

ENGINEERING

Development of a hydraulic power transmission system for the 3-point hitch of 50-kW narrow tractors

Sun-Ok Chung¹, Yong-Joo Kim¹, Moon-Chan Choi¹, Kyu-Ho Lee¹, Jong-Kyou Ha^{2*}, Tae-Kyoung Kang³, Young-Keun Kim³

¹Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Research Institute, Kukje Machinery Co., Ltd., Okcheon 29036, Korea

³Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

*Corresponding author: jongkyou.ha@dongkuk.com

Abstract

High performance small and mid-sized tractors are required for dryland and orchard operations. A power transmission system is the most important issue for the design of high performance tractors. Many operations, such as loading and lifting, use hydraulic power. In the present study, a hydraulic power transmission system for the 3-point hitch of a 50 kW narrow tractor was developed and its performance was evaluated. First, major components were designed based on target design parameters. Target operations were spraying, weeding, and transportation. Main design parameters were determined through mathematical calculation and computer simulation. The capacity of the hydraulic cylinder was calculated taking the lifting force required for the weight of the implements into consideration. Then, a prototype was fabricated. Major components were the lifting valve, hydraulic cylinder, and 3-point hitch. Finally, performance was evaluated through laboratory tests. Tests were conducted using load weights, lift arm sensor, and lift arm height from the ground. Test results showed that the lifting force was in the range of 23.5 - 29.4 kN. This force was greater than lifting forces of competing foreign tractors by 3.9 - 4.9 kN. These results satisfied the design target value of 20.6 kN, determined by survey of advanced foreign products. The prototype will be commercialized after revision based on various field tests. Improvement of reliability should be also achieved.

Keywords: 3-point hitch, agricultural machinery, power transmission, tractor

Introduction

우리나라 농가 수는 2014년 117만 가구로 1970년의 248만 가구에 비해 약 52.6%가 감소하였다. 또한 농가 가구당 경지면적도 1970년 0.88 ha에서 2010년 1.23 ha로 증가하였으며, 농업인구의 고령화도 지속되었다. 따라서 최근에는 과수와 밭작물 생산작업 기계화의 중요성이 증가하였다. 국내 주요 농작업기구는 트랙터, 이앙기, 콤바인이 있으나 트랙터 보유대수는 2014년 기준 277,234대로 48%를 차지하고 있으며, 가동률은 87.1%로 사용빈도가 높고, 그 비중은 계속 증가하고 있다(KAMICO and KSAM, 2015). 트랙터의 비중이 높은 이유 중 하나는 트랙터 본체에 쟁



OPEN ACCESS

Citation: Chung SO, Kim YJ, Choi MC, Lee KH, Ha JK, Kang TK, Kim YK. 2016. Development of a hydraulic power transmission system for the 3-point hitch of 50-kW narrow tractors. Korean Journal of Agricultural Science 43:450-458.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160048>

Editor: Kyeong HwanLee, Chonnam National University, Korea

Received: September 5, 2016

Revised: September 13, 2016

Accepted: September 19, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기, 배토기, 파종기, 중경제초기, 비료살포기, 붐 스프레이어, 트레일러 등 각종 작업기를 부착하여, 경운, 정지, 비닐 피복, 파종, 중경제초, 시비, 방제, 운반, 양수, 탈곡 등의 각종 작업을 수행하는데 사용하기 때문이다(Chang et al., 2010; Sim et al., 2011). 발농사와 마찬가지로 기계화가 부족한 과수농사는 소형, 정밀함이 요구되고, 농지면적이 크지 않아 소형 작업기를 많이 사용하고 있다(Lee et al., 2006a; Chang et al., 2010). 그러나 국내의 트랙터 시장은 대형화, 안정성 위주의 기술 개발로 인해 소형 기종의 기계화는 아직 미흡한 상태이다. 과수농사는 30%의 낮은 기계화율을 보이고 있으며, 특히 과수작업의 노동투하시간이 높은 작업으로는 수확(17.2%), 적과(14.6%), 전정(11.8%) 및 병충해 방제(11.5%)로 나타나 이들 작업의 기계화가 시급한 것으로 나타났다(Capalbo and Denny, 1986).

트랙터 본체에 작업기들을 장착하고 제어하기 위하여 3점 히치를 활용하고 있다. 트랙터 3점 히치는 1920년대 초반에 쟁기를 장착하기 위한 장치의 하나로 개발되기 시작하여, 1935년 Harry Ferguson에 의해 현재와 가장 비슷한 모습으로 개발되었다(Lee and Park, 2011a). 트랙터 제어시스템에서 3점 히치는 중요한 요소이기에 많은 연구가 이루어졌다. 특히 기구학적인 해석 및 개량, 또는 트랙터의 작업기 제어시스템의 작동장치로서 이용되고 있는 유압회로의 응답특성 개선 등을 위한 연구들이 수행되어 왔다(Al-Jalil et al., 2001; Alimardani et al., 2008; Kim et al., 2011b; Lee and Park, 2011b). Kim et al. (2011a)은 유압장치의 소요동력을 계산하기 위해서 유압 펌프의 토출압력, 유량, 체적 효율을 이용하는 방법을 제시하였다. 유압펌프의 토출 압력은 주 및 보조 유압 펌프에 각각 압력센서를 장착하여 측정을 하였으며, 유량은 엔진 회전속도와 유압펌프의 회전속도가 비례하므로 엔진 회전속도와 각각의 펌프에 대한 이론 토출량을 이용하여 계산하였다. 유압장치의 소요동력은 실제 작업구간의 경우 주 유압장치 16.4%, 보조 유압장치 7.1%로 나타났으며, 전체 경로 구간의 경우 주 유압장치 13.8%, 보조 유압장치 5.7%로 나타났다고 보고하고 있다. 이외에 경운 작업 시(Bentaher et al., 2008; Pijuan et al., 2011), 실내의 인공적인 토양 환경(Chaplin et al., 1987) 등 여러 환경조건과 작업조건에서 3점 히치에 걸리는 부하, 기계 유압식 제어의 단점을 보완하여 마이크로컴퓨터를 통한 3점 히치 제어(Ryu et al., 1992; Portes et al., 2013), 비례밸브를 이용한 3점 히치 제어 시스템을 조사한 연구(Lee and Park, 2011a)도 있었다.

국내의 트랙터와 트랙터 주요 요소에 관한 연구는 엔진, 변속기 및 외장기술에서 많은 발전을 이루었다. 그러나 작업기 제어 시스템에 대한 개발은 미국, 호주, 영국, 일본 등 기술 선진국에 비해 발전 속도가 늦은 실정이다(Lee et al., 2006b; Chang et al., 2010). 본 연구에서는 선진국의 기종과 경쟁할 수 있는 50 kW 급 과수원용 트랙터 개발을 위한 핵심요소인 3점 히치 유압 동력 전달부를 개발하고, 그 성능을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

Materials and Methods

유압 동력 전달부 설계

과수재배 시 트랙터 3점 히치에 부착되는 작업기는 매우 종류가 다양하고, 그 중에서 방제 작업과 제초작업은 트랙터 동력을 이용하는 주요 작업이다. 제초 작업에 사용되는 sweeper, rotary mower, chopper, swing은 무게가 비교적 작은 작업기이다. 그러나 방제 작업에 사용되는 mister와 과수 정지용으로 사용되는 작업기는 상당한 무게를 가지고 있다. 따라서 유압시스템은 과수원용 트랙터의 방제, 제초 및 운반 작업에 적합한 유압회로를 Fig. 1과 같이 확정하였다. 유압 양력의 목표치는 선진사 모델을 조사 분석하여 20.6 kN으로 설정하였다. 유압회로에 대하여 Ha (2015)의 연구에 설명되어 있다.

유압 승강 실린더는 과수원용 방제기나 방제탱크 등 특수 작업기를 쉽게 승강 및 하강시키기 위하여 기존의 유압 실린더 케이스 내부에 장착되는 단동 실린더가 아닌 트랜스미션 외부에 장착되는 외장형으로 설계하였고, 기존의 단동 실린더보다 정비성 및 실린더 내경을 쉽게 변경하여 높은 양력을 발생시키도록 설계하였다.

이러한 작업기를 상승시키기 위해서 유압 양력이 좋아야 한다. 유압 양력은 근본적으로 유압 회로 시스템의 시스

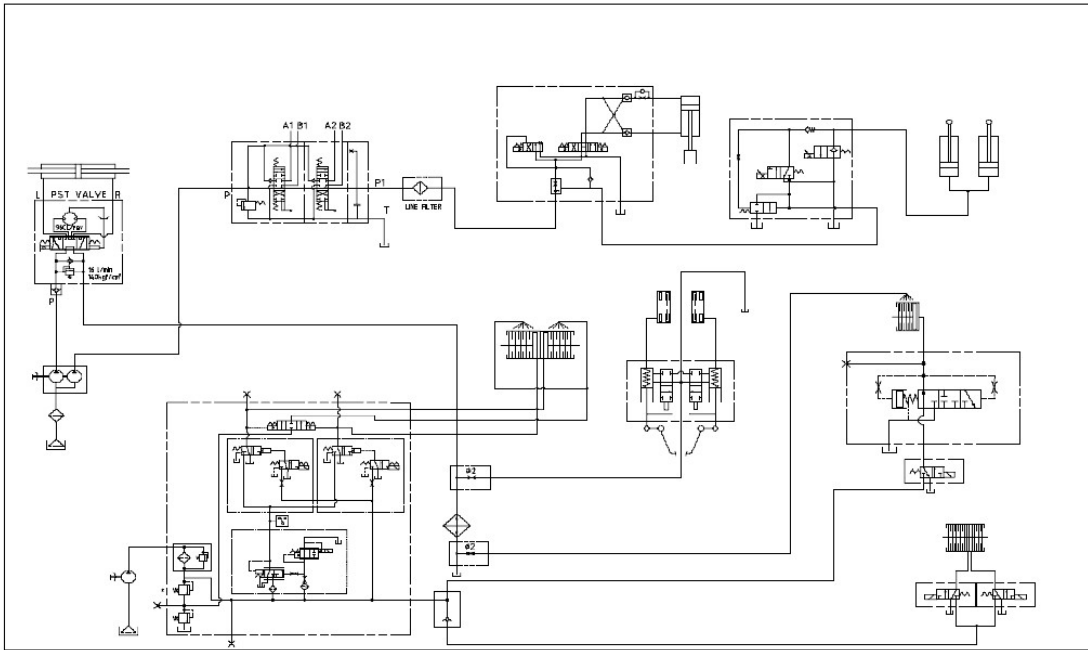


Fig. 1. Hydraulic circuit diagram of the tractor developed in the study.

템 압력에 의해 결정이 된다. 하지만 양력은 힘과 실린더 내 피스톤의 단면적의 곱에 비례하게 되므로 양력을 더 증대시키는 방법은 단동 실린더에서 복동 실린더로 구조를 변경하는 것이다. 본 연구에서 설계된 외장형 유압실린더의 구조는 Fig. 2, 변수에 대한 설명은 Table 1과 같다.

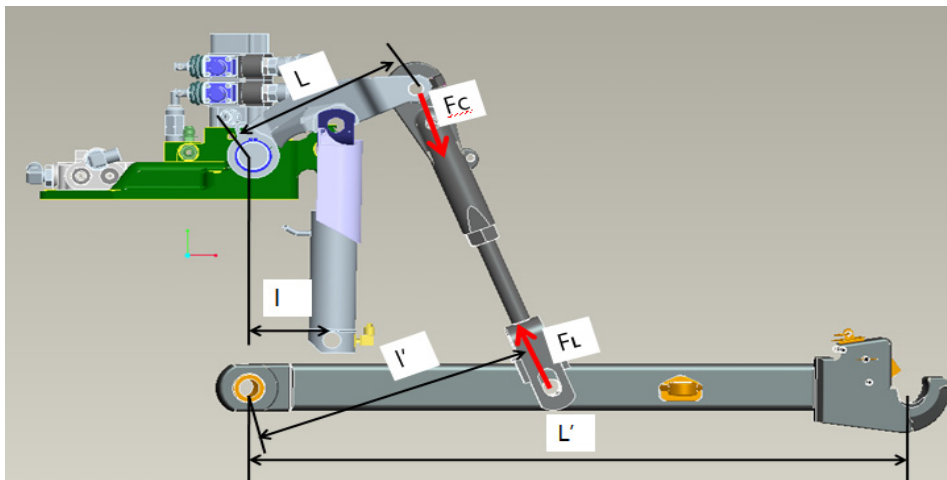


Fig. 2. Schematic diagram of the 3P Link designed in the study.

Table 1. Symbol notation and definition of the 3-point hitch structure.

No	Symbol	Definition
1	L	Lift arm length
2	L'	Lower link length
3	I	Distance between lift arm and hinge point
4	I'	Distance between low link arm and hinge point

유압실린더 용량은 작업기 상승 시의 계산식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$F_C = (P \times A \times N) / 100 \times \cos \theta_1 \quad (1)$$

여기서,

F_C : 실린더 추력(N)

P : 실린더 압력(MPa)

A : 실린더 단면적(mm²)

N : 실린더 수

θ_1 : 실린더와 하부링크의 합력과 수직력 각도(deg.)

실린더 로드 힘은 다음 식 (2)를 이용하여 산출하였다.

$$F_L = (F_C \times l) / L \times \cos \theta_2 \quad (2)$$

여기서,

F_L : 리프트 로드 힘(N)

F_C : 실린더 추력(N)

L : 리프트암 길이(mm)

θ_2 : 리프트 링크와 하부링크의 합력과 수직력의 각도(deg.)

실린더 로드 힘의 식(3)으로부터 유압양력을 계산하였다.

$$W = (F_L \times l') / (L' \times \cos \theta_3) \quad (3)$$

여기서,

W : 유압 양력(N)

F_L : 리프트 로드 힘(N)

l' : 하부링크와 리프트 링크 힌지점(hinge point) 거리(mm)

L' : 하부링크 길이(mm)

위의 계산식에서 유압 양력은 리프트 실린더의 단면적과 리프트 실린더에 작용하는 유압에 의해서 결정된다. 기존의 단동실린더의 경우에는 실린더에 작용하는 유압을 가변할 수 있지만, 리프트 실린더의 단면적을 증대 시키는 것은 공간적인 제약에 의해 쉽지 않다. Fig. 3은 본 연구에서 사용한 작업기 실린더 양력 프로그램 사용예이다.

본 연구에서는 3점 히치 유압 양력 계산을 하기 위해서 유압양력 계산 프로그램을 Visual Basic 프로그램으로 작성 하였으며, 유압양력 계산에 사용된 데이터는 Table 2와 같다.

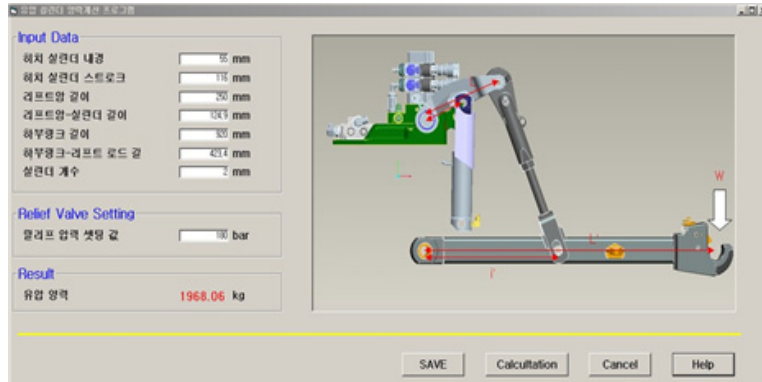


Fig. 3. Photo of the software for hydraulic capacity calculation.

Table 2. Input data for hydraulic capacity calculation.

No	Dimensions	Unit	Definition
1	310	mm	Lift arm length
2	880	mm	Lower link length
3	150	mm	Distance between lift arm and hinge point
4	130	mm	Distance between low link arm and hinge point
5	65	mm	Cylinder bore
6	2	-	Numbers of cylinder
7	195	MPa	Main relief pressure

성능 시험 방법

작업기 승강장치 성능 시험은 트랙터 유압장치 출력, 작업기 승강장치 양력 등 유압장치 및 승강장치의 성능을 확인하는 것을 목적으로 한다. 유압 출력 시험은 외부 유압 인출구에 압력 손실을 무시할 수 있는 정도의 보조 이음매가 연결된 유압 및 유량 측정장치로 유량에 대한 압력을 측정하여 유압 출력을 계산하고 시험 전에 작동유의 온도를 측정하여야 한다. 최대 양력 시험은 하부 히치점에서의 양력과 프레임에서의 양력으로 나뉘는데 이 프레임은 히치점에서 610 mm 후방에 위치하고 있다.

본 연구에서는 최대 양력 시험기를 사용하지 않고, 하부 히치점에 웨이트를 적재할 수 있는 적재대를 부착하여, 웨이트를 적재하여 측정하는 방법을 사용하였다. Table 3에 제시된 저울을 사용하였다. 하부 히치의 최하단점에서 최상단점까지 작동하면서 최대 무게를 측정하였으며, 유압 양력 테스트를 위하여 트랙터 리프트암 센서값과 리프트암

Table 3. Specifications of the scale.

Item	Specification
Model	3THB
Maximum range	2.9 kN
Manufacturer	CAS
Resolution	2 kg
Size	230 X 370 X 474 mm
Weight	17 kg

의 지면 기준 높이를 캘리브레이션 하였다. 이것은 향후 웨이트가 적재된 적재대를 승하강하는 경우 최대 높이를 리프트암 센서로 측정을 하기 위한 것이다. Fig. 4는 캘리브레이션 결과이고, Fig. 5는 양력 시험 사진을 나타낸 것이다.

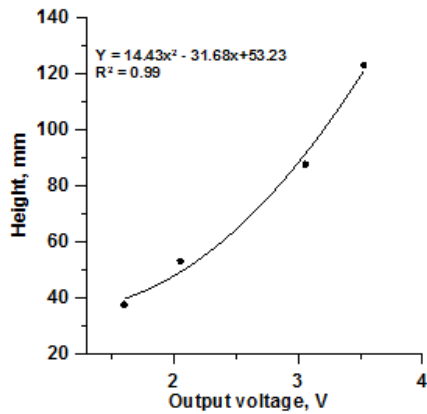


Fig. 4. Calibration graph of the lift arm sensor and height.



Fig. 5. Photo of the hydraulic capacity test.

Results and Discussion

설계 및 제작 결과

3점 히치 유압 동력 전달부는 승강밸브, 유압실린더 및 3점 히치부로 구성이 된다. 3점 히치 유압 동력 전달부의 설계에서 가장 중요한 사항은 3점 히치의 위치와 유압 실린더의 용량이다. 트랙터 3점 히치부의 위치는 리프트암의 힌지점과 하부 링크의 힌지점이 가장 큰 역할을 한다. 설계 시 3점 히치부의 위치를 먼저 결정을 한 후에 리프트 실린더의 용량을 결정하였다. 3점 히치의 위치는 작업기 장착 시 작업 깊이와 이동 시 작업기 높이를 고려하여서 결정을 하

여야 한다. 본 연구에서 개발된 3점 히치 시스템의 모델링 및 제작 결과를 Fig. 6 과 Fig. 7에 나타내었다.

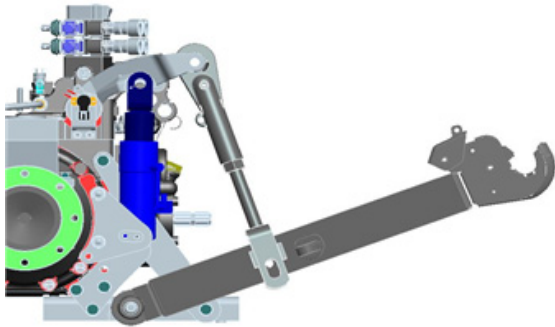


Fig. 6. 3-D modeling of the 3-point hitch.



Fig. 7. Photo of the 3-point hitch developed in the study.

성능 시험 결과

Fig. 8은 3점 히치 양력 계산값과 측정값을 나타낸 것이다. 히치 양력 계산값은 최하사점인 초기에 유압 양력이 높게 나오다가 최상사점 가까이에 도달하면 유압 양력이 높게 나오다가 최상사점에 가까이 도달하면 유압 양력이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 작업기를 부착한 상태에서 많은 유압 양력이 필요하므로 최하사점에서 유압 양력이 높아지는 것으로 판단된다. 또한 리프트 실린더의 로드경을 60 mm와 65 mm의 2가지 변수로 유압 양력을 계산하였다. 그 결과, 실린더 로드 직경 5 mm 차이가 유압 양력에서 2.9 - 3.9 kN 정도 나타났다. 계산상 나타나는 최소 유압 양력 18.6 - 31.4 kN으로 최고 상사점을 제외하면 실제 사용하는 구간에서의 유압 양력이 설계 시 설정한 값인 20.6 kN 보다 높게 나타났다.

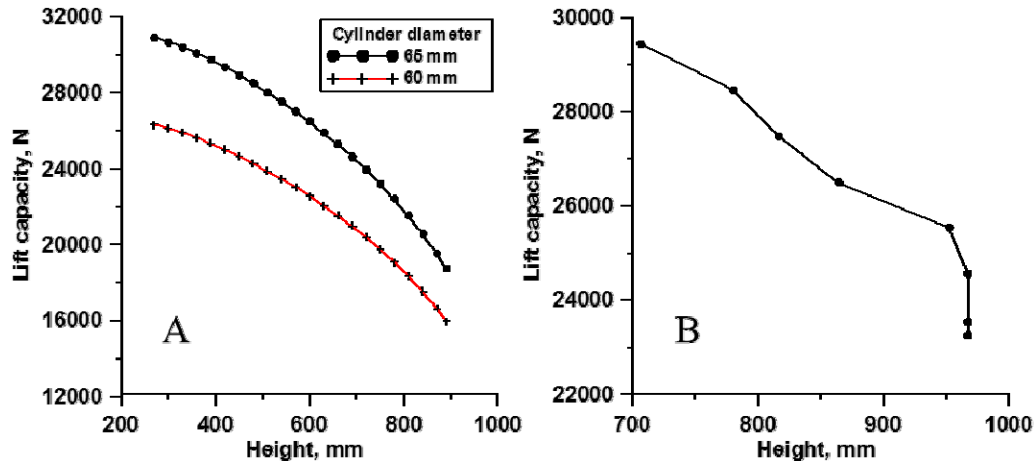


Fig. 8. Photo of the 3-point hitch: (A) Calculated value, (B) Measured value.

유압 실린더 설계 시 계산한 유압양력과 실측한 유압 양력을 서로 비교하여 보면 지면에서 높이가 낮을 경우에는 계산치의 유압 양력이 높으나 최대 상사점에서는 실측한 실측치가 높다. 계산치와 실측치의 차이는 기본적으로 유압 설정값의 차이, 오일의 온도, 기구학적인 조립 위치에 따른 각도나 길이의 차이에 의해 발생된다. 이론적으로 계산할 경우에는 릴리프 밸브의 오버라이드(초기 개방 압력과 최대 개방 압력의 차이)를 고려하지 않았으며, 오일의 온도를 40 - 50°C로 규정을 해서 하지만, 실제 계측시에는 오일의 온도가 이보다 높아서 점도가 높아 내부 유실이 발생하게 된다. 또한 3점 히치를 조립할 경우에 조립 위치의 약각의 차이에 의해 각도에 의한 힘의 차이가 발생하게 된다.

과수원 트랙터에서는 내장형 단동 실린더를 사용하지 않고 외장형 실린더를 채택하여서 유압 양력을 증대하였다. Fig. 8을 보면 이는 최소 23.5 kN에서 최대 29.4 kN까지 양력을 나타내고 있다. 과수원 트랙터와 기존 시판중인 과수원용 트랙터의 유압 양력을 비교하면, 기존 J사보다는 약 3.9 kN 정도 높고, K사보다는 4.9 kN 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 설계 시 기준값인 20.6 kN보다 높은 유압 양력을 보이고 있다.

Conclusion

본 연구에서 개발된 50 kW급 과수원용 트랙터 3점 히치 유압 동력 전달부는 작업폭이 좁은 과수원 및 밭작물용 농작업에 특화된 트랙터의 동력전달 시스템으로 방제, 제초 및 운반 작업을 위한 것이다. 과수원 트랙터용 동력전달 시스템 개발을 위하여 도출된 설계 인자를 기반으로 요소 설계, 제작 및 성능 시험을 실시하였다. 국외 트랙터 사양과 비교하여 경쟁력 있는 과수원용 트랙터의 트랜스미션을 개발하였으며, 또한 기준 설계치를 만족하고 있는 것으로 판단된다. 결과가 다음과 같이 설계 도출 인자에 대한 설계 기준에 적합함을 확인하였다. 유압 양력이 최소 23.5 kN에서 29.4 kN까지 나타내었다. 이는 기존 J사보다 약 3.9 kN, K사 보다 4.9 kN 정도 높은 것으로 나타났으며, 설계 기준치의 20.6 kN보다 높은 수치로 설계 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청의 “밭작물용 트랙터 및 부착작업기 개발, N01201502280002”의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Al-Jalil HF, Khair A, Mukahal W. 2001. Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. *Soil & Tillage*

Research 62:153-156.

- Alimardani R, Fazel Z, Akram A, Mahmoudi A, Varnamkhasti MG. 2008. Design and development of a three-point hitch dynamometer. *Journal of Agricultural Technology* 4:37-52.
- Bentaher H, Hamza E, Kantchev G, Maalej A, Arnlod W. 2008. Three-point hitch-mechanism instrumentation for tillage power optimization. *Biosystems Engineering* 100:24-30.
- Capalbo S, Denny M. 1986. Testing long-run productivity models for Canadian and U.S. agricultural models. *American Journal of Agricultural Economics* 68:615-625.
- Chang DI, Kim MS, Kim KD, Huh YK, Chung SO, Cho BK. 2010. Development of a 50kW tractor for European orchards. Annual Research Report. Center for IT Convergence Agricultural Machinery. [in Korean]
- Chaplin J, Lueders, Zhao M. 1987. Three-point hitch dynamometer design and calibration. *American Society of Agricultural Engineers* 0883-8542/87/0301-0010.
- Ha JK. 2015. Development of power transmission system for orchard tractor. Ph.D. dissertation, Chungnam National University, Korea. [in Korean]
- Kim YJ, Chung SO, Park SJ, Choi CH. 2011a. Analysis of power requirement of agricultural tractor by major field operation. *Journal of Biosystems Engineering* 36:79-88. [in Korean]
- Kim YJ, Chung SO, Choi CH, Lee DH. 2011b. Evaluation of tractor PTO severeness during rotary tillage operation. *Journal of Biosystems Engineering* 36:163-170. [in Korean]
- Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative (KAMICO) and Korean Society for Agricultural Machinery (KSAM). 2015. *Agricultural machinery yearbook*. Korean Society for Agricultural Machinery. [in Korean]
- Lee SS, Lee CH, Park WY, Lee JY, Mun JH. 2006a. A study on operating method of man-machine interface for tractor 3-point hitch. *Proceedings of the KSAM 2006 Summer Conference* 11:10-14. [in Korean]
- Lee SS, Lee CH, Lee JY, Mun JH. 2006b. Development of a draft control system for tractor using a proportional valve. *Journal of Biosystems Engineering* 31:9-15. [in Korean]
- Lee SS and Park WY. 2011a. Development of tractor three-point hitch control system using proportional valve. *Journal of Biosystems Engineering* 36:89-95. [in Korean]
- Lee SS and Park WY. 2011b. Electro-hydraulic characteristic analysis of arm-type implement for three-point hitch. *Journal of Biosystems Engineering* 36(5):314-318. [in Korean]
- Pijuan J, Berga J, Comellas M, Potau X, Roca J. 2011. A three-point hitch dynamometer for load measurements between tillage implements and agricultural tractors during operation. Accessed in <https://www.researchgate.net/publication/267405934> on 10 February 2012.
- Portes P, Bauer F, Cupera J. 2013. Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels. *Soil & Tillage Research* 128:81-90.
- Ryu KH, Yoo SN, Kim YS. 1992. Microcomputer control of electronic-hydraulic three-point hitch for agricultural tractor(II) -Performance test-. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 17:223-228. [in Korean]
- Sim KJ, Cho WY, Park TG, Choi GJ, Lee YG. 2011. A study on the working data measuring and analysis technology according to the tractor duty mode. *The Korean Society of Automotive Engineers* 11-H0015:159-163. [in Korean]