바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 32, No. 2, pp. 91~96 (2007)

태양전지를 이용한 원격조종 중경제초기 개발

김태수 장익주

Development of a Remote Controlled Weeder Driven by Solar Battery Power

T. S. Kim I. J. Jang

Abstract

In this study, a prototype remote controlled weeder using solar module was developed and the evaluations of weeding, side walking and weeding performance were conducted to see if actual application was feasible in the paddy field. When traveling, the loss electric current was 8 to 15 A depending on operating and soil conditions. The average traveling speed was 0.25 m/s and the average slippage was 18%. When it side walked row by row, electric current consumption was 7 A on the average. When wheel rotors line went initially up and last down, electric current consumption was 12 to 15 A due to soil resistance. Electric current consumption when shifting wheel rotors line was less than 5 A due to no resistance. Field efficiency was 105 min/10a based on the test field. Operation was able to be done for 4.16 hours continually by 52 AH battery based on 300 W average maximum power consumption and 4.6 hours under sunny day considering solar module.

Keywords : Remote control, Wheel rotor, Weeder, Cultivator

1. 서 론

제초제의 남용으로 인한 약해 및 환경오염 등의 문제가 제기됨에 따라 친환경농법이 대두되어 오리, 우렁이 등을 이용한 농법 등 여러 가지 방법이 일부 농가에서 시행되고 있지만 큰 효과를 거두고 있지 못한 것이 사실이다. 동력중경제초기로 중경제초작업을 시행한 영농 활용보고서에 의하면 동력중경제초기를 사용하였을 때 손제초에 비해 2회 처리 89%, 3회 처리구 83%의 노동력을 절감할 수 있었다. 또한 이앙 후 80일에 조사한 방제가에 의하면 이앙 후 20일까지 10일 간격으로 3회 동력중경제초기를 투입했을 경우 약 70% 이상의 제초효과가 있었으며 수확 벼 수량에서도 490 kg/ha 이상이 가능한 것으로 보고되었다. 따라서 중경제초기의 처음 투입 시기는 늦어도 이앙 후 20일까지는 투입해야만 높은 제초효과를 기대할 수 있다(Furuchi and Mitarai, 1993; Lim 등, 2002; 원 등, 2006). 그러나 무논에서의 작업의 어려움으로 인한 노동부담과 새머리에서 선회에 따른 작물의 피해 등으로 인해 사용빈도가 많지는 않다. 이러한 어려움의 해결을 위해 Takahara 등(2004)은 화상피드백 제어를 이용한 무논제초용 주행차륜을 개발하여 보고한 바 있다.

이에 본 연구에서는 태양전지에 의해 충전된 배터리를 전원으로 하여 원격조작에 의해 작동하는 원격조종 중경제초기를 개발하였으며, 실제 이앙논에서 작동특성을 알아보고 소모전력 계산 및 가용시간 산출 등 작업능률을 평가하여 현장 적용 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기 제작

주행조건 및 작물의 형태 등에 따라 각부 요소를 선정하고

The article was submitted for publication in December 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2007. The authors are Tae Soo Kim, Graduate Student, KSAM member, and Ik Joo Jang, Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea. Corresponding author: T. S. Kim, Graduate Student, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea; Fax: +82-53-950-6780; E-mail: <tskim@knu.ac.kr>.

여러 가지 시험을 토대로 하여 최종 시작기를 제작하였다. 원격조종 중경제초기는 크게 동력원인 태양전지, 휠로터열의 좌우이동이 가능하도록 설계된 프레임부, 직접 중경제초 작업을 수행하는 휠로터부로 이루어진다. 태양전지는 2개를 직렬 연결하여 사용되며 생성된 전원은 배터리에 저장되어 시스템 전체의 전원을 제공한다. 휠로터 설치부는 TM 스크류가 체결되어 있어 DC 모터와 기어의 조합으로 휠로터열의 좌우이동으로 벼 열간 이송을 가능하게 하며, 중경제초 휠로터는 DC 모터에 의해 자체적으로 독립 구동하게 되어 있다. 또한 각 휠로터열은 전동실린더에 의해 링크로 구성되어 승강 작업을 한다. 그림 1은 최종 제작된 중경제초기의 시작기 도면을 나타내고 있으며, 표 1에 상세제원을 나타내었다.

나. 공시포장 및 작물조건

원격조종 중경제초기의 모든 시험은 경남 밀양에 위치한 영남농업연구소의 시험포장에서 실시하였다. 공시포장은 덕평통으로 분류되는 미사질식양토의 논으로서 함수율은 48.5%

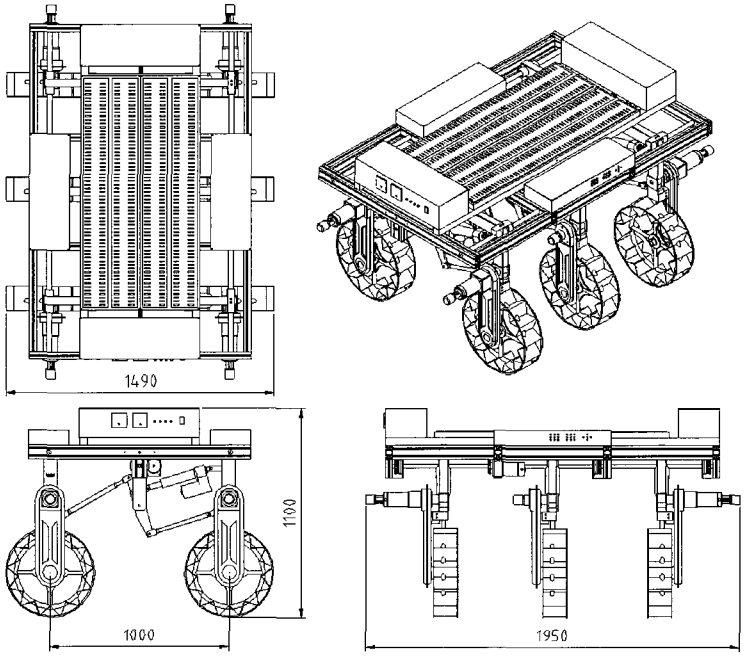

Fig. 1 Schematic diagram of the prototype weeder.

Table 1 Specifications of the prototype weeder

Items (unit)		Specification
Size (mm)		1,950 (L)×1,490 (W)×1,100 (H)
Lateral wheel separation (L, mm)		600
Lateral wheel separation (W, mm)		1,000
Drive part	Motor	DC24V/90 W/3,300 rpm×4 EA
	Gear head	200:1×4 EA
	Wheel	∅500×6 EA
Shifting part	Motor	DC24V/40 W/3,000 rpm×1 EA
	Gear head	50:1×1 EA
	Magnetic clutch	DC24V×3 EA
	TM screw	∅20×580×3 EA
Ascending and descending part	Motor	DC24V/90 W/3,300 rpm×3 EA
	Gear head	3:1×3 EA
	Electric Cylinder	Ratio 30:1/Rod 100 mm
Traveling speed (m/s)		0.2~0.3
Battery		DC12V/26 AH (20 hr)×4 EA

로 높게 나타나 점착성이 약하며, 평균 원추관입지수는 약 4.8 kg/cm^{2}으로 나타났고, 포장의 크기는 가로 100 m, 세로 8.2 m이다. 여기에 이앙된 흑남벼의 주간거리는 300 mm, 조간거리는 평균 약 120 mm로 조사되었으며, 이앙 후 30일 이내에 벼에 피해를 주지 않는 포장의 공간은 높이 350~370 mm, 폭은 150~160 mm로 나타났다. 표 2에 제초시기의 공시포장 상태를 나타내었다.

Table 2 Conditioning experimental site during weeding period

Soil type	Deogpyeong series (sandy clay loam)
Moisture Content (%, d.b.)	48.5
Cone index (average, kg/cm^2)	4.8±0.5
Paddy species	Heknam
Hill spacing (mm)	300
Row spacing (mm)	120
Possible weeding area (height, mm)	350~370
Possible weeding area (width, mm)	150~160

다. 시험장비 및 방법

중경제초작업이 무논에서 행해지므로 차체의 중량과 매몰정도 등에 따라 전류 소모량의 분포를 측정하여 적절한 주행여부와 소모전력 등을 시험하였다. 전류 측정장치와 데이터로거 등을 이용하여 데이터를 수집하였으며 이를 구동에 소요되는 동력 및 전력 등으로 환산하여 주행능력을 평가하였다.

중경제초작업을 하는 주행, 새머리에서 다음 벼 열로의 이송을 위한 승강 및 좌우이동작업으로 구분하여 총 소모전류와 주행속도를 측정하여 작업 소요시간 및 적정 작업시기를 결정하였다. 주행 시 소모전류의 측정은 출발에서부터 약 1분간 주행할 때까지의 전류를 10회 측정하여 평균값을 구하였다. 휠로터열의 승강 및 좌우이동은 벼 열의 끝단에서 각각 1회 작업 시 총 소모전류량을 10회 측정하여 평균값을 산출하였고, 이동작업에서 1회 연속적인 작동을 하였을 경우 소요되는 시간을 측정하였다. 또한 Prova instrument사의 Digital photo tachometer RM-1500을 이용하여 이론속도 및 주행속도를 측정하여 슬립율을 계산하였으며, 공시포장을 기준으로 이앙 15일 후와 25일 후 2회 제초작업을 시행하여 제초상태를 관찰하고 소모전력을 측정하여 사용 가능시간 및 작업능률을 산출하였으며, 작업결과를 토대로 친환경농법에서의 중경제초에 관한 효과에 대해 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 작동시험

1) 주행

그림 2는 주행 시 총 소모전류 및 전압변화에 따른 소모전력의 값을 나타낸 것이다. 주행 및 중경제초 작업 시 토양의 상태나 매몰정도에 따라 변화를 나타내었지만 총 소모전류는 8~15 A의 범위 내에서 나타났다. 초기 구동 시 전류 소모가 많게 나타났으며 방향전환을 할 때에 한 쪽 휠로터열의 모터가 작동하지 않으므로 전류 소모는 적게 나타났다. 평균 소모전류는 약 10 A로 나타났으며, 이앙 상태에 따라 방향전환의 횟수가 다르게 나타났지만 10 m당 ±20 cm 정도로 직진성은 양호하게 나타났다. 부하의 많고 적음에 따라 배터리의 전압도 변동하였으나 이를 토대로 동력으로 환산하였을 때 최대 400 W 정도가 소모되었다.

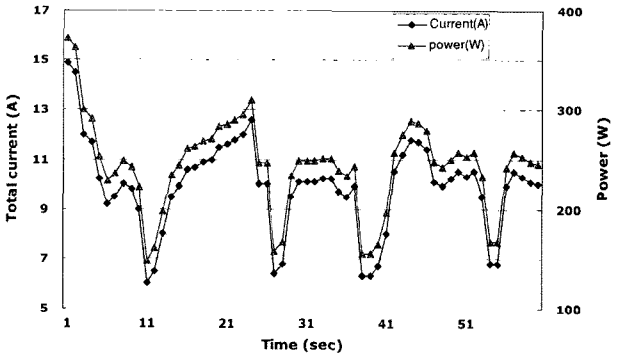

Fig. 2 Results of current and power consumption during traveling.

중경제초기의 이론 주행속도는 전압에 따라 약간의 차이가 생겼지만 휠로터의 회전속도가 약 11 rpm으로 구동되어 0.3 m/s로 나타났으며, 평균 주행속도는 0.25 m/s이다. 그림 3은 10회의 주행시험에서 나타난 슬립율을 나타내고 있다. 포장의 상태가 거의 균일하여 큰 변화는 없으나 토양의 상태나 침

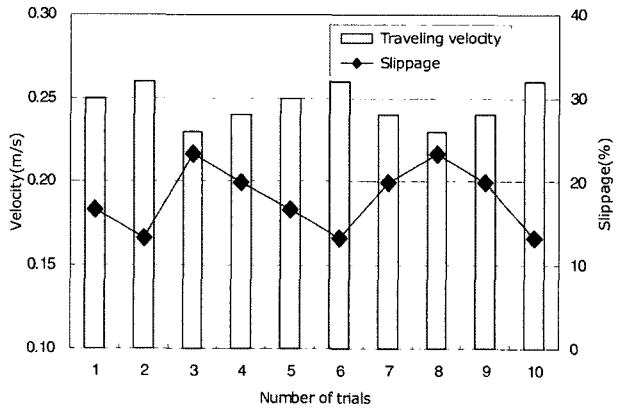

Fig. 3 Relation between traveling velocity and slippage.

하깊이에 따른 물깊이의 차이로 인해 변화를 보였으며 평균 슬립율은 약 18%로 나타났다. 그림 4는 시험포장에서 이앙 후 25일경 실제 제초작업을 하는 모습을 나타내었다.

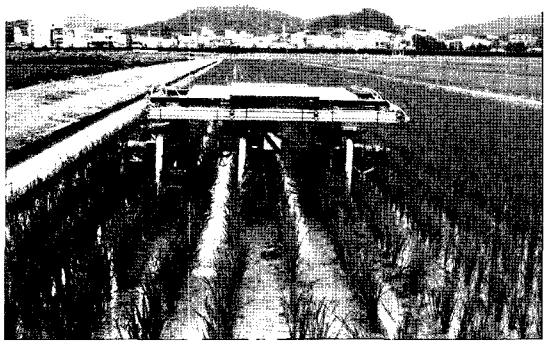

Fig. 4 Cultivating paddy field.

2) 벼 열간 이동작업

그림 5와 6은 벼 열의 끝단에 도달하여 다음 열로 이동하기 위한 휠로터열의 승강작용 시 총 소모전류의 분포를 나타낸 것이다.

상승작용 시 초기 부하가 많이 작용하였지만 원활하게 작

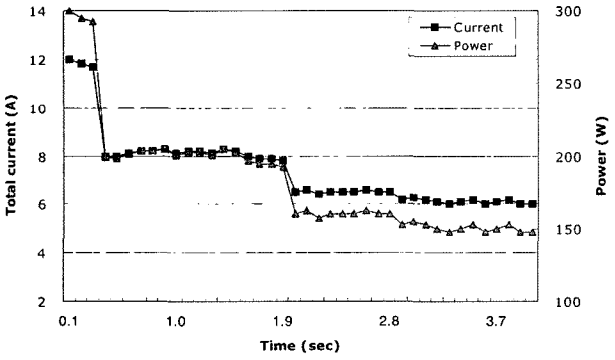

Fig. 5 Results of current and power consumption during ascending of the wheel rotor.

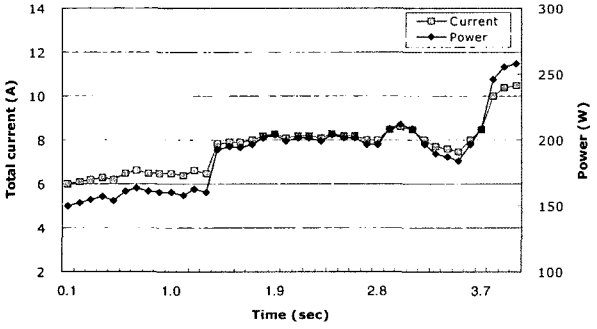

Fig. 6 Results of current and power consumption during descending of the wheel rotor.

동하였으며, 하강 시에는 반대로 휠로터가 제자리를 잡아 갈 때 많은 전류가 소모되었으나 상승 초기의 부하보다는 작은 동력이 소모되었다. 상승 및 하강작용 시 각각 1회 평균 소요시간은 약 5초 이내에서 이루어졌으며 중앙의 휠로터열은 모터가 부착되지 않아 휠로터가 자유로이 움직이므로 좌우측의 휠로터열보다 원활한 작동을 할 수 있었다. 그림 7은 상승된 휠로터의 모습이다.

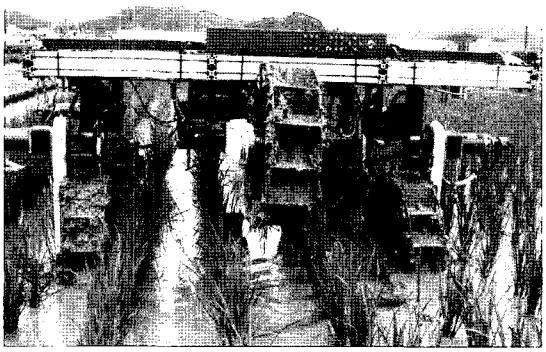

Fig. 7 Ascended wheel rotor.

그림 8은 휠로터열의 이동 시 총 소모전류를 나타낸 것이다. 들어 올려진 휠로터를 이동하는 작업은 별다른 부하가 작용하지 않으므로 약 5 A 이내에서 원활한 작동이 가능하였다. 마이크로 스위치에 의하여 벼 열의 간격에 맞게 이동작업이 종료되었으며 1개의 휠로터열이 이동하는 시간은 약 14초 정도로 나타났으나 부하의 양이 적어 감속비의 조절로 소요시간은 단축시킬 수 있을 것으로 보인다.

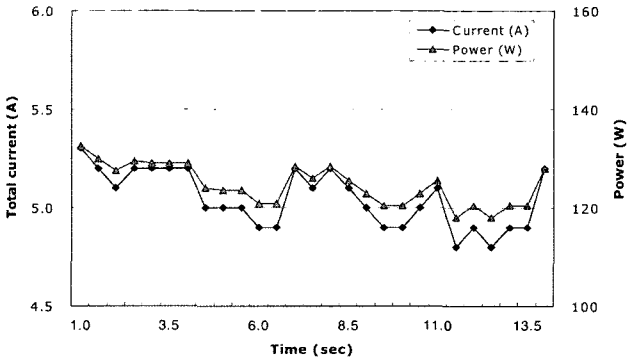

Fig. 8 Results of current and power consumption during shifting of the wheel rotors line.

그림 9는 1회의 벼 열 이동 시 소모되는 전류의 양을 연속적으로 나타낸 것이다. 승강작용의 시작과 종료시점에서 많은 동력이 소모되는 것을 알 수 있으며 평균 소모전력은 157 W로 나타났고 1회 이동 시 평균 소요시간은 약 1.5분이었다.

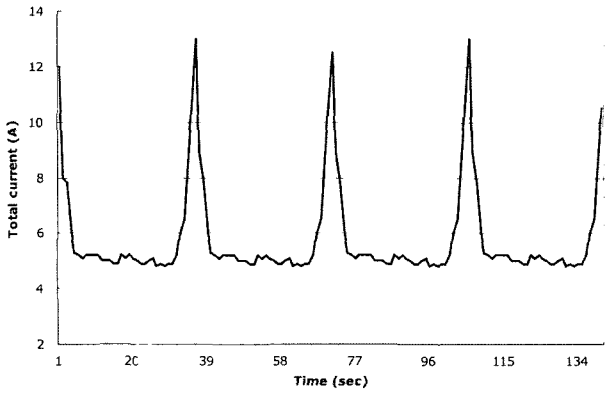

Fig. 9 Change of current for one-time shift movement.

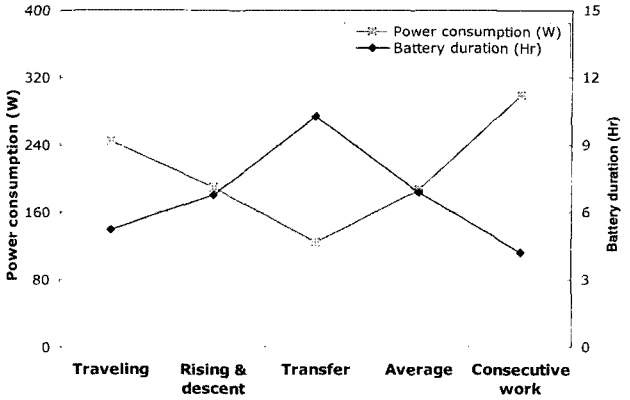

Fig. 10 Power consumptions and battery durations for different operations.

나. 작업능률 평가 및 중경제초의 효과

연속 주행 및 중경제초 실험 결과 평균주행속도는 약 0.25 m/s였으며, 포장의 끝단에서 휠로터의 승강 및 좌우이동 등의 동작으로 다음 열로 이동을 위해 소요되는 시간은 약 1.5분 정도로 나타났다. 또한 총 소모전류 변화결과에 의하면 전체 작업에서 평균 소모전류는 약 12 A로 나타났다. 공시포장을 기준으로 한 작업시간은 약 70분이 소요되었다. 벼 열의 이동을 위한 시간이 차지하는 비율이 크기 때문에 이를 감안한다면 작업능률은 약 105분/10 a이 된다. 기존의 동력중경제초기의 작업소요시간이 10 a당 40~50분(농업공학연구소, 2006) 정도로 나타나 있어 능률이 다소 떨어지지만 선회에 의한 피해가 전혀 없고 원격조작에 의해 소음 및 진동에 의한 작업자의 피로도가 현격하게 감소되는 등의 장점이 있어 적응성이 충분하다고 판단된다.

작동시험의 결과에서 보면 연속작업 시 평균 소모전력은 약 200 W이지만 작업 중에서 시험포장을 기준으로 주행 및 중경제초작업이 75%를 차지하고 나머지 작업은 25%를 차지한다. 여기서 토양의 상태 및 작업의 형태에 따라 동력소모의 차이가 많고 순간적으로 동력이 많이 소모되는 경우가 많으므로 이를 감안한 평균 최대소모전력(약 300 W)을 기준으로 하여 중경제초기의 가용시간을 산출해 보면 부착된 52 AH의 배터리로 약 4.16시간의 작업이 가능하다. 여기에 태양전지에 의한 충전량을 더한다면 최대 4.6시간의 작업이 가능하다. 세부적으로 살펴보면 그림 10에서 보듯이 주행 및 중경제초 작업만 할 경우 평균 소모전력은 244 W로 작업가능시간은 5.2시간, 승강작업만 할 경우에는 190 W로 6.8시간 작업이 가능하며, 좌우이동작업만 할 경우에는 125 W로 10.3시간 작업이 가능하며, 총 평균 소모전력은 186 W로 약 6.9시간의 작업이 가능하다.

중경제초기를 이용한 잡초방제는 현재 시도되고 있는 친환경적 잡초방제법 중에서 예상되는 방제효과 및 결과가 가장 확실한 방법이다. 그러므로 영농의 규모, 발생잡초 상황 등을 고려하여 개별 농가의 실정에 맞게 이용이 가능할 것이다.

그림 11은 중경제초작업 후의 모습을 나타낸 것이다. 제초작업 결과 토양은 충분히 반전되었으며 넓게 분포되어 있던 개구리풀 등의 잡초가 제거된 모습을 볼 수 있다. 또한 포장에 흙탕물을 일으키면서 잡초의 발생을 일부 억제하는데 충분하다고 판단되지만, 보고된 연구결과와 마찬가지로 벼 포기 사이의 잡초는 제거하지 못하므로 전체 제초율은 50~60% 정도가 될 것으로 예상된다. 그렇지만 중경제초를 함으로써 지온이 상승하여 유효분얼의 조기 확보가 가능하며, 유해가스의 배출 및 효소 공급효과 및 시비효과를 상승시킬 수 있고, 제초제에 내성이 생긴 잡초의 제거 및 친환경 농법으로 고품질·고부가가치의 쌀을 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 11 Experimental site of paddy field after cultivating.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 원격조종 중경제초기의 시작기를 제작하여

실제 이앙논에서 작동특성을 알아보고 작업능률을 평가하여 실제 현장적용 가능성을 제시하고자 하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 주행 시 소모전류는 토양의 상태 및 작업조건에 따라 약 8~15 A로 나타났으며, 평균주행속도는 0.25 m/s, 평균 슬립율은 약 18%로 나타났다.
2. 열간이동 시 소모전류는 평균 약 7 A로 나타났다. 승강작용의 휠로터열 상승 초기와 휠로터열의 하강 말기 흙의 저항으로 인해 12~15 A 이상의 전류가 소모되었고, 휠로터열의 좌우이동에는 별다른 부하가 없어 5 A 이내의 전류가 소모되었다.
3. 공시포장을 기준으로 작업능률은 105분/10 a로 나타났으며, 평균 최대소모전력 300 W를 기준으로 하여 52 AH 용량의 배터리로 약 4.16시간 작업이 가능하였다. 또한 맑은 날 태양전지의 충전량을 감안한 연속 작업가능 시간은 약 4.6시간으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. Furuchi, T. and M. Mitarai. 1993. Hand-tractor driven weeder for interhill space of paddy rice (Part 2) -Operating performance-. Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 55(2):131-136. (In Japanese)
2. Lim, S. T., I. Y. Lee, J. R. Cho, B. C. Moon and J. E. Park. 2002. A possible weed management strategy using the cultivating weeder in rice paddy field. Kor. J. Weed Sci. 22(3):259-265. (In Korean)
3. Takahara, S., K. Sogo and K. Yamaura. 2004. Autonomous vehicle for paddy field weeding by image feedback control. Journal of the Japanese Society for Agricultural Machinery 66(2):45-54. (In Japanese)
4. 농업공학연구소. 2006. 중경제초기의 종류. 농업공학연구소 자료실.
5. 원종건, 안덕종, 김세종. 2006. 벼 친환경 재배 동력제초기 적정 투입시기 결정. 2005시험연구사업 결과활용 심의자료집 pp.211-214, 농촌진흥청 작물과학원.