

농업용 트랙터의 연료 소비 효율 등급화

김수철 김경욱

Rating Agricultural Tractors by Fuel Efficiency

S. C. Kim K. U. Kim

Abstract

This study was conducted to develop an index of fuel consumption to rate agricultural tractors by their fuel efficiencies. The fuel consumption index consisted of two components: basic and operational indexes. The basic index is to consider an average amount of fuel consumed by engine when it transmits 20 and 100% of the rated power. The operational index is to consider the fuel consumed by tractor for typical field operations: plowing, rotavating, and the remains. The equations and procedures to obtain these indexes were proposed. The method and fuel consumption rate to classify tractors into 5 grades were also proposed. The best 15% of the tractor models were rated as the first grade, 20% as the second grade, 30% as the third grade, 20% as the fourth grade, and 15% as the fifth grade in order of fuel efficiency. Using the fuel consumption index, the classification was conducted on 143 tractor models tested at the National Institute of Agricultural Engineering from 2000 to 2007. The proposed 5-grade system of classification using the fuel consumption index could be used to rate the fuel efficiency of 20-100 kW tractor models produced over past 10 years in Korea.

Keywords : Fuel consumption index, Fuel efficiency, Agricultural tractor

1. 서론

트랙터는 농업용 난방기 다음으로 많은 에너지를 소비하는 농업 기계이다. 2008년 현재 국내의 트랙터 보급 대수는 약 25만여 대이며, 연간 305,477 kL의 면세유를 소비하고 있다 (NACF, 2009). 즉, 대당 연 평균 1.22 kL를 소비하고 있는 실정이다. 그러나 연료 절약에 대한 농민들의 인식은 극히 낮으며, 제조업체에서도 트랙터의 에너지 효율에 대한 관심이 낮은 편이다. 농업 기계에 공급되는 면세유는 에너지 효율에 대한 무관심의 한 원인이 되고 있다. 에너지 효율 등급화가 정착되고 있는 자동차, 가전 제품 등에서는 농업 기계에서도, 특히 연료 소비가 많은 트랙터를 대상으로 에너지 효율 등급화를 추진하여 연료의 경제성에 대한 농민과 제조업체의 관심을 높일 필요가 있다.

트랙터의 연료 소비율은 엔진 성능과 출력 상태에 따라 변

하며, 출력은 작업 부하와 전동 라인의 전동 효율에 따라 변한다. 트랙터는 다양한 조건에서 작업하기 때문에 작업 부하는 변화의 폭이 크며, 엔진 성능과 전동 효율은 트랙터에 따라 다르다. 즉, 모든 작업 부하와 트랙터의 특성을 고려하여 연료 소비율을 측정하기는 대단히 어렵다. 따라서 트랙터의 에너지 효율을 결정하기 위해서는 트랙터의 연료 소비 수준을 대표할 수 있는 연료 소비율 지표가 요구된다.

트랙터의 연료 소비율은 OECD 시험 성적서(OECD, 2008) 또는 국내의 트랙터 시험 성적서(NIAE, 2001-2007)를 통하여 공개되고 있다. 그러나 시험 성적서의 연료 소비율은 특정 시험 조건에서 측정된 것이기 때문에 다양한 실제 작업 조건에서 소비되는 연료 소비 수준을 나타내는 지표로서는 적합하지 않다. 실제 연료 소비율은 작업 부하 조건에서 직접 측정하거나 또는 시험 성적서의 데이터를 이용하여 간접적으로 추정하여야 한다.

The article was submitted for publication on 2009-10-22, reviewed on 2010-01-08, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-03-11. The authors are Soo Chul Kim, Graduate Student, and Kyeong Uk Kim, Professor, Seoul National University, Seoul, Korea. Corresponding author: K. U. Kim, Professor, Department of Biosystems and Biomaterial Science and Engineering, and Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea; Fax: +82-02-873-2049; E-mail: <kukim@snu.ac.kr>.

국내에서 시행하고 있는 일반 차량의 에너지 효율은 ‘자동차의 에너지 소비 효율 및 등급 표시에 관한 규정’(MKE, 2008)에 따라 등급화하고 있다. 이 규정은 도심 지역의 주행 특성을 반영한 CVS-75 모드에서 측정된 차량의 배기 가스를 분석하여 연료 소비량을 추정하고 이를 에너지 효율 지표로서 사용토록 한 것이다. CVS-75 모드는, 실제 도로가 아닌, 25°C, 40%의 습도를 유지한 밀폐된 공간에서 31분 15초 동안 총 17.85 km를 주행하며, 23차례의 정지, 최고 속도 91.2 km/h, 평균 속도 34.1 km/h의 주행 특성을 가지도록 한 것이다. 등급화는 연간 총 판매 차량의 평균 연료 소비량을 중간 등급으로 설정하고, 연료 소비량 분포, 기술 발전, 에너지 절약 정책 등을 고려하여 5등급으로 하였다.

해외에서는 Gil-Sierra 등(2007)이 트랙터에 대한 에너지 효율을 7등급으로 구분하는 등급화 방법을 제시하였다. 이들은 정격 속도의 부분 부하 시험과 견인 출력 시험에서 측정된 연료 소비율 데이터를 이용하여, 작업 시간과 전동 라인의 효율을 고려한 정격 출력시 연료 소비율을 추정하고 이를 에너지 효율 지표로 사용하였다. 지수 함수로서 표현한 이 정격 출력-연료 소비율 선도를 중간 등급인 4등급으로 하고, 이를 기준으로 7%씩 연료 소비율을 증감하여 1등급에서 7등급까지 구분하였다.

트랙터의 작업 부하와 관련하여 Park 등(2009)은 대부분의 트랙터 작업은 OECD 트랙터 시험 코드(OECD, 2008)에서 정한 정격 속도의 부분 부하 조건과 비정격 속도의 부분 부하 조건 즉, 정격 속도의 90% 속도에서 정격 출력의 80%와 40%, 정격 속도의 60% 속도에서 정격 출력의 60%와 40%인 상태와 유사한 조건에서 이루어진다고 하였다. 따라서 비정격 속도의 부분 부하 상태에서 측정된 OECD 트랙터 시험 성적서의 연료 소비량을 트랙터의 연료 소비량 지표로 활용하는 데는 무리가 없다고 하였다. Nahmgung(2001)은 트랙터를 이용한 쟁기 작업과 로터리 작업의 출력 수준을 측정하였다. 그의 연구 결과에 의하면 쟁기 작업의 출력 수준은 전형적인 작업 속도인 5~10 km/h일 때 대부분 정격 출력의 50~90% 정도이었으며, 쟁기 작업의 21.1%, 15.8%, 26.3%, 21.1%에서는 출력 수준이 각각 정격 출력의 50~60%, 60~70%, 70~80%, 80~90%인 것으로 나타났다. 로터리 작업도 전형적인 작업 속도인 2~3 km/h에서 출력 수준은 정격 출력의 50~90% 정도이었으며, 로터리 작업의 47.6%, 28.6%에서는 출력 수준이 각각 정격 출력의 70~80%, 80~90%인 것으로 나타났다.

1500 표본 농가를 대상으로 한 농기계 이용 실태 조사(RDA, 2007)에 의하면, 트랙터의 연간 이용 시간은 평균 194.5시간이고, 연료 소비가 가장 많은 쟁기 작업과 로터리 작업은 각각 31.5시간, 63.5시간으로 연간 이용 시간의 16.2%와 32.6%를 차지하였다. 쟁기 작업과 로터리 작업을 제외한 운반, 파

종, 방제 작업 등에 사용된 시간은 99.5시간으로 51.2%이었다.

본 연구의 목표는 트랙터의 성능, 작업 부하, 연간 이용 시간을 고려하여 에너지 효율을 나타낼 수 있는 연료 소비율 지표를 개발하고, 이 지표를 이용하여 트랙터의 에너지 효율을 등급화할 수 있는 기준을 제시하기 위한 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 연료 소비율 지표 개발

트랙터의 에너지 효율을 등급화하기 위해서는 연료 소비율 지표가 요구된다. 본 연구에서는 정격 속도에서 에너지 효율을 나타내기 위한 기본 연료 소비율 지표와 작업 상태에서 에너지 효율을 나타내기 위한 작업 연료 소비율 지표를 개발하고 이를 통합한 통합 연료 소비율 지표로써 트랙터의 에너지 효율을 나타내었다.

1) 기본 연료 소비율 지표

기본 연료 소비율 지표는 트랙터의 기본 성능으로서 정격 속도에서 소비되는 연료의 양을 나타내기 위한 것이다. 농작업을 수행할 때 트랙터의 출력 범위는 보통 정격 출력의 17-100%이므로(Park et al., 2009), 이를 반영하여 기본 연료 소비율 지표는 정격 속도에서 출력이 각각 정격 출력의 20%와 100%일 때의 연료 소비율을 평균하여 결정하였다. 즉, 기본 연료 소비율 지표는 식 (1)에서와 같이 결정하였다.

$$EF_{rated} = \frac{SVFC_{100} + SVFC_{20}}{2} \quad (1)$$

where, EF_{rated} = basic index of fuel consumption at rated speed, L/kW·h

$SVFC_{100}$ = specific volumetric fuel consumption when engine transmits the rated power at rated speed, L/kW·h

$SVFC_{20}$ = specific volumetric fuel consumption when engine transmits 20% of the rated power at rated speed, L/kW·h

정격 속도에서 출력이 정격 출력의 20%와 100%일 때의 연료 소비율은 Kim 등(2010)의 예측식을 이용하여 추정할 수 있다. 즉 OECD 트랙터 시험 성적서에 제시된 정격 속도의 부분 부하 상태에서 측정된 연료 소비량 데이터를 이용하여 식 (2)에서와 같이 구한다. 이때 상수 a, b는 연료 소비율이 최대인 출력점과 최소인 출력점의 연료 소비량 데이터를 이용하여 구한다.

$$Q = aP + b \quad (2)$$

where, Q = fuel consumption, L/h
 P = power, kW
 a, b = coefficients

2) 작업 연료 소비율 지표

작업 연료 소비율 지표는 대표적인 트랙터 작업을 쟁기 작업, 로터리 작업, 이를 제외한 기타 작업으로 구분하고, 각 작업별 전동 효율과 연간 작업 시간을 반영하여 각 작업을 수행할 때 예상되는 연료 소비율로써 결정하였다.

(가) 쟁기 작업의 작업 연료 소비율 지표

Nahmngung(2001)의 시험 결과에 의하면 쟁기 작업의 21.1%, 26.3%, 21.1%에서 나타난 평균 출력은 각각 정격 출력의 55%, 75%, 85%이였으므로, 쟁기 작업을 수행할 때의 출력 수준은 이를 기준으로 하였다. 각 출력 수준에서 쟁기 작업의 연료 소비율은 식 (2)로써 예측하였으며, 이를 평균한 연료 소비율에 전동 라인의 효율과 연간 작업 시간 비중을 반영하여 식 (3)에서와 같이 쟁기 작업의 작업 연료 소비율 지표를 결정하였다.

$$EF_p = \%t_p \times \frac{SVFC_{55} + SVFC_{75} + SVFC_{85}}{3\eta_p} \quad (3)$$

where, EF_p = fuel consumption index of plowing operation, L/kW·h
 $\%t_p$ = annual time portion of plowing operation, decimal
 $SVFC_i$ = specific volumetric fuel consumption when engine transmits i % of the rated power at rated speed, L/kW·h
 η_p = transmission efficiency for plowing operation, decimal

(나) 로터리 작업의 작업 연료 소비율 지표

로터리 작업을 수행할 때의 출력 수준도 Nahmngung(2001)의 시험 결과를 이용하여, 로터리 작업의 47.6%와 28.6%에서 나타난 출력 수준의 평균 출력 즉, 정격 출력의 75%와 85% 2수준으로 하였다. 로터리 작업의 연료 소비율 지표는 쟁기 작업에서와 같이 각 출력 수준에서 예상되는 연료 소비율의 평균을 구하고 전동 라인의 효율과 연간 작업 시간 비중을 반영하여 식 (4)에서와 같이 결정하였다.

$$EF_r = \%t_r \times \frac{SVFC_{75} + SVFC_{85}}{2\eta_r} \quad (4)$$

where, EF_r = fuel consumption index of rotary operation, L/kW·h

$\%t_r$ = annual time portion of rotary operation, decimal

$SVFC_i$ = specific volumetric fuel consumption when engine transmits i % of the rated power at rated speed, L/kW·h

η_r = transmission efficiency for rotary operation, decimal

(다) 기타 작업의 작업 연료 소비율 지표

쟁기 및 로터리 작업 이외의 기타 작업에 대한 작업 연료 소비율 지표는 OECD 트랙터 시험 코드에 따라 비정격 속도의 부분 부하 상태 즉, 정격 속도의 90%인 속도에서 출력이 각각 정격 출력의 80%와 40%인 상태와 정격 속도의 60%인 속도에서 출력이 각각 정격 출력의 60%와 40%인 상태에서 측정된 4개의 연료 소비율 데이터를 평균하여 구하고, 기타 작업의 연간 시간 비중을 반영하여 식 (5)에서와 같이 결정하였다. 기타 작업에서는 다수의 변속 단수에서 작업이 이루어지기 때문에 전동 효율을 추정하기가 불가능하여 이를 고려하지 않았다. 그러나 기타 작업에서 전동 효율이 연료 소비율에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. OECD 트랙터 시험 성적서가 없는 경우에는 Kim 등(2010)이 개발한 연료 소비량 예측식을 이용하여 비정격 속도의 부분 부하 상태에서 예상되는 연료 소비율을 구한다.

$$EF_m = \%t_m \times \frac{SVFC_{90/80} + SVFC_{90/40} + SVFC_{60/60} + SVFC_{60/40}}{4\eta_m} \quad (5)$$

where, EF_m = fuel consumption index of miscellaneous operations, L/kW·h

$\%t_m$ = annual time portion of miscellaneous operations

$SVFC_{i,j}$ = specific volumetric fuel consumption when engine transmits j% of the rated power at i% of rated speed, L/kW·h

η_m = transmission efficiency for miscellaneous operations

(라) 전동 효율

식 (3)과 (4)의 전동 효율은 엔진의 전부하 출력에 대한 구동축 출력의 비로서, 다음과 같은 방법으로 구하였다.

① 정격 엔진 속도에서 5~10 km/h의 쟁기 작업 속도를 얻기 위한 변속 단수와 2~3 km/h의 로터리 작업 속도를 얻기 위한 변속 단수를 결정한다. 무단 변속인 경우에는 작업 속도

와 같은 견인 성능 시험의 주행 속도를 결정한다.

② 다음 식을 이용하여 견인 성능 시험 성적서에 제시된 해당 변속 단수의 견인 출력을 구동축 출력으로 변환한다.

$$P_s = \frac{P_d}{1-s} \quad (6)$$

where, P_s = power at driving axle, kW

P_d = drawbar power, kW

s = slip, decimal

③ 견인 성능 시험 성적서에 제시된 해당 변속 단수의 연료 소비량 데이터를 이용하여 해당 변속 단수의 엔진 속도에서 엔진의 전부하 출력을 구한다. 엔진 속도가 정격 속도보다 고속인 경우에는 정격 속도의 연료 소비량 예측식 (2)를 이용하여 다음과 같이 전부하 출력을 구한다.

$$P_f = \frac{Q-b}{a} \quad (7)$$

where, P_f = full throttle power at selected gear, kW

Q = fuel consumption at selected gear, L/h

엔진 속도가 정격 속도보다 저속인 경우에는 Kim 등 (2010)이 개발한 전부하 출력 모델을 이용하여 다음 식으로 구한다.

$$P_f = k_1 n^2 + k_2 n + k_3 \quad (8)$$

where, n = ratio of engine speed to rated speed

식 (7)과 (8)에서 상수 a , b 와 k_1 , k_2 , k_3 는 각각 OECD 트랙터 시험 성적서에 제시된 정격 속도에서 부분 부하 상태와 전부하 상태에서 측정된 연료 소비량과 출력 데이터를 이용하여 구한다.

④ 엔진에서 구동축까지 전동 라인의 동력 전달 효율은 전부하 출력에 대한 구동축 출력의 비로서 식 (9)에서와 같이 구한다.

$$\eta = \frac{P_s}{P_f} \quad (9)$$

where, η = power efficiency of tractor driveline

P_f = full load power, kW

⑤ 견인 성능 시험 성적서에서 쟁기 작업 속도와 로터리 작업 속도에 해당되는 변속 단수가 다수인 경우에는 각 변속 단수에 대한 효율을 평균하여 각각의 작업에 대한 동력 전달 효율을 구한다. 즉, 식 (10)과 (11)을 이용하여 쟁기 작업과 로터리 작업의 동력 전달 효율을 구한다.

$$\eta_p = \frac{\sum \eta_{pi}}{n_{gp}} \quad (10)$$

$$\eta_r = \frac{\sum \eta_{ri}}{n_{gr}} \quad (11)$$

where, η_p = efficiency of power transmission for plowing operations

η_{pi} = efficiency of power transmission with i th gear for plowing operations

n_{gp} = number of gears for plowing speed

η_r = efficiency of power transmission for rotavating operations

η_{ri} = efficiency of power transmission with i th gear for rotavating operations

n_{gr} = number of gears for rotavating speed.

3) 통합 연료 소비율 지표

통합 연료 소비율 지표 EF 는 기본 연료 소비율 지표와 작업 연료 소비율 지표의 비중을 1:2로 하여 다음과 같이 결정하였다. 비중의 차이는 통합 연료 소비율 지표에서 작업 부하에 의한 연료 소비율의 비중을 높이기 위한 것이다(Gil-Sierra et al., 2007).

$$EF = \frac{EF_{rated} + 2(EF_p + EF_r + EF_m)}{3} \quad (12)$$

정격 출력이 같은 트랙터의 통합 연료 소비율 지표를 평균하여 평균 통합 연료 소비율을 구하고, 이를 식 (13)에서와 같이 트랙터의 정격 출력의 함수로서 표시한다.

$$EFM = f(P_r) \quad (13)$$

where, EFM = average total fuel consumption for rated power P_r , L/kW·h

P_r = rated power, kW

나. 연료 소비율 등급화 기준 개발

1) 등급화 대상 트랙터 모델

에너지 효율 등급화의 기준은 기술 발전에 따라 변할 수 있으며, 절대적인 값은 아니다. 이를 테면 현재의 1등급 기준이 몇 년 후에는 기술 발전에 따라 2등급 또는 3등급이 될 수도 있다. 따라서 등급화는 현재의 시점에서 일정 기간 동안 생산된 제품 또는 생산될 제품을 대상으로 할 수밖에 없다. 본 연구에서는 2001년부터 2007년까지 농업공학연구소(NIAE, 2001-2007)에서 시험한 총 143개 모델의 트랙터(20~100 kW)를 대상으로 등급화의 기준을 설정하였다. 즉 143모델에 대한 성능 시험 성적서의 연료 소비율 데이터를 이용하여 본 연구에서 개발된 기본 연료 소비율 지표, 작업 연료 소비율 지표 및 통합 연료 소비율 지표를 구하고, 이를 이용하여 각 트랙터 모델의 에너지 소비 효율을 등급화하였다.

2) 연료 소비율 등급화 기준

트랙터에 대한 에너지 효율 등급은 국내의 자동차에 대한 등급화 기준에서와 같이 5등급으로 하였으며, 각 등급별 기준은 각 모델의 통합 연료 소비율 지표와 이 모델의 평균 연료 소비율의 차이를 이용하여 다음과 같은 방법으로 설정하였다.

- ① 식 (12)를 이용하여 트랙터 i 의 통합 연료 소비율 지표 EF_i 를 구한다.
- ② 식 (13)에서와 같이 정격 출력이 P_i 인 트랙터 i 의 평균 통합 연료 소비율 EFM_i 를 구한다.
- ③ 등급화 대상 트랙터 모델 N 대의 각 모델에 대하여 통합 연료 소비율 지표와 평균 통합 연료 소비율의 차이

$$\Delta EF_i = EF_i - EFM_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (14)$$

를 구하고, ΔEF_i 의 평균과 평균에 대한 표준 편차를 구한다. 즉,

$$\Delta EF_{avg} = \frac{\sum_i \Delta EF_i}{N} \quad (15)$$

$$\sigma_{\Delta EF} = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta EF_i - \Delta EF_{avg})^2}{N-1}} \quad (16)$$

구한다.

- ④ ΔEF_i 는 정규 분포를 나타내므로 식 (17)에서와 같이

표준화된 정규 분포의 변수 Z 값을 구한다.

$$Z = \frac{\Delta EF_i - \Delta EF_{avg}}{\sigma_{\Delta EF}} \quad (17)$$

- ⑤ 등급을 5등급으로 하여
 - 1등급은 등급화 대상 트랙터의 15%,
 - 2등급은 등급화 대상 트랙터의 20%
 - 3등급은 등급화 대상 트랙터의 30%
 - 4등급은 등급화 대상 트랙터의 20%
 - 5등급은 등급화 대상 트랙터의 15%

로 설정하고, 표준화한 ΔEF_i 의 정규 분포에서 각 등급의 %에 해당되는 Z 값을 구한다. 그림 1은 정규 분포에서 등급별 %와 각 등급별 경계값 Z 를 나타낸 것이다.

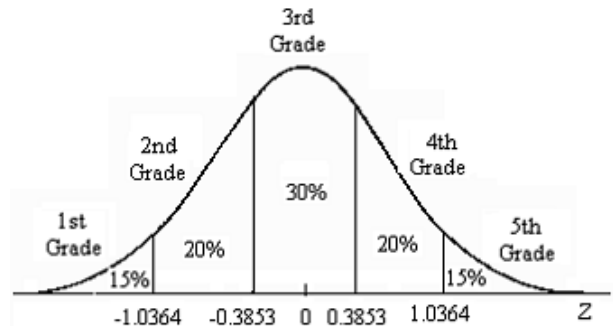


Fig. 1 Classification of fuel consumption.

식 (17)을 이용하여 다음과 같이 각 등급별 연료 소비율 기준을 설정하였다.

- 1등급: $\Delta EF_i < \Delta EF_{avg} - 1.0364\sigma_{\Delta EF}$
- 2등급: $\Delta EF_{avg} - 1.0364\sigma_{\Delta EF} \leq \Delta EF_i < \Delta EF_{avg} - 0.3853\sigma_{\Delta EF}$
- 3등급: $\Delta EF_{avg} - 0.3853\sigma_{\Delta EF} \leq \Delta EF_i < \Delta EF_{avg} + 0.3853\sigma_{\Delta EF}$
- 4등급: $\Delta EF_{avg} + 0.3853\sigma_{\Delta EF} \leq \Delta EF_i < \Delta EF_{avg} + 1.0364\sigma_{\Delta EF}$
- 5등급: $\Delta EF_{avg} + 1.0364\sigma_{\Delta EF} \leq \Delta EF_i$ (18)

3. 결과 및 고찰

가. 연료 소비율 지표

그림 2는 트랙터의 정격 출력에 따라 식 (1)로써 구한 143개 모델의 기본 연료 소비율 지표의 범위를 나타낸 것이다. 전체적으로 기본 연료 소비율 지표는 0.44-0.86 L/kW·h의 범위에 있었으며, 전체 평균과 표준 편차는 각각 0.597 L/kW·h, 0.0792 L/kW·h이었다. 그러나 그림 2에서와 같이 기본 연료

소비율 지표의 범위와 평균은 트랙터의 정격 출력이 클수록 좁아지고 감소하였다. 즉 정격 출력이 클수록 연료 소비율이 낮아 에너지 효율은 높았다.

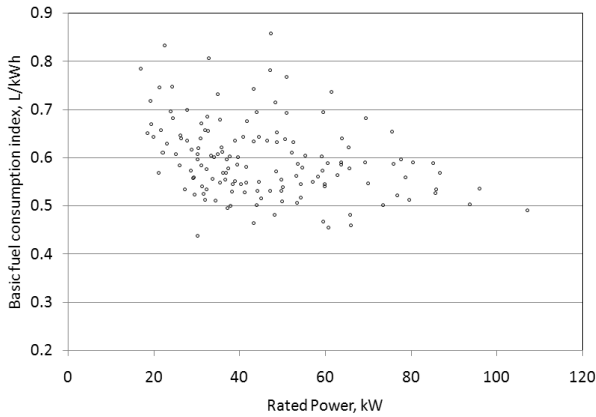


Fig. 2 Distribution of basic fuel consumption index.

그림 3은 트랙터의 정격 출력에 따라 식 (3), (4), (5)로써 구한 작업 연료 소비율 지표의 분포를 나타낸 것이다. 작업 연료 소비율 지표의 전체 범위는 0.29-0.52 L/kW·h이었으며, 평균은 0.385 L/kW·h, 표준 편차는 0.0616 L/kW·h이었다. 작업 연료 소비율 지표의 범위와 평균도 그림 3에서와 같이 트랙터의 정격 출력이 클수록 좁아지고 감소되었다. 즉, 에너지 효율이 높았다.

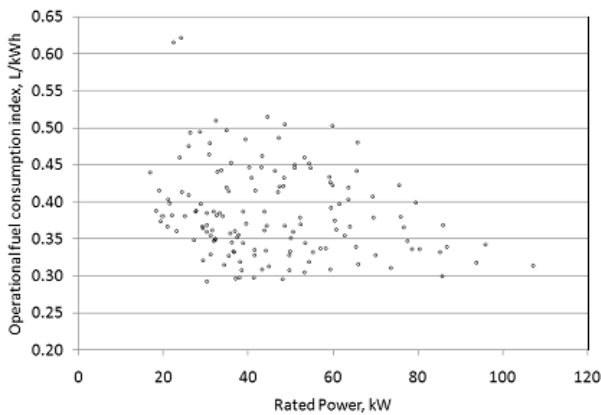


Fig. 3 Distribution of operational fuel consumption index.

그림 4는 트랙터의 정격 출력에 따라 식 (12)로써 구한 143개 트랙터 모델의 통합 연료 소비율 지표의 분포를 나타낸 것이다. 통합 연료 소비율 지표의 총 범위는 0.35-0.60 L/kW·h이었으며, 평균은 0.456 L/kW·h, 표준 편차는 0.0607 L/kW·h이었다. 정격 속도에 따른 통합 연료 소비율 지표의 범위와 평균은 기본 연료 소비율 지표와 작업 연료 소비율 지표의 경향과 유사한 경향을 나타내었으며, 평균 통합 연료 소비율 지

표는 식 (19)에서와 같이 정격 출력의 로그 함수로 나타났다.

$$EFM = -0.048 \ln P_r + 0.6341 \quad (19)$$

where, EFM = average total fuel consumption for rated power P_r , L/kW·h

P_r = rated power, kW

즉, 식 (19)로 구한 통합 연료 소비율 지표는 정격 출력이 P_r 인 트랙터 모델의 평균 통합 연료 소비율이다.

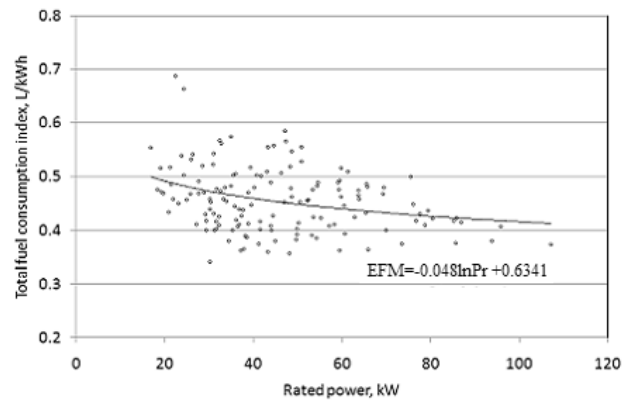


Fig. 4 Distribution of total fuel consumption index.

나. 연료 소비율 등급화

본 연구에서 등급화 대상으로 한 트랙터의 모델 수는 $N=143$ 대이었으며, 각 모델의 통합 연료 소비율 지표와 해당 모델의 평균 통합 연료 소비율의 차이는 그림 5에서와 같이 정규 분포로 나타났다. 또한 차이의 평균과 편차는 각각 $\Delta EF_{avg} = 0.0018$ L/kW·h, $\sigma_{\Delta EF} = 0.0577$ L/kW·h이었다. 따라서 트랙터의 에너지 효율 등급화의 기준은 식 (18)식을 이용하여 다음과 같이 설정하였다.

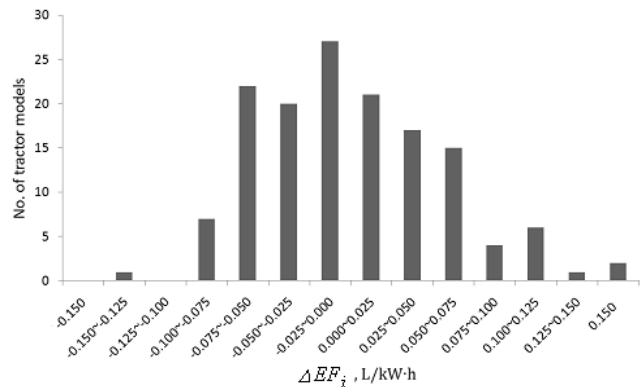


Fig. 5 Distribution of ΔEF_i .

- 1등급: $\Delta EF_i < -0.058$, L/kW·h
- 2등급: $-0.058 \leq \Delta EF_i < -0.02043$, L/kW·h
- 3등급: $-0.02043 \leq \Delta EF_i < 0.02403$, L/kW·h
- 4등급: $0.02403 \leq \Delta EF_i < 0.06160$, L/kW·h
- 5등급: $0.06160 \leq \Delta EF_i$, L/kW·h

(20)

식 (20)의 등급화 기준을 적용하여 143대의 트랙터 모델을 등급화한 결과는 그림 6에서와 같이 1등급이 18모델, 2등급이 37모델, 3등급이 43모델, 4등급이 27모델, 5등급이 18모델이었다.

특정 트랙터 i 의 연료 소비율 등급은 식 (19)를 이용하여 이 트랙터의 정격 출력 P_r 에 해당하는 평균 통합 연료 소비율 지표 EFM_i 를 구하고, 이 트랙터의 통합 연료 소비율 지표 EF_i 와 EFM_i 의 차이 즉, ΔEF_i 를 식 (20)에 대입하여 구하였다. ΔEF_i 를 식 (20)에 대입하면, 특정 트랙터 i 의 등급은 이 트랙

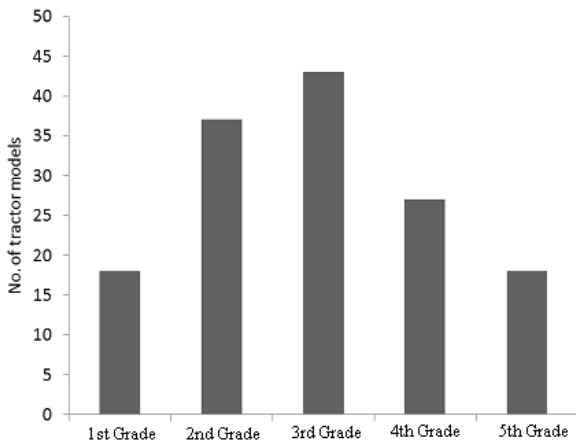


Fig. 6 Number of tractor models classified by fuel consumption.

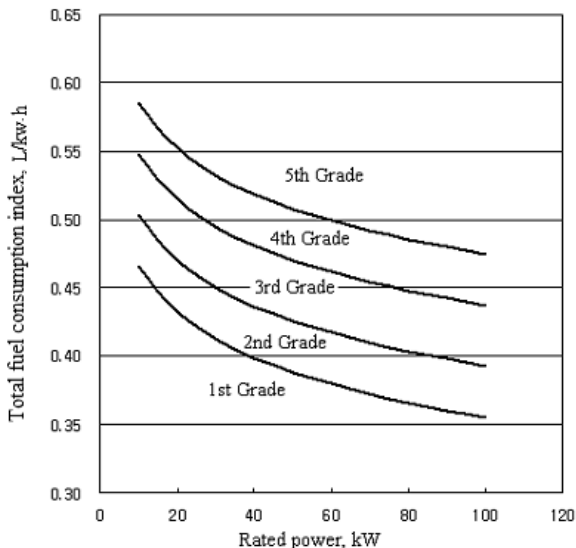


Fig. 7 Rating boundaries of fuel consumption.

터의 통합 연료 소비율 지표 EF_i 에 따라 결정된다. 정격 출력이 50 kW인 트랙터의 경우, 평균 통합 연료 소비율 지표는 식 (19)에 의하여 0.4463 L/kW·h이었다. 따라서 50 kW급 트랙터의 등급화 기준은 통합 연료 소비율 지표 EF_i 에 따라 1등급은 0.3883 L/kW·h 미만, 2등급은 0.3883~0.4259 L/kW·h, 3등급은 0.4259~0.4703 L/kW·h, 4등급은 0.4703~0.5079 L/kW·h, 5등급은 0.5079 L/kW·h 이상이 된다. 그림 7은 이러한 방법으로 등급화 기준을 트랙터의 정격 출력에 따라 통합 연료 소비율 지표로써 나타낸 것이다. 1등급과 5등급 사이의 통합 연료 소비율 지표의 차이는 20-25%이었으며, 트랙터의 정격 출력이 증가할수록 그 차이도 증가되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 OECD 트랙터 시험 성적서의 데이터를 이용하여 트랙터의 에너지 효율 등급화를 위한 연료 소비율 지표를 개발하고, 2000년부터 2007년까지 농업공학연구소에서 시험한 143개 모델의 트랙터(20~100 kW)를 대상으로 등급화 기준을 설정하였다.

트랙터의 연료 소비율 지표는 기본 지표와 작업 지표를 통합한 통합 연료 소비율 지표로써 나타내었다. 기본 지표는 트랙터의 기본 성능을 나타내기 위한 것으로서 정격 속도에서 출력이 각각 정격 출력의 20%와 100%일 때의 연료 소비율의 평균으로 정하였으며, 작업 지표는 트랙터 작업을 쟁기 작업, 로터리 작업, 이를 제외한 기타 작업으로 구분하고 각 작업별 전동 효율과 연간 작업 시간을 반영하여 각각의 작업을 수행할 때 예상되는 연료 소비율로 결정하였다. 등급화는 등급 수를 5등급으로 하여, 1등급은 등급화 대상 모델의 15%, 2등급은 20%, 3등급은 30%, 4등급의 20%, 5등급은 15%로 하였다. 각 등급의 기준은 정규 분포를 따르는 각 모델 트랙터의 통합 연료 소비율 지표의 값과 이 모델의 평균 통합 연료 소비율의 차이를 표준화하여 설정하였다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 트랙터의 통합 연료 소비율 지표를 개발하여 제시하였다.
- (2) 정격 출력에 따른 트랙터의 평균 통합 연료 소비율 계산식을 개발하여 제시하였다.
- (3) 트랙터의 에너지 효율을 등급화하기 위한 5등급별 기준을 개발하여 제시하였다.
- (4) 개발된 통합 연료 소비율 지표와 기준을 적용하여 2000년부터 2007년까지 국내에서 시험한 143대의 트랙터 모델을 등급화 하였을 때 1등급이 18모델, 2등급이 37모델, 3등급이 43모델, 4등급이 27모델, 5등급이 18모델이었다.

본 논문에서 제시한 등급화 기준은 2000년부터 2007년까지 시험한 트랙터 모델의 성능을 기준으로 한 것으로 앞으로 2-3년간 2~100 kW급 트랙터에 이 기준을 적용하는 데는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 그러나 기술 발전에 따라 트랙터의 연비가 향상되는 경우에는 등급화 기준을 조정하여 기술 발전을 반영하여야 한다.

사 사

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D01344)

참 고 문 헌

1. Gil-Sierra, J., J. Ortiz-Cañavate, V. Gil-Quirós and J. Casanova. 2007. Energy efficiency in agricultural tractors: A methodology for their classification. *Applied Engineering in Agriculture* 23(2):145-150.
2. Kim, S. C., K. U. Kim and D. C. Kim. 2010. Modeling of fuel consumption rate for agricultural tractors. *Journal of Biosystems Engineering* 35(1):1-9. (In Korean)
3. MKE. 2008. Regulations on Energy Consumption Efficiency and Its Classification for Cars. Notification No. 2008-162. Ministry of Knowledge and Economy, Seoul, Korea. (In Korean)
4. NACF. 2009. Work Guidelines for Tax-free Fuels. National Agricultural Cooperative Federation, Seoul, Korea. (In Korean)
5. Nahmgung, M. J. 2001. Load measurement and life prediction for transmission on tractors. Unpublished Doctoral Thesis. Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. (In Korean)
6. NIAE. 2000~2007. Agricultural Machinery Test Report (Tractor). National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, Korea. (In Korean)
7. OECD. 2008. OECD Standard Code 2 for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance. OECD, Paris, France.
8. Park, S. H., C. K. Kim, Y. J. Kim, D. H. Im, S. C. Jung, H. J. Kim, J. S. Lee and S. S. Kim. 2009. Load characteristics of tractor PTO power and field operation. *Proceedings of the KSAM 2009 Summer Conference* 14(2):61-66. (In Korean)
9. RDA. 2007. Survey Results on Farm Machinery Utilization and Mechanization Ratio of Farm Operations. Korea Gallop, Seoul, Korea. (In Korean)