

포도 수확용 로봇 엔드이펙터의 개발

Development of a End-Effector for Grapes Harvester

이대원 · 김현태 · 민병로 · 김웅 · 김동우*

성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

Lee, D.W. · Kim, H.T. · Min, B.R · Kim, W. · Kim, D.W*

Dept. of Bio-Mech. Eng. Sung Kyun Kwan Univ.

서 론

포도 생과의 수입 개방으로 1996년에 2,400톤, 1997년에 3,500톤을 수입한 바 있다. 현재까지는 칠레산 포도가 3월부터 5월 사이에 수입되어 그 동안 안정적으로 발전해 오던 시설포도의 수익성이 크게 떨어진 바 있으나 수입종 과실의 품질, 기호성, 신선도, 잔류 농약의 문제 등으로 소비자들이 국산 포도를 선호하고 있어 크게 문제되지 않고 있다. 그러나 앞으로의 포도의 지속적인 수입 개방으로 인하여 좋은 품질의 포도가 수입될 것으로 예상된다. 99년 12월부터 공식협상에 들어간 한·칠레간 FTA(Free Trade Agreement : 자유무역협정)에서 칠레산 포도(전체 포도 수입의 75%)는 현재 47%의 관세하에서도 국내산 포도에 비해 50% 수준에도 미치지 못하고 있다.

이러한 상황에 대처하기 위해서는 품종과 작형을 다양화하고 재배 기술을 개선하여 수입포도를 능가할 수 있는 고품질과의 생산과 소비자의 구미에 맞는 과실 생산과 생산비 절감에 힘을 기울여야 할 것이다.

모든 농산물은 최적기에 수확하지 않으면 안 된다. 현 농촌의 실태로 볼 때 일손부족으로 시설의 자동화는 오늘날 원예 분야에서의 중요한 생산기술로써 농업의 기술발달의 역사에도 중요한 위치를 차지하고 있다. 농산물의 고품질화 및 생산비 절감으로 대외 경쟁력을 높일 수밖에 없는 실정에서 농산물의 적기 수확은 재배기술 못지 않게 중요하다.

현재 엔드이펙터를 이용하여 수확기 개발을 시도하고 있다. 엔드이펙터를 이용한 작업은 지루한 작업이 반복적으로 수행되는 어렵고 힘든 작업에 이용되고 있다. 농업 분야는 단순 자동제어 시스템으로 해결될 수 없거나 복잡하고 지루한 반복작업이 지속되는 분야이기 때문에 농업용 엔드이펙터 개발이 필요한 실정이다.

포도 수확용 로봇의 엔드이펙터를 개발하기 위하여 기초 연구로서 시도된 본 연구의 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

1. 과경을 절단할 수 있는 절단부를 개발한다.
2. 절단된 과실의 손상을 최소화하여 받고 운반할 수 있는 수납부를 개발한다.

재료 및 방법

(1) 실험장치

포도수확기의 설계에 있어 고려해야할 가장 중요한 것은 작업성능이다. 작업 성능을 높이기 위해서는 상승부의 스크류를 신속하게 이동시켜 정확한 위치에 있게 하는 것이다.

따라서 수확작업을 수행하는데는 엔드이펙터 성능의 중요한 요소인 공간상에서 원활하게 작동하고 수확 중에 포도에 상처를 주어서는 않된다는 점과 습기에 대한 내부식성을 가지기 위하여 알루미늄 계열의 드랄리늄과 ABS 수지를 이용하여 제작하였다.

엔드이펙터의 설계는 Kinetix사의 AutoCAD2000과 3DS MAX를 이용하여 설계하였으며, CNC 조각기를 이용하여 제작하였다.

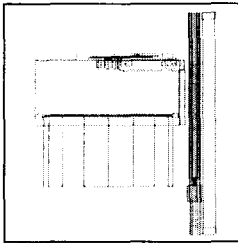


Fig. 1. Side view

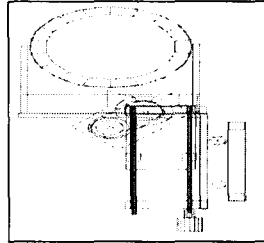


Fig. 2. Front view

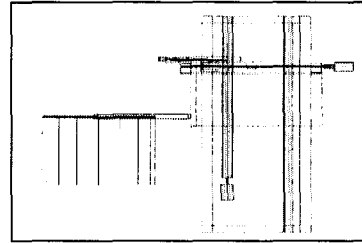


Fig. 3. Right side view

가. 상승부

수확작업을 수행하는데 있어 상승부의 역할은 연약하고 상해를 입기 쉬운 포도에 엔드이펙터를 근접시키는 것이다. 상승부는 12 ϕ 스크류를 사용했으며 스크류의 흔들림을 방지하기 위해 12 ϕ 샤프트를 사용하였다. 모터는 모터뱅크사의 GM35 24V DC 모터를 사용하였다. 커플링은 모터쪽이 7 ϕ 스크류 쪽이 5 ϕ 짜리를 사용하였다.

나. 절단부

포도의 경우 과경이 질기기 때문에 순간적으로 큰 토크를 요구하므로 보다 쉽게 구연하기 위해 톱날을 사용하게 되었다. 톱날은 목공용 톱날로서 70 ϕ 를 사용하였다. 톱날부분을 구동시키는 모터는 12V 1500RPM짜리 타이완 모터를 사용하였다. 절단부의 상승시 톱날집을 8 ϕ 스크류를 사용하여 상승시에는 톱날집이 들어갔다 광센서로 인식하고 나면 톱날부위가 나오도록 설계하였다. 스크류는 모터뱅크사의 24V 토크 4.91(mN.m) 6000RPM GM-35 기어모터를 사용하여 구동시켰다. 스크류는 카스코 정밀주식회사의 SA 범용스스크류를 사용하였고 지지대는 BK8과 BF8를 사용하였다.

광센서는 오토닉스사의 FD-620-10모델로 수광부와 발광부가 같이 있는 광센서로 허용힘 반경은 30R 최소 검출 물체는 ϕ 0.03 검출거리 200mm이다. 또 광화이버 센서 BF3RX를 사용하였다. 이 모델은 응답시간 1ms이하이고 전원전압 DC12 ~ 24V 이고 소비전류 40 mA이하 사용 광원은 적색 발광 다이오드 감도 조종은 VR내장 방식으로 2단 조정으로 강조정 및 미세 조정이 가능하다. 광센서의 위치는 너무 낮으면 톱날집이 포도 줄기를 상하게 할 우려가 있고 너무 높으면 포도를 상하게 할 우려가 있는바 이에 톱날위치와 최소의 거리가 되는 톱날집 바로 위에 설치를 하였다.

다. 수납부

수납부는 떨어지는 포도를 가능하면 충격 없이 받아 이송부로 정확히 전달하는 역할을 한다. 포도에 손상 없이 받아내어야 함으로 가이드의 최대직경을 160 ϕ 으로 설정하였다. 상승부 스크류가 하강시 가이드가 레일을 따라 회전하여 포도를 이송부로 전달할 수 있도록 설계하였다. 180도 회전할 수 있도록 하기 위해 바퀴를 사용하였으며 바퀴는 소형화를

위해 외경 22 ϕ 인 베어링으로 대신하였다. 이를 마찰 줄여 회전시키기 위해 지지대에 내경 6 ϕ 인 베어링을 사용하였다. 포도를 수납하기 위한 소재로는 충격을 완화할 수 있고 포도가 이송부로 부드럽게 전달될 수 있는 것으로 낚시에 쓰는 어망을 이용하였다. 또한 무게를 줄이기 위해서 ABS수지를 사용하였다. 수납부의 동작 과정은 Fig. 4와 같다.

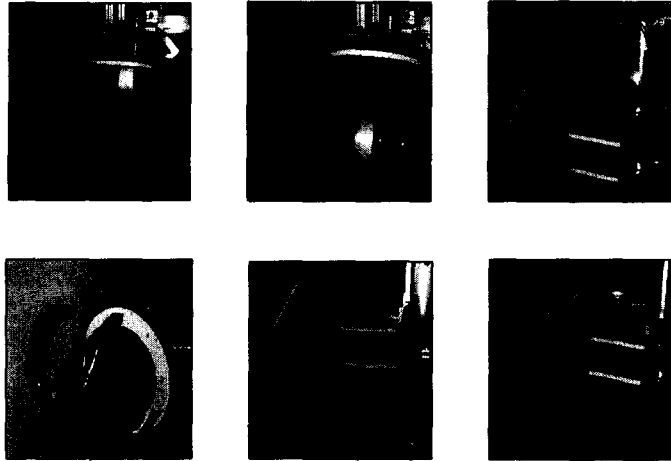


Fig. 4. Reception part

라. 제어장치

전체적인 제어는 PIC16C73A-04/SO칩을 사용하였다. 또한 LCD는 PIC16C711-04/P를 사용하였고 모터드라이브는 L298N W88AB740칩을 사용하였다. 컨트롤 기판은 다음과 같다. 기판에 들어가는 전원은 24V아댑터 1개와 12V아댑터 1개를 사용하였다. 기판에서의 작동은 톱날의 회전 속도를 최고 1500rpm으로 이를 255분할 하였으며, 이를 LCD에서 수치를 확인하여 실제 수치로 환산할 수 있도록 하였다.

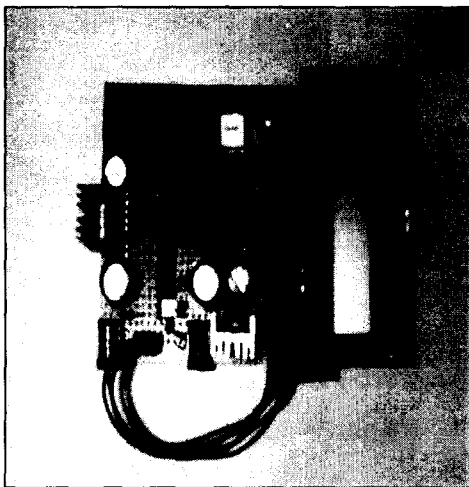


Fig. 5. Control board

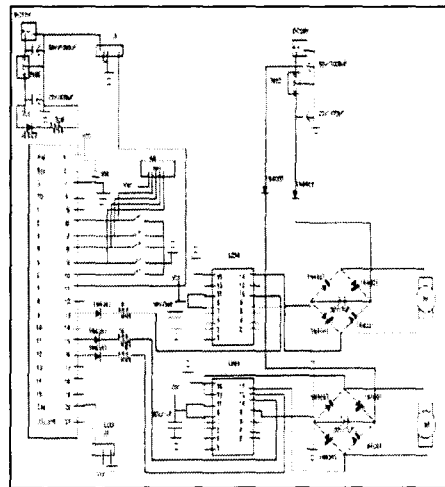


Fig. 6. Circuit of controller

(2) 작동방법

제작된 엔드이펙터가 일정한 속도로 상승하면서 광센서에 의해서 과경의 위치를 찾게 된다. 광센서가 물체를 인식하면 “1”이 되고 하지 못하면 “0”으로 인식한다. 절단부를 구동시키는 절단모터는 광센서가 0 → 1 일때 off 상태가 되고, 1 → 0 일때 on 상태가 된다. 반면에 엔드이펙터의 상승·하강을 유도했던 수직이송모터는 광센서가 0 → 1 일때 on 상태가 되고, 1 → 0 일때 off 상태가 된다. 또한 절단모터의 유동거리는 120mm 정도이며 이 거리를 왕복한 후 off 상태로 돌아간다. 동시에 수직이송모터는 역회전하여 엔드이펙터의 하강을 유도하게 되고 따라서 레일의 영향으로 가이드가 뒤집어진다. 다시 상승하게 될 때 가이드의 바퀴와 하중에 의하여 원상태로 돌아오면서 반복된 수확작업을 가능하게 하였다 .

(3) 실험방법

포도 엔드이펙트의 성능을 판단하기 위한 실험장소는 안성군 대덕면 명당리소재의 성민포도원으로 약 200ton 의 거봉(올림피아)을 생산하는 곳으로 높이 약 1.8m의 포도나무가 약1.2m의 간격으로 재배되는 곳이다.

수확이 가능한 포도에 제작한 엔드이펙트를 설치하여 광센서가 포도 과경을 감지하여 알맞은 위치에서 최적의 rpm으로 과경을 절단할수 있는가를 실험하였다. 이를 위해 rpm 을 조금씩 높여가면서 과경이 절단 될 때까지 여러 차례 실험을 반복하였다.

버니어캘리퍼스를 이용하여 과경의 지름과 본 엔드이펙터로 절단 가능하다고 판단되는 과경의 길이를 측정하고 절단된 포도의 무게를 측정하여 톱날의 회전속도 조절을 통한 최적의 절단 속력을 추정하였다. 또 절단된 포도의 낙하상태를 살펴 정확히 수납부 속으로 떨어지는지 여부와 포도의 손상 상태 등을 확인하고 이송부로 잘 전달될 수 있는지 여부도 실험하였다.

결과 및 고찰

(1) 과경 절단의 최적 RPM

포도 과경을 최적 rpm으로 절단하기 위하여 rpm의 값을 일정 하게 증가시키고 과경의 위치를 임의로 조금씩 변화를 주어 실험하였다. 대부분의 포도 과경은 860rpm 정도에서 모두 절단되었으나 무게가 500g 이상이 되면서 훨씬 큰 rpm을 필요로 하고 있다. 또한 이를 수치상으로 알아보기 쉽게 하기 위하여 무게에 따른 rpm의 평균값을 계산하여 보았다.

Table 1. Average of rpm

variable num	weight	rpm
1	100	647.159
2	200	861.592
3	300	860.294
4	400	882.353
5	500	901.961
6	600	955.882
7	700	976.471

Table 1에서 rpm을 결정하는데 있어서 과실의 무게가 큰 영향을 주지는 못하였다. 이는 절단부의 절단부이송모터가 일정한 속도로 움직였기 때문이라고 여겨진다. 절단모터의 높은 rpm에 의해서도 과경을 모두 절단되지 않는 경우가 종종 발생하였다. 따라서 과경이 두꺼운 경우, 보다 느린 속도로 움직여 과경이 절단될 여유 시간을 주어야 했다. 즉, 절단부이송모터는 과경의 두께나 길기 정도에 따라 속도가 제어될 필요가 있었다. 100g 이하의 과실에 있어서는 예상 밖으로 아주 낮은 rpm만을 요구하였다. 이는 일반 포도 줄기와 달리 가지의 경도가 낮은 과경임을 의미한다. 반면 500g 이상의 포도의 경우 훨씬 높은 rpm을 요구하는데 이는 무거운 과실을 지탱하기 위해서 과경의 경도 높아졌기 때문이다.

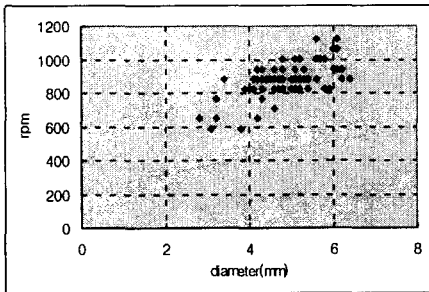


Fig. 7. Relation diameter with rpm

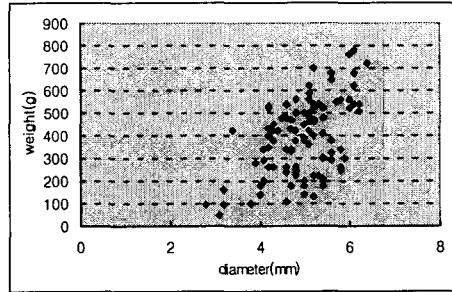


Fig. 8. Relation diameter with weight

위 Fig. 7과 Fig. 8의 결과에서 과경의 지름이 4mm이상인 경우 800rpm이상의 속도가 필요하다. 또한 과경의 직경이 두꺼워졌다고 해서 무게의 변화가 갑자기 변화한 것이 아니므로 과경 자체의 변화로 나타났다.

(2) 수납부의 이송부로의 전달

수납부는 포도가 정확히 수납부에 떨어지는가와 포도에 손상 없이 떨어지는가에 중점을 두고 측정하였다. 수납부는 ABS수지를 이용하여 가이드를 대고 가이드에 가이드와 직접적인 접촉을 피해 망을 고정시켜 가이드의 휨 방지와 망을 사용하여 충분한 충격흡수 작용을 할 수 있게 하였다. 또한 실험에 사용된 포도의 최대 길이가 대략 150mm인 점을 감안하여 첫 번째 수납부의 길이가 180mm인데 비해 두 번째 장치는 120mm로 짧게하여 보다 낙차가 적고 부드럽게 이송부에 전달되도록 만들었다. 실험 결과 포도의 충격 흡수와 이송부로의 전달은 손상 없이 부드럽게 전송할 수 있었다.

(3) 엔드이펙터의 수확작업시 적합성

상품성이 있다고 여겨지는 거봉 포도의 경우 대략 400g ~ 800g 정도이며 과경의 지름은 400 ~ 600mm정도였다. 그리고 엔드이펙터가 작업할 수 있는 과경의 길이는 20mm 이상이 되어야 포도와 줄기에 손상을 입히지 않고 작업이 가능하였다. 모든 포도를 절단, 운반하기 위해서 수직이송모터는 최대 속도로 상승하여 포도의 과경 위치를 파악하고 절단모터는 적정 속도는 1200rpm이상 되어야 모든 과경을 무리 없이 절단할 수 있다. 톱날 집의 전진을 위한 속도는 6.25mm/sec였으나 이보다 조금 느린속도 즉, 4mm/sec의 속도로 줄여 과경이 잘릴 충분한 여유를 주어야 한다. 수납부의 경우 어망의 길이는 120mm 정도 인데 실험에 있어 모든 포도를 안전하게 받아냈으며 이송부 전달시 크기에 상관없이 모두를 전달하는데 성공하였다.

요약 및 결론

본 연구는 과경을 절단할 수 있는 절단부와 과실의 손상을 최소화하여 과실을 받고 운반할 수 있는 수납부로 이루어진 포도 수확용 로봇의 엔드이펙터를 개발하는 것이다.

본 연구에서 제작된 포도 수확용 로봇의 엔드이펙트는 제어를 쉽게 하기 위해 DC모터를 사용하였으며 내구성과 무게를 고려하여 ABS수지와 드랄미늄을 사용하여 제작하였다. 또한 과경의 절단부위의 높이를 측정하기 위해 광센서를 사용하였다. 수납부는 수납망을 설치하고 가이드를 만들어 포도의 손상을 적게하고 이송부로 부드럽게 전달되도록 하였다.

주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 절단부에서 절단속도는 과실의 무게와 과경의 굵기를 감안하여 1100rpm에서 1200rpm이 가장 적당한 절단부 속도였다.
2. 절단부의 전진속도를 결정할 때 톱날이 과경에 낄을 방지하기 위해 과경의 굵기를 고려하여 속도를 조절하여야 한다.
3. 포도를 절단하여 절단된 포도를 수납 할 수 있는 수납부의 길이는 100mm에서 120mm가 적당하며 수납부의 설계시 가이드가 험이 없고 포도에 충격이 없게 고려하여 설계하여야 한다.

참고문헌

1. 이재창 포도재배의 신기술 선진문화사 1999년 오이용 엔드이펙터의 기초연구
2. 류관희·조성인·황 현·최중섭 생물생산을 위한 지능로봇공학문우당 1996
3. 上田次男 센서 인터페이싱 No.2 機電研究士 1989
4. Fu K. S., R. C. Gonzalez, C. S. G. Lee, Robotics ; Control , Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill Book Company
5. Lea, Dae-Weon, A Robotic and Vision System for Locating and Transferring Container Grown Tobacco Seedling, Ph. D THesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC. 1990
6. Hwang, H.,f. e. sistler. 1985. The implementation fo a robotic machine. ASAE and SME, Proceedings of the Agri-Mation I Confernce & Exposition.
7. Japanese Society of Agricultural Machinery, Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, Vol.3. 1995