

생육정보를 이용한 가을배추와 가을무 단수 예측 모형 개발*

이춘수** · 양성범***

Development of Yield Forecast Models for Autumn Chinese Cabbage and Radish Using Crop Growth and Development Information

Lee, Choon-Soo · Yang, Sung-Bum

This study suggests the yield forecast models for autumn chinese cabbage and radish using crop growth and development information. For this, we construct 24 alternative yield forecast models and compare the predictive power using root mean square percentage errors. The results shows that the predictive power of model including crop growth and development informations is better than model which does not include those informations. But the forecast errors of best forecast models exceeds 5%. Thus it is important to establish reliable data and improve forecast models.

Key words : *yield forecast, autumn chinese cabbage, autumn radish, crop growth and development information, root mean square prediction error*

I. 서 론

배추, 무, 고추 등 주요 노지채소는 재배면적과 단수 변동, 비탄력적 수요 등으로 가격 폭등과 하락을 반복하여 불안정한 수급문제가 사회적 이슈로 대두되고 있다. 이에 정부는 한국농촌경제연구원을 통한 관측을 강화하고, 수급안정을 위한 농산물수급조절위원회를 설치하여 수급문제에 대응하고 있다.

선제적인 수급 안정대책 수립을 위해 재배면적 예측과 함께 단수 예측이 중요하다. 그러

* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ012262)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 단국대학교 환경자원경제학과 강사

*** Corresponding author, 단국대학교 환경자원경제학과 조교수(passion@dankook.ac.kr)

나 다양한 기상요인을 고려한 단수 예측 모형이 제시되고 있으나, 대부분 쌀에 집중되어 있다. 또한 노지 채소를 대상으로 한 예측 모형의 경우 예측력이 높지 않고,¹⁾ 기상이변이 빈번해짐에 따라 단수 예측에 어려움이 있다.

농촌진흥청에서는 매년 마늘, 양파, 배추(고랭지배추, 가을배추), 무(고랭지무, 가을무), 고추 등의 주요 채소의 주산지 생육조사를 실시하고 있다. 모형의 예측력 향상을 위해 단수에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인의 발굴이 중요하고, 특정 시점의 생육정보는 해당 시기의 생육환경을 반영하기 때문에 생육조사 정보의 활용이 모형의 예측력 향상에 기여하리라 기대된다. 이에 본 연구는 가을배추와 무를 대상으로 생육정보를 이용한 단수 예측 모형을 개발하여 예측력을 평가하고자 한다.

기존의 채소 단수 예측 모형은 대부분 단수를 종속변수로 두고, 기온, 강수량, 기술발전, 전기단수 등을 설명변수로 설정한 계량경제학적 모형이다(Lee, 1996; Lee et al., 2005; Kim et al., 2010; Han et al., 2011).²⁾ Park과 Park(2013)은 기온, 강수량뿐만 아니라 고온 및 저온 피해(고온 및 저온피해는 최고온도와 최저온도가 작물별 극값을 넘어서는 일수를 대리변수로 포함함), 태풍피해(태풍횟수를 대리변수로 포함), 생육적온 일수, 그리고 지역별 특성을 의미하는 지역별 더미를 설명변수로 포함하는 작형별 배추와 무 단수 예측 모형을 제시하였다. 본 연구는 선행연구에서 검토한 기상변수와 함께 농촌진흥청 생육정보를 설명변수로 반영한 예측 모형을 개발하고, 기상변수만을 반영한 모형과 예측력을 비교한다는 점에서 차별성을 가진다. 또한 배추와 무 생육에 관한 선행연구를 검토하여 Park과 Park(2013)에서 고려하지 못한 일교차, 생장도일(GDD, growing degree-days), 상대습도, 생장도일 등의 기상변수의 효과를 반영한 단수 예측 모형을 설정하였다.

본 연구는 생육조사 정보를 이용한 가을배추와 무 단수 예측 모형을 제시하였다. 이를 위해 첫째, 농촌진흥청의 농작물 생육조사 현황을 검토하고, 둘째, 생육정보와 기상변수를 설명변수로 설정한 단수 예측 모형을 개발하여 다양한 예측 모형의 예측력을 평가하였다. 기상변수는 배추와 무 생육에 관한 선행연구를 검토하여 선정하였다. 마지막으로, 가을배추와 무 단수 예측력 향상을 위한 함의를 제시하였다.

1) 비교적 최근에 배추와 무를 대상으로 단수 예측모형을 개발한 박지연·박영구(2013)에서는 예측력이 가장 우수한 봄무 단수 예측 모형의 R²가 0.718로 예측력이 높지 않다.

2) 해외에서는 계량경제학적 모형 이외에 EPIC(Environmental Policy Integrated Climate) 모형 등의 작물 모형(crop model)을 개발하여 활용하고 있다. EPIC 모형은 기후, 작물 환경 제어, 수문학, 토양침식, 거름침식, 영양소, 농약, 토양온도, 작물 생육 모형, 경작지, 경제변수(경영비) 등 다양한 변수를 고려한 작물 모형으로 주요 모수를 추정하지 않고, 변수 사이의 관계에 관한 실험결과를 모수에 반영하여 시뮬레이션하는 계측모형(calculation model)이다. 국내에서는 주요 변수와 작물의 생육 사이의 관계에 관한 시험통계 자료의 미비로 작물모형 구축에 한계가 있다.

Ⅱ. 농촌진흥청 농작물 생육조사 현황

농촌진흥청에서는 수급 변동이 큰 마늘, 양파, 배추, 무, 고추 등의 주요 채소의 생육정보와 병해충 정보를 제공하고 있다. 각 시군 주산지 중심으로 농가 포장을 관찰포로 선정하여 시기별로 생육 및 병해충 발생상황을 조사함으로써 영농시기별 기술지도 자료로 활용한다. 개소당 포장의 규모는 10-50a 이내로 2014년 기준으로 16개 작목에 대해 생육조사를 실시하고 있다(Table 1).

Table 1. Crop growth and development survey items

	Item
Paddy rice	Paddy rice
Vegetables	Alpine region radish and chinese cabbage, Autumn radish and chinese cabbage, Chili peeper, Garlic, Onion
Fruits	Apple, Pear, Peach, Grape, Sweet persimmon, Citrus
Upland crops	Barley, Soybean

Source: Manual for Crop Growth and Development Survey (Rural Development Administration, 2014)

생육조사 결과는 시군농업기술센터 작목별 담당자가 생육시기별로 사전에 정해진 시점에 조사를 실시하고, 국가농작물병해충관리시스템(NCPMS)에 조사정보를 입력하여 관리되고 있다. 주산지의 생육정보는 연도별, 조사회차별로 제공되는데, 주산지 시군구의 평균값은 제공되지만, 주산지 내 관찰포별 자료가 제공되지 않아 자료 이용에 한계가 있다. 또한 생육조사 관계자만이 생육정보를 이용할 수 있어 활용도가 떨어진다.

「농작물 생육조사에 관한 규정」(농촌진흥청 훈령 제845호)에서는 생육조사 시점과 시점별 조사 항목을 규정하고 있다. 가을배추와 무는 매년 9월 1일에서 10월 16일까지 총 4회 조사하고, 시점별 조사항목은 Table 2와 같다. 추가로 강우기 침수피해와 폭염기 폭염피해, 추대가 발생하는 품목의 경우 추대 현황을 조사한다.

Table 2. Survey items for autumn chinese cabbage and radish

	Growth and development information	Disease and insect pest information
September 1st and 16th, October 1st	Number of heads by 3.3 m ² , length of leaves, number of leaves	Cabbage butterfly, cabbage moth, <i>spodoptera exigua</i> , <i>spodoptera litura</i>
October 16th	Number of heads by 3.3 m ² , length of leaves, number of leaves, estimated production by 10a	

Source: Manual for Crop Growth and Development Survey (Rural Development Administration, 2014)

그러나 일부 시군구의 특정 시점 정보가 누락되어 있거나, 입력 오류로 추정되는 정보(조사시점이 상이함에도 이전 시점의 생육정보와 차이가 없는 정보 등)가 있어 생육정보 활용에 한계가 있다. 또한 생육조사 규정에 결주율(재식주수에서 활착하지 못한 주수가 차지하는 비율), 재식주수에서 결주율과 수확불능 비율을 제외한 상품화율, 생리장해 발생주수 비율, 병 발생주수 비율 등이 조사된다고 하였으나 해당 정보가 구축되지 않아 이용에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 정보 활용이 가능한 시군구와 시점의 초장, 엽수, 10a당 예상수량을 단수 예측을 위한 설명변수로 설정하였다. 병해충 정보의 경우 정량화가 어렵고 병해충의 영향이 작물의 생육에 반영되었음을 고려하여 설명변수로 반영하지 않았다. 향후 생육조사 정보의 활용도 제고를 위해 누락 및 입력 오류 방지와 추가 정보 수집 및 관리를 위한 방안 마련이 중요하며, 병해충 정보 반영을 위한 정량화 작업이 필요하다.

Ⅲ. 연구방법

1. 단수 예측을 위한 설명변수

단수 예측을 위한 설명변수는 생육정보 변수와 기상변수로 구분된다. 자료의 제약을 고려하여 생육정보 중 자료 활용이 가능한 시군구 및 시점의 초장, 엽수 및 10a당 예상수량을 설명변수로 설정하였다. 10a 예상수량은 각 연도별 마지막 시점(4회차)에 조사된다.

기상변수는 배추와 무 재배 방법과 고추의 생리, 생태적 특성 및 재배기술을 정리한 농촌진흥청의 농업기술길잡이 교본(RDA, 2013a, 2013b)과 선행연구를 검토하여 기온, 일교차, 강수량, 일조량, 습도, 생장도일(GDD), 이상저온 및 이상고온 등을 설명변수로 선정하였다. 지면온도도 중요하지만 기온과 상관관계가 높기 때문에 제외하였다.

배추는 서늘한 기후를 좋아하는 호냉성 채소로서 성장 적합온도는 18-20℃, 결구 적합온도는 15-18℃이며, 비교적 추위에 강하여 동해(frost damage) 발생 가능 온도는 -8℃ 정도이나 갑자기 온도가 낮아지면 -3℃ 정도에서도 피해를 입을 수 있다(RDA, 2013a). 또한 고온 발생 시 결구가 늦어질 뿐만 아니라 상품성이 저하된다. 무는 서늘한 기후를 좋아하고 추위와 더위에 약하며, 적정온도는 15-20℃ 이고, 낮은 온도에서도 비교적 잘 견디지만 다 자란 무는 0℃ 이하의 온도에서 동해 피해를 입을 수 있다(RDA, 2013b). 이에 본 연구에서는 평균 기온, 평균 일교차, 이상고온 일수, 이상저온 일수 및 동해 발생 가능 일수를 설명변수로 설정하였다. 이상고온 일수의 경우 30℃ 이상의 고온조건에서 대부분 식물이 호흡량 증가로 성장량이 축적되지 않을 수 있다는 Kim and Yun (2008)의 연구를 고려하여 일 최고기온 30℃ 이상 일수로 설정하였다. 13℃ 이하의 낮은 온도에서 일정기간 경과하면 꽃눈이 생기고 이후 높은 온도나 해 비치는 기간이 길어지면 추대가 발생할 수 있기 때문에(RDA,

2013a, 2013b) 일 최저기온 13°C 미만 일수를 이상저온 일수로 설정하였다. 그리고 동해 가능 일수는 일 최저기온 -3°C(가을배추)와 0°C(가을무) 미만 일수로 설정하였다.

배추의 경우 일조가 충분하고 영양상태가 좋으면 식물호르몬 중 옥신(auxin)이 체내에서 생성되고 이 옥신이 잎의 뒤쪽으로 이동해서 세포를 신장시켜 잎의 뒤쪽이 표면보다 크게 발육하므로 잎은 서게 되고 결구상태가 된다(RDA, 2013a). 무는 비교적 강한 빛을 좋아하는 채소로 뿌리가 굵어지기 위해서는 지상부 잎이 잘 자라서 충분한 광합성을 통해 양분을 공급해야 하고, 일조량이 부족할 경우 양분 공급이 적어져 뿌리가 굵어지기 어려우며, 수확량을 감소시킨다(RDA, 2013b). 이러한 일조의 중요성을 고려하여 일조량을 설명변수로 설정하였다.

배추는 비교적 많은 수분을 필요로 하는 품목으로 건조에 약하여 생육 초기에 가물면 생육이 억제되어 수확량이 급격히 감소하지만, 반면 지나치게 과습하면 뿌리가 썩지 못하고 생육이 불량하게 된다(RDA, 2013a). 무의 경우에도 지나치게 습하거나 건조한 토양에서는 뿌리가 잘 자라지 못한다(RDA, 2013b). 또한 토양이 건조하거나 과습할 경우 배추와 무에 각종 병해가 발생할 수 있다. 이에 강수량과 상대습도를 설명변수로 설정하였다.

GDD는 정식 이후 수확까지 일정 수준의 성장을 위해서는 누적온도가 필요하기 때문에 설명변수로 설정하였다. GDD는 Kim과 Yun(2008)을 참고한 식 (1)을 이용하여 계산하였고, 식에서 T_b 는 기저기온(base temperature)이다. GDD는 온도가 상승할수록 식물의 성장량이 비가역적으로 늘어나는 현상을 나타내는 지표이기 때문에 적절한 기저기온을 설정하지 않을 경우 마이너스 생장이 발생할 수 있고, 30도 이상의 고온조건에서는 대부분 식물의 급격한 호흡량 증가 때문에 계산된 GDD와 무관하게 실제로는 성장량이 축적되지 않을 수 있다(Kim and Yun, 2008). 이에 본 연구에서는 기저온도(T_b)를 5도로 설정하고, 일 최고기온 상한을 30도로 두었다.

$$(1) \quad GDD = \sum [(일\ 최고기온 + 일\ 최저기온)/2 - T_b]$$

기온, 일교차, 강수, 일조량, 습도의 효과를 반영하기 위한 대리변수로 월평균 기온, 월평균 일교차, 월평균 누적강수량, 일평균 합계일조시간 및 월평균 상대습도를 이용하였다. 기온, 일교차, 강수, 일조량, 습도 등의 요인의 영향은 생육 시기에 따라 다르기 때문에 생육기간을 구분하여 적용하였다. 파종 또는 정식 이후 월별로 변수를 적용하는 방식이 적합하지만, 자료 제약에 따른 자유도 문제를 고려하여 생육기간을 가을배추는 정식 및 생육기(8-10월)와 수확기(11-12월)로 구분하고, 가을무는 파종 및 생육초기(7-8월)와 생육중후기 및 수확기(9-10월)로 구분하였다.

이상저온 및 고온 일수, 동해 발생 가능 일수, GDD는 해당 변수가 생육에 주로 영향을 미치는 시점의 자료를 적용하였다. 이상저온 및 고온 일수의 경우 가을배추는 8-9월, 무는

7-8월의 자료를 적용하고, 동해 발생 가능 일수는 가을배추는 수확기(11-12월), 무는 생육중 후기 및 수확기(9-10월)를 적용하였다. GDD는 생육에 영향을 미치므로 가을배추는 정식 및 생육기(8-10월), 무는 파종 및 생육초기와 생육중후기(7-9월)의 자료를 이용하여 산출하였다.

2. 단수 예측 모형 및 예측력 비교 방법

단수 예측 모형은 생육조사 정보, 기상요인, 주산지(광역시도 기준) 단수 자료를 패널자료로 구축하여 단수를 종속변수로 하는 pooled OLS 모형을 이용하여 구축하였다. 이는 생육정보 제약에 따라 모형 추정에 사용되는 자료가 불균형 정도가 심한 불균형 패널자료(unbalanced panel data)로서 모형의 자유도 문제 등으로 패널의 고정효과(fixed effect) 및 임의효과(random effect) 모형 추정에 한계가 있기 때문이다.

다양한 예측 모형의 예측력을 비교하기 위해 4개 생육정보 시나리오와 6개 기상변수 시나리오를 구축하여 총 24개 모형을 추정하였다(식 2). 식에서 단수_{i, T}는 i 광역시도의 수확기(T) 단수, $GDI_{i, t}$ 와 $GDI_{i, t-k}$ 는 i 광역시도 생육정보 표본 조사구의 단수예측 시점(t) 및 이전 시점(t-k)의 생육정보, $WI_{i, t-k}$ 와 $WI_{i, t+q}$ 는 단수예측 시점 이전(t-k)과 이후 시점(t+q)의 기상변수 벡터를 의미한다.

$$(2) \quad \text{단수}_{i, T} = f(GDI_{i, t}, \dots, GDI_{i, t-k}, WI_{i, t-k}, WI_{i, t+q})$$

생육정보 시나리오 M1은 1차 조사의 정보만을 반영한 시나리오이고, M2는 1차에서 2차, M3는 1차에서 3차의 정보를 반영한 시나리오이다(Table 3). 시나리오 M4에는 4차 조사 정보만을 반영하였다. 이는 4차에 조사하는 예상단수에 이전 시점의 초장과 엽수 정보에 반영된 생육 환경의 효과가 반영되었기 때문이다.

Table 3. Scenarios for crop growth and development information

	1st survey (September 1st)	2nd survey (September 16th)	3rd survey (October 1st)	4th survey (October 16th)
M1	o	x	x	x
M2	o	o	x	x
M3	o	o	o	x
M4	x	x	x	o

Note: 'o' and 'x' mean inclusion and exclusion of informations from that survey.

기상변수 시나리오는 Table 4와 같다. 시나리오 W0는 기상변수를 제외한 생육정보만을 변수로 반영한 시나리오이고, W1에서 W3는 이상기상의 효과를 제외한 시나리오, W4와 W5는 이상기상 효과를 반영한 모형이다. 기상변수 시나리오와 별도로 예측력이 가장 우수한 모형을 대상으로 기상변수만을 반영한 모형을 추정하여 생육정보 반영에 따른 예측력 향상 수준을 평가하였다.

Table 4. Scenarios for weather variables

	Temperature	Precipitation	Humidity	Sunshine amount	GDD	Daily temperature range	Abnormal low temperature days	Abnormal temperature days	Frost damage days
W0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W1	o	o	x	x	x	x	x	x	x
W2	o	o	o	o	x	x	x	x	x
W3	o	o	o	o	o	x	x	x	x
W4	o	o	o	o	o	o	o	o	x
W5	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Note: 'o' and 'x' mean inclusion and exclusion of that variable.

모형의 예측력은 측정단위에 따라 그 값이 달라지는 RMSE (root mean square error)를 상호비교 가능한 백분율 단위로 전환한 RMSPE (root mean square percentage error)를 이용하여 평가하였다(식 3). 식에서 T는 예측 대상 시점의 수, Y_t^s 는 예측 단수, Y_t 는 실제 단수를 의미한다.

$$(3) \quad \text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{Y_t^s - Y_t}{Y_t} \right)^2}$$

IV. 분석자료 및 결과

1. 분석자료

본 연구는 생육정보 수집이 시작된 1996년에서 2015년까지의 연도별 자료를 이용하여 단수 예측 모형을 추정하였다. 연도별 가을배추와 가을무 단수는 통계청에서 제공하는 광

역시도 단위 주산지별 단위(kg/ha)를 이용하였다. 생육조사 관찰포가 설치된 광역시도 기준 주산지는 가을배추는 강원, 경기, 경북, 전북, 전남, 충북, 충남 등 7개 광역시도, 가을무는 강원, 경기, 충북, 충남, 전북, 경북 등 6개 광역시도이다. 주산지 광역시도의 최근 5개년 (2011-2015) 기준 재배면적은 가을배추 13,106 ha, 가을무 5,187 ha로 각각 전국 재배면적의 73.1%, 가을무 88.9%를 차지한다(Table 5).

Table 5. Acreage of autumn chinese cabbage and radish (2011-2015)

		Acreage(ha)			Proportion		
		Chief producing district	Other district	Total	Chief producing district	Other district	Total
Autumn chinese cabbage	2011	14,989	2,337	17,326	86.5%	13.5%	100.0%
	2012	11,930	1,478	13,408	89.0%	11.0%	100.0%
	2013	13,312	1,783	15,095	88.2%	11.8%	100.0%
	2014	13,762	1,471	15,233	90.3%	9.7%	100.0%
	2015	11,537	1,187	12,724	90.7%	9.3%	100.0%
	mean	13,106	1,651	14,757	88.9%	11.1%	100.0%
Autumn radish	2011	7,401	2,347	9,748	75.9%	24.1%	100.0%
	2012	4,959	1,867	6,826	72.6%	27.4%	100.0%
	2013	5,444	2,088	7,532	72.3%	27.7%	100.0%
	2014	4,052	1,446	5,498	73.7%	26.3%	100.0%
	2015	4,081	1,688	5,769	70.7%	29.3%	100.0%
	mean	5,187	1,887	7,075	73.1%	26.9%	100.0%

Source: National Statistical Office

Note: Chief producing districts of autumn chinese cabbage are 7 provinces (Gangwon, Gyeonggi, Gyeongbuk, Jeonbuk, Jeonnam, Chungbuk, Chungnam) and those of autumn radish are 6 provinces (Gangwon, Gyeonggi, Gyeongbuk, Jeonbuk, Chungbuk, Chungnam).

조사시점별 생육정보(초장, 엽수, 10a당 예상수량)은 농촌진흥청 국가농작물병해충관리 시스템(NCPMS)을 통해 제공받았고, 기상변수는 기상청 기상자료공개포털에서 제공하는 일별 자료를 이용하였다. 전국 96개 시군구 관측소를 광역시도로 구분한 후 광역시도 내 관측소의 평균값을 해당 광역시도의 기상변수 값으로 적용하였다. 가을배추와 가을무 단위 모형 추정에 활용되는 변수의 기초통계량은 각각 Table 6과 Table 7에 정리하였다.

Table 6. Basic statistics of variables for autumn chinese cabbage yield forecast

	Yield (kg/10a)	Growth and development information ²								
		Length of leaves (cm)				Number of leaves				Estimated production (kg/10a)
		1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	4th
Mean	10206.9	10.6	15.0	27.3	37.2	6.6	8.7	17.4	32.7	8208.2
Median	10315.0	8.5	14.0	28.1	36.6	4.9	7.7	17.8	29.8	8045.8
Max	15778.0	37.7	29.3	37.8	47.3	30.0	24.7	47.7	100.0	12395.0
Min	6243.0	0.0	6.2	6.2	30.3	0.0	3.2	3.2	21.3	5206.7
SD ¹	1467.0	7.6	4.4	7.0	3.8	6.2	3.9	7.1	9.2	1784.3
Samples	333.0	71.0	106.0	103.0	113.0	71.0	106.0	103.0	113.0	45.0
	Monthly average temperature (°C)		Average daily temperature range (°C)		Monthly average precipitation (mm)		Monthly average humidity (%)			
Month	Aug-Oct	Nov-Dec	Aug-Oct	Nov-Dec	Aug-Oct	Nov-Dec	Aug-Oct	Nov-Dec		
Mean	20.6	5.2	9.1	9.7	170.0	41.4	73.3	63.6		
Median	20.6	4.9	9.3	9.7	164.5	33.4	73.8	64.3		
Max	24.1	12.3	12.4	13.2	502.0	233.7	81.6	81.9		
Min	16.9	-0.3	5.4	5.4	25.4	1.2	61.0	42.0		
SD ¹	1.3	2.6	1.5	1.6	85.8	30.3	4.0	7.0		
Samples	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0		
	Daily average sunshine amount (h)		GDD (°C)	Abnormal temperature days	Abnormal low temperature days	Frost damage days				
Month	Aug-Oct	Nov-Dec	Aug-Oct	Aug-Sep	Aug-Sep	Nov-Dec				
Mean	5.9	5.4	1449.8	19.2	3.9	16.3				
Median	5.9	5.4	1434.5	20.0	2.8	16.5				
Max	9.5	8.1	2126.5	42.0	17.3	40.8				
Min	3.5	2.9	1105.7	1.5	0.0	0.0				
SD ¹	0.9	0.9	158.1	7.3	4.0	10.2				
Samples	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0				

Note1: SD means standard deviation.

Note2: Ordinal numbers in growth and development information mean survey period.

Table 7. Basic statistics of variables for autumn radish yield forecast

	Yield (kg/10a)	Growth and development information ²								
		Length of leaves (cm)				Number of leaves				Estimated production (kg/10a)
		1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	4th
Mean	6,670.3	10.8	16.8	29.2	39.0	4.8	7.4	13.7	20.4	5,245.1
Median	6,406.0	9.1	16.6	30.5	38.5	4.3	7.5	13.5	18.8	5,180.2
Max	12,762.0	43.1	51.1	58.4	64.7	19.0	24.9	30.2	111.9	8,580.0
Min	3,841.0	1.8	8.0	7.3	8.7	1.0	3.1	2.9	3.6	3,700.0
SD ¹	1,673.5	7.4	5.9	8.5	6.9	3.5	3.1	4.9	10.3	1,108.1
Samples	333.0	65.0	86.0	88.0	94.0	65.0	86.0	88.0	94.0	55.0
	Monthly average temperature (°C)		Average daily temperature range (°C)		Monthly average precipitation (mm)		Monthly average humidity (%)			
Month	July-Aug	Sep-Oct	July-Aug	Sep-Oct	July-Aug	Sep-Oct	July-Aug	Sep-Oct		
Mean	25.1	18.2	7.4	9.9	305.4	104.9	78.6	70.9		
Median	25.2	18.2	7.5	10.1	301.2	92.7	78.7	71.5		
Max	28.9	22.0	10.1	13.7	774.8	518.2	91.4	81.3		
Min	21.7	14.2	4.6	5.5	75.1	9.7	67.7	56.4		
SD ¹	1.1	1.6	1.1	1.8	120.0	69.0	4.0	4.4		
Samples	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0		
	Daily average sunshine amount (h)		GDD (°C)	Abnormal temperature days	Abnormal low temperature days	Frost damage days				
Month	July-Aug	Sep-Oct	July-Sep	July-Aug	July-Aug	Sep-Oct				
Mean	5.0	6.1	1,746.4	27.7	0.1	0.6				
Median	5.0	6.2	1,735.9	28.3	0.0	0.0				
Max	10.0	9.0	2,350.9	56.0	3.8	5.6				
Min	2.2	3.7	1,446.1	4.0	0.0	0.0				
SD ¹	1.1	0.9	137.5	10.2	0.3	1.0				
Samples	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0	336.0				

Note1: SD means standard deviation.

Note2: Ordinal numbers in growth and development information mean survey period.

2. 분석결과

가을배추 단수 예측 모형별 예측력 비교 결과 4차 조사의 생육정보와 동해 발생 가능 일수를 제외한 모든 기상변수를 반영한 모형(M4-W4)의 예측오차가 6.12%로 예측력이 가장 우수하였다(Table 8).³⁾ 예측력이 가장 우수한 모형을 대상으로 생육정보 반영 전후의 예측력을 비교한 결과 생육정보 반영 이전의 예측오차가 7.81%로 생육정보 반영으로 예측오차가 1.69%p 감소하였다(Table 9).⁴⁾

Table 8. Forecast errors of yield forecast models for autumn chinese cabbage

		Samples	Weather variables scenarios					
			W0	W1	W2	W3	W4	W5
Growth and development information scenarios	M1	71	0.1548	0.1146	0.1028	0.1028	0.0975	0.0960
	M2	70	0.1455	0.1073	0.0955	0.0953	0.0911	0.0893
	M3	70	0.1443	0.1052	0.0954	0.0952	0.0910	0.0887
	M4	45	0.1527	0.0973	0.0893	0.0881	0.0612	0.0613

Table 9. Estimated results of yield forecast models for autumn chinese cabbage

		M4-W4 model		M4-W4 model without growth and development information	
		Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.
Intercept		12429.4	0.750	6548.4	0.337
Growth and Development information	Length of leaves	-197.4**	-2.713	-	-
	Number of leaves	42.0*	1.703	-	-
	Estimated production	-0.2**	-2.389	-	-
Monthly average temperature	Aug-Oct	-2001.9	-1.286	-1253.3	-0.725
	Nov-Dec	335.9**	2.129	301.7*	1.770
Average daily temperature range	Aug-Oct	1532.8***	3.333	1170.6**	2.325
	Nov-Dec	-973.8**	-2.280	-840.4	-1.687

3) 지면 관계상 예측력이 가장 우수한 모형 이외의 모형별 추정 결과는 생략하였으나, 저자에게 요청할 경우 제공받을 수 있다.

4) 생육정보 반영 전후의 예측력 비교를 위한 표본은 동일한 표본을 적용하였다.

		M4-W4 model		M4-W4 model without growth and development information	
		Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.
Monthly average precipitation	Aug-Oct	-2.5	-0.578	-1.6	-0.336
	Nov-Dec	-1.4	-0.116	-1.1	-0.083
Monthly average humidity	Aug-Oct	78.4	0.676	-36.7	-0.283
	Nov-Dec	29.7	0.488	42.8	0.632
Daily average sunshine amount	Aug-Oct	-941.5**	-2.212	-732.7	-1.469
	Nov-Dec	1087.1*	1.715	1187.5*	1.819
GDD (Aug-Oct)		28.8*	1.720	22.1	1.160
Abnormal temperature days		-60.6	-1.413	-73.2	-1.456
Abnormal low temperature days		-87.5	-1.245	-70.0	-0.858
R ² (adj. R ²)		0.827 (0.728)		0.730 (0.617)	
RMSPE		0.0612		0.0781	

Note: Single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% levels, respectively.

가을무의 단수 예측 모형별 예측력 비교 결과 가을배추와 달리 1차에서 3차 조사의 생육 정보와 선정된 모든 기상변수를 반영한 모형(M3-W5)의 예측오차가 10.50%로 예측력이 가장 우수하였다(Table 10). 예측력이 가장 우수한 모형을 대상으로 생육정보 반영 전후의 예측력을 비교한 결과 생육정보 반영 이전의 예측오차가 13.82%로 생육정보 반영으로 예측 오차가 3.32%p 감소하였다(Table 11).

Table 10. Forecast errors of yield forecast models for autumn radish

		Samples	Weather variables scenarios					
			W0	W1	W2	W3	W4	W5
Growth and development information scenarios	M1	65	0.2317	0.1817	0.1517	0.1504	0.1304	0.1263
	M2	65	0.2296	0.1718	0.1369	0.1317	0.1111	0.1075
	M3	62	0.2232	0.1705	0.1326	0.1262	0.1074	0.1050
	M4	55	0.1800	0.1540	0.1231	0.1122	0.1198	0.1119

Table 11. Estimated results of yield forecast models for autumn radish

		M3-W5 model		M3-W5 without growth and development information		
		Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.	
Intercept		-39172.3**	-2.695	-38664.1**	-2.290	
Growth and development information	1st	Length of leaves	96.3	1.166	-	-
		Number of leaves	-28.3	-0.167	-	-
	2nd	Length of leaves	82.4	1.088	-	-
		Number of leaves	-137.3	-0.876	-	-
	3rd	Length of leaves	50.9	1.544	-	-
		Number of leaves	-47.1	-0.752	-	-
Monthly average temperature	July-Aug	1433.7**	2.395	1209.0	1.601	
	Sep-Oct	707.4	1.592	592.8	1.099	
Average daily temperature range	July-Aug	763.7*	1.978	709.8	1.485	
	Sep-Oct	-598.2*	-1.778	-496.1	-1.327	
Monthly average precipitation	July-Aug	-3.3**	-2.286	-3.5**	-2.041	
	Sep-Oct	-3.7	-1.109	-5.2	-1.329	
Monthly average humidity	July-Aug	125.2*	1.723	172.6**	2.030	
	Sep-Oct	23.2	0.336	-11.7	-0.133	
Daily average sunshine amount	July-Aug	-739.7**	-2.430	-434.0	-1.453	
	Sep-Oct	1300.8***	2.991	803.7*	1.799	
GDD (July-Sep)		-9.4	-1.132	-3.8	-0.370	
Abnormal temperature days		-80.9	-1.665	-102.9*	-1.802	
Abnormal low temperature days		16.6	0.273	25.1	0.351	
Frost damage days		-117.0	-0.916	-162.9	-1.009	
R ² (adj. R ²)		0.826 (0.741)		0.671 (0.574)		
RMSPE		0.1050		0.1382		

Note: Single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% levels, respectively.

V. 요약 및 결론

본 연구는 가을배추와 무를 대상으로 생육정보를 이용한 단수 예측 모형을 제시하였다. 예측력 평가 결과 가을배추와 무 모두 생육정보를 반영한 모형의 단수 예측력이 기상변수만을 반영한 모형보다 우수하였다. 이는 생육정보를 활용할 경우 단수 예측력 향상이 가능함을 시사한다.

그러나 예측력이 가장 우수한 모형의 예측오차가 가을배추 6.12%, 가을무 10.50%로 5%를 초과한다. 가을배추 단수 예측 모형의 경우 10% 이내의 예측오차를 보이기 때문에 가을무에 비해 상대적으로 우수하지만, 예측력 향상을 위한 모형 개선과 신뢰성 있는 자료 구축이 시급하다.

단수 예측력 향상을 위해 생육조사 정보의 활용이 중요함에도 일부 시군구의 특정 시점 정보가 누락되거나 입력 오류로 추정되는 정보가 있어 정보 이용에 한계가 있다. 생육정보의 누락 및 입력 오류 방지를 위한 농촌진흥청의 관리가 중요하다. 또한 결주율, 상품화율, 생리장해 발생주수 비율, 병 발생주수 비율 등 단수 예측에 기여할 수 있는 관련 정보의 구축이 필요하고, 생육정보 활용도 제고를 위해 생육정보를 일반에 공개할 필요가 있다. 그리고 병해충 정보를 활용한 예측 모형 구축을 위한 정량화 작업이 요망된다. 예측 모형과 관련하여 최근 인공지능 기술과 알고리즘의 발전으로 활용도가 높으리라 기대되는 인공 신경망 모형(artificial neural networks model)의 활용을 고려해 볼 수 있다. 인공 신경망 모형은 자유도 문제에 구속을 받지 않는다는 장점이 있다. 인공 신경망 모형을 이용한 단수 예측은 향후 과제로 남겨둔다.

[Submitted, April. 30, 2017 ; Revised, May. 17, 2017 ; Accepted, May. 21, 2017]

References

1. Han, S. H., B. H. Lee, M. S. Park, J. H. Seung, H. S. Yang, and S. C. Shin. 2011. A Study on Building Crop Yield Forecasting Model Considering Meteorological Elements. P152. Korea Rural Economic Institute.
2. Kim, B. S., M. S. Park, J. H. Cho, and T. K. Kim. 2010. A Demand and Supply Model of Agricultural and Livestock Products for Midterm Outlook. M103. Korea Rural Economic Institute.
3. Kim, J. H. and J. I. Yun. 2008. On Mapping Growing Degree-Days (GDD) from Monthly

- Digital Climatic Surfaces for South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 10(1): 1-8.
4. Lee, J. W. 1996. A Study on the Production Determinants of Chinese Cabbage and Radish. R346. Korea Rural Economic Institute.
 5. Lee, Y. S., H. K. Jung, and S. B. Sim. 2005. A Study on Determinants of Seasonal Supply and Price of Produce in Korea: With Special Emphasis on Weather. R494. Korea Rural Economic Institute.
 6. Park, J. Y. and Y. G. Park. 2013. The Development of Chinese Cabbage and Radish Forecast Models. M125. Korea Rural Economic Institute.
 7. Rural Development Administration, 2013a. Chinese Cabbage. *Agricultural Technology Guide*, 128. Rural Development Administration.
 8. Rural Development Administration, 2013b. Radish. *Agricultural Technology Guide*, 126. Rural Development Administration.