

## 비례밸브를 이용한 트랙터 견인력제어시스템 개발

이상식 이제용 문정환

### Development of a Draft Control System for Tractor Using a Proportional Valve

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

#### Abstract

Draft control is key technique in plow control system for automation of implement control system. To make the consistent draft force is an essential factor for preventing the reduction of working efficiency by tractor's slip and also improving the working efficiency. Therefore, the purpose of this study is to develop the draft sensor for draft control of plow and evaluate the usability of the algorithm of draft control system using proportional control valve. The developed draft control system could extract the draft force very well regardless of draft condition, change of setting draft force and response time in the response characteristic test. The maximum draft force at 3-Point linkage was 10,000 N and the deviation of the control system was 125.8 N in steady state condition. The developed control system worked very well with regard to the change of draft force in field and even in soil condition with soil reaction. The results of experiment showed the characteristics of response was sufficient to be used as the implement draft control system for tractor using proportional valve.

**Keywords :** Draft Control, Plow, Draft Sensor, Proportional Valve, Soil Reaction

#### 1. 서론

토양경도 또는 차체 피칭현상 등에 의한 견인력의 변화에도 불구하고, 견인력제어는 항상 작업자에 의해 설정된 견인력을 유지시켜 주는 제어이다. 트랙터가 쟁기 작업을 할 때, 일정한 견인력으로 작업을 해야만 슬립현상으로 인한 효율저하의 감소 및 작업 능률의 극대화가 가능하다. 그러므로 쟁기 작업기의 제어시스템을 위한 자동화 중 견인력제어가 제일 중요한 제어 기술이다. 미국, 유럽 등에서 사용하는 비례밸브용 견인력제어 쟁기 작업기는 1990년대부터 본격적으로 제품화되어 사용되고 있다. 또한 현재에는 작업자가 원하는 견인력을 설정할 수 있는 기능 및 다양한 기능들이 발전되고 있다. 하지만 국내에 보급된 트랙터의 대부분은 수동식 상부링크 스프링 방식의 견인력제어를 사용하고 있으며, 이 시스템은 기계식 견인력 검출방법과 수동유압밸브를 사용함으로써,

정밀도가 비례밸브용 견인력제어에 비하여 매우 낮다. 최근 들어 미국 및 일본에서 수입된 제품 중 대형기종의 일부 제품이 비례밸브용 견인력제어시스템을 장착하고 있다.

Reid(1985) 등은 견인력의 측정을 3점 링크 모든 지점의 견인력을 계산하였고, 센서로 스트레인지지를 사용하였으며, 6개의 스트레인지지와 2개의 더미 게이지를 사용하여 좌, 우측 모두 독립적으로 측정이 가능하도록 하였다. Deere사(1995)에서는 트랙터 하부링크 장착용 변형감지 방식으로 저항변화 감지방식의 센서를 자체적으로 개발하여 특허 등록하였고, 좌·우측 모두 독립적으로 측정이 가능하도록 하였다. Keuper(1999)는 트랙터 하부링크 장착용으로 마그네토일레 스틱(Magnetoelastic) 측정 원리를 이용한 센서를 개발하였고, 좌, 우측 모두 독립적으로 측정이 가능한 형태이다. Bosch사에서는 Keuper가 개발한 트랙터용 견인력센서를 상품화하였다. Squire(1984) 등 및 Thomas(1989) 등은 견인력제어시스

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>

템의 알고리즘과 개발에 관한 연구결과를 발표하였다. 그리고 세계적으로 유명한 회사인 Deere사 및 Bosch사를 비롯하여 Case사, New Holland사, Kubota사 및 Yanma사 등은 비레벨브용 견인력제어시스템을 자체적인 기술로 확보하여 지속적으로 원가절감형의 제품을 출시하고 있지만, 국내에서는 연구된 바가 전무한 실정이다.

현재 국내에서 많이 사용하고 있는 수동식 상부링크 방식은 실제 포장작업에서 견인력제어가 정밀하게 되지 않기 때문에, 작업자가 위치레버를 대부분 이용하고 있다. 그러므로 작업자의 편의성 및 작업 효율성면에서 많은 불편함을 겪고 있다. 하지만 수동식이 아닌 비레벨브용 견인력제어가 장착된 트랙터는 대형 고가의 트랙터에만 적용되어 있으므로, 영세 규모의 국내 농민이 구입한다는 것은 어려운 현실이다. 따라서 본 연구에서는 저가의 중소형 트랙터에도 장착이 가능한 방향으로 개발하기 위하여, 쟁기 작업기를 효과적으로 제어하기 위한 증폭기가 포함된 저가의 스트레인게이지 방식 견인력센서를 개발하고, 실내 및 포장에서의 실험을 통하여 견인력제어시스템의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 견인력센서

견인력센서는 쟁기 작업기에 의한 경운작업에서 토양반력에 의한 작업기의 견인부하를 검출하기 위한 센서이다. 그 구조는 하부링크 2곳에 고정할 수 있는 외팔보형 좌, 우 고정

핀에 스트레인게이지를 부착한 형태이다. 견인부하에 의한 핀의 변형을 좌, 우측에 부착된 스트레인게이지로 검출함으로써 동시에 하나의 방향 및 크기의 견인부하가 검출되도록 설계하였다.

그림 1에서는 견인력센서의 개략도를 보여주고 있다. 센서는 하부링크를 고정하기 위한 외팔보형 좌·우측 고정핀, 각각의 고정핀 표면에 부착된 전·후 4개의 스트레인게이지와 휘스톤 브릿지회로의 4-게이지 법을 이용한 앰프 등으로 구성하였다. 표 1은 센서로 사용된 스트레인게이지의 주요사양을 나타내었다. 스트레인게이지는 자체 온도 보상된 제품(모델 : KFG-5-120-C1-11, Kyowa Co. Ltd., Japan)을 사용하였으며, 온도에 따른 오차를 제거해주는 자기보상 효과가 있다.

### 나. 견인력제어 알고리즘

견인력제어는 그림 2와 같다. 여기서 마이크로컴퓨터는 견인력 설정다이얼에 의한 설정 견인력과 작업기에 걸린 현재의 견인력을 비교한 후 편차를 계산하고, 리프트암 센서로부터의 신호에 의해 현재 리프트암의 위치를 계산하여 제어를 위한 제어량을 결정한다. 컨트롤러는 제어량이 불감대(±500 N)보다 작으면 제어를 수행하지 않는다. 그리고 불감대보다 크면 유압시스템의 작동제어를 위한 편차에 비례한 제어신호를 출력하여 유압 컨트롤밸브가 제어됨으로서, 작업기에 걸린 견인력이 항상 설정 견인력으로 유지되도록 작업기의 상승 및 하강제어를 수행한다. 견인력제어를 위하여 설정된 견인력은 0 -10,000 N까지 제어 가능하도록 하였다.

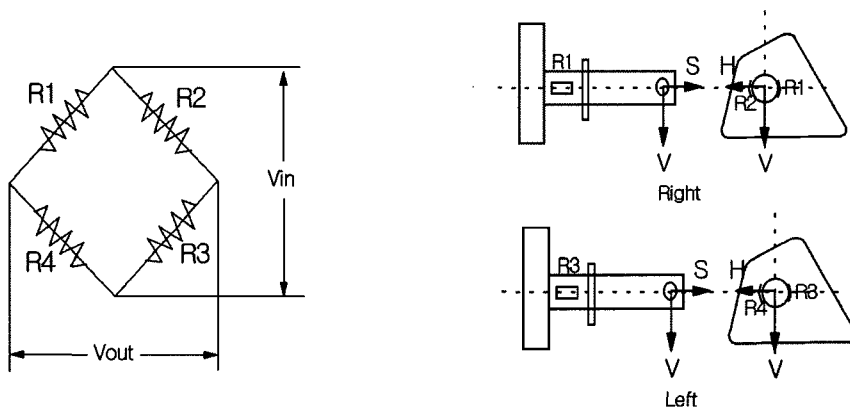


Fig. 1 Schematic design of draft sensor (S : Sideways components V : Vertical components H : Horizontal components).

Table 1 Specifications of the strain gage used in the draft sensor

Model No.	KFG-5-120-C1-11	Gage Factor	2.11±1.0%
Gage Length	5 mm	Adoptable Thermal Expansion	11.7 ppm/°C
Gage resistance	119.8±0.2 Ω	Transverse Sensitivity	0.40%

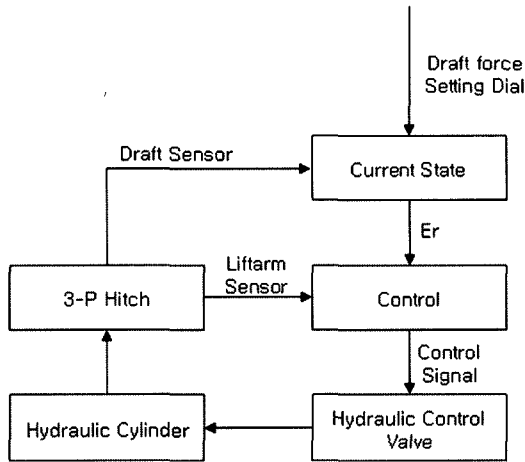


Fig. 2 Control algorithm of the draft control system.

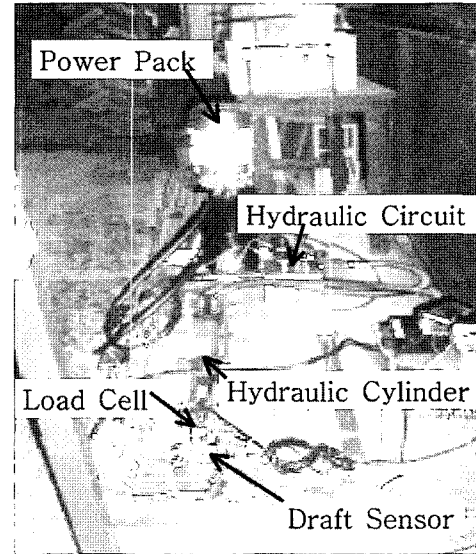


Fig. 3 Indoor characteristic testing stand of the draft sensor.

#### 다. 실험방법 및 장치

##### 1) 방법

성능실험은 견인력제어시스템에 대한 응답특성 및 제어성을 규명하기 위하여 검출특성, 실내 및 포장실험을 수행하였다. 검출특성 실험에서는 견인부하 하중에 따른 센서의 출력의 관계를 규명하고자 제작된 실험 장치에서 견인력센서와 로드셀의 캘리브레이션 및 검출반응에 대한 비교 분석을 수행하였다. 로드셀 캘리브레이션은 한쪽 끝을 힌지에 고정시키고, 다른 한쪽을 유압실린더에 체결한 후 유압의 압력 즉 힘을 21수준(53, 59, 88, 91, 412, 847, 1,640, 2,357, 3,789, 3,816, 4,085, 4,121, 4,171, 4,462, 4,539, 4,571, 4,704, 4,750, 4,807, 5,270, 5,373 N)으로 조절하여 그 때의 로드셀과 견인력센서 출력값을 3회 측정하였다. 검출반응특성실험에서의 견인력 실험은 트랙터 포장작업에서 견인력 4,000 N에서 5,000 N까지 제일 많이 사용하므로, 4수준(4,000, 4,500, 4,700, 5,000 N)과 입력시간을 4수준(0.45, 0.98, 1.29, 1.41 초)으로 조절하여 로드셀과 견인력센서의 출력값을 3회 측정하였다. 견인력제어의 제어특성 및 성능 규명을 위한 실내실험은 주행속도 3수준(2.3, 3.3, 4.2 km/h)과 설정 견인력 2수준(4,000, 6,000 N)의 조건하에서 3회 수행하였다. 포장실험은 경기도 화성시 소재 논토양에서 최대 높이 300 mm 이내의 인위적으로 조성된 불균일 포장면을 설정 견인력 3,000 N에서 트랙터 주행속도 4수준(1.3, 2.3, 3.3, 4.2 km/h)로 주행하면서 3회 실험하였다.

##### 2) 특성실험 장치

그림 3은 설계된 견인력센서의 캘리브레이션 및 실내에서의 검출특성실험을 위한 실험 장치를 보여주고 있다. 실험 장치는 센서에 변형력을 주기 위하여 하부링크 고정 핀에 로드

셀과 유압실린더의 로드를 연결하였으며, 유압실린더 로드의 인장 및 압축은 유압실린더와 연결되어 있는 유압회로 및 유압동력원인 파워 팩에 의해 이루어진다. 하부링크 고정 핀에 가해진 힘은 개발된 센서의 정밀성을 검증하기 위하여 양쪽 하부링크에 각각 (주)카스사의 로드셀(SBA-500L)에 의해 검출되도록 하였으며, 힘의 변화는 유압회로 내의 릴리프 밸브의 압력을 조절함으로써 이루어진다.

##### 3) 실내실험 장치

그림 4는 견인력센서의 사용 가능성 검증을 위한 실내실험 장치를 보여주고 있다. 실내 실험은 쟁기가 부착된 토양조에서 실시하였다. 토양조는 길이 2 m, 폭 0.5 m, 높이 0.42 m의 목재합판 구조로 측정구간은 1.3 m이다. 토양조를 구동시킬 수 있는 3마력 AC모터가 장착된 구조로 쟁기를 부착하여, 토양조를 구동함으로써 경운효과가 발생하므로 경운 시 견인력을 측정할 수 있다. 하부링크에 장착된 견인력센서에서 작업기의 소요 견인력을 측정하고, 토양조의 구동 속도를 로타리 엔코더를 사용하여 측정하였다. 또한 각각의 하부링크에 걸리는 견인력을 측정할 수 있도록 로드셀(SBA-500L)을 장착하여 센서 출력값과 비교할 수 있도록 하였다. 장착한 쟁기는 국내 D사 유압쟁기의 1련을 사용하였으며, 보습의 폭은 300 mm, 대각 높이는 280 mm, 벧의 높이는 360 mm이다. 그리고 유압장치를 이용하여 쟁기를 들어 올릴 수 있도록 설계하였다.

##### 4) 트랙터

표 2는 공시트랙터의 주요사양을 나타내었고 국내 L사 제품(모델명 : L47D)을 사용하였다. 그리고 장착한 쟁기는 국

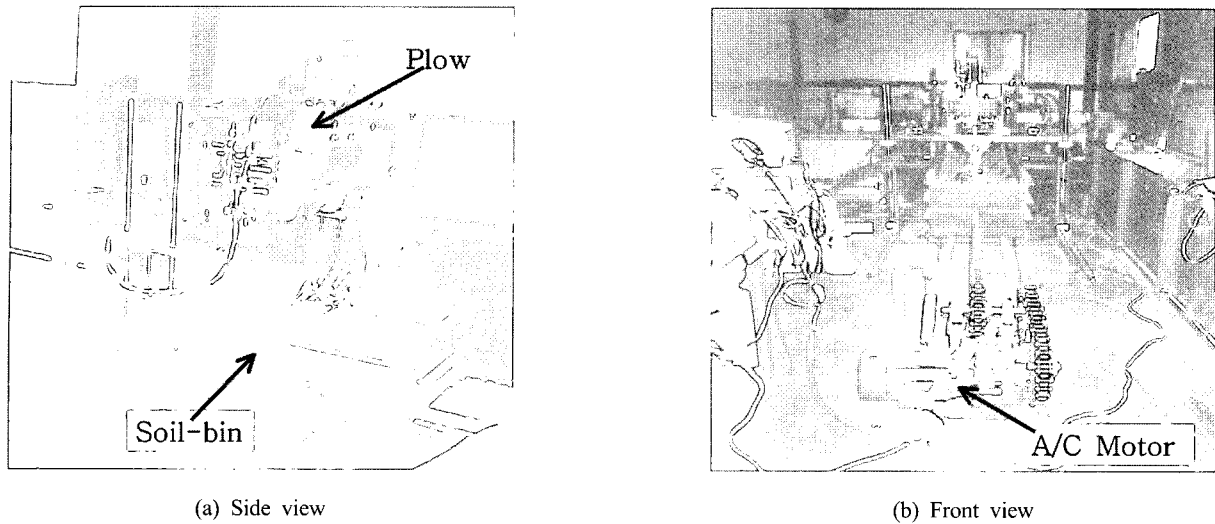


Fig. 4 Indoor tester attached soil-bin.

Table 2 Specifications of the tractor

Chassis	Length	3448 mm	Tire	Front	9.5-18
	Width	1610 mm		Rear	13.6-28
	Height	2265 mm	Weight	17,400 N	
Shaft Distance of tire		1820 mm	Speed	0-30 km/hr	
Trend of tire	Front	1254 mm	Engine	4 cycle, 4 cylinder	
	Rear	1142-1344 mm	Engine Output	47 ps/2,600 rpm	
Height Clearance		365 mm	3-Point linkage	Category type I	

내 D사 3륜 유압장기를 사용하였다. 트랙터의 견인력제어를 위하여, 그림 5에서 보는바와 같이 견인력과 리프트암의 위치를 측정하여 컨트롤패널에 설정된 견인력에 맞게 3점 링크를 제어하게 된다. 그리고 데이터 측정을 위한 트랙터 장착 실험 장치는 각종 연산처리 및 제어를 행하기 위한 제어용 컴퓨터, 센서로부터의 신호를 읽어드리고 컴퓨터로부터의 제어 신호를 출력하기 위한 컴퓨터의 확장슬롯에 장착된 입·출력보드(A/D 및 D/A보드), 출력보드로부터의 제어신호에 의해 솔레

노이드밸브를 작동하기 위한 전자회로 등으로 구성되어 있는 컨트롤러, 유압실린더의 상승 및 하강 동작을 위한 비례제어 밸브 및 밸브블록 등으로 구성된 유압회로, 실험 중 센서로부터 신호를 기록하기 위한 아날로그 데이터레코더 등으로 구성되어 있다. 실험중의 컴퓨터 및 데이터레코더 등에 필요한 전원은 공실택터에 장착된 발전기에 의해 공급됐으며, 실험 종료 후 컴퓨터에 의한 A/D변환 등의 데이터처리가 수행되었다.

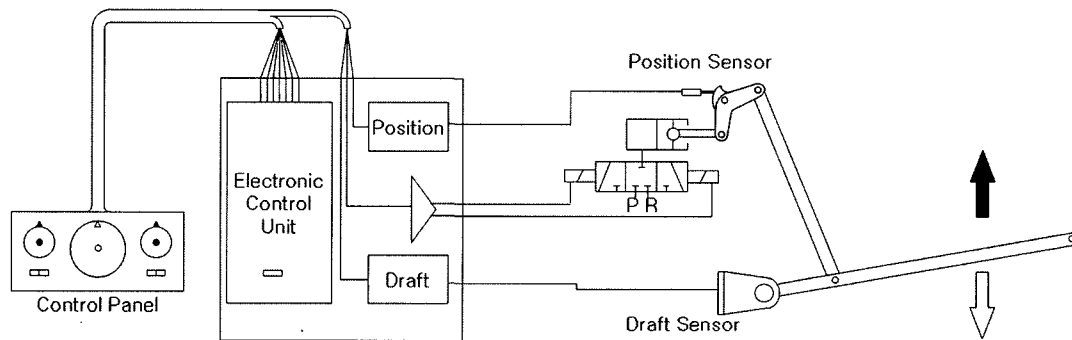


Fig. 5 Schematic diagram of the draft control system.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 검출특성

로드셀의 캘리브레이션을 3회 측정한 결과의 평균결과는  $y(V)=0.0001x(N)+0.0928$ 이며  $r^2$ 는 0.9977로 나타났다. 견인력센서의 캘리브레이션은 로드셀과 마찬가지로 견인력센서를 고정된 면에 장착하고, 고정핀의 끝단을 유압실린더에 체결한 후 힘을 임의로 조절하여 그 때의 값을 측정하였다. 그림 6은 견인력센서의 캘리브레이션을 3회 측정한 결과의 평

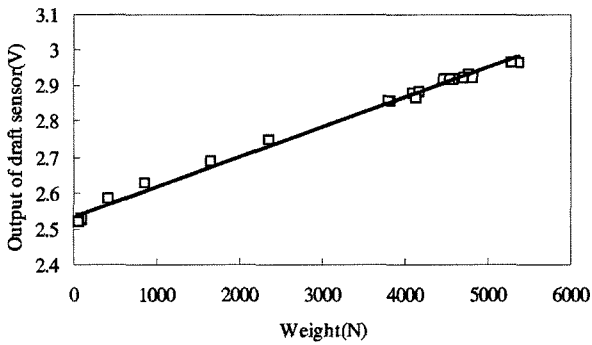


Fig. 6 Calibration of draft sensor for response characteristic test.

균을 보여주고 있다. 견인력센서 캘리브레이션의 추세선은  $y(V)=0.00008x(N)+2.5335$ 이며  $r^2$ 는 0.994로 나타났다. 그러므로 캘리브레이션 결과로부터 견인력 출력전압은 견인력의 변화에 비례하여 선형적으로 증가함을 보여주고 있다.

그림 7은 견인력센서의 검출특성실험에서 대표적인 결과를 보여주고 있다. 견인력의 크기와 입력시간에 관계없이 견인력센서는 로드셀과 비교하여 출력특성이 동일하게 나타남을 알 수가 있다.

#### 나. 실내실험

주행속도 2.3 km/h, 3.3 km/h 및 4.2 km/h에 대하여 실험을 수행하였지만, 쟁기에 의한 경운작업에서 보통 사용하는 트랙터 속도는 약 4km/h 이상이므로, 특성분석은 주행속도 4.2 km/h에 대한 대표적인 결과만 분석하였다.

그림 8은 주행속도 4.2 km/h, 설정 견인력 4,000 N을 기준으로 약 5,000 N 증가 시켰을 때의 실험결과를 보여주고 있다. 설정견인력의 변화에 대해 리프트암이 하강 동작하고 견인력이 목표치에 추종하고 있으며, 정상상태에서의 제어편차는 약 133 N으로 나타났다. 그림 9는 주행속도 4.2 km/h, 설정 견인력 4,000 N을 기준으로 약 2,000 N 감소 시켰을 때의

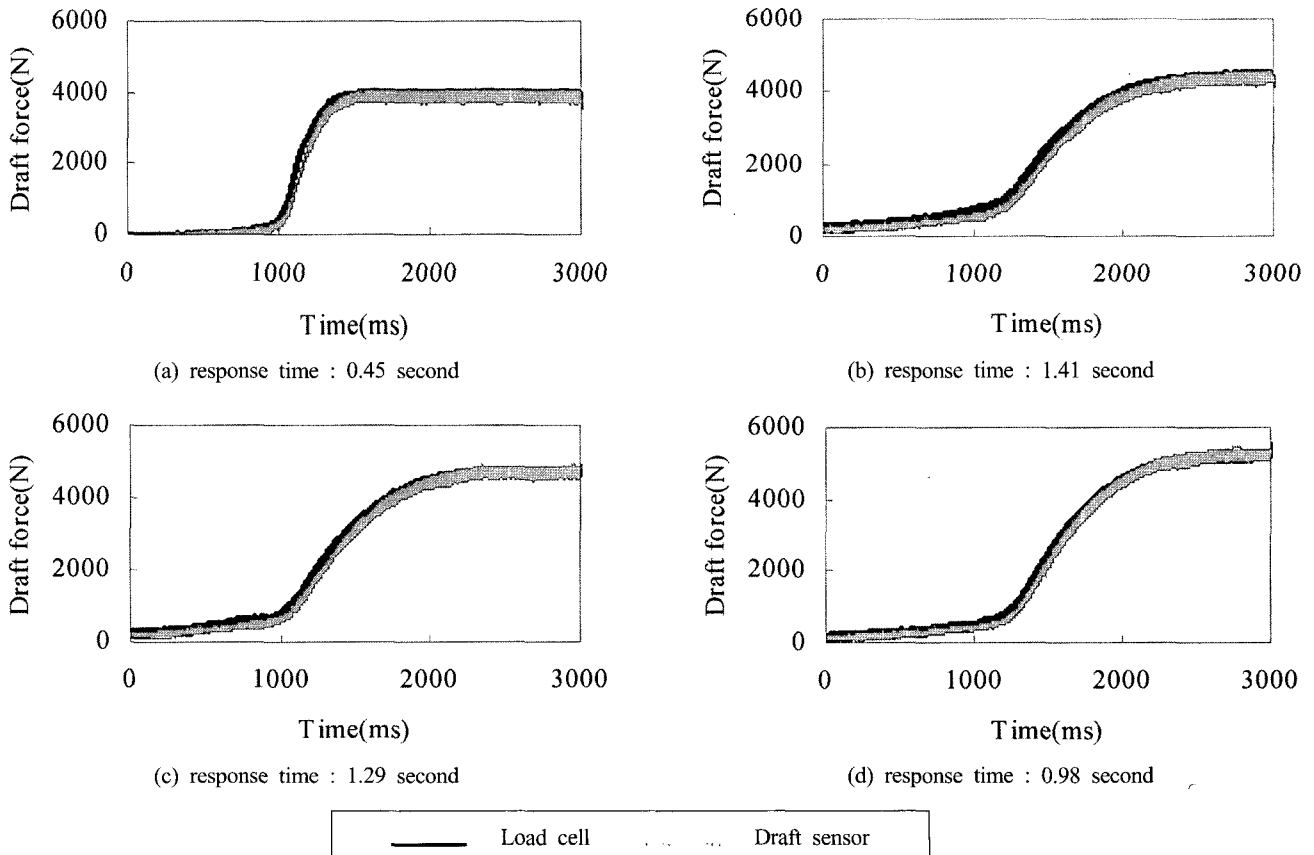


Fig. 7 Results of response characteristic test of draft sensor.

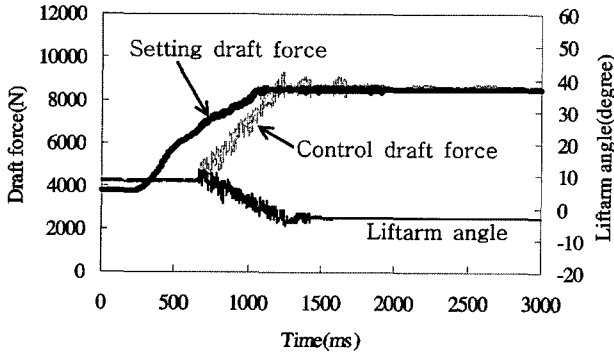


Fig. 8 Result of draft control in condition of rising draft force 5,000 N at setting draft force 4,000 N and traveling speed 4.2 km/h.

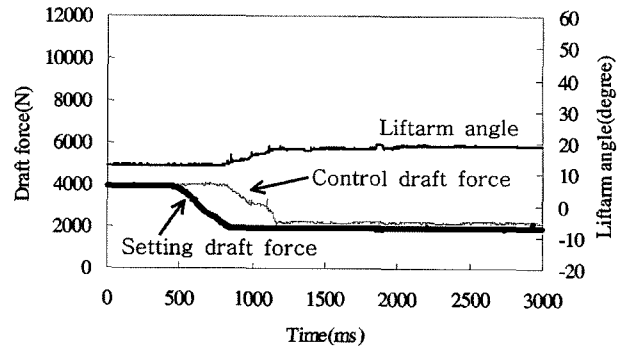


Fig. 9 Result of draft control in condition of descent draft force 2,000 N at setting draft force 4,000 N and traveling speed 4.2 km/h

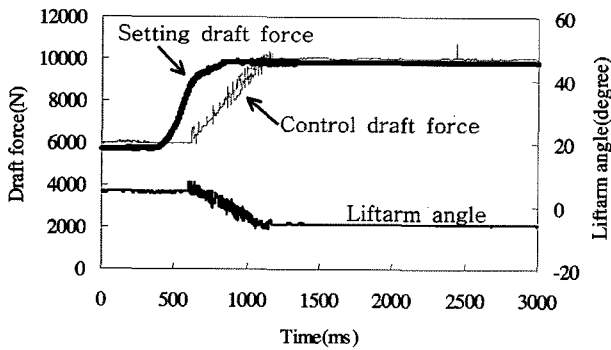


Fig. 10 Result of draft control in condition of rising draft force 4,000 N at setting draft force 6,000 N and traveling speed 4.2 km/h.

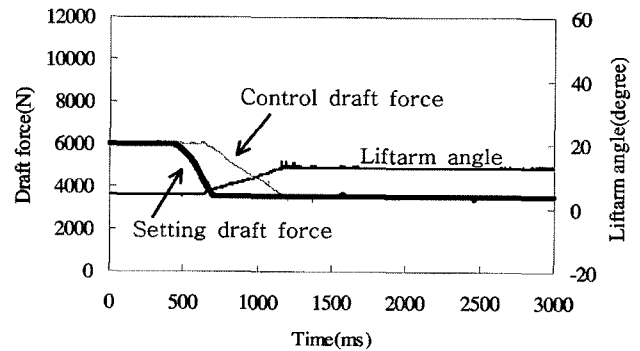


Fig. 11 Result of draft control in condition of descent draft force 2,500 N at setting draft force 6,000 N and traveling speed 4.2 km/h.

실험결과를 보여주고 있다. 설정견인력의 변화에 대해 리프트암이 상승 동작하고 견인력이 목표치에 추종하고 있으며, 정상상태에서의 제어편차는 약 183 N으로 나타났다. 그림 10은 주행속도 4.2 km/h, 설정 견인력 6,000 N을 기준으로 약 4,000 N 증가 시켰을 때의 실험결과를 보여주고 있다. 설정 견인력의 변화에 대해 리프트암이 하강 동작하고 견인력이 목표치에 추종하고 있으며, 정상상태에서의 제어편차는 약 128 N으로 나타났다. 그림 11은 주행속도 4.2 km/h, 설정 견인력 6,000 N을 기준으로 약 2,500 N 감소 시켰을 때의 실험 결과를 보여주고 있다. 설정견인력의 변화에 대해 리프트암이 상승 동작하고, 견인력이 목표치에 추종하고 있음을 보여 주고 있다. 여기에서 정상상태에서의 제어편차는 약 59 N으로 나타났다.

위의 4가지의 모든 실험에서 보듯이 정상상태의 평균 제어 편차가 125.8 N이다. 실제 트랙터가 포장에서 작업을 할 때 트랙터 3점 링크에 걸리는 견인력이 국내 L사의 정보에 의하면 최고 약 10,000 N이다. 그러므로 제어편차는 측정 및 데이터 처리에 대한 오차 등을 고려하고, 최대 견인력 대비 제어 편차가 약 1.258%이고 토양을 작업을 하는 기계라는 특성을 고려한다면 견인력제어시스템에 사용 가능하다고 판단된다.

#### 다. 포장실험

그림 12는 트랙터가 포장을 주행하였을 때, 견인력제어가 되는 결과를 보여주고 있다. 주행속도가 1.3 km/h에서는 평균 견인력 3,050 N, 표준편차 300 N이고, 주행속도 2.3 km/h는 평균 견인력 3,090 N, 표준편차는 160 N이고, 주행속도 3.3 km/h는 평균 견인력 3,060 N, 표준편차는 240 N이고, 주행속도 4.2 km/h는 평균 견인력 3,170 N, 표준편차는 250 N으로 나타났다. 이와 같이 불규칙한 포장상태에서 작동 견인력이 설정된 3,000 N 견인력을 중심으로 하여 토양반력에 따

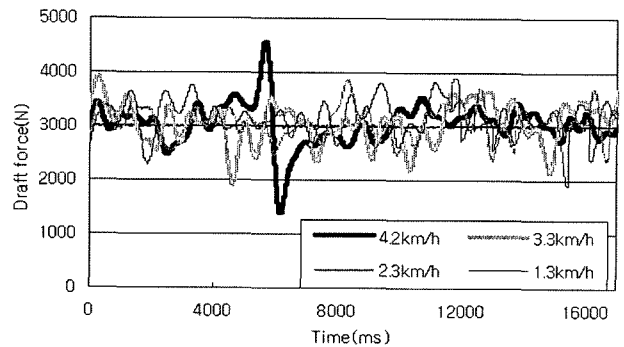


Fig. 12 Result of draft control at setting draft force 3,000 N.

라 원활하게 제어되는 것을 알 수가 있었다. 그리고 표준편차는 토양상태에 따라 다르게 나타나지만, 본 실험에서의 표준편차의 평균은 237.5 N으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 비례제어 밸브를 이용한 쟁기 작업기의 견인력제어를 위하여 센서를 개발하였고, 실험을 통하여 견인력제어시스템의 적용 가능성을 검토한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 견인력 측정을 위하여 하부링크 장착방식의 견인력센서를 개발하였고, 작동되는 견인력에 대하여 견인력센서는 견인 작동 입력시간 0.45초에서도 견인력을 검출하였다.
- (2) 실제 트랙터가 포장에서 작업을 할 때 3점 링크에 걸리는 견인력이 최고 약 10,000 N이고, 설정 견인력 변화에 대하여 정상상태의 평균 제어편차가 125.8 N으로 나타났다. 그러므로 불감대  $\pm 500$  N 이내에서 작동하였고, 설정 견인력 변화에 견인력제어가 원활하게 작동함을 알 수가 있었다.

- (3) 불규칙한 포장상태에서 작동 견인력이 설정 견인력을 중심으로 하여 토양반력에 따라 상하로 제어되었고, 원하는 설정 견인력에 맞게 견인력제어가 원활하게 작동되었다.

#### 참고 문헌

1. Deere & company Co., Ltd. 1995. Draft sensor. Patent No. 10-1995-0005888. (In Korean)
2. Keuper, G. 1999. Electro-hydraulic hitch control. ASAE 1999 annual meeting. ASAE paper No. 991070.
3. Reid, J. T., L. M. Carter. and R. I. Clark. 1985. Draft Measurements with a Three-Point Hitch Dynamometer. J. of ASAE. 28:89-93.
4. Squire, R. E. 1984. Electronic draft control system. J of ASAE. 8:67-75.
5. Thomas, E., Boe and Mark, A. Bergene. 1989. Tractor three-point hitch control system. SAE paper No. 891835.