

다관절 로봇을 이용한 상추 수확 메커니즘의 개발

Development of lettuce harvesting mechanism using a multi-joint robot

조성인*	류관희*	신동준*	노대현*	정창호*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S.I. Cho	K.H. Ryu	D.J. Shin	D.H. No	C.H.Chung

1. 서론

우리 나라의 농업은 농업노동 기피에 따른 농촌 노동력 부족과 세계무역기구(WTO)체제 출범에 따른 농산물 수입 개방의 어려움을 겪고 있으며, 소비자의 농산물 소비의 고급화와 다양화에 따른 고품질 농산물의 수요가 증대되고 있다. 이러한 변화에 대처하기 위해서는 품질 좋은 농산물을 값싸게 생산할 수 있는 기술 집약적 농업으로 발전되어야 한다.

선진국의 경우 엽채류의 시설재배는 파종에서 수확까지의 대부분의 생산공정을 기계화·자동화한 식물공장을 개발하여 고부가가치 청정채소를 연중 생산하고 있으나, 우리 나라의 경우 자동 파종기, 복합환경제어 시스템 및 자동 양액관리 시스템 등 일부분만 자동화가 진행되었고 이식, 수확 및 선별 등의 작업은 아직도 인력에 의존하고 있다.

본 연구는 대단위 엽채류 생산 공장에서 수확 작업의 자동화 시스템을 개발하기 위한 것으로, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 현재의 상추 수확 작업 공정을 분석하고, 이를 자동화하는 알고리즘을 개발한다.
2. 성장한 상추의 수확을 위한 다관절 로봇을 선정하고 적절한 end-effector를 설계·제작한다.
3. 위의 장치들로 이루어진 상추 수확 시스템을 개발하고, 실험을 통하여 시스템의 성능을 평가한다.

2. 재료 및 방법

2.1 상추 수확 알고리즘

유리 온실에서 상추는 폭 6cm, 길이 5~6m 되는 재배상에서 약 20cm 간격으로 포트에 심겨져 재배된다. 재배되는 동안 생육 단계에 따라 재배상 이송 장치에 의해 조간을 조절하게 되며, 수확시기가 되면 수확장치 앞으로 재배상을 하나씩 끌어들이도록 되어 있다. 수확할 재배상의 상추는 수확 지점까지 하나씩 공급되고 한 주 씩 수확 과정을 거쳐 주 별로 포장되어야 하며, 포트는 분리되어 세척후 재활용될 수 있도록 수거되어야 한다. 하나의 재배상이 모두 수확되면 재배상은 재활용을 위해 세척후 수집되어야 하며 이러한 동작이 반복 수행되어야 한다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

개발된 상추의 수확 시스템은 수확할 재배상의 상추를 하나씩 포트 압지 위치로 공급해주는 공급 컨베이어와 수확용 다관절 로봇, 그립퍼가 포트 압지를 위하여 접근할 때 처진 상추 잎을 부상시켜주는 공압장치, 수확된 상추를 포장부로 이송하는 컨베이어, 포트 재활용을 위한 수거부, 이러한 공정을 총괄 제어하는 로봇제어반으로 구성된다. 그림 1에 상추 수확부의 구성도를 나타내었다.

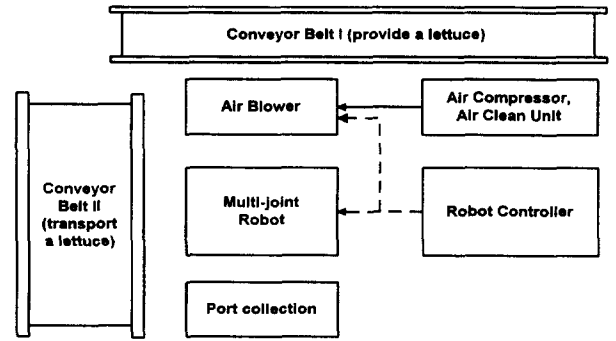


Fig. 1 Schematic diagram of harvesting system for a lettuce.

수확 및 선별 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 컨베이어벨트1에 의해 포트 압지 위치까지 상추를 하나씩 정위치 시킨다.
- ② 다관절 로봇이 포트를 압지하기 위해 접근한다. 이때, 상추 잎 부상장치에서 공압에 의해 포트를 가리고 있는 상추 잎을 띄운다.
- ③ 다관절 로봇 아암의 말단에 위치한 그립퍼가 포트를 압지하고 들어올려 재배상으로부터 포트를 이탈시킨다.
- ④ 다관절 로봇이 상추를 컨베이어벨트2 위로 이동하여 상추의 밑동을 잘라 수확한다. 절단시 상추 잎의 손상을 방지하기 위해 로봇 아암 말단을 지면에 대하여 -60° 기울인 후 수확용 칼날로 상추의 밑동을 자른다. 수확된 상추는 컨베이어벨트 2에 의해 포장부로 이송된다.
- ⑤ 다관절 로봇에 의해 포트는 수거함으로 이동하여 수거된다.
- ⑥ 로봇은 초기 위치로 돌아가고, ①로 돌아가 다음 상추의 수확 작업이 반복된다.

2.2 수확용 다관절 로봇 및 end effector

상추는 품종에 따라 200~250mm의 구간으로 재배된다. 따라서, 원활한 수확을 위해서 로봇의 작동범위가 400~700mm가 적당하다. 엽채류 등의 비교적 가벼운 농산물을 다루는 로봇은 가반중량이 3~6kg의 소형 로봇이 적합하다. 주변 장치와의 연계 작업을 위해서 로봇 제어반은 10 단자 이상의 외부 I/O 단자를 갖고 있어야 하며, 제어가 용이해야 한다.

다관절 로봇의 아암 말단에 상추 밑동 절단용 칼날과 포트 압지용 그립퍼를 상하로 설치하여 먼저 포트를 압지하고 절단용 칼날로 상추의 밑동을 자르도록 하였다.

절단용 칼날은 로봇 아암 말단에 부착하였으며, 지점 개폐형 에어척의 말단에 일반 컷터 칼날을 고정하여 사용하도록 설계하였다. 공압장치와 솔레노이드 밸브를 이용하여 구동장치를 구성하였으며, 로봇 제어기의 외부신호에 의해 제어가 가능하도록 하였다. 칼날의 최대 벌어짐 각도가 180° , 절단 구간이 60mm가 되도록 설계하여 상추 이외의 엽채류의 수확도 가능하도록 하였다.

포트 압지용 그립퍼는 평형 개폐형 에어척의 말단에 포트를 압지할 수 있도록 그립퍼를 부착하고, 공압장치와 솔레노이드 밸브를 이용하여 구동장치를 구성하였으며, 로봇 제어기의 외부신호에 의해 제어가 가능하도록 하였다. 그립퍼의 개폐구간은 $\pm 7\text{mm}$ 이하의 위치 오차를 극복할 수 있도록 에어척을 선정하였다.

그림 2에 제작된 절단칼날과 그립퍼를 나타내었으며, 그림 3, 4에 상추의 밑동을 절단하는 장면과 수확된 상추의 모습을 나타내었다.



Fig. 2 Developed gripper and blades.



Fig. 3 Figure of the cutting a lettuce.

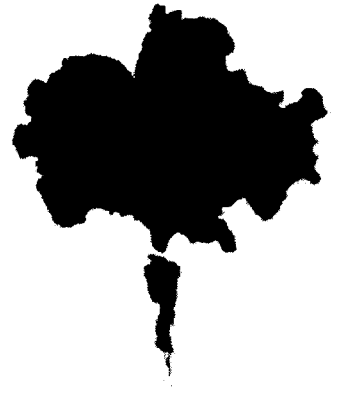


Fig. 4 Figure of the harvested lettuce.

2.3 공압 시스템

그립퍼와 절단칼날, 잎 부상장치를 구동하기 위해 공기 압축기(air compressor)와 공기 저장탱크, 공기 정화장치 및 공기 레귤레이터로 구성된 공기압 공급원에 솔레노이드 밸브를 이용하여 ON/OFF 제어가 가능한 공압 시스템을 구성하였다. 그립퍼의 작동 및 상추의 절단 실험 등을 통하여 적정 작동 압력을 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 결정하였다. 구성된 공압 시스템은 그림 5에 나타내었다.

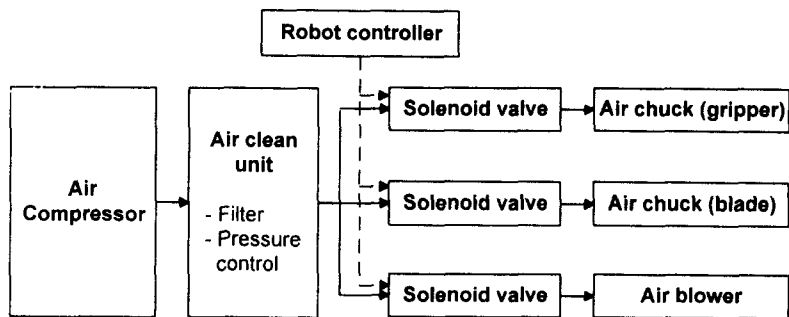


Fig. 5 Schematic diagram of the pneumatic system.

3. 결과 및 고찰

성능평가를 위해서 국내에서 생산되는 대표적인 잎상추 중에서 저온에서 잘 자라는 적치마와 적측면을 선정하여 재배하였다. 35mm 직경의 포트에 스펀지를 이용하여 정식 하였으며 정식한 후 26일째에 수확을 하였다. 수확한 상추는 적치마 32개, 적측면 30개 였다.

3.1 장치 성능평가

그림 6에 개발된 상추 수확기의 수확 장면을 나타내었다. 개발된 수확기의 성능을 평가하기 위해 수확 작업 중 각 동작의 정확도를 평가하고, 수확시간을 측정하였다.

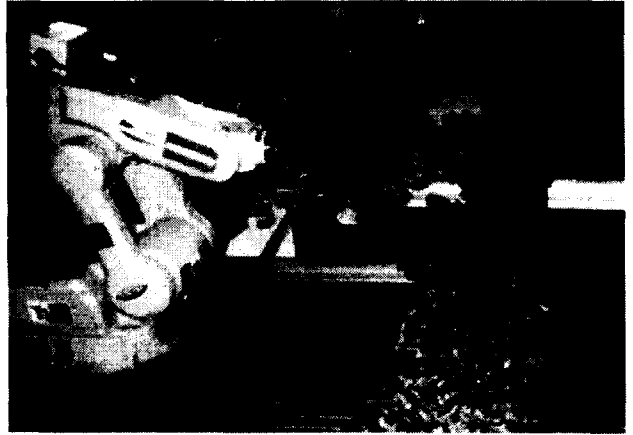


Fig. 6 Figure of the robotic harvester for a lettuce.

컨베이어 공급기는 최대 발생 오차가 $\pm 5\text{mm}$ 를 넘지 않았으며, 이는 그립퍼가 $\pm 7\text{mm}$ 의 오차 극복이 가능하였으므로 포트가 압지되지 않은 경우는 발생하지 않았다. 수확된 상추도 정위치에 수확되었으며 포트도 100% 수거되었다.

상추 한 주의 수확시 걸리는 시간은 약 10초가 소요되었다.

3.2 수확 성능평가

재배된 상추의 상태가 고르지 않아 상추의 상태에 따라 양호, 불량으로 구분하여 실험하였다. 줄기가 심하게 휘어서 포트의 외경을 벗어난 것과 잎이 심하게 쳐져서 포트를 가린 경우의 상추를 불량한 상추로 구분하였고, 나머지는 양호한 것으로 판단하였다. 이렇게 구분한 상추의 수확 결과는 표 1(적치마)과 표 2(적측면)에 나타내었다.

Table 1. Performace of the robotic harvester for a lettuce (species 1).

Result analysis		The appearance of a lettuce		Sum
		Goodness	Badness	
Wrong harvesting	Lettuces failed to cut	0	1	5
	Lettuces with an uncut leaf	0	0	
	Lettuces with a damaged leaf by blades	1	3	
Successfully harvested		15	12	27
Sum		16	16	32

Table 2. Performance of the robotic harvester for a lettuce (species 2).

Result analysis		The appearance of a lettuce		Sum
		Goodness	Badness	
Wrong harvesting	Lettuces failed to cut	0	1	4
	Lettuces with an uncut leaf	0	1	
	Lettuces with a damaged leaf by blades	0	2	
Successfully harvested		12	14	26
Sum		12	18	30

실험결과에서 나타나듯이 상태가 양호한 상추에 대해서는 상추 잎이 손상된 경우가 1개 발생하여 96.4%의 정확도를 보였고, 상태가 불량한 상추에 대해서는 모두 8개의 상추가 손상을 입어 76.5%의 정확도가 나타났다. 따라서, 환경 제어가 가능한 유리온실에서 양호하게 재배된 상추의 수확에 적용이 가능하다고 판단된다. 상추의 절단이 제대로 안된 상추는 2개 발생하였는데, 이는 줄기가 포트의 외경 이상으로 휘어서 절단칼날의 작동범위를 벗어났기 때문이다. 불량한 상추를 포함한 전체 수확 대상 중에서는 수확이 안 된 것이 2개로 96.8%의 수확 성공율을 보였으며, 이중 잎의 손상은 11.7%가 발생하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 대단위 엽채류 생산 공장에서 수확 작업의 자동화 시스템을 개발하기 위한 것으로, 그 결과는 다음과 같다.

1. 다관절 로봇과 상추 공급 컨베이어, 처진 잎 부상시켜주는 공압장치, 포트 재활용을 위한 수거부, 공정을 총괄 제어하는 로봇제어반 구성된 상추 수확 메커니즘을 개발하였다. 이의 성능을 평가한 결과 전 공정이 원활히 수행되었고, 상추 한 주를 수확하는 데 걸린 시간은 10초였다.

2. 적치마(32주)와 적측면(30주)를 대상으로 수확실험을 하였다. 실험결과 환경 제어가 가능한 유리온실에서 양호하게 재배된 상추는 품질의 손상이 없이 95% 이상의 수확 성공율이 예상되었으며, 상태가 불량한 상추를 포함한 전체 수확 대상 중에서는 수확이 안 된 것이 2개로 96.8%의 수확 성공율을 보였으며, 이중 잎의 손상은 11.7%가 발생하였다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청, 1996. 농업용 로봇 연구개발 동향과 전망. '96 심포지엄발표문.
2. 농촌진흥청, 1997. 원예농업의 기계화기술 과제와 발전방향. '97 심포지엄발표문.

3. 류관희, 조성인, 황헌, 최중섭 공역. 1996. 생물생산을 위한 지능로봇공학. 문운당.
4. 한국생물생산시설환경학회. 1996. 21세기 첨단식물생산시스템의 실용화. 한국생물생산시설환경학회국제심포지움.
5. Fu, K. S., R. C. Gonzalez, C. S. G. Lee. 1987. Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence. McGraw-Hill Inc.
6. Kondo, N., Y. Nishitsuji, P. P. Ling, K. C. Ting. 1996. Visual Feedback Guided Robotic Cherry Tomato Harvesting. Transactions of the ASAE vol.39(6): 2331-2338.
7. Kondo, N., M. Monta, Y. Shibano. 1996. Multi-operation Robot for Fruit Production. ICAME '96 Proceedings : 621-631.
8. Sakaue, O., S. Hayashi. 1997. Activities at the Laboratory of Form Mechanization, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea (NIVOT). Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America vol.28(1): 63-67.
9. Simonton, W. 1991. Robotic End Effector for Handling Greenhouse Plant Material. Transactions of the ASAE vol.34(6): 2615-2621.
10. Uchida, T., T. Yamano, H. Miyazaki. 1994. Development on Automatic Harvesting System for Leaf Vegetables. 일본 식물공장학회지 vol.6(3): 197-202.