

ORIGINAL ARTICLE

폐쇄형 식물생산 시스템에서 태양광 채광시스템 연구

이상규 · 이재수* · 이현동 · 백정현 · 노시영 · 홍영신 · 박종원¹⁾

농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과, ¹⁾충남농업기술원 원예연구과

Evaluating Solar Light Collectors for Use in Closed Plant Production Systems

Sanggyu Lee, Jaesu Lee*, Hyundong Lee, Jeonghyun Baek, Siyoung Rho, Youngsin Hong, Jongwon Park¹⁾

Division of SmartFarm Development, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

¹⁾Research Division for Horticulture, Chungnam Agricultural Research and Extension Services, Yesan 32418, Korea

Abstract

In this study, a solar light collector that collects and transmits solar light required for crop production in a closed plant production system was developed. The solar light collector consisted of a Fresnel lens for collecting solar light, and a tracking actuator for tracking solar light from sunrise to sunset to increase the light collection efficiency. The optical fiber that transmitted solar light was made of Glass Optical Fiber (GOF), and it had an excellent optical transmission rate. After collecting the solar light, the amount of light was measured at 5, 10, 15, 20, 25, and 30 cm distances from the GOF through the darkroom by using a light sensor logger connected to a quantum and pyranometer sensor. Compared with solar light, the light intensity of pyranometer sensor measured at 5 cm was 114% higher than solar light, and 61% at 10 cm. In addition, it was observed that it is possible to transmit the necessary amount of light for growing crops up to about 15 cm (as over 22%) through GOF. Therefore, adding diffusers to the solar light collector should be expected to replace artificial light in plant factories or plug seedlings nurseries for leafy vegetables. More studies on the solar light collection devices and the light transmission devices that have high light collection efficiency should be conducted.

Key words : Fiber, Fresnel lens, Quantum, Spectrum, Wavelength

1. 서론

태양은 많은 양의 에너지를 지구에 보내고 있으며 이 양은 세계에서 연간 사용하는 화석에너지의 15,000배 이상에 달한다. 화석에너지의 원료 역시 태양에너지가 축적되어 만든 것이기 때문에 태양에너지는 지구 생태계에 없어서는 안

되는 중요한 에너지이다. 태양광 집광 및 채광은 태양에너지를 에너지 변환 없이 그 자체를 에너지원으로 활용하는 기술로 활용할 수만 있다면 큰 자원인 것이다. 태양광 집광시스템은 집광부, 광전송부 및 산광부 등으로 구성(Yoon., 2009; Lee et al., 2013)되며 여기서 집광은 고정식으로 반사거울식, 광덕트 방식이 있고 추적식으로는 렌

Received 21 March, 2019; Revised 22 April, 2019;

Accepted 23 April, 2019

*Corresponding author. Jaesu Lee, Division of SmartFarm Development, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea
Phone : +82-63-238-4182
E-mail : butiman@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

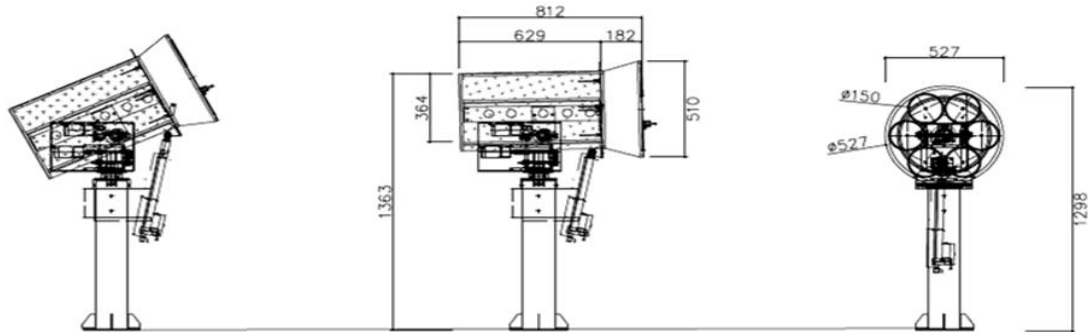


Fig. 1. The design of solar light collector system.

즈-광섬유 방식, 반사거울-광섬유 방식(Lee et al., 2012) 등이 있다. 광전송부는 전송하는 매질에 따라서 반사필름이나 반사시트를 이용한 광덕트 방식과 유리나 플라스틱 소재를 이용한 광섬유(Fiber) 방식 및 공기를 전송부로 이용하는 방식이 있다(Jeong et al., 2002; Kim et al., 2009). 광섬유 방식은 시공성이 우수한 플라스틱 광섬유(POF: Plastic Optical Fiber)와 시공성은 다소 떨어지지만 전송율이 우수한 유리 광섬유(GOF; Glass Optical Fiber)가 있어 광섬유를 이용한 방식에 대한 연구가 활발하다(Song et al., 2011; Lee et al., 2012). 산광부는 인공 광원을 on/off 하는 하이브리드 방식과 균일한 조도를 유지하기 위해 인공광원의 밝기를 조절하는 하이브리드 디밍 방식 등이 있다(Kim et al., 2009). 이러한 집광 및 채광 방식을 작물생산에 이용하는 식물공장 생산 방식이 최근 들어 농업분야에서 각광을 받고 있다. 식물공장은 LED, HID 등 인공광을 이용하여 농산물을 생산하는 기술로 이 기술을 선점하기 위해서 각 국가에서 투자를 집중하고 있다. 식물공장의 작물생산은 지역이나 외부환경 변화와 관계없이 환경조절시스템을 이용하여 안정적으로 작물을 생산하는 방식이다. 그러나 식물공장 시스템 구축 시 초기 투자비용이 크기 때문에 개별 농가에서 활용하기 보다는 기업에서 투자하여 구축하는 경우가 대부분이다. 특히 인공광을 사용하여 생산하는 폐쇄형 식물공장 생산 시스템에서는 광량 부족으로 인해 많은 광량이 필요한 과채류에는 적용하지 못하고, 적은 광량으로 생산이 가능한 엽채류에서만 활용이 되고 있기 때문에 자연광 활용에 대한 연구가 필요한 실정이다.

식물의 생육과 품질 향상 등에 영향을 미치는 탄수화물

은 광합성의 산물로 나오는데, 식물이 광합성을 하기 위해서는 광뿐만 아니라 이산화탄소, 물이 필수요소로 작용한다. 광합성에 활용되는 광은 가시광선으로써 380 - 780 nm 영역에 해당되는 광이며 자외선 380 nm 이하와 적외선 780 nm 영역 이상의 광으로 광합성에는 거의 활용되지 않는다. 따라서 태양광을 활용하여 폐쇄형 생산 시스템에 적용할 때 광을 분광하여 가급적 가시광선 영역만 활용하고 적외선과 자외선 영역은 냉난방 등 다른 용도로 활용할 수 있도록 개발할 필요성이 있다. 이러한 폐쇄형 공간에서 태양에너지를 활용할 수 있는 연구는 지하철 역사 내 태양광 활용방법 등과 같은 타 분야에서는 몇 년 전부터 시작하였지만 작물 생산에 활용하는 연구는 미흡하다.

따라서 본 실험은 식물공장과 같은 폐쇄형 생산시스템에서 태양광을 활용하여 작물을 생산하고자 할 때 태양광을 집광할 수 있는 기술과 가시광선의 파장대역을 선택적으로 분리하는 기술, 광섬유를 활용한 채광효율 상승 기술을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 집광장치 설계

집광장치는 자연광 추적형 집광 시스템으로 설계(Fig. 1)하였으며 차세대 스마트팜 광공급 시스템 장치 개발을 위한 핵심장치로 광센서에 의해 자연광을 추적하고, 비구면 볼록렌즈를 통해 집광하고 광섬유(optical fiber)로 전송이 가능하게 설계하였다.

2.2. 파장 대역별 분리장치

파장대역별 분리여부를 확인하기 위해서 압실 프레임

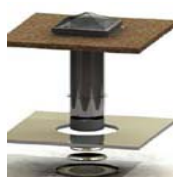


Outside of solar wavelength division device



Inside of solar wavelength division device

Fig. 2. The status of wavelength division device.



Light duct



Light fiber



Light pipe

Fig. 3. The type of solar transformer device.

을 별도로 제작하였다. 암실 프레임의 크기는 1,000 mm(L) × 600 mm(W) × 600 mm(H) 이고, 흑색으로 착색된 알루미늄 프로파일을 사용하여 바닥면 및 6면을 흑색으로 제작하였다(Fig. 2). 전면부는 시험시 개폐가 가능하도록 도어 형태로 제작하였고, 암실 프레임은 상부에는 광섬유의 인입이 가능하도록 홀을 뚫었으며 좌측 면에는 시험기기의 케이블이 인입되도록 제작하였다. 암실 프레임 상단에 각 광학필터를 고정시켜서 필요에 따라 교체가 용이하도록 제작하였다.

2.3. 전송장치

태양광을 집광한 후 전송하는 방법(Fig. 3)에는 광덕트, 광섬유, 광파이프 방법을 이용할 수 있다(Jeong et al., 2001; Lee et al., 2013). 광덕트 방식은 대용량 광원을 전송할 수 있는 장점이 있고, 광섬유 방식은 광원 배치 설계의 자유도가 높고, 장거리까지 광원 전송이 가능한 장점이 있다. 또한 광 파이프방식은 파이프에 물을 흘려 보내듯 자연광을 전송 및 다개층 광조사가 가능하다. 본 실험에서는 광섬유 방식을 사용하였는데, 태양광이 집광된 후 필요로 하는 광 영역을 분리시키고, 광섬유(optical fiber)를 통해서 암실 프레임으로 전송하는 방식이다. 광

섬유는 시공성이 다소 떨어지지만 전송율이 좋은 유리 광섬유와 시공성이 우수하지만 유리에 비해 전송율이 약간 떨어지는 플라스틱 광섬유가 있는데 본 실험에서 GOF (Whilkorea, WDG 1500)로 제작하였다. 광섬유는 실리카소재로 된 코어와 저굴절률 소재의 클래드 및 버퍼로 구성된 SOF (Silica Optical Fiber) 7가닥을 1개의 번들로 구성하였다. 대구경 단일모드 광섬유로 감쇄율이 0.2 - 2.5 dB/km로 낮고, 균일한 광학특성을 손실을 줄이면서 장거리 전송이 가능하며 인장력이 좋은 재질로 만들었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 집광장치 제작

자연광 추적형 집광 시스템은 차세대 스마트팜 광공급 시스템 장치 개발을 위한 핵심장치로 광센서에 의해 태양을 추적하고, 볼록렌즈를 통해 태양광을 집광한다. 집광을 위해 집광렌즈, 광센서, 광원 추적 액추에이터 및 광섬유 등으로 시스템을 구성하였다(Fig. 4). 집광렌즈는 프레넬필름(Jeong et al., 2017), 파라볼릭 반사경(Lee et

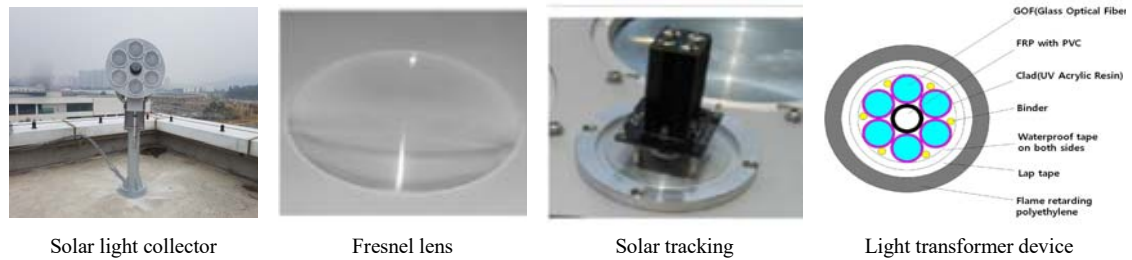


Fig. 4. The status of solar light collector system.

Table 1. Condition of wavelength division

	Index	FieldSpec3 FR	FieldSpec4 Standard-Res	FieldSpec4 Hi-Res
Input	Spectral Range	350-2,500 nm		
	UV/VNIR @700 nm	1.4×10^{-9} W/cm ² /sr/nm	1.0×10^{-9} W/cm ² /sr/nm	1.0×10^{-9} W/cm ² /sr/nm
Output	NIR @ 1400 nm	2.4×10^{-9} W/cm ² /sr/nm	1.2×10^{-9} W/cm ² /sr/nm	1.4×10^{-9} W/cm ² /sr/nm
	NIR @ 2100 nm	8.8×10^{-9} W/cm ² /sr/nm	1.9×10^{-9} W/cm ² /sr/nm	2.2×10^{-9} W/cm ² /sr/nm

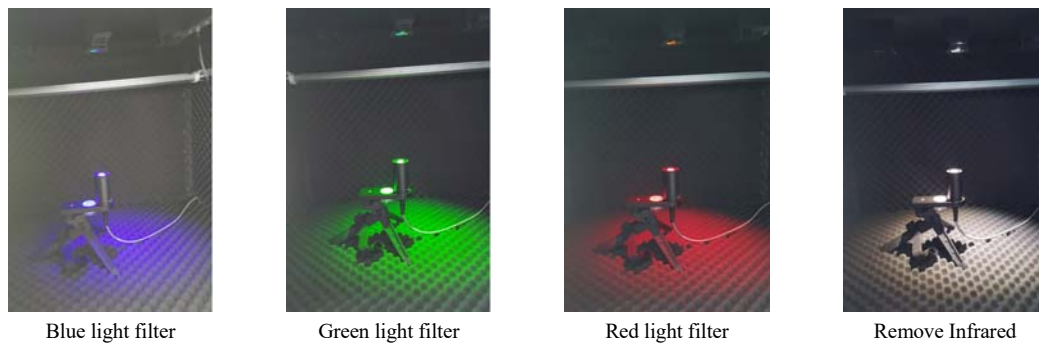


Fig. 5. The wavelength division scene throughout light filter.

al., 2013) 등 연구가 되어 있지만 본 연구에서는 비구면 볼록렌즈 형태로 제작하여 집광 및 도광 효율을 높이도록 하였으며 광센서는 일출부터 일몰까지 광을 감지하여 반응하도록 하였다. 태양광 추적장치는 동일한 시간대에 가장 많은 양의 태양광을 집광할 수 있는 광센서 방식을 사용하였다(Jeong et al., 2017).

3.2. 파장 대역별 선택적 분리장치

자연광 파장 대역별 분리 실험장치는 광학 분리장치와 암실 프레임으로 구성하였다. 광학 분리장치의 필터부는 외부 자연광을 실내로 전송하는 역할을 하는 광섬유(optical fiber)의 고정부, 광학필터의 고정 역할

을 하는 교체형 광학필터 고정부, 자연광을 청색, 적색, 녹색 파장 및 근적외선 제거 파장영역을 선택적으로 분리하는 필터부로 나누어서 실험하였다(Fig. 5). 필터는 THORLABS사의 렌즈(Thorlabs Inc., NJ, USA)를 사용하였고 광이 투과되도록 광섬유 끝부분에 설치하였다. 렌즈는 450 nm, 550 ± 8 nm, 650 ± 8 nm, 750 nm 를 서로 교체할 수 있도록 제작하였다. 분광측정 및 방법은 분광 분석기(ASD Inc, FieldSpec4)를 사용하였고 (Table 1), 렌즈와 동일한 파장대역별로 측정하였다. 파장 대역별 광학필터를 교체하면서 스펙트럼을 분석한 결과, 청색(420 - 480 nm), 녹색(520 - 580 nm), 적색(630 - 690 nm) 및 근적외선 제거(360 - 750 nm)가 파장

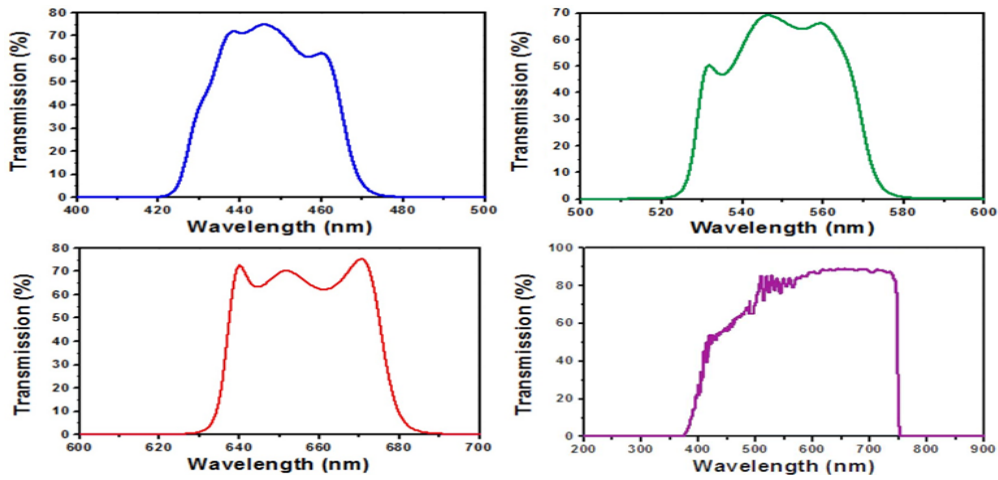
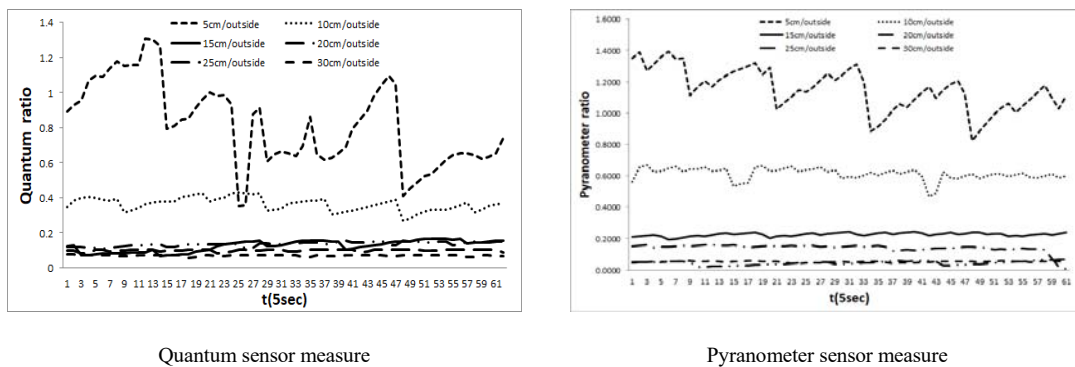


Fig. 6. The spectrum analysis results throughout light filter.



Quantum sensor measure

Pyranometer sensor measure

Fig. 7. The system efficiency according distance (July 12, 2018).

대역별로 선택적 분리가 되는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 6). 따라서 본 장치는 파장을 선택적으로 분리하는 장치로 사용할 수 있을 것으로 본다.

3.3. 시스템의 채광효율

집광된 광이 전송 fiber를 통해 암실 프레임이 들어 왔을 때 거리별로 광도를 quantum 센서와 pyranometer 센서로 측정한 결과는 Fig. 7과 같다. Quantum 센서로 측정한 결과, 가장 근접한 5 cm 거리의 경우 야외의 조도가 1,415 lx 일 때 광 fiber를 통해 전송된 광도는 1,849 lx 로 최대 130% 정도로 높았으나 평균값은 92% 정도이었다. 또한 10 cm 거리에서 평균값은 36% 정도로 태

양광보다 많이 낮았으며 15 cm와 20 cm 거리에서는 13% 정도로 낮아졌고, 25 cm 거리에서는 10% 정도이었다. 30 cm 거리에서는 6% 정도로 광이 거의 들어오지 않았다. 또한 pyranometer 센서로 측정한 결과는 가장 근접한 5 cm 거리의 경우, 야외의 조도가 969 lx 일 때 광 fiber를 통해 전송된 광도는 1,350 lx 로 최대값은 139% 정도이었고, 평균값은 114% 정도이었다. 그러나 10 cm 거리에서 평균값은 61% 정도로 태양광보다 많이 낮았으며 15 cm 거리에서는 더 낮아져 22% 정도이었고, 20 cm 거리에서는 9% 정도이었다. 25 cm와 30 cm 거리에서는 4% 이하로 광이 거의 들어오지 않았다. 이것은 본 장치가 자연광을 집광하여 광 fiber를 통해 15 cm

정도까지는 효율이 22% 이상으로 「신재생에너지 설비 심사세부기준-태양광집광 채광기」 기준(KEMC, 2007)을 만족시키는 것을 확인시켰다. 따라서 본 장치는 폐쇄형 식물공장이나 접목 활착실 같은 시설에서 화석연료를 사용하는 인공광을 대신하여 많은 광량이 필요하지 않은 엽채류 재배나 육묘시에 활용이 가능하다. 아울러 보다 더 많은 활용을 위해서는 채광 효율을 증가시킬 수 있는 새로운 재질의 집광장치와 전송 시스템 개발에 관한 연구가 추후 필요하다.

4. 결론

본 실험은 폐쇄형식물공장과 같이 자연광을 이용할 수 없는 시설에서 작물을 생산하는 기술을 개발하기 위해 태양광을 집광하고 전송하는 광공급시스템을 개발하고자 실시하였다. 집광을 위하여 비구면 볼록렌즈 형태로 제작하였고, 광 효율을 높이기 위하여 광원 추적 액추에이터를 설치하여 일출부터 일몰까지 집광을 많이 할 수 있도록 설계되었다. 광섬유는 시공성이 다소 떨어지지만 전송율이 우수한 유리 광섬유로 제작하였다. 집광된 광이 전송 fiber를 통해 암실 프레임이 들어 왔을 때 거리별로 광도를 pyranometer 센서로 측정한 결과는 가장 근접한 5 cm 거리에서 측정한 값은 태양광보다 114% 정도 높게 들어오는 것을 확인하였고, 10 cm 거리에서는 61% 정도로 태양광보다 낮았지만 본 장치는 자연광을 집광하여 광 fiber를 통해 15 cm 정도까지는 22% 이상 들어오는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 장치는 광량이 많이 필요하지 않는 엽채류 재배용 폐쇄형 식물공장이나 접목 활착실과 같은 시설에서 인공광을 대신할 수 있고, 아울러 보다 광범위하게 활용을 하기 위해서는 채광효율을 증가시킬 수 있는 새로운 재질의 집광장치와 전송 시스템 개발에 관한 연구가 추후 필요하다.

감사의 글

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01278001)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Jeong, H. G., Han, S. B., Jung, B. M., Lee, E. J., Lim, S. H., 2002, A Study on solar light collector using fresnel lens film, J. of Kor. Solar Energy Soc., 22(1), 81-86.
- Jeong, H. J., Kim, W. S., Kim, Y. M., Han, H. J., Chun, W. G., 2017, Electric lighting energy saving through the use of a fresnel lens based fiber-optic solar lighting system: simulation and measurements, J. of Kor. Solar Energy Soc., 37(3), 1-12.
- KEMC (Korea Energy Management Corporation), 2007, Renewable Energy Facilities Assessment Criteria- PV Ssolar Panel PV 601.
- Kim, Y. S., Kwon, K. W., 2009, Skin load reduction technology of building, Korea Green Building Council, 38-41.
- Lee, C. S., Kim, J. M., Park, Y. M., Sung, T. K., Joung, C. B., Kang, S. H., Kim, B. C., 2013, Development of tracking daylighting system using multi-parabolic reflector, J. of Kor. Solar Energy Soc., 33(2), 56-63.
- Lee, C. S., Kim, J. M., Park, Y. M., Sung, T. K., Joung, C. B., Kang, S. H., Kim, B. C., 2012, The development of solar tracking concave mirror type daylighting system, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineeris of Korea, Summer Conference., 12-S-209.
- Song, K. Y., Park, G. W., Ryu, H. K., 2011, A Study on lighting diffusion system of daylight duct system, J. of Kor. Institute of building construction., 11(1), 99-104.
- Yoon, Y. J., 2009, Architecture and daylighting system, J. of Kor. Solar Energy Soc., 8(1), 3-10.

- 이상규, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관 sanggyul@korea.kr
- 이재수, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사 butiman@korea.kr
- 이현동, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관 z951246@korea.kr
- 백정현, 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원 butterfly@korea.kr
- 노시영, 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원 addio2423@naver.com
- 홍영신, 농촌진흥청 국립농업과학원 연구원 hongel59@gmail.com
- 박종원, 충남농업기술원 지방농업연구사 jjong1park@korea.kr