

# 캠식 식부 장치의 컴퓨터 시뮬레이션 Computer Simulation of Cam-Type Transplanting Mechanism

박홍제\*  
정회원  
H. J. Park

김경욱\*  
정회원  
K. U. Kim

## 1. 서론

4절 기구를 이용한 크랭크식 식부 장치는 원하는 궤적을 비교적 쉽게 합성할 수 있지만, 그 구조상 발생하는 가진력에 의해 주축의 최대 회전 속도가 약 300 rpm 전후로 작업 속도는 약 0.8 m/sec로 한정되어 있다. 이러한 단점을 보완하고 기계 이용 수익을 높이기 위해 편심 기어열을 이용한 고속, 저진동의 로터리식 식부 장치에 대한 연구가 1984년 일본에서 시작되었다. 로터리식 고속 식부 장치는 현재 대부분의 승용 이앙기에 채택되어 있으며 최고 1.2 m/sec의 속도로 작업할 수 있다(山影征男, 1986; 山影征男 등, 1989; 山影征男 등, 1989). 그러나, 전량 수입 및 기술 이전에 의존하는 로터리식 식부 장치는 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- 1) 로터리식 식부 장치의 식부 궤적은 원(圓)에 가까운 난형(卵形)을 가지므로 식부후 토양에 생기는 구멍이 크랭크식 식부 장치에 의한 것보다 커서 식부 자세가 불량하고 뜯묘가 많이 발생한다.
- 2) 로터리식 식부 장치의 식부 궤적은 상하 방향의 길이가 크랭크식보다 짧아 앞서 이앙한 모의 줄기 부분이 겹치는 브릿지(bridge) 현상이 자주 발생하며 벼 생육에 불리하다.
- 3) 로터리식 식부 장치의 조당 수입 판매 가격은 약 30만원으로 6조식 승용 이앙기에 부착할 경우 국내 승용 이앙기 평균 판매 가격인 960만원의 약 19%인 180만원을 차지하여 국산 이앙기의 경쟁력을 감소시킨다.

로터리식 식부 장치는 그 구조상 식부시 토양에 생기는 구멍의 크기와 브릿지 현상을 동시에 해결할 수 있는 식부 궤적의 합성이 불가능하다(박 등, 1993). 따라서, 크랭크식에서와 같이 원하는 궤적을 쉽게 합성할 수 있는 동시에 고속 작업이 가능한 식부 장치의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 다물체 동역학 해석 프로그램인 Working Model 2D(이하 WM2D)를 이용하여 새로운 캠식 식부 장치의 개념 설계와 성능 예측을 통해 개발 타당성을 조사한다.

## 2. 캠식 식부 장치의 구조

편심 기어열을 이용한 로터리식 고속 식부 장치는 그림 1에서와 같이 고정된 태양 기

---

\* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계학과

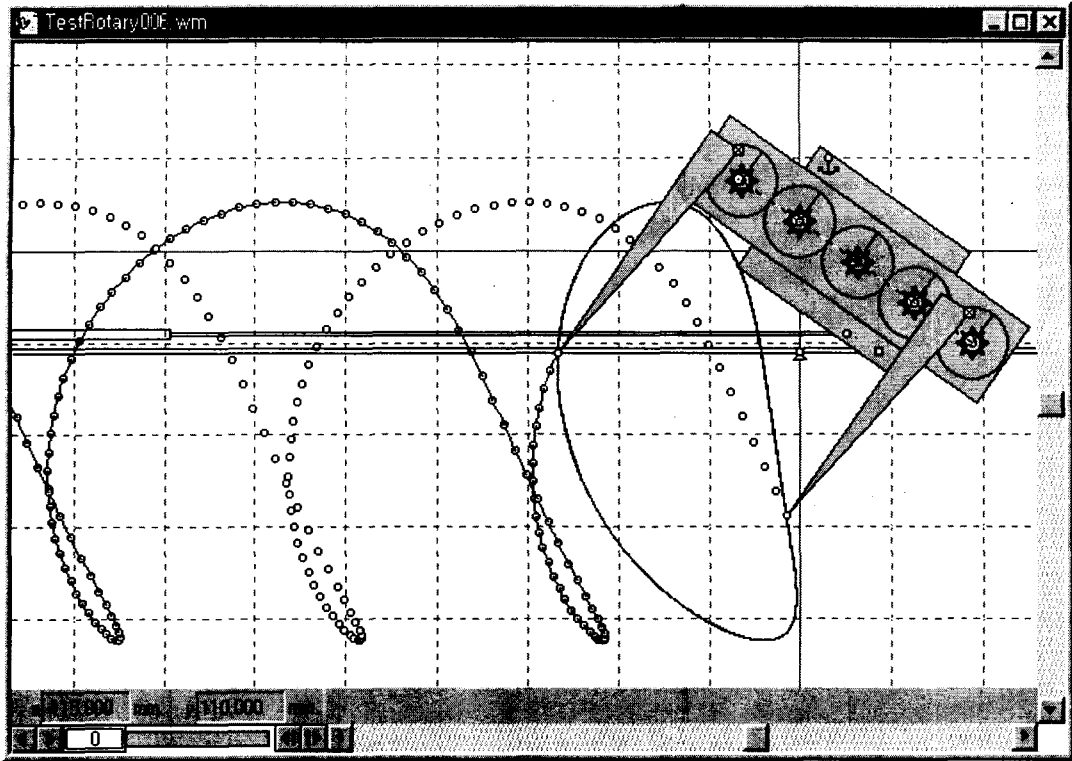


Fig. 1 High speed transplanting mechanism using eccentric gear trains.

어를 중심으로 식부 케이스를 등속 회전시킬 때 중간 위성 기어는 동일한 방향으로 부등속 회전 운동을 하게되고, 최외각 위성 기어는 반대 방향으로 부등속 회전 운동을 하게 된다. 최외각 위성 기어에 고정된 식부날은 부등속 회전 운동에 의해서 그림에서와 같은 식부 궤적을 만들게 된다. 여기서, 식부날의 부등속 회전 운동은 식부 케이스의 등속 회전 운동과 식부 케이스에 대한 식부날의 요동 운동으로 분리하여 생각할 수 있다.

캠식 식부 장치는 일반적인 원형 기어열을 이용하여 식부날의 등속 회전 운동을, 캠을 이용하여 요동 운동을 구현한다. 식부날은 최외각 위성 기어에 회전 가능하게 연결되는 동시에 식부 케이스에 고정된 캠에 구속되어 요동 운동을 하게 된다.

우선 로터리식 고속 식부 장치의 식부 궤적과 동일한 궤적을 구현하기 위

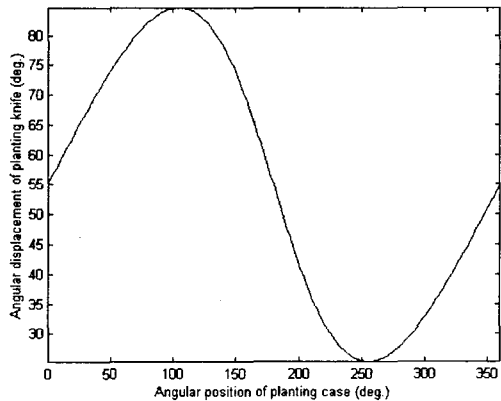


Fig. 2 Angular displacement of planting knife.

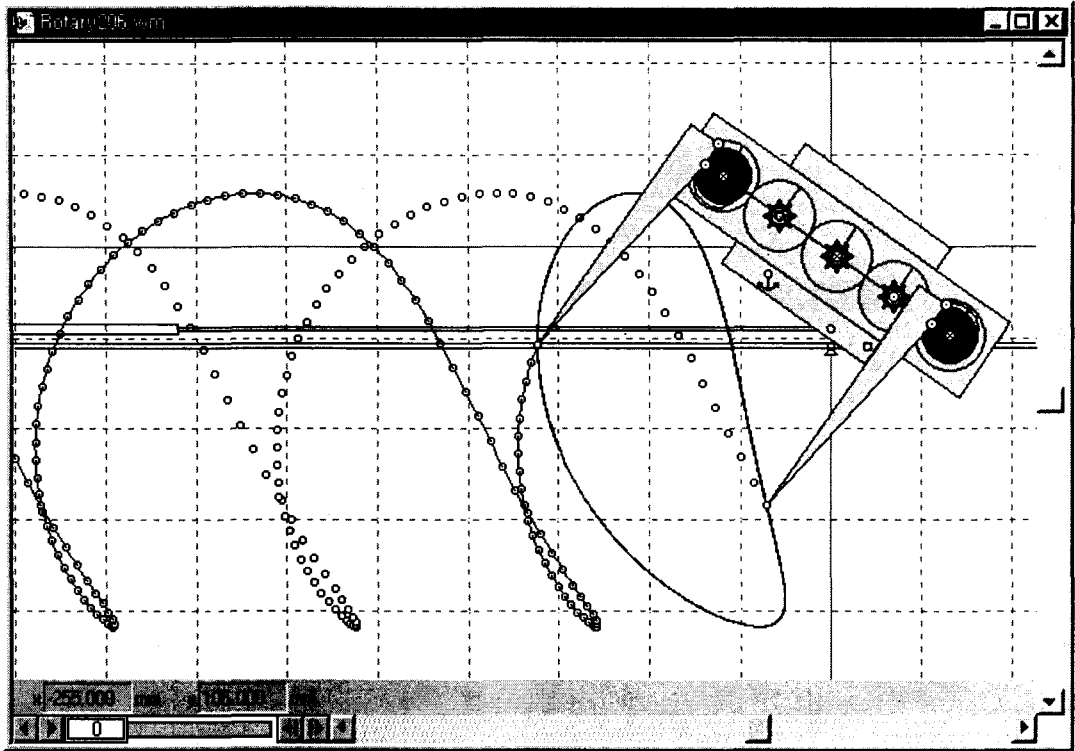


Fig. 3 Cam-type transplanting mechanism.

해서 식부날의 요동각을 그림 1의 모델을 이용하여 구할 수 있다. 그림 2는 로터리식 고속 식부 장치에서 식부 케이스가 1회전하는 동안 식부날의 요동각 변화를 보여주고 있다. 캠식 식부 장치의 식부날이 적당한 캠 형상에 의해 그림 2와 같은 요동각 변화를 가진다면 기존의 고속 식부 장치와 동일한 식부 궤적을 가질 수 있을 것이다. 본 연구에서는 식부 케이스가 매  $18^\circ$  회전시 식부날 요동각으로부터 캠 형상을 이루는 점 20개를 구하고 이를 보간하여 전체 캠 형상을 만들었다. 보간된 캠 형상을 사용한 캠식 식부 장치의 시뮬레이션 모델과 예측된 식부 궤적은 그림 3과 같다.

### 3. 컴퓨터 시뮬레이션

캠식 식부 장치의 성능을 예측하기 위해서 L사의 크랭크식 식부 장치와 D사의 로터리식 식부 장치의 식부 궤적과 가진력을 비교하였다. 시뮬레이션에 필요한 설계 변수들은 그림 4와 같다. 그림에 표시된 질량, 질량 중심의 위치, 질량관성모멘트 등은 직접 측정하거나 해석 프로그램 내에서 형상에 따라 유도되는 값을 사용하였다. 캠식 식부 장치에서는 캠 형상 외에 모든 설계 변수를 로터리식과 동일하게 사용하였다.

#### 1) 식부 궤적

WM2D를 이용하여 예측한 각 식부 장치들의 식부 궤적은 그림 5와 같다. 캠식 식부 장치의 캠 형상은 로터리식에서의 식부날 요동각 변화를 기준으로 설계하였으므로, 두

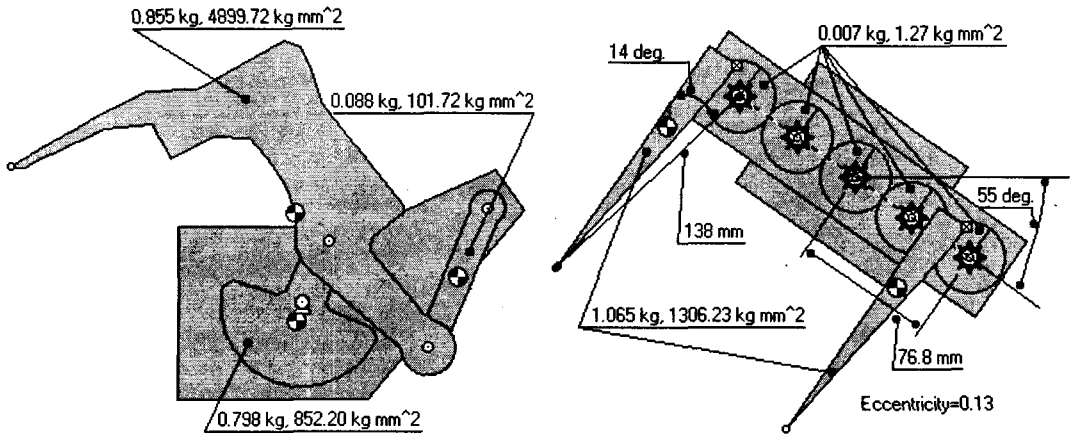


Fig. 4 Specification of transplanting mechanisms for simulation.

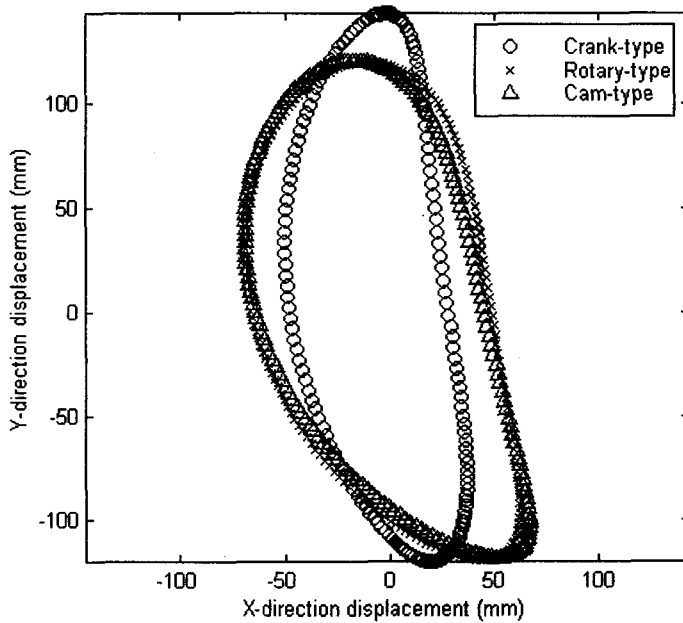


Fig. 5 Transplanting loci of each mechanism.

식부 장치는 비슷한 식부 궤적을 나타낸다. 그림 5에서 약간의 차이는 캠 홈의 형상을 20개의 점으로 보간하고, 캠 홈과 식부날의 접촉시 발생하는 유격에 의한 것으로 판단된다.

그림 5에서 로터리식 식부 장치의 궤적은 크랭크식에 비해 원에 가깝고, 상하 길이가 작다. 또한 식부날의 토양속 자세 변화량도 로터리식이 14~16° 정도로 크랭크식의 6~7° 보다 2배 정도로 변화가 많다. 이는 식부후 토양에 생기는 구멍을 커지게 하여 식부

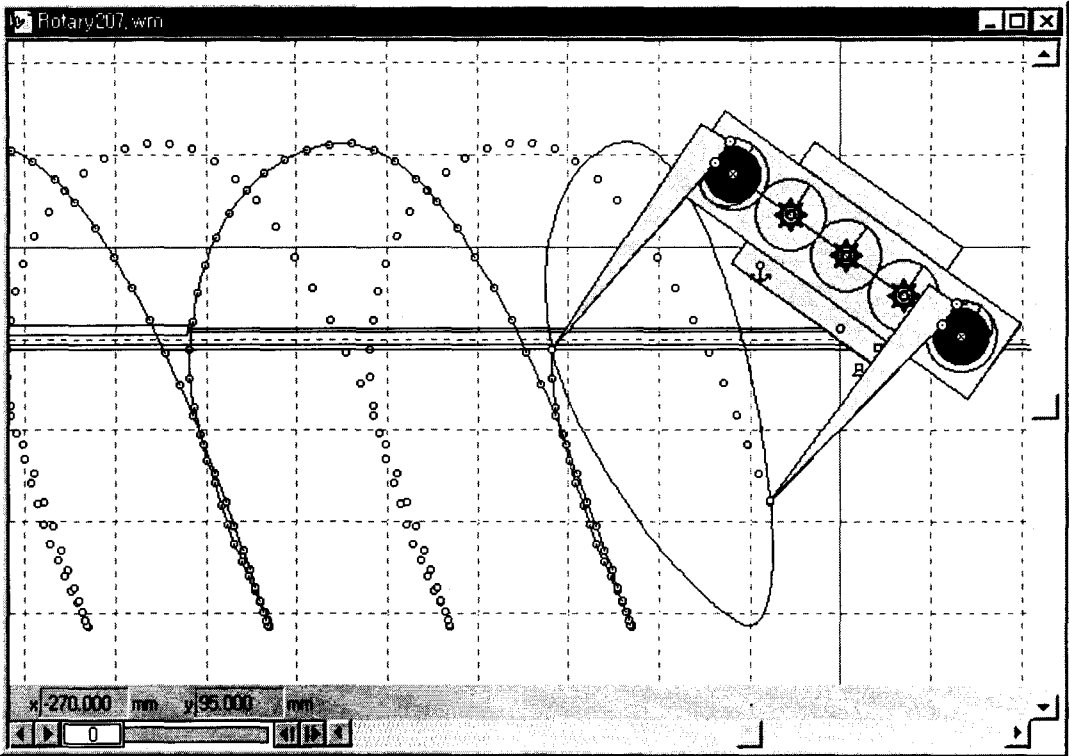


Fig. 6 An example of cam-type transplanting mechanism to overcome the shortcomings of high speed transplanting mechanism using eccentric gear trains.

후 모의 자세가 불량해지고 뜯묘가 많이 발생하게 된다. 또한 로터리식의 식부 궤적의 상하 길이가 작아 앞서 이양한 모의 줄기와 겹치게 되는 브릿지 현상이 발생한다. 로터리식 식부 장치의 구조상 브릿지 현상과 토양에 생기는 구멍의 크기를 동시에 줄이는 것은 불가능하나, 캠식 식부 장치에서 캠 홈의 형상을 알맞게 설계하면 두가지 문제를 동시에 해결할 수 있다. 다음 그림 6은 캠 형상을 변화시켜 토양에 생기는 구멍을 최소화하고 브릿지 현상을 줄일 수 있도록 한 캠식 식부 장치의 한 예이다.

## 2) 가진력

주당 본수 및 이양 심도 등의 식부 정도를 높이기 위해서는 식부 장치의 회전으로 발생하는 관성력의 합인 가진력의 크기가 가능한 작아야 한다.

각 식부 장치에서 발생하는 가진력의 크기를 WM2D를 사용하여 예측하였다. 가진력 계산을 위해 크랭크식과 로터리식 식부 장치를 각각 최고 회전 속도인 396 rpm, 300 rpm으로 회전시키고, 캠식 식부 장치는 로터리식과 동일한 300 rpm으로 회전시켰을 때 예측된 가진력은 각각 그림 7, 8, 9와 같다. 각 그림에서 가진력 분석 결과를 정리하면 그림 10과 같다. 그림으로부터 크랭크식 식부장치의 평균 가진력은 로터리식과 캠식의 약 2배 가량 높다. 캠식 식부 장치의 평균 가진력은 로터리식에 비해 약간 높은 값을 나타내는

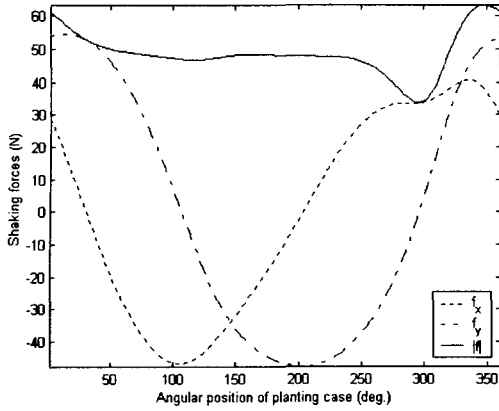


Fig. 7 Shaking forces of the crank-type transplanting mechanism.

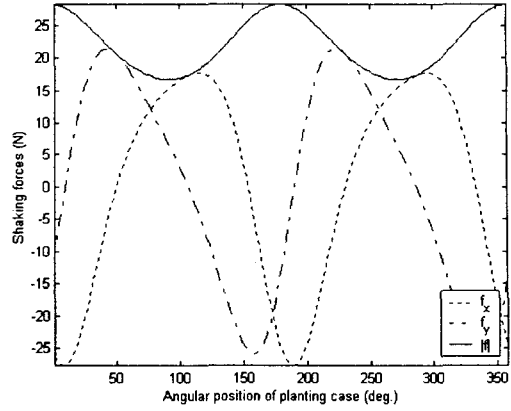


Fig. 8 Shaking forces of rotary-type transplanting mechanism.

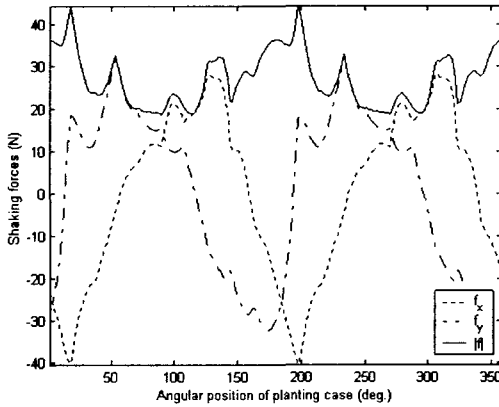


Fig. 9 Shaking forces of cam-type transplanting mechanism.

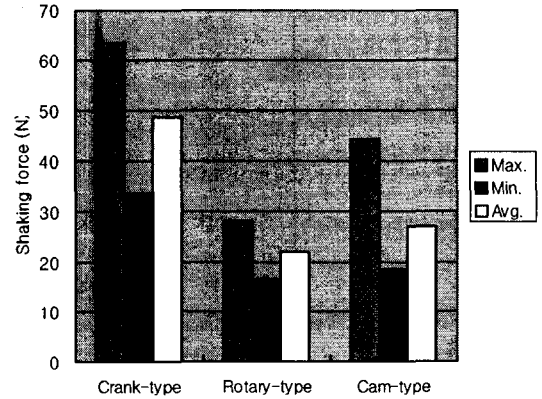


Fig. 10 Result of shaking force analyses.

데 식부날의 가속도 변화가 캠 홈의 형상에 민감하기 때문이다. 따라서 정밀한 캠 형상의 설계를 통해서 가속도의 급격한 변화를 극복할 수 있다면 그림 9에서 나타나는 피크들은 없앨 수 있고 캠식 식부 장치의 가진력은 로터리식과 비슷해질 것으로 판단된다.

또한, 로터리식 식부 장치에서 사용하는 편심 기어열은 기어간의 기하학적 중심 거리가 변함으로 백래시의 크기가 일반적인 원형 기어보다 크다. 따라서 식부날의 유격이 많고 식부 정도가 떨어진다. 그러나, 캠식 식부 기구는 원형 기어를 사용함으로써 유격을 줄일 수 있으며, 위성 기어의 질량 중심과 회전 중심이 동일하여 기어의 관성력은 완전 평형을 이루기 때문에 전체 가진력을 줄일 수 있을 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

원형 기어열의 최외각 위성 기어에 회전 가능하게 고정된 식부날이 식부 케이스에 고

정된 캠에 의해 구속된 운동을 함으로써 알맞은 식부 궤적을 구현하는 캠식 식부 장치의 기구, 동역학적 분석을 수행하였다. 분석은 다물체 동역학 해석 프로그램을 사용하여 식부 궤적 및 가진력 위주로 수행하였으며, 그 결과 캠식 식부 장치는 로터리식 식부 장치에 비해 다음과 같은 잇점이 예상된다.

- 1) 브릿지 현상과 식부시 토양에 생기는 구멍의 크기를 동시에 해결할 수 있으므로 최적의 식부 궤적을 구현할 수 있다.
- 2) 일반적인 원형 기어열을 사용함으로써 적은 백래시에 의한 식부날의 유격을 감소시킬 수 있다.
- 3) 원형 기어열은 회전 중심과 무게 중심이 일치함으로써 위성 기어간의 관성력은 완전히 평형을 이루므로 전체 가진력을 줄일 수 있다.

## 5. 참고 문헌

1. 박홍제, 김경욱. 1993. 고속 식부 기구 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 개발(I) - 식부 궤적과 운동 분석 -. 한국농업기계학회지. 18(2): 91-99.
2. 박홍제, 김경욱. 1993. 고속 식부 기구 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 개발(II) - 힘분석 -. 한국농업기계학회지. 18(3): 230-238.
3. Mitome, K and K. Ishida. 1974. Eccentric gearing. Transactions of the ASME. 96(1): 94-100.
4. User's guide for working model(R) 2D v. 4.0. 1996. Knowledge Revolution. San Manteo.
5. 山影征男. 1986. 回轉式植付機構による高速田植機の開發研究. 昭和60年度研究報告會資料. 農業機械化研究所.
6. 山影征男, 小西達也, 堀尾光廣, 吉田清一. 1989. 高速田植機の開發研究. 農業機械化研究所報告第24號. 農業機械化研究所.
7. 山影征男, 小西達也, 堀尾光廣, 吉田清一. 1989. 高速田植機の開發. 農業機械學會誌 第51卷 制5號.