

행거식 순환형 딸기 재배시스템 개발

Development of Hanging Type Circular-patterned System for Strawberry Cultivation

안세웅¹

Sewoong An
국립한국농수산대학교
원예학부

김동억²

Dong Eok Kim
국립한국농수산대학교
교양학부

홍순중²

Soonjung Hong
국립한국농수산대학교
교양학부

강동현^{2*}

Dong Hyeon Kang
국립한국농수산대학교
교양학부

¹ Department of Horticulture, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

² Department of Liberal Arts, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to develop the hanging type circular-patterned system that at maximizing the spatial efficiency of strawberry cultivation to increase yields, while also reducing labor and improving energy efficiency. The system consists of a cultivation bed units, longitudinal moving device, bed lifting device, front and rear transfer devices, lateral transfer device, nutrient supply device, and control unit. Performance testing revealed that the operational motor for longitudinal movement should have a torque of at least 0.1Nm based on the design weight and traction force of the cultivation bed unit. The power consumption required to move one cycle was calculated to be approximately 149Wh when performing harvesting or maintenance tasks for all 10 cultivation beds. Vibration angles measured during bed movement showed that the lateral transfer resulted in a roll angle ranging from -0.62° to 0.68° and a pitch angle ranging from -3.79° to 5.26° . For longitudinal transfer, the roll angle ranged from -3.37° to 3.36° , and the pitch angle ranged from -0.45° to 0.49° .

Keywords: Strawberry, Hanging type, High-density planting, Circulating-patterned

Received Apr. 2. 2024
Revised Jun. 19. 2024
Accept Jun. 24. 2024

*Correspondence

Dong Hyeon Kang
kang6906@korea.kr

서론

딸기는 대부분 겨울철 하우스 내 토양에서 재배되기 때문에 많은 노동력이 필요하지만, 농촌 노동인구 감소와 고령화 등으로 재배능가 및 면적은 점차 줄어들고 있다. 하지만 고설 재배를 통한 양액 재배 등 생산기술 및 품종개발 등으로 생산량을 증가시키는 연구는 꾸준히 증가하는

추세이다(Kang 등, 2020; Kang 등, 2013). 양액을 이용한 고설재배는 토양 오염으로 인한 연작, 전염병, 토양해충 등의 피해를 예방하고 방제, 제초, 수확작업 등을 수행하는 작업자가 서서 작업을 할 수 있어 앉아서 작업을 수행하는 토경재배에 비해 피로를 절감시키는 장점을 가진다(Jun 등, 2013). 하지만 고설재배는 토경재배와 달리 재배베드가 공기 중에 노출되어 있어 지하부의 냉해 방지를



위하여 난방기를 지속적으로 사용하는 가온 방식으로 바뀌면서 난방에너지 비용이 높아지는 단점을 가진다(Kang 등, 2016). 이러한 단점을 보완하기 위하여 단위면적당 재식밀도를 높이는 연구(Chang 등, 2005)가 필요하지만 우리나라의 경우 평방미터당 딸기의 생산량은 유럽의 10kg(Hayashi 등, 2011)에 비하여 아주 적은 2.95 kg 수준으로 생산량을 증대시키기 위한 많은 연구가 필요한 실정이다. 딸기 수량을 증대시키기 위한 과제로는 품종, 작업성, 재배법, 환경 등이 있고, 시스템적으로 재식본수를 늘이는 방법을 들 수 있다(Ikeda, 2006). 단위 면적당 생산량을 증가시키면서 노동력 부족을 해결하기 위한 방안으로 재배베드를 이동시켜 작업자의 이동공간을 최소화하여 재식주수를 증가시키고, 작업자가 한 곳에서 정식 및 수확작업을 수행할 수 있어 작업부하 등을 저감할 수 있도록 바닥에 프레임을 고정시키고 그 위에서 베드를 순환시켜 재배하는 순환형 딸기 재배베드에 관한 연구가 수행된 바 있고(Kang 등, 2013; Iwasaki 등, 2012; Hayashi 등, 2011; Yoshida 등, 2008), 순환하는 시스템을 활용하여 수확로봇과 접목하는 연구도 진행된 바 있다(Koichi, 2021; Tsubota 등, 2019). 이렇게 고안된 방법들은 장치의 안정성, 광에 대한 수광성은 높지만, 베드 하단부는 프레임으로 인해 이용이 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 토마토, 파프리카 등을 재배하는 방식 중에 하나인 재배베드를 프레임에 매달고 이를 이동시키면서 재배하는 행거식 순환형 딸기 재배장치를 개발하고 그 성능을 평가하였다.

재료 및 방법

행거식 순환형 딸기 재배시스템 개요

딸기 재배 및 수확작업에 필요한 노동력 및 에너지를 절감하고 베드를 공중으로 띄워 바닥면을 다른 용도로 이용할 수 있는 행거식 순환형 딸기 재배베드시스템은 Fig. 1과 같다. 시스템은 지지프레임에 와이어로 연결된 이동형 재배베드부가 이동할 수 있도록 레일을 설치하여 순환할 수 있도록 길이방향 이송장치, 측면이송을 위하여 재배베드부를 들어 올리는 베드승강장치, 전후로 이동시키는 전후 이송장치, 측면으로 이동시키는 측면이송장치, 양액공급장치 및 제어부로 구성되었다. 재배베드간 거리는 딸기

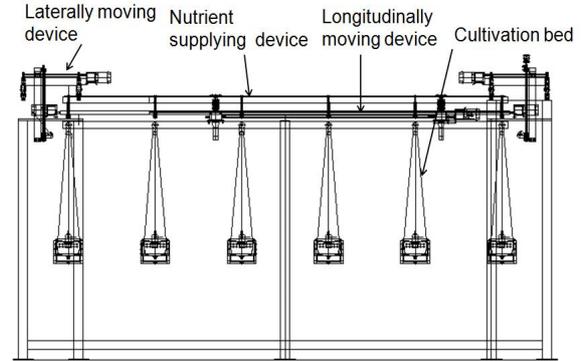


Fig. 1. Schematic diagram of the hanging type circular-patterned system for strawberry culture.

의 화경장 및 그림자를 고려하여 Kang 등(2013)이 제안한 60cm로 설정하였고, 길이방향 이송장치의 간단한 조작으로 조절도 가능하도록 제작하였다.

재배베드의 높이는 Yu 등(2005)이 고설재배에서의 적정 높이라고 보고한 90cm로 설계하였고, 프레임의 높이는 위험을 고려하여 2m로 결정하였다. 베드는 시중에서 판매되고 있는 것(1000×220×120mm)을 구매하여 사용하였고, 베드 고정 및 이동을 위한 베드프레임은 와이어를 이용하여 베드이동 롤러부에 고정하여 길이방향 이송 및 측면이송할 수 있도록 제작되었으며, 개략도는 Fig. 2와 같다. 양액공급은 작물관리 혹은 수확작업 시에는 재배베드부와 분리되고, 평상 재배 시에는 재배베드에 고정되어 양액을 공급할 수 있도록 적용하였으며, 공급된 양액은 베드 하단에 양액받이를 설치하여 재사용 할 수 있도록 하였다.

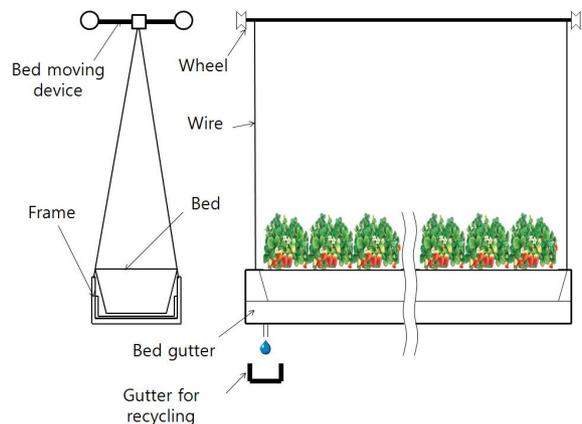


Fig. 2. Schematic diagram of cultivation bed.

재배베드부의 길이방향 이송은 AC모터(90W, SPG CO. Ltd., Korea)에 의해 작동되는 이송바의 작동에 따른다. 재배베드부의 이송은 이송바에 편심추 형식의 흑을 부착하여 베드이동 롤러부의 상단부를 걸어 이동하도록 하였다. 이동방식은 Fig. 3과 같이 이송바를 이동시키는 AC모터가 역방향으로 작동하여 흑이 후방으로 이동하고(Fig. 3b) 흑이 베드 프레임의 상단부를 지나면 AC모터가 정방향으로 회전하여 재배베드를 다음 위치로 이동(Fig. 3c)시킨다. 이송바의 전후방이송 위치제어는 센서신호에 의하였다.

재배베드부의 측면이송은 3가지 작업으로 이루어지도록 고안하였다. 측면이송은 길이방향 이송이 완료되면 베드승강장치가 이동하여 재배베드부를 상승시키고, 베드 전후이송장치가 후진 후 측면이송 하도록 설계제작하였다. 양액공급은 수확 및 관리작업 시에는 양액공급이 중단되어 양액공급부와 재배베드부가 분리되고, 작업이 완료되면 제어신호에 따라 다시 결합하여 양액을 공급할 수 있는 구조인 Kang 등(2013)이 고안한 방식을 채택하였다.

재배 베드 이송부는 베드(1000×220×120, L×W×H, mm)에 담을 수 있는 상토의 양은 5kg, 시험에 이용된 5kg의 상토가 가질 수 있는 포장용수량은 약 7.3kg, 베드 프레임의 중량 8kg을 포함하여 재배베드부의 전체 중량은 약 20.3kg인 것으로 조사된 Kang 등(2013)의 연구결과를 인용하여 시험을 실시하였다. 또한 베드하부에서 작업을 수행할 수 있기 때문에 안전율은 1.5 이상으로 설정하여 설계중량은 30kg로 설정하였다.

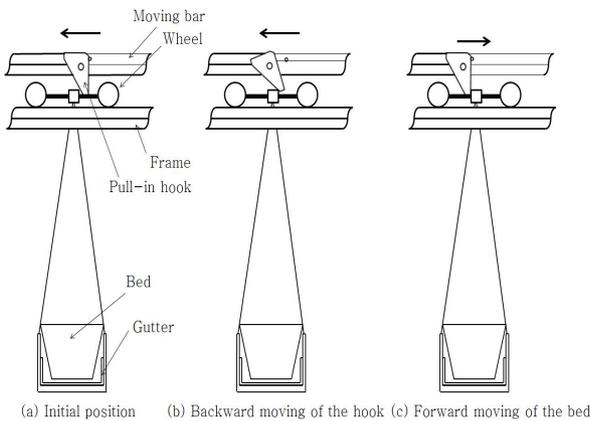


Fig. 3. The pull-in-out device for cultivation bed.

성능시험

재배조 이송 견인력

행거식 순환형 재배베드시스템의 재배베드부를 이동시킬 때 소요되는 견인력의 측정은 시스템의 대규모화할 때 작동기를 설계하는데 꼭 필요한 조건 중 하나이다. 따라서 시스템의 설계 기초자료로 사용하기 위하여 재배베드를 견인할 때 소요되는 견인력 측정장치를 구성하여, 견인력을 예측할 때 필요한 계수를 구하였다. 견인력 측정은 Fig. 4와 같이 재배베드에 상토를 채우고 충분히 관수한 후 이동시키면서 소요되는 힘을 로드셀(SBA-100L, CAS Corp.)을 이용하여 측정하였다. 로드셀은 Fig. 3의 길이방향 이동부의 랙을 구동하는 구동축에 장착하였다. 견인력 측정은 재배베드부 1개일 때부터 5개일 경우까지 실시하였으며, 각 시험은 5회 반복하여 수행하였다. 베드 전체의 무게는 약 30kg이고, 딸기가 자라고 있는 상황을 고려하여 베드 상단에 10kg 추를 올려놓고 측정하였다.

재배조 이송 동력

행거식 순환형 딸기 재배베드 시스템을 작동하기 위한 작동기는 길이방향이송용, 재배베드 승강용, 재배베드 전후이송용, 측면이송용, 양액공급용으로 각각 2개씩 총 10개가 필요하다. 이동형 재배베드시스템을 구동하기 위한 소요동력 측정은 모든 베드를 1사이클 동안 회전시켜 측정하였다. 측정방법은 초기위치인 10개의 베드를 정위치에 위치시킨 후, 시작기의 각 작동기를 작동시켜 이 때 필요한 소요동력 및 작동시간을 측정하였다. 측정순서는 재

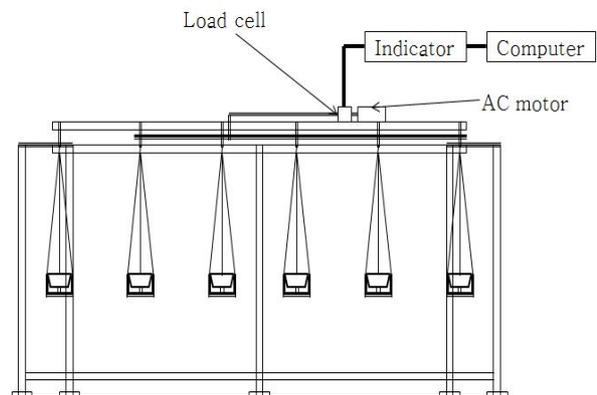


Fig. 4. The cultivation system and equipment for pull-in force measurement.

베베드를 이송시키면서 측정하고, 마지막으로 양액공급장치를 작동시켜 측정하였다. 측정은 전력계(HPM-300A, AD power CO., LTD)를 이용하였다.

베드 이동 시 진동 측정

와이어 줄에 의해 고정되어 있는 재배베드는 길이방향 이송장치에 의해 이동할 때 이송속도와 와이어 길이에 따라 진동이 발생하게 된다. 정확한 위치에서 정지하여 양액을 공급해야하는 시스템의 특성상 재배베드의 진동으로 인하여 베드부 전체가 이동하게 되어 양액공급이 불가능한 경우가 발생할 수도 있다. 따라서 길이방향 이송장치의 속도에 따른 재배베드의 진동을 측정하고, 이로 인하여 발생하는 이동오차를 최소화하도록 시험장치는 설계되었다. 진동 측정은 재배베드 이동 시 발생하는 진동 측정을 위해 2축 자이로 센서(NT-ARsV1, NTREX Co., Korea)를 활용하여 진동각을 측정하였다. 측정은 재배베드 상단에 자이로 센서를 수평으로 탑재한 후 재배베드를 이동시켜 Roll각과 Pitch각을 측정하였다.

시험 결과

재배조 이송 견인력

재배시스템의 재배베드부를 이송시키는 길이방향 이송 중 초기에 최대 견인력이 요구된다. 길이방향 이송 시 초기 견인력 측정된 결과를 식 (1)에 적용하여 베드이송용 휠과 가이드 간의 정마찰계수와 동마찰 계수는 계산한 결과 각각 0.024, 0.018이었다.

$$F = \mu \times m \times g \times N_h \quad (1)$$

여기서, F : 견인력, μ : 마찰계수, m : 재배베드부 1개의 질량, g : 중력가속도, N_h : 재배베드개수이다. 행거식 재배베드 시스템의 길이방향 작동기를 설계하기 위해서는 모든 베드를 견인 할 때의 총 견인력과 식 (2)와 같이 작동기의 운전동력을 구하여 $F > F'$ 가 성립되면 작동기가 재배베드부를 구동할 수 있게 된다.

$$F' = T_m \times i \times \eta_1 \times \frac{2}{D} \times \eta_2 \quad (2)$$

여기서 F : 작동기에 의한 운전동력, T_m : 모터의 토크, i : 랙피니언 감속비, η_1 : 감속변환효율, D : 피니언 직경, η_2 : 랙피니언 변환효율이다. 5개의 재배베드부로 구성된 본 시스템에 대해 식 (1)에서 실제 중량 대신 설계중량인 441N을 대입하였을 때 견인력(F)은 52N으로 길이방향 이송장치에 부착될 작동기는 0.1Nm 이상의 토크를 가진 것이어야 할 것으로 판단된다.

재배조 이송동력

시스템이 1사이클 작동할 때 소비전력의 변화의 예는 Fig. 5와 같다. 10개의 모터를 이용하기 때문에 작동 대기전력은 120W이었고, 순간 최대동력이 필요한 시기는 재배베드의 측면이송을 위하여 베드를 들어 올릴 때 약 285W가 필요한 것으로 조사되었고, 길이방향 이동시의 소비전력은 최대 약 250W로 조사되었다. 따라서 1사이클을 이동시키는데 소요되는 소요력은 약 10개의 재배조 모두에 대해 수확이나 관리작업을 수행할 때 소요되는 소비전력량은 149Wh로 산정되어 4단계의 작업으로 구성된 거치식 순환식 재배장치(Kang 등, 2013) 대비 3.6배 많은 것으로 분석되었다.

베드 이송 시 진동 측정

Fig. 6은 재배조가 측면방향과 길이방향 이동 시에 발생하는 롤각과 피치각을 나타낸 것이다. 측면이송의 경우 롤각은 $-0.62^\circ \sim 0.68^\circ$ 이고, 피치각은 $-3.79^\circ \sim 5.26^\circ$ 로 조사되었다. 측면이송은 작동기에 의해 회전하는 롤러의 상

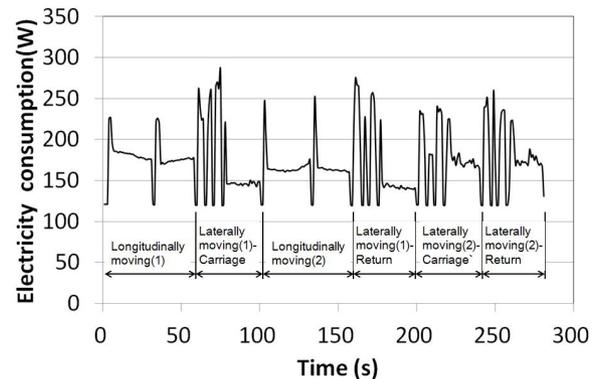


Fig. 5. Electricity consumption in 1 cycle.

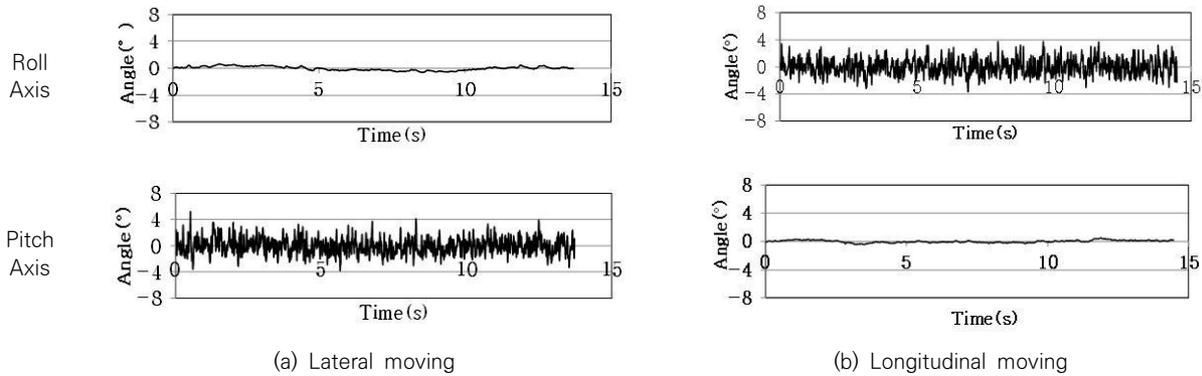


Fig. 6. The roll and pitch angle of the cultivation bed during the lateral and longitudinal moving.

단에서 재배조가 이동하기 때문에 롤각 보다 피치각이 크게 나타나는 것으로 조사되었다. 길이방향 이송의 경우 롤각은 $-3.37^{\circ} \sim 3.36^{\circ}$, 피치각 $-0.45^{\circ} \sim 0.49^{\circ}$ 로 조사되었다. 길이방향 이송은 재배조 이송력에 의해 재배조가 이동하기 때문에 롤각이 피치각에 비하여 큰 것으로 조사되었다. 딸기의 수확이나 관리작업 시에만 작동하기 때문에 조사된 진동각은 재배에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료되나, 작물이 재배될 때 재배조의 진동에 따른 딸기 과실의 진동 등에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 딸기의 재배공간효율을 최대화하여 수확량을 높이고 작업자가 앉아서 기다리면 베드가 움직여 작업자에게 다가오는 방식을 채택하여 노동력 절감 및 에너지 이용효율을 향상할 수 있는 행거식 순환형 재배장치를 개발하고 그 성능시험을 실시하기 위하여 수행하였다. 재배 베드부의 설계중량 및 견인력을 이용하여 길이방향 이송을 위한 작동기의 용량을 계산한 결과, 작동기는 0.1Nm 이상의 토크를 가진 것이어야 할 것으로 분석되었다. 10개의 재배조 모두에 대해 수확이나 관리작업을 수행할 때 소요되는 소비전력량은 149Wh로 분석되었다. 재배조 이동할 때 진동각을 측정한 결과 측면이송은 작동기에 의해 회전하는 롤러의 상단에서 재배조가 이동하기 때문에 롤각보다 피치각이 크게 나타나는 것으로 조사되었고, 길이방향 이송은 재배조 이송력에 의해 재배조가 이동하기 때문에 롤각이 피치각에 비하여 큰 것으로 조사되었다. 향후에는 행거식 순환형 재배장치와 기존 고설재배장치와의

딸기 재배시험을 통해 재배효율 및 작업용이성 등에 대한 추가 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

1. Chang YS, Gap SH, and Kim DE. 2005. Development of a chain conveyor type row-spacing system for plant factory. *Journal of Bio-Environment Control* 14(1):7-14.
2. Hayashi S, Saito S, Iwasaki Y, Yamamoto S, Nagoya T, and Kano K. 2011. Development of circulating-type movable bench system for strawberry cultivation. *Japan Agricultural Research Quarterly* 45(3): 285-293.
3. Ikeda H. 2006. Introduction and problems of a table-top cultivation for strawberry. *Agriculture and Horticulture* 61(9):14-16.
4. Iwasaki Y, Yoshida C, Urushiyama Y, Yoshida H, Saito S, Yamamoto S, Hayashi S, Ikeda H, and Ikeda T. 2012. Investigation of row spacing and nutrient solution supply method for high plant density production of strawberry using movable bench. *Horticultural Research* 11(1): 49-57.
5. Jun HJ, Byun MS, Liu SS, Jeon EH, and Lee YB. 2013. Effect of nutrient solution strength on growth, fruit quality and yield of strawberry 'Maehyang' in hydroponics. *Korean Journal Of*

- Horticultural Science & Technology 31(2):173-178.
6. Kang DH, Lee SY, Kim YJ, Kim JG, Choi HG, and Min YB. 2013. Development of circulatingtype cultivating system for strawberry cultivation. *Journal of Agriculture & Life Science* 47(6): 311- 319.
 7. Kang DH, Lee SY, Park MJ, Choi HG, and Paek Y. 2016. Study of strawberry high-density cultivating system using movable bed. *J. Korean Soc. Mech. Technol* 18(1):121-127.
 8. Kang EI, Hu JT, Li Y, and Jeong BR. 2020. Growth, Productivity, and quality of strawberry as affected by propagation method and cultivation system. *Protected Horticulture And Plant Factory* 29(4):326-336.
 9. Koichi O. 2021. Strawberry harveting robot. *Journal of the Robotics Society of Japan* 39(10); 888-891.
 10. Tsubota S., Teshima T, Yamamoto S, Kobayashi T, Nakayama N, Loan N, and Hayashi S. 2019. Measurement of sugar content by stationary strawberry-harvesting robot. *J.SHITA* 31(1):31-41.
 11. Yoshida H, Yamamoto S, Hayashhi S, Iwasaki Y, and Urushiyama Y. 2008. Development of a movable bench system for high-density cultivation of strawberries. *Journal of JSAM* 70(4):98-106.
 12. Yu IH, Jeong HJ, Cheong JW, Nam YI, Lee SY, Cho MW, Kim TY, Choi GL, and Roh MY. 2005. Devlopment of standard bench models for labor-saving production of strawberry seedling. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 23(SUPPL. I): 40.