

ENGINEERING

# Development of dynamics simulation model for 3-point hitch of agricultural tractor during plow tillage

Mo A Son<sup>1</sup>, Seung Yun Baek<sup>2</sup>, Seung Min Baek<sup>2</sup>, Hyeon Ho Jeon<sup>2\*</sup>, Ryu Gap Lim<sup>3\*</sup>, Yong Joo Kim<sup>1,2,4,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Department of Smart Agriculture System, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>3</sup>Innovalloy Substantiation Team, KOAT, Iksan 54667, Korea

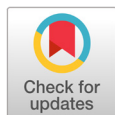
<sup>4</sup>Department of Biosystem Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

\*Corresponding authors: [jhh5888@naver.com](mailto:jhh5888@naver.com), [limso@koat.or.kr](mailto:limso@koat.or.kr), [babina@cnu.ac.kr](mailto:babina@cnu.ac.kr)

## Abstract

Agricultural operations are performed in uneven environments by attaching an implement on the 3-point hitch of a tractor. A high load is thus placed on the 3-point hitch, and fatigue and failure of the hitch may occur during agricultural operations. In this study, a dynamic simulation model was developed to predict the load occurring on the eyebolt of a 3-point hitch, which is the main damaged component. The simulation model was developed and validated using agricultural data as simulation input and validation data. The dynamics model was developed using the specifications of a 78 kW class tractor. A measurement system was constructed to measure the simulation input and validation data. The simulation model was validated using a traction load on an eye bolt, which was measured during plow tillage operation. The measurement results showed that the average traction load on the left and right lower link and the top link were 8,099.97, 4,943.06, and 636.11 N, respectively. The simulation results and the measured traction load on the left eyebolt were respectively 610.30 and 597.15 N. The simulation results and measured traction load on the right eyebolt were respectively 1,179.78, and 1,145.06 N. The error between the simulation and measurement data was roughly 2% on the left eyebolt and 3% on the right eyebolt.

**Key words:** 3-point hitch, agricultural tractor, dynamics simulation model, load, plow tillage



## OPEN ACCESS

**Citation:** Son MA, Baek SY, Baek SM, Jeon HH, Lim RG, Kim YJ. Development of dynamics simulation model for 3-point hitch of agricultural tractor during plow tillage. Korean Journal of Agricultural Science 49:937-948. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220085>

**Received:** October 12, 2022

**Revised:** November 16, 2022

**Accepted:** November 21, 2022

**Copyright:** © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

트랙터는 국내에서 연간 작업일수가 35.6일로 다른 농업기계에 비해 사용일수가 가장 높은 농업 기계이다(KSAM, 2021). 트랙터는 3점히치에 쟁기, 로터리, 베일러, 트레일러 등 각종 작업기를 부착하여 경운, 정지, 운반 등의 각종 작업을 수행한다(Chang et al., 2010). 특히 쟁기 작업은 토양에 작업기를 관입하여 견인하며 수행되기 때문에, 3점히치에는 많은 인장 및 압

축 부하가 발생한다. 이러한 고부하 작업은 3점히치에 피로파괴 및 소성파괴의 원인이 되기 때문에 성능평가를 통해 3점히치 부품들에 대한 신뢰성 확보가 필요한 실정이다. 이를 위해 최근 3점히치 부품의 신뢰성 확보를 위한 3점히치 단품 성능평가에 대한 연구들이 다양하게 수행되고 있다.

Seyedabadi (2015)은 유한요소법을 이용하여 트랙터 3점히치 리프트암의 정적하중에 따른 응력분포에 대한 구조해석을 수행하여 안전계수와 최대응력을 분석하고 부품의 강도를 높이기 위한 재료특성에 따른 개선방안을 제시하였다. Kang (2022)은 3점히치의 하부 히치점 위치에 따른 상부 링크와 작업기 피치에 대하여 해석을 수행하였고, 작업기 피치에 따라 상부 히치점을 설계하여 변수들의 변화에 따른 3점히치의 변화와 작업기의 운동을 분석 및 검증 연구를 수행하였다. Cheon 등(2021)은 3점히치 4절 링크 수학적 모델링을 통한 기구 해석을 통해 3점히치 변화에 따른 작업기 자세 예측 알고리즘을 개발하여 작업기의 롤링각 예측 및 수평제어시스템의 정밀도와 작업성능 향상 검증에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 제시된 연구들은 정적 하중만을 고려하였기 때문에, 지속적으로 변동부하가 발생하는 농작업 특성을 고려하기는 어려운 실정이다.

3점히치 단품에 대한 성능평가를 수행하여 신뢰성을 높이기 위해서는 농작업 환경을 고려하기 위해 농작업 부하 및 동적 부하를 고려하여야 한다. 최근 농업기계 분야에서도 농작업 간의 계측된 부하 데이터 및 동적부하를 고려하기 위한 연구들이 다양하게 수행되고 있다.

Kim 등(2019a)은 가장 큰 변동 부하의 특징을 나타내는 트랙터 PTO (power take off)축의 가속도를 평가하기 위하여 부하계측 시스템을 구성하고 필드시험을 통하여 부하 데이터를 수집 및 분석하여 PTO 가속도를 평가하였다. Kim 등(2019b)은 차륜 부하 계측 시스템을 설계하여 트랙터의 동적 농작업 부하를 계측하고, 계측된 데이터를 활용하여 상용모터에 감속 기어비의 조합을 분석함으로써 AWD (all wheel drive) 타입의 전기 구동형 트랙터를 개발하기 위한 구동계 설계 연구를 수행하였다. Park 등(2015)은 동적 하중이 고려된 농용 트랙터를 위한 4축 도로하중 시뮬레이터(4-post road simulator) 모델을 개발하여 시험을 통해 측정된 변형률과 해석을 통해 얻은 변형률을 비교하여 4축 도로하중에 대한 신뢰성 검증에 대한 연구를 수행하였다.

위와 같이 농업기계 분야에서도 차량의 농작업 및 동적 부하를 예측하기 위한 연구들은 다양하게 수행되고 있다. 그러나 3점히치의 농작업 부하 및 동적부하를 예측하여 단품에 대한 성능평가를 수행한 연구들은 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 농작업시 농작업 부하 예측 및 변동 부하를 고려할 수 있는 3점히치의 동역학 모델을 개발하였으며, 재현성 실험의 일환으로 쟁기 작업 시 부하 특성을 측정하여 동역학 모델에 대한 검증을 수행하였다.

## Materials and Methods

### 3점히치

시험 대상 3점히치는 최근 국내에서 가장 수요가 높은 78 kW급 트랙터(S07, TYM, Gongju, Korea)를 선정하여 시뮬레이션 모델 개발 및 검증에 대한 연구를 수행하였다. 트랙터의 중량은 4,000 kg이며, 크기는 4,020 mm × 2,270 mm × 2,790 mm (length × width × height)이다. 트랙터의 3점히치는 Fig. 1과 같이 상부링크(top-link), 하부링크(lower-link), 사이드암(side-arm), 리프트로더(lift-loader), 리프트암(lift-arm) 및 아이볼트(eyebolt)로 구성되어 있으며, CAT. II에 해당하는 3점히치이다. 해당 3점히치의 승-하강은 3점히치 회전축(shaft)이 회전함에 따라 리프트암이 3점히치의 승-하강 움직임을 구현하며, 리프트암과 연결된 리프트로더가 하부링크의 아이볼트와 연결되어 하부링크의 승-하강 움직임을 구현한다. 사이드암은 하부링크의 폭을 제한하여 작업기의 좌우 움직임을 구속하여 농작업 간 작업기의 좌우 움직임을 제한한다. Table 1과 같이 각 부품의 길이는 각각 상부링크 541 mm, 하부링크 941 mm, 사이드암 496 mm, 리프트 로더 635 mm, 리프트암 198 mm이다.

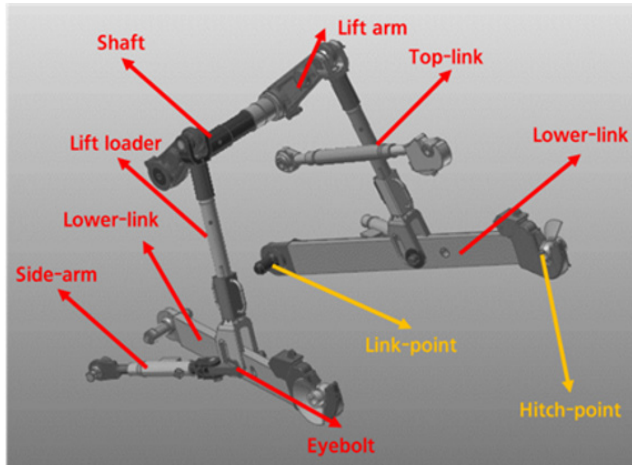


Fig. 1. A photo of parts and point for 3-point hitch system.

Table 1. 3-point hitch specifications used in this study.

Item	Length (mm)
Top link	541
Lower link	941
Side arm	496
Lift loader	635
Lift arm	198

3점히치 하부링크의 취약부는 아이볼트가 위치한 부위이다(Tarighi et al., 2016). 농작업 간 견인작업을 수행하게 되면 대부분의 인장 부하가 하부링크에 발생하게 된다. 아이볼트가 위치한 부위에 응력이 집중되어 발생하게 되며, 이에 따라 해당 위치가 취약부가 된다.

### 시뮬레이션 모델 개발

시뮬레이션 모델 개발은 상용 소프트웨어인 RecurDyn (V9R4, Functionbay, Seongnam, Korea)을 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 대상 차량의 3점히치 모델의 제원을 이용하여 구성하였으며, 구동에 영향을 끼치는 부품 등을 제외하고는 간소화하여 모델을 구성하였다. 시뮬레이션 모델의 움직임 구현은 3점히치의 실제 움직임을 고려하여 수행하였으며, 사용된 구속조건은 1축 회전조건(revolute)과 3축 회전조건(spherical)을 이용하였다. 1축 회전조건은 Fig. 2와 같이 부품 특성에 따라 1축 회전 자유도를 필요로 하는 3점히치 회전축, 리프트암과 리프트로더 연결부, 리프트로더와 하부링크 연결부, 하부링크와 아이볼트 연결부, 아이볼트와 사이드암 연결부, 차량고정부와 상부링크 연결부에 부여하였다. 3축 회전조건은 Fig. 3과 같이 부품 특성에 따라 3축 회전 자유도를 필요로 하는 상부링크와 육분력계 연결부, 하부링크와 육분력계 연결부, 이외에 연결부 부위에 위치한 볼(ball)에 부여하였다.

시뮬레이션 모델의 입력 값은 3점히치의 실제 부하 및 거동을 반영하기 위해 6분력계(6-components load cell)를 이용하여 계측된 견인력 및 3점히치의 승·하강 움직임을 구현하는 3점히치 회전축의 회전 값으로 선정하였다. 6분력계에서 측정된 부하를 반영하기 위해 3점히치 후방에는 6분력계의 3D 모델을 구현하였으며, 로드셀이 위치한 곳에 견인데이터를 입력할 수 있도록 구성하였다. 회전축의 회전 값은 3점히치 회전축에 부여하여 움직임을 구현할 때 사용할 수 있도록 하였다. 입력 및 검증데이터는 계측기 및 센서의 제원을 고려하여 100 Hz 수준으로 설정하여 계측하였기 때문에, 시뮬레이션 해석 조건도 1초당 100번의 수치 계산을 수행하도록 설정하였다.

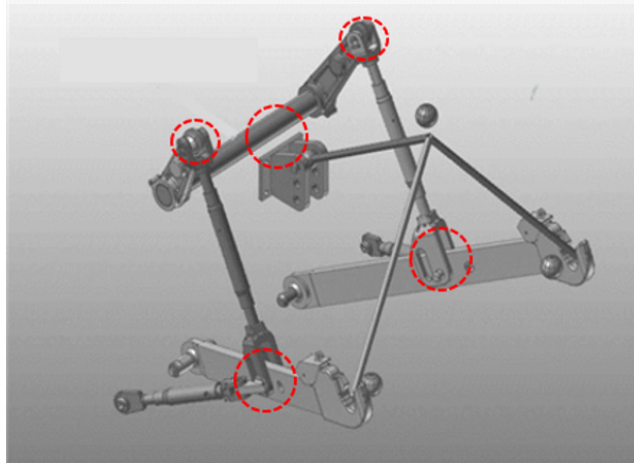


Fig. 2. Points using revolute conditions on the 3-point hitch in this simulation.

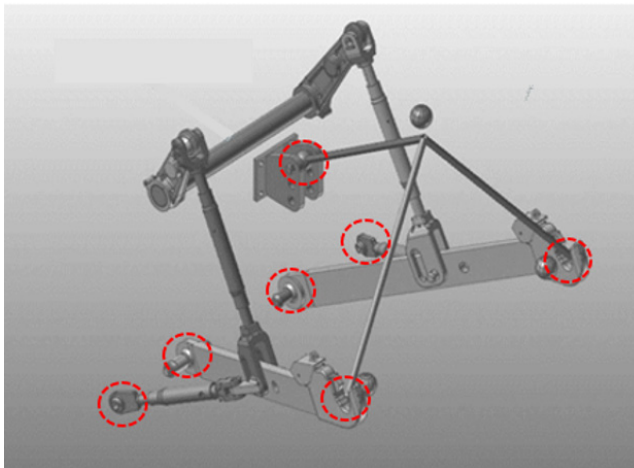


Fig. 3. Points using spherical conditions on the 3-point hitch in this simulation.

### 부하계측 시스템

부하계측 시스템은 입력 값 및 검증 값을 계측하기 위해 구성하였다. 입력 값인 견인력 및 3점히치의 위치데이터는 각각 육분력계 및 가변저항(potentiometer)을 이용하여 계측하였다. 육분력계는 Fig. 4와 같으며, 견인력을 계측하기 위해 수평방향으로 로드셀을 설치하였다. 로드셀은 상부링크 위치에 1개, 하부링크 좌우측에 각각 1개씩 설치하여 총 3개의 로드셀을 이용하여 견인력을 계측할 수 있도록 구성하였다. 트랙터의 최대 견인력을 고려하여 57 kN이상의 견인력을 계측할 수 있도록 구성하였으며, 1개당 최대 19 kN까지 계측이 가능한 로드셀(UU-T2, Dacell, Cheongju, Korea)을 선정하였다. 3점히치의 위치데이터는 3점히치의 회전축에 가변저항을 설치하여 농작업 간 실시간으로 계측하였다.

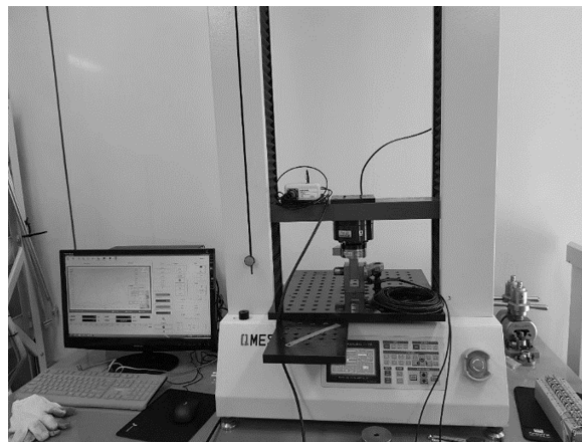
검증데이터인 아이볼트에서의 견인부하는 추가 센서 설치가 어렵다는 점을 고려하여, 아이볼트 부품을 가공 및 교정하여 센서화 시켜 계측을 수행하였다. 아이볼트 부품 가공을 한 후 Fig. 5와 같이 게이지 부착 작업을 수행하였으며, 이후 데이터 계측을 위해 0.02% 오차로 교정이 가능한 Fig. 6의 다목적 교정기를(QM100T, QMESYS, Uiwang, Korea) 이용하여 교정 작업을 수행하였다. 교정작업은 78 kW 트랙터의 최대 견인 부하를 고려하여 4.9 kN까지 수행하였으며, 스트레인 게이지에 따른 견인부하를 도출하였다. 이후 교정 데이터를 이용하여 계측할 수 있도록 구성하였다.



**Fig. 4.** A photo of 6-component load cell.



**Fig. 5.** A photo of machined eyebolt for measuring traction on eyebolts.



**Fig. 6.** A photo of universal testing machine to calibrate the machined eyebolt.

각 데이터의 수집은 데이터 수집장치(CRONOS compact CRC-400-11, IMC, Berlin, Germany)을 이용하여 수행하였다. 데이터 수집장치는 작업에 따라 육분력계 데이터 3채널, 교정된 아이볼트 견인부하 수집을 위한 2채널 및 3점히치 위치 계측을 위한 가변저항 1채널로 구성하여 총 6채널로 구성하였다. 데이터 수집장치는 차량에 Fig. 7과 같이 차량에 설치하였으며, 데이터 수집속도는 센서의 제원을 고려하여 100 Hz로 설정하였다.

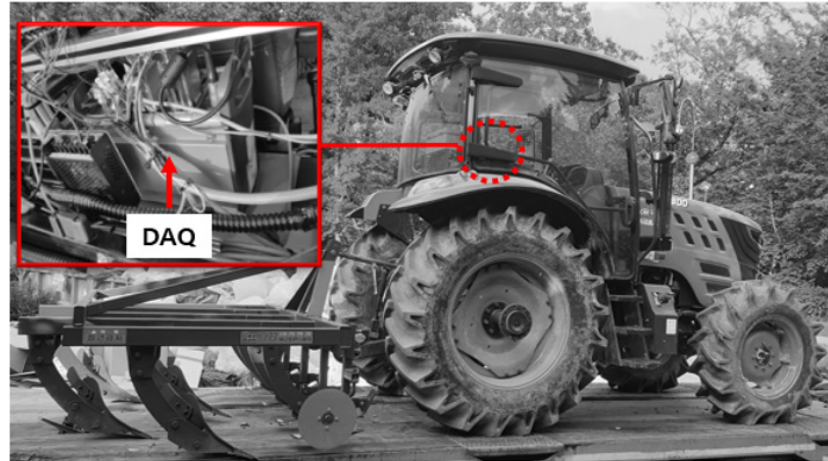


Fig. 7. A photo of measurement system consist of CRONOS compact CRC-400-11. DAQ (data acquisition).

### 재현성 시험

필드시험은 농작업 간 가장 많은 견인 부하가 발생하는 쟁기 작업으로 선정하였다. 쟁기는 해당 출력 트랙터에서 가장 많이 사용하고 있는 폭 2,800 mm의 이랑쟁기(WJSP-8, WOONGJIN MACHINERY Co., LTD., Gimje, Korea)를 선정하였으며, Fig. 8과 같이 중량은 495 kg, 크기는 2,180 mm × 2,800 mm × 1,285 mm (length × width × height) 이다.

작업 단수는 농민들의 사용 실태 조사를 통해서 선정하였으며, M3 low (6.2 km·h<sup>-1</sup>)단 수준에서 작업이 주로 수행 되는 것으로 조사되어 해당 단수를 이용하여 농작업을 수행하였다. 작업간 일정한 경심을 유지하기 위해 차량자 세에 따라 실시간으로 3점히치를 상승 및 하강제어를 수행하게 설정하였다. 계측 시험은 충청남도 당진시 송산면 금암리 609-9에 위치한 필드에서 수행하였으며, 농경지의 크기를 고려하여 80 m 동안 직진 작업을 수행하였다.



Fig. 8. A photo of plow tillage used in this study.

## 모델 검증 방법

시뮬레이션 모델의 검증은 계측 시 아이볼트에서 발생한 견인 부하와 시뮬레이션에서 아이볼트에 발생한 견인 부하 값의 평균 값 비교를 통해 수행하였다. 평균 값의 오차는 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$E = \frac{A_s - A_m}{A_m} \times 100 \quad (1)$$

Where,  $E = \text{error} (\%)$

$A_s = \text{Simulation results of traction data on eyebolt (N)}$

$A_m = \text{Measurement results of traction data on eyebolt (N)}$

## Results and Discussion

### 계측 데이터 분석

이랑 쟁기 작업간 견인부하는 Fig. 9와 같은 개형으로 나타났다. 하부링크는 인장력이 발생하기 때문에 양수의 데이터들이 계측되었으며, 상부링크는 압축력이 발생하여 음수들의 데이터들이 계측되었다. 이는 쟁기의 작업 특성 및 부착 형태에 따라 하부링크에서 발생한 인장력이 상부링크에서 압축력으로 발생하는 것으로 분석된다. 최대부하는 약 15초에 발생하는데 이는 차량이 정지상태에서 출발하면서 발생하는 정지마찰력에 의한 토양 파괴로 인하여 발생하는 부하로 판단된다.

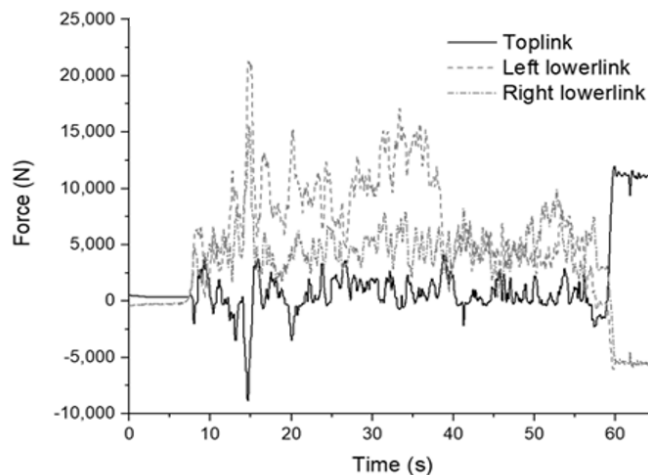


Fig. 9. Traction data measured using 6-components during plow tillage operation.

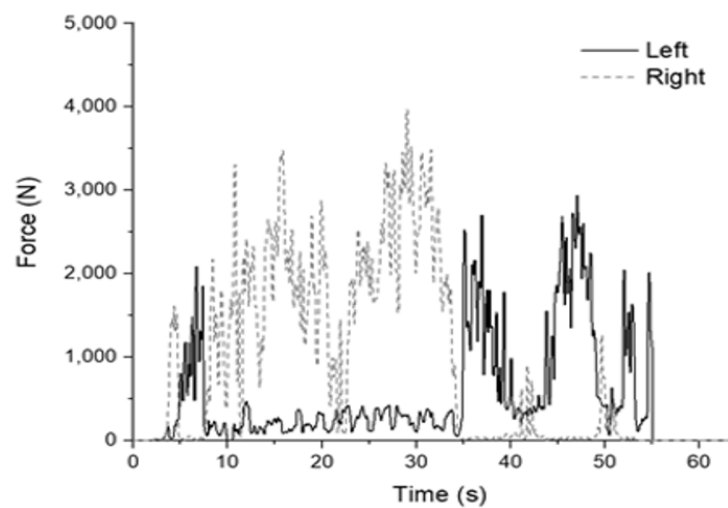
이랑 쟁기 작업 간 3점하치의 최대 및 평균 견인부하는 Table 2과 같이 나타났다. 상부링크에서는 최대 3,696 N, 평균 636 N의 압축력이 발생하였으며, 좌측 하부링크에서는 최대 22,710 N, 평균 8,100 N의 인장력이 발생하였고, 우측 하부링크에서는 최대 17,590 N, 평균 4,943 N의 인장력이 발생하였다.

**Table 2.** Results of traction load on 3-point hitch for simulation input data using 6-components loadcell.

Item	Traction (N)	
	Max.	Avg.
Top link	3,695.90	636.11
Left lower link	22,709.94	8,099.97
Right lower link	17,589.51	4,943.06

Max., maximum; Avg., average.

아이볼트 위치에 설치한 센서의 부하는 Fig. 10과 같이 변동부하가 발생하였다. 3점히치의 쟁기 작업 시 계측한 데이터를 분석한 결과는 Table 3과 같이 좌측 아이볼트에서는 평균 최대 3,327 N, 평균 598 N이 나타났으며, 우측 아이볼트에서는 최대 4,203 N, 평균 1,145 N이 발생하였다. 이는 비정형 환경에서의 작업을 수행하기 때문에 노면 조건에 따라 발생하는 부하로 판단된다.

**Fig. 10.** Traction data on left and right eyebolts measured during plow tillage operation.**Table 3.** Measurement data for simulation input during plow tillage operation.

Item	Force (N)	
	Max.	Avg.
Left	3,327.52	597.15
Right	4,203.34	1,145.06

Max., maximum; Avg., average.

3점히치의 회전축은 Fig. 11과 같이 작업 간 평균 26.7°만큼 회전된 상태에서 작업을 수행하였으며, 3점히치는 견인제어기 작동에 따라 일정 경심이 유지되도록 승하강이 되었다. 이후 작업이 종료됨에 따라 3점히치가 상승되었으며, 0°로 최대 상승 상태로 유지되었다. 견인부하 및 3점히치 위치데이터는 시뮬레이션의 입력 값으로 활용하였으며, 아이볼트에서 발생한 부하는 모델 검증용 위해서 사용하였다.



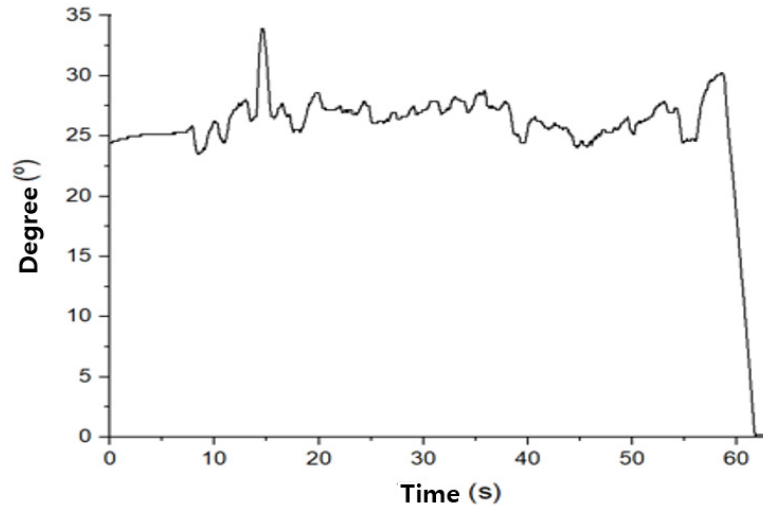


Fig. 11. Measurement data of the 3-point hitch shaft degrees during plow tillage operation.

### 시뮬레이션 결과 및 모델 검증

시뮬레이션은 계측 값과 동일하게 약 60초 동안 수행하였다. 아이볼트에서 발생한 부하는 각각 좌측 및 우측에서 Fig. 12와 Fig. 13과 같은 그래프 개형으로 나타났다. 시뮬레이션 결과 좌측 아이볼트에서는 평균 610 N의 부하가 발생하였고, 우측 아이볼트에서는 평균 1,179 N의 부하가 발생하였다.

시뮬레이션 결과값의 평균 값과 계측된 데이터의 평균 값은 Table 4과 같이 나타났다. 좌측 아이볼트의 시뮬레이션 결과 값 및 계측된 견인 부하의 평균 값의 오차는 약 2%로 나타났으며, Fig. 12와 같이 유사하게 견인 부하가 발생하였다. 우측 아이볼트의 시뮬레이션 결과 값 및 계측된 견인 부하의 평균 값의 오차는 약 3%로 나타났으며, Fig. 13과 같이 유사하게 견인 부하가 발생하였다. 좌우측 아이볼트에서의 그래프 개형 분석 결과 Fig. 14와 같이 나타났으며, 견인 부하의 평균 값 오차도 3%이내로 나타났다. 이는 시뮬레이션 모델 결과값과 계측 값이 유사하다고 판단할 수 있다.

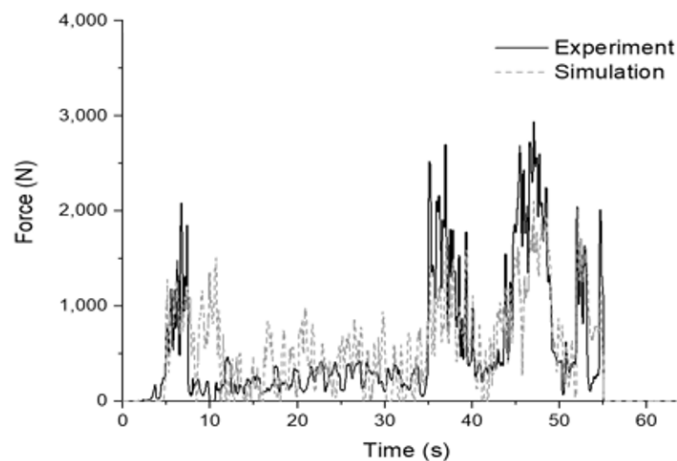
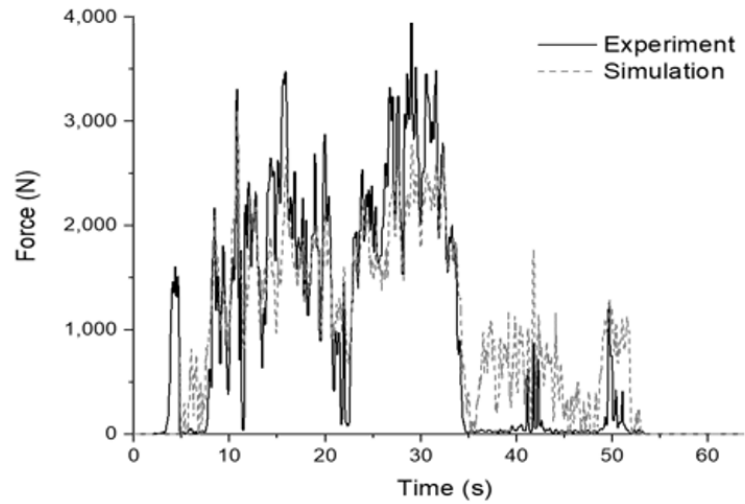
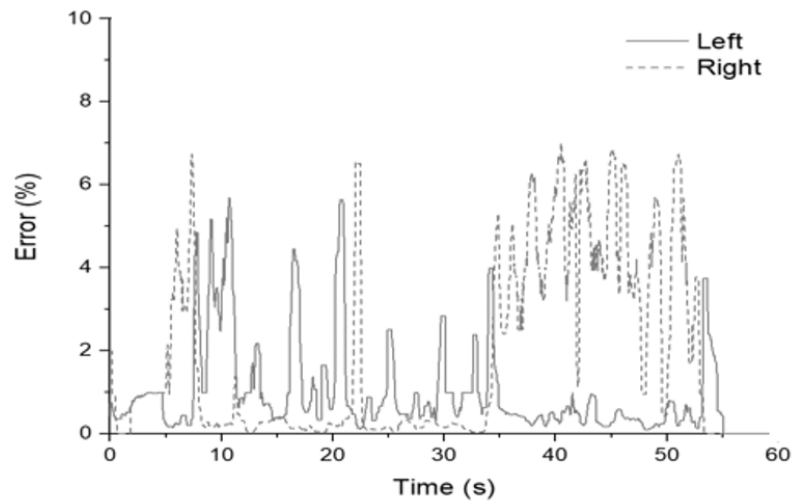


Fig. 12. Measurement and simulation traction data on left eyebolt during plow tillage operation.



**Fig. 13.** Measurement and simulation traction data on right eyebolt during plow tillage operation.



**Fig. 14.** Results of errors between simulation result and measurement data.

**Table 4.** Analysis of simulation and measurement traction data on eyebolt.

Item	Force (N)		Error
	Simulation	Measurement	
Left	610.30	597.15	2%
Right	1,179.78	1,145.06	3%

## Conclusion

본 연구에서는 3점히치를 위한 동적 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 해당 모델에 대한 검증을 수행하였다. 동역학 모델 개발은 상용 프로그램인 RecurDyn을 사용하여 수행하였으며, 입력 값은 육분력계를 이용하여 계측한 견인 부하 및 3점히치의 회전축의 회전 값으로 설정하였다. 검증 값은 3점히치의 취약부인 아이볼트에서 발생하는 견인 부하로 선정하였으며, 모델 검증을 위한 아이볼트를 가공하여 센서화 하였다. 입력 및 검증 데이터 수집을 위해 계측 시스템을 구성하였다. 계측 시험을 수행하기 위해 78 kW 트랙터를 이용하여 계측 시스템을 구성하였으며, 농작업 간 가장 많은 견인 부하가 발생하는 이랑쟁기 작업 수행 간 데이터 수집을 수행하였다.

계측 시험은 약 60초 간 수행되었으며, 회전축은 평균 26.70° 회전한 상태로 작업을 수행하였다. 육분력계를 이용한 견인 부하 측정결과, 상부링크, 하부링크 좌측 및 우측에서 견인 부하가 각각 636, 8,099, 4,943 N으로 나타났다. 아이볼트에서의 견인 부하 측정 결과 좌우측 각각 597, 1,145 N으로 나타났다. 시뮬레이션 수행 결과, 아이볼트에서의 견인 부하는 좌우측 각각 610, 1,179 N으로 나타났다. 아이볼트에서 발생한 견인 부하의 평균 값의 오차는 약 2% 이내로 나타났으며, 그래프 개형 역시 유사하게 나타났다.

향후 연구에서는 쟁기작업 이외에 로타리, 베일러 등 다양한 농작업에서의 견인 부하 예측에 대한 연구를 수행할 예정이며, 이를 활용하여 3점히치 부품의 파손 및 신뢰성 확보에 대한 연구를 수행할 예정이다.

## Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgements

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업(321065-2) 및 기술사업화지원사업(821014-03)의 지원을 받아 연구되었음.

## Authors Information

Mo-A Son, <https://orcid.org/0000-0003-4273-8313>

Seung-Yun Baek, <https://orcid.org/0000-0001-7330-6949>

Seung-Min Baek, <https://orcid.org/0000-0002-4627-191X>

Hyeon-Ho Jeon, <https://orcid.org/0000-0003-0998-3819>

Ryu Gap Lim, <https://orcid.org/0000-0001-7825-7293>

Yong-Joo Kim, <https://orcid.org/0000-0002-1212-9018>

## References

- Chang DI, Kim MS, Kim KD, Huh YK, Chung SO, Cho BK. 2010. Development of a 50 kW tractor for European orchards. Annual Research Report. Center for IT Convergence Agricultural Machinery, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Cheon SH, Park JK, Byeon SJ, Lee JW. 2021. A study of implement rolling attitude estimation algorithm using 3-point hitch dimension. Journal of the Korean Society of Agricultural Machinery 26:135-135. [in Korean]

- Kang HY. 2022. Motion analysis and design of 3-point hitch link. *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers* 24:160-163. [in Korean]
- Kim WS, Baek SY, Kim TJ, Kim YS, Park SU, Choi CH, Hong SJ, Kim YJ. 2019b. Work load analysis for determination of the reduction gear ratio for a 78 kW all wheel drive electric tractor design. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:613-627. [in Korean]
- Kim WS, Kim YJ, Park SU, Hong SJ, Kim YS. 2019a. Evaluation of PTO severeness for 78 kW-class tractor according to disk plow tillage and rotary tillage. *Journal of Drive and Control* 16:23-31. [in Korean]
- KSAM.(The Korean Society For Agricultural Machinery). 2021. *Agricultural machinery yearbook*. 1-362. [in Korean]
- Park JS, Lee KW, Cho CY, Yoon JW, Shin JY. 2015. Flexible body dynamics analysis of agricultural tractor using 4-post road simulator. *Transactions of the KSME C: Technology and Education* 3:83-88. [in Korean]
- Seyedabadi E. 2015. Finite element analysis of lift arm of a MF-285 tractor three-point hitch. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 15:737-743.
- Tarighi J, Ghasemzadeh HR, Bahrami M, Abdollahpour S, Mahmoudi A. 2016. Optimization of a lower hitch link for a heavyduty tractor using finite element method. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 16:123-128.