

결구상추 선택수확 로봇의 개발 연구(I)

Development of Selective Harvesting Robot for Lettuce

정 석 현* 이 기 명* T. Fujiura**

정회원 정회원

S.H.Chung K.M.Lee T. Fujiura

I 서론

본연구는, 결구야채의 선택수확을 로봇에 의해 행하고자 하는데 그 목적이 있다. 시험에 앞서 공시한 3차원시각센서를 이용한 인식은 조명광에 영향을 받기 어려우며, 결구상추 선택수확 로봇의 시각부로서 유효한 것을 알았다.

본연구에서는 결구상추 선택수확 로봇을 시작함과 동시에 로봇에 의한 수확에 필요한 결구상추의 물리성에 대해서 검토하였다. 시작한 로봇은 3차원시각센서에 의해서 이랑의 상방으로부터 밑을향해 주사한 대상물의 형태로부터 결구상추의 결구부를 인식해, 선택적으로 수확하도록 되어있다.

결구상추의 물리성에 대해서는 경부를 절단할때의 절단력, 경부를 옆으로 당겼을때의 뿌리의 유지력, 시작한 핸드를 외엽의 위에서 낙하시켰을때의 지면으로부터의 반력을 측정하였다. 이중에서, 경부의 절단력과 뿌리의 유지력은 결구상추의 경부를 절단하는 핸드에 대해서 검토하기 위하여 측정하였다. 핸드를 외엽의 위에서 낙하시켰을때의 반력은 결구상추 경부의 절단높이를 결정하는 방법들에 대해서 검토하기 위해서 측정했다. 이것은 결구상추의 경부는 상방에서는 보이지 않으므로 3차원화상처리 프로그램에서는 경부의 절단높이를 구하는 것은 불가능 하기 때문이다. 이 때문에 수확핸드를 외엽의 위에서 지면으로 낙하시켜, 지면으로부터의 반력으로부터 지면높이를 검출해서, 이것을 기준으로 절단높이를 정하는 방법을 채택하였다.

또한, 농가에서 결구상추를 수확할때는 손으로 결구부를 직접 만져봐서 딱딱한 정도를 조사해서 수확적기의 결구상추만을 수확하는 것이 일반적이다. 그러나, 3차원 시각센서를 이용한 인식으로는 결구상추의 위치와 크기에 대해서는 판단가능하지만, 경도를 포함한 결구의 정도에 대해서는 충분히 판단할수 없다. 그래서, 이 로봇에는 역각센서를 장착해서, 결구정도를 판단하도록 하였다.

* 경북대학교 농업기계공학과

** Shimane University

II 로봇의 구성

1. 개요

시작한 로봇은 1조식의 결구상추를 대상으로 한 것으로, 그림 1에 표시한 것처럼 이랑을 따라서 주행하는 차량에, 직각좌표매니퓰레이터, 3차원시각센서, 수확핸드, 반송부 및 32비트 컴퓨터를 탑재한 것이다. 수확작업은 주행부를 정지시킨 상태에서 행하며, 우선 3차원시각센서로 결구상추를 주사한다. 주사범위는 이랑방향으로 650 mm, 이랑과 직각방향으로는 폴리곤미러를 이용하였기 때문에, 범위는 결구상추까지의 거리에 따라 다르지만, 거의 500 mm였다. 주사가 끝나면 매니퓰레이터를 이동시켜서 수확핸드로 결구상추를 잡아 고정시켜, 경부를 절단한다음 콘베이어로 옮긴후 수확상자까지 이동시킨다.

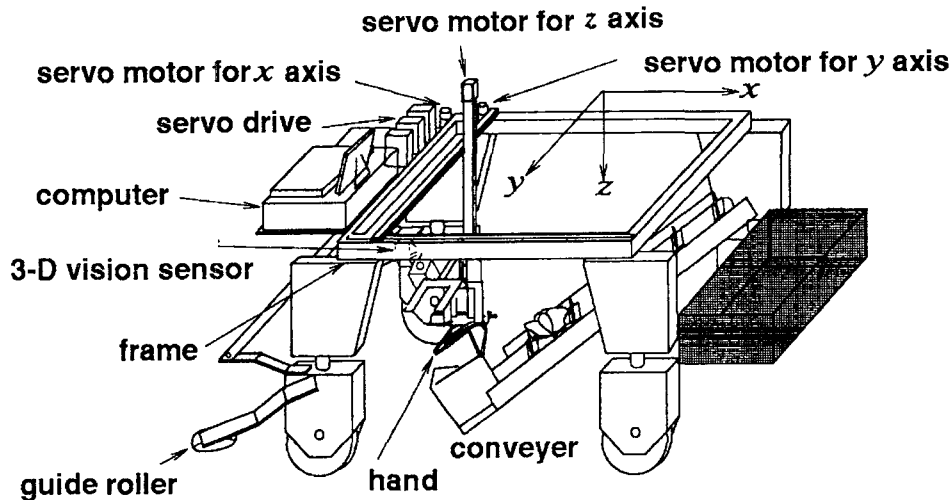


Fig 1. Outline of robot

1회의 주사로 인식한 결구상추의 수확작업이 끝나면, 자동적으로 일정거리를 주행해서, 다음의 위치에서 주사를 행해서, 이것을 반복하는것에 의하여 연속적으로 수확작업을 행한다. 단, 수확상자의 적재와 조제작업은 수작업으로 하는 것으로 한다. 로봇의 크기는 전장 2380 mm, 전폭 1020 mm, 전고 1400 mm로, 총 질량은 188 kg이다. 또한 실험은 로봇의 전원으로서는 주로 AC100 V의 상용전원을 이용하였으나 출력 1 kVA의 휴대용 발전기(27 kg)에서도 가능하였다.

2. 주행부

차량에 매니퓰레이터를 탑재한 이동로봇은 정확한 위치결정 동작을 행하기위해 매니퓰레이터의 운동에 따른 관성력이나 동심의 이동에 의한 차체의 흔들림이 없어야 한다. 또한 결구상추는 지상고가 비교적 낮으므로 이랑을 따라서 양측의 골을 차륜이 주행하는 구조로 만들 수가 있다. 따라서 주행부는 룰거가 크고 이랑을 따라서 주행하는 4륜구동차로 하였다. 1회

의 주사가 끝나면 다음의 주사위치까지 주행할때는 후륜에 장착한 회전센서의 펄스수를 계수하여 거의 일정 거리를 주행하도록 하였다. 실제의 주행거리는 토양조건에 따라서 달라질 수 있으나 1회의 주사범위와 핸드에 의한 수확범위를 고려하여 거의 35 cm가 되도록 설정했다. 그림 1에 표시한 가이드롤러는 이랑을 따라서 주행할 수 있도록 하기 위한 것이다. 좌우의 전륜에 가이드롤러를 부착해 좌우 전륜이 같은 조향각이 되도록 링크를 부착하였다.

3. 매니퓰레이터

매니퓰레이터는 3자유도의 직각좌표형으로 이랑방향을 x축, 이랑과 직각인 방향을 y축, 높이 방향을 z축으로 하는 3축으로 구성되어있다. 매니퓰레이터를 직각좌표형으로 함으로써 x, y, z의 전방향이 독립해서 이동 가능하며 x축의 구동에 의해서 결구상추의 주사와 z축을 구동함으로써 핸드의 수직강하를 용이하도록 하였다.

x, y축은 각각 정격출력 100 W, 정격회전속도 3000 rpm의 AC서보모터를 이용하여 구동하였다. 높이방향의 z축은 핸드의 중력을 부담하므로 정격출력 200 W, 정격회전속도 3000 rpm의 AC서보모터를 이용하였다.

4. 수확핸드

수확핸드는 그림 2에 나타낸 것처럼 핑거1, 핑거2, V자형의 핑거(V형핑거) 및 결구상추의 경부를 절단하는 절단날로 구성하였다. V형핑거의 우측에는 결구정도를 측정하기 위한 역각센서가 부착되어있다.

핑거 1, 핑거 2는 절단할 때 결구부를 파지하는 것으로 DC모터로 개폐동작을 한다. 개폐속도는 핑거 1, 2같이 4.2rad/s이다. 또한, 핑거 2는 수확한 결구상추를 반송부로 밀어내는 기능도 가진다. 핑거 1, 2는 각각 판 스프링과 리미트스위치를 부착해 결구상추를 파지할 때 파지력이 9.8N을 초과하지 않도록 전류를 제한할수 있게 하였다.

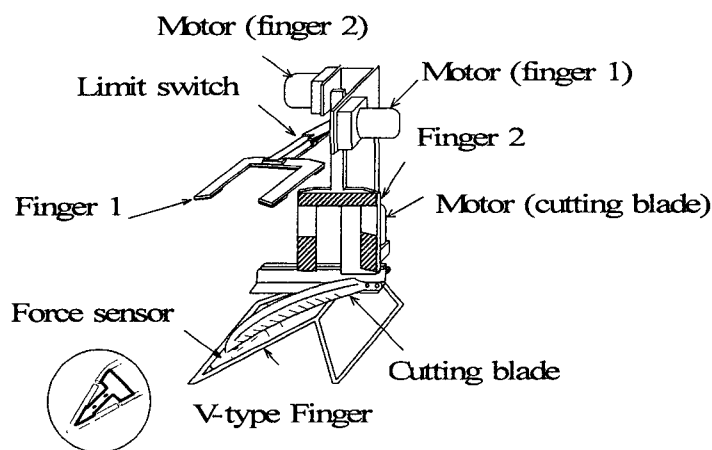


Fig 2. Harvesting hand

V형핑거는 결구부에서 밖으로 퍼져있는 외엽을 지면에 눌러서 경부를 노출시켜 절단하기 쉽도록 하는 기능을 가진다.

5. 반송부

수확핸드로 수확한 결구상추를 받아서 로봇의 후부에 탑재한 수확상자로 이동시키기 위해서 반송부로는 벨트콘베이어를 이용하였다. 벨트콘베이어의 길이는 1004mm로 벨트의 폭은 150mm이다.

III 결구상추의 물리성

1. 결구상추의 분광반사특성

본연구에서는 로봇의 시각부로서 시각센서를 선정하기 위하여 대상물로서의 결구상추의 분광반사특성을 검토하였다. 사용한 분광광도계는 더블빔형 분광광도계로서 적분구를 사용하여 식물등의 분광반사특성을 측정할 수 있는 계기이다.

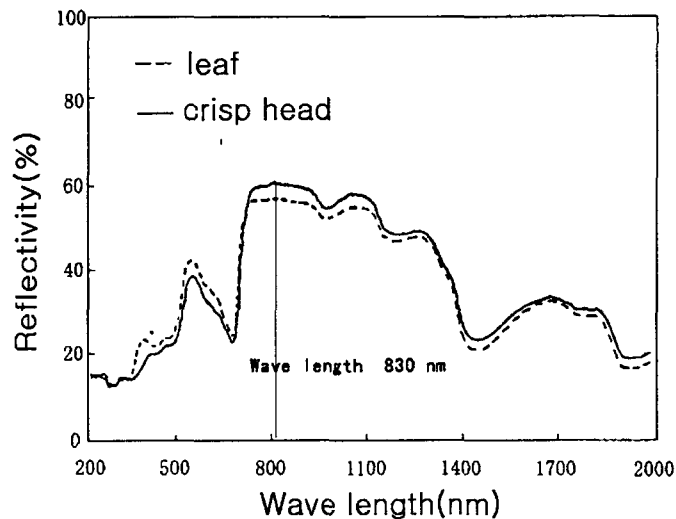


Fig 3. Spectral reflectance of lettuce

2. 결구상추의 역학적특성

2.1 실험장치 및 방법

시작한 로봇의 수확핸드는 V형핑거와 결구상추를 파지하는 2개의 핑거를 가진다. 이 V형핑거로 외엽을 지면에 누른후 2개의 핑거로 결구상추를 파지해서 절단날로 경부를 절단하는 구조로 되어 있다.

따라서 경부를 절단할때의 절단력, 경부를 옆으로 인발하였을때의 뿌리의 유지력, 시작한 핸드를 외엽으로 낙하시켰을때의 지면반력을 측정하였다. 실험에 이용한 결구상추의 품종은 "Shizuka"이며, 노지재배된 것이다. 재배토양의 함수율은 22.2 %(db)였으며, 토양경도는 콘

(정각 30° , 저면적 3.2 cm^2)의 관입저항치가 80N (깊이 5cm)였다.

2.2 실험결과

절단력의 측정결과를 그림 4에 나타내었다. 위의 그림이 절단날의 이동방향의 힘 F_1 , 밑의 그림이 직각방향의 힘 F_2 이다.

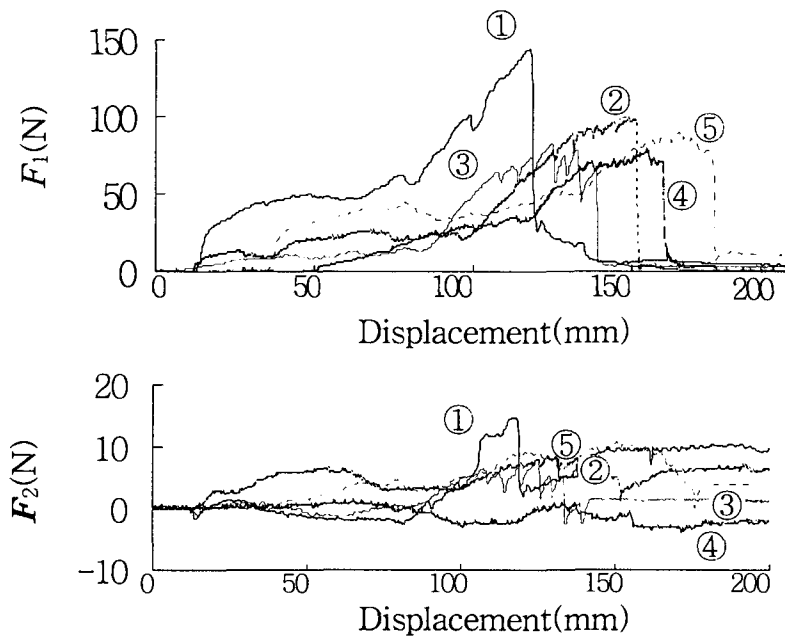


Fig 4. Measurement result of cutting force

경부의 직경은 그림의 ①에서⑤의 순으로 각각 31.0 , 30.5 , 31.5 , 22.0 , 30.5 였다. 경부의 절단 높이는 지면에서 20mm 를 목표로 하였으나 각각 2 , 5 , 15 , 20 , 6mm 였다. 실험의 결과 F_1 은 절단날의 진행에 따라서 점점 커져 최대치의 평균은 98N 이었다. 또한 뿌리의 유지력으로서 인장력을 측정된 결과 인장력의 평균은 83N 이었다. 이것은 토양조건에 따라 달라질 것으로 생각되지만, 경부절단에 필요한 힘보다는 작다. 따라서 수확핸드로 절단하고자 할 때, 파지 핑거로 파지 하지 않는다면 절단이 불완전하거나 결구상추의 결구부가 옆으로 기울어져 결구부를 절단할 우려가 있으므로 핑거 1, 2를 이용하여 결구상추를 파지한후 절단하는 것은 유효한 방법이라 사료된다.

그림 5는 지면반력의 측정결과를 나타낸다. 가로축이 V형핑거의 하단의 지면을 기준으로 한 높이를 나타내며, 세로축이 반력을 나타낸다.

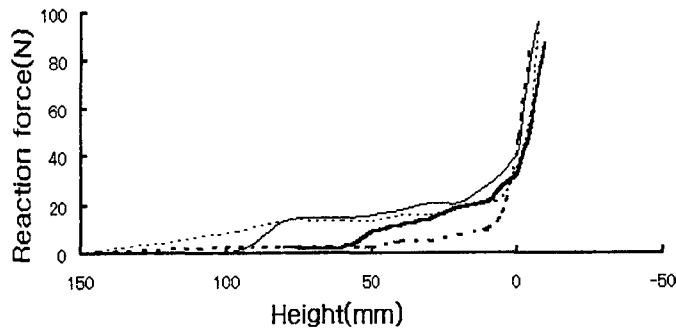


Fig 5. Measurement result of reaction force from ground

V형핑거를 낙하시키면 그 하부에 있는 외엽은 V형핑거에 눌러서 경부를 노출시키는데 유효하다. 반력은 V형핑거의 하강에 따라서 우선, 외엽을 누르기 시작하면 외엽을 통해서 지면반력이 나타난다. 이반력은 외엽의 상태에 따라 다르지만 거의 20N이하였다. 반력은 V형핑거가 지면에 도달하면서 급격히 커져 외엽의 반력과는 차는 커지게 된다. 이것에 의해서 지면이 외엽에 가리어 보이지 않더라도 지면의 높이를 검출하는 것이 가능하다. 따라서 시작 로봇에서는 손을 결구상추로 낙하시켜 반력이 54N(손의 무게)에 도달하면 손이 지면에 도달한 것으로 판단해서 낙하를 멈추도록 하였다.

IV 요약 및 결론

본연구는 수확작기의 결구 상추를 선택적으로 수확하는 로봇의 기술개발을 목적으로서 로봇을 시작함과 동시에 수확에 관련하는 물리성을 검토하였다.

- 1)로봇은 이랑은 따라서 주행하는 4륜구동차로서 직각좌표 매니퓰레이터, 3차원시각센서, 수확핸드, 반송부 및 컴퓨터를 탑재한 로봇이다.
- 2)수확핸드는 2개의 핑거로 결구상추를 파지하고 절단날로 경부를 절단해 수확한다. 수확핸드의 V형핑거가 받는 지면반력으로 지면의 높이를 검출한다.
- 3)결구상추의 분광반사특성으로부터 비디오카메라에 의한 가시영역에 있어서의 색정보나 근적외를 포함하는 2파장 비교법으로는 결구부와 외엽부의 식별이 곤란하였다. 또한 외엽부와 결구부는 830nm의 파장부근에서 반사율이 가장 높았기 때문에 로봇의 시각센서로는 830nm의 레이저가 적당한 것으로 판단되었다.
- 4)수확에 관련하는 결구상추의 물리성을 검토한 결과, 경부의 절단력은 평균 98N이며, 뿌리의 인장력은 83N이었다. 따라서 핑거로 결구상추를 파지한 후 절단하는 수확방법은 유효하다고 생각되었다.
- 5)수확핸드의 V형핑거를 결구부 측방의 외엽위에서 지면으로 낙하시켜 지면반력을 측정할 결과, 반력은 지면에 도달해서 급격히 커졌으며, 이것에 의해서 지면높이를 검출하는 것이 가능하였다.