

# 한국의 과채류 재배 스마트 온실 실태: 온실 환경 및 병해충 관리

박영균<sup>1</sup> · 백성훈<sup>1</sup> · 임재성<sup>2</sup> · 김민중<sup>1</sup> · 이준호<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농생명공학부 곤충학전공, <sup>2</sup>㈜팜한농 작물보호연구소, <sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학연구원

## Present Status of Smart Greenhouses Growing Fruit Vegetables in Korea: Focusing Management of Environmental Conditions and Pests in Greenhouses

Young-gyun Park<sup>1</sup>, Sunghoon Baek<sup>1</sup>, Jae Seong Im<sup>2</sup>, Min-Jung Kim<sup>1</sup> and Joon-Ho Lee<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Entomology program, Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>2</sup>Crop Protection R&D Center, Farmhannong Co., Ltd., 39-23, Nonsan 33010, Korea

<sup>3</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

**ABSTRACT:** Smart greenhouses are primarily used for growing fruits and vegetables, such as sweet peppers, tomatoes, strawberries. Although the number of smart greenhouses has been increasing exponentially, no studies have been performed to evaluate the state of smart greenhouses in Korea. Therefore, this study was conducted to determine current state of smart greenhouses with regard to greenhouse specifications, crop growing methods, pests, and user satisfaction in Korea. Contact information for smart greenhouses was provided by the officials of local agricultural research and extension services. This survey was conducted by visiting each greenhouse. Results showed that approximately 50% of surveyed smart greenhouses were between 3,300 m<sup>2</sup> and 6,600 m<sup>2</sup>. The most frequently chosen method for pest control was chemical pesticides (97.1%). Powdery mildew and gray mold comprised 54.4% and 33.8% of the crop diseases, respectively. All tomato greenhouse farmers considered whiteflies the most problematic pest. In contrast, 76.5% and 70.6% of sweet pepper farmers believed thrips and aphids posed significant threats, respectively. The mean satisfaction score was 7.5 out of 10 points, with 10 being “extremely satisfied”. These results will aid in decision making with respect to the management of current smart greenhouses and the design of future smart farms in Korea.

**Key words:** Cultural method, Smart farm, Greenhouse, ICT, Pest

**초 록:** 스마트 온실은 주로 파프리카, 토마토, 딸기와 같은 과채류 작물을 대상으로 보급되었다. 스마트 온실의 보급량은 지속적으로 증가하고 있지만, 그 실태에 대한 조사는 부족하다. 그러므로, 이번 연구를 통해 한국의 스마트 온실의 시설 규모, 재배작물, 재배방법, 발생 병해충과 실사용자의 평가를 중심으로 한 현 실태를 파악하고자 하였다. 스마트 온실의 리스트는 각 권역별 현장지원센터로부터 제공받았으며, 모든 조사는 농가를 직접 방문하여 수행되었다. 조사된 스마트 온실 농가의 약 50%가 3,300 m<sup>2</sup>~6,600 m<sup>2</sup>사이의 규모로 운영하고 있었다. 조사된 농가 중 97.1%가 화학적 방법을 이용해 병해충을 방제하고 있었다. 조사된 농가에서 응답한 주요 식물병은 흰가루병과 잿빛곰팡이병으로 각각 54.4%, 33.8% 비율로 주로 문제가 되는 식물병이라고 응답하였다. 모든 토마토 농가에서 가루이류가 가장 문제가 되는 해충이라고 응답하였다. 그러나, 파프리카 농가의 76.5%, 70.6%가 총채벌레류와 진딧물류를 가장 문제가 된다고 응답하였다. 스마트 온실에 대한 사용자의 만족도는 10점 만점에 평균 7.5점이었다. 이 결과는 한국의 현재 스마트 온실을 관리하고 미래 스마트 온실을 설계하는 계획을 세우는 데 도움이 될 것이라 생각된다.

**검색어:** 스마트팜, 온실, 재배방법, 정보통신기술, 해충

최근 ICT (Information and Communications Technology), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 등을 활용한 기술들이 나노기술, 생

명공학, 3D 프린팅과 같은 4차 산업혁명 관련 여러 산업분야에 적용되고 있다(Park et al., 2013; Kim and Kim, 2019; Yeo, 2019). 4차 산업혁명의 핵심은 사물을 지능화하는 것인데, 이러한 여파가 농업분야에도 ‘스마트 팜(Smart farm)’이란 이름으로 확산되고있다(MAFRA, 2016). ‘스마트 팜’이란 식물 재

\*Corresponding author: jh7lee@snu.ac.kr

Received December 20 2019; Revised February 6 2020

Accepted February 20 2020

배양 시설하우스, 과수원, 축사에 ICT를 접목하여 원격, 자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적정하게 유지, 관리할 수 있는 농장을 의미하며 컴퓨터에 의한 자동 환경제어 및 환경 최적화를 통해 노동력 절감과 고효율의 생산을 가능케하는 시스템이다. 해외에서는 10여년 전부터 정밀 농업(Precision Agriculture, PA)과 농산물 자동화 생산에 관한 연구가 가속화되고 있다는 점도 스마트 팜 보급 활성화에 영향을 미치고 있다(Adrian et al., 2005; McBratney et al., 2005; Choe and Jang, 2019). 정밀 농업과 자동화 생산은 점차 감소되고 있는 농경지 및 노동력 고령화의 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다(MAFRA, 2016; Choe and Jang, 2019). 실제로 대한민국의 농경지 면적은 2006년 기준 1,800,470 ha에서 2016년 1,643,599 ha로 감소했고, 전체 농업인구 대비 55세 이상의 농업인구 연령은 2006년 50.2%에서 2016년 65.0%로 증가하였다(KOSIS, 2010, 2018). 이러한 추세라면 농업 생산은 지속적으로 감소할 수 밖에 없고, 저투입·고효율의 새로운 농업이 필요할 것이다. 시설원에 선진국인 네덜란드와 이스라엘은 오래전부터 재배 자동화, 센서를 이용한 식물 생장 정보 측정 등 ICT를 활용한 첨단 농업을 진행하고 있으며, 우리나라도 이에 대응하여 한국형 스마트 팜 개발, 보급 및 각 기관별 다양한 연구가 진행되고 있다(Chaudhary et al., 2011; MAFRA, 2016). 농림수산식품교육문화정보원은 스마트 팜의 보급을 담당하고 있고, 농촌진흥청은 스마트 팜에 필요한 기술개발, 각 도기술원은 관리 및 현장지도 등으로 다원화되어 사업이 진행되고 있다(MAFRA, 2016). 스마트 팜에 관한 연구 계획은 2016년까지 편의성 향상과 노동력 절감을 목표로 하는 1세대 스마트 팜, 2018년까지 컴퓨터와 사람이 함께 의사결정을 하여 생산성을 향상시키는 2세대 스마트 팜, 2020년까지 컴퓨터에 의한 의사결정을 통해 대량생산을 목표로 하는 3세대 스마트 팜을 개발보급한다는 계획으로 진행중이다(MAFRA et al., 2016).

국내 스마트 팜 중에서 스마트 축사와 과수원을 제외한 식물 재배용 시설하우스에 보급된 스마트 온실의 면적은, 2016년에 1,912ha, 2017년에 4,010ha로 1년 사이에 2배 이상으로 급증하였다(MAFRA, 2018). 시설원에 스마트 팜 농가는 2016년 기준 760호이며, 주 재배 작물로는 파프리카, 토마토, 딸기와 같은 과채류와 화훼류, 엽채류인 것으로 보고되었다(Kim et al., 2016a). 스마트 온실의 구성요소로는 시설 내 환경을 기록하기 위한 센서가 있고, 이를 통해 환경 요소를 받아들이는 자동환경 제어시스템이 있다(Park et al., 2013; MAFRA, 2016). 사용자가 설정한 환경조건에 따라 자동환경제어시스템이 환기, 온/습도, 관수 등 모든 요소들을 통제하며, 작물 재배를 위한 최적의 환경이 유지될 수 있도록 한다(Park et al., 2013; MAFRA,

2016).

현재 보급된 스마트 온실의 대부분은 기존에 설치되어 있는 온실을 활용하여 자동환경제어시스템을 추가한 것이며, 일부 선도 농가를 제외한 많은 농가들은 현재까지 적합한 재배 모델이 없거나 효과에 대한 확신이 적어 제대로 사용을 하지 못하는 경우도 많다(Kim et al., 2016a). 그리고 현재 보급된 스마트 온실의 가장 큰 문제점 중 하나는 규격화되지 않은 채 설비들이 구비되고 있고, 이로 인해 산업체들의 스마트 팜 설치와 그 이후 사후 관리에 문제가 발생하고 있다(Kim et al., 2016b).

현재 스마트 팜은 농가와 노동력 감소 및 효율성 증대를 위해 필수 불가결한 선택이며 국가적으로 장려하여 그 농가가 기하급수적으로 증가하고 있다(MAFRA, 2018). 스마트 온실과 관행농가의 가장 큰 차이는 온/습도와 같은 시설 내부 환경관리 정밀성의 차이이다. 스마트 온실은 복합환경제어를 통해 설정 온/습도를 비교적 일정하게 유지시킬 수 있고, 이는 병해충 발생에도 영향을 미칠 수 있다. 실제로, 흰가루병, 총채벌레류, 가루이류 등 온실 주요 병해충들은 일정한 온도에서 더 빠른 속도로 증식이 가능한 것으로 알려져 있다(Xu, 1999; Ullah and Lim, 2015).

본 연구조사는 스마트 온실 도입 후 환경 관리 방법, 스마트 온실 재배자들이 체감하고 있는 병해충 발생량 증감 및 주요 병해충, 스마트 온실에 대한 만족도 등을 알아보고자 실시하였다. 이 연구 결과는 농민들이 체감하고 있는 스마트 온실의 실태를 정확히 진단하여 개선점과 향후 연구 및 기술 개발 방향을 설정하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

## Materials and Methods

설문조사는 2017년 5~7월 사이에 수행되었다. 조사 문항은 크게 시설 제원 및 환경관리, 병해충 관리방법, 스마트 온실 사용자의 평가 3가지 영역으로 나눠 구성하였다. 시설 제원 및 환경관리 항목에는 작물의 종류, 시설 면적(m<sup>2</sup>), 재배 기간, 관리 온도 (동절기 주간/야간, 하절기 주간), 관리 습도 등을 조사하였다. 그리고 병해충 관리방법에는 문제가 되는 병과 해충 및 해충 방제 방법 등을 설문 조사하였다. 스마트 온실 사용자의 평가 항목에는 스마트 온실 설치 후 수확량 변화 정도와 병해충 발생 정도, 그리고 스마트 온실에 대한 만족도를 조사하였다. 스마트 온실 만족도는 10점을 만점으로 하여, 점수에 대한 평균과 표준오차를 산출하였다. 딸기 농가 중 1곳이 만족도 점수에 대한 평가를 거부하여 딸기는 15농가에 대한 평균과 표준오차를 산출하였다.

조사에 앞서 지역별 현장지원센터인 각 도 농업기술원(충북,

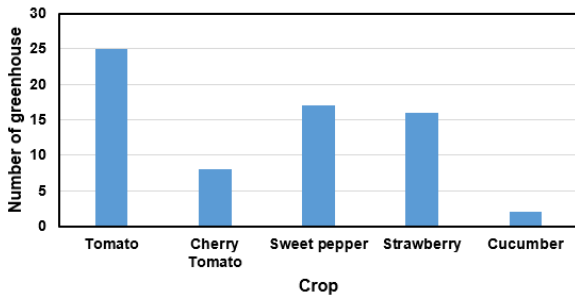


Fig. 1. Cultivated crops in surveyed smart greenhouses.

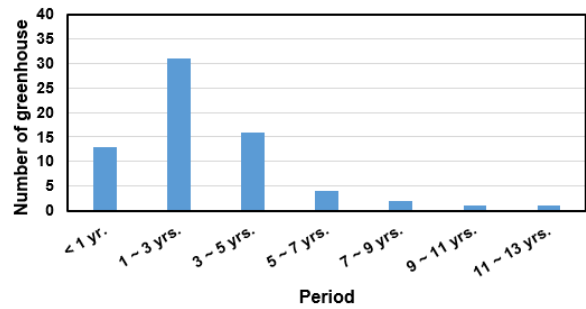


Fig. 2. Cultivation periods in surveyed smart greenhouses

충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원, 제주)과 세종시농업기술센터로부터 과채류 재배 스마트 온실이 설치된 곳의 연락처를 확보하였다. 경기도의 경우 주로 농지를 임대하여 사용하는 지역 농업경영 특성상 스마트 팜이 많이 보급되지 않았고, 2017년 경기도 농업기술원에서 파악하고 있는 곳은 1농가로 이 농가는 설문조사에 응하지 않아 조사에서 제외하였다. 2016년 농림수산식품부 보고서에 따르면 2016년 기준 과채류 스마트 온실 농가는 536농가인 것으로 파악되었으며 이 중 약 10%수준인 54 농가를 목표로 조사를 수행하였고, 최종적으로 68농가에 대해 설문조사 하였다(MAFRA, 2016). 실태조사는 각 지역별 현장 지원센터로부터 확보한 리스트 중 주소와 전화번호가 존재하고 설문에 응한 모든 농가를 대상으로 설문조사를 진행하였고, 농가를 직접방문하여 인쇄된 설문지에 직접 응답을 받아 작성하는 방법으로 진행하였다. 농가의 표본 수와 지역별 분포는 Fig. 1에 나타내었다. 설문조사를 통해 얻어진 데이터 중 통계 분석이 가능한 데이터인 병해충관리 방법, 주요 병해충에 대해 Fisher exact test를 수행하였고 Bonferroni 교정으로 사후 검정 하였다. 그리고 주요 해충 중 가루이류와 총채벌레류는 chi-square test 조건에 충족하여 Chi-square test 후 Bonferroni 교정으로 사후검정하였다. Fisher exact test, Chi-square test, Bonferroni 교정은 통계프로그램 R을 이용해 수행되었다(Core team, 2019). 스마트 팜 이용자들의 만족도는 SAS의 PROC GLM을 이용해 분산 분석하였다(SAS Institute, 2013). 조사에 참여한 오이 농가의 수는 2농가로 그 수가 적어, 통계분석에서 제외하였다.

## Results and Discussion

### 시설 제원 및 환경관리

설문에 응한 스마트 온실에서 재배되는 작물은 완숙토마토

가 37%로 가장 많았고, 파프리카 25%, 딸기 23%, 방울토마토 12%, 오이 3% 순으로 많았다(Fig. 1). 이는 농림축산식품부 (2016)가 보고한 스마트 온실 실태 조사와 비교했을 때, 파프리카 재배 농가의 비율이 감소한 것으로, 파프리카 재배 농가의 경우 재배 방법의 보안 및 병해충 오염 위험 등을 이유로 설문 조사에 쉽게 응하지 않았다. 2017년 기준 농가들의 스마트 온실의 도입시기는 Fig. 2에 나타내었다. 64.7%가 도입한지 3년 미만으로 가장 많았고, 이는 2014년부터 추진된 정부의 스마트 온실 현장 확산 사업의 영향으로 판단된다.

농가당 스마트 온실의 경영 규모는 3,300~6,600m<sup>2</sup> 규모가 전체의 54.4%로 가장 많았고, 뒤를 이어 3,300m<sup>2</sup> 미만의 농가가 17.6%, 6,600~9,900m<sup>2</sup> 규모가 14.7%였으며, 9,900m<sup>2</sup> 이상이 13.4%였다. 딸기는 전체 16농가 중 15농가가 6,600m<sup>2</sup> 이하로 다른 작물에 비해 경영규모가 작았으며, 9,900m<sup>2</sup> 이상의 대형 농가는 파프리카의 비율이 가장 높았다(Table 1). 이는 농림축산식품부 (2016)에서 보고한 자료에 비해 9,900m<sup>2</sup> 이상의 농가 비율이 약 15% 정도 낮은 것으로, 파프리카 재배 스마트 온실을 사용하고 있는 농민들의 참여 부족이 영향을 미친 것으로 보인다.

이번 설문 조사는 파프리카 재배 농민들의 참여가 전체 파프리카 스마트 온실 비율을 고려할 때 상대적으로 부족하기는 하지만, 파프리카 재배의 경우 어느정도 표준화되어 있고 이번 조사에 응답한 파프리카 스마트 온실 농가의 수는 17호로 일정부분 대표성을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 스마트 온실 농가 중 파프리카를 제외하면 재배 품목이나 재배면적 현황은 농림축산식품부 (2016)과 유사하여 이번 설문 조사가 과채류 스마트 온실 재배자들의 환경 및 병해충 관리 현황과 의견을 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

작물별 관리온도를 저온기 주간/야간 온도와 고온기 주간 온도로 나누어 조사하였다(Table 2). 전반적으로 저온기 주간 온도는 관리를 안하는 경우와 27~31℃로 관리하는 경우가 각

**Table 1.** Sizes of surveyed smart greenhouses

Area (m <sup>2</sup> )	Crop, % (n)					
	Tomato	Cherry tomato	Sweet pepper	Strawberry	Cucumber	Total
< 3,300	20.0 (5)	25.0 (2)	0 (0)	31.3 (5)	0 (0)	17.6 (12)
3,300 ~ 6,600	64.0 (16)	50.0 (4)	35.3 (6)	62.5 (10)	0 (0)	52.9 (36)
6,600~9,900	12.0 (3)	25.0 (2)	17.6 (3)	0 (0)	100 (2)	14.7 (10)
9,900 ~ 13,200	0 (0)	0 (0)	23.5 (4)	6.3 (1)	0 (0)	7.4 (5)
> 13,200	4.0 (1)	0 (0)	23.5 (4)	0 (0)	0 (0)	7.4 (5)
Total	100 (25)	100 (8)	100 (17)	100 (16)	100 (2)	100 (68)

**Table 2.** Control of air temperature in surveyed smart greenhouses

Season	Day & Night	Temp. (°C)	Crop, % (n)					
			Tomato	Cherry tomato	Sweet pepper	Strawberry	Cucumber	Total
Low temperature	Day	15 ~ 19	20.0 (5)	25.0 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	10.3 (7)
		19 ~ 23	4.0 (1)	12.5 (1)	11.8 (2)	31.3 (5)	0 (0)	13.2 (9)
		23 ~ 27	12.0 (3)	0 (0)	35.3 (6)	37.5 (6)	0 (0)	22.1 (15)
		27 ~ 31	32.0 (8)	12.5 (1)	29.4 (5)	25.0 (4)	0 (0)	26.5 (18)
		No control	32.0 (8)	50.0 (4)	23.5 (4)	6.3 (1)	100 (2)	27.9 (19)
	Night	5 ~ 9	0 (0)	12.5 (1)	0 (0)	62.5 (10)	0 (0)	16.2 (11)
		9 ~ 13	4.0 (1)	25.0 (2)	11.8 (2)	18.8 (3)	100 (2)	14.7 (10)
		13 ~ 17	84.0 (21)	50.0 (4)	11.8 (2)	0 (0)	0 (0)	39.7 (27)
		17 ~ 21	12.0 (3)	12.5 (1)	76.5 (13)	18.8 (3)	0 (0)	29.4 (20)
		No control	76.0 (19)	87.5 (7)	70.6 (12)	100 (16)	100 (2)	82.4 (56)
High temperature	Day	25 ~ 29	4.0 (1)	12.5 (1)	11.8 (2)	0 (0)	0 (0)	5.9 (4)
		29 ~ 33	8.0 (2)	0 (0)	5.9 (1)	0 (0)	0 (0)	4.4 (3)
		33 ~ 37	12.0 (3)	0 (0)	11.8 (2)	0 (0)	0 (0)	7.4 (5)
		No control	76.0 (19)	87.5 (7)	70.6 (12)	100 (16)	100 (2)	82.4 (56)

**Table 3.** Control of relative humidity in surveyed smart greenhouses

R. H. (%)	Crop, % (n)					
	Tomato	Cherry tomato	Sweet pepper	Strawberry	Cucumber	Total
No control	44.0 (11)	75.0 (6)	47.1 (8)	81.3 (13)	100 (2)	58.8 (40)
60 ~ 70	0 (0)	0 (0)	5.9 (1)	6.3 (1)	0 (0)	2.9 (2)
70 ~ 80	4.0 (1)	0 (0)	23.5 (4)	6.3 (1)	0 (0)	8.8 (6)
80 ~ 90	48.0 (12)	25.0 (2)	23.5 (4)	0 (0)	0 (0)	26.5 (18)
> 90	4.0 (1)	0 (0)	0 (0)	6.3 (1)	0 (0)	2.9 (2)
Total	100 (25)	100 (8)	100 (17)	100 (16)	100 (2)	100 (68)

27.9%와 26.5%로 비슷하였고 23~27°C로 관리하는 농가가 22.1%로 뒤를 이었다. 완숙토마토는 27~31°C로 관리하는 농가와 관리를 하지 않는 농가의 비율이 각 32%로 동일했고, 파프리카는 23~27°C로 관리하는 농가가 35.3%로 가장 많았으며 그 다음으로 27~31°C로 관리하는 농가가 29.4%, 관리를 하지 않는 농가가 23.5%였다. 딸기는 23~27°C로 관리하는 농가가

37.5%로 가장 많았고, 19~23°C로 관리하는 농가가 31.3%로 뒤를 이었다. 저온기 야간 온도 관리는 전체적으로 13~17°C로 관리하는 농가가 39.7%로 가장 많았고, 17~21°C로 관리하는 농가가 29.4%로 뒤를 이었다. 완숙토마토는 13~17°C로 관리하는 농가가 84%로 대부분이었고, 파프리카는 17~21°C로 관리하는 농가가 76.5%로 대부분을 차지하였다. 딸기는 5~9°C

로 관리하는 농가가 62.5%로 가장 높아 다른 작물에 비해 야간 온도를 낮게 관리하는 것으로 나타났다. 여름철 고온기에는 대부분의 농가가 온도 관리를 하지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 온실의 특성상 냉방을 하지 않을 경우 온도 관리가 어렵기 때문으로 보인다.

시설 내 습도 관리는 관리하지 않는 농가가 58.8%로 가장 많았고, 80~89%로 관리하는 농가가 26.5%로 뒤를 이었다(Table 3). 이는 현재 대부분의 온실에서 습도를 관리하는 방법이 포그를 이용한 방법과 환기를 하는 방법이 주가 되는데, 환기를 할 경우 온도관리에도 영향을 미치기 때문에 관리에 어려움을 느끼기 때문으로 보인다. 습도는 병해충의 발생에 영향을 미칠 수 있는 요인이기 때문에 적합한 관리 모델이나 관리방안이 필요해 보인다(Guzman-Plazola et al., 2003; Steiner et al., 2011; Kim et al., 2012; Lee et al., 2019).

재배 효율을 높일 수 있는 방법들에 관련된 연구가 많이 이

루어졌고, 온실 내에 적용 시킬 수 있는 단계까지 개발된 것이 많이 있지만, 경제적인 부분에 의해 많은 것이 사용되지 못하고 있는 것으로 보인다(MAFRA, 2016, 2018).

### 병해충 관리 방법

스마트 온실에서 주로 사용되는 해충 방제 방법은 화학농약, 끈끈이트랩, 유아등, 천적을 사용하는 방법이었다(Fig. 3). 가장 많이 이용하는 방법은 화학농약을 이용하는 것으로 전체의 97.1%였고, 작물 간 통계적 유의성은 보이지 않았다( $P=0.8019$ ). 이어서 끈끈이트랩을 사용하는 농가는 전체의 76.5%였고, 작물 간 통계적 유의성은 없었다( $P=0.6593$ ). 천적을 사용하는 농가는 전체의 17.6%였고, 파프리카 농가의 47.1%가 천적을 사용하여 조사된 작물 중 통계적으로 가장 천적을 많이 사용하는 것으로 나타났다( $P=0.0022$ ). 이는 파프리카가 다른 작물에 비

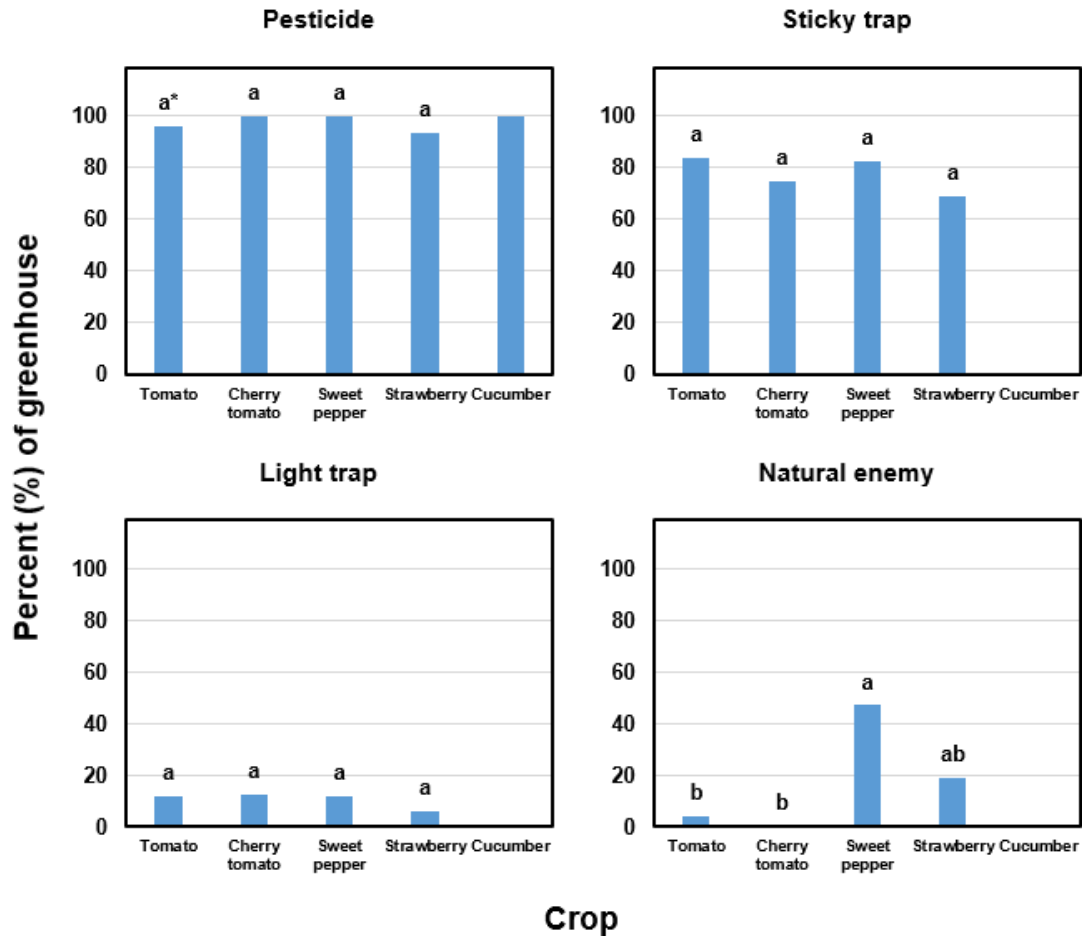


Fig. 3. Pest and disease control methods in surveyed smart greenhouses. \*Means followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$ , Bonferroni correction after Fisher exact test.

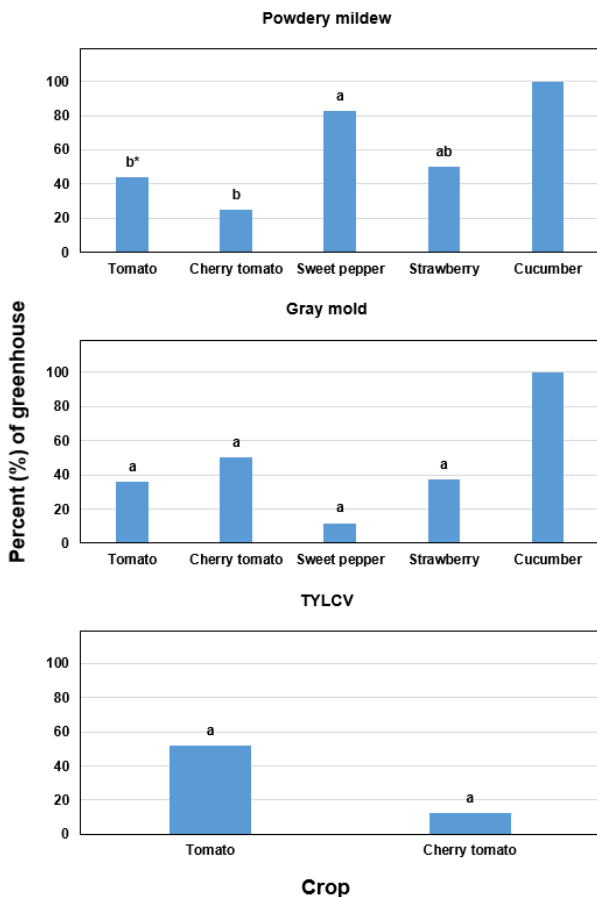
해 천적의 사용 비율이 높았던 것은 파프리카의 친환경재배의 필요성과 관심이 높기 때문으로 판단된다. 유아등을 사용한 농가는 전체의 10.3%였으며 작물 간 사용 빈도 차이는 없었다 ( $P=1.0000$ ). 화학농약을 사용하지 않는다고 응답한 토마토와 딸기 각 1농가는 친환경 유기농자재를 사용한다고 응답하였다. 그 외에 딸기 1농가에서 유인식물을 사용한다고 응답하였다.

주로 문제가 되는 작물병은 흰가루병, 잿빛곰팡이병, 토마토 황화 잎말림 바이러스병(TYLCV: Tomato Yellow Leaf Curl Virus)이었다(Fig. 4). 흰가루병은 전체의 54.4%, 파프리카의 82.4%가 문제가 된다고 응답하여 조사된 다른 작물에 비해 통계적으로 가장 높게 나타났다( $P=0.0236$ ). 잿빛곰팡이병은 전체의 33.8%가 문제가 된다고 응답하였고, 작물간 통계적 유의성은 없었다( $P=0.1650$ ). 토마토의 TYLCV는 담배가루이(*Bemisia tabaci*)가 매개하고 전 세계적으로 문제가 되는 바이러스로 알려져 있다(Glick et al., 2009). 이번 조사에서는 완숙 토마토의 52.0%, 방울토마토의 12.5%가 문제가 된다고 응답

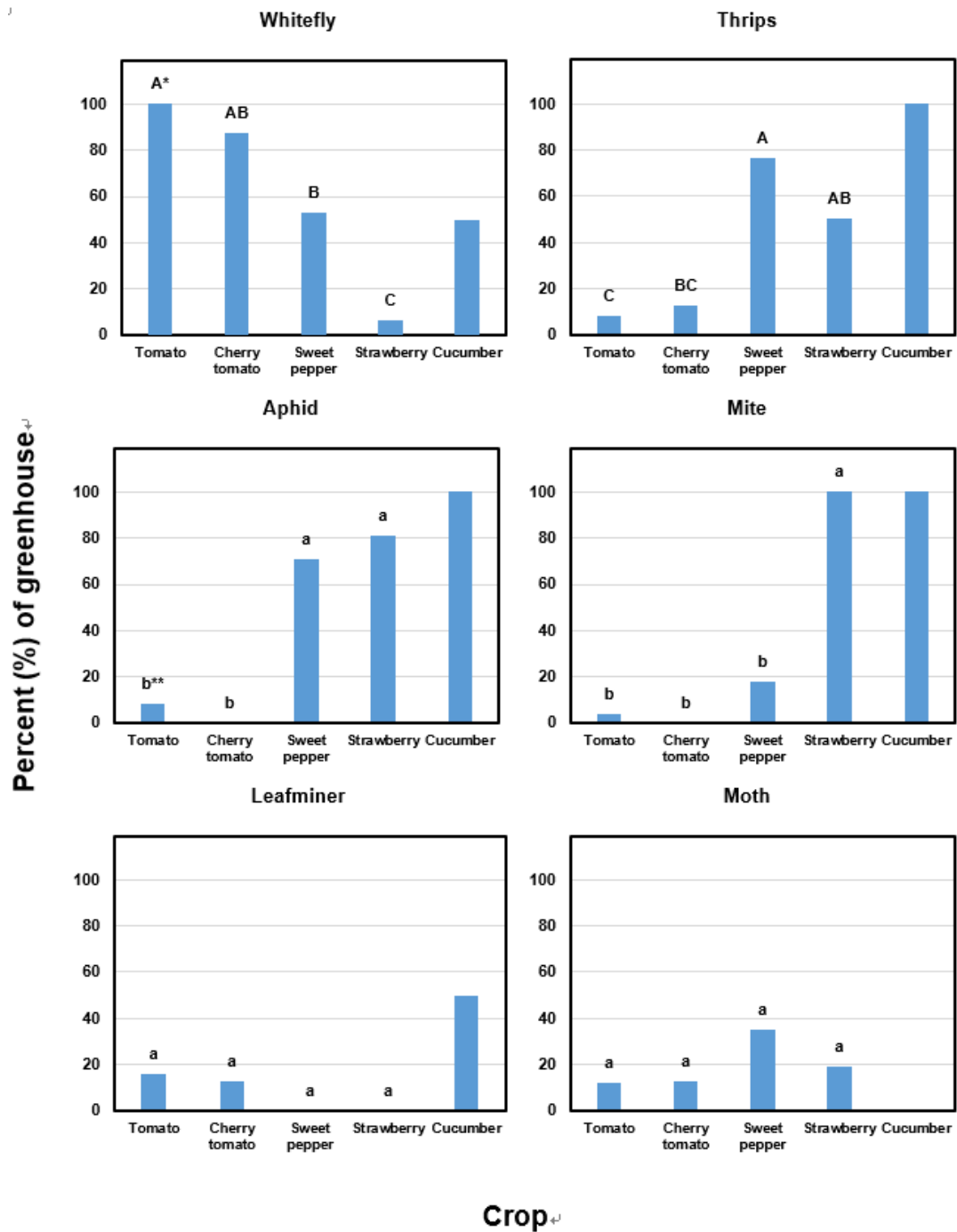
하였고 작물 간 통계적 유의성은 보이지 않았다( $P=0.0981$ ). Kim et al. (2011)은 2010년 국내 토마토 재배농가의 31.8%가 TYLCV의 피해를 입었다고 한다. 이 결과를 봤을 때, TYLCV는 스마트 온실 도입 이후에도 토마토 농가에서도 여전히 큰 피해를 일으키고 있고 재배자들의 관심도 큰 것으로 판단된다.

난방제 해충은 가루이류, 총채벌레류, 진딧물류, 응애류, 굴파리류, 나방류 인것으로 조사되었다(Fig. 5). 가루이류는 전체의 63.2% 농가에서 난방제 해충으로 꼽혔다. 그 중 완숙토마토와 방울토마토에서 각 100%, 87.5%가 난방제 해충으로 꼽아 조사된 다른 작물에 비해 토마토 재배자들이 주요 해충으로 생각하였다. 이는 통계적으로 유의하였다( $c^2=39.86$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.0001$ ). 총채벌레류는 전체의 33.8% 농가에서 난방제 해충으로 꼽혔고, 특히 파프리카와 딸기에서 각 76.5%, 50%가 난방제 해충으로 꼽아서 다른 작물에 비해 주요한 해충으로 여겨졌다( $c^2=23.76$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.0001$ ). 진딧물류는 전체의 42.6% 농가에서 난방제 해충으로 꼽혔고, 조사된 작물 중 특히 딸기(81.3%)와 파프리카(70.6%) 재배농가에서 주요한 난방제 해충으로 꼽았다( $P < 0.0001$ ). 응애류는 전체의 32.4% 농가에서 난방제 해충으로 꼽혔고, 조사에 참여한 딸기 농가 전체가 응애류를 난방제 해충으로 꼽아 딸기에서 가장 문제가 되는 해충이었다( $P < 0.0001$ ). 굴파리류와 나방류는 각 전체 농가의 8.8%, 19.1%가 난방제 해충으로 꼽아 다른 해충류에 비해 크게 문제가 되지 않는 것으로 나타났다(Leafminer,  $P=0.1328$ ; Moth,  $P=0.3059$ ). 본 조사에서의 주요 병과 해충의 종류는 관행농가에서 모두 문제가 되는 것이었고, 약제 저항성 문제가 보고되고 있는 해충들이었다(Trumble et al., 1983; Butcher et al., 1989; Jarvis, 1989; Oliveira et al., 2001; Steiner and Goodwin, 2004; Kim et al., 2013). 이는 앞서 방제 방법 조사 시 97.1%의 조사 대상 농가가 화학적 방제 방법을 사용하고 있는 상황과 일치하는 내용으로 볼 수 있을 것이다.

이번 조사 결과 주요 병해충과 그 관리 방법은 스마트 온실과 관행농가간에 큰 차이를 보이지 않았고 이는 기존 연구 결과와 같은 경향을 보인다(Trumble et al., 1983; Butcher et al., 1989; Jarvis, 1989; Oliveira et al., 2001; Steiner and Goodwin, 2004; Kim et al., 2013; MAFRA et al., 2016; MAFRA, 2018). 이는 현재 보급된 스마트 온실은 환경 관리의 정밀성과 편의성 위주로 보급되었기 때문에 병해충 발생과는 큰 관련이 없기 때문으로 보인다. 향후 스마트 온실의 보급 및 관리에 있어 병해충 발생량을 억제 시킬 수 있는 연구와 더불어 관련 정보에 대한 스마트 온실 운영 농가들의 교육이 병행될 필요가 있을 것으로 생각된다.



**Fig. 4.** Major crop diseases in surveyed smart greenhouses. \*Means followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$ , Bonferroni correction after Fisher exact test.



**Fig. 5.** Major pests in surveyed smart greenhouses. \*Means followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$ , Bonferroni correction after Chi-square test. \*\*Means followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$ , Bonferroni correction after Fisher exact test.

### 사용자 평가

스마트 온실 설치 후 수확량 변화를 Table 4에 나타내었다. 38.2%의 농가에서 ‘알 수 없음’이라고 응답하였다. 이는 대부

분의 질문에 응해준 농가들이 스마트 온실 설치 후 3년 이내인 상황과 관련이 있는 것으로 보이며 매년 작기에 따라 수확량에 변화가 발생하는 만큼 판단을 유보한 것으로 여겨진다. 39.7%의 농가에서 스마트 온실 설치 전과 수확량의 차이가 없다고 응

**Table 4.** Yield changes after equipping smart greenhouses

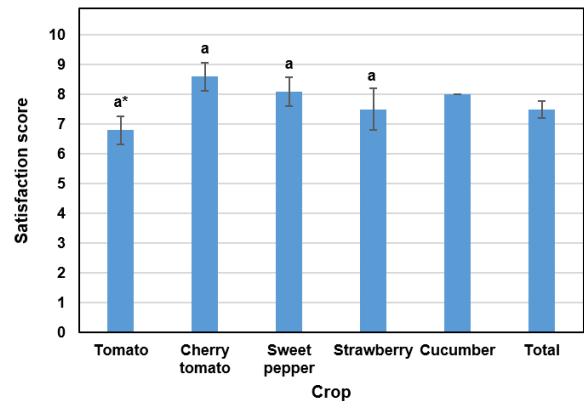
Evaluation	Crop, % (n)					
	Tomato	Cherry tomato	Sweet pepper	Strawberry	Cucumber	Total
Increased	20.0 (5)	0 (0)	41.2 (7)	18.8 (3)	0 (0)	22.1 (15)
No difference	32.0 (8)	62.5 (5)	11.8 (2)	62.5 (10)	100 (2)	39.7 (27)
Decreased	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Unawareness	48.0 (12)	37.5 (3)	47.1 (8)	18.8 (3)	0 (0)	38.2 (26)
Total	100 (25)	100 (8)	100 (17)	100 (16)	100 (2)	100 (68)

**Table 5.** Changes in degree of pest and disease occurrence after equipping smart greenhouses

Evaluation	Crop, % (n)					
	Tomato	Cherry tomato	Sweet pepper	Strawberry	Cucumber	Total
Increased	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No difference	40.0 (10)	62.5 (5)	5.9 (1)	81.3 (13)	100 (2)	45.6 (31)
Decreased	16.0 (4)	0 (0)	47.1 (8)	0 (0)	0 (0)	17.6 (12)
Unawareness	44.0 (11)	37.5 (3)	47.1 (8)	18.8 (3)	0 (0)	36.8 (25)
Total	100 (25)	100 (8)	100 (17)	100 (16)	100 (2)	100 (68)

답하였다. 이는 스마트 온실 설치 이후로도 기존에 해 오던 관행 농법을 유지하고, 스마트 온실의 여러가지 기능들 중 스마트 폰을 사용한 온실 환경 모니터링, 측창 개폐 정도만을 사용하는 현실이 반영된 결과로 보여진다. 그러나 22.1%의 농가에서 수확량이 증가하였다고 응답하였는데, 스마트 온실 설치 후 개선된 환경관리에 의한 영향으로 판단된다. 파프리카농가의 41.2%에서 수확량이 증가했다고 응답해서, 수확량이 증가했다고 응답한 농가 중 가장 큰 비율을 차지하고 있었다. 이는 파프리카가 환경 관리에 영향을 많이 받는 것으로 볼 수도 있고, 파프리카 농가의 경우 보다 적극적으로 스마트 온실의 정밀 환경제어 기술을 적용하고 있다고 판단된다. 스마트 온실 설치 후 수확량이 감소했다고 응답한 농가는 없었다.

스마트 온실 설치 후 병해충 발생량은 45.6%의 농가가 차이가 없다고 응답하였고 36.8%의 농가에서 ‘알 수 없음’이라고 응답하였다(Table 5). 이는 약 82% 농가가 환경제어시스템을 설치하고 난 후에 병해충 발생량의 증가나 감소를 체감하지 못하고 있다는 것을 의미한다. 그러나 약 18% 농가는 식물병의 경우 조금 감소한 것처럼 느껴진다고 응답했다. 스마트 온실에서 식물병이 감소하는 경향은 자동 환경 제어를 통한 적절하야간 온도 관리와 습도 관리가 이루어지고 있기 때문일 것으로 추정된다. 자동환경제어시스템 도입을 통한 정밀한 온도 관리의 영향으로 관리 온도 편차가 감소하여 해충 발생에 더 적합한 환경일 것이고, 이로 인해 해충 발생이 증가할 것으로 예측되었으



**Fig. 6.** Farmer satisfaction scores for smart greenhouses (mean ± S.E.) \*Means followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha=0.05$ , Tukey's studentized range test.

나 농민들은 체감하지 못하였다. 이는 온실 내부 환경보다 외부로부터 유입되는 해충의 양과 해충 관리 방법이 해충 밀도에 더 큰 영향을 미치는 것이라 생각된다. 병해충 발생량에 미치는 스마트 온실의 영향은 학문적인 연구가 필요해 보이며, 차후에 연구된 결과들은 스마트 온실 사용자들에게 적극적으로 교육 및 홍보할 필요가 있을 것으로 생각된다.

스마트 온실의 만족도는 전체 평균 10점 만점에 7.5점이었다(Fig. 6). 스마트 온실에서 가장 만족스러운 부분은 편의성이 좋다는 것이었다. 만족도가 가장 높은 작물은 8.6점으로 방울



토마토였고, 가장 낮은 작물은 6.8점으로 완숙토마토였다. 파프리카는 8.1점으로 평균이상의 만족도를 보였다. 하지만, 이 결과들은 통계적 유의성은 없었다( $F=1.87$ ,  $df=3, 61$ ,  $P=0.1444$ ).

## Acknowledgement

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ01258303), 농림식품기술기획평가원 연구사업(319007-01-1-HD060), 교육부 Brain Korea 21 Plus 사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 저자 직책 & 역할

박영균: 서울대, 박사과정; 실험설계, 수행, 분석 및 논문작성  
백성훈: 서울대, 박사; 실험설계, 수행, 분석 및 논문작성  
임재성: ㈜팜한농, 연구원; 실험설계, 수행  
김민중: 서울대, 박사과정; 실험수행  
이준호: 서울대, 교수; 실험설계 및 논문작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음

## Literature Cited

- Adrian, A.M., Norwood, S.H., Mask, P.L., 2005. Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Comput. Electron. Agric.* 48, 256-271.
- Chaudhary, D.D., Nayse, S.P., Waghmare, L.M., 2011. Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture. *International Journal of Wireless & Mobile Networks* 3, 140-149.
- Butcher, M.R., Penman, D.R., Scott, R.R., 1989. The relationship between two-spotted spider mite and strawberry yield in Canterbury. *New Zealand journal of Experimental Agriculture* 15, 367-370.
- Choe, Y.-C., Jang, I.-H., 2019. Smart farm in the fourth industrial revolution era. *J. Korean Inst. Commun. Sci.* 36, 9-16.
- Glick, E., Levy, Y., Gafni, Y., 2009. The viral etiology of tomato yellow leaf curl disease – a review. *Plant Protect. Sci.* 45, 81-97.
- Guzman-Plazola, R.A., Davis, R.M., Marois, J.J., 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop Prot.* 22, 1157-1168.
- Jarvis, W.R., 1989. Managing diseases in greenhouse crops. *Plant Dis.* 73, 190-194.
- Kim, J.S., Lee, S.H., Choi, H.S., Kim, M.K., Kwak, H.R., Nam, M., Kim, J.S., Choi, G.S., Cho, J.D., Cho, I.S., Chung, B.N., 2011. Occurrence of virus diseases on major crops in 2010. *Res. Plant Dis.* 17, 334-341.
- Kim, S.E., Lee, S.D., Sim, S.Y., Kim, Y.S., 2012. Eco-friendly control of whiteflies by two-fluid fogging system. *J. Bio-Environment Control.* 21, 120-126.
- Kim, G.-D., Lee, S., Kang, E.-H., Shin, Y.-G., Jeon, J.-Y., Heo, N.-Y., Lee, H.-S., 2013. The pests survey of paprika export complexes and packing house in Korea. *Korean J. Agri. Sci.* 40, 93-99.
- Kim, Y., Park, J., Park, Y., 2016a. An analysis of the current status and success factors of smart farms. Korea Rural Economic Institute (KREI) research report, Naju, Korea.
- Kim, Y., Seo, D.S., Park, J., Park, Y., 2016b. An analysis of current status and development direction of smart farms. Korea Rural Economic Institute(KREI) research report, Naju, Korea.
- Kim, D.-Y., Kim, Y.B., 2019. Key ICT technologies in the 4th industrial revolution era: big data, artificial intelligence, and cloud technology trends. *J. Inform. Proc.* 26, 7-17.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2010. Farm households population by sex & age. Agriculture, Forestry and Fishery Survey. <http://www.kosis.kr/>
- Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2018. Farm households population by sex & age. Agriculture, Forestry and Fishery Survey. <http://www.kosis.kr/>
- Lee, J.-H., Park, Y., Baek, S., Im, J.S., Kim, M. J., Nam, H., Park, Y., Kim, K., 2019. Development of eco-friendly management methods for pest occurred in the fruit vegetables of smart farms. Rural Development Administration (RDA) research report, Jeonju, Korea.
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J., 2005. Future directions of precision agriculture. *Precision agriculture* 6, 7-23.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2016. Convergence of agriculture and ICT, spread of Korean smart farm. Press release, Sejong, Korea.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Rural Development Administration (RDA), Korea Agency of Education, Promotion & Information Service in Food, Agriculture, Forestry & Fisheries (EPIS), 2016. Leading case according to types of smart farm told in agriculture field. Press release, Sejong, Korea.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2018. Innovation and growth of agriculture, Find the road in smart farm. Press release, Sejong, Korea.
- Oliveira, M.R.V., Henneberry, T.E., Anderson, P., 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.* 20, 709-723.
- Park, J.J., Arabnia, H.R., Kim, C., Shi, W., Gil, J. M., 2013. Grid and pervasive computing. 8th International Conference, GPC 2013 and Colocated Workshops, Seoul, Korea.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna,

- 
- Austria. <http://www.R-project.org/>
- SAS Institute, 2013. SAS user's guide; statistics, version 9.4ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Steiner, M.Y., Goodwin, S., 2004. Getting a grip on thrips in strawberries. In V International Strawberry Symposium, 708, 109-114.
- Steiner, M.Y., Spohr, L.J., Goodwin, S., 2011. Relative humidity controls pupation success and dropping behaviour of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). Aust. J. Entomol. 50, 179-186.
- Trumble, J., Oatman, E., Voth, V., 1983. Thresholds and sampling for aphids in strawberries. Calif. Agric. 37, 20-21.
- Ullah, M.S., Lim, U.T., 2015. Life history characteristics of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) in constant and fluctuating temperatures. J. Econ. Entomol. 108, 1000-1009.
- Xu, X.-M., 1999. Effects of temperature on the latent period of the rose powdery mildew pathogen, *Sphaerotheca pannosa*. Plant Pathol. 48, 662-667.
- Yeo, H., 2019. Utilization of big data in foreign agriculture. World Agriculture 226, 37-57.