

동력학적인 힘의 균형을 이룬 진동감자굴취기의 개발⁺

Development of A Dynamically Ballanced Oscillating Potato Digger

강 화 석* 김 상 헌*
정희원 정희원
W. S. Kang S. H. Kim

1. 서 론

감자재배의 대단지가 형성되어 있는 강원도 고랭지의 기초조사 결과 감자의 수확작업에 소요되는 노동력은 감자재배에 소요되는 총 노동력의 30% 정도를 차지하고 있으며(강, 1992), 고랭지에서의 감자 수확 시기는 9월에 이루어지므로써 벼의 수확시기와 중복되기 때문에 노동력의 부족현상은 더욱 가속되고 있다. 이러한 노동력의 부족현상을 극복하고 적기에 감자 수확을 할 수 있는 기계의 개발은 시급한 문제라 하겠다.

기존의 진동굴취기는 굴취부날의 왕복운동으로 인한 진동이 발생하여 작업자로 하여금 쉽게 피로하게 하며 기계 자체에도 무리를 주게 되어 기계의 내구성을 감소시키는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 이미 선행된 연구(강, Johnson, Kang, Kang, 강 등, 1988, 1974, 1991, 1991, 1993)에서 발견된 차체의 불필요한 진동을 감소시키는 장치를 개발할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 진동감자굴취기의 개선을 목적으로 기존의 동력경운기용 진동굴취기의 진동으로 인한 불균형력을 감소시킬 수 있는 힘의 균형장치를 갖춘 진동굴취기를 설계, 제작하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기의 설계 및 제작

본 연구에서는 감자굴취에 필요한 진동기구의 구동에 의하여 발생하는 기계의 진동에 의하여 작업자에게 전달되는 불필요한 진동을 감소시키기 위하여 진동굴취기의 불균형력을 분석한 다음, 이의 감쇠장치를 설계, 제작 및 시험하였다. 시작기는 경운기 부착용으로써 굴취부와 체부분으로 나누어 각 부분이 4절링크기구로 이루어지도록 설계 및 제작하였다(Fig.1). Fig.1에서 굴취부는 $D_{12} - D_{23} - D_{34} - P - Q - D_{41}$ 로서 경운기의 PTO에서 전달되는 동력으로 편심캠($D_{12} - D_{23}$)을 회전시켜서 토양의 절단 및 굴취작업을 수행하고, 체부분은 $S_{12} - S_{23} - T - S_{34} - S_{41}$ 로서 왕복운동을 하는 굴취부의 종동절 $D_{41} - D_{34} - P - Q$ 를 체부분의 원동절로 이용하였다. 토양을 파쇄하고 작물을 걸러내는 체의 바닥판은 체부분의 유동링크를 연장하여 설계하였다. 또한 굴취부와 체를 분리함으로써 굴취된 구근과 토양이 뒷부분으로 잘 이송되는 부차적 효과도 얻어지도록 하였다. 그 구조는 굴취부의 선단이 진행방향에 대하여 전후 왕복운동을 하며 토양에 침입할 수 있는 것으로서 기존의 진동감자굴취기(W. S. Kang and J. L. Halderson, 1991)의 구조와 원리면에서 동일하나 링크 $D_{12} - D_{41}$ 의 길이를 짧게 하였다. 그리고 편심 캠에 의한 진동의 진폭은

⁺ 이 연구는 한국농업기계학회 산학협동연구사업비로 수행되었음.

* 강원대학교 농업기계공학과

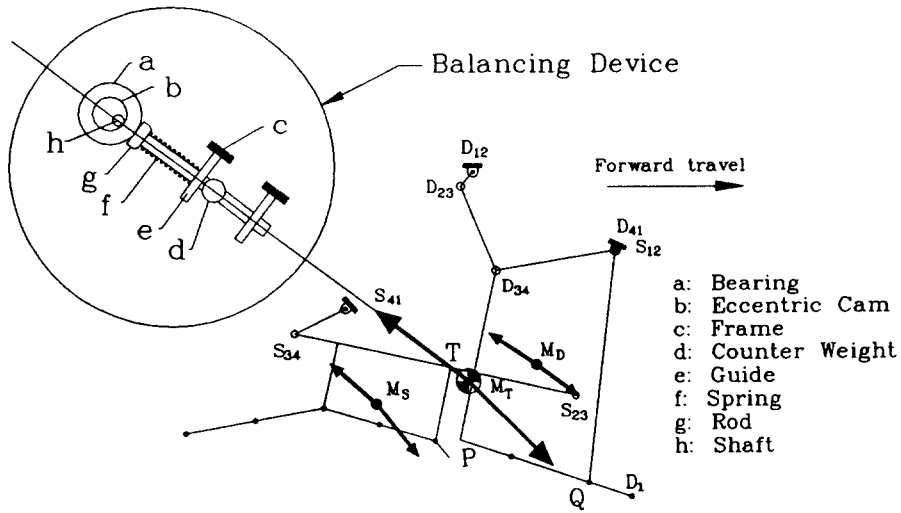


Fig. 1. Vibrating potato digger and balancing mechanism.

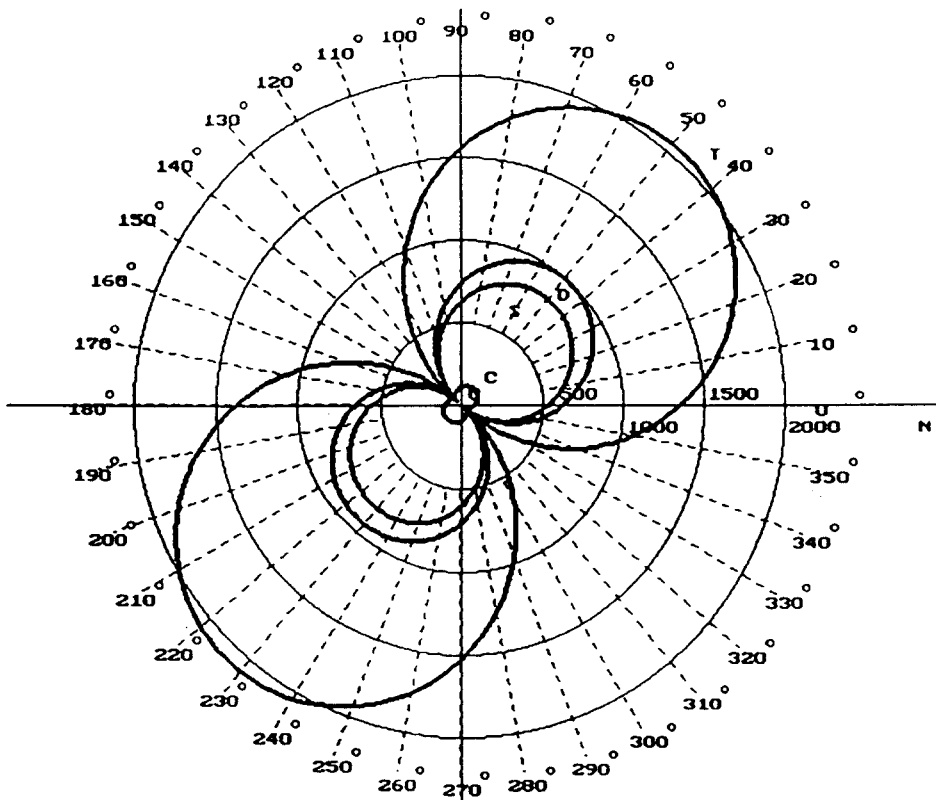


Fig. 2. Magnitudes of unbalanced forces of connecting rod(C), digger(D), sieve(S), and total(T).

Kang 과 Halderson 이 추천한 6 mm로 고정하고 굴취부 구동축의 회전속도는 1000 RPM으로 하였다.

굴취부는 기존의 굴취기를 축소하여 굴취날의 선단부(Fig.1의 D_1)가 근사 직선 왕복운동을 하면서 토양에 침입하여 구근의 굴취 및 토양과의 1차적 분리를 수행한다. 체부분은 4절 링크(S_{12} - S_{23} - S_{34} - S_{41}) 기구를 이용하였으며 연결봉(S_{23} - S_{34})을 확장하여 체로써 이용하였다. 체부분의 구동절(S_{12} - S_{23})은 굴취부의 중동절을 이용하였다. 체는 직경 9 mm인 다수의 환봉을 진행 방향과 평행한 방향으로 42 mm의 간격을 두고 배열하였다.

나. 불균형력의 분석 및 평형장치의 설계

굴취부와 체 부분의 진동에 의하여 발생하는 동력학적 불균형력을 상쇄시키기 위하여 불균형력의 발생요인을 분석하고 그것의 감쇠장치를 설계 및 제작하였다. 불균형력을 발생시키는 요인으로는 편심 캠, 연결봉, 굴취판, 체 등이 있으나, 이 중에서 굴취판과 체의 운동이 그 주된 요인으로 분석되었다. 주된 불균형력의 크기와 방향을 알기 위하여 굴취부와 체의 불균형력의 합력을 캠의 회전각에 따라서 체부분과 굴취부의 질량 중심(Fig.1의 M_s , M_D)에 대하여 계산하였으며, 이를 전체 질량 중심점(Fig.1의 M_T)에 대한 합력으로 계산하였다. 불균형력의 계산결과는 편심 캠의 회전각에 대하여 극좌표를 사용하여 도시한 바와 같이 최대불균형력은 2056 N이었다(Fig.2). 최대 불균형력의 작용방향은 Fig.1에 나타낸 바와 같이, 전체 질량 중심 M_T 에서 수평방향으로부터 약 50° 기울어진 선상에서 왕복하는 것으로 분석되었다. 편심 캠이나 굴취부의 연결봉 D_{23} - D_{34} 의 최대 불균형력은 체나 굴취부에 비하여 약 15% 정도로서 분석의 편의상 무시하였다. 균형장치는 Fig.1 에서와 같이 편심 캠을 이용한 기구를 사용하였으며, 최대 불균형력이 작용하는 작용선상에서 왕복운동을 하도록 프레임 양쪽에 2개로 나누어 설치하였다. 균형장치의 캠축은 굴취부를 구동시키는 구동축에 체인과 스프로킷을 사용하여 1:1의 속도비로 연결하였다. 균형장치에서 발생하는 균형력의 위상은 최대 불균형력의 합력방향에 대하여 180° 차이를 가지도록 굴취기의 후방에 작업을 방해받지 않도록 설치하였다. 균형장치의 편심 캠에 의한 불균형력은 캠의 회전속도가 1000 RPM일때 127.46 N으로서, 이것은 최대 불균형력 2056 N에 대한 6.2%로서 그 영향은 무시하였다.

다. 진동의 측정

균형장치의 작용효과를 실측하기 위하여 1축 가속도계(PCB Piezotronics, J353B31, $\pm 100g$)와 진동분석기(Vibration analyser, Brüel & Kjær Type 2515)를 이용하였다. 굴취기를 부착한 경운기는 굴취기 작동에 따른 진동이 운전자의 손잡이 부분에 가장 많이 전달되기 때문에, 진동측정을 위한 가속도계는 경운기의 손잡이 부분에 수직으로 부착하여 수직방향의 진동을 측정하였다.

균형장치의 효과를 비교 분석하기 위하여 실험실 안에서 굴취기의 운동이 자유로운 작업 위치에 고무 밧줄로 경운기 앞부분을 상하로 고정한 후, 경운기의 엔진만을 가동시킨 상태, 엔진과 굴취기만 가동시킨 상태 및 균형장치까지 가동시킨 상태에서 경운기 손잡이의 변위, 속도 및 가속도를 측정하여 그 감쇠효과를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig.3는 굴취기만을 작동시킨 상태에서 경운기의 손잡이의 가속도를 측정한 것으로서 zero-to-peak 평균 가속도는 약 1.5 m/s^2 , 최대 가속도는 약 3.1 m/s^2 이었고, 균형장치까지 작동시켰을 때의 평균 가속도는 약 0.9 m/s^2 , 최대 가속도는 약 1.6 m/s^2 이었다 (Fig.4). 이것은 균형장치를 작동시켰을 때의 손잡이의 평균 가속도는 약 40% 감소하였고, 최대가속도는 약 50% 감소한 결과이다.

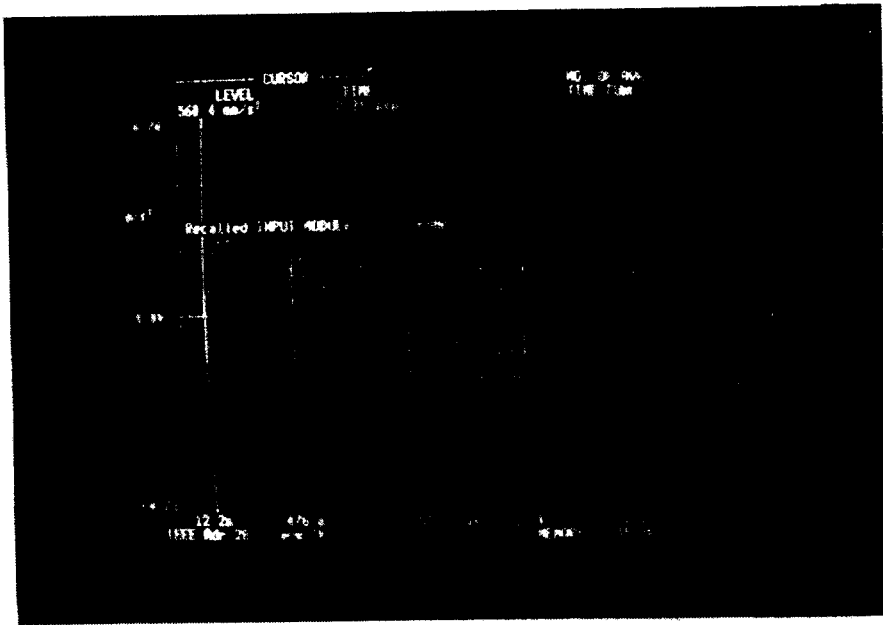


Fig. 3. Acceleration of power tiller handle without running the balancing mechanism.

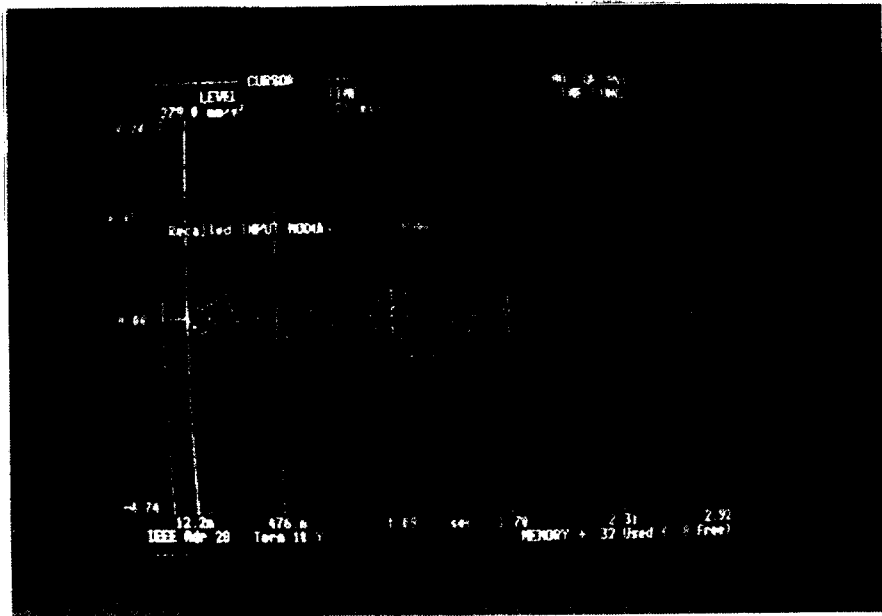


Fig. 4. Acceleration of power tiller handle with running the balancing mechanism.

평균속도 및 평균변위는 각각 50% 및 70% 정도 감소시키는 것으로 분석되었다.

균형장치는 분석된 최대불균형력의 90%를 상쇄시키는 것으로 설계되었으나 경운기 손잡이의 진동감쇠정도가 이에 미치지 못하는 이유로는 균형장치 까지 구동시키기 위한 체인 및 스프로켈의 구동으로 인하여 동력전달 요소가 증가하기 때문에 발생하는 진동, 특히 체인을 이용한 전동에서 오는 진동, 편심 캠 및 연결봉의 진동 유발, 각 링크를 연결하는 힌지 핀의 틈새 때문에 생기는 운동부와 힌지핀의 충격 등으로 인한 진동, 경운기 및 굴취기 제작에 이용된 재료와 차대의 진동특성 등에 기인하는 것으로 사료된다.

감자가 재배되고 있는 포장에서 실제로 굴취작업을 수행하여 본 결과 작업자의 손에 전달되는 진동량이 감소하였음을 느낄 수 있었다.

4. 요약 및 결론

기존의 경운기 부착용 진동 감자 굴취기의 단점인 차체의 진동을 완화하고자 본 연구를 수행하였다.

설계 및 제작된 굴취기는 기존의 4절 링크 기구를 6절 링크기구로 개선하였고, 토양에 침입하는 굴취부와 굴취된 작물을 진동의 방법으로 토양으로부터 분리해내는 체 부분으로 구성되어 있다. 제작된 굴취기가 작동되는 동안 발생시키는 가속도를 해석적으로 분석하여 최대 불균형력과 그의 작용방향을 찾아내고, 이 최대 불균형력을 감소시킬 수 있는 균형장치를 설계 및 제작하였다. 균형장치에 이용된 기구는 편심 캠을 이용한 왕복운동 기구로서, 굴취기의 구동축과 같은 속도로 회전하도록 체인과 스프로켈을 이용하여 굴취부와 연결하여 설치하였다. 이 때 굴취기를 작동시키는 편심 캠의 진폭은 6 mm였으며 캠축의 회전속도는 1,000 rpm이었다. 균형장치를 설치한 후에는 가속도계와 진동분석장치를 이용하여 불균형력의 감쇠효과를 측정 및 분석한 결과 경운기 손잡이에 가해지는 가속도는 균형장치가 없을 때와 비교하였을 때 약 40% 감소하였고, 속도 및 가속도는 각각 50% 및 70% 정도 감소하였다.

5. 참고 문헌

1. 강화석, 김상헌, 함영창. 1989. 진동을 이용한 감자수확기계의 개발. 한국농업기계학회지. 14(1):16-23
2. 강화석. 1992. 감자재배를 기계화하기 위한 기초조사 연구. 강원대학교 농업과학연구소 논문집. Vol. 4:51-69
3. 강화석, 신영범, 김상헌, 함영창. 1993. 트랙터용 감자수확기의 개발. 한국농업기계학회지. 18(1):21-29
4. Johnson, L. F. 1974. A vibrating blade for the potato harvester. Trans of the ASAE. 17(5): 867-870,873
5. Kang, W. S. and J. L. Halderson. 1991. Development of a vibratory potato digger for small farms. American Potato Journal. 68(9):557-568
6. Kang, W. S. and J. L. Halderson. 1991. A vibratory, two-row, potato digger. Applied Engineering in Agriculture of A.S.A.E. 7(6):683-687