

농용 트랙터 연료소모량에 미치는 요인분석

박석호 김영중 임동혁 김충길 장 양 김성수

Analysis of Factors Affecting Fuel Consumption of Agricultural Tractor

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

Abstract

The objective of this study was to analyze the factors affecting on fuel consumption of agricultural tractor. According to the statistical analysis, fuel consumption of agricultural tractor was considerably influenced by kind of operation, throttle engine speed and gear steps of tractor but much less by kind of soil. Specific fuel consumption of the tractor in plowing, dry paddy tilling, wet paddy tilling and wet paddy levelling was 0.33~0.36, 0.30~0.45, 0.19~0.34, 0.28~0.39 L/kW-h, respectively, and CO₂ emission was 0.36~0.45, 0.35~0.58, 0.22~0.42, 0.24~0.37 kg/kw-h, respectively. Specific fuel consumption and CO₂ emission increased as throttle engine speed increased but reversely proportional with gear step of tractor, by which one can reduce fuel consumption and CO₂ emission with practicing of “Gear up & Throttle Down” technique in paddy operations.

Keywords : Tractor power output, Fuel consumption, Gear steps, Engine speed

1. 서론

원유가격의 상승, 온실가스 감축 등 세계적인 이슈와 맞물려 농업기계도 화석에너지의 사용을 절감하기 위한 노력이 진행되고 있다. 우리나라에서 난방기 다음으로 에너지를 많이 사용하고 있는 트랙터도 예외는 아니다. 트랙터 연료소모량은 작업 및 작업기의 종류(Choi and NahmGung, 2000), 작업속도(Firestine et al., 2007), 토양, 기온(Kim and Han, 2002), 무게, 타이어 공기압(Lancas et al., 1996) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 보고되고 있다. 이중 트랙터 연료절감 효과가 가장 크다고 보고된 “Gear up & Throttle down” 기술은 트랙터의 작업속도를 높이고 엔진회전속도를 낮추어 트랙터를 운전하면 연료소모량을 30% 정도 절감할 수 있다고 보고(Grisso and Pitman, 2001)되었으며, 최근 일본에서도 이 기술을 사용하여 트랙터 연료소모량을 15~55% 절감할 수 있다고 보고하였다(Fujii, 2008; Teshima and Gotoh, 2010; Gotoh and Teshima, 2010).

트랙터의 연료소모량은 연료분사펌프(fuel injection pump)와 조속기(governor)에 의해 결정된다. 트랙터 작업 시 엔진에 부하가 걸리면 엔진속도가 떨어지게 되고, 이때 조속기가 감속된 엔진회전속도를 감지하여 연료분사펌프에서 더 많은 연료가 공급되도록 하고, 반대로 부하가 걸리지 않아 엔진회전속도가 증가하면 연료가 적게 공급되도록 자동 제어한다. 이러한 원리 때문에 트랙터의 연료소모량은 엔진회전속도와 밀접한 관련이 있다. 따라서 트랙터 운전 시 스로틀레버(throttle lever)와 기어단수 조절에 따른 농작업 부하, 연료소모량, 작업속도, 엔진회전수 등의 특성을 분석한다면 트랙터 경제 운전 안내장치 등을 설계하는데 매우 중요한 자료로 활용될 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 첫째, 경운정지 작업을 통하여 트랙터 농작업 부하를 계측하고 둘째, 트랙터 연료소모량에 영향을 미치는 요인 간의 상관관계를 검증하고 셋째, 각각의 요인이 연료 소비율과 CO₂ 배출량에 미치는 특성을 분석하였다.

The article was submitted for publication on 2010-04-19, reviewed on 2010-05-03, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-05-12. The authors are Seok Ho Park, Young Jung Kim, Dong Hyeok Im, Chung Kill Kim, 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>.

2. 재료 및 방법

가. 공시기종 및 계측장비

본 시험에 사용한 트랙터는 정격 엔진회전속도 2600rpm에서 37.3 kW(LX470C, Daedong, Korea)의 출력을 내며, 연료분사펌프(fuel injection pump)는 보쉬(Bosch)형 플린저방식이고 조속기(governor)는 원심식을 채택하고 있다. 전진 주행속도는 1.47 km/h에서 25.28 km/h로 12단의 기어단수로 조절하도록 되어있다. 작업기는 쟁기(SW-PS1706, Daedong, Korea), 로터베이터(HC175GS, Hankookchain, Korea), 무논정지기(WJS260, WongJin, Korea)를 사용하였으며, 작업기의 작업폭은 각각 1.6 m, 1.7 m 및 2.6 m이다.

본 시험에 사용한 계측장비는 그림 1과 같이 주행속도(APS-GMD, Koyo, Korea), CO₂ 및 배기가스온도(GreenLine MK2, Eurotron, Italy), 연료소모량(MEC 05ASP-1R, M.E.C. Fluid Control, Singapore), 견인력(Strain gages SR-4, Vishay, Korea), PTO 토크(ATI 2040BCF-NC1, Advanced Telemetry System, Ohio, USA)를 측정할 수 있도록 각각의 센서를 트

랙터에 설치하였다(Ryu and Kang, 1991; Park et al., 2010a). 데이터는 데이터 수집장치(e.pac-DL & e.bloxx, Gantner, Germany)를 통해 노트북에 저장되도록 하였으며, 포장 밖에서 전체 실험을 조정하고 데이터를 확인하기 위해 무선전송 방식으로 데이터를 노트북에 저장되도록 하였다.

트랙터 연료는 그림 2와 같이 연료공급펌프(fuel pump), 연료필터(fuel filter), 연료분사펌프(fuel injection pump), 분사노즐(fuel injection nozzle)을 통해 공급되며, 분사노즐에서 남은 연료는 연료탱크로 다시 돌아가도록 되어있다. 본 시험에서는 연료필터와 분사펌프 사이에 연료소모량계를 설치하고 남아서 연료탱크로 돌아가는 연료를 밸브를 이용하여 연료소모량계 다음 단계로 들어가도록 하여 트랙터 농작업에 소요된 순수 연료소모량을 측정하였다(Green et al., 1983).

나. 시험 포장 및 방법

시험포장은 미사질식토(수원), 식양토(부여), 미사질양토(무안) 3개 지역의 논을 선정하였다. 트랙터 포장시험은 미사질식토에서 쟁기, 마른로타리, 무논로타리, 무논정지 시험을

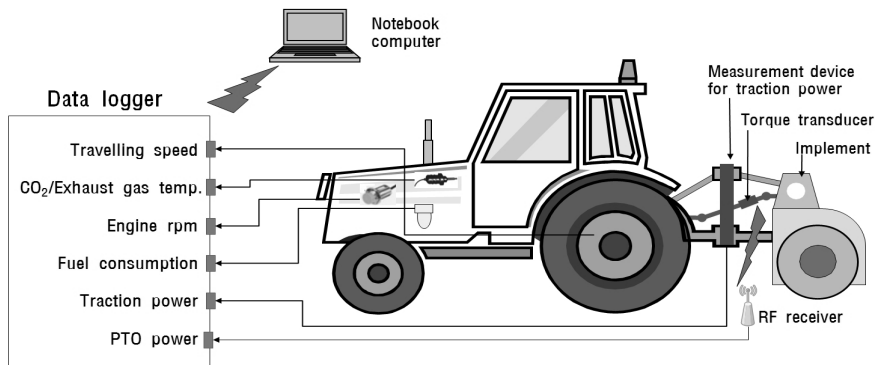


Fig. 1 Schematic diagram of data measurement system in field test.

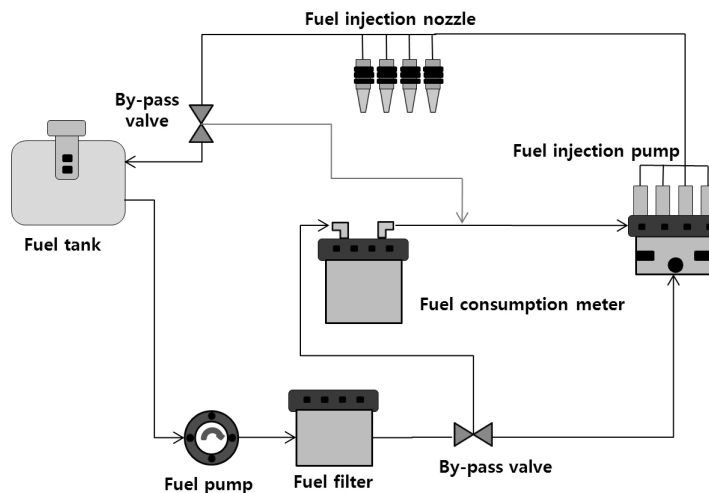


Fig. 2 Schematic diagram of fuel consumption measurement.

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 | 40.4 | 100×30 |
| Clay loam | - | - | - | - | - | 27.0 | 33.0 | 40.0 | 37.1 | 80×30 |
| Silty loam | - | - | - | - | - | 30.8 | 54.5 | 14.7 | 39.1 | 100×40 |

수행하였고, 식양토에서 쟁기작업을 제외한 마른 로타리, 무논 로타리, 무논정지 시험을 수행하였다. 미사질양토에서는 마른로타리 시험만 수행하였다. 마른로타리 작업은 쟁기작업 후 토양을 건조시켜 작업을 하였으며, 무논로타리 작업은 쟁기작업 후 물을 가둔 상태에서 작업하였다. 무논정지작업은 무논로타리 작업 후에 무논정지기를 이용하여 시험을 실시하였다.

시험포장 토양함수율은 표 1과 같이 미사질식토, 식양토, 미사질양토에서 각각 40.4%, 37.1% 및 39.1%로 나타났으며, 토양경도는 경심 10 cm에서 982 kPa로 약했고, 20~40 cm에서는 5,734~6,694 kPa로 상대적으로 높았다. 부여와 무안 포장에서는 논을 갈아 놓은 상태였기 때문에 토양경도를 측정하지 않았다.

시험 처리구는 포장의 불균일성을 제거하기 위하여 난괴법 (randomized complete block design)으로 시험구획을 배치하고, 한개 처리구의 작업 길이는 50 m이고, 모든 시험처리는 3반복 시험하였다.

다. 분석방법

트랙터 출력은 견인출력과 PTO 출력을 측정하였다. 견인출력은 쟁기작업 시 소요되는 견인력을 측정하여 견인출력으로 환산하였으며(Park et al., 2010a), PTO 출력은 마른로타리, 무논로타리, 무논정지 작업 시 소요되는 PTO 토크를 측정하여 PTO 출력으로 환산하였다(Park et al., 2010a).

트랙터 CO₂ 배출량은 시험에 사용한 계측기의 CO₂ 배출량이 퍼센트(%)로 출력되기 때문에 식 (1)을 이용하여 시간당 CO₂ 배출량(kg/h)으로 환산하였다. 식 (1)은 계측값인 연료소모량(L/h)과 CO₂ 농도(%), 경유의 비중 0.82, 탄소중량비 0.85, 탄소 1kg에 대한 CO₂ 연소가스 무게의 비 3.67, 완전연소 시 CO₂ 농도 15.5(Lee et al., 1998)를 적용하였다.

$$Q_{CO_2} = 0.82 \times Q_h \times 0.85 \times 3.67 \times \frac{C_{CO_2}}{15.5} \quad (1)$$

where, Q_{CO_2} : Emission of carbon dioxide (kg/h)
 Q_h : Fuel consumption per hour (L/h)
 C_{CO_2} : Emission concentration of carbon dioxide at tractor (percent)

Specific gravity of light oil : 0.82 (kg/L)
 Weight ratio of carbon on light oil : 0.85 (decimal)
 Weight ratio of carbon dioxide to the carbon dioxide of 1 kg : 3.67 (decimal)
 Concentration of carbon dioxide at complete combustion : 15.5 (percent)

3. 결과 및 고찰

가. 트랙터 연료소모량에 미치는 요인분석

표 2는 트랙터 연료소모량과 관련된 변수 간의 상관관계 (Pearson correlation)를 나타낸 것이다. 표 2의 변수 중에 스로틀 레버로 설정한 엔진회전속도(throttle engine speed)와 기어 단수(gear step)는 독립변수에 해당되고, 부하변동에 따른 엔진회전속도(engine speed), 작업속도(working speed), CO₂ 배출량(CO₂ emission), 출력(PTO power)은 종속변수에 해당된다.

트랙터 연료소모량(L/h)은 스로틀 엔진회전속도(r=0.913), 엔진회전속도(r=0.822), CO₂ 배출량(r=0.837), PTO 출력(r=0.716)과 상관관계가 높게 나타난 반면, 기어단수(r=-0.103)와 작업속도(r=0.299)는 트랙터 연료소모량(L/h)과 낮은 상관관계를 보였다. 이 결과는 스로틀 레버에 의한 엔진회전속도와 농작업 부하에 따라 변동되는 엔진회전속도를 이용해서 트랙터 출력과 연료소모량을 간접적으로 예측(Park et al., 2010b)할 수 있다는 것을 설명해 주고 있다.

표 3은 스로틀 엔진회전속도와 기어단수가 트랙터 연료소모량(L/h)에 미치는 영향을 회귀 분석한 결과이다. 트랙터 연료소모량은 회귀 식 (2)로서 83%(R²=0.834) 정도 설명이 가능하며, 트랙터 연료소모량은 스로틀 엔진회전속도가 영향(stb=0.91)을 크게 미치며, 기어단수의 영향력(stb=-0.02)은 매우 낮게 나타났다.

$$FC = 20.31442 + 0.00629 TES - 4.01118 GS \quad (2)$$

where, FC : Fuel consumption per area (L/h)
 TES : Throttle engine speed (rpm)
 GS : Gear step (number)

Table 2 Pearson correlation coefficients between the variables (upper values in the cell are coefficient of correlation and lower are p-values)

| | FC (L/h) | TES (rpm) | GS (steps) | ES (rpm) | WS (m/s) | CO ₂ (kg/h) | P (kW) |
|---------------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------------|-----------|
| Fuel consumption (L/h) | 1.0 | | | | | | |
| Throttle Engine speed (rpm) | 0.913 <.0001 | 1.0 | | | | | |
| Gear steps (steps) | -0.103 0.4002 | -0.096 0.4347 | 1.0 | | | | |
| Engine speed (rpm) | 0.822 <.0001 | 0.971 <.0001 | -0.1083 0.3758 | 1.0 | | | |
| Working speed (m/s) | 0.299 0.0126 | 0.363 0.0022 | 0.8333 <.0001 | 0.3662 0.0020 | 1.0 | | |
| CO ₂ emission (kg/h) | 0.837 <.0001 | 0.6804 <.0001 | -0.1110 0.3639 | 0.5354 <.0001 | 0.1551 0.2032 | 1.0 | |
| PTO power (kW) | 0.716 <.0001 | 0.5815 <.0001 | -0.0867 <.4788 | 0.4872 <.0001 | 0.1888 0.1203 | 0.6570 <.0001 | 1.0 |

Table 3 Regression results for tractor fuel consumption

| Variable | DF | Parameter estimate | Standard error | t value | Pr > F | Standardized estimate |
|-----------------------|----|--------------------|----------------|---------|--------|-----------------------|
| Intercept | 1 | -3.39865 | 0.56240 | -6.04 | <.0001 | 0 |
| Throttle engine speed | 1 | 0.00422 | 0.00024 | 18.10 | <.0001 | 0.91165 |
| Gear steps | 1 | -0.02046 | 0.06538 | -0.31 | 0.7553 | -0.01576 |
| R-square : 0.8341 | | | | | | |

Table 4 Statistical analysis of fuel consumption model for tractor

| Source | DF | Sum of squares | Mean square | F value | Pr > F |
|-----------------------|----|----------------|-------------|---------|---------|
| Model | 7 | 340.881 | 48.697 | 135.55 | < .0001 |
| Error | 61 | 21.914 | 0.359 | | |
| Corrected total | 68 | 362.794 | | | |
| Throttle engine speed | 1 | 192.367 | 192.367 | 535.48 | < .0001 |
| Gear steps | 1 | 12.978 | 12.978 | 36.13 | < .0001 |
| Operation type | 3 | 23.910 | 7.970 | 22.19 | < .0001 |
| Soil type | 2 | 0.079 | 0.040 | 0.11 | 0.8960 |
| R-square : 0.940 | | | | | |

트랙터 연료소모량은 표 3에서 분석한 스로틀 엔진회전속도와 기어단수 이외에 작업종류, 토양종류 등에 따라 달라질 수 있다. 표 4는 트랙터 연료소모량이 작업종류와 토양종류에 따라서 어떤 영향을 받는지를 알아보기 위해 SAS GLM (general linear model) 분석한 결과이다. GLM 모델식은 식 (3)과 같이 스로틀 엔진회전속도, 기어단수, 작업종류, 토양종류를 설명변수로 설정하였다. GLM 분석결과 모델식은 4개의 설명변수가 트랙터 연료소모량을 94%(R²=0.94) 정도 설명하였고, 전체 모형의 유의성도 유의(p<.0001)한 것으로 나타났다. 이들 변수 중 스로틀 엔진회전속도, 기어단수, 작업종류는 트랙터 연료소모량을 잘 설명(p<.0001)해 주지만

토양종류는 영향력(p=0.896)이 낮은 것으로 나타났다.

$$FC_{ijkl} = TES_i + GS_j + OT_k + ST_l + E \quad (3)$$

where, FC_{ijkl} : Fuel consumption per area (L/h)

TES_i : Throttle engine speed (rpm)

GS_j : Gear step (number)

OT_k : Operation type

ST_l : Soil type

E : Errors

나. 농작업 종류에 따른 트랙터 출력, 연료소모량 및 CO₂ 배출 특성

그림 3은 트랙터 농작업 종류에 따른 트랙터 출력, 연료소비율, CO₂ 배출량을 나타낸 것이다. 이때의 시험토양은 미사질식토이고 트랙터 기어단수는 쟁기작업의 경우 6단(0.7, 0.9, 1.5 m/s), 마른로타리, 무논로타리 및 무논정지 작업의 경우는 1단(0.2, 0.2~0.3, 0.3, 0.4 m/s)에서 작업한 결과이다.

트랙터 출력은 쟁기작업에서 9.4, 15.0, 22.7 kW, 마른로타리 작업에서 10.6, 12.0, 15.1, 17.3 kW, 무논로타리 작업에서 15.8, 21.5, 21.1, 21.1 kW, 무논정지 작업에서 9.2, 15.1, 18.0, 15.0 kW로 엔진회전속도가 증가함에 따라 전체적으로 증가하였다. 다만 무논로타리와 무논정지 작업에서는 2400 rpm 이상에서 트랙터 출력이 약간 감소하였다. 본 시험의 쟁기작업에 소요된 순 출력은 엔진 최대출력의 25~61%가 사용되었다. Kim 등(2009)은 최대 견인출력 시 트랙터 엔진의 견인부하는 20~110%에 이르고 있으며, 대부분은 70~90% 정도인 것으로 보고하였다.

트랙터 연료소비율은 쟁기작업에서 0.33, 0.30, 0.36 L/kW·h, 마른로타리 작업에서 0.30, 0.35, 0.36, 0.45 L/kW·h, 무논로타리 작업에서 0.19, 0.20, 0.24, 0.34 L/kW·h, 무논정지 작업에서 0.28, 0.20, 0.24, 0.39 L/kW·h로 엔진회전속도가 증가함에 따라 전체적으로 증가하였다. 이 결과를 Kim과 Kim

(2010)이 제시한 정격출력 시 트랙터 연료소비율 지표식을 적용해 트랙터 연료소비율 산출결과인 0.46 L/kW·h와 비교해 보았을 때 마른로타리 작업의 0.45 L/kW·h(2396 rpm)와 유사한 결과를 보였다.

트랙터 CO₂ 배출량은 쟁기작업에서 0.36, 0.34, 0.45 kg/kW·h, 마른로타리 작업에서 0.35, 0.41, 0.40, 0.58 kg/kW·h, 무논로타리 작업에서 0.22, 0.26, 0.29, 0.42 kg/kW·h, 무논정지 작업에서 0.24, 0.16, 0.23, 0.37 kg/kW·h로 연료소비율과 유사하게 엔진회전속도에 비례하여 증가하였다.

다. 토양 종류에 따른 트랙터 출력, 연료소모량 및 CO₂ 배출 특성

그림 4는 토양 종류에 따른 트랙터 출력, 연료소비율, CO₂ 배출량을 나타낸 것이다. 이때는 트랙터 기어단수를 1단(0.2, 0.2~0.3, 0.3, 0.4 m/s)으로 마른로타리 작업을 수행하였다.

트랙터 출력은 미사질식토에서 10.6, 12.1, 15.1, 17.3 kW, 식양토에서 9.0, 11.7, 16.4, 25.3 kW, 미사질양토에서 9.8, 16.3, 18.3, 28.0 kW로 엔진회전속도에 비례하여 증가하였다.

트랙터 연료소비율은 미사질식토에서 0.30, 0.35, 0.36, 0.45 L/kW·h, 식양토에서 0.32, 0.38, 0.37, 0.33 L/kW·h, 미사질양토에서 0.32, 0.28, 0.34, 0.40 L/kW·h로 엔진회전속도에 비례하여 전체적으로 증가하였다. 다만 식양토의 경우

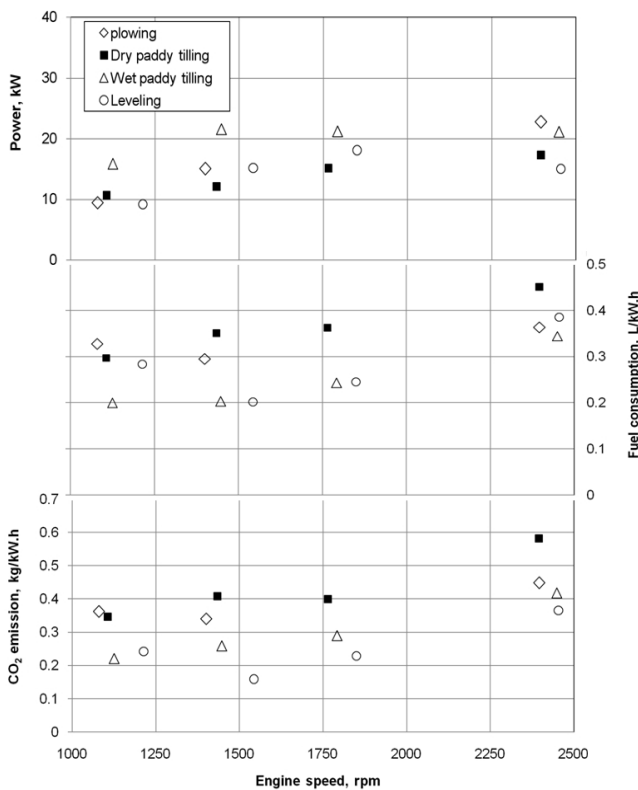


Fig. 3 Characteristics of tractor power, fuel consumption and CO₂ emission at tractor operations.

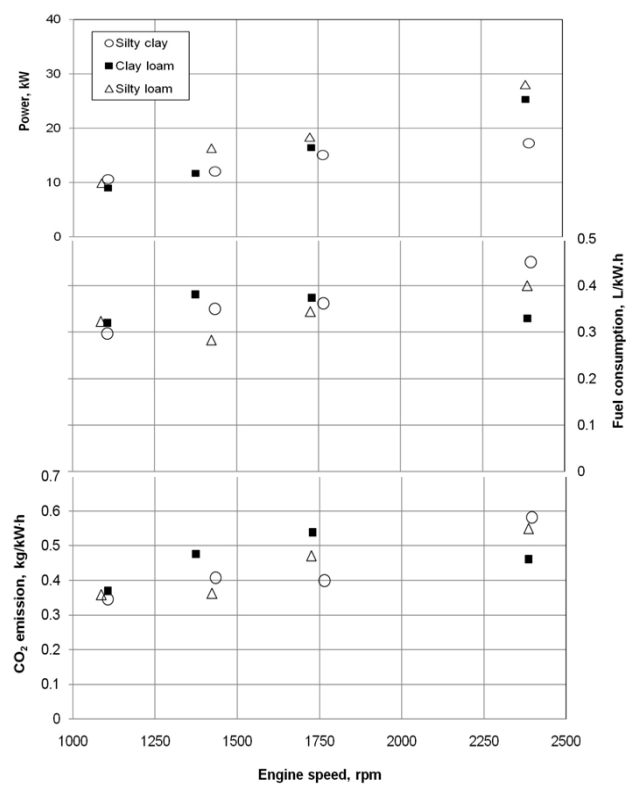


Fig. 4 Characteristics of tractor power, fuel consumption and CO₂ emission at soil type.

2400 rpm에서 연료소비율이 약간 감소하였는데, 이것은 시험 포장의 토양의 불균일성 등으로 인한 측정오차라고 판단된다.

트랙터 CO₂ 배출량은 미사질식토에서 0.35, 0.40, 0.40, 0.58 kg/kW·h, 식양토에서 0.37, 0.48, 0.54, 0.46 kg/kW·h, 미사질양토에서 0.36, 0.36, 0.47, 0.55 kg/kW·h로 연료소비율과 유사한 경향으로 나타났다.

라. 스로틀 엔진회전속도와 기어단수에 따른 트랙터 출력, 연료소모량 및 CO₂ 배출 특성

그림 5는 스로틀 엔진회전속도와 트랙터 기어단수에 따른 트랙터 출력 변화를 나타낸 그림이다. 이 결과는 미사질식토에서 기어단수 4단(0.4, 0.6, 0.9 m/s), 5단(0.6, 0.7, 1.1 m/s), 6단(0.7, 0.9, 1.5 m/s)으로 쟁기작업을 수행했을 때 나타난 결과이다.

트랙터 출력은 기어단수와 스로틀 엔진회전속도에 비례하여 증가하였다. 스로틀 엔진회전속도 1400 rpm의 경우 기어단수가 4, 5, 6 단으로 증가함에 따라 트랙터 출력은 4.8, 7.1, 9.4 kW로 증가했으며, 기어단수 6단의 경우 스로틀 엔진회전속도가 1400, 1700, 2600 rpm으로 증가함에 따라 트랙터 출력은 9.4, 15.0, 22.7 kW로 증가하였다.

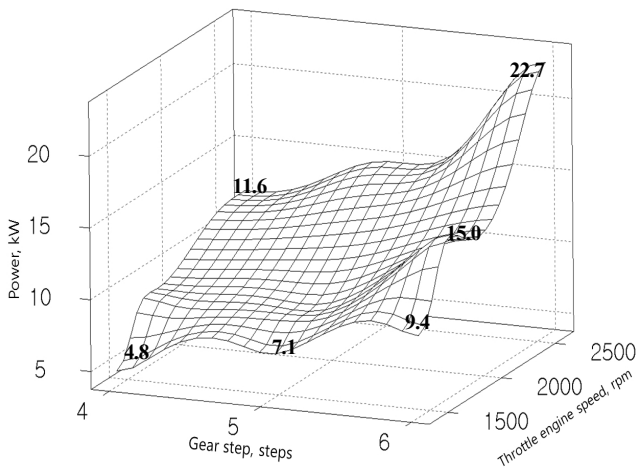


Fig. 5 Characteristics of tractor power by the gear step and throttle engine speed at plowing operation.

그림 6은 스로틀 엔진회전속도와 트랙터 기어단수에 따른 트랙터 연료소비율 변화를 나타낸 그림이다. 이 결과는 미사질식토에서 기어단수 4단(0.4, 0.6, 0.9 m/s), 5단(0.6, 0.7, 1.1 m/s), 6단(0.7, 0.9, 1.5 m/s)으로 쟁기작업을 수행했을 때 나타난 결과이다.

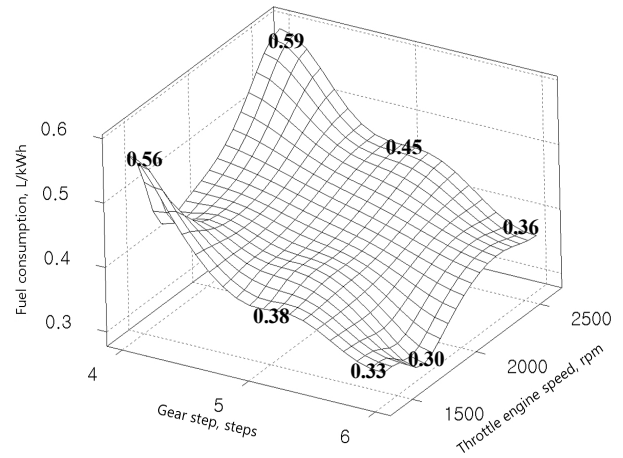


Fig. 6 Characteristics of tractor fuel consumption by the gear step and throttle engine speed at plowing operation.

트랙터 연료소비율은 스로틀 엔진회전속도에 비례하고 기어단수에 반비례하여 증가하는 경향으로 나타났다. 스로틀 엔진회전속도 1400 rpm의 경우 기어단수가 4, 5, 6 단으로 증가함에 따라 트랙터 연료소비율은 0.56, 0.38, 0.33 L/kW·h로 감소하였으며, 기어단수 6단의 경우 스로틀 엔진회전속도가 1400, 1700, 2600 rpm으로 증가함에 따라 트랙터 연료소비율은 0.33, 0.30, 0.36 L/kW·h로 증가하였다. 이 결과는 기어단수를 고단으로 하고 엔진회전속도를 저속으로 유지하면 트랙터 연료효율을 높일 수 있다는 것을 의미하며, 선행 연구 결과(Grisso and Pitman, 2001)에서도 “Gear up & Throttle Down” 기술을 사용하면 트랙터 연료소모량을 30% 절감할 수 있다고 보고하였다.

그림 7은 스로틀 엔진회전속도와 트랙터 기어단수에 따른 트랙터 CO₂ 배출량 변화를 나타낸 그림이다. 이 결과는 미사질식토에서 기어단수 4단(0.4, 0.6, 0.9 m/s), 5단(0.6, 0.7, 1.1 m/s), 6단(0.7, 0.9, 1.5 m/s)으로 쟁기작업을 수행했을 때 나타난 결과이다.

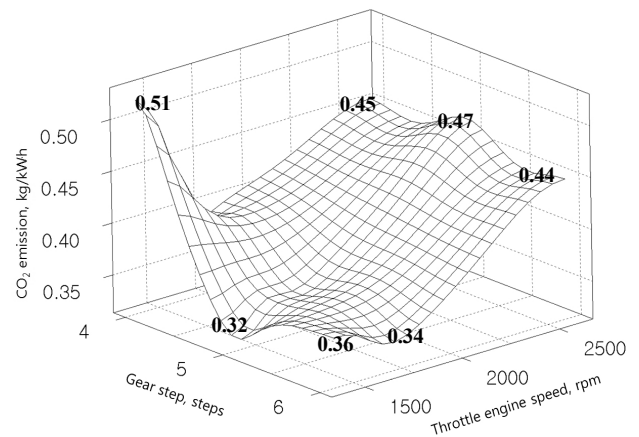


Fig. 7 Characteristics of tractor CO₂ emission by the gear step and throttle engine speed at plowing operation.

트랙터 CO₂ 배출량은 스로틀 엔진회전속도에 비례하여 증가하였으며, 기어단수에 따라서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 기어단수 6단의 경우 스로틀 엔진회전속도가 1400, 1700, 2600 rpm으로 증가함에 따라 트랙터 CO₂ 배출량은 0.36, 0.34, 0.44 kg/kW·h로 증가하였으며, 스로틀 엔진회전속도 1400 rpm의 경우 기어단수가 4, 5, 6단으로 증가함에 따라 트랙터 CO₂ 배출량은 0.51, 0.32, 0.36 kg/kW·h로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 경운정지 작업을 통하여 트랙터 농작업 부하를 계측하고, 트랙터 연료소모량에 영향을 미치는 요인 간의 상관관계를 검증하고, 각각의 요인이 연료소비율과 CO₂ 배출량에 미치는 특성을 검증하였다.

- (1) 트랙터 연료소모량은 스로틀 엔진회전속도, 기어단수, 작업종류에 따라 영향을 크게 받은 반면 토양의 종류에 따라서는 영향을 적게 받은 것으로 나타났다.
- (2) 트랙터 출력은 쟁기작업에서 9.4~22.7 kW, 마른로타리 작업에서 10.6~17.3 kW, 무논로타리 작업에서 15.8~21.1 kW, 무논정지 작업에서 9.2~15.0 kW 범위로 나타났다.
- (3) 트랙터 연료소비율은 쟁기작업에서 0.33~0.36 L/kW·h, 마른로타리 작업에서 0.30~0.45 L/kW·h, 무논로타리 작업에서 0.19~0.34 L/kW·h, 무논정지 작업에서 0.28~0.39 L/kW·h 범위로 나타났다.
- (4) 트랙터 CO₂ 배출량은 쟁기작업에서 0.36~0.45 kg/kW·h, 마른로타리 작업에서 0.35~0.58 kg/kW·h, 무논로타리 작업에서 0.22~0.42 kg/kW·h, 무논정지 작업에서 0.24~0.37 kg/kW·h로 연료소비율과 유사한 경향으로 나타났다.
- (5) 트랙터 연료소비율은 스로틀 엔진회전속도에 비례하고 기어단수에 반비례하는 것으로 나타나 연료절감을 위해서는 트랙터 기어단수를 고단으로 하고 엔진회전속도를 저속으로 운전해야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Choi, C. H. and M. J. NahmGung. 2000. Load measurement of tractor on field performance. Proceedings of the KSAM 2000 Summer Conference 5(2):29-34. (In Korean)
2. Firestine, N., L. Furrey, C. Aslin, E. Crivella and J. A. Sautter. 2007. The Farmer's Handbook for Energy Self-reliance. The Institute for Energy and the Environment Vermont Law School. pp. 20-26. South Royalton, USA.
3. 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)
4. Gotoh, T. and T. Teshima. 2010. Effect of operating conditions of an agricultural tractor on fuel consumption (part 4)-fertilizing, cultivating and road traveling test-. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 72(1):72-79. (In Japanese)
5. 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.
6. 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.
7. Kim, S. C., K. U. Kim and D. C. Kim. 2009. Analysis of drawbar load acting on tractor engine at maximum drawbar power. Journal of Biosystems Engineering 34(2):71-76. (In Korean)
8. Kim, S. C. and K. U. Kim. 2010. Rating agricultural tractors by fuel efficiency. Journal of Biosystems Engineering 35(2): 69-76. (In Korean)
9. Kim, S. C. and S. M. Han. 2002. The study of the effects of driving conditions on passenger car fuel economy. Proceedings of the KSAE 2002 Spring Conference. pp. 166-171. (In Korean)
10. Lancas, K. P., S. K. Upadhyaya, M. Sime and S. Shafii. 1996. Overinflated tractor tires waste fuel, reduce productivity. California Agriculture 51(2):28-32. UC Davis, California, USA.
11. Lee, K. S., I. K. Oh, Y. S. Kang, S. K. Choi, S. Y. Hwang and T. Y. Choi. 1998. Combustion engineering. Hyung Seoul Publish. pp. 74-140. H.S.P., Seoul, Korea. (In Korean)
12. 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. Characteristics of tractor PTO power and work loads. Journal of Biosystems Engineering 35(1):15-20. (In Korean)
13. 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. 2010b. Development of eco driving system for agricultural tractor. Journal of Biosystems Engineering 35(2):77-84. (In Korean)
14. 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)
15. Teshima, T. and T. Gotoh. 2010. Effect of operating conditions of an agricultural tractor on fuel consumption (part 3)-puddling and mole drainage test-. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 72(1):63-71. (In Japanese)