

농업용 트랙터의 주요 농작업 소요동력 분석

김용주 정선옥 박승제 최창현

Analysis of Power Requirement of Agricultural Tractor by Major Field Operation

Y. J. Kim S. O. Chung S. J. Park C. H. Choi

Abstract

The purpose of this study was to analyze power requirement of an agricultural tractor by major field operations. First a survey was conducted to obtain annual usage ratio of agricultural tractor by field operation. Plowing, rotary tillage, and loader operations were selected as major field operations of agricultural tractor. Second, a power measurement system was constructed with strain-gauge sensors to measure torque of four driving axles and a PTO axle, speed sensors to measure rotational speed of the driving axles and an engine shaft, pressure sensors to measure pressure of hydraulic pumps, an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to calculate power requirement. Third, the major field operations were experimented under fields with different soil conditions following planned operation paths. Power requirement was analyzed during the total operation period consisted of actual operation period (plowing, rotary tillage, and loader operations) and period before and after the actual operation (3-point hitch operating, forward and reverse driving, braking, and steering). Power requirement of tractor major components such as driving axle part, PTO part, main hydraulic part, and auxiliary hydraulic part were measured and calculated to determine usage ratio of agricultural tractor power. Results of averaged power requirement for actual field operation and total operation were 23.1 and 17.5 kW, 24.6 and 19.1 kW, and 14.9 and 8.9 kW, respectively, for plowing, rotary tillage, and loader operations. The results showed that rotary tillage required the greatest power among the operations. Averaged power requirement of driving axles, PTO axle, main hydraulic part, and auxiliary part during the actual field operation were 8.1, 7.8, 3.4, and 1.5 kW, respectively, and the total requirement power was about 70 % (20.8 kW) of the rated power. Averaged power requirement of driving axles, PTO axle, main hydraulic, and auxiliary hydraulic for the total operation period were 6.5, 6.0, 2.1, 0.9 kW, respectively, and total requirement power was about 52 % (15.5 kW) of the rated power. Driving axles required the greatest amount of power among the components.

Keywords : Agricultural tractor, Power requirement, Plowing, Rotary tillage, Loader operation

1. 서론

최근 자동차 산업은 유가 상승 및 환경 문제의 대두로 새로운 국면을 맞이하고 있다. 국제유가는 지속적으로 증가하

여(KNOC, 2010) 2030년에는 최고 배럴당 118.7 달러까지 상승 될 전망으로 자동차 산업의 유가 의존도는 가중될 것으로 예상된다(EIA, 2008). 자동차 분야의 환경 규제는 새로운 무역규제 방안의 하나로 선진국들은 그린라운드(Green Round)

This work was supported by the Technology Innovation Program funded by the Ministry of Knowledge Economy. The article was submitted for publication on 2011-04-06, reviewed on 2011-04-13, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-04-15. The authors are Yong Joo Kim, Senior Research Engineer, KSAM member, LS Mtron LTD., Anyang, Korea, Sun-Ok Chung, Assistant Professor, KSAM member, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea, Seung-Jae Park, Professor, KSAM member, Division of Bioresource System Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Chonbuk, Korea, and Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: S. O. Chung, Assistant Professor, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, 220 Gung-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon, 305-764, Korea; Fax: +82-42-822-6246; E-mail: <sochung@cnu.ac.kr>.

를 채택하고 있으며, EU는 STAGE, 미국은 TIER 등의 환경 규제 정책을 지속적으로 강화하고 있다(Ro et al., 2006). EU는 2012년 CO₂ 평균 배출량 기준을 120 g/km 이하로 의무화하고 있으나 국내에서 생산하는 유럽 수출용 차량은 170 g/km로 배기가스 배출량의 개선이 필요한 실정이다. 미국은 현재 TIER3를 적용하고 있으며, 2013년부터는 TIER4를 적용할 예정이나 국내 농용엔진 기술수준은 현재 TIER3에 머무르고 있어 국내 농업기계의 수출을 위협하고 있다. 특히 트랙터는 보유대수 243,531대로 트랙터, 이앙기, 콤파인 등의 농작업기 중 약 86%를 차지하고 있으며(KSAM, 2009), 유류 사용량은 전체 농업기계 1,975,000 kL의 약 16%로 난방기(64%) 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있어(RDA, 2008) 트랙터의 연료소모율 절감을 통한 친환경 고효율화가 필요한 실정이다.

친환경 고효율 트랙터에 관한 연구는 주로 자동차 분야의 no emission 전기 구동 방식과 하이브리드 기술을 이용하여 개발되고 있으며(Lee et al., 2008), 전기 구동 방식은 배터리의 전기 에너지만을 동력원으로 이용하므로 기존 내연기관의 효율 및 환경 문제를 모두 해결 할 수 있다는 장점은 있으나 배터리, 모터, 발전기, 제어기 등의 전기 구동 핵심부품이 고가인 단점이 있어 아직까지 트랙터에 적용이 어려운 실정이다. 하이브리드 기술은 기존 내연기관에 전기 구동 핵심부품을 추가로 장착하여 필요에 따라 디젤 엔진과 모터를 번갈아 사용하는 방식으로 근본적으로 내연기관을 사용하므로 환경 문제를 완전히 해소하기 어려운 한계가 있으나 기존 트랙터에 비해 에너지 효율 및 환경 문제를 개선할 수 있다는 장점이 있다. 또한 하이브리드 기술은 소용량의 전기 구동 핵심부품을 사용하므로 전기 구동 방식이 지닌 비용 문제를 해결할 수 있으며, 기존 내연기관 기술을 충분히 활용하면서 에너지 효율 측면에서도 경쟁력을 갖출 수 있는 가장 현실적인 방법으로 트랙터 적용 시 연비 개선 및 배기가스 감소 등의 효과 창출이 가능할 것으로 판단된다.

하이브리드 트랙터의 개발을 위해서는 하이브리드화 대상 요소 선정이 필요하며, 특히 트랙터는 자동차와 달리 주행을 주 목적으로 하고 있지 않으므로 농작업에 따른 구동차축, PTO, 유압장치 등의 주요 구성요소에 대한 소요동력을 분석하여 하이브리드 기술을 적용하는 것이 필요하다(Cho et al., 1997). 농작업에 따른 트랙터의 소요동력을 분석한 연구는 아직까지 미비한 실정이나 관련 연구로는 플라우 작업 시 엔진 및 차축의 부하 스펙트럼 분석(Kim, 1998), 로타리 작업 시 PTO축의 가혹도 분석(Nahmgung, 2001), 로타리 및 무논정지 작업 시 PTO 출력과 연료소모량 분석(Park et al., 2010) 등이 있다.

본 연구는 하이브리드 트랙터 개발을 위한 기초 연구로서 사용자 실태 조사를 실시하여 트랙터의 주요 농작업을 선정

하였으며, 주요 농작업에 따른 소요동력 계측시스템을 개발하고, 구동차축, PTO축, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력을 분석하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 트랙터 주요 농작업 시간 실태 조사

트랙터의 농작업 시간에 대한 사용자 실태 조사는 통계청의 지역별 트랙터 보유현황(MIFAFF, 2007) 자료를 참고하여 지역별 농업기계 대리점에서 추천한 농민을 대상으로 실시하였다. 실태 조사는 경기도 5명, 강원도 7명, 충청도 8명, 전라도 11명, 경상도 12명 등 총 43명을 대상으로 실시하였으며, 농업용 트랙터의 사용 마력과 작업별 연간 이용 시간을 설문조사 하였다.

나. 트랙터 동력 계측 시스템

1) 트랙터 제원

본 연구에서는 표 1과 같이 크기 3,359(L) × 1,100(W) × 2,415(H) mm, 무게 1,584 kg의 compact급 4륜구동 트랙터를 사용하였으며, 엔진 정격출력은 2,600 rpm에서 30 kW로 이때 PTO 출력은 28 kW이다.

트랙터의 유압장치는 플라우 및 로터의 승하강에 사용되는 주 유압 펌프와 조향 및 윤활에 사용되는 보조 유압 펌프로 구성되며, 엔진 직결 방식으로 최대 20.6 MPa까지 토출 압력이 가능하고 엔진의 회전속도에 따른 이론 토출량은 주 펌프가 12 cc/rev, 보조 펌프가 6 cc/rev로 작업기 사용을 위한 주 펌프에 더 많은 동력이 분배되고 있음을 알 수 있다.

Table 1 Specifications of the tractor used in the study

Item	Specification	
Length × Width × Height (mm)	3,359 × 1,100 × 2,415	
Weight (kg)	1,584	
Engine	Rated power (kW)	30 @2600 rpm
PTO	Rated power (kW)	28
Hydraulics	No. of pump	2 (main pump, auxiliary pump)
	Max. pressure (MPa)	20.6
	Pump displacement (cc/rev)	12 (main pump), 6 (auxiliary pump)
	Volumetric efficiency (%)	95

2) 구동차축 동력 측정 장치

트랙터 구동차축의 소요동력은 4개의 차축에 작용하는 토크와 차축의 회전속도를 측정하여 식 (1)과 같이 계산하였다

(Ryu, 2004). 차축의 토크는 Four element full-bridge 스트레인게이지(CEA-06-250US-350, Micro Measurement Co., USA)를 굽힘 모멘트의 영향을 최소화시키기 위해 축 방향에 대하여 45°로 부착하고(Nahmngung, 2001) 접촉식 슬립링을 이용하여 신호를 검출하였으며, 이때 스트레인게이지는 외부 충격을 완화하기 위해 코팅 처리하였다.

뒤차축의 스트레인게이지는 그림 1(a)와 같이 최종 구동축(final drive axle)에 부착하였으며, 회전속도는 뒤차축의 구조로 인해 별도의 회전속도 센서를 장착하는 것이 어려우므로 슬립링(SR-10M/E60, MI-Scientific Co., USA)에 내장된 엔코더를 사용하여 측정하였다. 앞차축은 그림 1(b)와 같이 회전축의 핀 부분에 스트레인게이지를 부착하여 뒤차축과 동일한 방법으로 슬립링(SK6, HBM Co., Germany)을 이용하여 토크를 측정하였다. 앞차축의 회전속도는 별도의 엔코더를 부착하여 측정하였으며, 포장작업 시 이물질 및 충격으로 엔코더가 오작동하는 것을 방지하기 위해 보호대를 설치하였다.

$$Power_{axle} (kW) = \frac{2\pi \times T \times N}{60,000} \quad (1)$$

where, T = Torque (Nm)

N = Rotational speed (rpm)

3) PTO 동력 측정 장치

PTO의 소요동력은 구동차축과 동일한 방법으로 PTO축의 토크와 회전속도를 측정하여 계산하였다. PTO축의 토크는 PTO축에서 작업기로 동력을 전달하는 PTO 중간축에 작용하는 토크와 같으므로 차축에 사용된 것과 동일한 스트레인게이지를 그림 2(a)와 같이 PTO 중간축에 부착하여 측정하였으며, PTO축의 회전 속도는 트랙터에 장착된 엔진 회전속도 센서(tachometer)를 이용하여 엔진과의 기어비로 계산하였다. 또한 스트레인게이지로부터 발생하는 토크 신호를 전달하기 위해 그림 2(b)와 같이 원형의 중공이 있어 PTO 중간축 안으로 삽입이 가능한 슬립링(B6-2, MI-Scientific Co., USA)을 사용하여 농작업 시 PTO의 토크 신호를 측정하였다.

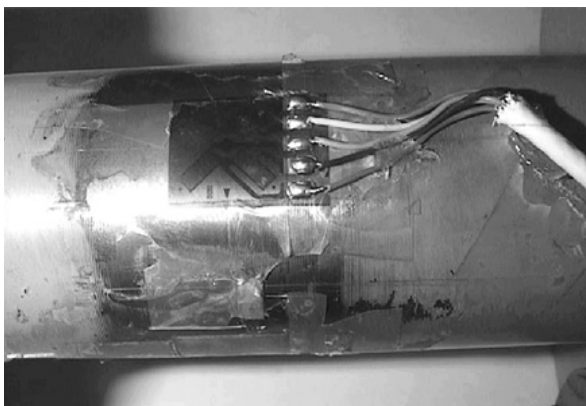


(a) Rear axle

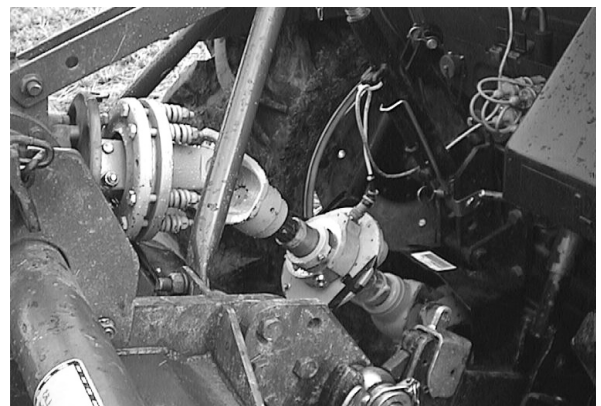


(b) Front axle

Fig. 1 Strain-gage and encoder for power measurement of wheel driving axles.



(a) Strain-gage



(b) Slip ring

Fig. 2 Torque sensor for power measurement of the PTO axle.

4) 유압장치 동력 측정 장치

유압장치의 소요동력을 계산하기 위해서는 유압 펌프의 토크와 회전수를 측정해야 하나 유압 펌프에 토크 및 회전 속도 센서의 장착이 어려우므로 본 연구에서는 식 (2)와 같이 유압 펌프의 토출 압력, 유량, 체적 효율을 이용하였다(Kim, 2004). 유압 펌프의 토출 압력은 그림 3과 같이 주 및 보조 유압 펌프에 각각 압력센서(HT-PD, Hydrotechnik, Germany)를 장착하여 측정하였으며, 유량은 엔진 회전속도와 유압 펌프의 회전속도가 비례하므로 엔진 회전속도와 각각의 펌프에 대한 이론 토출량을 이용하여 계산하였다.

$$Power_{pump}(kW) = \eta_v \times \frac{P \times Q}{104,081} \quad (2)$$

where, η_v = Volumetric efficiency

P = Hydraulic pump pressure (MPa)

Q = Hydraulic pump displacement (cm³/sec)

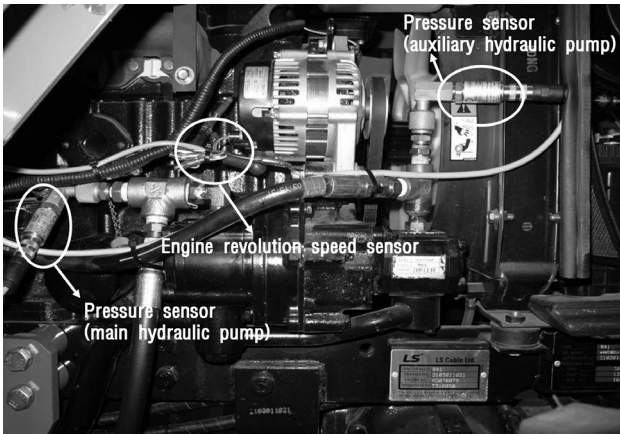


Fig. 3 Pressure and engine speed sensors used for hydraulic pump power.

5) 통합 계측 시스템

트랙터의 소요동력 계측 시스템은 그림 4와 같이 4개의 구동차축에 대한 토크 및 회전속도, PTO축의 토크, 엔진 회전 속도, 주 및 보조 유압 펌프 압력 측정이 가능하도록 8채널의 데이터 수집장치(QuantumX MX840, HBM, Germany) 2개를 이용하여 구성하였다.

데이터 수집장치는 아날로그와 디지털 신호를 모두 받을 수 있으며, 자체적으로 내장된 FPGA (Field Programmable Gate Array)를 이용하여 고속의 잡음 제거가 가능하므로 농작업 중 신뢰성 있는 센서 신호의 측정이 가능한 장점이 있다. 토크 및 압력 신호의 측정은 채널당 19.2 kHz의 샘플링 속도와 24 bit의 분해능을 가지는 아날로그 입력채널을 이용하였으며, 엔진 및 차축의 회전속도는 1 MHz의 디지털 입력

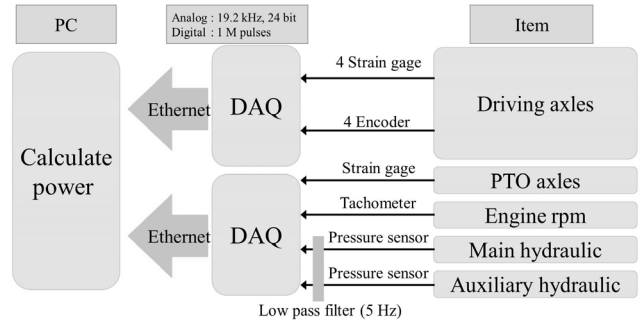


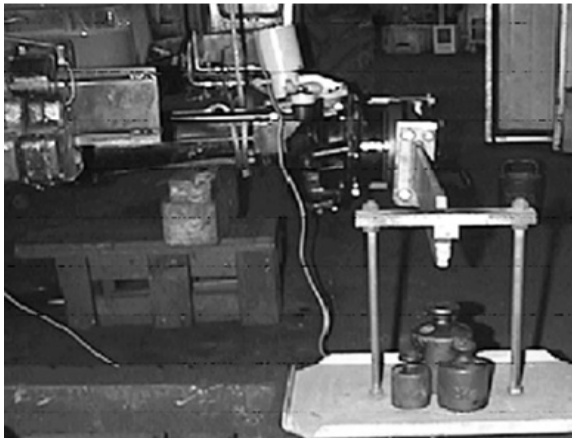
Fig. 4 Schematic diagram of data acquisition system of agricultural tractor during field operation.

채널을 이용하였다. 이때 압력센서의 신호는 농작업 시 진동 등에 의한 오차를 보정하기 위해 5 Hz 저역통과 필터를 사용하였다. 측정된 센서 신호는 고속의 이더넷(ethernet) 통신으로 실험용 노트북에 전송하였으며, 계측 프로그램은 신호 처리 및 측정이 용이한 Labview(version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다.

6) 센서 신호의 교정

센서 신호의 교정은 4개의 차축 및 PTO축 토크와 주 및 보조 펌프의 압력센서에 대해 수행하였으며, 엔진 및 차축의 회전속도는 기어의 회전에 따라 발생하는 펄스 신호의 상승 펄스(rising edge)를 주파수로 변환하여 측정하였다. 차축 토크는 트랙터의 차축에서 타이어를 분리하여 그림 5(a)와 같이 2 m의 외팔보(cantilever)를 차축에 연결하여 하중을 변화시키며 전, 후진 양방향으로 교정하였다. 이때 교정 범위는 트랙터 설계 시 차축에 걸리는 최대 토크를 고려하여 앞차축은 0~2,450 Nm, 뒷차축은 0~7,350 Nm으로 설정하였으며, 사용된 무게추는 차축의 토크 범위가 넓은 것을 고려하여 980 Nm 이하의 범위에서는 49 N, 980 Nm 이상에서는 294 N과 589 N의 추를 사용하였다. PTO축 토크 센서 신호는 PTO 동력계(GS-130, Schenk Co., Germany)와 트랙터의 PTO축을 연결하여 PTO 회전 시에 PTO 중간축에 부착한 스트레인 게이지에서 출력되는 전압신호와 PTO 동력계의 토크 신호를 0~490 Nm의 범위에서 비교하여 교정하였다.

주 유압펌프 압력 센서는 최대 버킷 하중이 1,200 kg, 최대 인양 높이가 150 cm 이므로 실험 시 안전을 고려하여 그림 5(b)와 같이 버킷에 하중을 0~1,100 kg까지 100 kg단위로 증가시키면서 버킷을 들어 올리며 유압장치의 토출압력을 교정하였다. 보조 유압펌프는 조향과 동시에 윤활작업도 수행하므로 윤활작업에 따른 소요동력 측정을 위해 정격 회전속도 2,600 rpm에서 무부하 시 보조 유압펌프의 압력을 측정하였으며, 조향을 위한 압력 센서의 교정은 조향각을 5° 간격으로 변화시켜, 유압장치의 토출압력을 측정하였다.



(a) Front driving axle

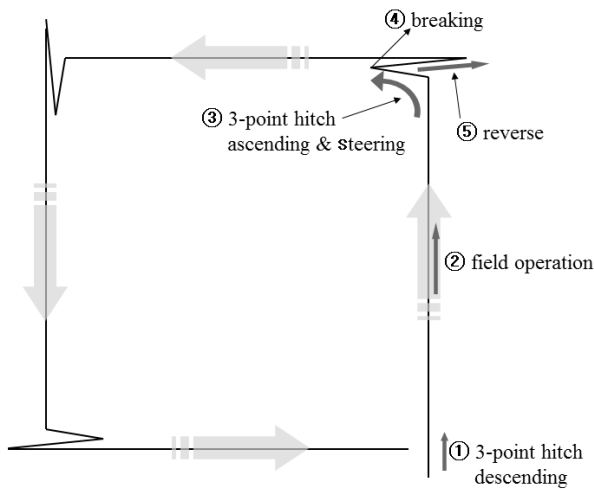


(b) Main hydraulic pump

Fig. 5 Photos of calibration procedures for driving axle torque and hydraulic pump pressure.

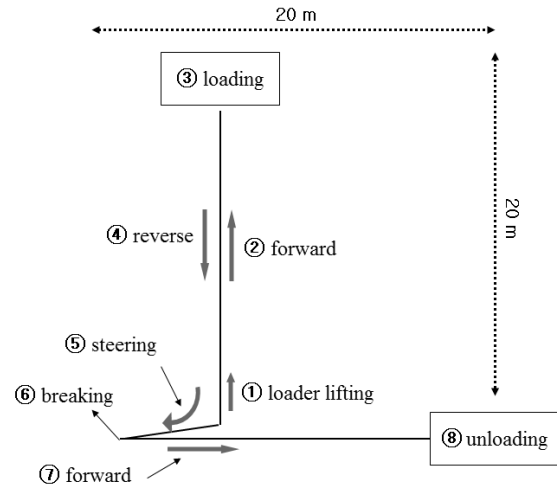
Table 2 Site description for field experiments

Site	Soil type	Field size (m)	Water content (wb, %)	Cone index (kPa) by depth					
				0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
I	Sandy loam	100 × 40	15.7	850	948	1,894	1,470	1,208	1,208
II	Loam	105 × 35	21.3	1,796	2,124	2,285	2,445	2,451	-
III	Sandy loam	120 × 30	28.4	588	784	1,666	2,450	-	-



path: ① → ② → ③ → ④ → ⑤

(a) Plow and rotary tillage operations



path: ① → ② → ③ → ④ → ⑤ → ⑥ → ⑦ → ⑧

(b) Loader operation

Fig. 6 Experimental path planning for field experiments.

다. 실외 농작업 실험

포장 실험은 플라우 경우, 로타리 경우, 로더 작업이 가장 빈번히 이루어지는 엔진 회전수 2,600 rpm, 주행 속도 3 km/h (주변속 2단, 부변속 2단)로 작업 조건을 설정하고(Nahmgung, 2001) 표 2와 같이 농경지 크기 및 토성이 다른 3 지역의 논에서 작업 경로에 따라 각각 5회 반복 실험하였다. 플라우 경우, 로터리 경우, 로더 작업은 해당 지역에서 숙련된 작업자

를 추천받아 2010년 4월과 12월에 실시하였다. 시험 포장은 토성이 사양토(이천, 완주)와 양토(수원)로 수분 함량은 각각 15.7, 21.3, 28.4%로 나타났으며, 원추 관입지수는 지역과 깊이 에 따라 차이가 있었으나 588~2,451 kPa 범위로 나타났다.

플라우 경우와 로타리 경우 작업 실험은 그림 6(a)과 같이 경심을 20 cm로 유지하도록 3점 히치를 하강한 후에 전진 작업, 조향 및 작업기 상승, 정지, 후진, 정지의 일반적인 작업 경로(Seo et al., 2007)에 대해 소요동력을 측정하였으며,

작업기는 폭이 175 cm이고 L형 칼날을 탑재한 경폭 로타리 (R175MG, LS Machinery Co., Korea)와 6륜 단용 플라우 (TS-6P, Young Shin Co., Korea)를 사용하였다.

로더 작업 실험은 작업자에 따라 작업 경로 및 방법이 다를 수 있으므로 그림 6(b)과 같이 주행 거리를 20 m 내외로 가급적 짧게 하여 로더 상승, 직진, 인양, 후진, 조향, 정지, 직진, 언로딩(unloading)의 순서로 설정하였다. 로더 작업 시 버킷의 하중은 작업 중 안전을 고려한 최대 하중인 800 kg으로 설정하였으며, 인양 높이는 소요동력에 큰 영향을 주지 않기 때문에 별도로 측정하지 않았다.

농작업에 따른 소요동력 분석은 작업 경로에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 플라우 경운, 로타리 경운, 로더 작업의 실제 구간과 작업 전, 후 주행 및 조각구간을 포함한 전체 경로에 대하여 구동차축, PTO 축, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력을 분석하였으며, 이때 구동차축의 소요동력은 4개의 차축 동력을 모두 합하여 구하였다. 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 트랙터 주요 구성요소에 대한 연간 소요동력은 주요 농작업 시간 실태 조사를 바탕으로 30 kW급 트랙터의 연간 포장작업 비율인 로타리 경운 46%, 플라우 경운 28%, 로더 작업 21%, 운반 작업 3%, 기타 작업 2%를 이용하여 계산하였으며, 운반 및 기타 작업 시간은 전체의 5% 정도로 본 연구에서는 제외하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 트랙터의 주요 농작업 시간 실태

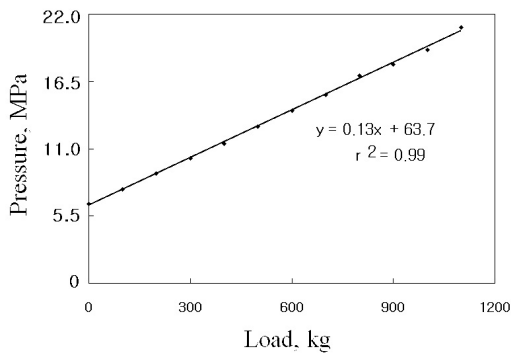
트랙터 주요 농작업 연간 시간에 대한 실태조사 결과는 표 3과 같이 나타났다. 국내 트랙터의 연간 이용 시간은 엔진 출력에 따라 142~237 시간의 범위에 있었으며 37~58 kW, 22~36 kW, 59 kW 이상, 21 kW 이하의 순서로 트랙터의 사용 빈도가 높은 것으로 조사되었으며, 이것은 Nahmngung (2001)의 조사 결과와 유사하게 나타났다. 작업별 트랙터 평균 이용 시간 비율은 로타리 경운 작업 45%, 플라우 경운 작업 29%, 로더 작업 19%, 운반 4%, 기타 작업 3%의 순서로 나타났다. 트랙터 사용 비율 결과를 근거로 본 연구에서는 트랙터 소요동력 분석 대상으로 로타리 경운 작업, 플라우 경운 작업, 로더 작업을 선정하였다.

나. 센서 신호의 교정

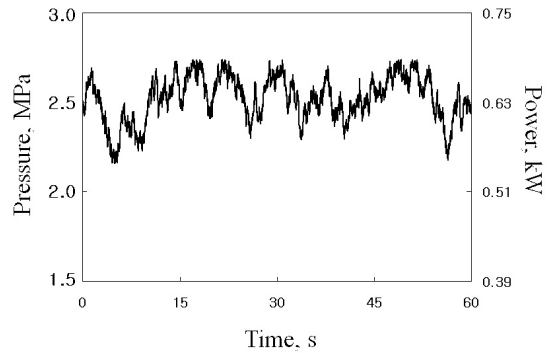
구동차축 및 PTO축의 교정결과는 모두 결정계수(r^2)가 0.99의 높은 상관을 보여 장착된 센서를 이용하여 실외 작업 시 구동차축 및 PTO의 부하측정이 선형적으로 가능하였다. 유압장치의 교정 결과는 그림 7(a)와 같이 버킷에 걸린 하중이 증가할수록 주 유압펌프의 압력이 선형적으로 증가하였으

Table 3 Survey results of annual ratio of agricultural tractor by field operation

Field operation	Tractor engine power (kW)				Averaged annual usage ratio (%)
	Less than 21	22~36	37~58	Greater than 59	
Rotary tillage	62	96	110	88	45
Plow tillage	42	59	70	60	29
Loader	28	44	44	38	19
Transportation	6	7	7	8	4
Others	4	4	6	6	3
Total	142	210	237	200	100



(a) Main hydraulic pump



(b) Auxiliary hydraulic pump (lubrication)

Fig. 7 Calibration results of pressure measurement for hydraulic pumps.

며 결정계수는 0.99로 나타났다. 특히, 버킷에 하중을 가하지 않은 상태에서도 버킷을 들어 올리면 버킷의 자중에 의해 압력변화가 생기는 것을 알 수 있다. 보조 유압펌프의 압력은 그림 7(b)와 같이 엔진 정격 회전속도 2,600 rpm에서 무부하시 2.12~2.77 MPa의 압력범위를 유지하였으며, 이것은 동력으로 환산하면 약 0.55~0.72 kW로 윤활작업을 위한 최대 소요동력은 약 1 kW 미만임을 알 수 있다. 또한 조향각과 압력 신호와의 결정계수는 0.99로 높게 나타나 트랙터의 조향 변화에 따른 보조 유압펌프의 압력변화 측정이 선형적으로 가능하였다.

다. 농작업에 따른 소요동력

플라우 경운, 로타리 경운, 로더 작업에 따른 소요동력은 토양 조건에 따라 그 크기는 다르게 나타났으나 동일한 작업에 대해서는 유사한 경향을 보여 주었다. 그러므로 측정된 동력 데이터는 Site I 에 대해서만 나타내었으며, 소요동력 분석은 모든 농경지에 대한 실험 결과에 대하여 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치별 최대값과 평균값을 이용하였다.

1) 플라우 경운 작업

Site I 에서 플라우 경운 작업 시 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 트랙터 소요동력은 그림 8과 같이 측정되었다. 플라우 경운 작업 시 최대 소요동력은 24.3 kW로 트랙터 정격 출력인 30 kW의 최대 81%만 소요되고 있음을 알 수 있다. 구동차축의 동력은 전체 소요동력 중 대부분을 차지하고 있으며, Nahmgung (2001)의 결과와 마찬가지로 플라우 경운 작업 시 수평 견인력이 크게 요구되어 앞차축보다 뒤차축에서 더 많은 동력이 사용되고 있음을 알 수 있다. 주 유압장치의 동력은 플라우 작업을 위하여 3점링크치를 하강시키는 경우를 제외하고는 대부분 0.8~1.0 kW의 범위로 작게 측정되었으나 부분적으로 크게 증가하여 최대 9.4 kW인 구간이 발생했는데, 이는 플라우 경심 유지를 위하여 순간적으로 땅에 과도하게 관입되는 것을 방지하기 위해 주 유압장치를 이용하여 3점링크치를 작동시켰기 때문이었다. 보조 유압장치의 동력은 설정된 플라우 작업 구간이 주로 직진 주행이 많으므로 소요동력은 대부분 0.6~0.8 kW의 범위로 낮게 나타났으나 부분적으로 소요동력이 증가하는 부분이 발생했는데, 이는 작업자가 트랙터의 좌, 우 이동에 대하여 직진을 유지하기 위하여 조향을 했기 때문에 발생한 것으로 판단된다. 또한 보조 유압장치의 소요동력은 다음 구간 작업을 위한 선회 시 최대 7.9 kW정도인 것을 알 수 있었다.

2) 로타리 경운 작업

로타리 경운 작업 시 트랙터의 소요동력은 그림 9와 같이 측정되었다. 로타리 경운 작업에 따른 트랙터의 소요동력은

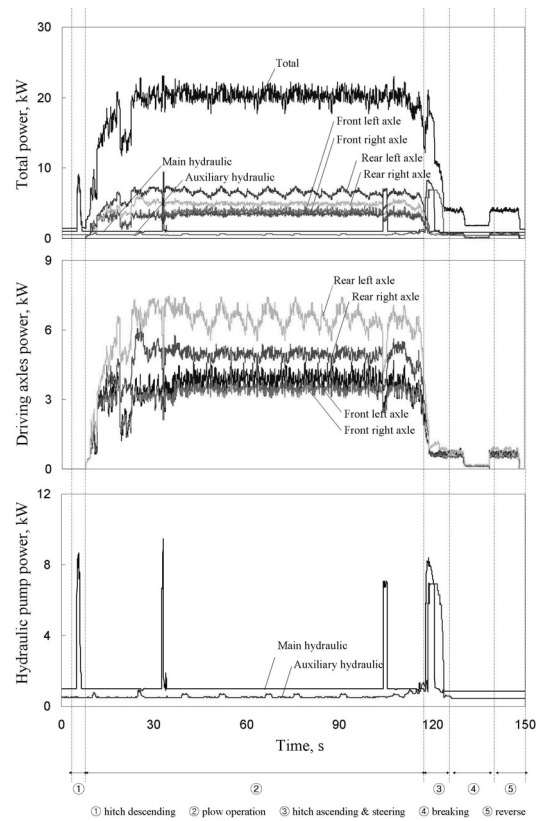


Fig. 8 Measured power consumption during plow tillage operation at Site I .

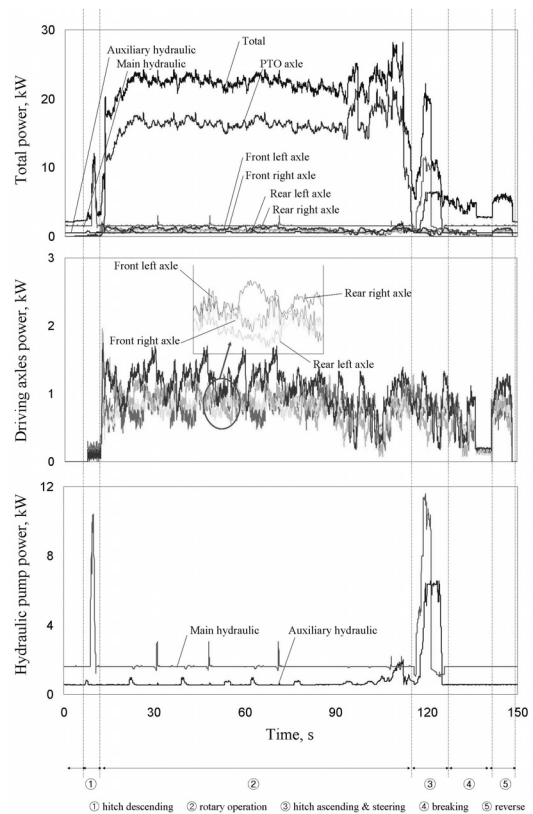


Fig. 9 Measured power consumption during rotary tillage operation at Site I .

최대 28.3 kW로 플라우 경운 작업 시 보다 최대 소요동력은 높게 측정되었으며, 트랙터 정격 출력의 최대 94%까지 사용하고 있음을 알 수 있다. 대부분의 동력은 PTO에서 사용하고 있으며, 최대 PTO 소요동력은 21.7 kW로 이때 트랙터 전체 소요동력의 약 85%를 PTO에서 사용함을 알 수 있다. 구동차축의 동력은 플라우 경운 작업과 달리 앞차축과 뒤차축의 소요동력 차이는 보이지 않았으며, 전체적인 구동차축의 동력은 플라우 경운 작업 시 보다 낮게 나타났다. 주 유압장치는 3점링크히치의 승강 및 하강 시에, 보조 유압장치는 선회 시에 가장 높은 동력이 소요되었으며, 대체적으로 플라우 경운 작업 시와 유사한 경향을 보여 주었다.

3) 로더 작업

로더 작업 시 트랙터의 소요동력은 그림 10과 같이 측정되었다. 로더 작업 시 트랙터의 최대 소요동력은 17.8 kW로 정격 출력의 최대 59%만 사용하는 것으로 나타나 플라우 및 로타리 경운 작업에 비해 소요동력이 작은 것을 알 수 있다. 이것은 로더 승강 및 하강 시에 주 유압장치의 최대 소요동력이 11.4 kW로 이때 트랙터 전체 소요동력의 75%를 차지하지만 대기 및 운반 시에는 주 유압장치의 소요동력이 작기 때문임을 알 수 있다. 구동차축의 동력은 무게추를 버킷에 탑재하는 순간에 최대 8.2 kW의 큰 동력이 소요되었으며, 주행 및 무게추를 내려놓는 순간에는 소요동력이 증가하지 않았다. 보조 유압장치의 동력은 대부분 0.6~1.6 kW의 범위로 다른 작업에 비해 조향 장치의 사용 빈도가 높게 나타났다. 또한 순간적으로 10.0 kW까지 나타나는 구간도 발생하였는데, 이는 버킷 탑재물에 의한 트랙터 무게 중심의 변화로 작업자가 필요에 의해 조향 작업을 수행했기 때문임을 알 수 있다.

4) 작업별 소요동력 비교

농작업에 따른 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력은 표 4와 같이 플라우 경운, 로타리 경운, 로더 작업의 실 작업 구간과 작업 전, 후 조작을 포함한 전체

경로 구간으로 나누어 분석하였다. 세 지역의 평균 소요동력은 플라우 경운, 로타리 경운, 로더 작업 시 실제작업 구간에서는 각각 23.1, 24.6, 14.9 kW, 전체 경로에서는 각각 17.5, 19.1, 8.9 kW로 나타나 Site I에서의 실험 결과와 마찬가지로 로타리 경운 작업의 동력 소모가 가장 큼을 알 수 있었다.

플라우 경운 작업 중 실 작업 구간에서 전체 소요동력은 평균 23.1 kW(100%)에서 구동차축의 소요동력이 최대 22.4 kW, 평균 19.7 kW(85.3%)로 대부분을 차지하였다. 주 유압장치는 플라우 작업기가 과도하게 땅 속으로 관입하는 것을 방지하기 위한 경심제어에 의해 3점링크히치가 작동하는 구

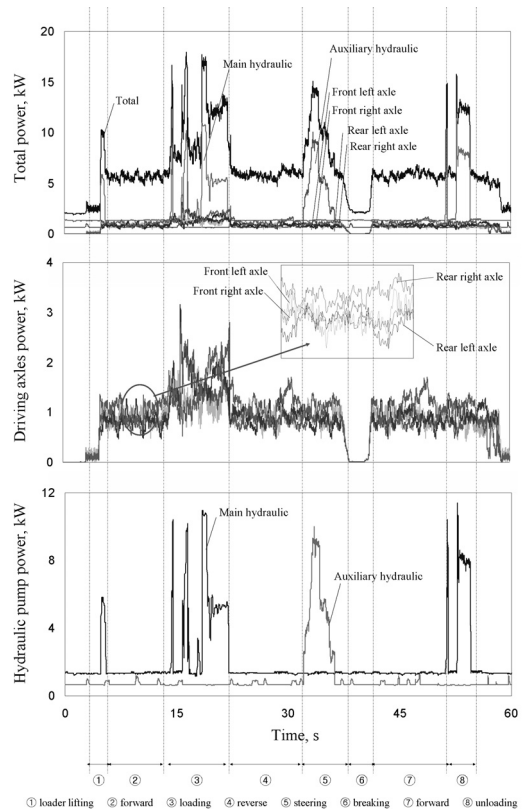


Fig. 10 Measured power consumption during loader operation at Site I.

Table 4 Measured power of tractor major parts by field operation

(unit : kW)

Operation	Period	Power consumption (averaged, maximum)					Sum of averaged value
		Driving axle	PTO axle	Main hydraulic	Auxiliary hydraulic		
Plow	Plowing	19.7, 22.4	0, 0	2.1, 9.5	1.3, 7.3		23.1
	Total	15.3, 22.4	0, 0	1.4, 10.4	0.8, 8.5		17.5
Rotary tiller	Rotary tillage	3.7, 6.1	17.1, 22.4	2.3, 12.1	1.5, 7.0		24.6
	Total	3.2, 6.1	13.1, 22.4	1.9, 12.1	0.9, 7.0		19.1
Loader	Loading/unloading	4.3, 8.5	0, 0	8.5, 12.3	2.1, 9.8		14.9
	Total	3.5, 8.5	0, 0	4.2, 12.3	1.2, 11.3		8.9

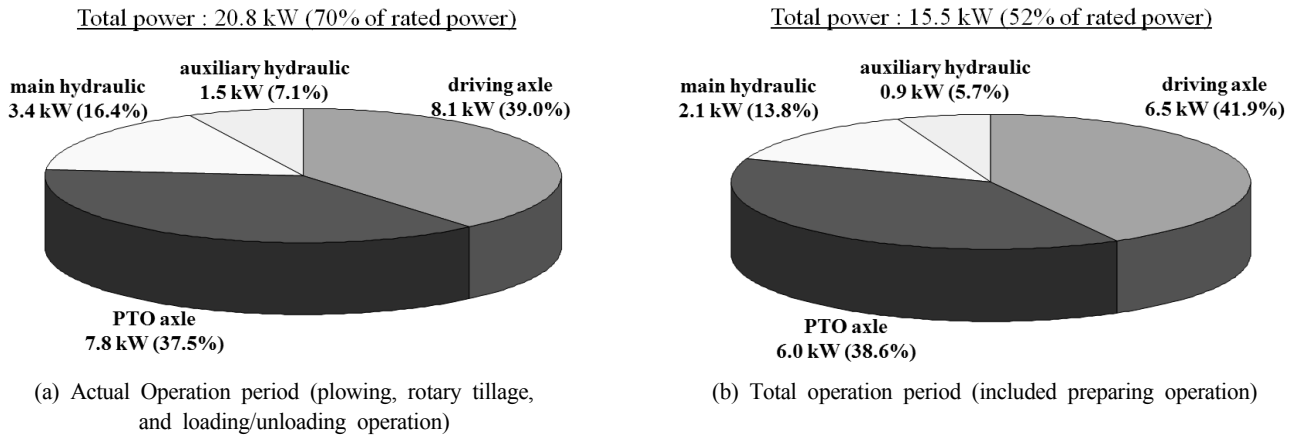


Fig. 11 Analysis of power requirement for tractor major parts.

간이 다소 발생하여 최대 9.5 kW의 소요동력을 보여 주었으나 전체 플라우 경우 작업 구간에서 차지하는 비율이 매우 작아 평균 소요동력은 2.1 kW(9.1%)로 낮게 나타났다. 또한 보조 유압장치의 소요동력도 Site I 에서와 마찬가지로 작업자가 직진 주행을 위해 조향을 하여 최대 7.3 kW까지 측정되었으나 평균 소요동력은 1.3 kW(5.6%)로 낮게 나타났다.

로타리 경우 작업 구간에서 트랙터의 소요동력은 평균 24.6 kW(100%)로 PTO의 소요동력이 최대 22.4 kW, 평균 17.1 kW(69.5%)로 가장 높았으며, 구동차축의 소요동력은 최대, 6.1 kW, 평균 3.7 kW(15.1%)로 플라우 경우 작업에 비해 현저히 낮은 소요동력을 보여 주어 로타리 경우 작업 시의 동력은 대부분 PTO에서 소요됨을 알 수 있다. 주 유압장치와 보조 유압장치의 소요동력은 플라우 경우 작업 결과와 마찬가지로 각각 최대 12.1 kW와 7.0 kW까지의 소요동력을 보이는 경우도 있었으나 평균 소요동력은 각각 2.3 kW(9.3%)와 1.5 kW(6.1%)로 낮게 나타났다.

무게 추를 인양하거나 내려놓는 로더 작업 시 트랙터의 소요동력은 평균 14.9 kW(100%) 중 구동차축의 소요동력이 최대 8.5 kW, 평균 4.3 kW(28.9%)로 크게 나타났는데, 이것은 Site I 의 실험 결과와 마찬가지로 무게추를 버킷에 탑재하는 순간 구동차축에 큰 동력이 소요되었기 때문으로 판단된다. 주 유압장치의 소요동력은 평균 8.5 kW(57.0%)로 나타났으나 경우에 따라 최대 12.3 kW까지의 소요동력을 보였으며, 이는 탑재물이 있는 버킷을 승강 및 하강하는데 많은 동력이 필요하기 때문임을 알 수 있다. 보조 유압장치의 소요동력은 최대 9.8 kW, 평균 2.1 kW(14.1%)로 플라우 경우 및 로타리 경우 작업 시 보다 높은 소요동력을 보여주고 있으며, 이는 Site I 에서와 마찬가지로 작업자가 무게추를 설정된 위치에 이동시키기 위해 조향 작업을 수행했기 때문임을 알 수 있다.

농작업 전체 경로 구간에서 트랙터 주요 동력 소모 요소인 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력은 플라우 경우, 로타리 경우, 로더의 실 작업 구간과 유사한 동

력 분배를 보였으나 상대적으로 낮은 소요동력을 보여 주었으며, 이는 작업 전, 후 조작 구간에서 트랙터의 소요동력이 낮기 때문임을 알 수 있다. 또한 주요 요소에 대한 최대 소요동력은 주, 보조 유압장치의 경우 전체 경로 구간에서 발생되는 경우도 있었으나 구동차축과 PTO는 대부분 실 작업구간에서 발생되었다.

라. 동력 소모 요소별 비교

트랙터의 주요 동력 소모 요소인 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력을 분석한 결과는 그림 11과 같이 나타났다. 플라우 경우, 로타리 경우, 로더 작업에 대한 트랙터 전체 소요동력은 20.8 kW로 나타나 트랙터는 정격출력의 약 70%를 평균적으로 사용하고 있음을 알 수 있다. 트랙터 주요 동력 소모 요소에 대한 소요동력은 구동차축 8.1 kW(39.0%), PTO 7.8 kW(37.5%), 주 유압장치 3.4 kW(16.4%), 보조 유압장치 1.5 kW(7.1%)의 순서로 구동차축과 PTO의 소요동력이 대부분을 차지하였으며, 특히 구동차축의 소요동력이 가장 큰 비중을 차지함을 알 수 있다.

작업 전, 후 조작 구간을 포함한 전체 구간에서 트랙터의 소요동력은 15.5 kW로 정격출력의 약 52%만 사용하는 것으로 나타났으며 작업 전, 후 조작 구간의 소요동력이 작아 플라우 경우, 로타리 경우, 로더 실 작업 수행 구간에 비해 낮은 소요동력을 보여 주었다. 주요 요소의 소요동력은 구동차축 6.5 kW(41.9%), PTO 6.0 kW(38.6%), 주 유압장치 2.1 kW(13.8%), 보조 유압장치 0.9 kW(5.7%)로 플라우 경우, 로타리 경우, 로더 실 작업 수행 구간과 유사한 경향을 보여 주었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 하이브리드 트랙터 개발을 위한 기초 연구로서 사용자 실태 조사를 실시하여 트랙터의 주요 농작업을 선정

하였으며, 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력 계측 시스템을 개발하고, 주요 농작업 시 소요동력을 측정 및 분석하였으며 주요 결과는 다음과 같이 요약된다.

- (1) 트랙터의 사용자 실태 조사는 통계청의 지역별 트랙터 보유현황 자료를 기준으로 농업기계 대리점의 추천을 통해 실시하였으며 농업용 트랙터의 사용 마력과 작업별 연간 이용 시간을 조사하였다. 연간 트랙터 이용시간은 142~237 시간으로 나타났으며 작업별 평균 이용 비율은 로타리 경운 작업 45%, 플라우 경운 작업 29%, 로더 작업 19%, 운반 4%, 기타 작업 3%로 나타나 로타리 경운, 플라우 경운, 로더 작업을 트랙터의 주요 농작업으로 선정하였다.
- (2) 실외 농작업 실험은 3곳의 논을 대상으로 플라우 경운, 로타리 경운, 로더 작업을 실시하였으며 트랙터의 주요 동력 소모 요소인 구동차축, PTO, 주 유압장치, 보조 유압장치의 소요동력을 측정하여 작업별로 분석하였다. 소요동력 분석은 실 작업 구간과 작업 전, 후 조작 구간을 포함한 전체 경로 구간으로 나누어 수행하였으며 플라우 경운, 로타리 경운, 로더 작업 시 실 작업 구간에서는 각각 23.1, 24.6, 14.9 kW, 전체 경로에서는 각각 17.5, 19.1, 8.9 kW로 나타나 로타리 경운 작업의 동력 소모가 가장 큼을 알 수 있었다.
- (3) 트랙터 주요 구성요소의 소요동력은 실 작업 구간의 경우 전체 소요동력이 20.8 kW로 나타나 정격출력의 약 70%를 평균적으로 사용함을 알 수 있으며 구동차축 8.1 kW(39.0%), PTO 7.8 kW(37.5%), 주 유압장치 3.4 kW(16.4%), 보조 유압장치 1.5 kW(7.1%)로 나타났다. 전체 경로 구간의 경우 트랙터의 소요동력은 15.5 kW로 정격출력의 약 52%만 사용하였으며 구동차축 6.5 kW(41.9%), PTO 6.0 kW(38.6%), 주 유압장치 2.1 kW(13.8%), 보조 유압장치 0.9 kW(5.7%)로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Cho, S. T., H. S. Jo, J. M. Lee and Y. I. Park. 1997. A development of driving control method for hybrid vehicle using power split ratio determination algorithm. Proceeding of the KSAE 1997 Fall Conference 4(2):707-713. (In Korean)
2. EIA. 2008. Annual Energy Outlook. Energy Information Administrator, Washington, DC., USA.
3. Kim, D. C. 1998. Analysis of Load Spectrum of Tractor Drive Line. Master's thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. (In Korean)
4. Kim, D. J. 2004. Hydraulic Engineering. Bookshill, Seoul, Korea.
5. KNOC. 2010. Council for International Petrol Price Professionals. Korea National Oil Corporation, Anyang, Korea.
6. KSAM. 2009. Agricultural Machinery Yearbook in Republic of Korea. Korean Society for Agricultural Machinery, Suwon, Korea.
7. Lee, D. E., I. G. Hwang, D. I. Jeon and S. S. Park. 2008. Development and optimization of the hybrid engine system model to improve the fuel economy. Transactions of the KSAE 16(6):65-73. (In Korean)
8. MIFAFF. 2007. Number of Agricultural Machinery. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea.
9. Nahngung, M. J. 2001. Load Analysis of Driving Axles and Life Evaluation of Driving Gear of PTO on Tractors. Ph.D. Dissertation, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. (In Korean)
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. 2010. Characteristics of tractor PTO power and work loads. Journal of Biosystems Engineering 35(1):15-20. (In Korean)
11. RDA. 2008. Symposium on the Energy Saving Technology and Diffusion for Low Carbon Green Growth. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
12. Ro, L. S., K. C. Jeong, K. H. Han and S. K. Lee. 2006. Designing control logic for reducing toxic exhaust gas in parallel HEV. Proceeding of the KSAE 2006 Spring Conference 9(3):1717-1722. (In Korean)
13. Ryu, K. H. 2004. Tractor Engineering Principles. Munundang, Seoul, Korea.
14. Seo, I. H., B. H. Cho, C. S. Kim, J. J. Oh, S. C. Cho, Y. G. Lee and K. D. Kim. 2007. Formation of working path and development of performance appraising technology for tractor unmanned tillage(3) -develop of a program and algorithm for tractor working path-. Proceedings of the KSAM 2007 Summer Conference 12(2):364-372. (In Korean)