

비례밸브를 이용한 트랙터 경심 및 부하제어시스템 개발

이상식 이재용 문정환

Development of a Depth and Working Load Control System for Tractor Using a Proportional Valve

S. S. Lee J. Y. Lee J. H. Mun

Abstract

Depth and working load control is one of the most important technique in control system for tractor rotary implement automation. Keeping the depth consistent is critical to bring along crops and to improve the efficiency and quality of the following operations. Keeping the load of engine consistent is an essential factor for the efficiency of operation and engine protection of tractor. In this study we investigated the possibility of application of depth and working load control system for tractor using a proportional valve through field tests. Depth control was implemented by the ascent and descent of 3 point linkage for the change of setting depth. There were 4 mm and 5.2 mm control deviations for setting depths of 50 mm and 100 mm, respectively. Load control was operated appropriately by the ascent and of descent of 3 point link for the change of setting working load. The standard deviations between setting load and engine load were 171 rpm at 1.3 km/h and 164 rpm at 2.3 km/h tractor travel velocity. The results of experiment showed that the characteristics of response was sufficient to be used as the implement depth and working load control system for tractor using proportional valve.

Keywords : Depth Control, Working Load Control, Rotary Implement, Proportional Valve

1. 서론

한국과 일본을 중심으로 한 아시아권에서는 로타리작업기를 많이 사용하고 있다. 로타리 작업기 제어시스템을 위한 자동화 중 경심과 부하제어가 제일 중요한 제어 기술이고, 작업자가 원하는 설정 경심을 유지하기 위한 경심제어와 일정 이상의 엔진 부하를 받으면 시동이 꺼지는 현상을 방지하기 위한 부하제어가 필요하다. 트랙터가 엔진 부하로 인하여 시동이 꺼지지 않는 범위 내에서 로타리작업에서 토양을 정형적인 일정한 모양으로 포장을 만들기 위해서는 경심제어와 부하제어와의 혼합이 가능한 혼합제어가 있다.

최(1993) 등은 작업기의 경심변화를 작업기에 설치한 포텐쇼미터에 의해서 검출하는 작업기 경심제어 시스템에 관한

실내실험 연구결과를 보고하였다. kawamura(1979) 등은 경운부의 바로 앞에 장착한 제5륜의 변위변화를 검출하여 경심을 일정하게 유지하는 경심제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. Satou(1985) 등은 쟁기 작업기에 설치한 초음파센서에 의해 주행 면으로부터의 작업기의 높이를 검출하여 쟁기에 의한 경심을 일정하게 유지하여 주는 경심제어시스템에 관한 연구 결과를 보고하였다. Jiang(1992) 등은 트랙터 본체에 장착된 센서에 의해 리프트암각, 차체 피칭각, 엔진회전속도를 검출함으로써 경심, 부하제어가 가능한 프로그램머블 3점 링크 제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. 일본의 I사(1995)에서는 리프트암 센서 및 균평판 검출방식의 경심센서에 의한 경심제어가 제어모드절환스위치와 단일조작레버에 의해서 행해질 수 있는 경심 제어시스템을 출시하였다. 최근에 일

This article was submitted for publication in December 2005, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in January 2006. The authors are S. S. Lee, Research Assistant Professor, J. H. Mun, Associate Professor, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea, and J. Y. Lee, President, Mido Tech Co. Ltd., Hwasung, Korea. The corresponding author is J. H. Mun, Associate Professor, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea; Fax : +82-31-290-7830; E-mail : <jmun@skku.ac.kr>

본에서 생산되고 있는 트랙터는 경심에 관한 정보를 기존과 같이 로타리커버 검출방식에 의존하고 있으나, 검출용 링크를 트랙터본체까지 연장함으로써 일본의 K사(1999)에서는 포텐쇼미터를 본체에 장착하는 방식을 채택하고 있다. Keuper (1999)는 트랙터의 엔진 부하 및 슬립을 측정하여 작업기의 견인력혼합제어가 가능한 전자유압 3점 링크 제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. 대부분의 연구에서는 경심 혹은 부하제어 단일 방식으로 연구한 경우가 대부분이고, 경심제어와 부하제어를 혼합하여 적용한 연구는 최근 들어 농업기계의 대형업체를 중심으로 진행되고 있는 실정이다. 그런데 혼합제어의 경우는 토양상태 및 실험과정의 재현 등의 문제로 검증에 많은 어려움을 안고 있다.

본 연구에서는 트랙터의 로타리작업 제어시스템에 비례제어 밸브를 적용하고, 이를 효과적으로 제어하기 위하여 트랙터 경심에 대한 기구학적 분석을 통한 이론과 실측치를 분석하고, 경심, 부하 및 혼합제어 알고리즘을 개발하여 경심 및 부하제어시스템에 대하여 포장실험을 통해 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 제어시스템 구성

본 연구에서는 트랙터 3점 링크의 작동으로 경운 작업을 하기 위하여 로타리 작업기의 전자유압시스템을 사용하였다. 트랙터 작업기의 작동은 유압펌프에서 공급되는 작동유를 엔진에 부착된 기어펌프에 의해서 전달시키고, 전달된 작동유는 유압 솔레노이드밸브 및 실린더에 의해서 작업기를 제어

하게 된다. 유압장치의 핵심부품인 전기적 신호로 제어되는 유압밸브는 비례밸브로 대표되는 아날로그식이 주류이고 이를 유압밸브로 사용하였다. 작업기 제어시스템의 구성은 그림 1과 같다.

경심제어는 마이크로컴퓨터에서 경심 설정다이얼에 의한 설정 경심과 로타리커버 센서에 의한 작업기의 경심을 비교한 후, 편차를 계산하고 리프트암 센서로부터의 신호에 의해 현재 리프트암의 위치를 계산하여 제어를 위한 제어량을 결정한다. 부하제어는 마이크로컴퓨터에서 부하 설정다이얼에 의한 설정 부하와 엔진 속도를 측정하는 부하센서에 의한 작업기의 부하를 비교한 후, 편차를 계산하고 리프트암 센서로부터의 신호에 의해 현재 리프트암의 위치를 계산하여 제어를 위한 제어량을 결정한다. 그리고 컨트롤러는 제어량이 경심제어 불감대(± 10 mm)와 부하제어 불감대(± 200 rpm) 보다 작으면 제어를 수행하지 않으며, 불감대보다 크면 솔레노이드밸브 및 비례제어밸브의 작동제어를 위한 편차에 비례한 제어신호 출력으로 유압 컨트롤밸브를 제어하고, 이로 인하여 작업기의 경심이 항상 설정 경심 및 부하로 유지되도록 작업기의 상승 및 하강제어를 수행한다.

혼합제어 알고리즘은 마이크로컴퓨터에서 설정 경심, 설정 부하(엔진회전수), 혼합비 및 불감대를 읽어 들인 후에 경심 센서, 엔진회전수센서 및 리프트암 센서로부터의 신호에 의해 현재의 작업기의 경심 및 엔진부하를 구하여, 이들 값과 경심 및 부하 설정값과 비교한 후에 각각에 대한 편차를 계산하게 된다. 또한 각각의 편차와 설정혼합비에 의해 제어편차가 계산되고, 제어편차의 절대치가 설정혼합비보다 작으면 제어를 수행하지 않으며, 설정혼합비보다 크면 제어를 수행하게 된다.

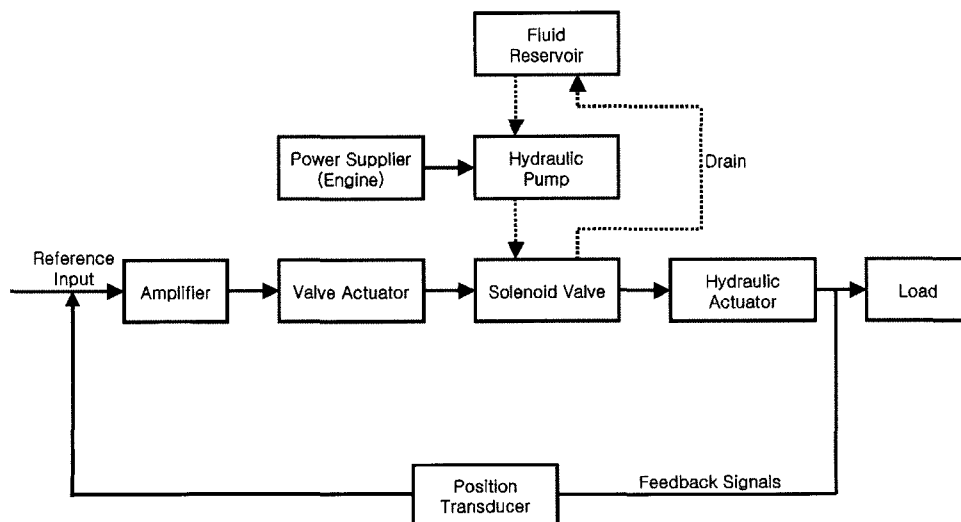


Fig. 1 Schematic diagram of electro-hydraulic control system for the rotary implement.

나. 유압 회로

유압회로는 회로상의 유로 변경 등을 통해 유압펌프로 부터의 압축된 오일을 유압회로와 연결되어 있는 유압실린더에 공급함으로써 리프트암을 통해 유압실린더와 직접 연결되어 있는 3점 링크 및 제어대상인 작업기를 상승 및 하강시키기 위한 제어시스템을 구성하고 있는 요소 중의 하나이다. 그림 2 는 제어 시스템에 사용된 유압회로의 회로도를 보여주고 있다. 유압회로는 내부에 유로가 형성되어 있는 유압밸브블록, 유로의 방향 전환을 위한 상·하강용 on/off 솔레노이드밸브 (1)과 (2), 상승 시의 유압실린더내의 공급유량 및 하강시의 실린더로부터의 배출유량의 조절을 위한 비례제어밸브(3) 및 각종 유압밸브 등으로 구성되어 있다. 컨트롤러로부터의 제어신호에 의해 on/off 솔레노이드밸브(1)이 작동하면 유압펌프로 부터의 유압유는 비례제어밸브(3)에 의해 조절된 유량을 유압실린더 내에 공급함으로써 작업기는 상승하게 되고, on/off 솔레노이드밸브(2)가 작동하면 유압펌프로 부터의 유

압유는 유압회로내의 T포트를 통해 유압탱크로 드레인 되고, 작업기의 자중에 의해 유압실린더내의 오일이 비례제어밸브 (3)를 통해 유압회로내의 T포트를 통해 유압탱크로 드레인 됨으로서 작업기는 하강하게 된다. 상·하강 시의 유량조절은 컨트롤러로부터의 제어신호에 비례한 비례제어밸브(3)의 개구면의 크기에 의해 조절되며, 이로 인해 작업기의 작동 속도가 제어된다. 작업기 상승을 위한 유압 실린더의 최대 입력 유량은 26 lpm이고, 자유낙하 하는 최대 하강 유량은 41 lpm 이다.

다. 센서

1) 경심 센서

경심 센서는 로타리 작업기에 의한 경운작업 중, 주행로면의 불균일 등으로 발생하는 차체의 피칭현상 및 차륜의 침하 현상으로 인한 작업기의 경심 변화를 검출하기 위한 센서이다. 그림 3에서 보는바와 같이 경심 센서는 로타리커버 검출 방식으로 경심의 변화에 따라 움직이는 균형판의 움직임을 링크를 이용하여 로타리커버상에 고정된 포텐쇼미터로 검출함으로써 경심을 측정하도록 설계하였다.

2) 부하 센서

로타리 작업기에 의한 경운작업 중, 토양에 의한 작업부하의 변화는 엔진회전수의 변화를 발생시킨다. 그러므로 엔진 속도 측정센서를 이용하여 엔진회전수의 변화를 검출함으로써 토양에 의해 로타리 작업기에 걸리는 작업부하를 검출하였다. 엔진속도 측정센서는 마그네틱픽업 센서, 기어 및 F-V 컨버터의 전자회로로 구성되어 있으며, F-V컨버터는 엔진회전수의 변화에 따른 마그네틱픽업 센서의 출력주파수의 변화에 비례한 아날로그 전압을 출력한다. 그림 4는 엔진속도 측

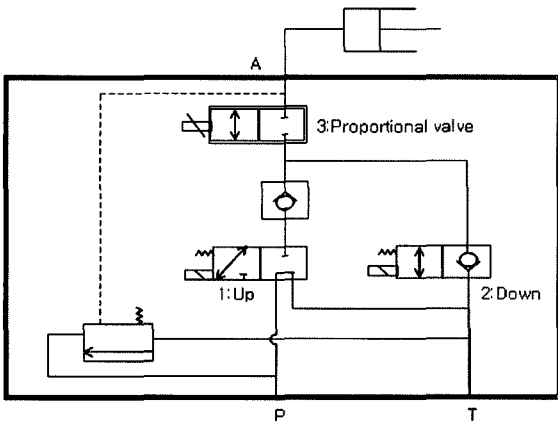


Fig. 2 Hydraulic circuit of control system.

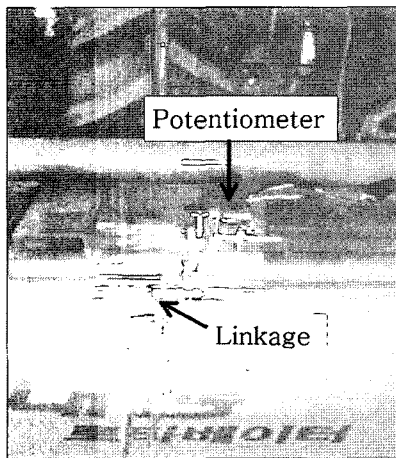


Fig. 3 Depth sensor.

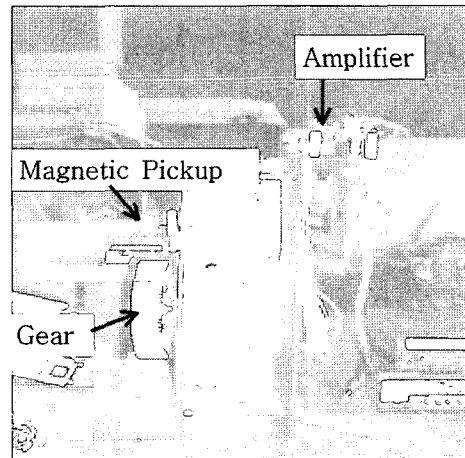


Fig. 4 Working load sensor.

정센서를 보여주고 있으며, 표 1은 기어, 표 2는 마그네틱픽업의 주요제원을 보여주고 있다.

라. 실험장지

본 연구에서 사용한 시작기는 국내 D사(모델 : D500)의 제품을 사용하였다. 시작기는 각종 연산처리 및 제어를 행하기 위한 컴퓨터, 센서로부터의 신호를 읽고 컴퓨터로부터의 제어신호를 출력하기 위한 컴퓨터의 확장슬롯에 장착된 입·출력보드(A/D 및 D/A보드), 출력보드로부터의 제어신호에 의해 솔레노이드밸브를 작동하기 위한 컨트롤러 등으로 구성되어 있는 전자제어부, 각종 센서류(경심센서, 부하센서, 포지션 레버센서, 리프트암센서) 및 유압밸브블록조립체 등이 장착된 공시트랙터이다. 그리고 각종 센서로부터의 신호 기록은 아날로그 데이터레코더를 사용하였다.

마. 방법

소프트웨어 제어를 위한 제어 수식과 성능실험을 위한 데이터 분석을 위해 로타리 작업기의 경심변화에 대한 시뮬레이션 하였다. 그리고 경심, 부하 및 혼합제어가 가능하도록 설계된 작업기제어시스템에 대한 응답특성 및 제어성능을 규명하기 위하여 포장 응답특성실험을 화성시 태안읍 소재 논토양에서 실시하였고, 실험은 3회 수행하였다. 표 3에서는 USDA법에 따라 실시한 실험토양의 조성 및 분류의 결과와 토양의 물리적 지표인 콘 인덱스를 보여주고 있다. 포장실험

Table 1 Specification of the gear

Material	SCM410
Tooth	78
Module	1.5
Diameter	120 mm
Length	20 mm

Table 2 Specification of the magnetic pickup

Maker	Hyundai Autonet Co. Ltd.
Model	HA-33801
Power supply	DC 12 V
Rated speed	60-9500 rpm
Output	Pulse

Table 3 Soil properties of the test field by USDA classification

Composition(%)			Texture	Cone Index (CI) (KPa)
Sand	Silt	Clay		
34.5	44.1	21.4	L	347

에서 혼합제어 검증은 혼합비가 1인 경심제어와 0인 부하제어로 하여 실험검증을 하였다. 성능 실험을 위하여 엔진속도를 3수준(1,500, 2,000, 2,500 rpm)과 작업 경심 깊이를 2수준(50, 100 mm)로 경심변화를 주어서 제어 응답특성을 알아보았고, 부하제어에서 트랙터 주행속도는 2수준(1.3, 2.3 km/h)과 설정 엔진속도 2,500 rpm에서 제어 응답특성을 알아보았다.

3. 로타리 작업기의 기하학적 분석

트랙터 3점 링크를 이용한 경심 및 부하제어의 작업기 위치에 대한 기하학적 분석은 3점 링크제어, 센서의 사용범위 및 기구설계를 결정하기 위하여 매우 중요하다고 할 수 있다. 트랙터 작업기에 의한 경운작업 중 작업 깊이의 변화는 주로 불균일한 포장면, 차륜침하 등에 의한 차체피칭 및 지상고의 변화에 의해 발생된다. 작업 깊이 즉 경심을 원하는 위치에 일정하게 하는 것은 작물의 균일한 생장뿐만 아니라, 후속작업의 능률향상을 위해 필수불가결한 요인이다. 경운작업을 위한 작업기 중 로타리 작업기가 경심과 밀접한 관계를 갖고 있으므로, 본 연구에서는 로타리 작업기와 직접 연결되어 있는 3점 링크의 기구학적인 해석을 통해 로타리 작업기의 경심변화를 알아 알아보았다.

가. 리프트암의 위치와 경심 사이의 관계

그림 5는 리프트암의 회전각도와 로타리 작업기의 경심사이의 기구학적인 관계를 나타내었다. 트랙터의 차체피칭과 차륜침하에 의한 지상고의 변화에 따른 작업기의 경심은 리프트암축을 중심으로 한 리프트암의 대지 수평경사각이 변화할 때의 로타리 경운축의 위치 변화이다. 로타리 작업기의 상승 및 하강을 위한 유압회로 및 유압실린더는 마이크로컴퓨터로부터의 제어신호에 의해 제어되고, 유압실린더와 연동하여 동작하는 리프트암은 유압실린더의 작동에 의해 힌지점

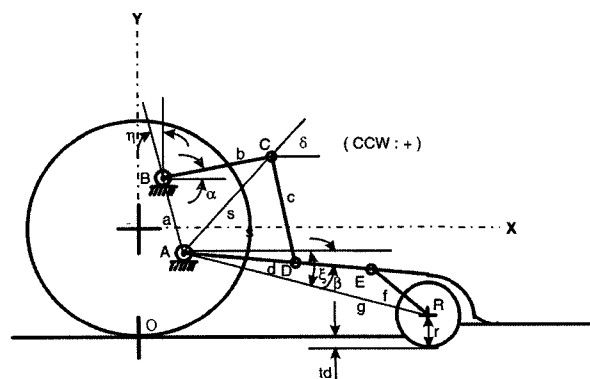


Fig. 5 Relation between liftarm angel and depth of rotary implement.

B를 중심으로 회전운동을 한다. 표 4는 실험에 사용된 트랙터의 3점 링크 및 로타리 작업기의 주요제원을 표시하였고, 국내 D사의 제품을 사용하였다.

또한 리프트로드를 통해 리프트암과 연결되어 있는 하부링크와 로타리 작업기는 리프트암의 동작에 따라 힌지점 A를 중심으로 회전운동을 한다. 따라서 리프트암의 회전각도와 경심과의 관계는 3점 링크 및 하부링크와 연결되어 있는 로타리 작업기의 움직임을 다음과 같이 구하였다.

\overline{AC} 의 길이(s)는 식 (1)에 의해서 구할 수 있다.

$$s = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(\tau)} \quad (1)$$

여기서, a : \overline{AB} 의 길이(402.1 mm)

b : \overline{BC} 의 길이(250 mm)

τ : $84.1476 + \alpha$, \overline{AB} 와 \overline{BC} 가 이루는 각

\overline{AC} 와 \overline{BC} 가 이루는 각 ρ 는 식 (2)에 의해서 구해진다.

$$\rho = \sin^{-1} \frac{a \sin(\tau)}{s} \quad (2)$$

C지점에서 수평에 대한 \overline{AC} 의 각도 δ 는 식 (3)에 의해서 구할 수 있다.

$$\delta = \rho + \alpha \quad (3)$$

삼각형 ACD에서, \overline{AC} 와 \overline{AD} 가 이루는 각 ψ 는 식 (4)에 의해서 구해진다.

$$\psi = \cos^{-1} \frac{s^2 + d^2 - c^2}{2sd} \quad (4)$$

여기서, c : 475 mm, \overline{CD} 의 길이

d : 342 mm, \overline{AD} 의 길이

A지점에서 수평과 하부링크가 이루는 각 β 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = \delta - \psi \quad (5)$$

A지점에서 \overline{AR} 과 수평선이 이루는 각 ξ 는 식 (6)에 의해 구해진다.

$$\xi = \beta - \lambda \quad (6)$$

여기서, λ : 5.87° , \overline{AE} 와 \overline{AR} 이 이루는 각

로타리 칼날 회전중심과 포장면사이의 높이(Ry)는 식 (7)에 의해서 구해진다.

$$Ry = Ay - g \sin(\xi) \quad (7)$$

여기서, Ay : 점 A와 포장면사이의 높이

따라서, 리프트암 각도가 α 일 때의 로타리 작업기에 의한 경심(Wd)은 식 (8)에 의해서 결정된다.

$$Wd = Ry - r \quad (8)$$

여기서, r : 로타리 칼날의 회전반경

나. 차체 피칭각과 경심 사이의 관계

트랙터에 의한 경운 작업 중, 포장면의 불균일과 차륜침하 등에 의해 차체에 피칭현상이 발생되고, 이 피칭에 의해 3점 링크를 통해 차체에 고정되어 있는 작업기는 후륜의 중심을 기준으로 회전운동을 한다. 차체 피칭과 로타리 작업기의 경심변화 사이의 관계는 그림 6에 표시한바와 같이 차체피칭에 대한 로타리 작업기의 회전운동을 해석함으로써 구할 수 있다.

후륜중심(O)과 차체피칭발생전의 로타리 칼날 회전중심(R)사이의 \overline{OR} 이 후륜중심에서의 수평선과 이루는 각(Φ_a)은 리프트암 각도에 의해서 결정되며, 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_a = \sin^{-1} \frac{Ry - Lrw}{Lor} \quad (9)$$

여기서, Ry : 포장면에 대한 로타리칼날 회전중심의 수직위치 (y 좌표)

Table 4 Specification of implement

\overline{AO} horizontal distance	8.0 cm
\overline{AO} vertical distance	45.0 cm
\overline{BC} distance	24.2 cm
\overline{CD} distance	42.7 cm
\overline{AD} distance	33.0 cm
\overline{AE} distance	78.8 cm
\overline{ER} distance	45.4 cm
\overline{AR} distance	117.7 cm
Rear tire radius	62.5 cm
Liftarm angle (α)	$-20^\circ - 60^\circ \pm 2^\circ$

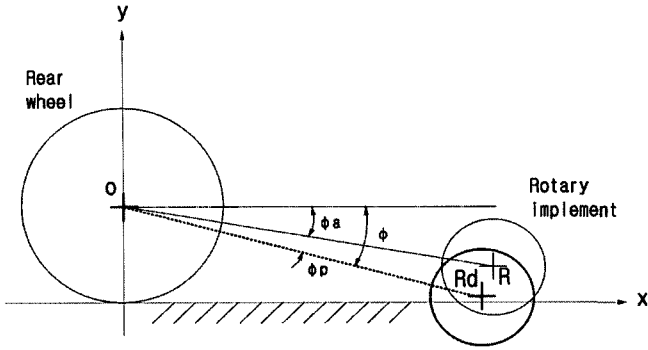


Fig. 6 Relation between pitching angel and depth of rotary implement.

L_{rw} : 후륜의 반경

L_{or} : 후륜중심으로부터 로타리 칼날 회전중심까지의 거리

트랙터의 차체 피칭각(Φ_p)에 의한 포장면에 대한 로타리 칼날 회전중심(R_d)의 y 좌표(R_{yd})와 경심(Wdp)사이의 관계는 식 (10)과 식 (11)에 의해서 구해진다.

$$R_{yd} = L_{rw} + L_{or} \times \sin(\Phi) \quad (10)$$

여기서, $\Phi = \Phi_a + \Phi_p$

$$Wdp = R_{yd} - R_r \quad (11)$$

여기서, R_r : 로타리 칼날의 회전반경

4. 결과 및 고찰

가. 리프트암의 위치와 경심 사이의 관계

본 연구에서 사용된 회전반경이 230 mm인 로타리 작업기에 대한 리프트암의 각도를 -15° 부터 15° 까지 2° 간격으로 변

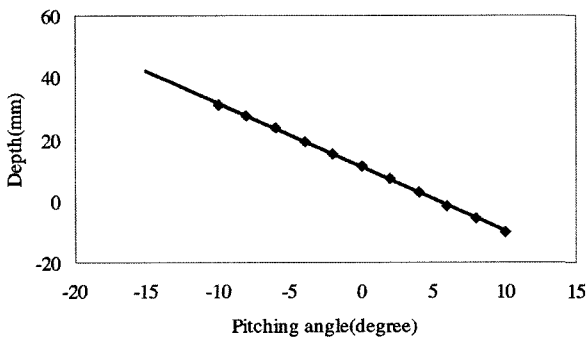


Fig. 8 Relation between pitching angle and depth of rotary implement.

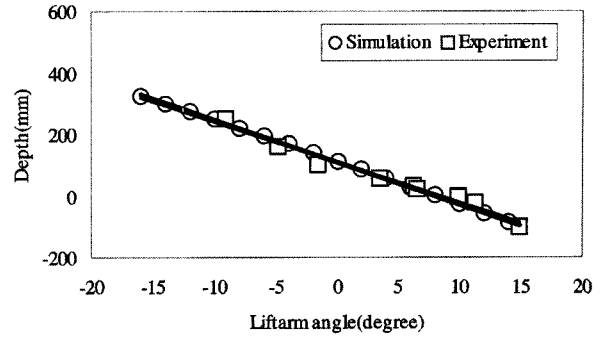


Fig. 7 Relation between liftarm angle and depth of rotary implement.

화시켰을 때의 작업 깊이인 경심변화를 기구학적 고찰에 의한 시뮬레이션 결과와 실제 측정한 결과는 그림 7과 같다. 시뮬레이션한 결과의 추세선 식은 $y = -1.369x + 10.986$ 이고 r^2 는 0.9994이고, 실측 결과의 추세선 식은 $y = -1.2987x + 10.835$ 이고 r^2 는 0.9714로 나타났다. 그리고 로타리 작업기에 의한 경운작업은 일반적으로 약 100 mm 정도의 경심에서 행해지는 일이 많으며(Lee 등, 2002), 이 때의 리프트암의 각도는 0° 근방에 있다는 것을 알 수 있다.

나. 차체 피칭각과 경심 사이의 관계

그림 8은 리프트암의 각 0° 에서 피칭각을 -10° 에서 10° 까지 변화시켰을 때의 로타리 작업기의 경심변화에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 여기에서 시작기의 전륜 및 후륜의 침하차가 약 150 mm일 때, 피칭각은 $\pm 4.7^\circ$ 이다. 그리고 이 피칭각에 대한 경심변화는 약 ± 98 mm라는 것을 알 수 있다.

다. 센서 캘리브레이션

경심 센서의 캘리브레이션은 로타리커버의 균평판의 끝단이 지면에 닿는 시작점을 기준으로 상승시키면서 실시하였다. 그림 9에서는 경심 센서의 캘리브레이션 결과를 보여주고 있

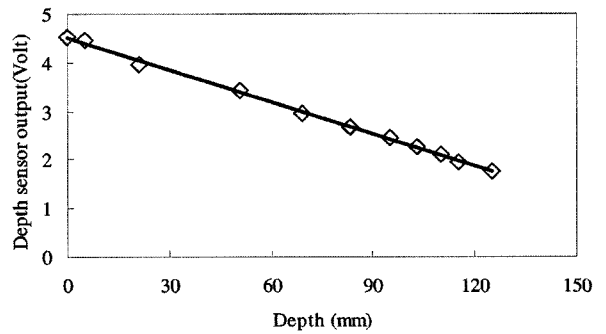


Fig. 9 Calibration of depth sensor.

다. 캘리브레이션 추세선 수식은 $y = -0.0221x + 4.5162$ 이며 r^2 는 0.9986으로 나타났다. 그러므로 작업기의 경심과 센서출력전압 사이에 높은 선형관계가 있음을 알 수 있다.

엔진 속도를 측정하기 위한 마그네틱 픽업의 캘리브레이션은 트랙터 본체에 부하 센서를 장착하여, 엔진속도에 대한 마그네틱 픽업의 캘리브레이션 결과를 그림 10에 보여주고 있다. 캘리브레이션 추세선 수식은 $y = 0.0012x + 0.0013$ 이며 r^2 는 0.9997로 나타났다. 그러므로 엔진속도와 부하센서의 출력전압 사이에 높은 선형관계가 있음을 알 수 있다.

라. 경심제어

로타리작업에서 엔진속도 1,500 rpm과 2,000 rpm은 포장작업에서 실제 사용하지 않으므로 본 연구에서는 2,500 rpm의 경우에 대하여 분석하였다.

그림 11에서는 엔진속도 2,500 rpm, 설정경심을 50 mm 변화하였을 때의 경심제어 실험결과를 보여주고 있다. 실험결과에서 보여주듯이 입력 스텝변화에 의한 설정경심 조절에 대해 리프트암의 상승 및 하강 동작에 의해 경심제어가 원활하

게 작동함을 알 수가 있었고, 설정경심에 대한 제어 반응에서 평균 4 mm의 제어편차를 보였다. 그림 12에서는 엔진속도 2,500 rpm, 설정경심을 100 mm 변화하였을 때의 경심제어 실험결과를 보여주고 있다. 실험결과를 설정경심의 변화에도 경심제어가 원활하게 작동하였고, 제어편차는 평균 5.2 mm를 나타냈다.

그러므로 시스템의 제어 불감대가 ±10 mm이므로, 경심제어에서의 제어편차가 불감대내에 있다는 것을 알 수 있다.

마. 부하제어

그림 13에서는 설정 엔진속도 2,500 rpm, 트랙터 주행속도 1.3 km/h에서의 부하제어 실험결과를 보여주고 있다. 실험결과에서 보여주듯이 설정되어져 있는 2,500 rpm에 맞게 엔진속도와 리프트암이 원활하게 제어되는 것을 알 수가 있고, 설정 부하와 엔진 부하와의 표준편차는 171 rpm으로 나타났다.

그림 14에서는 트랙터 설정 엔진속도 2,500 rpm, 트랙터 주행속도 2.3 km/h에서의 부하제어 실험결과를 보이고 있으며, 원활한 작동상태를 보여주고 있다. 그리고 설정부하와 엔

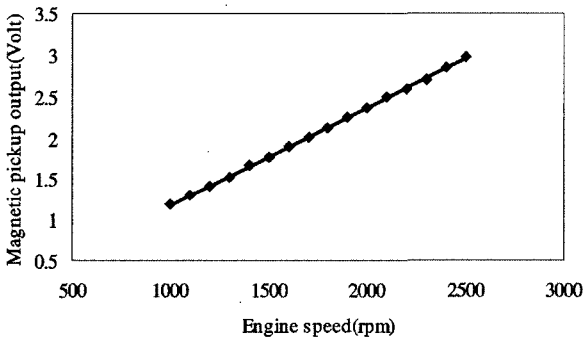


Fig. 10 Calibration of magnetic pickup for working load sensor.

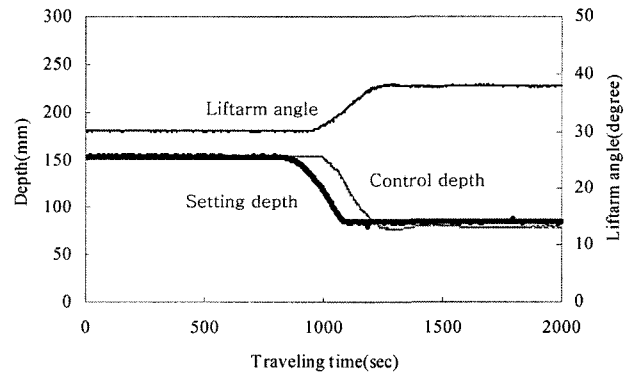


Fig. 11 Result of depth control at setting depth 50 mm and engine speed 2,500 rpm.

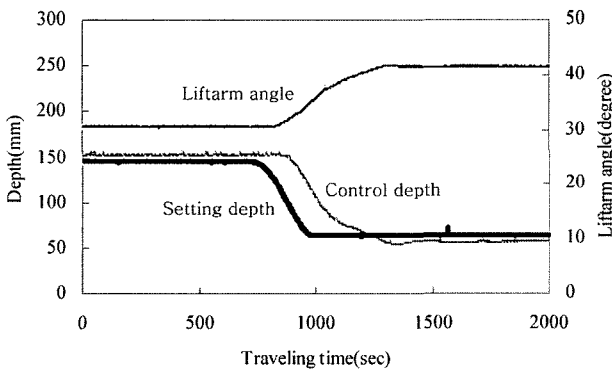


Fig. 12 Result of depth control at setting depth 100 mm and engine speed 2,500 rpm.

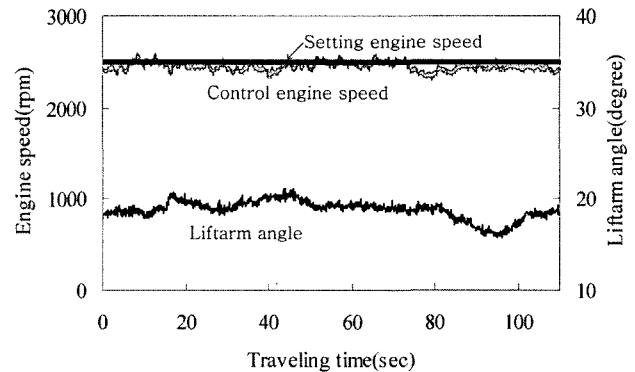


Fig. 13 Result of working load control at traveling speed 1.3 km/h.

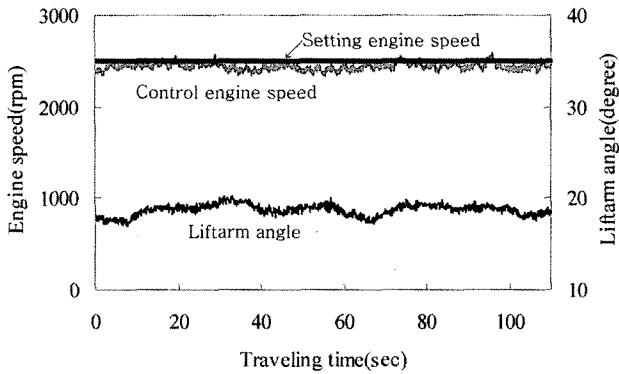


Fig. 14 Result of working load control at traveling speed 2.3 km/h.

진부하와의 표준편차는 164 rpm으로 나타났다.

그러므로 시스템의 제어 불감대가 ± 200 rpm이므로, 부하 제어에서의 제어편차가 불감대내에 있다는 것을 알 수 있다.

6. 요약 및 결론

경심을 일정하게 하는 것은 작물의 균일한 생장을 위해서 뿐만 아니라 후속작업의 능률 및 작업정도의 향상을 위해 필수 불가결한 요인이고, 엔진 부하를 일정하게 하는 것은 작업의 효율뿐만 아니라 트랙터의 엔진 보호를 위한 중요한 요인이다. 본 연구에서는 비례제어 밸브를 적용한 경심 및 부하제어 시스템에 대한 적용 가능성을 검토한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 소프트웨어 제어를 위한 제어 수식과 성능실험을 위한 데이터 분석을 위하여 로타리 작업기의 경심변화를 시뮬레이션 하여 실측치와 비교 분석하였고 동일한 결과를 보였다.
- (2) 설정경심 50 mm에서 제어편차가 평균 4 mm이었고, 설

정경심을 100 mm에서 제어편차가 평균 5.2 mm를 나타냈다. 그러므로 설정 경심변화에 대하여 불감대 ± 10 mm 이내에 작동하였기 때문에, 경심제어가 원활하게 작동함을 알 수 있었다.

- (3) 트랙터 주행속도 1.3 km/h에서는 설정부하와 엔진부하와의 표준편차는 171 rpm이었고, 주행속도 2.3 km/h에서 표준편차가 164 rpm으로 나타났고, 불감대가 ± 200 rpm이므로 설정부하에 맞게 부하제어가 원활하게 작동함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Choi, C. H., K. W. Na. and J. M. Kim. 1993. Automatic Depth Control System for Tractor Implement. J. of KSAM. 18(4): 328-343. (In Korean)
2. Iseki Co., Ltd. homepage: <http://www.iseki.co.jp/>.
3. Jiang, Y., N. Homami. and S. Umeda. 1992. Microcomputer control system for tractor implement. J. of JSAM. 54(3):5-13. (In Japanese)
4. Kubota Co., Ltd. homepage: <http://www.kubota.co.jp/>.
5. Keuper, G. 1999. Electro-hydraulic hitch control. ASAE 1999 annual meeting. ASAE paper No. 991070.
6. Kawamura, N. and T. Hujura. 1979. Automatic control of rotary tilling tractor(2)-automatic control of traveling speed and tilling depth by detecting tilling reaction force. J. of JSAM. 41(3):397-403. (In Japanese)
7. Lee, J. Y., S. S. Lee, C. Y. Jun, J. G. Ha. and J. S. Byun. 2002. Study on implement control system for agricultural tractor. Ministry of Agriculture and Forestry. final report:31. (In Korean)
8. Satou, T., K. Miyamoto. and K. Matsuda. 1985. Utilization of ultrasonic wave sensor in plow depth control. J. Hokkaido Br. of JSAM. 26:37-43. (In Japanese)