

차축의 중량 분포와 타이어의 공기압이 트랙터 작업의 연료 효율에 미치는 영향

이진웅¹ · 김경욱^{1*} · 김동현¹ · 최규정¹

¹서울대학교 바이오시스템공학전공

Effects of Distribution of Axle Load and Inflation Pressure of Tires on Fuel Efficiency of Tractor Operations

Jin Woong Lee¹, Kyeong Uk Kim^{1*}, Dong Hyeon Gim¹, Kyu Jeong Choi¹

¹Dept. of Biosystems Engineering, Seoul National University, 151-921, Seoul Korea

(Received: August 19th, 2011; Revised: September 8th, 2011; Accepted: August 15th, 2011)

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of axle weight distribution and inflation pressure of tire on the fuel economy of tractors as well as operational range of tractor engine in terms of engine speed and power when a 4WD tractor of 38.2 kW rated power at 2500 rpm is used for plowing and flooded-field rotavating in paddy fields.

- (1) Plowing operation required an average engine power of 9.6~13.5 kW which equals 25~35% of rated PTO power. Engine speed ranged from 1,320.4 to 1,737.4 rpm, work velocity from 3.4 to 4.8 km/h, and fuel consumption from 3.2 to 4.2 L/h, respectively.
- (2) Flooded-field rotavating required an average engine power of 11.5~18.5 kW which equals 30~48.4% of rated PTO power. Out of this 6.2~12.2 kW was used for PTO power. Engine speed ranged from 1,557 to 2,067 rpm, work velocity from 2.5~5.4 km/h and fuel consumption from 3.2~5.5 L/h, respectively.
- (3) Axle weight distribution, inflation pressure of tire and moisture content of soil did not affect significantly the specific volumetric fuel consumption but affected significantly the fuel consumption per unit area of operation. Fuel savings amounted to 65% in plowing operation and 20% in flooded-field rotavating when the axle weight distribution and inflation pressure of tire were optimally adjusted.
- (4) Optimal adjustment of axle weight distribution and inflation pressure of tire are expected to save fuel consumption by 10~65% per unit area of operation in plowing and 10~20% in flooded-field rotavating.

Keywords : Ballast adjustment, Tire inflation pressure, Fuel efficiency

1. 서론

지속적인 유가 상승으로 국내에서도 농업 기계의 에너지 소비 효율에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 그동안 정부의 면세유 지원으로 농업인은 농기계의 연료 절약에 대한 관심

이 낮았을 뿐만 아니라 농기계 제조업체에서도 연비 향상을 위한 기술 개발이 소홀하였다. 그러나 선진국에서는 일찍부터 연료 절약을 위한 트랙터의 운전 교육을 강화하여 왔으며, 타이어의 공기압 조정, 벨레스트 조정 및 변속 단수를 높이고 엔진 속도를 저속으로 유지하는 하는 ‘gear-up and throttle-down’의 운전 원리를 트랙터 교육의 가장 중요한 내용으로 하고 있다(Fulton et al., 2006; Koelsch, 1978; Casady, 1997). 트랙터의 연비 성능도, 미국의 네브라스카 트랙터 시험 결과

*Corresponding author: Kyeong Uk Kim
Tel: +82-2-880-4602; Fax: +82-2-873-2049
E-mail: kukim@snu.ac.kr

에 의하면, 계속 향상되고 있다(Kim et al., 2005).

2010년 트랙터가 소비한 면세유는 농업용 면세유의 약 17%에 해당하는 328,625 kL로서, 2009년의 소비량에 비하여 4%가 증가하였다(NACF, 2010). 트랙터의 대형화 고속화 경향에 따라 면세유 사용량은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 트랙터 교육도 운전과 정비 중심에서 연료 절약을 위한 경제적 운영으로 전환하여야 하며, 트랙터 제조업체에서도 연비 향상을 위한 기술 개발에 보다 많은 관심을 가져야 할 것이다.

트랙터 작업은 일반적으로 부하 변동이 심한 작업이다. 트랙터의 연료 소비율은 작업의 종류, 작업 속도, 엔진 속도, 스로틀 개폐 정도 등의 영향을 받지만, 타이어 공기압과 밸라스트에 의해서도 큰 영향을 받는다. 따라서 연료 소비를 최소화하기 위해서는 트랙터와 부착 작업기에 따라 적정 타이어 공기압과 밸라스트를 유지하고, 작업 부하에 따라 적절한 변속 단수를 선택하여야 한다. Park 등(2010)은 작업 부하에 따라 적절한 변속 단수를 선택하기 위한 모니터링 시스템을 개발하여 쟁기 작업에서 69%, 로터리 작업에서 54%의 연료를 절감하였다고 보고하였다. Grisso 등(2009)도 작업 부하가 크지 않을 때는 변속 단수를 높이고 엔진 속도를 저속으로 유지하여 연료 소모량을 약 30% 절감하였다고 보고하였다.

본 연구는 트랙터의 에너지 소비 효율 향상을 위한 통합 조정 시스템 개발 과제의 기초 연구로서, 쟁기 작업과 무논 로터리 작업 시 타이어 공기압과 차축 중량 분포가 엔진 출력, 연료 소모량, 작업 면적당 에너지 소비 효율에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 계측 시스템

1) 시험 트랙터

본 연구에서 사용한 시험 트랙터는 표 1에서와 같이 중량이 22.75 kN이고, 정격 출력이 38.2 kW@2500 rpm인 4륜 구동 트랙터로서, 변속 단수는 주변속 4단, 부변속 4단으로 전후진 총 32단이였다.

2) 엔진 출력 측정

엔진 출력은 변속기의 입력축 토크와 속도를 측정하여 식 (1)로써 결정하였다. 변속기 입력축 토크는 그림 1에서와 같이 굵힘 하중의 영향을 받지 않도록 변속기 입력축에 스트레인 게이지를 풀 브리지 회로로 부착하여 측정하였으며, 입력축 속도는 변속기 입력축 기어에 마그네틱 픽업 센서를 설치

Table 1 Specifications of tractor

Item	Specifications	
Tractor model	T500	
Manufacturer	Tong Yang Moolsan Co., Ltd, Korea	
Weight (kN)	22.75	
Axle weight distribution Front : Rear (%)	42 : 58	
Engine	Model	4JB1(ISUZU)
	Rated power (kW)	38.2@2500 rpm
Transmission gear F/R	16/16	
PTO	Rated power (kW)	35.3
	Front	9.5-20-6PR
Tire	Rear	14.9-28-8PR

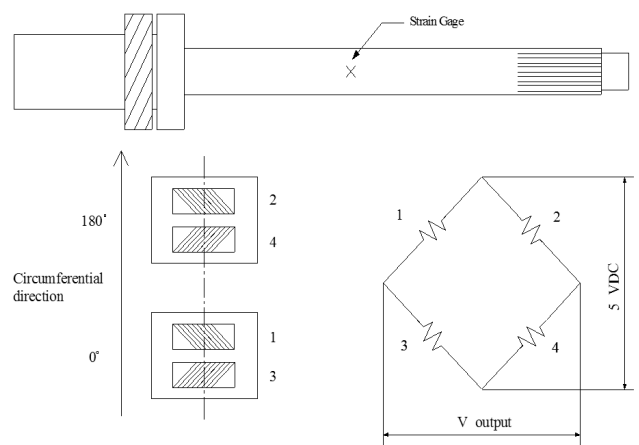


Fig. 1 Full-bridged strain gages attached to input shaft of transmission.

하여 측정하였다.

$$P_e = \frac{2\pi T_e n_e}{60,000} \quad (1)$$

where, P_e = engine power, kW

T_e = torque at input shaft, N.m

n_e = speed of input shaft, rpm

스트레인 게이지의 출력 신호에 대한 교정은 그림 2에서 같이 변속기 입력축에 부하 토크를 시계 방향과 반시계 방향으로 가감하면서 수행하였으며, 그림 3은 교정 결과를 나타낸 것이다(Kim, 1998). 속도 센서의 교정은 제조업체가 제공한 관계식을 이용하여 수행하였다. 표 2는 사용한 스트레인 게이지의 제원을 나타낸 것이다.

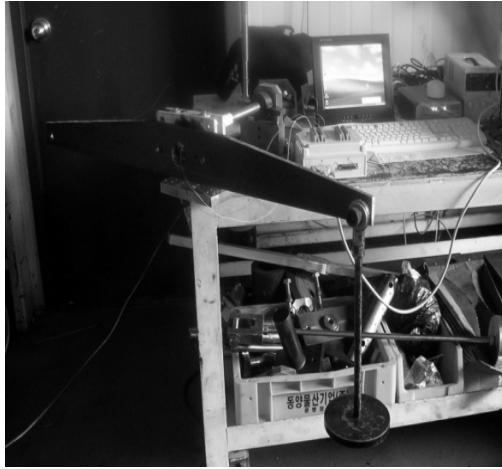


Fig. 2 Calibration of strain gage output.

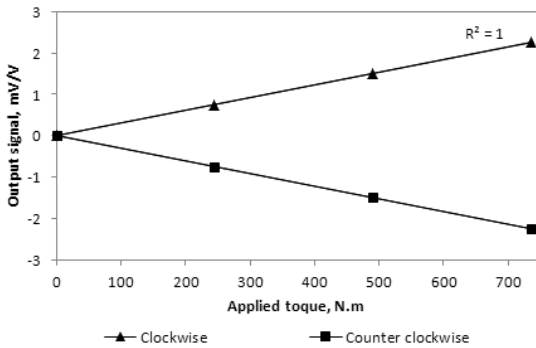


Fig. 3 Calibration curve of input shaft torque meter.

Table 2 Specifications of strain gage used for measuring engine torque

Item	Specifications
Material	SCM420H, HRC 58-63, Japan
Rated capacity (N.m)	400
Power supply (VDC)	5
Gage length (mm)	2
Resistance (Ω)	350.9±0.4%
Gage factor	2.11±1.0%
Thermal expansion (ppM/°C)	11.7

3) 구동축 출력 측정

구동축 출력은 차축 토크와 속도를 측정하여 엔진 출력 측정에서와 같은 방법으로 구하였으며, 차축 토크와 속도는 좌우 전륜과 후륜에 각각 차축 토크 미터를 설치하여 측정하였다. 차축 토크 미터의 제원은 표 3에서와 같고, 출력 신호의 교정은 그림 4에서와 같이 차축에 외팔보를 설치한 후 98 N의 무게 추 10개로써 부하 토크를 가감하면서 실시하였다(Kim, 1998).

Table 3 Specifications of wheel torque meter

Item	Specifications	
	Front	Rear
Manufacturer	S. Himmelsein Co. USA	
Model	MCRT 27820TU	MCRT 27960TE
Torque range (N.m)	0-5650	0-15000
Torque overload	2×	2×
Max. speed (rpm)	2,000	2,000

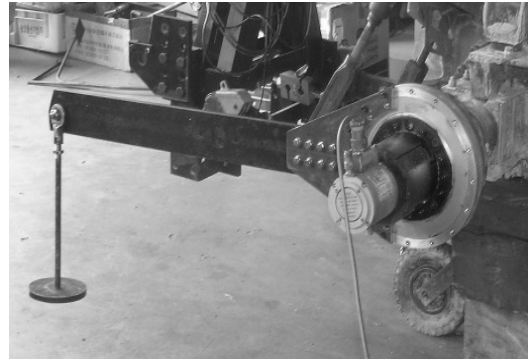


Fig. 4 Calibration of wheel torque meter.

4) 트랙터의 작업 속도 측정

트랙터의 작업 속도는 트랙터의 전방 프레임에 속도 레이더 센서를 부착하여 측정하였으며, 구동륜의 슬립은 측정된 차축 속도와 트랙터의 작업 속도를 이용하여 식 (2)로써 구하였다. 표 4는 속도 레이더 센서의 주요 제원을 나타낸 것이다.

$$s = \left(1 - \frac{60v}{2\pi r_d n_w}\right) \times 100 \quad (2)$$

where, s = slip, %

v = work velocity of tractor, m/s

r_d = dynamic radius of driving wheel, m

n_w = speed of driving axle, rpm

Table 4 Specifications of speed sensor

Item	Specifications
Manufacturer	Dickey-John Co. USA
Model	Radar II ground speed sensor
Velocity range (km/h)	0.53 to 107
Accuracy (errors %)	≤±5%, (0.53 to 3.2 km/h)
	≤±3%, (3.2 to 107 km/h)
Response, output speed (ms)	200
DC Power requirement (VDC)	9~16
Mounting angle (degree)	35±5
Mounting height (mm)	457 to 1219
Weight (N)	20

5) 연료 소모량 측정

연료 소모량은 2개의 펌스 출력 유량계를 이용하여 엔진으로 유입되는 유량과 연료 탱크로 리턴되는 유량을 측정하여 그 차이로서 결정하였다(Park et al., 2010). 표 5는 본 연구에서 사용한 유량계의 제원이고, 그림 5는 트랙터의 엔진 룸 내부에 설치한 유량계를 나타낸 것이다.

Table 5 Specifications of flow meter

Item	Specifications
Manufacturer	Aichi Tokei Denki, Japan
Model	OF05-ZAT-AR
Pulse out (mL/P)	0.46
Measuring range (L/h)	3~51
Max. Pressure	0.5 MPa at 20°C

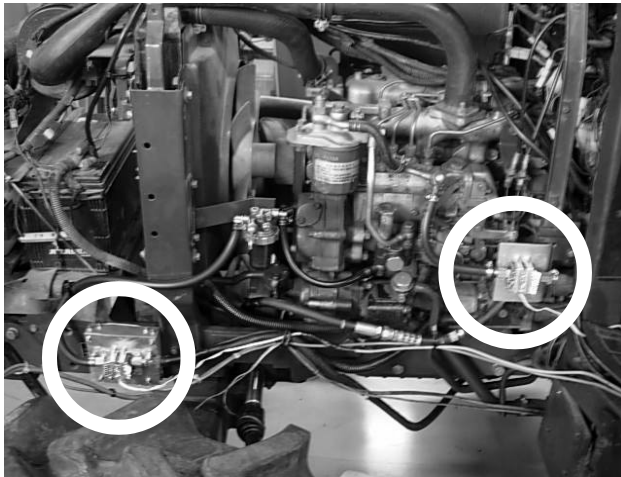


Fig. 5 Flow meters installed in tractor.

측정된 연료 소모량은 식 (3)과 (4)를 이용하여 출력당 연료 소비율(specific volumetric fuel consumption)과 작업 면적당 연료 소모량(fuel consumption per area)으로 나타내었다.

$$FC_{SV} = \frac{60,000 \times FC}{2\pi \times T_e \times n_e} \quad (3)$$

where, FC_{SV} = specific volumetric fuel consumption, L/kWh
 FC = fuel consumption, L/h
 T_e = torque at input shaft, N.m
 n_e = speed of input shaft, rpm

$$FC_A = \frac{FC}{v \times d_i} \quad (4)$$

where, FC_A = fuel consumption per unit area, mL/m²
 FC = fuel consumption, L/h
 v = work velocity of tractor, km/h
 d_i = width of implement, m

6) 견인 출력 측정

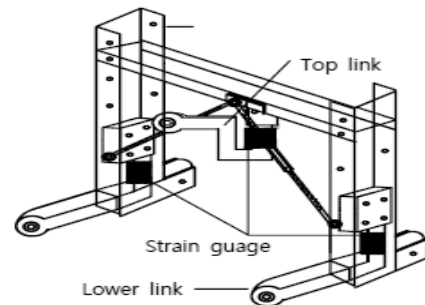
견인력은 3점 히치와 작업기 사이에 스트레인 게이지 기반의 수평 견인력 측정 장치를 그림 6에서와 같이 장착하여 측정하였으며(Park et al., 2010), 스트레인 게이지 신호의 교정은 373 N의 무게추 3개를 이용하여 실시하였다. 그림 7은 교정 결과를 나타낸 것이다. 견인 출력은 좌우 하부 링크와 상부 링크의 수평력을 측정하여 식 (5)으로써 계산하였다. 표 6은 수평 견인력 측정 장치에 사용된 스트레인 게이지의 제원을 나타낸 것이다.

$$P_d = \frac{v \times (DP_r + DP_l - DP_c)}{1,000} \quad (5)$$

where, P_d = drawbar power, kW
 v = tractor velocity, m/s
 DP_r = drawbar force, right, N
 DP_l = drawbar force, left, N
 DP_c = drawbar force, center, N



(a) Mounted on experimental tractor



(b) Measurement Device

Fig. 6 Dynamometer for measuring of drawbar force.

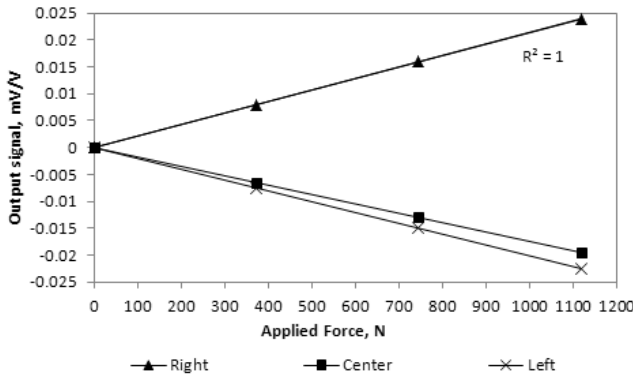


Fig. 7 Calibration curve of drawbar force dynamometer.

Table 6 Specifications of strain gage used for drawbar force measurement

Item	Specifications
Material	N22-FA-5-120-11-VS1, Japan
Power supply (VDC)	5
Gage length (mm)	5
Resistance (Ω)	120.0 \pm 0.3%
Gage factor	2.07 \pm 1.0%
Thermal expansion (ppM/ $^{\circ}$ C)	11

7) PTO 동력 측정

PTO 토크와 속도는 PTO축과 작업기 입력축 사이에 Lim 등(2008)이 개발한 PTO 토크 미터를 설치하여 측정하였다. 표 7은 토크 미터의 제원을 나타낸 것이다. PTO 토크 미터의 교정은 차축 토크에서와 같은 방법으로 실시하였다.

Table 7 Specifications of torque meter

Item	Specifications
Manufacturer	Lorenz, Germany
Model	DR-2112R-500
Type	Contactless
Measuring range (N.m)	0-500
Max. torque (N.m)	1000
Rated speed (rpm)	2000

8) 통합 계측 시스템

통합 계측 시스템은 엔진 출력, PTO 출력, 구동축 출력, 구동륜 슬립, 주행 속도, 연료 소모량, 견인력을 결정하기 위한 센서 및 데이터 수집 장치로 구성하였다. 데이터 수집 장치는 32 채널로서 100 kHz의 샘플링 속도와 16 bit의 분해능을 가진 DEWE-3010을 사용하였으며, 계측에 필요한 프로그램은 DEWESOFT V. 6.1(DEWETRON, Austria)를 이용하여 개발하

였다. 그림 8은 통합 계측 시스템의 구성 체계를 나타낸 것이다.

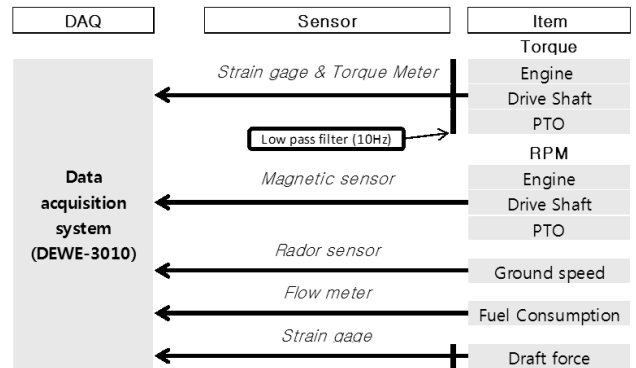


Fig. 8 Structure of data acquisition system.

나. 타이어 공기압과 차축 중량 분포의 조정

타이어의 적정 공기압은 한국 산업 규격 KS M6752(KS, 2009)에서 규정한 농업용 타이어의 최대 허용 하중에 따라 결정하였다. 공기압은 컴프레서와 디지털 공기압 측정기를 이용하여 조정하였으며, 타이어에 공기압 센서를 부착하여 주행 중에도 운전석에서 타이어의 공기압을 감시할 수 있도록 하였다(Lee et al., 2010). 그림 9는 타이어의 공기압 감시 시스템을 나타낸 것이다.



Fig. 9 Tire inflation pressure monitoring system.

전후 차축의 중량 분포는 무게가 314 N인 무게추를 트랙터 전방에 가감하는 방법으로 조정하였으며, 각 차축에 작용하는 중량은 국립농업과학원 농업공학부에서 차축 하중 측정 장치를 이용하여 측정하였다. 탑재한 무게추에 따른 차축의

중량 분포는 그림 10에서와 같이 나타났다.

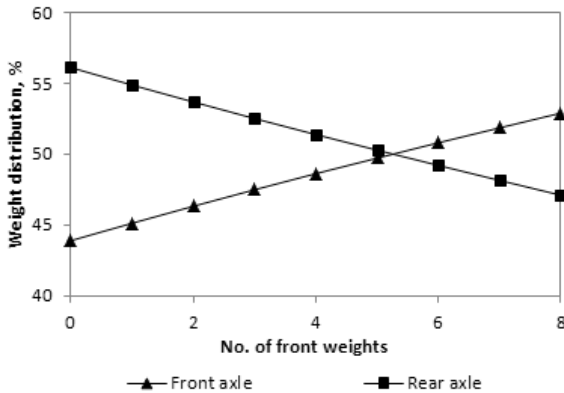


Fig. 10 Weight distribution determined by number of front weights mounted on the tractor.

포장 시험을 위한 타이어 공기압과 차축의 중량 분포는 표 10에서와 같이 쟁기 작업의 경우 4조건, 무논 로터리 작업의 경우 2조건으로 설정하였다. 표 2에서 중량 분포에 대한 Optimal은 Casady(1997)가 제시한 부작업기에 따라 가장 적합한 중량 분포를 나타낸 것이고, Worst는 가장 나쁜 분포 상태를 나타낸 것이다. Good과 Poor는 각각 Optimal과 가까운 조건과 Worst에 가까운 조건을 나타낸 것이다. 조정 방법은 먼저 차축의 중량 분포를 설정한 후 타이어에 작용하는 하중에 따라 공기압을 조정하였다. 타이어 공기압에 대한 Optimal은 공기압을 적정 수준으로 조정된 상태이고, Poor는 적정 수순이 아닌 상태를 나타낸 것이다. 후륜의 경우에는 전

륜보다 하중의 변화가 크지 않았기 때문에 공기압 수준도 큰 변화가 없었다. 조건 4와 5는 차축의 중량 분포와 타이어의 공기압이 적합한 조건이 아닌 경우로서 적합한 조건인 경우와 비교하기 위하여 설정하였다.

다. 포장 시험

포장 시험은 경기도 수원시 서둔동에 위치한 논에서 실시하였으며, 쟁기 작업은 표 10에서와 같이 7개 구획의 논에서 5가지 조건으로 2011년 4월 9일부터 2일간 실시하였으며, 무논 로터리 작업은 동일한 5개 구획의 논에서 2가지 조건으로 2011년 5월 14일부터 2일간 실시하였다.

토양 강도는 쟁기 작업을 실시하기 전에 원추 관입 저항을 측정하여 원추 지수로서 나타내었으며, 함수율과 토성은 7개 샘플을 채취하여 실험실에서 각각 오븐법과 미농무성 분류법에 따라 결정하였다(Nam et al., 2009). 7개 구획의 토성은 모두 양질 사토이였으며, 함수율은 구획에 따라 다르나 27.1-56.1%의 범위이었다. 원추 지수는 25 cm 깊이에서 1.7-2.3 MPa 범위이었다. 원추 관입 저항을 측정하기 위하여 사용한 시험기의 체원은 표 11에서와 같고, 표 12, 13은 7개 구획의 논토양에 대한 강도와 토성을 나타낸 것이다.

쟁기 작업에서 사용한 이랑 쟁기와 무논 로터리 작업에서 사용한 로터리의 체원은 표 14에서와 같고, 트랙터 운전자는 작업 경력이 30년인 농업인으로서 평소에 작업 방식대로 작업하도록 하였다. 쟁기 작업의 경심은 20 cm를 유지하도록 하였으며, 변속 단수는 가장 널리 사용되는 M-4단을 유지하도록 하였다. 무논 로터리 작업에서는 M-4와 M-2의 2개 변

Table 10 Weight distribution and tire inflation pressure for field experiments

Operation	Condition	Plot	Front weight (N)	Weight distribution (%)		Tire inflation pressure (kPa)		Adjustment	
				Front	Rear	Front	Rear	Weight distribution	Inflation pressure
Plowing	1	A, B, C	1,884	51	49	152	76	Good	Optimal
	2	C, D, E	2,511	54	46	165	76	Optimal	Optimal
	3	E	314	45	55	83	76	Worst	Optimal
	4	F	1,884	51	49	165	152	Good	Poor
	5	G	942	48	52	152	110	Poor	Poor
Rotovating	6	A, B, C	2,511	54	46	24	76	Good for rotovating	Optimal
	7	D, E	942	48	52	110	76	Optimal for rotovating	Optimal

Table 11 Specifications of soil penetrometer

Item	Specifications
Manufacturer	Spectrum Technology Inc., USA
Model	SC-900
Measuring depth (cm)	0-45±1.25
Measuring resistance (kPa)	0-7,000±103

Table 12 Soil properties of experimental fields

Plot	Soil type	Moisture content (%)	Cone index by depth (kPa)					
			0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
A	Loamy sand	54.4	276.7	541.2	562.8	1422.9	2699.3	2201.1
B	Loamy sand	48.0	430.9	462.8	493.8	1085.1	1633.2	1704.7
C	Loamy sand	42.1	224.9	307.7	481.8	886.0	1485.0	2111.5
D	Loamy sand	27.1	257.1	336.9	521.0	918.0	1521.8	2112.7
E	Loamy sand	35.8	232.7	362.8	586.1	773.1	1129.0	1862.4
F	Loamy sand	56.1	241.3	334.4	545.6	979.1	1453.9	1922.8
G	Loamy sand	43.6	207.7	392.1	632.6	1121.3	1955.5	2270.1

Table 13 Soil contents of experimental fields

Plot	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
A	0.8	18.9	80.3
B	0.7	17.2	82.1
C	1	23	76
D	0.7	17.1	82.2
E	0.6	14	85.4
F	1	24	75
G	0.8	19.8	79.4

Table 14 Implements used for plowing and water-harrowing operations

Imple-ment	Model	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Weight (kN)	Required Power (kW)	Manufacturer
Plow	YS-5P-500-1800	1,950	1,750	1,350	3.9	33-37	YoungShin
Rotary	HC-175GS	838	1,912	1,014	3.8	33-37	DaeDong

Table 15 Measured data taken during plowing operation

Condition	Engine speed (rpm)	Work velocity (km/h)	Front wheel slip (%)	Rear wheel slip (%)	Fuel consumption (L/h)	Engine power (kW)	FC_{SV} , (L/kWh)	FC_A , (mL/m ²)
1	1599.8	4.4	8.6	7.7	4.0	13.1	0.31	0.50
1	1685.4	4.7	7.5	7.5	4.1	13.1	0.32	0.48
1	1737.4	4.8	8.0	7.8	4.1	12.4	0.34	0.48
2	1702.4	4.6	7.0	6.7	3.8	11.9	0.33	0.46
2	1651.5	4.5	6.2	6.6	3.6	11.1	0.33	0.44
2	1576.5	4.3	7.4	6.4	3.7	11.4	0.33	0.47
3	1426.4	3.7	9.6	7.9	3.6	11.2	0.33	0.54
4	1320.4	3.4	10.7	10.8	3.2	9.6	0.35	0.53
5	1668.2	3.6	26.2	22.9	4.2	13.5	0.32	0.74

속 단수에서 작업하도록 하였다. 데이터는 직진하며 작업할 때만 수집하였으며, 각 구획에서 데이터 수집 시간은 최소한 20분으로 하였으나 조향, 작업기 상승, 작업기 하강, 정지, 후진 등 작업 준비 과정의 시간은 제외하였다.

3. 결과 및 고찰

포장 시험에서 쟁기 작업은 준비, 쟁기 하강, 쟁기 관입, 경

심 확인, 쟁기 작업, 방향 전환의 순서로 수행하였다. 데이터 분석은 직진으로 작업하는 구간에서 측정된 데이터만을 이용하였다. 각 구획의 엔진 토크와 속도, 차축 토크와 속도, PTO 토크와 속도, 견인력, 작업 속도, 연료 소모량은 최소한 20분 동안 측정된 데이터의 평균값으로 나타내었다.

표 15는 쟁기 작업에서 측정된 데이터를 분석한 결과이다. 엔진 출력은 모든 구획에서 평균 9.6~13.5 kW이었으며, 이는 PTO 정격 출력의 25~35%에 해당하였다. 엔진 속도의 범

위는 1,320.4~1,737.4 rpm이었으며, 작업 속도는 3.4~4.8 km/h, 연료 소모량은 3.2~4.2 L/h이었다. 그림 11은 쟁기 작업 시 엔진의 출력 및 속도 영역을 나타낸 것이다.

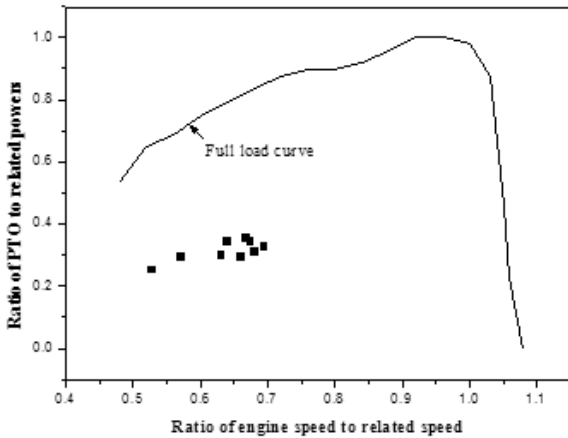


Fig. 11 Region of engine operation for plowing.

차축 중량 분포와 타이어 공기압이 엔진 사용 영역과 출력 당 연료 소비율에 미치는 영향은 크게 나타나지 않았다. 엔진 사용 영역과 엔진 출력 당 연료 소비율은 엔진 스톱의 열림 정도, 변속 단수, 작업 종류 등에 의한 영향이 크지만, 토양의 영향은 크지 않은 것으로 알려져 있으며(Park et al.,

2010), 본 실험에서도 유사한 결과가 나타났다. 그림 12는 차축의 중량 분포가 Good이고 공기압 조건이 Optimal일 때 측정된 구동륜 출력, 견인 출력, 연료 소모량, 작업 속도 신호의 일부분을 나타낸 것이다. 좌우 구동륜의 출력 신호는 각각 +와 -로 표시되어 있다. 쟁기 작업의 경우, 엔진 출력은 대부분 견인 동력으로 이용되었으며 전륜에서보다 후륜으로 더 많은 동력이 전달되었다. 쟁기가 토양에 관입되는 순간 큰 견인 동력이 필요하였으며, 견인 동력이 감소함에 따라 작업 속도는 증가하였다. 시간당 연료 소모량은 엔진 출력에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다.

차축의 중량 분포에 따라 타이어 공기압을 Optimal로 유지한 1, 2, 3 조건에서 전후륜의 슬립은 10% 내외로서 같은 수준이었으나, Poor인 4, 5의 조건에서는 슬립이 10% 이상으로 크게 증가하였다. 전방 균형추를 제거함에 따라 전륜의 슬립은 비례적으로 증가하였으나, 후륜의 슬립에는 큰 변화가 나타나지 않았다.

토양의 함수율이 슬립에 미치는 영향을 구명하기 위하여, 함수율이 서로 다른 구획 A, B, C에서 적정 공기압을 유지한 1과 2의 조건으로 슬립을 측정하여 비교하였으나, 표 15에서와 같이 토양의 함수율에 따른 슬립에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 함수율이 42.1-54.4%인 범위에서는 토양의 함수율이 차륜의 슬립에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

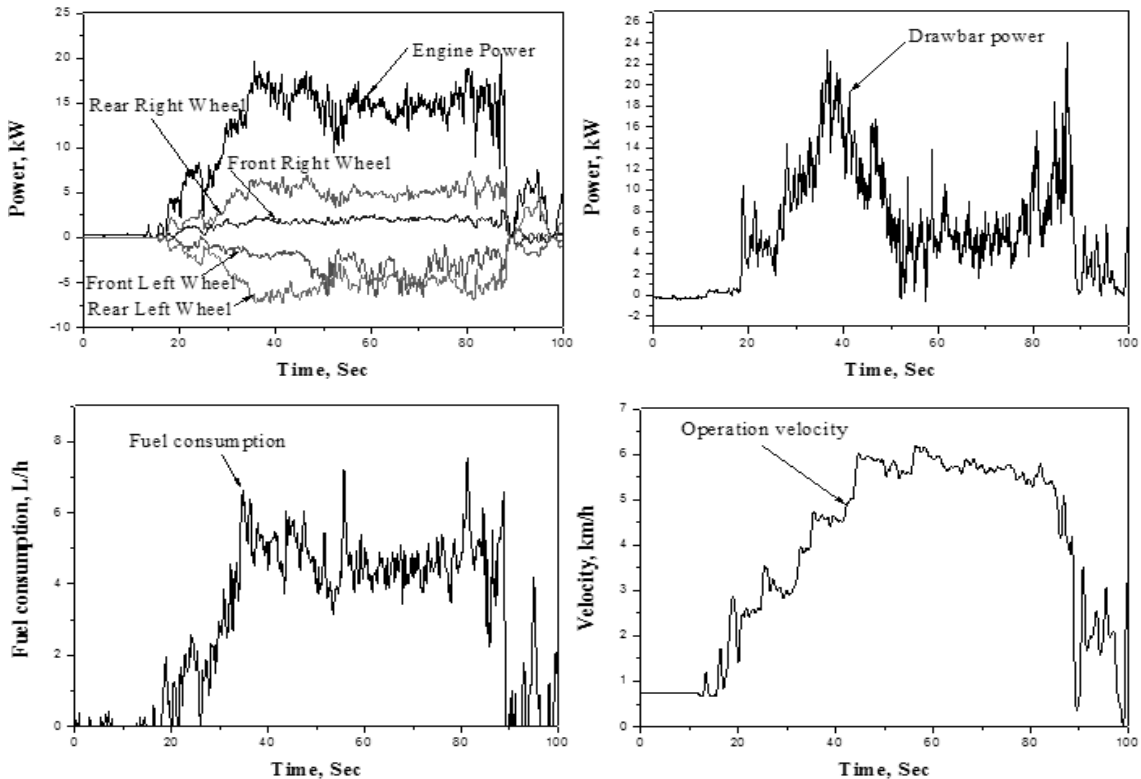


Fig. 12 Data signal taken during plowing operation with optimal axle load distribution and poor tire inflation pressure.

차축 중량 분포와 타이어 공기압에 따른 연료 소모량은 엔진 출력당 연료 소비율에서는 큰 변화가 없었으나, 작업 면적당 연료 소모량에서는 큰 변화가 나타났다. 차축 중량 분포와 타이어 공기압이 모두 적절한 조건 2에서 작업 면적당 연료 소모량은 0.44~0.47 mL/m²이었으나, 중량 분포가 적절하지 않았던 1과 3의 조건에서는, 중량 분포에 따른 타이어 공기압이 적절하였음에도 불구하고, 작업 면적당 연료 소모량은 0.48~0.54 mL/m²이었다. 즉, 차축 중량에 따라 적정 타이어 공기압을 유지하더라도 차축의 중량 분포가 적절하지 않는 경우에는 작업 면적당 연료 소모가 10~20% 증가하였다. 차축 중량 분포와 공기압이 모두 적절하지 않았던 조건 5의 경우, 단위 면적당 연료 소모량은 0.74 mL/m²로서 적정 조건일 때의 0.45 mL/m²보다 약 65%의 연료 소모가 더 많은 것으로 나타났다.

표 16은 차축의 중량 분포를 Good과 Optimal로 타이어 공기압을 모두 Optimal로 설정하였을 때 무논 로터리 작업에서 측정된 데이터를 분석한 결과이다. 무논 로터리 작업에서 엔진 속도의 범위는 평균 1,557~2067 rpm이었으며 작업 속도의 범위는 평균 2.5~5.4 km/h이었다. 엔진 출력은 평균 11.5~18.5 kW로서 정격 PTO 출력의 30~48.4% 수준이었으며, 이중 6.2~12.2 kW는 PTO 동력이었다. 연료 소모량은 평균 3.2~5.5 L/h 범위이었다.

그림 13은 무논 로터리 작업 시 엔진의 출력과 속도 영역을 나타낸 것이다. 무논 로터리 작업은 쟁기 작업에서보다 작업 속도가 빠르고, 출력이 큰 것으로 나타났다. 엔진 출력이 높았음에도 불구하고 단위 출력 당 연료 소비율은 쟁기 작업에서보다 적었다. 이는 엔진의 사용 영역이 쟁기 작업에서보다도 전부하 상태에 더 근접하였기 때문에 출력당 연료 소비율이 감소한 것으로 판단된다.

무논 로터리 작업에서도 쟁기 작업에서와 같이 차축 중량 분포와 타이어 공기압이 엔진의 사용 영역에 미치는 영향은 크게 나타나지 않았다. 따라서 엔진 출력당 연료 소비율에서

도 차축 중량 분포와 타이어 공기압의 영향은 크게 나타나지 않았다. 그러나 단위 작업 면적당 연료 소모량은 차축 중량 분포의 Good과 Optimal 조건 사이에서 20%의 차이가 나타났다. 무논 로터리 작업에서도 토양의 함수율이 엔진 사용 영역에 미치는 영향은 크게 나타나지 않았다. 즉 차축 중량 분포, 타이어 공기압, 토양의 함수율이 변하더라도 엔진이 사용되는 영역은 크게 변하지 않았으며 변속 단수에 따른 연료 소모량의 변화도 일정한 경향을 보이지 않았다.

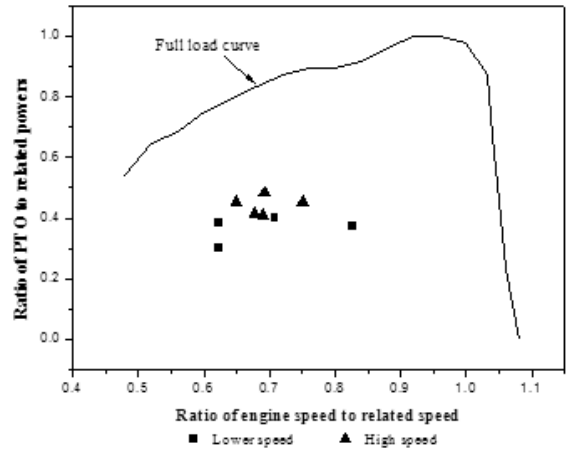


Fig. 13 Range of engine operation for rotovating in flooded field.

그림 14는 무논 로터리 작업에서 측정된 구동륜 출력, 엔진 출력, 연료 소모량, 작업 속도신호의 일부분을 나타낸 것이고, 그림 15는 쟁기 작업, 무논 로터리 작업, 작업 전후 이동 시 엔진 출력과 속도 영역을 비교하기 위하여 나타낸 것이다. 무논 로터리 작업에서 엔진 출력의 대부분은 PTO 동력으로 이용되었으며, 연료 소모량 역시 쟁기 작업에서와 같이 엔진 출력에 비례하는 것으로 나타났다.

쟁기 작업과 무논 로터리 작업 시 엔진의 출력과 속도 영역은 OECD 트랙터 시험 코드 2의 연료 소모량 측정 지점과

Table 16 Measured data taken during rotary operations in flooded field

Condition	Gear	Engine speed (rpm)	Engine power (kW)	Front wheel slip (%)	Rear wheel slop (%)	Work velocity (km/h)	Fuel Consumption (L/h)	PTO power (kW)	FC _{SV} (L/kWh)	FC _A (mL/m ²)
6	M-2	2067.8	14.3	9.1	15.8	4.5	3.6	10.7	0.25	0.42
6	M-2	1771.0	15.3	5.6	12.6	3.7	4.1	8.5	0.27	0.58
6	M-2	1557.6	14.6	24.1	23.5	2.5	3.1	6.2	0.21	0.65
6	M-4	1876.9	17.4	7.1	13.6	5.4	5.3	12.2	0.30	0.51
6	M-4	1729.9	18.5	4.1	6.8	4.8	5.5	11.2	0.29	0.59
6	M-4	1626.2	17.4	12.5	15.8	4.2	4.3	7.9	0.25	0.54
7	M-2	1557.4	11.5	10.5	21.0	3.1	3.2	6.8	0.27	0.53
7	M-4	1723.7	15.7	5.2	11.0	5.1	4.3	9.1	0.27	0.44
7	M-4	1694.0	15.8	4.6	9.7	4.8	4.2	8.5	0.27	0.46

차축의 중량 분포와 타이어의 공기압이 트랙터 작업의 연료 효율에 미치는 영향

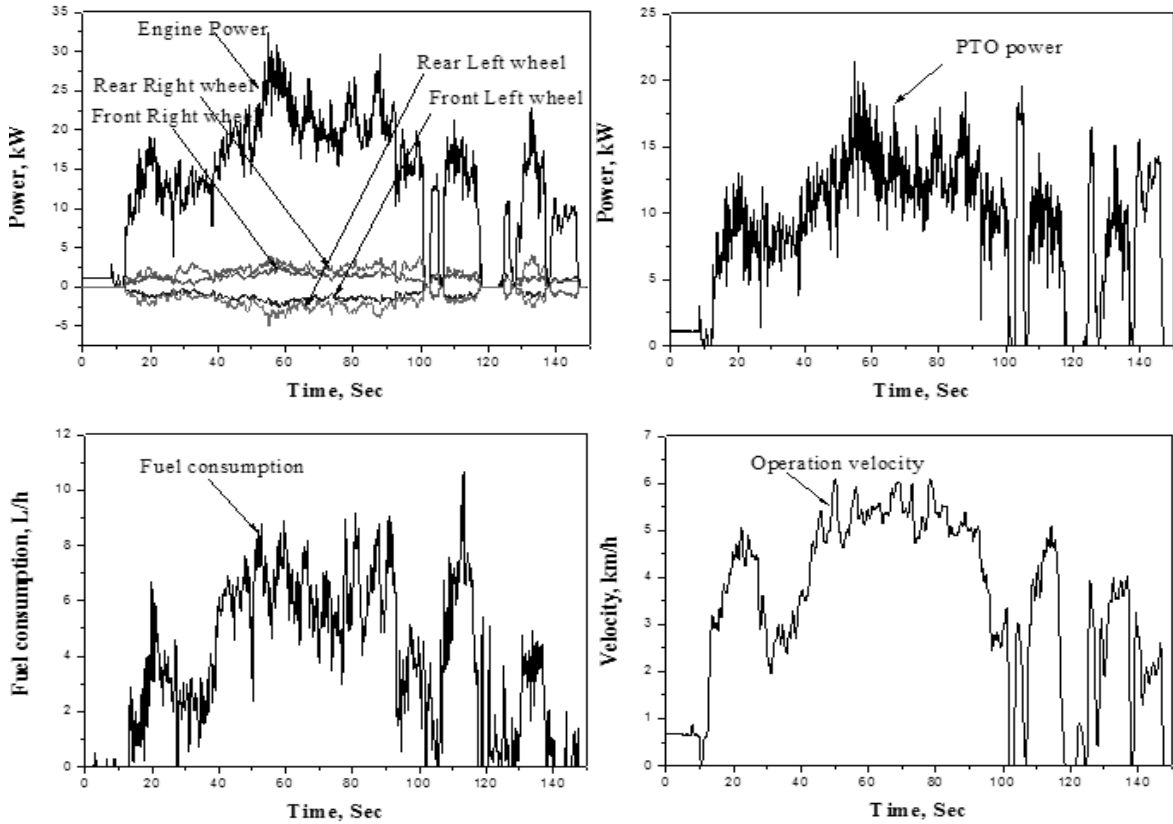


Fig. 14 Data signal taken during rotovating in flooded field.

인접한 것으로 나타났다.

구명하기 위하여 수행되었으며, 주요 결과는 다음과 같다.

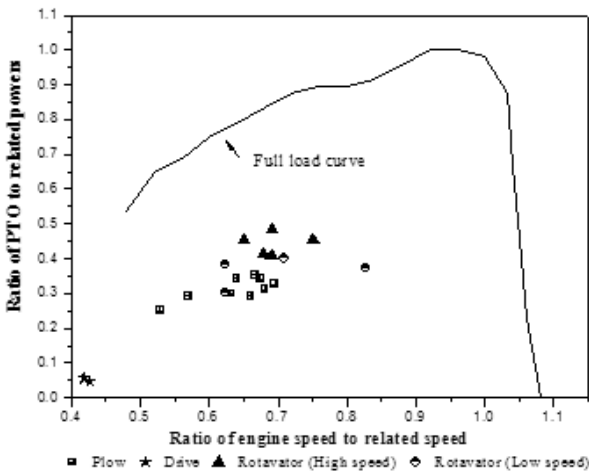


Fig. 15 Range of engine operation for plowing, rotovating and traveling operations.

4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터로써 쟁기 작업과 무논 로터리 작업을 수행할 때 엔진의 출력 및 속도 영역을 확인하고, 차축의 중량 분포와 타이어 공기압이 엔진의 연료 소비에 미치는 영향을

- (1) 쟁기 작업의 출력은 평균 9.6~13.5 kW이었으며 이는 PTO 정격 출력의 25~35%에 해당하였다. 엔진 속도의 범위는 1,320.4~1,737.4 rpm이었으며, 작업 속도는 3.4~4.8 km/h, 연료 소모량은 3.2~4.2 L/h이었다.
- (2) 무논 로터리 작업에서 엔진 속도의 범위는 평균 1,557~2,067 rpm이었으며 작업 속도의 범위는 2.5~5.4 km/h 이었다. 엔진 출력은 11.5~18.5 kW로서 정격 PTO 출력의 30~48.4% 수준이었으며, 이중 6.2~12.2 kW는 PTO 동력이었다. 연료 소모량은 3.2~5.5 L/h 범위이었다.
- (3) 쟁기 작업과 무논 로터리 작업에서 차축 중량 분포, 타이어 공기압, 토양의 함수율이 엔진 출력, 출력당 연료 소비율, 엔진 사용 영역에 미치는 영향은 크게 나타나지 않았다. 그러나 작업 면적당 연료 소모량에서는 차축 중량 분포와 타이어 공기압이 적정하였을 때가 그렇지 않았던 때에 비하여 쟁기 작업에서는 65%, 무논 로터리 작업에서는 20%의 연료가 절약된 것으로 나타났다.
- (4) 차축의 중량 분포와 타이어 공기압을 적절히 조정함으로써 단위 면적당 쟁기 작업에서는 10~65%, 무논 로터리 작업에서는 10~20%의 연료를 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0023058).

참고 문헌

1. Casady, W. W. 1997. Tractor tire and ballast management. Agricultural Publication G1235. University of Missouri-Columbia. Columbia, MO, USA.
2. Fulton, J., R. Raper., T. McDonald and T. Tyson. 2006. Fuel conservation strategies for the farm. Alabama Cooperative Extension System. ANR-1303. Alabama A&M and Auburn University. Auburn Alabama USA.
3. Grisso, R. D and Pitman 2009. Gear up and throttle down - saving fuel. Virginia Cooperative Extension Publication. pp. 442-450. Virginia Tech, Blacksburg, VA. USA.
4. Kim, D. C. 1998. Analysis of load spectrum of tractor drive line. Master's thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. (In Korean)
5. Kim, K. U., L. S. Bashford and B. T. Sampson. 2005. Improvement of tractor performance. Applied Engineering in Agriculture 21(6):949-954.
6. Koelsch, R. K. 1978. Gear-up and throttle-down to save fuel. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. PM-18.3 N, Cornell University, Ithaca, NY, USA.
7. KS. 2009. KS M 6752 Rubber tires for agricultural implements and machineries. KATS. Gwacheon, KOREA (In Korean).
8. Lee, K. C., K. H. Ryu., J. Y. Rhee., J. H. Hong., H. J. Kim., J. H. Yu. 2010. Development of an active tire pressure control system using a tire simulator. Journal of Biosystems Engineering 35(1):21-30 (In Korean).
9. Lim, J. G., C. H. Nam., K. T. Kim., Y. Y. Kim and H. K. Kim. 2008. Development of a measurement system of the required Power for tractor PTO driven implements. Proceedings of the KSAM 2008 Summer Conference 13(2):3-7. (In Korean).
10. NACF. 2010. Work Guidelines for tax-free fuels. National Agricultural Cooperative Federation, Seoul, Korea. (In Korean)
11. Nam, J. S., D. C. Kim., K. U. Kim. 2009. Real time prediction of rating cone index using measured wheel sinkage and slip. Journal of Biosystems Engineering 34(4):205-210. (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., Y. Jang., and S. S. Kim. 2010b. Development of eco driving for agricultural tractor. Journal of Biosystems Engineering 35(2):77-84. (In Korean)
14. Park, S. H., Y. J. Kim., D. H. Im., C. K. Kim., Y. Jang., and S. S. Kim. 2010c. Analysis of factors affecting fuel consumption of agricultural tractor. Journal of Biosystems Engineering 35(3):151-157. (In Korean)