_{it} = \lambda W_N y_{it} + \sum_j^n \beta_j X_{jit} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

여기서 y_{it} 는 i 시군, t 년도의 고랭지 배추 단수, X_{ijt} 는 j 개의 기후변수 및 토양변수, 그리고 W_N 은 $N \times N$ (16×16) 16대 주산지 지역 간 거리 기준 공간가중치행렬을 의미한다. 한편, μ_i 는 개별지역효과를 나타낸다. 만일 이 개별지역효과 여부에 따라 확률효과모형을 적용할지 Pooled OLS 모형을 적용할지 결정된다. 다시 말하면, 고랭지 배추 단수모형은 최고온도, 일

조량, 강수량, 토양수분함수량 등 기후변수와 토양변수로 구성한다. 여기서 모형의 최적 형태는 사전 추정결과를 토대로 적합성이 제일 높은 로그-선형 방식을 선택하였으며, 아울러 변수 구성에 있어서도 단수함수의 특성상 일반 선형이 아닌 비선형 형태를 고려하기 위해 최고 온도 변수의 경우 2차항 변수로써 고려하였다. 분석절차를 다시정리하면, 우선 종속변수인 배추 단수자료 대상으로 Moran'I 검정을 통해 공간효과 여부를 검정하여 일반회귀모형 또는 공간회귀모형을 이용할지 결론짓고, 패널자료이므로 Pesaran(2004)의 Pesaran CD($H_0: \sigma_\mu^2 = 0$) 검정을 통해 개별지역효과 여부를 결정하여 확률효과모형을 이용할 것인지, Pooled OLS 모형을 적용할 것인지 정하였다. 만일 개별지역효과가 존재하는 것으로 판명된다면 이 개별지역효과를 다음단계에서 공간 하우스만 검정을 통해 고정효과 또는 확률효과 모형을 적용할지 결정하였다. 분석결과를 토대로 단수 예측치를 각각 도출하고, 표본외(out of sample) 검정에 의한 예측력을 평가하여 최종 단수모형을 선정하였다.

3.2. 분석 자료

3.2.1. 기상자료

본 연구에서는 16개 고랭지 배추 주산지과 1997년부터 2018년까지 패널자료를 구축하여 이용하였다. 고랭지 배추 단수자료(kg/10a)는 해당 시군 각년도 행정통계를 이용하였으며, 지역별 기상자료는 기상청 기상자료 개방포털(www.data.kma.go.kr)에서 제공하는 전국 102개 지점에서 수집된 자료 중 해당 지역과 가장 가깝게 수집된 기상자료를 적용하였다. 1997년 4월~2018년 9월까지 일일자료, 순자료, 월자료 모두 구축하였으나, 지역마다 생육 시기가 모두 상이하여 월자료를 최종 사용하였다. 수집 자료는 평균온도($^{\circ}\text{C}$), 최고온도($^{\circ}\text{C}$), 최저온도($^{\circ}\text{C}$), 누적강수량(mm), 상대습도(% rh), 평균풍속(m/s), 일조시간(hr), 황사일수(일) 등이다. 이들 기상자료 중 평균풍속, 상대습도 자료는 이하 토양수분균형모형 추계 시 활용되어 공선성 문제 방지 차원에서 제외하였고, 황사일수는 통계적으로 유의하지 않아 실증분석 시 제외하였다(부표 3 참조).

고랭지 배추가 집중 출하되는 시기를 보통 7월~9월(부록 참조)로 보면 지역에 따라 다를 수 있지만 정식 후 평균적인 생육기간을 전반부(6월~7월)와 후반부(8월~9월)로 나눌 수 있다. 이 두 시기 모두 정식 후 기후요인이 제일 중요한 시점임을 고려하여 이 기간의 기후변수들을 적극 고려하였다. 아울러, 최고온도의 경우 생육의 최적온도가 임계점을 지나게 되면 다시 단수 증산(감산)이 감소(증가)하는 형태의 함수식으로 고려하기 위해 2차 함수형태를 적용하였다.

표 2. 고랭지 배추 단수, 기상자료, 토양수분 함수량 기초통계량(1997~2018)

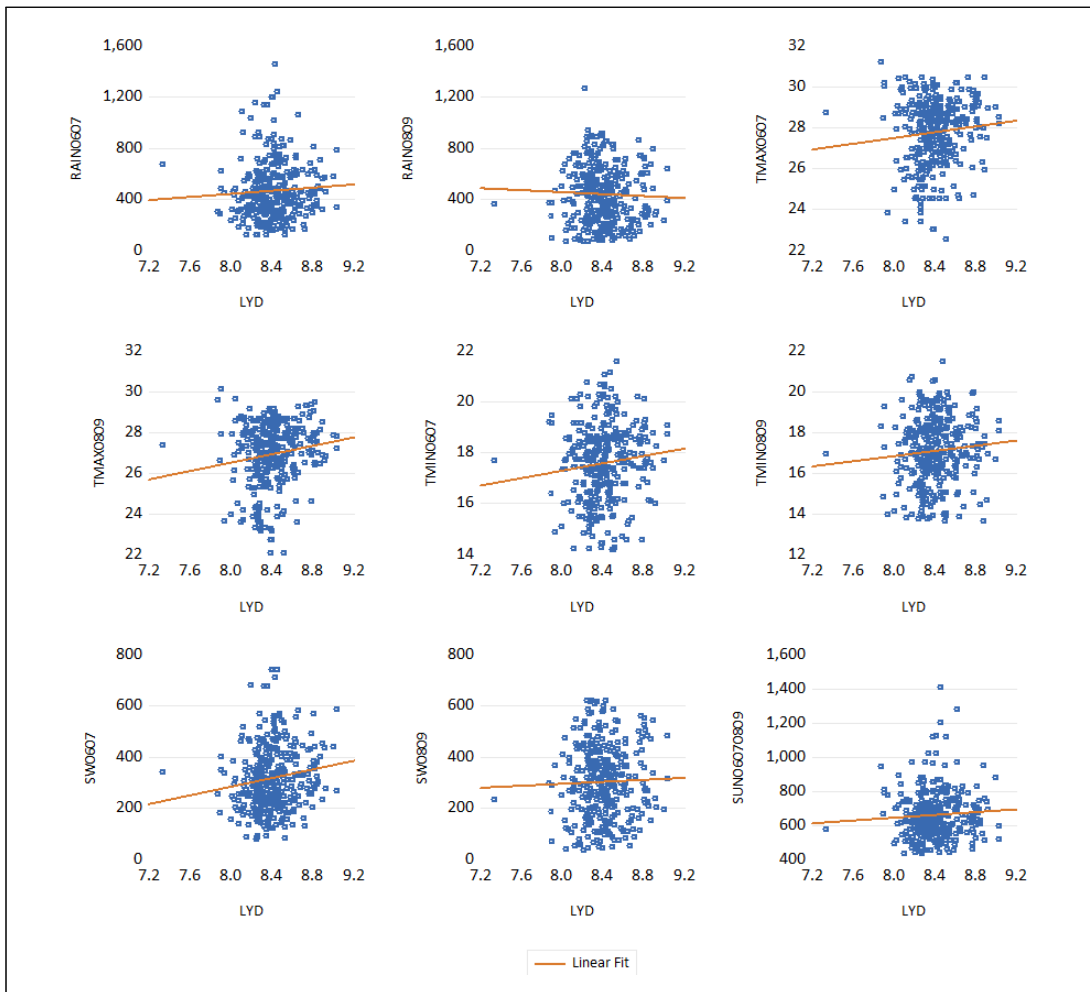
변수		Mean	Maximum	Minimum	Std.	Obs.
ln 단수(kg/10a)	ln(yd)	8.41	9.03	7.34	0.22	336
최고온도 6~7월(C°)	TMAX0607	27.77	31.20	22.55	1.63	336
최고온도 8~9월(C°)	TMAX0809	26.92	30.15	22.10	1.56	336
최고온도 6~7월(C°) ²	TMAX0607S	773.64	973.44	508.50	88.53	336
최고온도 8~9월(C°) ²	TMAX0809S	726.86	909.02	488.41	82.20	336
최저온도 6~7월(C°)	TMIN0607	17.57	21.60	14.20	1.50	336
최저온도 8~9월(C°)	TMIN0809	17.07	21.50	13.65	1.61	336
토양수분6~7월(mm)	SW0607	317.47	742.16	78.63	125.17	336
토양수분8~9월(mm)	SW0809	301.30	622.85	36.91	141.01	336
누적강수량6~7월(mm)	RAIN0607	464.66	1457.50	123.20	217.77	336
누적강수량8~9월(mm)	RAIN0809	436.89	1265.50	73.60	222.59	336
누적일조량6~9월(hr)	SUN06070809	658.26	1408.50	438.70	139.18	336
평균풍속 6~7월(m/s)	WIN06	1.49	2.50	0.40	0.35	336
평균풍속 8~9월(m/s)	WIN08	1.36	2.70	0.30	0.36	336
황사발생(일)	SAND	3.25	27	0	5.11	336

자료: 기상청, 농진청 원자료 이용 저자 작성

상기 기상자료와 고랭지 배추 단수와와의 기본적 관계구조를 살펴보기 위해 <그림 3>과 같이 산포도를 작성하였다. 단수(LYD) 기준으로 보면, 전반부 6월~7월 기상자료의 경우 최고기온도(TMAX0607), 최저온도(TMIN0607), 토양수분함수량(SW0607) 회귀선의 기울기가 상대적으로 가파른 우상향 양상을 보이고 있다. 따라서 전반부 6월~7월 단수와 최고온도, 최저온도, 그리고 토양수분 함수량은 정(+)의 연관성을 보이는 것으로 나타났다. 후반부 8월~9월의 경우 최고온도(TMAX0809)와 최저온도(TMIN0809) 정(+)의 연관성을 가지는 것으로 판단된다.

한편, 물 흡수가 많은 고령지 배추의 생육특성상 단수(LYD)와 강수량(RAIN0607, RAIN0809)이 높은 정(+)의 연관성을 보일 것으로 예상하였으나, 연관성이 미미하거나 또는 오히려 부(-)의 연관성을 보였다. 이는 경사도가 가파른 고령지의 특성상 강수의 대부분이 표토유실되어 토양의 수분공급에 크게 기여하지 못하는 것으로 추론된다. 이에 반해 토양수분 함수량(SW0607, SW0809) 변수의 경우 단수와 정(+)의 상관관계를 보이고 있어 모형 형태(Model specification) 수립 시 강수량의 대체변수로서 고려할 필요가 있다.

그림 3. 기상자료, 토양수분함수량, 단수 산포도



자료: 저자 작성

3.2.2. 토양자료

농촌진흥청의 『흙토람』 토양환경지도 시스템을 활용하여 16대 고랭지 배추 주산지의 토성을 검색하여 해당 지역 양토 비중을 토대로 토양 보수력을 0.5~1사이 범위로 설정하였다(부표 4 참조). 보수력 상위 주산지는 태백(1.0), 정선(0.9), 평창·영양(0.8)이며, 중위 주산지는 영월·단양(0.7), 하위 주산지는 강릉·삼척(0.6), 양구·인제·무주(0.5)의 순으로 나타났다. 이를 토대로 유실곡선지수(CN)를 구해보면, 100이하의 범위 내에서 토양 보수력 순위와 같게 집계되었다. 이어서 보수력 계수(S) → 표면유실량(R) → 침침배수량(D) → 증발량(ET) 순으로 시산하고, 토양수분균형모형(Soil water balance model)을 통해 주산지 토양 수분의 함수량(SW)을 구축하였다.

표 3. 주산지별 토양 보수력 및 배수량 시산 결과

주산지	토양 보수력	토양 배수량	양토면적	면적	양토비
강릉	0.6	0.9	56	103	54.4%
봉화	0.5	1	34	120	28.3%
삼척	0.6	0.9	69	118	58.5%
양구	0.5	1	12	55	21.8%
영월	0.7	0.8	72	112	64.3%
인제	0.5	1	58	147	39.5%
정선	0.9	0.6	106	121	87.6%
태백	1	0.5	27	30	90.0%
평창	0.8	0.7	109	146	74.7%
홍천	0.5	1	86	181	47.5%
횡성	0.5	1	28	99	28.3%
무주	0.5	1	23	63	36.5%
문경	0.5	1	38	91	41.8%
영양	0.8	0.7	64	82	78.0%
단양	0.7	0.8	52	78	66.7%
제천	0.5	1	39	88	44.3%

자료: 농촌진흥청 『흙토람』 자료 이용 시산

한편, 토양수분균형모형(soil water balance model)을 통해 추계된 토양수분함수량과 고랭지 배추 단수와의 관계를 산포도로 정밀하게 나타내면 다음과 <그림 4>와 같다. 상기 <그림 3>과 마찬가지로 단수는 강수량(rain0607, rain0809)보다 토양수분함수량(sw0607, sw0809)와 정(+)의 연관관계가 큰 것으로 나타났다.

표 4. 토양수분균형모형을 이용한 토양수분 함수량(SW) 시산결과

(단위: mm, %, index(100))

변수		평균	최대값	최소값	표준편차	관측치
심층배수 4월	D04	8.459	21.575	0.600	4.617	336
심층배수 5월	D05	9.209	29.511	0.210	5.183	336
심층배수 6월	D06	12.906	34.995	2.510	6.927	336
심층배수 7월	D07	24.665	60.123	6.190	9.929	336
심층배수 8월	D08	21.753	49.318	3.260	10.088	336
심층배수 9월	D09	14.038	41.376	1.260	8.716	336
표면유실곡선치	CN	63.750	100.0	50.000	16.233	336
증발량 4월	E04	3.946	8.942	1.841	1.122	336
증발량 5월	E05	6.453	11.410	4.134	1.609	336
증발량 6월	E06	8.973	15.228	5.340	2.289	336
증발량 7월	E07	11.685	19.035	6.935	2.990	336
증발량 8월	E08	11.743	20.003	7.025	3.012	336
증발량 9월	E09	9.077	15.192	5.198	2.345	336
표면유실수 4월	R04	2.806	58.250	0.000	6.222	336
표면유실수 5월	R05	3.620	59.479	0.000	7.729	336
표면유실수 6월	R06	12.382	285.382	0.006	30.734	336
표면유실수 7월	R07	76.573	643.268	0.032	95.904	336
표면유실수 8월	R08	57.667	643.817	0.000	82.867	336
표면유실수 9월	R09	21.316	260.177	0.000	41.331	336
보유력 계수	S	589.091	762.000	254.000	185.070	336
토양수분 함수량 4월	SW04	72.189	190.416	1.128	41.429	336
토양수분 함수량 5월	SW05	76.447	261.047	2.031	46.640	336
토양수분 함수량 6월	SW06	107.177	308.132	12.535	62.531	336
토양수분 함수량 7월	SW07	210.295	531.647	45.714	90.427	336
토양수분 함수량 8월	SW08	184.036	432.914	13.356	91.689	336
토양수분 함수량 9월	SW09	117.260	364.365	3.362	78.386	336

자료: 토양수분균형 모형 추계식

그림 4. 토양수분함수량, 강수량, 단수 산포도



자료: 저자 작성

3.2.3. 공간가중치행렬

고령지 배추 주산지 지역 간 연계성을 고려하기 위하여 16개 주산지 지역 간 거리를 이용하여 시산된 공간가중치행렬 <표 5>와 같다. 일반적으로 가중치 행들의 합이 1이 되도록 표준화 (standardization) 과정을 거친 후 이용된다. $w_{ijs} = w_{ij} / \sum_{j=1}^n w_{ij}$ 여기서 $w_{ij} = 1/\text{distance}_{ij}$ 는 행

렬 원소이며 w_{ij} s는 표준화된 원소를 의미한다. <표 5> 내 표준화된 원소 값이 클수록(적을수록) 지역 간 상대적으로 근거리(원거리)에 위치하고 있어 공간적 연계성이 높다(작다)는 것을 나타낸다.

표 5. 표준화된 공간가중치행렬(16대 주산지×16대 주산지)

	강릉	봉화	삼척	양구	영월	인제	정선	태백	평창	홍천	횡성	무주	문경	영양	단양	제천
강릉	0.0000	0.0436	0.1221	0.0596	0.0816	0.0704	0.0849	0.0666	0.0599	0.0523	0.0503	0.0479	0.0421	0.0514	0.0402	0.0421
봉화	0.0545	0.0000	0.0703	0.0343	0.1415	0.0351	0.0691	0.1182	0.0608	0.0394	0.0455	0.0788	0.1042	0.1550	0.1167	0.0721
삼척	0.1268	0.0584	0.0000	0.0337	0.0850	0.0441	0.0860	0.1273	0.0533	0.0396	0.0416	0.0514	0.0478	0.0740	0.0459	0.0432
양구	0.0605	0.0279	0.0330	0.0000	0.0542	0.3107	0.0384	0.0330	0.0414	0.0969	0.0622	0.0455	0.0361	0.0342	0.0309	0.0360
영월	0.0735	0.1019	0.0737	0.0480	0.0000	0.0498	0.0430	0.0363	0.0459	0.0887	0.0633	0.0457	0.0371	0.0360	0.0324	0.0376
인제	0.0752	0.0299	0.0453	0.3266	0.0591	0.0000	0.0440	0.0364	0.0454	0.0915	0.0629	0.0456	0.0368	0.0358	0.0322	0.0373
정선	0.1160	0.0756	0.1131	0.0517	0.0653	0.0563	0.0000	0.1190	0.1552	0.0603	0.0707	0.0610	0.0632	0.0736	0.0793	0.0798
태백	0.0773	0.1098	0.1422	0.0377	0.0468	0.0396	0.1010	0.0000	0.0653	0.0408	0.0450	0.0616	0.0641	0.1149	0.0687	0.0557
평창	0.0845	0.0686	0.0723	0.0575	0.0719	0.0600	0.1602	0.0793	0.0000	0.0818	0.1138	0.0652	0.0690	0.0634	0.0931	0.1270
홍천	0.0596	0.0359	0.0434	0.1086	0.1123	0.0976	0.0503	0.0400	0.0661	0.0000	0.1814	0.0573	0.0492	0.0411	0.0453	0.0596
횡성	0.0617	0.0447	0.0491	0.0751	0.0863	0.0722	0.0635	0.0476	0.0989	0.1954	0.0000	0.0640	0.0603	0.0471	0.0608	0.0914
무주	0.0235	0.0310	0.0243	0.0220	0.0249	0.0209	0.0219	0.0260	0.0227	0.0247	0.0256	0.0000	0.0774	0.0432	0.0324	0.0302
문경	0.0361	0.0715	0.0395	0.0305	0.0354	0.0296	0.0397	0.0474	0.0419	0.0371	0.0421	0.1354	0.0000	0.0782	0.0873	0.0671
영양	0.0421	0.1017	0.0584	0.0276	0.0328	0.0275	0.0442	0.0811	0.0368	0.0296	0.0315	0.0722	0.0747	0.0000	0.0533	0.0411
단양	0.0530	0.1229	0.0582	0.0400	0.0475	0.0397	0.0764	0.0779	0.0869	0.0523	0.0652	0.0869	0.1340	0.0856	0.0000	0.1799
제천	0.0559	0.0766	0.0551	0.0470	0.0554	0.0464	0.0775	0.0637	0.1195	0.0694	0.0988	0.0817	0.1039	0.0665	0.1814	0.0000

자료: 저자 작성

4. 분석 결과

고랭지 배추의 단수의 지역 간 공간적 연계성을 검정한 결과, Moran's I 값이 0.894이고, P값은 <.0001로 나타나 공간적으로 연계성이 존재하는 것으로 분석되었다. 따라서 3장의 분석 절차에 따라 구축된 공간회귀 단수모형을 활용하고, μ_i 의 개별지역효과 검정결과, P값이 0.02393로 나타나 귀무가설($\sigma_\mu^2 = 0$)을 기각하여 개별지역효과가 존재하는 것으로 확률효과 모형(random effect model)을 적용하고, 다음 단계에서 공간하우스만검정(spatial hausman test)결과, χ^2 값이 365.7이고, p값이 <.0001로 나타나 개별지역효과는 고정적 효과로 취급하는 고정효과모형인 공간회귀 단수 모형으로 추정하였다.

4.1. 공간회귀 단수모형 추정결과

고랭지 배추의 공간적 연계성이 존재하는 것으로 판명되어, 실제 <표 6>의 일반회귀단수모형 ①과 ② 추정 결과는 불필요하나, 공간회귀 단수모형과의 모형적합도 비교를 위해 함께 제시하였다. 모형 ①~⑤ 모두 패널분석이므로 절대적 설명력은 매우 낮은 수준이나, 일반회귀 단수모형 ①, ② 보다 공간회귀 단수모형 ③, ④, ⑤ 모형의 적합도가 우수한 것으로 나타났다. 이는 지역 간 상호 연계성을 의미하는 공간회귀계수가 통계적으로 유의($|λ| > 0$, $|ρ| > 0$)하게 단수 결정요인으로써 역할을 한 것으로 보인다. 한편, 공간회귀 단수모형 중 ④ SEM 모형이 13.2% 설명력으로 모형적합도가 가장 우수한 것으로 나타났으며, ⑤ SAE 모형 12.8%, ③ SAR 모형 12.7% 순으로 Pseudo R^2 값이 높은 것으로 분석되었다.

추정된 계수 중심으로 결과를 살펴보면, ‘최고온도(6월~7월)’은 모든 모형에서 부(-)의 영향으로 단수에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, ‘최고온도(8월~9월)’도 통계적으로 유의하진 않았으나 추정 부호가 동일하여 고랭지 배추 단수에 부정적인 영향을 주는 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 결구가 시작되면 고온에 약해져 결구가 불량하거나 정상적 생육이 불가능한 것에 기인한 것으로 보인다. ‘토양수분’ 변수의 경우 전반부(6~7월), 후반부(8~9월) 모두 단수에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 고랭지 배추의 생육과정에서 수분 공급의 중요성을 반증하는 결과라고 할 수 있다. 한편, 일반회귀 단수모형 중 전통적인 기본 모형 형태의 ① 일반회귀 단수모형은 최고온도와 누적강수량 변수를 포함하여 추정한 것으로서 최고온도만 통계적 유의성이 있는 것으로 추정되었다. 강수량 추정계수는 통계적으로 유의하진 않았으나 양(+)의 부호를 보이며 미미하게 단수 증가에 영향을 미치는 것으로 추론할 수 있다. 반면, 강수량 변수 대신 토양수분 변수를 포함시킨 ② 일반회귀 단수모형의 추정 결과를 보면, ‘토양수분’ 변수가 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하게 나타나 단수 증장에 지대한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 목적은 단수 결정요인 변수의 계수 추정에 있는 것이 아니라 정확한 단수 예측에 있으므로 추정된 계수를 바탕으로 단수 예측을 실시하여 예측력에 대한 평가를 시도하고자 한다.

표 6. 일반 및 공간단수모형 추정 결과

변수	① 일반회귀 단수모형 (강수량)			② 일반회귀 단수모형 (토양수분)			공간회귀 단수모형(토양수분)																	
	Coeff	t값	P값	Coeff	t값	P값	③ SAR(spatial lag)			④ SEM(spatial error)			⑤ SAE(spatial lag-error)											
상수	-24.93300 *	-1.89	0.060	-20.9950	-1.60	0.111	Coeff	-14.2510	t값	-1.13	P값	0.257	Coeff	-21.3980 *	t값	-1.65	P값	0.099	Coeff	-14.19000	t값	-1.13	P값	0.260
최고온도 (6~7월)	-0.96909 *	-1.95	0.053	-0.98624 **	-1.99	0.047	Coeff	-0.85014 *	t값	-1.79	P값	0.073	Coeff	-1.04450 **	t값	-2.10	P값	0.036	Coeff	-0.90753 *	t값	-1.88	P값	0.060
최고온도 (8~9월)	-0.21599	-0.43	0.670	-0.04824	-0.10	0.924	Coeff	0.07627	t값	0.16	P값	0.875	Coeff	-0.00169	t값	0.00	P값	0.997	Coeff	0.13991	t값	0.28	P값	0.777
토양수분 (6~7월)				0.00021 **	2.09	0.037	Coeff	0.00022 **	t값	2.31	P값	0.021	Coeff	0.00024 **	t값	2.31	P값	0.021	Coeff	0.00026 **	t값	2.48	P값	0.013
토양수분 (8~9월)				0.00019 **	2.12	0.035	Coeff	0.00013 **	t값	2.10	P값	0.036	Coeff	0.00022 **	t값	2.29	P값	0.022	Coeff	0.00021 **	t값	2.22	P값	0.026
누적일조량	0.00011	1.18	0.238	0.00012	1.25	0.211	Coeff	0.00008	t값	0.83	P값	0.404	Coeff	0.00014	t값	1.39	P값	0.164	Coeff	0.00009	t값	0.95	P값	0.341
최고온도 (6~7월) ²	10.15400 *	1.95	0.052	10.36000 **	2.00	0.046	Coeff	9.00140 *	t값	1.81	P값	0.070	Coeff	10.97600 **	t값	2.11	P값	0.035	Coeff	9.61240 *	t값	1.90	P값	0.057
최고온도 (8~9월) ²	2.40190	0.46	0.644	0.64068	0.12	0.902	Coeff	-0.59999	t값	-0.12	P값	0.904	Coeff	0.15769	t값	0.03	P값	0.976	Coeff	-1.26060	t값	-0.25	P값	0.804
강수량 (6~7월)	0.00005	0.87	0.384				Coeff		t값		P값		Coeff		t값		P값		Coeff		t값		P값	
강수량 (8~9월)	0.00007	1.20	0.230				Coeff		t값		P값		Coeff		t값		P값		Coeff		t값		P값	
lambda(λ)							Coeff	-0.0305 ***	t값	-4.59	P값	0.000	Coeff		t값		P값		Coeff	-0.0307 ***	t값	-4.62	P값	0.000
rho(ρ)							Coeff		t값		P값		Coeff	0.1233 ***	t값	3.51	P값	0.000	Coeff	0.1337	t값	1.07	P값	0.284
Pseudo R ²	0.0483			0.06854			Coeff	0.12663	t값		P값		Coeff	0.13267	t값		P값		Coeff	0.128137	t값		P값	

주: 1) ***, **, *은 각각 1%, 5%, 10%에서 유의함.

2) 공간 모형의 경우 최우추정법(MLE)을 활용하였기 때문에 log-likelihood 통계량을 Pseudo R^2 로 환산한 것임.

4.2. 단수모형의 예측력 평가

토양수분 변수가 포함된 공간회귀 단수모형 ③, ④, ⑤를 대상으로 표본 외(out of sample test) 예측검정을 실시하기 위해 추정기간을 기존보다 2년(1997~2016년) 짧게 설정하고, 나머지 2년간(2017~2018년) 단수 예측치와 실측치를 이용하였다(표 6). 예측오차 통계량 RMSE를 보면 ④ SEM 모형의 경우 각각 0.215 값으로 예측력이 가장 뛰어난 것으로 평가된다. 이어서 ③ SAR 모형 0.3358, ⑤ SAE 모형 0.3369 순으로 예측력이 뛰어난 것으로 나타났다. RMSE 기준으로 볼 때 ④ SEM 모형의 RMSE 값이 나머지 모형의 RMSE 값보다 약 56% 작은 것으로 나타나, 공간회귀 단수모형 ④의 예측능력이 여타 모형 대비 월등한 것으로 평가할 수 있다.

표 6. 표본 외 예측력 평가 결과

예측오차 통계량	③ SAR(spatial lag)	④ SEM(spatial error)	⑤ SAE(spatial lag-error)
RMSE	0.3358114	0.215374	0.3369259
MAE	0.2870383	0.1650536	0.2878926

자료: 추정기간 1997~2016년, 표본 외 기간 2017~2018년

5. 요약 및 결론

최근 들어 이상기후 현상에 따른 고랭지 배추 생산 변동성이 점차 확대되면서 과거보다 여름철 배추 수급 및 가격 불안에 대한 우려가 더욱 커지고 있다. 이에 본 연구는 고랭지 배추 주산지 16개 지역의 기상요인, 토양 및 지형요인, 공간적 종속 요인 등을 고려하여, 고랭지 배추의 전국 생산변화를 예측하는 단수 예측 모형을 수립하여 추정하였다. 특히, 고랭지 배추의 생육은 기후환경 요인뿐만 아니라 토양환경 요인에도 지대한 영향을 받아 단수에 영향을 주게 된다. 특히, 토양환경 요인 중 토양의 함수량은 단수 결정요인으로써 있어 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 그동안 대부분 선행연구들의 작물의 단수함수 구성은 최고온도, 최저

온도, 강수량, 일조량 등 기후요인을 중심으로 단수 추정을 시도해 왔다. 따라서 본 연구에서는 고랭지 배추의 정식 이후 생육기간동안 토양 수분의 함수량 측정을 위해 토양수분균형모형(soil water balance model)을 활용하여 토양 수분의 함수량을 계측하였고, 이를 단수모형 구축 시 적용하였다. 더하여, 공간적으로 연계되어있는 지역 간 자료를 고려하여 단수 모형 추정의 고도화를 시도하여 단수모형의 예측력을 개선하고자 하였다. 이에 따라 일반회귀 단수모형 보다 공간회귀 단수모형 모형의 적합도가 우수한 것으로 추정되었고, 이를 토대로 개별 변수의 통계적 유의성을 살펴본 결과, 토양수분균형모형으로부터 추계된 토양수분 함수량 변수의 경우 단수에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 고랭지 배추의 생육과정에서 수분 공급의 중요성을 재확인되었다. 그러나 이 연구의 궁극적 목적은 추정된 계수를 바탕으로 정교한 단수 예측에 있다고 할 수 있으며, 이를 위해 예측력에 대한 평가를 실시하였다. 선정된 단수 모형의 예측력 평가 결과, 지역 간 공간 연계성을 고려하고 토양수분 함수량을 모형형태에 포함시킨 공간회귀 단수모형이 예측능력이 월등한 것으로 평가되었다. 이와 같이 새로이 개발된 고랭지 배추 단수 모형을 이용하여 배추 생산 예측이 정확하게 이루어진다면, 배추 생산자, 산지유통인의 경우 생산 예측 정보를 활용하여 출하량 및 출하시기 의사결정 시 적절히 활용될 수 있을 것이다. 나아가 정부는 배추 출하기 수급안정대책 수립 시 긴급 기초자료로서 활용가치 제고를 기대할 수 있다.

참고문헌

- 농촌진흥청. 2002. 「배추 재배기술」.
- 농촌진흥청. 2019. 「농업기술길잡이 128」.
- 이성우·윤성도·박지영·민성희. 2006. 「공간계량모형응용」. 박영사.
- 윤성은. 2013. 「농업경영체 유형화 및 농업생산 공간분포 요인분석」. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 정호중, 정원호. 2016. “배추수급모형추정을 통한 가격변동시나리오분석.” 농업경영·정책연구 43(4): 897-920.
- 최병옥 외. 2020. “기상환경 변화가 배추·무 단수와 가격 변동성에 미치는 영향 분석.” 농촌경제 4(1): 21-47.
- 한석호 외. 2011. 「기상요인을 고려한 단수예측모형 개발연구」. 한국농촌경제연구원.
- 국립농산물품질관리원. 각 연도. 「작물통계」.
- 강릉시. 각 연도. 「강릉시 통계연보」.
- 봉화군. 각 연도. 「봉화군 통계연보」.
- 평창군. 각 연도. 「평창군 통계연보」.
- 삼척시. 각 연도. 「삼척시 통계연보」.
- 양구군. 각 연도. 「양구군 통계연보」.
- 영월군. 각 연도. 「영월군 통계연보」.
- 인제군. 각 연도. 「인제군 통계연보」.
- 정선군. 각 연도. 「정선군 통계연보」.
- 태백시. 각 연도. 「태백시 통계연보」.
- 홍천군. 각 연도. 「홍천군 통계연보」.
- 횡성군. 각 연도. 「횡성군 통계연보」.
- 무주군. 각 연도. 「무주군 통계연보」.
- 문경시. 각 연도. 「문경시 통계연보」.
- 영양군. 각 연도. 「영양군 통계연보」.
- 단양군. 각 연도. 「단양군 통계연보」.
- 제천시. 각 연도. 「제천시 통계연보」.
- KOSIS 국가통계포털. <<http://kosis.kr>>.
- 기상청 관측자료. <<http://www.kma.go.kr>>.
- 농촌진흥청 흙토람. <<http://soil.rda.go.kr>>.
- Anselin, L. 1988. Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Pesaran, M. H. 2004. General diagnostic tests for cross section dependence in panels.

- University of Cambridge, Faculty of Economics, Cambridge Working Papers in Economics No. 0435.
- Seonghuyk, H., Epplin, F.M., Byoung-hoon L., Raymond H. 2009. "A probabilistic estimate of the frequency of mowing and baling days available in Oklahoma USA for the harvest of switchgrass for use in biorefineries." *Biomass & Bioenergy*. 33: 1037-1045.
- U.S. Soil Conservation Service. 1986. *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release 55. Washington DC: U.S.Department of Agriculture.
- Wooldridge, J.M. 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press.

부표 1. 최근 5개년 월평균 배추 반입량(2016~2020)

산지	7월	산지	8월	산지	9월	산지	10월
강원평창군	158,975	강원평창군	123,973	강원강릉시	282,759	강원평창군	140,622
강원횡성군	57,058	강원태백시	107,520	강원평창군	96,404	강원강릉시	79,050
강원강릉시	43,353	강원강릉시	99,566	강원정선군	65,611	강원횡성군	70,640
강원정선군	43,347	경북문경시	50,783	강원태백시	62,740	충북단양군	58,488
경북영양군	43,262	강원영월군	33,921	강원삼척시	42,726	강원홍천군	48,058
경북봉화군	40,796	강원정선군	32,726	경북문경시	36,100	강원영월군	47,858
경북문경시	35,112	강원양구군	30,580	강원횡성군	35,187	강원정선군	43,843
강원태백시	33,229	강원횡성군	28,750	강원홍천군	31,114	충북제천시	35,987
충북제천시	32,488	강원삼척시	27,654	충북제천시	29,565	강원태백시	29,911
강원삼척시	31,082	경북영양군	25,405	강원영월군	21,242	경북문경시	29,032
강원홍천군	30,863	경북봉화군	15,211	충북단양군	15,637	경북영양군	28,944
강원화천군	25,800	강원홍천군	15,144	경북봉화군	15,005	경북봉화군	28,146
강원인제군	8,900	전북무주군	9,375	강원양구군	14,995	강원삼척시	21,413
강원영월군	21,681	강원인제군	8,960	전북무주군	11,510	강원인제군	16,957
전북무주군	18,115	기타	73,235	강원인제군	9,826	전북무주군	12,500
기타	135,902			경북영양군	5,000	강원양구군	10,598
				기타	47,195	기타	493,466
주산지계	624,062 (82.1%)		609,569 (89.3%)		784,890 (94.3%)		714,887 (59.2%)
합계	759,964		682,804		832,085		1,208,353

자료: 서울가락동 농수산물도매시장 반입량 기준

부표 2. 배추 정식 및 수확기 순기표

구분	작형	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	주 출하지
봄	시설		정식			수확								충남(예산), 전남(나주) 경기(평택)
	터널													경남(의령, 외성) 충남(아산, 홍성)
	노지													경북(문경, 영양) 강원(영월)
고랭지	준고랭지 1기작													강원(평창, 횡성)
	고랭지배추													강원(강릉, 태백, 삼척, 정선, 평창 등)
	준고랭지 2기작													강원(평창, 횡성)
가을	-													전국(해남, 아산, 고창, 강릉, 춘천)
겨울	-													전남(해남)

출처: 한국농촌경제연구원 농업관측본부 담당자 의견

부표 3. 기상청 기상자료 개방포털(www.data.kma.go.kr)

부표 4. 농촌진흥청 흙도람(http://soil.rda.go.kr)

