

인발식 마늘수확기 개발(2)⁺

- 시작기 제작 및 성능 검증 -

Development of a Lifting Type Garlic Harvester(2)⁺

- Construction and Performance Test of a Prototype Harvester -

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

1. 서론

인발식 마늘 수확기의 기본개념은 마늘줄기가 인발 가이드를 따라 마늘줄기 인발부로 안내되어 지면 상방향으로 인발, 이송되는 방식으로서 인력에 의한 마늘수확 메카니즘과 유사하다. 그러나 수확기가 전진함에 따라 마늘이 연속적으로 인발되어 인력작업에 비해 매우 높은 수확능률을 갖는다. 또한 굴취식 수확기와 비교하여 연료가 절감되고 통마늘의 손상이 적은 장점이 있다.

보행형 인발식 마늘수확기의 개발을 위해 고려되어야 할 주요 작동부는 동력발생부, 동력전달부, 마늘인발부 및 이송부, 마늘수확기 운행에 필요한 운전부 등이 포함된다. 그러나 수확기가 원활한 구동성능과 작업성능을 발휘하기 위하여 인발부 및 이송부, 동력전달부의 총체적 고찰이 매우 중요하다.

본 연구에서는 인발식 마늘수확기의 개념설계와 역학 및 기구학적 분석을 바탕으로 3조 인발식 마늘수확기를 설계·제작하고 성능을 시험하여 작업의 능률성과 효율성을 분석하고, 또한 수확기의 문제점을 파악하여 그 개선방향을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 제작한 시작기는 보행형 인발식 3조 마늘수확기로서 기존 바인더와 인발식 마늘수확기의 유사성에 따라 동력발생부, 운전부, 주행부는 시판되고 있는 D사 HE-50A 바인더를 개조하여 이용하였고 인발부, 상부 이송부 및 측면 이송부의 설계·제작에 중점을 두었다.

보행형 인발식 마늘수확기의 주요부는 안내 가이드, 인발부 및 상부 이송부, 측면반송부, 엔진부와 프레임, 바퀴 등으로 이루어진다. 그림 1과 2에서 보는 바와 같이 마늘줄기는 인발체인 사이로 안내되어 압착되며 체인의 상부 회전에 의해 인발, 이송되어진다. 마늘은 상부로 이송되어진 후, 측면이송부에 의해 수확기의 측면으로 배출되며 마늘두둑을 따라 일정 배열되고 자연 건조된 후 일괄 수거된다.

+ 본 연구는 농림수산부 특정연구과제 연구비 지원에 의해 수행되었음

* 서울대학교 농생대 농업개발연구소

** 건국대학교 자연대 생물산업기계공학과

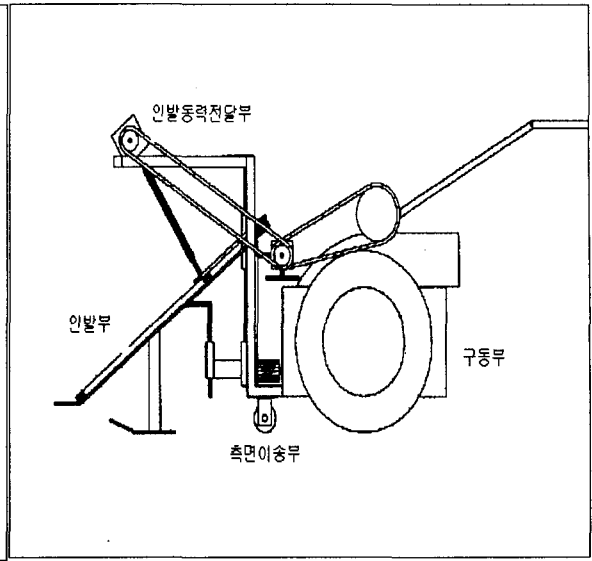
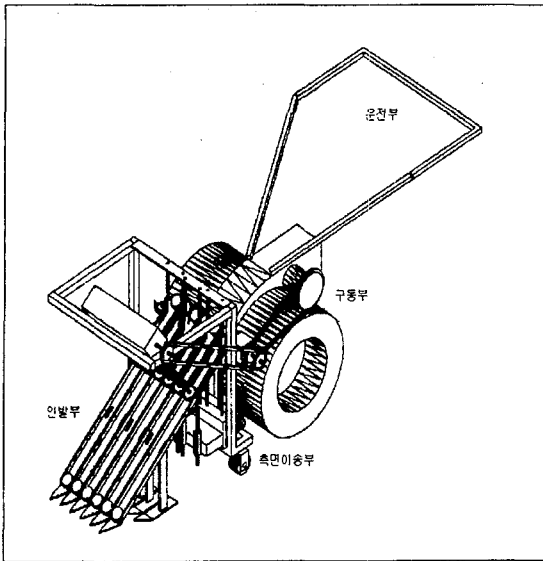


그림 1. 인발식 마늘수확기 제작전면도.

그림 2. 인발식 마늘수확기 제작측면도.

(1) 인발장치 및 인발 시작높이

마늘을 수확할 때 마늘줄기에 인발력을 효과적으로 전달하면서 압축력을 분산시키기 위하여 줄기를 붙잡는 인발장치로써 2단 체인을 설정하였다. 따라서 줄기는 체인을 따라 총 4개의 접점으로 붙잡히며 총 인발폭은 3.0cm였다. 또한 인발체인의 중간점이 마늘줄기를 최초로 접촉하는 높이는 그림 1에서와 같이 미끄럼대의 높이를 조정하여 지면 위 10cm에 위치하도록 하였다. 그러므로 인발력은 지면 위 8.5cm-11.5cm 사이의 마늘줄기를 통해 전달된다.

(2) 인발/이송부의 길이 및 인발 상승각

마늘뿌리가 지면 위로 올라올 때 인발이 마무리되었다고 가정하면 통마늘 및 뿌리의 길이를 고려하여 통마늘은 수직방향으로 최소 25cm만큼 이동되어야 한다. 또한 마늘의 인발 및 이송시, 인발 상승각은 인발성능에 매우 중요한 요인으로서 실험적 방법에 의거해 결정된다.

본 연구에서는 2차의 예비실험을 통하여 인발부가 길지 않아 운전성이 양호하고 인발성능이 유지되는 인발 상승각으로 35°를 설정하였다. 또한 마늘이 인발된 후 측면이송부에 도달할 때까지 상부이송의 여유를 25cm의 설정하여 총 인발/이송부의 길이는 85cm로 하였다.

예비실험에 따르면 마늘 두둑은 기계의 진행방향과 재배폭 방향으로 요철이 있고 이러한 요철은 인발시 마늘줄기의 부러짐을 피하기 위한 줄기높이 10cm에 상하방향으로 변이를 주게되어 인발을 어렵게 만드는 요인으로 작동하였다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 3조의 인발부가 각각 독립적으로 요철을 따라가도록 독립 상하운동장치를 고려하였다. 인발부 상하운동의 폭은 총 30cm로 설정하여 예상되는 최대 요철을 따를 수 있도록 하였다.

(3) 인발부의 속도

가장 이상적인 인발은 마늘줄기가 지면에 대해 수직인 상태로 인발되는 것으로서 이 상태를 유지하기 위해서는 인발부 선속도의 수평방향 분속도가 수확기 전진속도와 같아야 한다. 보행형 수확기의 경우 전진속도는 작업자의 포장 내 이동 가능속도인 0.5m/sec 내외로 설정하였다.

본 연구에서 동력부로 사용한 바인더는 전진 3단, 후진 1단으로 되어 있으며 전진 1단의 최고 속도는 약 0.6m/sec로서 마늘수확기 설계사양과 일치하였다. 따라서 전진 1단을 수확 속도로 설정하고 이때의 바퀴의 회전속도와 인발부 체인스프로켓의 회전속도가 주행속도 비례형으로 조합되도록 속도비를 결정하였다.

(4) 인발/이송부의 인발간격

마늘줄기는 인발부에 잡힌 후 인발체인 사이의 인발간격에 의해 압축되고, 이러한 압축을 통하여 인발력이 전달된다. 생육상태 마늘줄기의 최대 절단력은 약 60N으로 나타났으며 최대 절단력에서 마늘줄기의 직경은 원래 직경의 30%(약 2.5mm정도)로 감소하였다. 이를 기준으로 인발체인의 간격은 최소 2mm, 최대 10mm로 설정하고 마늘의 종류에 따라 간격을 조정할 수 있도록 가변적으로 제작하였고 인발간격 조절대의 길이는 40cm로 설정하였다. 또한 3조의 인발부는 남도마늘 재배에 주로 이용되는 재식폭 12cm를 기준으로(인발부의 중심과 중심 사이의 거리) 정면 배치하였다.

(5) 측면이송부

마늘은 인발되고 상방향으로 이송된 후, 측면이송부에 의해 마늘두둑으로 배출된다. 마늘의 무게중심은 통마늘 무게 때문에 아래로 처지게 되어, 본 연구에서는 마늘의 원활한 측면이송을 위하여 통마늘은 콘베어 위에서 이송되도록 하였으며 동시에 마늘줄기는 측면이송부의 벨트에 달려있는 러그에 기울어져 측면이송 되도록 하였다.

(6) 인발 보조장치

생육마늘의 물성연구에 따르면, 인발을 완료하기 위해 직경 1cm의 마늘줄기가 받는 응력은 대략 110 N/cm²이상, 최소 수직인발력은 50N 정도로서 마늘줄기는 인장응력을 충분히 견딜 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 마늘줄기가 붙잡힌 후 수직방향으로 대략 20cm 정도 상승하여 통마늘이 지상에 위치하더라도 뿌리의 신장에 기인하여 인발체인에 인장력이 계속 남아 있게 된다. 따라서 이를 제거하기 위한 인발 보조장치로서 마늘뿌리 절단날을 지상 위 5cm, 인발부 앞단으로부터 30cm 정도에 부착하였다.

(7) 주행속도 비례형 동력전달부

마늘수확기의 동력전달부는 인발부 구동과 측면이송부 구동으로 나누어 제작되었고 총 2종의 베벨기어와 5종의 스프로켓으로 사용하였으며, 속도비는 제작의 편리성을 고려하여 스프로켓의 잇수비로 조정하였다. 그러나 인발부의 스프로켓은 마늘의 재식폭 12cm에

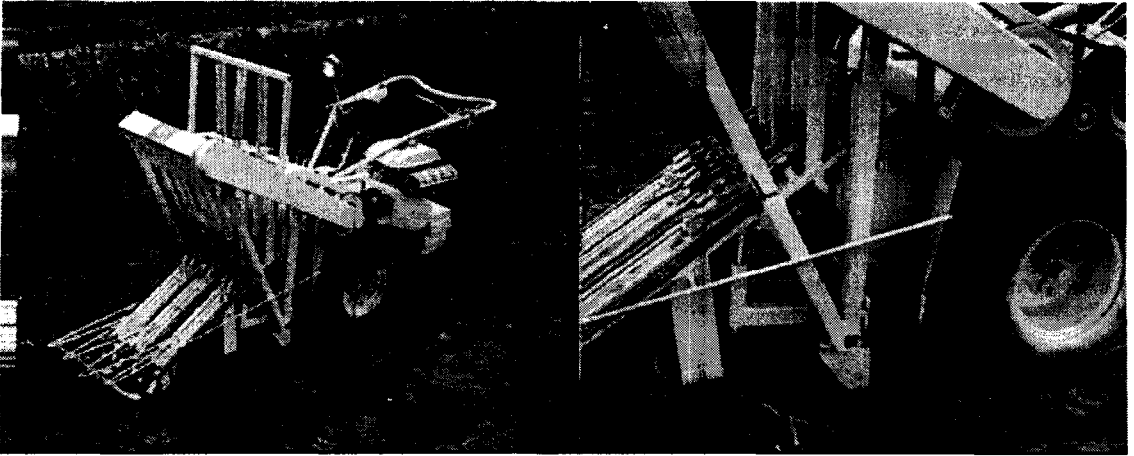


그림 3. 보행형 인발식 마늘수확기(전면). 그림 4. 보행형 인발식 마늘수확기(측면).

맞추어 최소 잇수 9개인 스프로킷으로 고정하였다. 또한 인발부가 상하운동을 할 때, 인발부의 구동을 원활히 하기 위해 인발부와 구동축 사이에 유니버설 조인트와 스프라인 조인트를 병행하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3과 4는 제작된 보행형 3조 인발식 마늘수확기의 전체모양과 측면을 보여주고 있다. 시작기의 제원은 전장 200cm, 전폭 50cm, 전고 90cm였다. 그림 3에서 수확기 상부에 보여 주고 있는 스프링은 인발부 스키드가 지면을 원활히 따라가도록 인발부의 자체무게를 줄이기 위해 장착하였다. 이 스프링을 통하여 인발부의 무게는 구동바퀴로 전이된다.

본 연구에서는 제작된 보행형 3조 인발식 마늘수확 시작기의 주요부 구동능력을 먼저 평지에서 실험하고 마늘포장에서 수확성능을 검증함으로써 시작기의 문제점을 파악하고 그 개선점을 제시하고자 하였다.

(1) 시작기의 주요부 구동성능

평지 실험결과 시작기의 각 주요부는 원활하게 작동하는 것으로 나타났다. 특히 인발부는 매우 무거웠으나 운전부 쪽에 대략 80kg의 균형무게를 설치한 결과 시작기의 회전성과 운전성은 크게 개선되었다. 시작기의 엔진용량은 정격 3.2마력으로 균형무게를 장착한 상태에서도 인발과 구동에 충분한 것으로 판단되었다.

시작기의 구동바퀴의 슬립이 없을 경우, 구동바퀴의 회전수와 인발부 스프로킷의 회전수를 기준으로 수확기의 전진속도와 인발부의 수평분속도를 비교한 결과 그 비율은 대략 0.95 정도로서 인발부의 회전속도가 약간 늦은 것으로 분석되었다. 이는 동력전달부에 장착된 유조인트의 영향 때문인 것으로 판단되어 동력전달부의 스프로킷 잇수비를 조정하였다.

포장 요철실험에서 3조의 인발부는 독립적으로 요철을 잘 추종하였으며 재식폭이 12cm 인, 매우 공간이 좁은 상태에서도 상하운동은 문제가 없는 것으로 나타났다. 측면이송부의

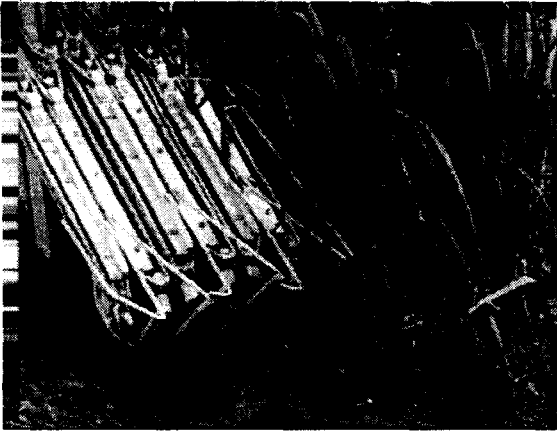


그림 5. 시작기의 마늘수확작업(1조).

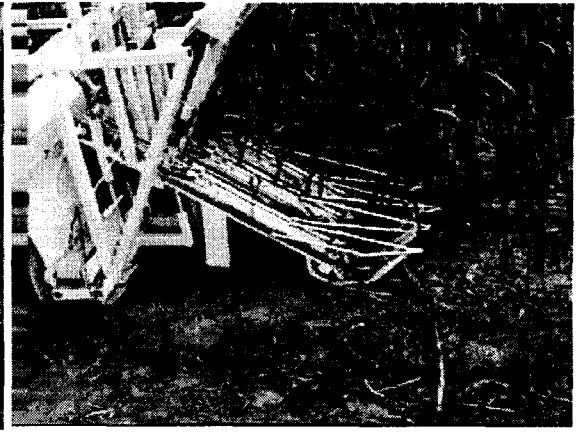


그림 6. 시작기의 마늘수확작업(3조).

마늘이송 및 배출상태를 실험한 결과, 마늘은 통마늘이 수확기를 향한 상태로 가지런히 배출되어 메카니즘은 적절한 것으로 판단되었다.

(2) 시작기의 마늘수확성능

본 연구에서 제작된 마늘수확기의 수확성능 실험은 경북 의성의 마늘포장에서 수행되었다. 실험 마늘은 조생종으로 줄기직경은 평균 1.1cm, 통마늘의 평균직경은 5.5cm로 측정되었다. 마늘두둑의 폭은 1.8m로 총 12조가 재배되어 한 두둑을 수확하기 위해 본 시작기로는 2번의 왕복작업이 필요하였다. 그림 5와 6는 시작기가 1조와 3조의 마늘을 수확하는 모습을 보여주고 있다.

실험포장은 마늘의 줄 간격이 일정하지 않았으며 이로 인하여 인발부로 안내되지 않은 마늘이 다수 발생하였으며 이 경우 통마늘이 인발부의 스킴드에 눌러 인발이 불가능하였다. 그러나 안내된 줄기들은 인발이 원활히 이루어지는 것으로 나타났으며, 마늘줄기는 압착되었음에도 불구하고 큰 손상은 관찰되지 않았다. 이는 마늘이 순간적으로 인발되고 또한 마늘대가 매우 단단하기 때문인 것으로 생각되었다. 따라서 유공 비닐을 사용하는 것과 같이 줄 간격이 일정할 경우 마늘수확기의 수확성능은 크게 향상될 것으로 판단되었다.

수확기의 전진속도를 0.3m/s-0.6m/s로 변경하여 인발실험을 실시한 결과, 해당 속도범위에서는 마늘인발에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 마늘수확에 있어 전진속도 0.6m/s는 조금 빠른 속도인 것으로 생각되었으며 대략 0.4m/s에서 안정적으로 작업을 할 수 있었다. 이를 기준하면 시작기의 수확용량은 회전을 고려하여 약 120-150평/hr일 것으로 판단되었다.

(3) 마늘수확 시작기의 개선점

수확성능실험을 통하여 인발식 마늘수확기의 몇 가지 개선점이 도출되었다.

통마늘이 인발되어 상부로 이송될 때 비닐이 통마늘에 걸려 올라옴으로써 인발부에 많은 마늘이 누적되고 결과적으로 인발이 불가능한 경우가 발생하여 마늘을 인발할 때 비닐을 누

르는 장치가 필요하였다.

본 시작기는 마늘이 측면이송될 때 마늘줄기가 35°로 기울어져 이송되도록 제작하였으나 경사가 너무 작아 측면이송이 원활하지 못하는 경우가 관찰되었으며 향후 경사각을 크게 해야 할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 인발식 마늘수확기의 개념설계와 역학 및 기구학적 분석을 바탕으로 보행형 3조 인발식 마늘수확기를 설계·제작하고 성능을 시험하여 작업의 능률성과 효율성을 분석하고, 또한 수확기의 문제점을 파악하여 그 개선방향을 제시하고자 하였다.

시작기의 주요부 구동성능은 평지 실험결과 원활하게 작동하는 것으로 나타났다. 시작기의 엔진용량은 정격 3.2마력으로 인발과 구동에 충분하였다. 3조의 인발부는 마늘두둑의 요철을 잘 추종하였으며 측면이송 및 배출 메카니즘은 적절한 것으로 판단되었다. 수확성능 실험결과, 줄 간격이 일정할 경우 마늘수확은 원활히 이루어지는 것으로 나타났으며 마늘의 손상은 관찰되지 않았다. 시작기의 수확용량은 전진속도 0.4m/s에서 회전을 고려하여 약 120-150평/hr일 것으로 판단되었다.

수확성능실험을 통하여 인발식 마늘수확기의 개선점이 도출되었으며, 향후 마늘을 인발할 때 비닐을 누르는 장치가 필요하였다. 또한 측면이송부에서 마늘줄기가 기울어지는 각도를 크게 하여 측면이송을 원활하게 하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 노광모, 장영창, 박준걸. 1999(2월). 마늘수확기 개발을 위한 기초연구(1) -수확기 마늘의 물성 -. 한국농업기계학회지 24(1):1-8.
2. 농촌진흥청. 1994. 진동굴취날형 마늘, 양파수확기 개발. 농시보, 300-313.
3. 古谷 正. 1979. 根菜의 引拔力에 關한 研究(第 3報). 日本農業機械學會誌 40(4):527-532.
4. 岩崎正美, 石原 昂. 1979. 引拔式掘取機에 關한 研究(第 2報). 日本農業機械學會誌 40(2):195-200.
5. LePori, Wayne and Price Hobgood. 1970. Mechanical Harvester for Fresh Market Onions. 1970. Transactions of the ASAE 13(4):517-519, 222.
6. Maw, B. W., D. A. Smittle, B. G. Mullinix and J. S. Cundiff. 1998. Design and Evaluation of Principles for Mechanically Harvesting Sweet Onions. Transactions of the ASAE 41(3):517 -524.