

트랙터용 경제운전 안내장치 개발

박석호 김영중 임동혁 김충길 정상철 김혁주 장 양 김성수

Development of Eco Driving System for Agricultural Tractor

S. H. Park Y. J. Kim D. H. Im C. K. Kim S. C. Jung H. J. Kim Y. Jang S. S. Kim

Abstract

In this study, we tried to predict tractor power output, fuel consumption rate and work performance indirectly in order to develop an eco driving system. Firstly, we developed equations which could predict tractor power output and fuel consumption rate using characteristic curves of tractor power output. Secondly, with actual engine rpm determined by initial engine rpm and work load, tractor power output and fuel consumption rate were forecasted. Thirdly, with speed signals of GPS sensor system, it was possible to foresee tractor work performance and fuel consumption rate. Lastly, precision of the eco driving system was evaluated through tractor PTO test, and effects of the eco driving system were investigated in the plowing and rotary tilling operations.

Engine rpm, power output, fuel consumption rate, work performance and fuel consumption rate per plot area were displayed in the eco driving system. Predicted tractor power outputs in the full load curve were well coincided with the actual power output of prototype, but small differences, 1 to 6 kW, were found in the part load curve. Error of the fuel consumption rate was 0.5 L/h, 4.5%, the greatest, and 1 to 3 L/h at the part load curve. It was shown that 69% and 53% of fuel consumption rates could be reduced in plowing and rotary tilling operations, respectively, when the eco driving system was installed in tractor.

Keywords : Tractor power output, Eco driving system, Fuel consumption rate

1. 서론

농용트랙터는 여러 가지 농작업의 동력원으로 이용할 수 있도록 설계되었기 때문에 수확 단의 기어단수를 채택하고 있다. 트랙터는 농작업 종류에 따라 여유마력의 차이가 크고 부하가 걸린 상태에서 기어변속이 어렵기 때문에 잘못된 기어사용으로 많은 연료가 낭비되고 있다. 일본의 경우 비료살포 작업의 45.8%, 퇴비 살포 작업의 52.2%, 방제 작업(불 방제기)의 40.9%가 트랙터를 과출력 상태로 조작되고 있어 연료가 낭비된다고 발표하였다(Fujii, 2008). 우리나라의 경우도 쟁기작업의 24%, 로타리 작업의 41%가 1~2단의 저속기어를 이용하여 과출력 상태로 농작업이 수행되는 것으로 조

사되었다(Park et al., 2010b).

고유가가 지속되면서 트랙터 이용효율을 높이는 것이 중요한 문제가 되고 있다. Green 등(1983)과 Grogan 등(1984)은 농작업 부하에 알맞은 기어단수와 엔진회전속도를 운전자에게 제공하는 트랙터 성능 모니터링시스템을 개발하고 연료소모량을 17.5% 절감할 수 있었다고 보고하였다. 최근에는 미국과 캐나다에서 트랙터 농작업 시 기어단수 및 엔진회전속도와 연료소모량과의 관계를 구명하여 기어단수를 올리고 tm로틀(throttle) 레버를 낮추어(Gear Up & Throttle Down) 트랙터를 운전하면 트랙터 연료소모량을 30% 가량 줄일 수 있다고 보고하였다(Grisso and Pitman, 2001; Grisso et al., 2006). 일본에서는 트랙터 배기가스온도를 이용하여 트랙터

The article was submitted for publication on 2010-01-26, reviewed on 2010-03-18, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-03-29. The authors are Seok Ho Park, Young Jung Kim, Dong Hyeok Im, Chung Kill Kim, Hyeok Ju Kim, Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, Sang Cheol Jung, Intern Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, Yang Jang, and Sung Su Kim, Daedong Industrial Co., Ltd. Corresponding author: S. H. Park, Senior Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea; Tel: +82-31-290-1827; Fax: +82-31-290-1840; E-mail: <shpark@rda.go.kr>.

출력을 간접적으로 예측하고 농작업 부하에 적합한 기어단수와 엔진회전속도를 운전자에게 지시하는 시스템을 개발하였다(Fujii, 2008).

트랙터의 경제운전 안내장치 개발을 위해서는 트랙터 출력을 예측하는 기술이 필요하다. 트랙터 출력은 주로 배기가스 온도와 스로틀(throttle) 열림량을 이용하여 예측하는 두 가지 방법으로 연구되었다. 배기가스 온도를 이용하는 방법은 흡기온도변화에 따라 배기가스 온도가 변하여 오차가 발생하였다고(Pang et al., 1985)된 반면, 배기가스온도와 트랙터 출력과의 상관관계가 0.999 이상 높게 나타났다고 보고된 결과도 있다(Fujii, 2008). 그러나 Ryu와 Kang(1991)은 배기가스온도와 스로틀 밸브의 열림각 등 여러 가지 방법 중에 스로틀 열림각을 이용하는 방법이 부하변동에 따른 트랙터 출력을 정확하게 예측할 수 있었다고 보고하였다. Chancellor와 Smith(1987)도 스로틀 열림각을 이용하여 트랙터 출력을 예측한 결과 오차가 $\pm 3\sim 8\%$ 로 나타났으며, 배기가스 온도는 온도반응속도가 떨어져 성능을 예측하는데 한계가 있다고 보고하였다.

본 연구는 트랙터 경제운전 안내장치를 개발하기 위하여 수행하였다. 먼저, 트랙터 특성곡선을 이용하여 트랙터 출력 및 연료소모량 예측식을 개발하였다. 둘째, 스로틀 밸브에 의해 결정되는 초기 엔진회전속도와 농작업 부하에 의해 결정되는 실제 엔진회전속도를 이용하여 트랙터 출력 및 연료소모량을 예측하였다. 셋째, GPS 센서의 속도신호를 이용하여 작업성능 및 단위면적당 트랙터 연료소모량을 예측하였다. 넷째, PTO 성능시험을 통해 트랙터 경제운전 안내장치의 정밀도를 검증하고, 마지막으로 쟁기 및 로타리 경운 작업을 통하여 경제운전 안내장치가 지시하는 조건으로 운전할 때와 그렇지 않을 때의 연료소모량을 비교하여 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. PTO 성능시험

본 연구는 정격 엔진회전속도 2600 rpm에서 엔진 출력이 37.3 kW, PTO 출력이 29.4 kW인 새 트랙터(LX470C, Daedong, Korea)를 이용하였다. PTO 성능시험은 국립농업과학원 농업공학부 PTO 성능시험장치(AG400, Froud Autotech, England)를 이용하였다(Fig. 1). PTO 성능시험은 OECD 시험기준(OECD, 2009)에서 제시하는 전부하시험, 부분부하시험을 수행하였다. 전부하시험은 전 부하상태에서 엔진회전속도를 100 rpm 단위로 변동시켜 가면서 트랙터 PTO 출력 및 연료소모량 등을 측정하였다. 부분부하시험은 무부하 2600 rpm에서 트랙터 PTO 축에 부하를 점점 가하면서 엔진회전속도가 800 rpm까지 떨어질 때까지의 트랙터 PTO 출력 및 연료소비량 등을 측정하였으며, 같은 방법으로 2400, 2200, 2000,

1800, 1600, 1400 rpm에서도 부분부하시험을 실시하였다.



Fig. 1 Tractor PTO power test.



Fig. 2 Potentiometer for measuring throttle opening angle.

나. 스로틀(Throttle) 밸브 열림각 및 엔진회전속도 측정

스로틀(throttle) 밸브는 엔진에 공급되는 연료량을 제어하여 엔진의 회전속도를 증감시키는 역할을 한다. 트랙터 엔진회전속도는 스로틀 밸브에 의해 초기 엔진회전속도가 결정되며, 부하가 걸리게 되면 엔진회전속도가 감소되어 트랙터 계기판에 표시된다. 본 연구에서는 스로틀 밸브에 의해 결정되는 엔진회전속도를 스로틀 엔진회전속도(R2 in Fig. 4), 계기판에 표시되는 엔진회전속도를 실제 엔진회전속도(R in Fig. 4)로 정의하였다.

스로틀 밸브 열림각은 그림 2와 같이 트랙터의 스로틀 밸브 회전축에 전위차계(T4682-32231, Daedong, Korea)를 부착하여 측정하였다. 전위차계는 0~5 V 값으로 출력되며, 전기적 유효각도는 $110^\circ \pm 3^\circ$, 기계적 작동각도는 $120^\circ \pm 5^\circ$ 이다. 그림 3은 스로틀 밸브의 출력 값에 따른 엔진회전속도를 나타낸 결과이다. 스로틀 열림각의 작동범위는 17.4° 에서 1403 rpm, 63.3° 에서 2762 rpm으로 나타났으며, 결정계수가 0.9985로 스로틀 밸브 열림각에 따른 엔진회전속도가 매우

정확하게 나타냈다.

트랙터 엔진회전속도는 트랙터 자체의 회전속도계(tachometer) 신호를 받아 이용하였다. 회전속도계는 트랙터 기어케이스에 조립된 픽업센서에 의해 작동되며, 출력은 0~12V 값으로 출력되며, 한계레벨은 3.5~6.8V, 2000 rpm에서 567 Hz의 특성을 갖는다. 이 신호를 엔진회전속도로 변환한 결과 실제 엔진회전속도와 30 rpm의 오차를 보였다.

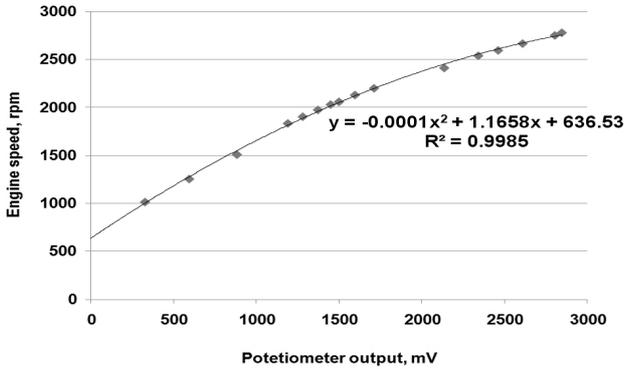


Fig. 3 Engine revolution by throttle opening angle.

다. 트랙터 PTO 출력 예측 알고리즘

트랙터 출력은 스로틀 밸브의 열림량과 트랙터 엔진회전속도에 의해 결정된다. 만약 트랙터에 부하가 걸리지 않은 상태로 스로틀 밸브가 열리게 되면 엔진회전속도가 증가하여 그림 4의 X축 상에 위치하게 된다. 무부하 상태에서 엔진회전속도가 R2 지점에 도달했을 때 부하가 걸리면 트랙터 출력은 먼저 부분부하곡선을 따라 P2 지점까지 증가하다가 전부하곡선을 따라 서서히 감소할 것이다. 이때 엔진회전속도는 부하증가에 비례하여 감소하기 때문에 트랙터 PTO 출력 값은 부분부하 곡선상의 값(P) 또는 전부하 곡선상의 값(P1)이 될 것이다.

전부하 또는 부분부하 곡선에서 트랙터 출력 값 선택은 실제 엔진회전속도 R이 부분부하 최대출력 엔진회전속도 R1 보다 클 경우는 부분부하 곡선상의 출력 P를 이용하고, 반대

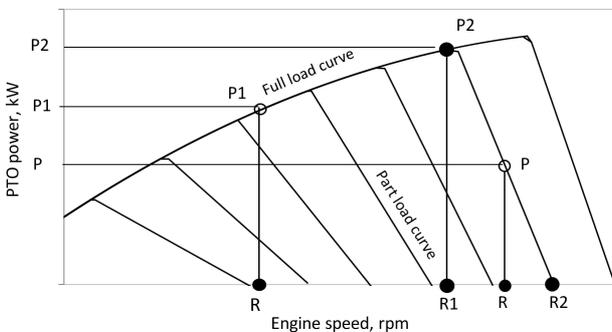


Fig. 4 Relationship between engine speed and tractor PTO power.

일 경우는 전부하와 곡선상의 출력 P1을 이용하도록 알고리즘을 설계하였다.

트랙터 출력곡선을 이용한 전부하(P1) 예측식은 식 (1)과 같다. 전부하 예측식은 그림 5와 같이 엔진 회전수비에 대한 PTO 출력비로서 구하였으며, 결정계수 R²가 0.9968로 높은 상관관계를 보였다. 부분부하(P) 예측식은 “P/P2 = (R2-R) / (R2-R1)”의 비례식의 원리를 이용하여 관계를 식 (2)와 같이 유도하였다.

$$P1 = -1.5462X^2 + 3.0814X - 0.5141 \times P_{PTO} \quad (1)$$

where, P₁ : PTO power at full load curve (kW)

X : Ratio of actual engine speed to maximum engine speed (decimal)

P_{PTO} : Rated PTO power (kW)

$$P = \frac{[(Y-X)]}{[(-0.1884 Y + 0.2887) \times (-2.1239 Y^2 + 4.6306 Y - 1.4987)]} \times P_{PTO} \quad (2)$$

where, P : PTO power at part load curve (kW)

X : Ratio of actual engine speed to maximum engine speed (decimal)

Y : Ratio of throttle engine speed to maximum engine speed (decimal)

P_{PTO} : Rated PTO power (kW)

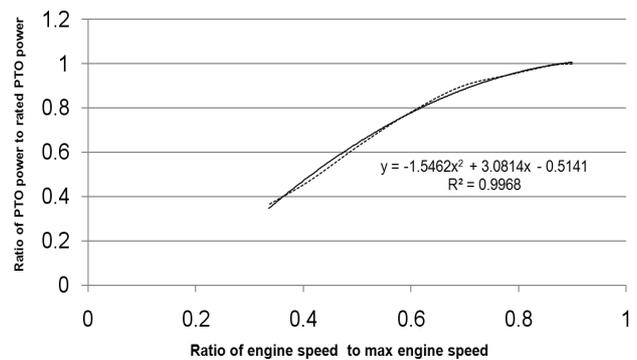


Fig. 5 Predicted PTO power at full load curve.

라. 트랙터 연료소모량 및 작업성능 예측

트랙터 연료소모량 예측은 식 (3)을 이용하였다. 식 (3)은 Grisso 등(2006)이 제시한 연료 소모량 예측 모델식으로 본 연구에서 실제 측정된 데이터를 대입하여 예측식을 검증해 보았으나 결과 값이 큰 차이를 보였다. 따라서 본 연구에서는

공시트랙터에 알맞은 예측식을 만들기 위해 계수 값을 다시 계산하였으며, 계수 값이 $a = 0.156$, $b = 0.087$, $c = -0.0054$, $d = -0.0006$ 일 때 결정계수가 0.9809로 매우 높은 상관관계 를 나타냈다.

$$Q = (aX + b)(1 - (cX_{Red} + dRed)) \times P_{PTO} \quad (3)$$

where, Q : Fuel consumption at partial load and full load (L/h)

X : Ratio of PTO power to rated PTO power (decimal)

Red : Percentage of reduced engine speed for a partial load (%)

P_{PTO} : Rated PTO power (kW)

트랙터 운전자에게 자세한 정보를 제공하고자 단위면적당 연료소모량을 예측하고자 하였다. 단위면적당 연료소모량 예측을 위해서 트랙터 작업성능을 실시간으로 계측하였다. 작업속도는 GPS 센서(GPS641, ASCENKorea Inc., Korea)로 측정하였으며, 작업폭은 터치스크린 입력방식으로 입력하였고, 트랙터 작업성능은 식 (4)를 이용하여 계산하도록 프로그램 하였으며, 작업기 선회 시 소요시간은 GPS 센서 오차로 인해 정확한 측정이 어려울 것으로 판단되어 식 (4)와 같이 선회계수를 적용하였다.

$$C = \frac{1}{(V \times W)} \times 10,000 \times 1.2 \quad (4)$$

where, C : Working performance (h/ha)

V : Working speed (km/h)

W : Working width (km)

Turning coefficient : 1.2

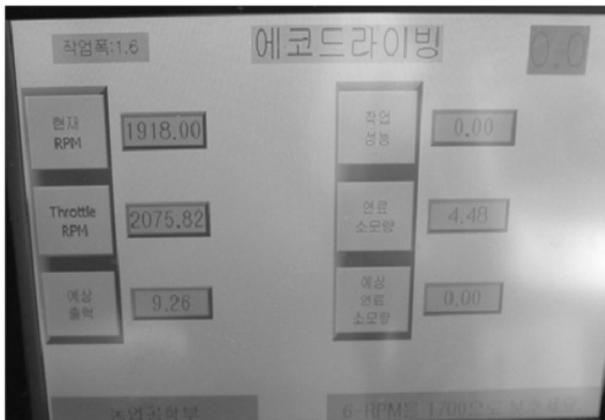
Unit conversion coefficient for area : 10,000

마. 트랙터 경제운전 안내장치 설계 및 제작

트랙터 에코드라이빙시스템은 그림 6과 같이 화면크기가 17.78 cm(7인치)인 소형컴퓨터(HA0901042, Hanssystem Inc., Korea)를 이용하였다. 이 장치는 스로틀 엔진회전속도, 실제 엔진회전속도, 트랙터 출력, 연료소모량, 작업속도, 작업성능, 단위면적당 연료소모량이 실시간으로 출력되도록 제작하였으며, 농작업 부하에 따라 최적의 경제운전을 할 수 있도록 기어단수와 엔진회전속도를 음성과 화면으로 지시할 수 있도록 프로그램을 설계하였다.

경제운전 안내시스템의 성능검증은 트랙터 성능시험 장비(AG400, Froud Autotech, England)를 이용하여 이 시스템에서 출력되는 데이터 값과 성능시험 장비로 측정된 데이터를 비교하여 검증하였다.

경제운전 안내시스템의 성능시험은 표 1과 같이 토양함수율이 38.4%인 미사질식토(수원)에서 실시하였다. 대상작업은 쟁기작업, 마른 로타리작업을 실시하였으며, 작업속도별로 트랙터 PTO 출력, 연료소모량, 작업성능 등을 조사하였다.



(a) Prototype's screen



(b) Data measuring equipment

Fig. 6 Prototype of tractor eco-driving system.

Table 1 Soil condition of experimental fields

Item	Soil hardness (kPa)				Soil texture (%)			Soil moisture (wb, %)	Field size (m)	
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	Avg.	Sand	Silt			Clay
Silty clay	982	5,734	7,642	6,694	5,263	43.0	22.1	34.9	38.4	100 ×30

3. 결과 및 고찰

가. 트랙터 PTO 출력 예측결과

그림 7은 트랙터 실제 출력과 경제운전 안내장치의 출력을 비교한 그림이다. 실제 트랙터 출력은 농업기계 성능시험용 검사 장비를 이용해 측정하였고, 시작기의 출력은 경제운전 안내장치에 노트북을 연결하여 데이터를 받은 것이다. 전부하 곡선에서는 트랙터 실제 출력과 시작기의 출력 결과가 매우 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 부분부하 곡선에서 시작기의 출력은 2400 rpm일 경우 실제와 같게 나타났지만 2200 rpm에서 6 kW, 2000 rpm에서 5 kW, 1800 rpm에서 4 kW, 1600 rpm에서 3 kW, 1400 rpm에서 2 kW, 1200 및 1000 rpm에서는 1 kW 정도 실제보다 낮게 나타났다. 이러한 경향은 부분부하 곡선을 직선으로 가정하고 예측식을 만들었기 때문에 당연한 결과이며, 실제 포장작업 시 토양, 경심 및 함수율 등 작업환경이 수시로 변하기 때문에 트랙터 출력을 정확하게 예측하는 것이 매우 어려운 점을 감안한다면 본 연구에서 개발한 트랙터 출력 예측식은 트랙터용 경제운전 안내장치에 적용해도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

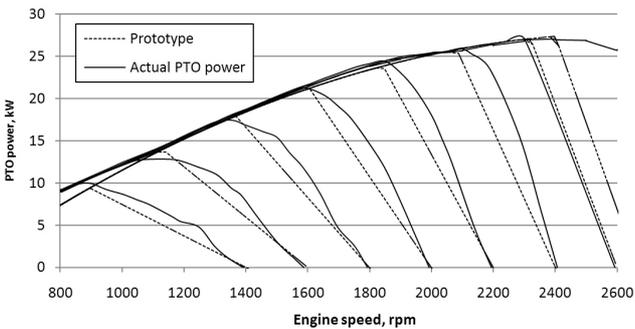


Fig. 7 Comparison between actual PTO power and prototype PTO power.

나. 트랙터 연료소모량 및 작업성능 예측결과

그림 8은 실제 트랙터 연료소모량과 경제운전 안내장치의 연료소모량을 비교한 그림이다. 전부하 곡선에서 시작기의 연료소모량은 엔진회전속도가 증가함에 따라 실제 연료소모량보다 약간 감소하는 경향을 보였다. 최대 차이를 보이는 2400 rpm에서 비교해볼 때 실제 연료소모량은 10.7 L/h, 경제운전 안내장치의 출력은 10.2 L/h로 최대 0.5 L/h의 오차 (4.5%)가 발생하였다. 부분부하 곡선에서 연료소모량은 실제 연료소모량보다 2400 rpm에서 1 L/h, 2200 rpm에서 3 L/h, 2000 rpm에서 1.3 L/h, 1800 rpm에서는 0.1~0.8 L/h의 차이를 보였다. 이러한 차이는 부분부하 곡선을 직선으로 가정하고 예측식을 만들었기 때문에 나타난 결과이다. 만약 부분부

하 곡선을 고차원의 방정식으로 표현한다면 오차범위를 줄일 수 있겠지만 고차원식 계산 시 컴퓨터에서 소요되는 시간 때문에 반응시간이 느려질 우려가 있다. 경제운전 안내장치는 연료소모량 예측장치가 아니라 경제적으로 트랙터를 운전할 수 있도록 기어단수 및 엔진회전속도를 운전자에게 알려주는 장치이기 때문에 경제운전 안내장치의 기능을 충분히 할 수 있을 것으로 판단된다.

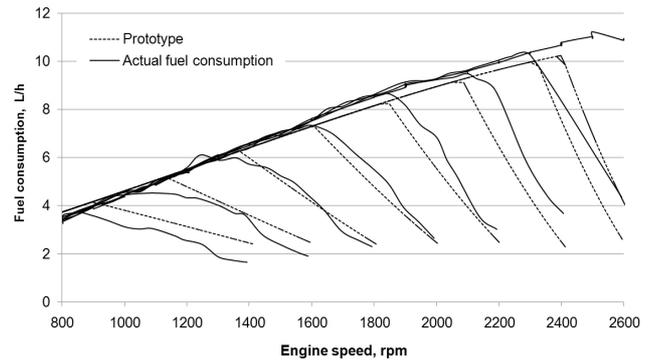


Fig. 8 Comparison between actual fuel consumption and prototype fuel consumption.

그림 9는 GPS 센서의 작업속도 정밀도를 측정하기 위해 실제 속도와 GPS 센서에서 출력된 작업속도를 비교한 그림이다. 트랙터는 저속으로 주행하기 때문에 정밀도가 높은 고가의 GPS 센서를 필요하지만 경제운전 안내장치의 실용성을 높이기 위해서는 약간 정밀도가 떨어지더라도 저가의 GPS 센서가 필요하였다. 그러나 시험결과 그림 9와 같이 결정계수가 0.991로 실제 주행속도와 GPS 센서의 속도와 큰 차이를 보이지 않았으며, 1 m/s의 저속에서도 큰 차이를 보이지 않아 경제운전 안내장치에도 충분히 적용 가능할 것으로 판단되었다.

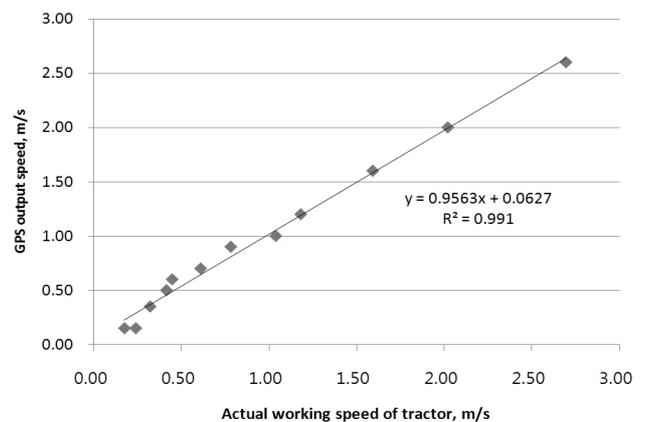


Fig. 9 Comparison between actual working speed and GPS output speed.

다. 트랙터용 경제운전 안내장치 성능시험 결과

그림 10은 쟁기작업 시 경제운전 안내장치에 출력된 트랙터 출력을 기어단수별로 나타낸 것이다. 트랙터 출력은 엔진회전속도에 비례하여 증가하였다. 트랙터 출력은 기어단수 4단에서는 4.5에서 26.6 kW로, 7단에서는 7.8에서 26.8 kW로 엔진회전속도 증가에 비례하여 증가하였다. 트랙터 출력은 기어단수 4, 5, 6단에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 Park 등(2010a)이 본 연구와 동일한 트랙터, 쟁기, 포장 조건에서 다른 시기에 계측장비를 이용하여 측정한 연구결과(6단에서 9.4~22.7 kW, 5단에서 7.1~14.7 kW, 4단에서 4.8~11.6 kW)와 매우 유사하게 나타났다. 앞으로는 고가의 계측장비를 사용하지 않고도 트랙터 출력을 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

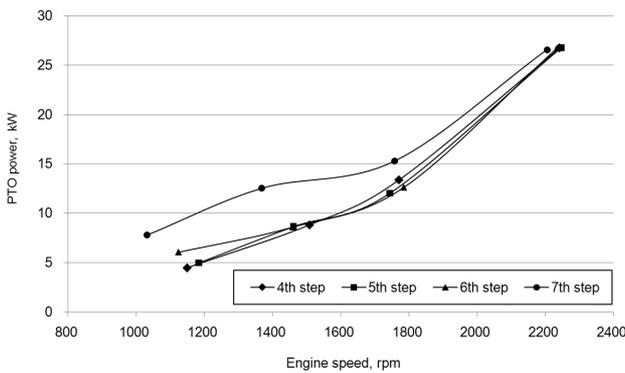


Fig. 10 PTO power at plowing operation.

그림 11은 쟁기작업 시 경제운전 안내장치에 출력된 트랙터 연료소모량과 작업성능을 비교해서 나타낸 것이다. 트랙터 연료소모량은 4단에서 17.0, 17.7, 18.6, 24.7 L/ha, 7단에서 11.7, 11.6, 10.2, 13.4 L/ha로 작업속도가 빠를수록 적게 나타났으며, 작업성능도 4단에서 5.2, 4.2, 3.4, 2.5 h/ha, 7단에서 3.0, 2.3, 1.7, 1.4 h/ha로 작업속도가 빠를수록 능률적으로 나타났다.

이 결과는 기어단수를 올려 엔진회전속도를 낮춰서 농작업을 실시해야 연료소모량을 절감하고 작업성능을 높일 수 있다는 것을 의미한다. 만약 운전자가 기어 4단, 2242 rpm으로 쟁기작업을 실시하던 것을 기어 7단, 2205 rpm으로 변경해서 작업을 한다면 연료 소모량을 24.7 L/ha에서 13.4 L/ha로 46% 절감하고, 작업시간도 2.5 h/h에서 1.4 h/ha로 줄일 수 있다. Grisso와 Pitman(2001)이 제시한 트랙터 적정 엔진회전속도(정격 엔진회전속도의 70~80% 수준)를 적용하면 그림 11의 1800~2000 rpm 범위에 해당되며, 이 지점과 4단, 2242 rpm 지점을 비교하면 연료소모량을 69% 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 경제운전 안내장치는 운전자 경험에 의한

트랙터 조작방법을 최적의 운전조건으로 안내하여 연료비를 절감하고 올바른 운전습관으로 트랙터의 내구성을 증대시킬 수 있으며 온실가스인 CO₂ 배출량도 줄일 수 있는 효과(Kim et al., 2009)가 있을 것으로 기대된다.

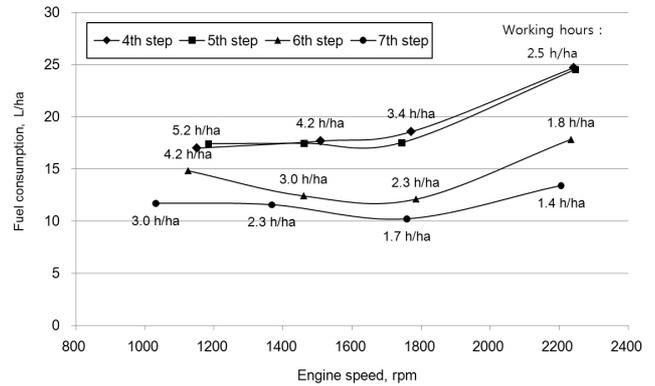


Fig. 11 Tractor fuel consumption at plowing operation.

그림 12는 로타리 작업 시 경제운전 안내장치에 출력된 트랙터 출력을 기어단수별로 나타낸 것이다. 트랙터 출력은 엔진회전속도에 비례하여 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였지만, 기어단수에 따라서는 일정한 경향을 보이지 않았다. 트랙터 출력은 기어단수 3단에서 7.3, 12.4, 16.5, 26.2 kW로, 6단에서는 7.0, 15.0, 20.9, 26.3 kW로 엔진회전속도에 비례하여 증가하였다. 로타리 작업 시 트랙터 출력은 쟁기작업보다 약간 높게 나타났으며 이러한 경향은 Park 등(2010a)의 선행 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

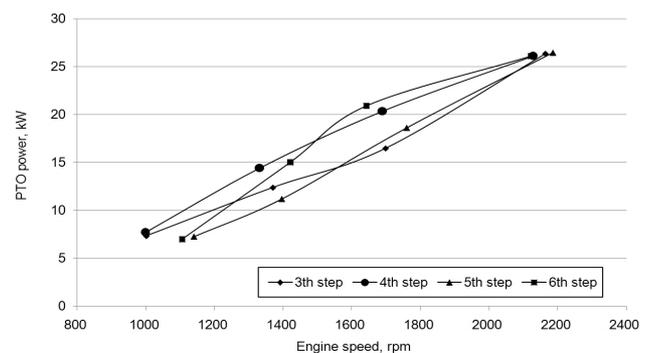


Fig. 12 PTO power at rotary operation.

그림 13은 로타리 작업 시 경제운전 안내장치에 출력된 트랙터 연료소모량과 작업성능을 비교한 그림이다. 트랙터 연료소모량은 기어단수가 높을수록 낮아졌으며, 작업성능은 기어단수 및 엔진회전속도가 높을수록 좋게 나타났다. 트랙터 연료소모량은 기어단수 3단에서 26.3, 25.9, 25.7, 33.1 L/ha, 6단에서는 13.0, 14.6, 15.1, 15.1 L/ha로 나타났으며, 작업성

능은 3단에서 6.9, 5.2, 4.2, 3.5 h/ha, 6단에서 3.5, 2.6, 2.1, 1.6 h/ha로 작업속도가 빠를수록 능률적으로 나타났다.

이 결과는 쟁기작업과 마찬가지로 기어단수를 올려 엔진회전속도를 낮춰서 농작업을 실시해야 연료소모량을 절감하고 작업성능을 높일 수 있다는 것을 의미한다. 만약 기어 3단, 2165 rpm으로 로타리 작업을 실시하는 운전자가 기어 6단, 2123 rpm으로 변경해서 작업을 한다면 연료소모량은 33.1 L/ha에서 15.1 L/ha로 54% 절감하고, 작업성능도 3.5 h/ha에서 1.6 h/ha로 줄일 수 있었다.

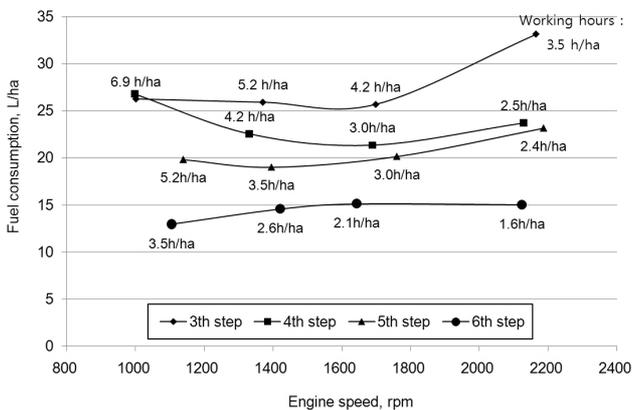


Fig. 13 Tractor fuel consumption at rotary operation.

4. 요약 및 결론

트랙터 출력 및 연료소모량 예측식을 이용하여 경제운전 안내장치를 개발하였다. PTO 성능시험을 통해 정확도를 검증하고 쟁기 및 로타리 경운 작업을 실시하여 효과를 조사하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 트랙터 출력 예측식은 전부하 곡선에서 트랙터 실제 출력과 시작기의 출력 결과가 매우 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 부분부하 곡선에서 1 kW에서 6 kW까지 차이를 보였다.
- (2) 트랙터 연료소모량 예측식은 전부하 곡선에서 최대 0.5 L/h의 오차(4.5%)를 보였고 부분부하 곡선에서는 1~3 L/h 정도의 오차를 보였으나 경제운전 안내장치에 적용해도 문제가 없을 것으로 판단되었다.
- (3) GPS 센서의 작업속도 정밀도는 결정계수가 0.991로 실제 주행속도와 GPS 센서의 속도와 큰 차이를 보이지 않았으며, 1 m/s의 저속에서도 큰 차이를 보이지 않아 경제운전 안내장치에도 충분히 적용 가능할 것으로 판단되었다.
- (4) 경제운전 안내장치의 트랙터 출력은 쟁기, 로타리 작업에서 계측장비를 이용하여 측정된 시험결과와 유사

한 경향으로 나타났으며 고가의 계측장비를 사용하지 않고도 트랙터 출력을 간단하게 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

- (5) 트랙터용 경제운전 안내장치는 쟁기작업에서 69%, 로타리 작업에서 54% 연료소모량을 절감시킬 수 있으며, 온실가스인 CO₂ 배출량도 그만큼 줄일 수 있을 것으로 나타났다. 때문에 트랙터에 경제운전 안내장치의 도입이 매우 필요할 것으로 판단되었다.

참고 문헌

1. Chancellor, W. J. and N. E. Smith. 1987. Tractor engine torque transducer using governor setting and rpm. Transactions of the ASAE 30(5):1210-1213.
2. Fujii, Y. 2008. Recent trends in energy saving for development and use of agricultural machinery in Japan. SIEMSTA 2008 International Symposium of KSAM: Energy Saving in the Field of Agricultural Machinery Engineering. pp. 3-38. KSAM, Suwon, Korea. (In Korean)
3. Green, M. K., B. A. Stout and S. W. Searcy. 1983. Instrumentation package for monitoring tractor performance. ASAE Paper No. 83-1562. ASABE, St. Joseph, MI, USA.
4. Grisso, R. D. and R. Pitman. 2001. Gear Up and Throttle Down - Saving Fuel. Virginia Cooperative Extension Publication. pp. 442-450. Virginia Tech, Blacksburg, VA. USA.
5. Grisso, R. D., G. T. Roberson and D. H. Vaughan. 2006. Method for fuel prediction for specific tractor models. ASABE meeting presentation paper No. 061089. ASABE, St. Joseph, MI, USA.
6. Grogan, J., D. A. Morris and S. W. Searcy. 1984. Microcomputer-based information feedback system for improving tractor efficiency. ASAE Paper No. 84-1594. ASABE, St. Joseph, MI, USA.
7. Kim, C. K., S. H. Park, Y. J. Kim, D. H. Im, H. J. Kim, S. C. Jung, J. S. Lee and H. S. Oh. 2009. Reduction of fuel consumption amount and CO₂ emission by the optimized tractor operation. Proceedings of the KSAM 2009 Summer Conference 14(2):50-54. (In Korean)
8. OECD. 2009. Code 2: OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance. OECD, Paris, France.
9. Pang, S. N., G. C. Zoerb and G. Wang. 1985. Tractor monitor based on indirect fuel measurement. Transactions of the ASAE 28(4):994-998.
10. Park, S. H., Y. J. Kim, D. H. Im, C. K. Kim, S. C. Jung, H. J. Kim, J. S. Lee and S. S. Kim. 2010a. Load characteristics of tractor PTO power and field operation. Journal of the

- Korean Society for Agricultural Machinery 35(1):15-20. (In Korean)
11. Park, S. H., Y. J. Kim, D. H. Im, C. K. Kim, H. J. Kim, Y. Jang and S. S. Kim. 2010b. Performance of tractor eco driving system. Proceedings of the KSAM 2010 Winter Conference 15(1):124-128. (In Korean)
 12. Ryu, K. H. and S. B. Kang. 1991. Evaluation of indirect methods of engine torque measurement. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 16(1):1-8. (In Korean)