

콤바인 차체의 유압 수평제어 장치에 관한 연구

이상식 문정환 박원엽 이충호 이규승 황 현

Hydraulic Level Control System of Combine Body

S. S. Lee J. H. Mun W. Y. Park C. H. Lee K. S. Lee H. Hwang

ABSTRACT

In harvesting rice and barley using combine, the inclination of the body caused by the irregular surface condition of the field and the soil sinking from the unbalanced weight during the grain collection used to make harvesting operation difficult and even impossible. To overcome such a problem, hydraulic system for automatic and manual leveling control of a combine has been developed. The system was composed of the combine body and the hydraulic level control system mounted on it. The maximum height of ground clearance was set up to be 290mm. And the limit angle of the leveling control was set up to be $\pm 7^\circ$. The proposed controller and hydraulic system was implemented to the prototype combine. The prototype combine was designed and built as a separable structure with the body and the track of it. This paper shows results of a specification and design testing with the hydraulic level control system for body of combine.

Keywords : Soil sinking, Leveling, Combine, Ground clearance, Hydraulic level control.

1. 서 론

최근 국내의 벼 수확 시기에 이상 기후 현상인 집중 강우로 인하여, 콤바인을 이용한 수확 작업에 적잖은 어려움이 있다. 특히 집중 강우로 인한 습지의 증가와 토양 침하 현상이 발생하여 콤바인을 이용한 작업이 어려워지고, 또한 작업특성상 편중된 침하 현상이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 이를 보완하기 위한 차체 수평제어 장치에 대한 관심이 고조되고 있으며, 국외에서는 John Deere사 등의 거대한 대형업체를 중심으로 이미 출시되고 있는 실정이고, 국내에서는 기술 제휴를 통하여 개발을 완료하였다.

세계적으로 농업기계에서의 수평제어 장치는 농업 기계 생산업체에서 중요한 연구 분야를 차지하고 있다. 트랙터의 차체 수평제어 장치의 개발은 Deweze사의 모우어가 장착된 트랙터를 중심으로 상품화되었다. 하지만 현재에는 논 혹은 밭작업을 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. Tajiri 등(1988)은 경사지에서 트랙터의 앞차축을 평행사변형 링크식으로 뒷차축은 단축형으로 만든 트랙터를 연구하였다. Fukuda 등(1990)은 단

축형 트랙터의 모형을 통한 자세제어 동작을 연구하였고, 이를 기반으로 임업용 트랙터의 시작기를 제작하였다. 이 등(1999)은 트랙터의 앞차축을 센터핀형으로 뒷차축을 단축형으로 만든 경사지용 트랙터를 개발하였다.

콤바인의 차체 수평제어 장치는 국외의 대형 농업기계인 John Deere사, New Holland사, Kubota사 등의 업체를 중심으로 최근에 양산되고 있는 실정이다. Hicco사에서는 콤바인의 차체를 $\pm 15^\circ$ 까지 수평으로 제어하는 장치를 개발하였다. 그리고 이양기의 차체 수평제어 장치는 정 등(2002)이 고속 이양기의 유압 수평제어 장치에 관한 연구를 하였다.

본 연구에서는 콤바인 작업에서 문제점으로 대두되고 있는 습지 적응성 및 토양 침하로 인한 작업 성능 저하를 해결하기 위하여 차체 수평제어 장치를 개발하였다. 이를 위하여 콤바인 차체 수평제어 장치의 메카니즘 설계, 제어장치 구성 및 유압시스템을 설계, 제작하였다.

본 연구의 목적은 지면의 기울기에 관계없이 항상 차체를 자동으로 수평을 유지할 수 있고, 차체를 임의

의 수동으로 작동시킬 수 있는 콤바인 차체의 수평제어 장치를 개발하는데 있다.

2. 기구 메카니즘

가. 기구 위치 분석

차체를 임의의 승하강, 각도 조절 및 자동으로 차체를 항상 수평으로 유지하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 시스템을 설계, 제작하였다. 기구 메카니즘 작동은 차체의 상승높이 및 제어각도 변화를 유압 실린더에 의해 작동되어지는 형태로 설계하였다. Fig. 1(a)는 메카니즘의 초기 상태이며 좌, 우의 유압실린더가 중립을 유지한 상태를 보여주고 있다. Fig. 1(b)는 콤바인의 차체가 기구적인 동작으로 인하여 상승한 상태이고, 설계된 메카니즘의 기구학적 관계식은 아래와 같다.

$$\cos \eta = \frac{f + (b+c)\sin \gamma}{S + \Delta S} \quad (1)$$

$$\sin \eta = \frac{e - (b+c)\cos \gamma}{S + \Delta S} \quad (2)$$

여기서, $\gamma = 90^\circ + \alpha - \beta$ ($\beta = 101.53^\circ$)

식(1), (2)를 제곱해서 더하면,

$$\begin{aligned} (\sin \eta)^2 + (\cos \eta)^2 &= \frac{[e - (b+c)\cos(\alpha - 11.53^\circ)]^2}{(S + \Delta S)^2} \\ &+ \frac{[f + (b+c)\sin(\alpha - 11.53^\circ)]^2}{(S + \Delta S)^2} \quad (3) \end{aligned}$$

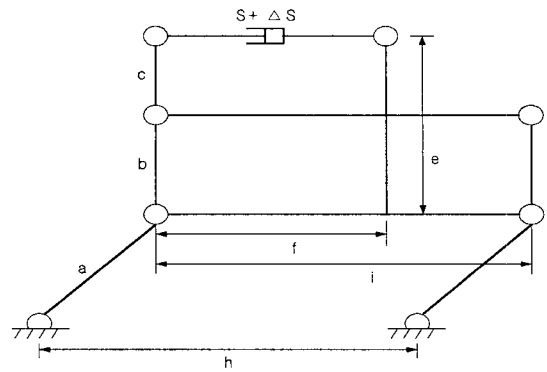
$(\sin \eta)^2 + (\cos \eta)^2 = 1$ 이므로, 식 (3)은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} (S + \Delta S)^2 &= [e - (b+c)\cos(\alpha - 11.53^\circ)]^2 \\ &+ [f + (b+c)\sin(\alpha - 11.53^\circ)]^2 \quad (4) \end{aligned}$$

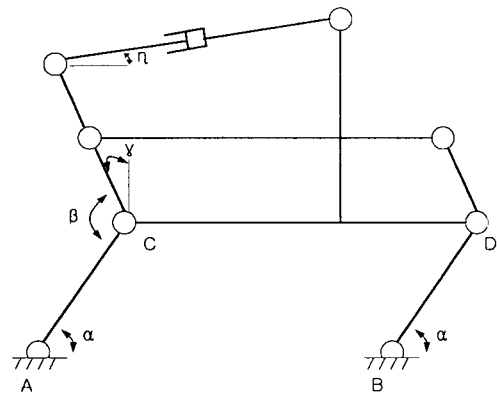
차체의 상승높이 변화 Z 는 식 (5)와 같다.

$$Z = a(\sin \alpha - \sin \alpha_0) \quad (5)$$

여기서, $\alpha_0 = 11.9^\circ$



(a) Initial state



(b) control state(up)

Fig. 1 Schematic view of leveling linkage mechanism for kinematic analysis.

나. 기구 힘 분석

각 기구부의 링크 및 실린더에 작용하는 힘은 기구의 재료 선정 및 유압 시스템 설계를 위한 중요한 기초 데이터이다. Fig. 2에서는 실린더에 작용하는 힘에 대한 관계를 보여주고 있고, 메카니즘의 운동역학적 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ -F_c \cos \eta + F_{1x} + F_{2x} &= 0 \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ -F_c \sin \eta + F_{1y} + F_{2y} - m_1 - m_2 &= 0 \quad (7) \end{aligned}$$

여기서 F_{1x} 는 A지점의 x축 분력이고, F_{2x} 는 B지점의 x축 분력이고, F_{1y} 는 A지점의 y축 분력이고, F_{2y} 는 B지

점의 y축 분력이다.

여기서 ΣM_1 는 A점에서 B점에 대한 모멘트이고, ΣM_2 는 B점에서 A점에 대한 모멘트이고, ΣM_3 는 C점에서 D점에 대한 모멘트이고, ΣM_4 는 D점에서 C점에 대한 모멘트이다.

식 (9) - 식 (11)을 계산하면 식 (13)과 같다.

$$\gamma = 90^\circ + \alpha - \beta = \alpha - 11.53^\circ \quad (8)$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$\begin{aligned} & (F_{1x} + F_{2x})[(b+c)\cos(\alpha - 11.53) + a\sin\alpha] \\ & + (F_{1y} + F_{2y})[(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - a\cos\alpha] \\ & - (m_1 + m_2)(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - m_2i \\ & + F_{2y}h = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$\begin{aligned} & (F_{1x} + F_{2x})[(b+c)\cos(\alpha - 11.53) + a\sin\alpha] \\ & + (F_{1y} + F_{2y})[(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - a\cos\alpha] \\ & + F_{1y}(i-h) + F_{2y}i - (m_1 + m_2)(b+c) \\ & \sin(\alpha - 11.53) - m_2i = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Sigma M_3 = 0$$

$$\begin{aligned} & (F_{1x} + F_{2x})[(b+c)\cos(\alpha - 11.53) + a\sin\alpha] \\ & + (F_{1y} + F_{2y})[(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - a\cos\alpha] \\ & + F_{2y}i - (m_1 + m_2)(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - m_2i \\ & = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\Sigma M_4 = 0$$

$$\begin{aligned} & (F_{1x} + F_{2x})[(b+c)\cos(\alpha - 11.53) + a\sin\alpha] \\ & + (F_{1y} + F_{2y})[(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - a\cos\alpha] \\ & + F_{2y}i - (m_1 + m_2)(b+c)\sin(\alpha - 11.53) - m_2i \\ & = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$F_{2y}(h-i) = 0 \quad (13)$$

위 식에서 $h \neq i$ 이므로 $F_{2y} = 0$ 이다.

식 (10) - 식 (12)을 계산하면 식 (14)와 같다.

$$F_{1y}(i-h) = 0 \quad (14)$$

위 식에서 $h \neq i$ 이므로 $F_{1y} = 0$ 이다.

따라서, 구하고자 하는 힘은 식 (15)로 나타낼 수 있다.

$$F_c = \frac{[(m_1 + m_2)(b+c)\sin(\alpha - 11.53) + m_2i](S + \Delta S)}{[f + (b+c)\sin(\alpha - 11.53)][(b+c)\cos(\alpha - 11.53) + a\sin\alpha]} \quad (15)$$

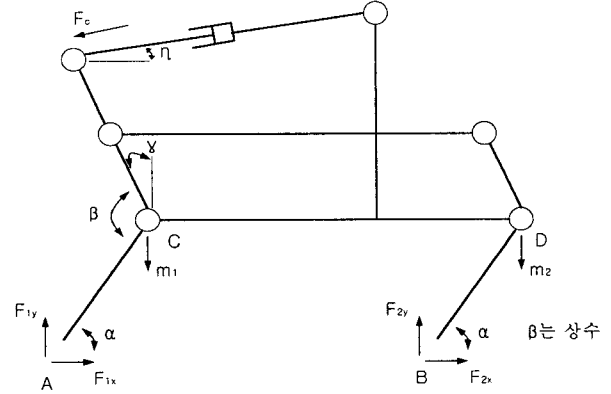


Fig. 2 Schematic view of leveling linkage mechanism for kinetic analysis.

3. 수평 제어장치

가. 제어 시스템

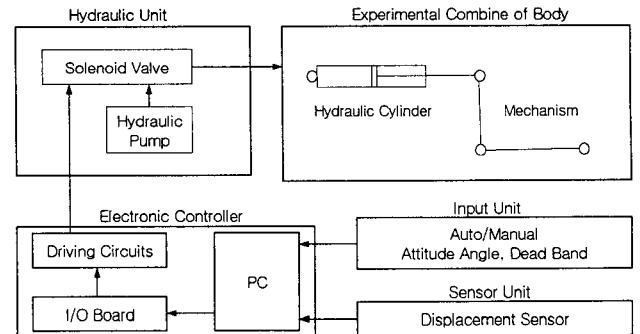


Fig. 3 Diagram of the control system.

차체 수평 제어 시스템은 Fig. 3과 같이 시스템의 상태를 측정하는 검출부, 원하는 제어를 결정하는 입력부, 제어신호를 계산하고 출력을 통제하는 전자제어부, 유압 방향을 제어하는 유압회로부, 유압 실린더 구동에 의한 기구의 상하, 좌우 동작으로 자세를 제어하는 기구부로 구성하였다.

제어 흐름은 기구 동작으로 인하여 경사각과 유압 실린더 변위를 측정하고, 측정된 경사각과 유압 실린더 변위로부터 경사각 변화에 따른 제어량을 계산하였다. 계산한 제어량만큼 방향 제어 솔레노이드 밸브를

제어하여 기구부를 동작시킨다.

나. 유압 회로

유압 장치에 대한 회로도도 Fig. 4와 같으며, 차체를 좌우 제어를 독립적으로 제어하기 위해 2개의 유압 실린더를 사용하였다. 유압회로는 기존에 장착된 것을 사용한 유압펌프, 유압유의 방향 제어를 위한 2종류(Right Sol, Left Sol)의 솔레노이드 밸브, 자중에 의한 누유를 방지하기 위한 체크밸브로 구성하였다.

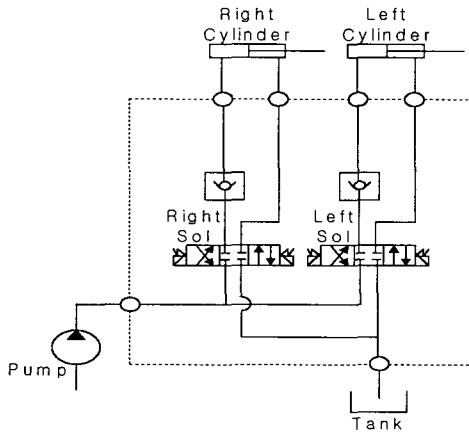


Fig. 4 Circuit of the hydraulic system.

다. 유압 실린더

유압 실린더는 복동식 실린더이며, 내경은 $\phi 50$ mm, 로드 직경은 $\phi 22.4$ mm, 작동 행정은 110 mm 및 초기 상태의 전체 길이는 280 mm로 구성하였다. 그리고 변위 센서를 장착할 수 있는 브라켓트를 일체형으로 구성하였다.

유압 실린더 단면적은 헤드측 단면적은 19.63 cm^2 이

고, 로드측 단면적은 15.69 cm^2 이다. 유압 실린더가 작동할 때 압력은 안전밸브의 기준 압력인 160 kgf/cm^2 보다 적어야 한다. 그리고 유압 실린더가 견딜 수 있는 최대 힘은 헤드측 힘은 3.14 ton, 로드측 힘은 2.51 ton이지만, 압력손실 등을 고려한다면 이것보다는 적을 것이다. 콤바인 차체의 무게는 작업시 곡물을 무게를 고려하면 약 2.9 ton이다. 그러므로 차체를 유압 실린더 두 개로 양분하여 지지하므로 한쪽에 약 1.45 ton이 작용할 것이므로 문제가 없을 것으로 판단된다. 유압 실린더의 이동시간은 실제 차체가 제어되는 시간을 의미한다. 헤드측 실린더로 유입되는 유량이 6 l/min 이면, 이때 헤드측 이동시간은 2.13초이다. 로드측 이동시간도 2.13초를 이론적으로 맞추기 위하여 입력 유량을 4.9 l/min 으로 오리피스를 사용하여 조절하였다.

라. 경사각 센서 및 포텐쇼미터

실험에서 사용한 경사각 센서 및 포텐쇼미터의 제원은 Table 1과 같다. 경사각 선정은 제어 각도가 $\pm 7^\circ$ 이므로, 상용제품 중에서 일본의 TORICA사의 $\pm 10^\circ$ 제품을 사용하였다. 그리고 작동 동력으로 사용하고 있는 유압 실린더의 변위 검출을 위하여 포텐쇼미터를 사용하였으며, 기구 설계에서 90° 이내로 설계하였으므로 90° 제품을 사용하였다. 경사각 센서는 차체에 수평으로 부착되어 있으며, 포텐쇼미터는 유압 실린더에 일체형으로 고정하였다.

마. 콤바인

차체의 수평제어 장치 개발을 위한 시작기는 국내 L사의 LC525D 모델을 사용하였으며, 그 제원은 Table 2와 같다.

Table 1 Specifications of slope sensor and potentiometer

Slope Sensor		Potentiometer	
Maker	TORICA Co.(Japan)	Maker	TORICA Co.(Japan)
Total Range	$\pm 10^\circ$	Electronic Angle	$90 \pm 5^\circ$
Resistor	120 k Ω	Resistor	2 k Ω
Temperature Range (operating)	- 20 to 80 $^\circ\text{C}$	Temperature Range(operating)	- 20 to 70 $^\circ\text{C}$
Response Time	0.3(Time Constant)	Linearity	$\pm 3\%$
Voltage Supply	12V DC	Voltage Supply	12V DC

Table 2 Specifications of Combine

Items		Specifications
Feature	Length	4,075 mm
	Width	1,880 mm
	Height	2,180 mm
Ground Clearance		190 mm
Power Train		HST
Track	Width	450 mm
	Pitch	90 mm
	Contact Length	1,490 mm
Brake		Dry Disk
Weight		2,512 kg
Maximum Attitude Control Angle		±7°

4. 수평제어 장치의 시험 방법

가. 유압 실린더 변위 및 경사각 센서 캘리브레이션

유압 실린더 로드 변위를 측정하는 센서로서 포텐쇼미터를 사용하였고, 유압 실린더 변위를 10 mm 간격으로 작동시켜 그 때의 전압 값을 3회 측정하여 평균값으로 환산하였다. 그리고 경사각 센서는 차체를 임의의 수동제어로 작동시켜 출력 전압을 측정하였다. 왼쪽 차체를 최상단 지점에 위치하고, 오른쪽 차체를 최하단 지점에 위치하여 작동 변화에 따라 경사각 센서의 출력 값을 3회 측정하여 평균값으로 환산하였다.

나. 수평제어 장치의 시험

1) 상승 및 하강 시험

실린더 적정 유량 선정 및 압력을 점검하기 위한 상승 및 하강 시험에서는 차체를 최하단 위치에서 최상단 위치 수동 조작으로 작동시켜, 이때의 유압 실린더의 변위, 압력, 유량을 데이터 레코드에 기록하였다. 최상단 위치에서 최하단으로 수동 조작하는 실험은 최하단에서 최상단으로 하는 실험과 유량 측정 결과에 예비 실험에서 동일하게 나타남으로 실험을 실시할 필요가 없었다. 상승 실험에서의 입력 유량은 기존의 일본에서 생산되고 있는 미쓰비시 콤바인 제품의 상승

제어 유량은 6.0 l/min을 기준으로 5 l/min, 5.5 l/min, 6 l/min, 6.5 l/min으로 조절하면서 실험하였고, 콤바인의 엔진출력은 2500 rpm으로 하였다. 차체의 무게를 약 2.9 ton을 맞추기 위하여 부가하중을 약 400 kg 정도를 추가하였다.

2) ON/OFF 제어 성능 시험

실린더의 응답성을 점검하기 위하여 ON/OFF 제어 성능 시험을 실시하였다. 실험은 차체를 좌우 방향의 움직임이 가능한 중간 지점에 위치하여 좌우 방향으로 7° 까지 제어하였다. 그리고 불감대는 ±0.3°, 동작시간은 2.13초로 설정한 후, ON/OFF 제어를 수행하여 시스템의 성능을 평가하였다.

5. 결과 및 고찰

가. 메카니즘 설계 및 시뮬레이션

콤바인의 수평제어 장치는 이론적 고찰을 기초로 하여 Fig. 5과 같이 설계하였다. 차체를 임의로 수동 작동이 가능하고, 자동으로는 항상 수평을 유지할 수 있는 장치로 설계하였다.

연약지 등의 침하 현상을 고려한 최상단에서의 지상고 설계 기준은 논토양 기준으로 지면에서 경반까지의 깊이로 볼 수 있다. 일반적인 논토양의 경반의 깊이는 평균 250 mm(박, 2001)이므로 이 높이가 이상의 지상고가 확보된다면, 콤바인은 침하현상에 관계없이 작업이 가능할 것으로 판단된다.

수평제어 장치가 작동하지 않은 상태에서의 시작기의 지상고의 높이는 190 mm이고, 지상고를 변화를 주지 않은 상태에서 콤바인이 불가능한 주행 작업 깊이는 약 150 mm 정도이다(임 등, 2001).

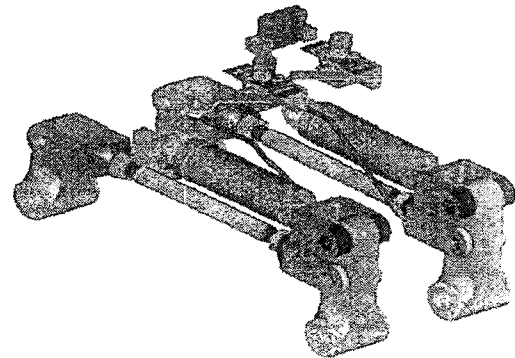


Fig. 5 3D Drawing of mechanism.

그러므로 콤바인 수평제어 기구 메카니즘의 최대 상승 높이는 300 mm까지 상승할 수 있도록 설계하였고, 주행 작업 깊이가 260 mm이므로 대부분의 일반적인 토양에서는 작업이 가능할 것으로 판단된다.

설계된 기구의 치수는 Table 3과 같다. 설계된 기구의 좌, 우 변화는 $\pm 7^\circ$ 까지 움직이는 것을 알 수 있으며, Fig. 6에서 보는 바와 같이 실린더 길이 변화에 대한 차체의 상승높이는 최대 110 mm까지 가능함을 알 수가 있다.

설계된 유압 실린더에 작용하는 힘은 기존에 장착된 안전밸브에 대한 안전성 평가를 할 수 있다. Fig. 7에서는 실린더 길이 변화에 대한 유압 실린더에 작용하는 힘에 대한 관계를 보여주고 있다. 유압 실린더 최대

Table 3 Constant of design

Constant	Value	Constant	Value
a	180 mm	f	344.4 mm
b	67.7 mm	i	560 mm
c	101.4 mm	α_0	11.9°
e	169.1 mm	β	101.53°
m_1	750 kg	m_2	850 kg

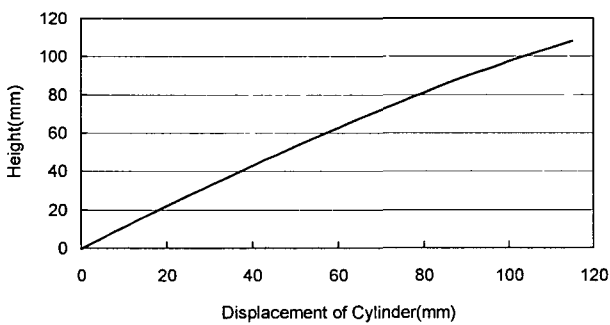


Fig. 6 Height trend of Combine body.

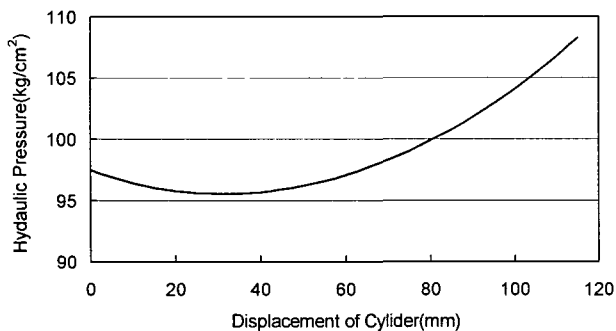
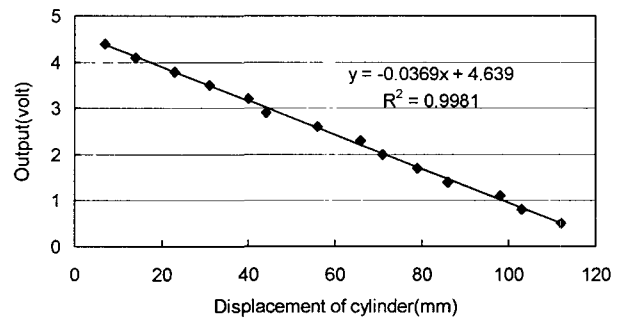


Fig. 7 Hydraulic pressure trend of Combine body.

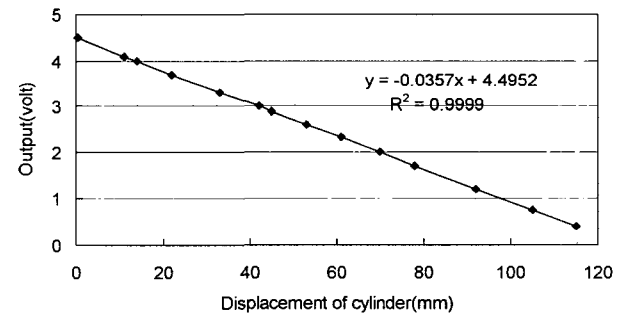
행정인 110 mm에서 압력이 약 107 kg/cm²로 나타났고, 이것은 160 kg/cm²로 설정된 안전밸브의 안전성이 충분하다는 것을 알 수 있다.

나. 유압 실린더 변위 및 경사각 센서의 출력 관계

선정된 유압 실린더 변위 센서의 캘리브레이션 결과는 Fig. 8에 표시하였다. 실린더 변위에 대한 센서 출력은 선형적인 나타났으며, 실린더의 변위 측정을 위한 변위 센서로서 충분히 사용할 수 있음을 알 수 있다.



(a) Left cylinder



(b) Right cylinder

Fig. 8 Relationship between Displacement and output.

경사각 센서의 캘리브레이션은 기준이 되는 각도만큼 기울여서 그 때의 경사각 센서 신호의 출력을 측정하였고 선형적으로 나타났다. 그리고 실험한 결과를 산술 평균한 결과는 Fig. 9와 같으며, 회귀분석을 통하여 구한 각도 변화에 대한 출력 식은 다음과 같다.

$$V = 0.1999A + 2.5946 \quad (R^2=0.9999) \quad (16)$$

여기서, V = 전압 출력, Volt

A = 각도, Degree

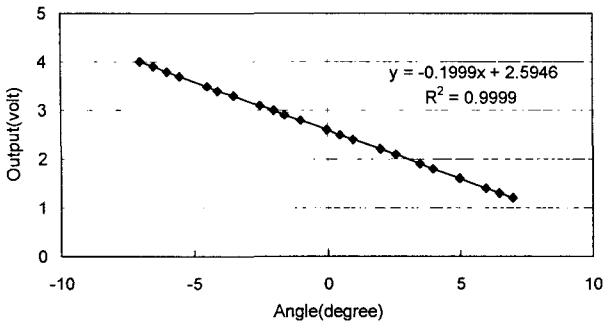


Fig. 9 Relationship between angle and output.

다. 수평제어 장치의 시험

1) 상승 작동 시험

상승 입력 유량을 5 l/min, 5.5 l/min, 6 l/min일 때는 유압 실린더에서 헌팅(Hunting) 현상이 나타나지 않았지만, 6.5 l/min에서는 유압 실린더의 헌팅 현상 발생하였기 때문에 수평제어 유압장치의 상승 입력 유량은 6 l/min으로 결정하였고, 이때의 상승 작동시간은 약 2.13초이다.

Fig. 10에서는 입력 유량 6 l/min일 때의 상승 동작을 보여주고 있다. 상승 동작 실험에서 유압 실린더에 작용하는 힘의 불균형으로 인하여 좌우측의 제어 작동시간이 차이가 남을 알 수가 있다. 상승 작동시간은 좌측 실린더는 약 2.12초이고 우측 실린더는 약 2.34초이므로 좌우측의 작동 시간차이는 0.22초 정도이다. 힘의 불균형 현상은 부가하중의 움직임 및 각 기구와 유압 시스템의 오차로 인하여 발생하는 것으로 판단된다. 그리고 상승 작동에서의 최고 압력은 110 kgf/cm²로 나타났고 이것은 이론적 분석의 최대값 107 kgf/cm²과 거의 유사한 결과를 보였다. 그리고 안전성 평가에서 안전을 30%를 감안하다더라도 143 kgf/cm²이므로, 설정되어 있는 압력 160 kgf/cm² 보다 적으므로 시스템에 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다.

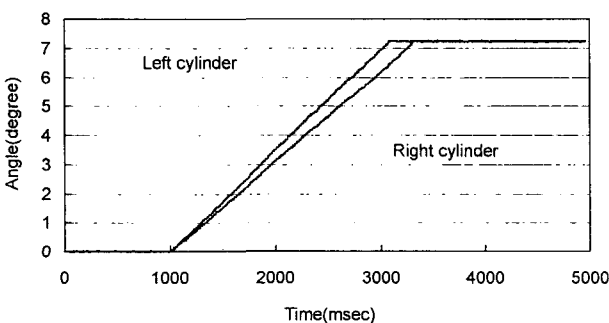


Fig. 10 Operation time of left and right cylinder.

2) ON/OFF 제어 성능 시험

Fig. 11은 불감대를 $\pm 0.3^\circ$ 및 이론 작동시간 2.13초인 헤드측 입력유량을 6 l/min으로 설정하였을 때, 경사각 7°로 차체를 좌우 방향으로 제어되는 과정을 나타내고 있다. 유압 실린더가 작동한 후 약 0.2초부터 경사각 센서의 출력이 변화하기 시작하였으며, 유압 실린더가 작동을 멈춘 후 1.2초까지 경사각 센서의 출력이 나타났다. 유압 실린더가 작동하는 전체 작동시간은 2.19초이며, 이론적 계산 시간 2.13초이므로 0.06초 차이가 나타났고, 이것은 유압, 기구의 오차 및 측정 오차인 것으로 예상된다.

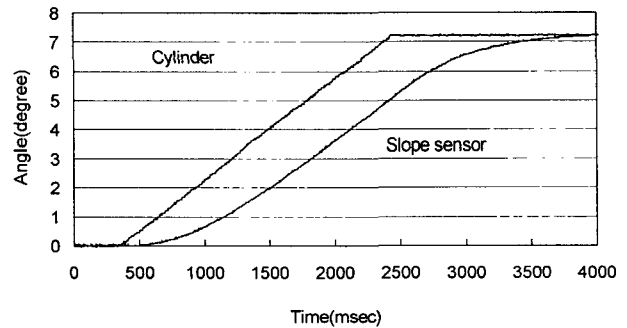


Fig. 11 Response to rolling angle a 7° with a dead band of $\pm 0.3^\circ$ and flow rate of 6 l/min.

6. 요약 및 결론

본 연구는 지면의 기울기에 관계없이 항상 차체를 자동으로 수평을 유지할 수 있고, 차체를 임의의 수동으로 작동시킬 수 있는 콤팩트 차체의 수평제어 장치를 개발하였고, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 콤팩트 본체를 좌우로 제어하기 위하여 복동식 유압 실린더를 설치하여 자동 동작 상태에서는 항상 수평이 유지하는 메카니즘으로 설계하였다.
- (2) 기준 경사각과 차체의 경사각을 비교하여 유압 회로의 ON/OFF 솔레노이드 밸브를 제어함으로써 차체를 수평으로 유지할 수 있었다.
- (3) 설계된 메카니즘의 분석을 통하여 적용 가능성 및 유압 시스템의 압력 안전성을 위한 기초 데이터를 확보하였다.
- (4) 수평제어 장치의 전체 제어 각도는 $\pm 7^\circ$ 이고, 제어 시스템의 불감대 영역은 $\pm 0.3^\circ$ 로 설정하였다.
- (5) 수평제어 장치의 상승 동작실험에서 차체의 무게로 인한 헌팅 현상이 발생하지 않는 것을 고려한 유압 실린더 헤드측 입력 유량은 6 l/min, 로드측 입력

유량은 4.9 l/min이다.

(6) 좌우 수평제어 실험에서 유압 실린더가 작동하는 전체 작동 시간은 2.19초이며, 이론적 계산 시간 2.13초와 0.06초 차이가 나타났고, 이것은 유압, 기구의 오차 및 측정 오차인 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 미쓰비시농기(주), 콤바인 서비스 매뉴얼.
2. 박상래. 2001. 배수불량담 배수촉진, 제주도농업기술원 농업기술정보.
3. 이상식, 오기석, 황 현. 1999. 트랙터의 수평제어를 위한 유압 시스템의 특성 실험, 바이오공학회, 24(5):383-390.
4. 임장빈, 이상식, 오기석, 기정식. 2001. 콤바인 Self Leveling 주행 제어시스템 시험 보고, LG전선.
5. 정연근, 정병학, 김경욱. 2002. 고속 이앙기의 유압 수평 제어 장치 개발에 관한 연구. 27(2):79-88.
6. Akifumi Fukuda, Kouichi Ichihara, Kazusi Asahi, Masahiro Mozuna. 1990. The automatic attitude control of hillside tractor for forestry use, Journal of Japan Forest Society. 72(3):239-246.
7. Deere Co. Ltd. Homepage : www.deere.com.
8. Deweze Co. Ltd Homepage : www.deweze.com.
9. Hillco Inc. Homepage : www.hillcotechnologies.com.
10. Isao Tajiri, Kumio Sato, Osamu Kitani, 1988, Research on attitude control of tractors for slope ground(part 1) - A machine manufactured for trial and its behavior -, Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery. 50(6):35-44.
11. Newholland Co. Ltd. Homepage : www.newholland.com.