

보행용 인발식 마늘수확기 개발⁺

Development of a Lifting Type Walking Garlic Harvester⁺

장영창*	노광모**	박준걸**
정회원	정회원	정회원
Y. C. Chang	K. M. Noh	J. G. Park

1. 서론

우리나라는 마늘의 주요 생산지이며 소비지로서 마늘은 국가 기간 채소로 지정되어 있으나 생력기계화 작업체제는 확립되어 있지 않다. 특히 마늘의 수확은 많은 노동력을 필요로 하여 마늘 생산비에 수확비용이 차지하는 비중은 매우 높다. 따라서 마늘 생산의 경쟁력 향상을 위해 효율적인 마늘수확기 개발이 시급한 실정이다.

마늘수확기의 개발을 위한 기초 연구로서 노광모 등(1999)은 수확시기 마늘의 기계적, 형상적 물성을 분석하였으며 전현종 등(1999)은 마늘 주산지의 재배 및 수확 방법에 대한 기초 자료를 제시하였다. 또한 장영창 등(1999a, 1999b)은 인발식 마늘수확기의 기초적인 개념 설계와 설계인자를 분석하였으며 시작기의 성능 검증을 통해 문제점을 고찰하였다.

인발식 마늘수확기의 기본개념은 마늘줄기가 인발 가이드를 따라 인발부로 안내되어지면 상방향으로 인발된 후, 측면 이송되는 방식으로서 인력에 의한 마늘수확 작업체제와 유사하다. 그러나 마늘이 연속적으로 인발되어 인력작업에 비해 매우 높은 수확능률을 갖는다. 또한 굴취식 수확기와 비교하여 연료가 절감되고 마늘종구의 손상이 적은 장점이 있다.

마늘수확기가 최적의 수확효율과 경제적인 작업성능을 발휘하기 위하여 수확부 및 이송부, 동력전달부의 설계는 매우 중요하다. 본 연구에서는 인발식 마늘수확기의 개념설계와 역학 및 기구학적 분석을 바탕으로 5조의 보행용 인발식 마늘수확기를 설계·제작하고 성능을 시험하여 작업의 능률과 효율을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

그림 1과 2는 보행형 인발식 마늘수확기의 기본 개념에 근거하여 5조의 보행형 인발식 마늘수확기의 전면 및 측면개념도를 보여주고 있다. 인발식 마늘수확기의 주요부는 안내 가이드, 인발부 및 이송부, 측면이송부 등으로 이루어진다. 그림에서 보는 바와 같이 마늘줄기는 인발체인 사이에 안내되고 체인의 상부 회전에 의해 마늘은 인발, 이송되어지며 상부로 이송되어진 후 측면이송부에 의해 배출된다. 배출된 마늘은 포장 옆에 일정 배열되고 자연 건조된 후 일괄 수거된다.

+ 본 연구는 농림부 특정연구과제 연구비 지원에 의해 수행되었음

* 서울대학교 농생대 농업개발연구소

** 건국대학교 자연대 생물산업기계공학과

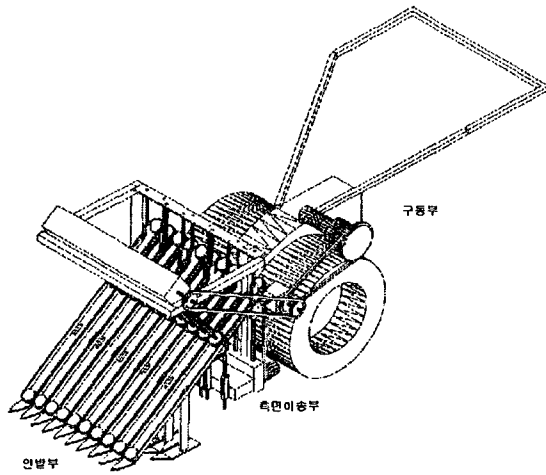


그림 1. 인발식 마늘수확기 전면개념도.

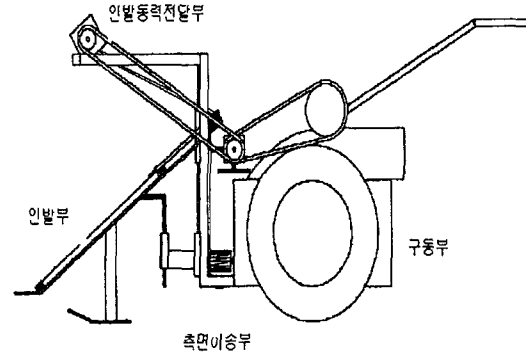


그림 2. 인발식 마늘수확기 측면개념도.

인발체인의 회전속도는 수확기의 전진속도 비례형으로 구성되어야 하며 이를 통하여 마늘 줄기는 지면에 대해 수직 인발이 이루어지게 된다. 측면이송속도는 마늘의 주간거리에 따라 조정되어야 하며 연속적인 인발을 감안하여 수확기 전진속도에 비례하여야 한다.

본 연구에서 제작한 시작기는 보행형 인발식 5조 마늘수확기로서 마늘의 조간거리와 주간거리는 전국적으로 다양한 마늘재배 양식에 기인하여 대단위 산지인 전남 무안의 마늘 재배양식을 기준하였다. 전남 무안의 재배양식은 두둑폭 1.4m, 조간거리 12cm, 주간거리 18cm로서 대략 1평당 2점(200개)을 재배한다.

(1) 인발장치 및 인발 시작높이

인력으로 마늘을 수확할 때 양력은 인발력 전달의 출발점으로 대개 15-20kg 정도로 나타났다. 마늘줄기에 인발력을 효과적으로 전달하면서 압축력을 분산시키기 위하여 줄기를 붙잡는 인발장치로써 2단 체인을 설정하였다. 따라서 줄기는 체인을 따라 총 4개의 접점으로 붙잡히며 인발폭은 3.0cm였다. 또한 인발체인의 중간점이 마늘줄기를 최초로 접촉하는 높이는 그림 1에서와 같이 미끄럼대의 높이를 조정하여 지면 위 8cm에 위치하도록 하였다. 그러므로 인발력은 지면 위 6.5cm-9.5cm 사이의 마늘줄기를 통해 전달된다.

(2) 인발/이송부의 길이 및 인발 상승각

마늘뿌리가 지면 위로 올라올 때 인발이 마무리되었다고 가정하면 마늘종구 및 뿌리의 길이를 고려하여 마늘종구는 수직방향으로 최소 25cm만큼 상승되어야 한다. 또한 마늘의 인발시, 인발 상승각은 인발성능에 매우 중요한 요인으로서 실험적 방법에 의거해 결정된다.

본 연구에서는 3차의 예비실험을 통하여 인발부가 길지 않아 운전성이 양호하고 인발성능이 유지되는 30°를 인발 상승각으로 설정하였다. 또한 마늘이 인발된 후 측면이송부에 도달할 때까지 20cm의 상부이송 여유를 두어 인발/이송부의 길이는 80cm로 하였으며 인발부

의 무게를 줄이기 위해 열처리 알루미늄으로 제작하였다.

예비실험에 따르면 마늘 두둑은 수확기 진행방향(주간방향)과 조건 방향으로 요철이 있고 요철은 인발력 전달의 기준 높이 8cm에 상하방향으로 변이를 주게되어 인발을 어렵게 만드는 요인으로 작동하였다. 본 연구에서는 인발부 상하운동 가이드와 선형베어링을 조합하여 5조의 인발부가 각각 10cm의 독립적인 상하운동으로 요철을 따라가도록 고려하였다

(3) 인발부의 속도

가장 이상적인 인발은 마늘줄기가 지면에 대해 수직인 상태로 인발되는 것으로서 이 상태를 유지하기 위해서는 인발체인 지면방향 분속도가 수확기 전진속도와 같아야 한다. 그러나 LePori 등(1970)에 따르면 지면방향의 분속도는 수확기 전진속도에 비해 110% 정도 빠른 것이 줄기를 안정적으로 붙잡는데 바람직한 것으로 나타나 이를 기준하였다. 또한 수확기의 전진속도는 작업자의 포장 내 이동 가능속도인 0.3-0.5m/sec 정도로 설정하였다.

(4) 인발/이송부의 인발간격

마늘줄기는 인발부에 잡힌 후 인발체인 사이의 인발간격에 의해 압축되고, 이러한 압축을 통하여 인발력이 전달된다. 마늘이 압착될 때 줄기의 직경은 약 2.5mm 정도로 감소하나 마늘의 생육상태에 따라 변한다. 따라서 본 연구에서는 마늘줄기의 압착력이 스프링을 통하여 전달되도록 인발체인 후면에 3cm 간격으로 스프링을 배열하고 스프링의 변이에 따라 압축력이 전달되도록 설계하였으며 포장에서 마늘의 생육상태(마늘줄기의 직경)에 따라 스프링의 변이를 조정할 수 있도록 하였다.

(5) 측면이송부

마늘은 인발되고 상방향으로 이송된 후, 측면이송부에 의해 마늘두둑으로 배출된다. 마늘의 무게중심은 마늘종구의 무게 때문에 아래로 처지게 되어, 본 연구에서는 마늘의 원활한 측면이송을 위하여 마늘종구는 컨베이어 위에서 이송되도록 하였으며 동시에 마늘줄기는 2조의 측면이송부 벨트에 달려있는 러그에 20°정도 후면으로 기울어져 이송되도록 하였다.

측면 이송부의 컨베이어 속도는 마늘의 주간거리를 기준으로 5조에서 연속적인 인발이 이루어질 때, 측면 이송부에 7-9개의 마늘이 동시에 이송되도록 수확기 전진속도에 120% 정도로 설정하였다. 또한 벨트의 속도는 컨베이어 속도보다 약 20% 빠르게 설정함으로써 마늘이 두둑에 배출될 때 전진방향에 대하여 약 45°의 방향을 갖고 배출되도록 설계하였다.

(6) 인발 보조장치

일반적으로 마늘은 유공 혹은 무공비닐을 이용하여 재배되며 마늘 인발시 비닐이 동시에 따라 올라오며 인발을 어렵게 하는 경향이 있다. 본 연구에서는 인발부 하면에 비닐을 누르는 미끄럼봉을 장착하여 마늘 인발을 원활히 하도록 고려하였다. 또한 인발부가 부드럽게

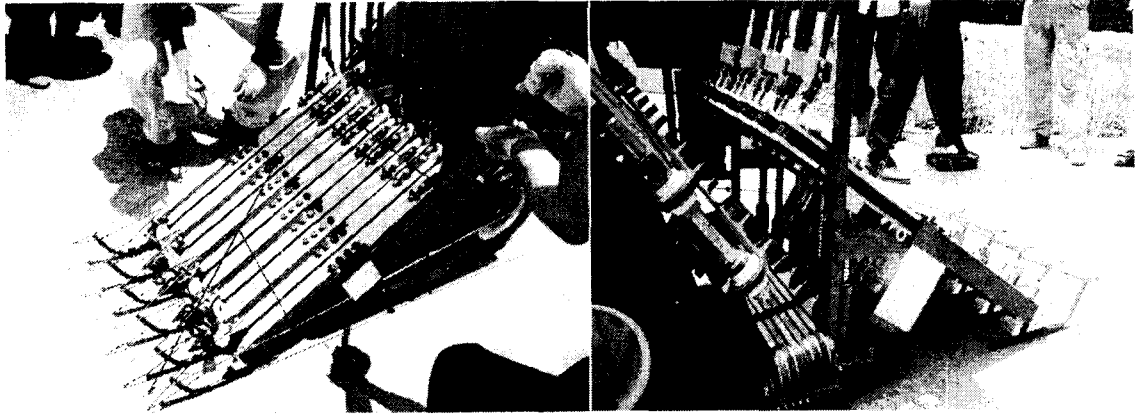


그림 3. 보행형 인발식 마늘수확기(전면). 그림 4. 보행용 인발식 마늘수확기(측면).

지면을 따라가도록 스프링을 통해 인발부 각조의 무게가 본체에 전달되도록 설계함으로써 비닐과 흙의 묻쳐짐을 방지하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 주요부 구동성능

그림 3과 4는 제작된 보행형 5조 인발식 마늘수확기의 전면과 측면을 보여주고 있다. 시작기의 제원은 전장 240cm, 전폭 90cm, 전고 125cm였다.

시작기 구동 실험결과 시작기의 각 주요부는 원활하게 작동하는 것으로 나타났으며 수확기의 최대 전진속도는 0.5m/s, 최소 전진속도는 0.15m/s로서 각 부의 속도는 전진속도에 비례하였다. 5조의 인발부는 알루미늄으로 제작되었음에도 불구하고 매우 무거웠으나 운전부 쪽에 대략 30kg의 균형무게를 설치한 결과 시작기의 회전성과 운전성은 크게 개선되었다.

시작기의 엔진용량은 정격 5.0마력으로 균형무게를 장착한 상태에서도 인발과 구동에 충분한 것으로 판단되었다. 동력 전달은 주행, 인발의 2중 클러치 구조로 구성되었으며, 작업자가 필요에 따라 인발부의 동력을 끊을 수 있어 작업의 안전도는 높은 것으로 평가되었다.

포장 요철실험에서 5조의 인발부는 독립적으로 요철을 잘 추종하였으며 재식폭이 매우 좁은 12cm의 공간에서도 상하운동은 문제가 없는 것으로 나타났다.

측면이송부의 마늘이송 및 배출상태를 실험한 결과, 마늘종구가 수확기를 향하고 전진방향에 대해 대략 135°-150° 상태로 가지런히 배출되어 배출 메카니즘은 적절한 것으로 판단되었다.

(2) 마늘수확성능

본 연구에서 제작된 마늘수확기의 수확성능 실험은 전남 무안에서 관수 포장 2회, 미 관수 포장 1회, 경북 의성의 미관수 포장 1회 등 총 4회에 걸쳐 수행되었다. 전남 무안은 밭마늘로서 품종은 난지형 남도마늘이었으며, 경북 의성은 논마늘로서 한지형 재래마늘이었다.



그림 5. 마늘수확작업(전면).

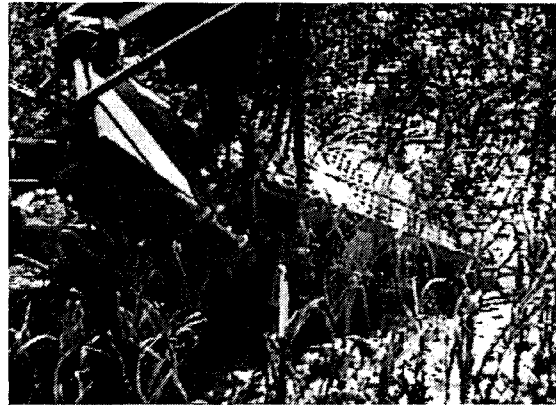


그림 6. 마늘수확작업(측면).

그림 5와 6은 수확기의 수확작업을 보여주고 있다. 수확기의 전진속도는 0.3m/s를 기준으로 하였다. 한 두둑의 마늘을 수확하기 위하여 전남 무안은 폭이 1.8m로 15번의 왕복작업이 필요하였고, 경북 의성은 폭이 4m로 4.5번의 왕복작업이 필요하였다.

전남 무안의 관수 포장에서 수확기의 마늘 인발효율은 98% 이상으로 수확기의 작업성능은 200-250평/hr로 분석되었다. 그러나 전남 무안과 경북 의성의 미관수 포장에서는 인발효율이 각각 80%, 85% 정도로 나타나 작업능률은 분석하지 않았다.

미관수 포장에서 수확기의 전진속도를 0.2m/s 정도로 하여 다소 느리게 수확작업을 실시한 결과 인발효율이 현저히 나아지는 것이 관찰되었다. 이에 근거할 때 마늘의 인발속도(인발체인의 수직 분속도)는 0.1m/s 이하인 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

실험포장에서 마늘의 인발력은 전남 무안 관수 포장에서 평균 12.4kg(표준편차 3.4kg), 미관수 포장에서 17.4kg(표준편차 3.9kg), 경북 의성 미관수 포장에서 16.5kg(표준편차 3.5kg)으로 나타났다. 특히 무안의 비관수 포장에서는 인력에 의한 30개의 인발 중 5개의 마늘이 줄기가 끊어졌으며, 의성 미관수 포장에서는 16개의 인발 중 1개의 줄기가 끊어졌는데 이때의 인발력은 21kg을 넘는 것으로 분석되어 해당 인발력이 인발식 마늘수확기의 적용 기준점인 것으로 생각되었다.

전남 무안은 유공비닐을 사용하여 마늘을 재배하였으나 조 간격은 일정하지 않았고, 경북 의성은 무공비닐을 사용함으로써 수확기 사용에 일관성을 유지할 수 없는 것이 관찰되었으며 이는 인발효율을 떨어뜨리는 주 요인으로 판단되었다. 무안과 의성의 비관수 포장에서 한 조를 기준으로 수확실험을 한 결과 대략 0.2m/s의 전진속도에서 거의 모든 마늘이 인발되어 향후 마늘수확기 적용을 위해 조 간격을 일정하게 하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

본 연구에서 개발된 인발식 마늘수확기는 전남 무안의 재배양식을 기준하여 조간 거리 12cm로 제작되었다. 따라서 조간 이송공간이 좁은 관계로 마늘을 인발부에서 측면이송부로 전달할 때 옆에 의한 휘말림 현상이 발생하였다. 이러한 현상은 누적되면서 인발작업을 방

해하였으나 보조작업자의 도움이 있을 경우 연속작업에는 지장이 없었으며 향후 마늘 표준 재배양식(조건15-20cm, 주간 10-15cm)이 확립될 경우에 이러한 문제점은 해결될 것으로 판단하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 인발식 마늘수확기의 개념설계와 역학 및 기구학적 분석을 바탕으로 5조의 보행용 인발식 마늘수확기를 설계·제작하고 성능을 시험하였다.

개발된 인발식 마늘수확기의 제원은 전장 240cm, 전폭 90cm, 전고 125cm였으며 각 주요부는 원활하게 작동하는 것으로 나타났다. 수확기의 최대 전진속도는 0.5m/s, 최소 전진속도는 0.15m/s로서 각 부의 속도는 전진속도에 비례하였다. 엔진용량은 정격 5.0마력으로 동력 전달은 주행, 인발의 2중 클러치 구조로 구성되었으며, 5조의 인발부는 독립적으로 포장의 요철을 잘 추종하였다. 인발된 마늘은 중구가 수확기를 향하고 전진방향에 대해 대략 135°-150° 상태로 가지런히 배출되었다.

실험포장에서 마늘의 인발력은 전남 무안 관수 포장에서 평균 12.4kg(표준편차 3.4kg), 미관수 포장에서 17.4kg(표준편차 3.9kg), 경북 의성 미관수 포장에서 16.5kg(표준편차 3.5kg)으로 나타났다.

전남 무안의 관수 포장에서 수확기의 마늘 인발효율은 98% 이상으로 수확기의 작업성능은 200-250평/hr로 분석되었다. 전남 무안과 경북 의성의 미관수 포장에서는 인발효율이 각각 80%, 85% 정도로 나타났다. 미관수 포장에서 수확기의 전진속도를 0.2m/s 정도로 하여 수확작업을 실시한 결과 인발효율이 현저히 나아지는 것이 관찰되었다.

마늘의 조 간격이 일정하지 않은 것이 수확기의 인발효율을 떨어뜨리는 주 요인으로 판단되었으며 향후 마늘수확기 적용을 위해 조 간격을 일정하게 하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

5. 참고문헌

1. 노광모, 장영창, 박준걸. 1999. 마늘수확기 개발을 위한 기초연구(1) -수확기 마늘의 물성 -. 한국농업기계학회지 24(1):1-8.
2. 장영창, 노광모, 박준걸. 1999a. 인발식 마늘수확기 개발(1) - 개념설계 및 설계인자 분석 -. 한국농업기계학회 '99년 하계학술대회 논문집 4(2):77-82.
3. 장영창, 노광모, 박준걸. 1999b. 인발식 마늘수확기 개발(2) - 시작기 제작 및 성능 검증 -. 한국농업기계학회 '99년 하계학술대회 논문집 4(2):83-88.
4. 전현중, 홍종태, 박환중, 최용, 김영근. 마늘양파수확기 개발을 위한 기초연구. 한국농업기계학회 '99년 하계학술대회 논문집 4(2):71-76.
5. LePori, Wayneand Price Hobgood. 1970. Mechanical Harvester for Fresh Market Onions. 1970. Transactions of the ASAE 13(4):517-519, 222.