

트랙터 부착형 땅속작물 수확기의 견인 작업시 소요동력 분석

장정훈*, 김완수*, 최창현**, 박성운***, 김용주****

Analysis of power requirement of the underground crop harvester attached on agricultural tractor during traction operation

Jeong-Hoon Jang*, Wan-Soo Kim*, Chang-Hyeon Choi**, Seong-Un Park***, Yong-Joo Kim****

요약 국내 논 작업의 기계화율은 약 90% 이상 되었지만, 밭 작업의 기계화율은 약 60%이며, 수확작업의 기계화율은 10%내외로 밭 작업의 기계화율의 제고가 필요한 실정이다. 그러므로 본 연구는 트랙터 부착 수확작업기 개발을 위한 기초연구로써 마늘, 양파 등 땅속작물수확기의 견인작업에 따른 트랙터 차축의 부하 신호를 측정하고 주행속도에 따른 차축 소요 동력을 분석하였다. 밭 작업용 트랙터 차축의 소요 동력을 측정하기 위하여 휠 센서와 데이터 수집 시스템을 설치하였으며, 두 개의 작업속도에서 견인작업을 수행하며 소요 동력을 측정하였다. 측정한 데이터는 일원 분산분석을 수행하여 트랙터 주행 속도가 차축 소요 동력에 미치는 영향을 분석하였다. 소요 동력 분석 결과, 트랙터 부착 작업기의 작업속도가 증가할수록 트랙터의 소요 동력이 증가됨을 알 수 있었으며, 트랙터 동력전달시스템의 최적설계를 위해서는 다양한 수확작업에 따른 소요동력 분석이 필요함을 알 수 있다.

Abstract In Korea, the mechanization ratio of field farming is about 58.3%. Especially, mechanization ratio of harvest operation is 10% or less. So, it is required to improve the mechanization ratio of harvest operation to analyze the power requirement analysis of agricultural tractor. The purpose of this study is to analyze power requirement of the underground crop harvester attached on agricultural tractor for traction operation. First, a power measurement system was developed and installed in 45 kW agricultural tractor. Second, field experiments were conducted at two driving speed levels (1.41, 2.17 km/h), and axle torque and rotation speed were analyzed. At 1.41km/h driving speed, the average power requirement of driving axle is 3.13 kW, respectively, at 2.17km/h driving speed, the average power requirement of driving axle is each 4.20 kW. In addition, the field tests show that as the driving speed increases by 53%, the power requirement of the underground crop harvester attached on agricultural tractor increases by 34%. Therefore, it indicated that the power requirement of agricultural tractor was affected by the driving speed.

Key Words : Load analysis, Load measurement, Traction, Tractor, Power requirement, Underground crop harvester

1. 서론

트랙터의 동력전달시스템은 트랙터의 가격과 성능을

결정하는 요인 중 하나로 국내 트랙터 제품의 경쟁력 강화를 위해서는 동력 전달 시스템의 최적 설계가 가장 중요하다(Kim et al, 1999). 이를 위해서는 주요 농작

This Paper was supported by research Fund of Agricultural, Forestry, Food Research Center Support Program(Project No.: 714002-07), Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs in 2018.

*Department of Biosystems Engineering, Chungnam National University

**Department of Biosystems Engineering, Chungnam National University

***Department of Biosystems Engineering, Chungnam National University

****Corresponding Author : DDepartment of Biosystems Engineering, Chungnam National University (babina@cnu.ac.kr)

Received March 07, 2018

Revised March 15, 2018

Accepted March 20, 2018

업에 따른 소요 동력 분석이 요구된다(Kim et al, 2014). 트랙터의 소요 동력은 트랙터 자체의 형상, 작업 종류, 토양 조건, 작업 방식, 작업자의 숙련도 등의 영향을 받기 때문에 다양한 작업 조건에 대한 연구가 필요하다. 국내에서는 대표적인 농작업인 쟁기, 로타리 작업에 관한 연구가 대부분으로 다양한 농작업 소요동력 분석에 관한 연구는 부족한 실정이다.

Lee et al(2014)은 70kW급 트랙터의 농작업에 따른 소요동력을 예측하고 변속기 내구시험을 위하여 부하스펙트럼을 작성하였다. Park et al(2010)은 트랙터 경운정지작업(쟁기, 로타리, 무논정지)의 PTO 출력과 연료소모량을 측정하여, OECD 트랙터 시험기준에 따라 측정된 PTO 출력과 연료소모량을 비교 분석하였다. Kim et al(2016)은 승용 정식기에 소요동력 예측 시스템을 설치하고 이식 작업시 주간 거리에 따른 PTO 부하를 분석하였으며, Park et al(2013)은 71kW급 농업용 트랙터의 경운 작업시 기어 단수에 따른 구동 축에 작용하는 부하를 분석하였다. Choi et al(2000)은 쟁기, 로타리 등 경운정지 작업에 따른 트랙터의 소요동력 예측 시스템을 구축하고 주요 동력부의 부하를 분석하였다. Kim et al(2011)은 트랙터의 로타리 작업시 PTO의 가혹도를 평가하기 위하여 트랙터 PTO의 동력 예측 시스템을 개발하였다. Kim et al(2009)은 견인 부하가 엔진에 미치는 영향을 분석하기 위해 농작업시 발생하는 견인 부하를 측정하여 엔진의 전부하 성능과 비교 하였다.

농작업에 따른 소요동력 분석은 농기계의 최적화를 위하여 필요하나, 현재까지 수행된 연구는 트랙터의 경운정지 작업에 따른 소요동력 분석에 대한 것으로 아직까지 트랙터의 부착 수확작업기에 관한 연구는 전무한 실정이다. 특히, 국내 밭 농사 기계화율은 '16년 약 58.3%로 수확작업의 기계화율이 10%내외로 다른 작업에 비해 현저히 낮아(MAFRA, 2016) 밭 작물 수확기 계획율의 제고를 위해서는 수확작업의 소요 동력 분석이 필요한 실정이다.

그러므로 본 연구는 트랙터 부착 수확작업기 개발을 위한 기초연구로써 마늘, 양파 등 땅속작물수확기의 견인작업에 따른 트랙터 차축의 부하 신호를 측정하고 주행속도에 따른 차축 소요 동력을 분석하였다.

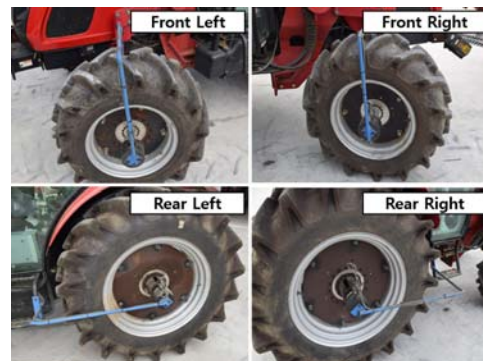
2. 재료 및 방법

2.1 트랙터 제원

본 연구에서는 국내 밭 작업 환경에서 주로 사용되는 45kW급 트랙터를 사용하였다. 트랙터는 무게 2,741 kg, 정격토크 238Nm(@ 2,200 rpm)인 동양물산기업(株)의 T623모델을 사용하였으며, 변속기는 수동 기어식 변속기로 주변속 4단, 부변속 3단, 전·후진 2단으로 총 24단의 다양한 속도비를 가지고 있다.

2.2 소요동력 예측 시스템

땅속작물수확기의 견인작업 시, 트랙터 차축의 소요 동력을 측정하기 위한 휠 센서는 S.HIMMELSTEIN & CO 의 MCRT 27820T 모델을 Fig.1과 같이 트랙터의 전후·좌우 각각 설치하였다. 휠 센서는 토크와 회전속도를 동시에 측정이 가능하며, 이때, 토크센서의 최대 토크 출력 범위는 전륜 5,650 Nm, 후륜 15,000 Nm 이다.



1.

Fig. 1. Photos of sensor installation for tractor axle power measurement.

2.3 데이터 수집 시스템

트랙터 차축의 소요동력 측정을 위한 데이터 수집 시스템은 National Instruments (USA)社의 NI-6259를 사용하였으며, Fig.2와 같이 설치하였다. NI-6259는 아날로그 입력 32 채널, 아날로그 출력 4 채널, 디지털 입출력 48채널이 가능하다. 또한, 고속으로 신호측정이 가능하도록 10MHz의 디지털 입력을 가

지고 있으며, 분해능이 16비트로 0.3mV단위로 정밀한 토크 측정이 가능한 장점이 있다.



2. Fig. 2. Data acquisition system installed in the tractor

2.4 포장 시험

포장 시험은 전라북도 익산시 은기동 은기길에 위치한 포장시험지에서 수행하였으며, 포장 시험지의 토양 환경을 측정하기 위해 Fig. 3과 같이 Daiki社의 DIK-5530 모델의 원추 관입계와 미래센서社의 토양 환경 측정 센서 WT100B를 사용하여 토양 경도, 전단력, 함수율, 온도, 전기전도도를 측정하였다.



3. Fig. 3. Photos of soil environment sensors (left : soil strength, right : moisture content, temperature, and EC)

토양 측정 결과는 Table.1 과 같이, 토양 강도 2,034 kPa, 전단력 19.4 Nm, 함수율 14.88 %, 전기 전도도 6 dS/m, 온도 23.24 °C로 나타났다.

1. Table 1. Measured soil properties for used in fields test

Item	Specification
Cone index (kPa)	2.034
Shearing force (Nm)	19.4
Moisture Content (%)	14.88
Electrical Conductance (dS/m)	6
Temperature ()	23.24

수확기는 Fig.4와 같이 KSF社의 땅속작물수확기 JK-RH160을 사용하였다. 땅속작물수확기의 무게는 300 kg, 작업 넓이는 최대 160 , 작업 깊이는 10 cm ~ 45 cm까지 가능하다. 포장 시험 조건은 수확 작업에서 가장 많이 사용하는 작업 속도인 1.41km/h(L2단), 2.17km/h(L3단)에서 수행하였으며, 이때, 엔진의 회전속도는 정격속도인 2,200rpm으로 고정하였다.



4. Fig. 4. Photos of underground crop harvester (left) and its traction operation attached to agricultural tractor (right)

트랙터를 이용한 땅속작물수확기의 견인 작업에 따른 소요 동력은 식(1)과 같이 각각의 토크 와 회전수를 이용하여 계산하였다(Kim at el, 2011). 이때, 포장 시험은 총 3회 반복 실험하였으며, 트랙터 주행 속도에 따른 전/후륜의 소요 동력을 분석하였다.

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

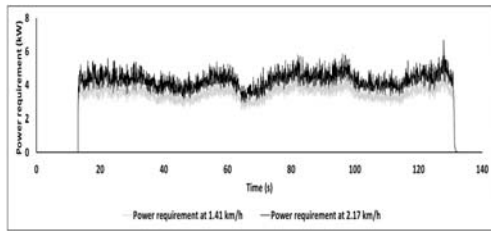
Where, $T =$

3. 소요동력 계측 결과

3.1 소요 동력 데이터

트랙터를 이용한 땅속작물수확기의 견인 작업에 따

른 대표적인 소요 동력 측정 결과는 주행속도 1.41km/h(L2단)와 2.17km/h(L3단)에서 Fig.5와 같이 나타났다. 주행속도 1.41 km/h로 견인 작업을 할 때의 차축의 소요 동력은 2.52 ~ 5.36 kW의 범위를 보였으며, 2.17km/h 일 때의 차축의 소요 동력은 2.94 ~ 6.66 kW로 주행속도 1.41 km/h 보다 높은 소요동력이 필요함을 알 수 있다.



5.
Fig. 5. Power requirements of agricultural tractor according to working speed

3.2 소요 동력 측정 결과

땅속작물수확기를 이용한 견인작업 시, 주행 속도 1.41km/h일 때, 전륜과 후륜 차축의 평균 소요 동력은 각각 1.26, 1.87 kW로 나타났으며 주행 속도 2.17km/h일 때, 전륜과 후륜 차축의 평균 소요 동력은 각각 1.69, 2.51 kW로 나타나, 견인작업 시, 후륜에서의 소요 동력이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 이는 트랙터 후륜 바퀴의 직경이 전륜 보다 더 크기 때문으로 판단된다. 주행 속도에 따른 트랙터 차축 소요 동력은 1.41 km/h로 견인 작업을 수행할 때, 전체 동력의 약 6.9%인 3.13 kW로 나타났다. 또한, 주행 속도 2.17 km/h로 견인 작업을 수행할 때의 소요동력은 4.20 kW로 나타나 전체 동력의 약 9.3%를 소모하는 것으로 나타났다. 주행 속도에 따라 일원분산분석을 수행한 결과, 주행 속도에 따른 차축 소요 동력은 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 트랙터의 차축 소요 동력은 1.41km/h에서 2.17km/h으로 견인 작업 주행 속도가 약 53% 증가함에 따라 차축의 소요 동력이 약 34% 증가하는 것으로 나타나 견인 작업 주행 속도가 높을수록 차축의 소요 동력이 증가하는 것을 알 수 있다.

2.

Table 2. Statistical analysis of power requirement of agricultural tractor at different working speed

Working speed	1.41 km/hr		2.17 km/hr	
	Avg. \pm S.D. (kW)	Ratio to engine power (%)	Avg. \pm S.D. (kW)	Ratio to engine power (%)
Front	1.26 \pm 0.5a	2.8	1.69 \pm 0.9a	3.7
Rear	1.87 \pm 0.7b	4.1	2.51 \pm 1.4b	5.6
Sum	3.13 \pm 1.25	6.9	4.20 \pm 2.36	9.3

a) Mean with different superscript (a,b) in each column are significantly different at $p < 0.05$

그러므로 트랙터 부착 작업기의 작업속도가 증가할수록 트랙터의 소요동력이 증가됨을 알 수 있었으며, 트랙터의 동력 전달 시스템의 최적 설계를 위해서는 다양한 수확작업에 따른 소요동력 분석이 필요함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 트랙터 동력전달시스템의 최적 설계를 위한 기초 연구로서 땅속작물수확기의 견인작업시 주행 속도에 따른 트랙터의 차축 소요 동력 분석을 수행하였으며, 그 주요 결과는 다음과 같다.

땅속작물수확기를 이용한 견인작업시, 주행 속도 1.41km/h일 때, 전륜과 후륜 차축의 평균 소요 동력은 각각 1.26, 1.87 kW로 나타났으며, 주행 속도 2.17km/h일 때, 전륜과 후륜 차축의 평균 소요 동력은 각각 1.69, 2.51 kW로 나타났다.

주행 속도에 따른 트랙터 차축 소요 동력은 1.41 km/h로 견인 작업을 수행할 때, 3.13 kW로 나타났으며 이는 전체 동력의 약 6.9%를 소모하며, 2.17 km/h로 견인 작업을 수행할 때, 4.20 kW로 나타나 전체 동력의 약 9.3%를 소모하는 것으로 나타났다.

주행속도가 1.41 km/h에서 2.17 km/h로 약 53% 증가할 때, 차축의 소요 동력이 약 34% 증가하는 것으로 나타나 주행속도가 증가할수록 소요 동력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] J. S. Lee, H. Y. Yu, G. T. Lee, D. C. Kim, "Analysis of load spectrum of 70kW-class tractor for plowing operation", Journal of agriculture and life sciences, Vol. 45, No. 1, pp. 18-22, June, 2014.

[2] J. S. Kim, "Working load evaluation of parallel hybrid tractor for performance analysis", Master dissertation, Seoul National University of Science and Technology, 2014.

[3] S. C. Kim, K. U. Kim, D. C. Kim, "Analysis of drawbar load acting on tractor engine at maximum drawbar power", Journal of biosystems engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 71-76, April, 2014.

[4] W. S. Kim, S. O. Chung, C. H. Choi, J. S. Cho, D. S. Choi, Y. J. Kim, S. D. Lee, S. J. Hong, Y. J. Kim, S. M. Koo, "Analysis of the PTO torque of a transplanter by planting condition", Journal of biosystems engineering, Vol. 41, No. 4, pp. 313-318, October, 2016.

[5] Y. J. Kim, S. O. Chung, C. H. Choi, D. H. Lee, "Evaluation of tractor PTO severeness during rotary tillage operation", Journal of biosystems engineering, Vol. 36, No. 3, pp. 163-170, June, 2011.

[6] Y. J. Kim, D. H. Lee, S. O. Chung, S. J. Park, C. H. Choi, "Analysis of power requirement of agricultural tractor during baler operation", Journal of biosystems engineering, Vol. 36, No. 4, pp. 243-251, August, 2011.

[7] MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), "Retention status of agricultural machine", 2016

[8] S. H. Park, Y. J. Kim, D. H. Im, C. K. Kim, S. C. Jung, H. J. Kim, J. S. Lee, S. S. Kim, "Characteristics of tractor PTO power and work loads", Journal of biosystems engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 15-20, February, 2010.

[9] S. J. Park, Y. J. Kim, D. H. Lee,

"Analysis of load fuel efficiency of agricultural tractor by gear selection during plow tillage", Journal of Food, Agriculture and Environment, Vol. 11, No. 3&4, pp. 631-635, August, 2013.

[10] K. H. Kim, K. U. Kim, Y. G. Wu, Y. J. Kim, "Severity of transmission load in rotary operation in poorly drained paddy field", The Korean society of the agricultural machinery, Vol. 4, No. 1, pp. 53-59, 1999.

[11] C. H. Choi, M. J. Nahmgung, "Load measurement of tractor on field performance", The Korean society of the agricultural machinery, 23-44, 2000

(Jeong-Hoon Jang) []



• 2016 8 :

< > Bio-IT

(Wan-Soo Kim) []



• 2016 2 :

• 2018 2 :

< > Bio-IT

(Chang-Hyeon Choi) []



- 1984 2 : University of Iowa State()
- 1997 10 :

< > Bio-IT

(Seong-Un Park) []



- 2004 2 :
- 2006 2 :
- 2007 7 :

< > Bio-IT

(Yong-Joo Kim) []



- 2004 2 :
- 2013 1 2014 2 : LS
- 2014 3 :

< > Bio-IT