

동역학 시뮬레이션을 통한 농업부산물 수집기 체결장치의 안전성 분석

Simulation Study on the Safety of a Fastening Device of Agricultural By-product Collector

김정훈^{1,2} · 황석준¹ · 남주석^{1,2,*}

Jeong-Hun Kim, Seok-Joon Hwang and Ju-Seok Nam

Received: 16 Aug. 2023, Revised: 19 Aug. 2023, Accepted: 25 Aug. 2023

Key Words : Agricultural by-product(농업부산물), Dynamic simulation(동역학 시뮬레이션), Fatigue life(피로수명), Flat off-road(비포장 평지), Static safety factor(정적안전계수)

Abstract: In this study, the safety of fastening device for the agricultural by-product collector was evaluated according to the driving ground conditions by deriving the stress, static safety factor, and fatigue life using dynamic simulation. A 3D modeling of agricultural by-product collector was carried out, and simulation model was developed by applying the material properties. As a result of dynamic simulation, the magnitude of the maximum stress generated in the fastening device was the highest when driving on the flat off-road, followed by sloped pave-road and flat pave-road. Static safety factor and fatigue life were the highest when driving on the flat pave-road, followed by sloped pave-road and flat off-road. The safety of fastening device was confirmed that static safety factor was more than 1.0 and service life exceeded 9 years in all driving ground conditions.

1. 서 론

지구온난화와 대기오염 등의 문제에 대응하기 위해 탄소중립화연료 사용 및 온실가스 감축 등의 방안이 제시되고 있다¹⁻³. 이에 따라 농업부산물을 활용한 탄소중립화연료의 수요가 증가하고 있어 바이오 에너지의 생산 및 가공과 관련된 연구가 수행되고 있다⁴⁻⁸. 반면 농업부산물을 수집할 수 있는 농업기계에 대한 연구는 부족한 실정이다⁹⁻¹¹. 과수지나 밭에서 생산되는 농업부산물을 수거하기 위해서는 많은 노동력과 노동부하가 소모되기 때문에 주로 토양으로의 환원이나 연소로 대부분 버려지고 있다¹²⁻¹³. 이

러한 문제를 해결하기 위해 과수지에서 발생하는 전정가지를 수집할 수 있는 농업부산물 수집기의 개념 설계와 더불어 프로토타입이 제작되었으나 과수지 작업환경을 고려하여 농업부산물 수집기의 구조해석 및 피로수명 등을 분석하는 연구가 추가적으로 필요한 상황이다¹⁴⁻¹⁵.

노지에서 주로 사용되는 농업기계는 작업과정에서 발생하는 하중에 의해 취약부 변형 또는 파손이 발생할 수 있으므로 원활한 작업을 수행하기 위해서는 안전성 분석이 요구된다¹⁶⁻¹⁷. 이와 관련된 연구로 Yilmaz et al. (2011)은 농업용 분무기를 대상으로 정하중에 대한 정적안전계수를 도출하여 안전성을 분석하였다¹⁸. Moon et al. (2020)은 95.6 kW급 다목적 농작업 기계에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하고 변속부 기어의 굽힘 안전율과 접촉 안전율을 분석하는 연구를 수행하였다¹⁹. Han et al. (2022)은 트랙터 전차축 해석모델을 개발하고 제동 부하에 따른 차동장치 케이스에 작용하는 하중을 도출하여 구조해석을 수행하였다²⁰. 피로수명과 관련된 연구로는 Paraforos et al. (2014)은 트랙터가 농경지와 포장도로에서 주행

* Corresponding author: njsg1218@kangwon.ac.kr

1 Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

2 Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Copyright © 2023, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시 스웨더(swather)에서 발생하는 응력을 계측하고 낙수계수법과 팜그렌-마이너의 선형누적손상법을 적용하여 피로수명을 도출하는 연구를 수행하였다²¹⁾. Yunfei et al. (2015)은 시뮬레이션을 활용하여 소과류 절단기의 칼날에 발생하는 응력을 도출하고 피로수명을 평가하였다²²⁾. Kim et al. (2018)은 이식기의 PTO축에 토크센서를 부착하고 하중을 측정하여 구간거리에 따른 피로수명을 도출하였다²³⁾. Won et al. (2022)는 동역학 시뮬레이션을 통하여 55마력급 정유압 무단변속기의 주요 부품에 대한 정적 구조안전성을 평가하였다²⁴⁾.

본 연구에서는 농업부산물 수집기의 구성요소 중 취약부로 판단되는 체결장치를 대상으로 동역학 시뮬레이션을 활용하여 주행 지면 조건별로 체결장치에 발생하는 응력을 도출하고 정적안전계수와 피로수명을 분석하였다.

2. 동역학 시뮬레이션

2.1 농업부산물 수집기 상세

농업부산물 수집기의 모습은 Fig. 1과 같다. 농업부산물 수집기는 수집부(collecting part), 이송부(transferring part), 적재부(loading part) 및 주행부(driving part)로 구분된다. 수집부와 이송부 그리고 적재부와 주행부는 각각 하나의 모듈로 제작되어 체결장치에 의해 서로 결합 된다. 농업부산물 수집기를 구성하는 각 부의 기능 및 특징은 다음과 같다. 수집부는 연직방향으로 회전하는 두 개의 수집솔(collecting brush)을 통해 지면에 떨어진 농업부산물을 가운데로 모으는 역할을 한다. 이송부는 수집부에 의해 모아진 농업부산물을 컨베이어 장치(conveyor device)를 통해 적재부로 이송하는 역할을 한다. 적재부는 이송된 농업부산물을 수집하는 역할을 하며 최대 적재중량은 100 kgf이다. 주행부는 농업부산물 수집기를 이동시키는 역할을 하며 연약지에서도 안정적인 주행이 가능하도록 궤도형으로 제작되었다¹⁴⁻¹⁵⁾.

농업부산물 수집기에 적용된 체결장치의 형상은 Fig. 2와 같다. 체결장치는 외팔보 형태이며 이송부 프레임(frame of transferring part) 좌우에 한 개씩 위치한다. 적재부 하단에 위치한 중공형 프레임(hollow-type frame)에 체결장치를 관입 및 고정하여 이송부와 적재부가 결합될 수 있도록 설계되었다. 체결장치는 수집 및 이송작업 중 발생하는 진동에 의한 변동하중이 작용하며 수집부와 이송부의 자중을

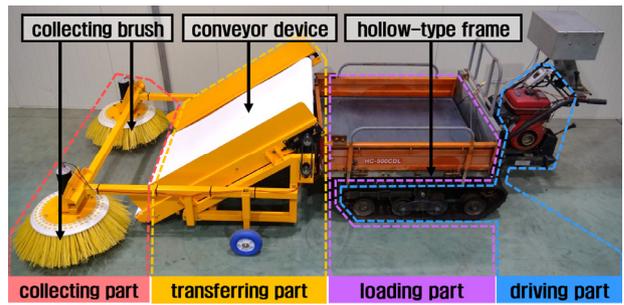


Fig. 1 Shape of agricultural by-product collector

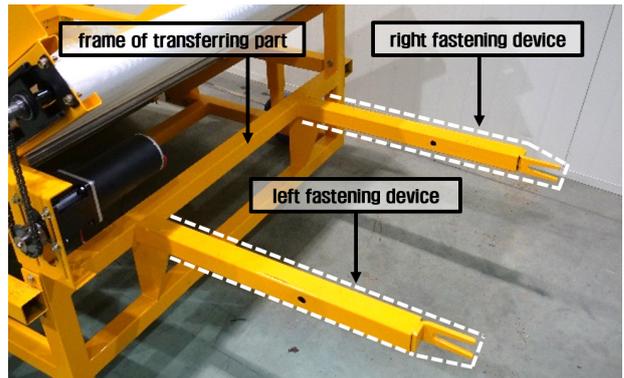


Fig. 2 Shape of fastening device

모두 지지해야 한다. 따라서 외팔보 형상으로 제작된 체결장치의 특성상 수집 및 이송작업 시 구조적으로 취약부분으로 판단할 수 있다. 과수농가의 전정가지를 수집하는 역할을 하는 농업부산물 수집기는 다양한 조건의 지면을 주행하며 작업을 수행한다. 농업부산물 수집기가 안전하게 작업을 수행하기 위해서는 체결장치의 안전성이 확보되어야 한다. 이에 따라 수집 및 이송작업 시 여러 지면의 조건에 따라 체결장치에 발생하는 응력을 분석하고 정적안전계수 및 피로수명을 도출하여 안전성을 분석하는 과정이 필요하다.

2.2 시뮬레이션 방법

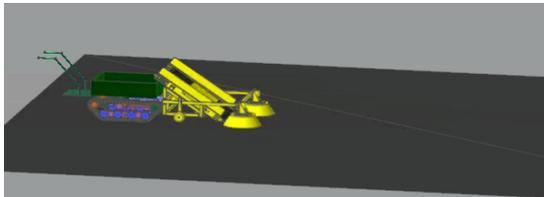
시뮬레이션에서 농업부산물 수집기가 주행하는 지면을 실제 과수농가의 작업환경을 고려하여 비포장 평지, 비포장 경사지, 포장 평지 및 포장 경사지로 설정하였다. 경사지의 경우 국내 과수원의 평균 지면 경사각을 고려하여 가장 가혹한 조건인 16°로 설정하였다²⁵⁾. 농업부산물 수집기의 주행속도는 선행연구의 결과를 고려하여 수집률이 가장 우수한 1.0 m/s로 설정하였다¹⁴⁾. 농업부산물 수집기에 작용하는 중력가속도는 9.81 m/s²로 설정하였으며 주행 시 발생하는 공기저항은 무시하였다. 상용 동역학 해석 프로그램(RecurDyn V8R5, Functionbay, Korea)을 통해 동역학

시뮬레이션을 수행하였으며 각 지면 조건에 따라 체결장치에 발생하는 응력을 도출하여 정적안전계수와 피로수명을 도출하였다.

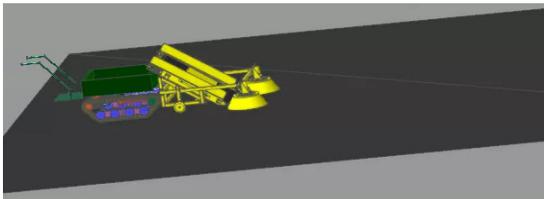
3. 해석모델

3.1 3D 모델링

농업부산물 수집기와 주행 지면에 대한 3D모델링을 수행한 모습은 Fig. 3과 같다. 주행부의 궤도는 구동 스프로켓(drive sprocket), 싱글 플렌지(single flange), 중앙 플렌지(center flange), 후방 플렌지(rear flange) 및 스프링(spring)으로 구현하였으며 모습은 Fig. 4와 같다.



(a) flat ground



(b) 16° sloped ground

Fig. 3 3D modeling of agricultural by-product collector and ground

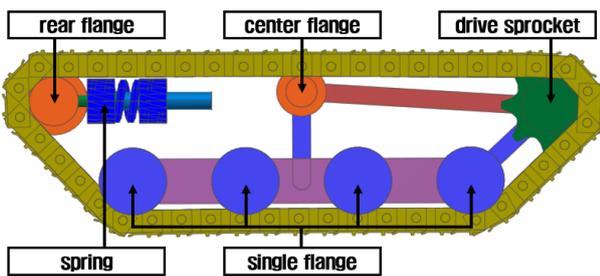


Fig. 4 3D modeling of track component

3.2 물성치

동역학 시뮬레이션 모델에 적용된 농업부산물 수집기 각 부의 물성치는 Table 1에서와 같다²⁶⁻²⁹. 농업부산물 수집기의 본체는 합금강(AISI 1020)이며 스프로켓, 플렌지 및 스프링은 강철(UML UTS300)이다. 주행부의 궤도는 합성고무 재료의 물성치를 적용하

Table 1 Material properties of 3D modeling for agricultural by-product collector

Item		Value
Alloy steel	Poisson's ratio	0.3
	Shear modulus	300[GPa]
	Density	1,900[kg/m ³]
Synthetic rubber	Poisson's ratio	0.46
	Shear modulus	0.4[GPa]
	Density	950[kg/m ³]
Steel	Poisson's ratio	0.29
	Shear modulus	207[GPa]
	Density	7,850[kg/m ³]
	Yield strength	231[MPa]
	Ultimate strength	300[MPa]
Elastic modulus		2.07×10 ⁵ [MPa]

Table 2 Material properties of terrain

Item		Value
Off-road	Terrain stiffness	0.0374[kN/m ^{2.1}]
	Cohesion	0.0033[kPa]
	Shearing resistance angle	33.7[°]
	Shearing deformation modulus	25
flat ground	Ground stiffness	2.0×10 ⁷ [N·m ²]
	Static friction coefficient	0.9
	Dynamic friction coefficient	0.7

였다. 지면은 실제 수집 및 이송작업 환경을 구현하기 위해 토양조건을비포장 평지, 비포장 경사지, 포장 평지 및 포장 경사지로 구분하였다³⁰. 이에 따라 설정한 토양 물성치는 Table 2에서와 같다³¹⁻³².

3.3 적용식

농업부산물 수집기의 정하중에 대한 안전성은 정적안전계수를 통해 평가하였다. 외팔보 형태의 체결장치는 굽힘에 의한 1축 수직응력이 주로 발생하므로 재료의 인장항복강도를 고려하여 식 (1)을 통해 정적안전계수를 결정할 수 있다. 정적안전계수가 1.0 이상일 때 체결장치는 정하중에 대해 안전하다고 판단하였다³³⁻³⁴.

$$SSF = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (1)$$

여기서 S_y 는 인장항복강도, σ_{max} 는 체결장치에 작용하는 최대수직응력, SSF 는 최대수직응력에 대한 정적안전계수를 나타낸다.

반복적으로 발생하는 동하중에 대한 안전성을 평가하기 위해 체결장치의 피로수명을 도출하였다. 체결장치에 작용하는 응력의 크기와 빈도수는 응력에 대한 시계열데이터에 낙수계수법(rain-flow counting method)을 적용하여 도출할 수 있다. 이후 굿맨 관계식(Goodman equation)을 적용하여 체결장치에 작용하는 등가완전반복응력을 계산할 수 있으며 식 (2)를 통해 결정된다³⁴⁾.

$$\sigma_{eq} = \frac{S_u \times \sigma_a}{S_u - \sigma_m} \quad (2)$$

여기서 S_u 는 체결장치 재료의 극한인장강도, σ_a 는 응력의 진폭, σ_m 는 응력의 평균, σ_{eq} 는 등가완전반복응력을 나타낸다.

계산된 등가완전반복응력을 체결장치를 구성하는 재료의 S-N선도에 적용하면 해당하는 수명 사이클을 확인할 수 있다. 이후 낙수계수법을 통해 도출한 등가완전반복응력의 빈도수 대비 S-N선도에서 확인한 수명 사이클을 팜그렌-마이너(Falmgren-Miner)의 선형 손상누적법(linear damage summation law)에 적용하여 식 (3)에서와 같이 손상합을 계산할 수 있다. 이때 피로가 누적되어 손상합이 1이되면 재료의 파괴가 발생한다고 가정할 수 있다³⁵⁾. 이에 따라 피로수명은 식 (4)를 통해 결정할 수 있다³⁴⁾.

$$D_t = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} \quad (3)$$

여기서 n_i 는 체결장치에 발생한 등가완전반복응력의 빈도수, N_i 는 체결장치의 수명 사이클, D_t 는 손상합을 나타낸다³⁴⁾.

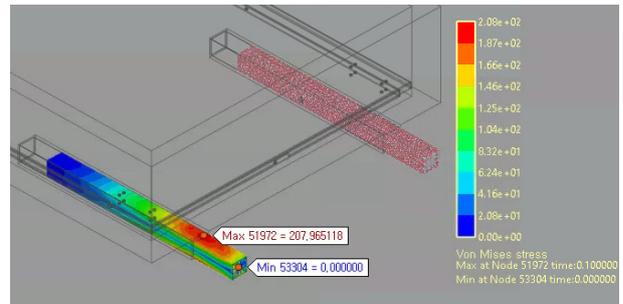
$$L_f = \frac{1}{D_t} \times t \quad (4)$$

여기서 t 는 작용시간, L_f 는 피로수명을 나타낸다.

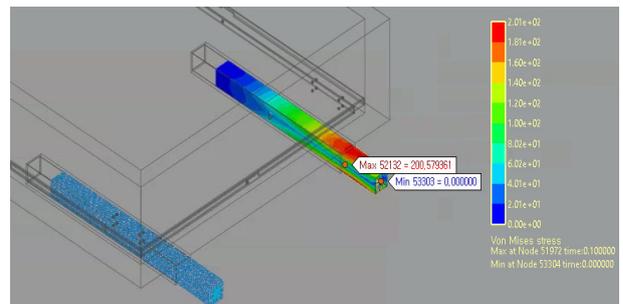
4. 안전성 분석 결과

4.1 응력

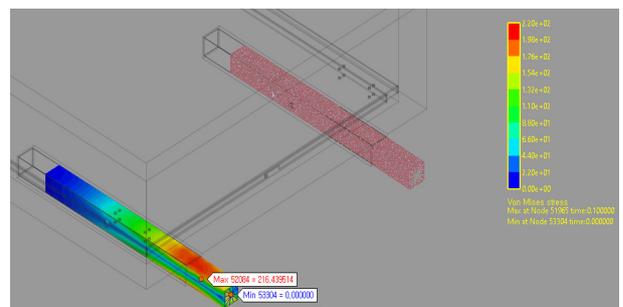
동역학 시뮬레이션을 통해 체결장치의 최대응력을 도출하였다. 이송부 후면에 위치한 좌·우 체결장치에서 발생한 최대응력의 크기는 비포장 평지 및 비포장 경사지 주행 시 각각 207.97 MPa, 200.58 MPa 및 216.44 MPa, 216.24 MPa로 비포장 경사지에서 가장 높게 나타났다. 다음으로 포장 경사지에서 각각 181.56 MPa 및 180.28 MPa이며 포장 평지에서는 각각 164.22 MPa 및 162.78 MPa으로 발생한 최대응력의 크기가 가장 낮았다. 최대응력이 발생한 체결장치의 위치는 수집부 프레임으로부터 170 ~ 180 mm 떨어진 곳이었으며 체결장치의 상단과 하단에서 모두 나타났다(Fig. 5).



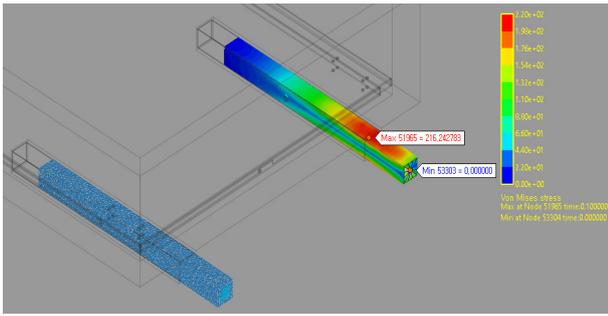
(a) flat off-road(left fastening device)



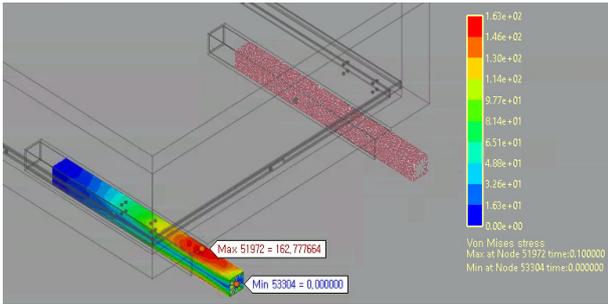
(b) flat off-road(right fastening device)



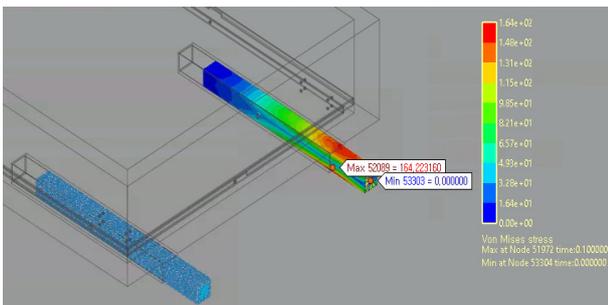
(c) sloped off-road(left fastening device)



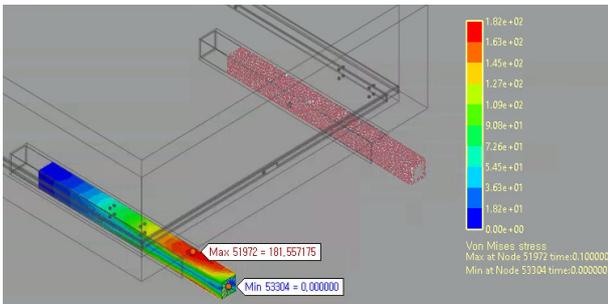
(d) sloped off-road(right fastening device)



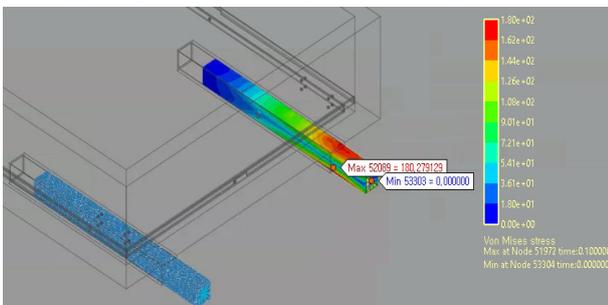
(e) flat pave-road(left fastening device)



(f) flat pave-road(right fastening device)



(g) sloped pave-road(left fastening device)



(h) sloped pave-road(right fastening device)

Fig. 5 Result of stress measurement through dynamic simulation

4.2 정적안전계수

지면 조건별로 체결장치 재료의 인장항복강도와 발생한 최대응력을 기준으로 정적안전계수를 도출한 결과는 Table 3과 같다. 좌우 체결장치에 대한 정적 안전계수의 평균값을 기준으로 비교하였을 때 포장 평지에서의 정적안전계수는 1.42로 가장 높게 나타났다. 다음으로 포장 경사지에서 1.29이며 비포장 평지에서는 1.13로 나타났다. 마지막으로 비포장 경사지에서는 1.07로 정적안전계수가 가장 낮게 나타났다. 각 체결장치에 대한 정적안전계수는 모두 1.0 이상을 만족하여 정하중에 대한 안전성을 확인하였다.

Table 3 Result of static safety factor analysis

Item	Static safety factor		
	Left fastening device	Right fastening device	Average
Flat off-road	1.11	1.15	1.13
Sloped off-road	1.07	1.07	1.07
Flat pave-road	1.41	1.42	1.42
Sloped pave-road	1.27	1.30	1.29

4.3 피로수명

지면 조건별로 최대응력 발생한 위치에서의 체결장치 피로수명을 도출한 결과는 Table 4와 같다. 좌우 체결장치에 대한 피로수명의 평균값을 기준으로 비교하였을 때 포장 평지에서의 피로수명은 1.495×10^7 시간으로 가장 높게 나타났다. 다음으로 포장 경사지에서 1.605×10^6 시간, 비포장 평지에서는 7.425×10^4 시간으로 나타났다. 비포장 경사지에서는 3.495×10^4 시간으로 피로수명이 가장 낮게 나타났다. 연평균 전정 작업시간이 38.5시간인 점³⁶⁾을 고려하였을 때 각 체결장치의 평균 사용 연수는 비포장 평지에서 1927.5년(좌측 체결장치: 1,514년, 우측 체결장치: 2,341년), 비포장 경사지에서 907.8년(좌측 체결장치: 903.9년, 우측 체결장치: 911.7년), 포장 평지 387,782.5년(좌측 체결장치: 319,456년, 우측 체결장치: 456,109년), 비포장 평지 41,739.5년(좌측 체결장치: 32,285년, 우측 체결장치: 51,194년)으로 나타났다. 따라서 각 체결장치의 평균 사용 연수는 농업기계의 평균 내구연수인 9년³⁷⁾을 초과하여 동하중에 대한 안전성을 확인하였다.

Table 4 Result of fatigue life analysis

Item	Fatigue life (hours)		
	Left fastening device	Right fastening device	Average
Flat off-road	5.83×10^4	9.02×10^4	7.425×10^4
Sloped off-road	3.48×10^4	3.51×10^4	3.495×10^4
Flat pave-road	1.23×10^7	1.76×10^7	1.495×10^7
Sloped pave-road	1.24×10^6	1.97×10^6	1.605×10^6

6. 결론

본 논문에서는 농업부산물 수집기의 구성요소 중 취약부로 판단되는 체결장치를 대상으로 동역학 시뮬레이션을 활용하여 주행 지면 조건별로 체결장치에 발생하는 응력을 도출하고 정적안전계수와 피로수명을 비교분석하였다.

응력분석에서 수집부 프레임을 기준으로 170 ~ 180 mm 떨어진 체결장치 위치에서 최대응력이 나타났다. 최대응력의 크기는 비포장 경사지 주행 시에 좌·우측 체결장치에서 각각 216.44 MPa 및 216.24 MPa으로 가장 높았으며 다음으로 비포장 평지(207.97 MPa 및 200.58 MPa), 포장 경사지(181.56 MPa 및 180.28 MPa), 포장 평지(164.22 MPa 및 162.78 MPa) 순이었다. 포장도로 대비 비포장도로에서 최대응력이 상대적으로 높은 이유는 동역학 시뮬레이션에서 모사된 비포장 평지의 불규칙한 노면에 의해 체결장치에 진동과 충격이 발생했기 때문인 것으로 판단된다. 또한 평지 대비 경사지에서 최대응력이 높은 것은 지면의 경사각이 증가할수록 체결장치에 가해지는 부하가 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

정적안전계수는 포장 평지(좌측 체결장치: 1.41, 우측 체결장치: 1.42)에서 가장 높았으며 다음으로 포장 경사지(좌측 체결장치: 1.27, 우측 체결장치: 1.30), 비포장 평지(좌측 체결장치: 1.11, 우측 체결장치: 1.15), 비포장 경사지(좌측 체결장치: 1.07, 우측 체결장치: 1.07) 순으로 나타났다. 이는 체결장치를 구성하는 재료의 극한인장강도는 동일하나 체결장치에 발생하는 최대응력 또는 정하중이 비포장 경사지, 비포장 평지, 포장 경사지, 포장 평지 순서로 높기 때문인 것으로 판단된다. 각 체결장치에 대한 정적안전계수는

모두 1.0 이상을 만족하여 정하중에 대한 안전성을 확인하였다.

피로수명은 포장 평지(좌측 체결장치: 1.23×10^7 시간, 우측 체결장치: 9.02×10^4 시간)에서 가장 높았으며 다음으로 포장 경사지(좌측 체결장치: 1.24×10^6 시간, 우측 체결장치: 1.97×10^6 시간), 비포장 평지(좌측 체결장치: 5.83×10^4 시간, 우측 체결장치: 9.02×10^4 시간), 비포장 경사지(좌측 체결장치: 3.48×10^4 , 우측 체결장치: 3.51×10^4) 순으로 나타났다. 연평균 전정 작업시간(38.5시간)을 고려하여 각 체결장치의 평균 사용년수는 농업기계의 평균 내구연수인 9년을 초과하여 동하중에 대한 안전성을 확인하였다.

본 연구 결과는 주행 지면 조건에 따른 체결장치에 발생하는 응력, 정적안전계수 및 피로수명에 대한 비교자료로 활용될 수 있다. 향후 연구로 농업부산물 수집기의 체결장치에 스트레인게이지를 부착하고 응력을 계측하여 도출한 실제 정적안전계수와 피로수명을 시뮬레이션 결과와 비교하는 검증이 필요할 것으로 판단된다. 또한 정적 파손을 발생시키는 하중보다 상대적으로 작은 수준의 하중이라도 반복적으로 작용하면 손상이 누적되어 피로수명이 짧아질 수 있는 물리적 특성을 고려하여 부하 스펙트럼을 분석하고 지면 조건에 따른 피로수명의 상관관계를 분석하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 발농업 기계화 촉진기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2023-00236724).

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

“저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.”

References

- 1) G. S. Han, S. M. Lee and S. J. Shin, “Densified Pellet Fuel using Woody Core of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) as an Agricultural Waste,” *Korean J. Plant Res.*, Vol.22, No.4, pp.293-298, 2009
- 2) J. K. Kim, “The Status of Sustainable Biofuels

- Policy and Development,” Korean Ind. Chem. News, Vol.16, No.2, pp.1-15, 2013
- 3) S. M. Beak, W. S. Kim, S. Y. Baek, H. H. Jeon, D. H. Lee, H. K. Kim and Y. J. Kim, “Analysis of Engine Load Factor for a 78 kW Class Agricultural Tractor According to Agricultural Operations,” J. Drive Control, Vol.19, No.1, pp.16-25, 2022
 - 4) C. G. Lee, S. Y. Lee, S. Y. Joo, L. H. Cho, S. Y. Park, S. H. Lee, K. C. Oh and D. H. Kim, “A Study on Agricultural By-products for Biomass-to-energy Conversion and Korean Collecting Model,” Renew. Energ., Vol.13, No.1, pp.27-35, 2017
 - 5) J. Y. Cha, M. Ali, Y. S. Hong, B. K. Yu, S. H. Lee, H. Seonwoo and H. J. Kim, “Development of a Pelletizing System of Fermented TMR for Pig Feeding,” J. Biosyst. Eng., Vol.43, No.2, pp.119-127, 2018
 - 6) D. K. Patel, M. H. Kim and K. T. Lim, “Synthesis and Characterization of Eggshell-Derived Hydroxyapatite Bioceramics,” J. Biosyst. Eng., Vol.44, No.2, pp.128-133, 2019
 - 7) A. Alahakoon, A. Karunaratna, R. Dharmakeerthi and F. Silva, “Design and Development of a Double-chamber Down Draft(DcDD) Pyrolyzer for Biochar Production from Rice Husk,” J. Biosyst. Eng., Vol.47, No.4, pp.458-467, 2022
 - 8) S. Y. Park, S. J. Kim, K. C. Oh, Y. K. Jeon, Y. M. Kim, A. Y. Cho, D. H. Lee, C. S. Jang, and D. H. Kim, “Biochar from Agro-byproducts for Use as a Soil Amendment and Solid Biofuel,” J. Biosyst. Eng., Vol.48, pp.93-103, 2023
 - 9) J. H. Kim, M. K. Jang and J. S. Nam, “Fatigue Life Analysis for Agricultural By-product Collector,” J. Agri Life Environ Sci., Vol.33, No.3, pp.347-356, 2021
 - 10) D. Xuhua, W. Y. Kim and K. H. Lee, “Drone-Based Three-Dimensional Photogrammetry and Concave Hull by Slices Algorithm for Apple Tree Volume Mapping,” J. Biosyst. Eng., Vol.46, No.4, pp.474-484, 2021
 - 11) D. K. Noh, D. W. Lee and J. S. Jang, “Analysis of Surplus Flow in a Hydraulic System Applied to a Self-propelled Spinach Harvester,” J. Drive Control, Vol.19, No.1, pp.26-33, 2022
 - 12) S. Y. Park, S. Y. Lee, S. Y. Joo, L. H. Cho, K. C. Oh, S. H. Lee, I. S. Jeon, C. G. Lee, S. J. Hong, S. J. Kim and D. H. Kim, “Simulation & Model Validation of Torrefaction Process and Analysis of the Fuel Properties for Pepper Stem,” Renew. Energ., Vol.13, No.4, pp.64-70, 2017
 - 13) J. G. Kim, E. S. Cheung, S. Seo, W. S. Kang, J. S. Ham and S. C. Lee, “Effects of Management Practice on the Quality of Round Baled Oat Silage,” Kor. Grassl. Forage. Sci., Vol.20, No.3, pp.185-192, 2000
 - 14) S. J. Hwang, J. H. Kim and J. S. Nam, “Factorial Experiment for the Collecting Device of an Agricultural By-product Collector,” J. Biosyst. Eng., Vol.45, pp.422-431, 2020
 - 15) J. H. Kim, M. Sri and J. S. Nam, “Safety Evaluation on a Fastening Device of an Agricultural By-Product Collector for Hard Flat Ground Driving,” Agriculture, Vol.12, No.7, pp.1071, 2022
 - 16) G. H. Han, D. K. Kim, D. V. Ahn and Y. J. Park, “Comparative Analysis of Tractor Ride Vibration According to Suspension System Configuration,” J. Biosyst. Eng., Vol.48, No.1, pp.69-78, 2023
 - 17) S. Zeeshan and T. Aized, “Performance Analysis of Path Planning Algorithms for Fruit Harvesting Robot,” J. Biosyst. Eng., Vol.48, pp.178-197, 2023
 - 18) D. Yilmaz, E. Hamamci, D. Salik and Y. Ahiskali, “Structural Analysis of Agricultural Machinery: A Case Study For a Transport Chassis of a Spraying Machine,” J. Agric. Mach. Sci., Vol.7, No.4, pp.405-409, 2011
 - 19) S. P. Moon, S. M. Baek, N. G. Lee, S. U. Park, Y. S. Choi, C. H. Choi and Y. J. Kim, “Safety Factor Analysis of Range-Shift on Multi-Purpose Agricultural Implement Machinery,” J. Drive Control, Vol.17, No.4, pp.141-151, 2020
 - 20) H. W. Han, J. S. Oh, H. J. Yoo and S. B. Shim, “Strength Evaluation of the Tractor Differential Case Under Braking Load,” J. Agri Life Environ Sci., Vol.34, No.1, pp.9-16, 2022
 - 21) D. S. Paraforos, H. W. Griepentrog, S. G. Vougioukas, and D. Kortenbruck, “Fatigue Life

- Assessment of a Four-rotor Swather based on Rainflow Cycle Counting,” *Biosyst. Eng.*, Vol.217, pp.1-10, 2014
- 22) F. U. Yunfei, J. Gong, Z. Deming, L. Yijun, H. Hui and H. Maofang, “Fatigue Damage of a Cutter Used for Cutting Cashew Nut Under Rand Load,” *Appl. Mech. Mater.*, Vol.743, pp.49-54, 2015
- 23) W. S. Kim, Y. S. Kim and Y. J. Kim, “Analysis of the Load of a Transplanter PTO Shaft Based on the Planting Distance,” *J. Fac. Agric. Kyushu Univ.*, Vol.63, No.1, pp.97-102, 2018
- 24) J. G. Won, J. I. Yoon, H. A. Lee, S. G. Chung and J. S. Jeong, “Simulation Analysis on Static Safety of 55Hp-Servo-Based Hydrostatic Transmission,” *J. Drive Control*, Vol.19, No.1, pp.34-42, 2022
- 25) J. S. Noh, Y. J. Cho, T. S. Kim, D. H. Lee and K. S. Lee, “Driving Running Stability of Orchard Aerial Lift by Using Recurdyn that is Analysis Tool,” *In Proc. Conf. Korean Soc. Agric. Mach.*, Vol.17, No.1, pp.153-159, 2012
- 26) J. W. Hofstee and W. Huisman, “Handling and Spreading of Fertilizers Part 1:Physical Properties of Fertilizers in Relation to Particle Motion,” *J. Agric. Eng. Res.*, Vol.47, pp.213-234, 1990
- 27) R. C. Junivall and K. M. Marshek, *Machine Component Design* 5th ed., Jogn Willey&Sons, Hoboken, pp. 831-895, 2012
- 28) R. Olieslagers, H. Ramon, and J. De Baerdmaker, “Calculation of Fertilizer Distribution Patterns from a Spinning Disc Spreader by Means of a Simulation Model,” *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, Vol.63, No.2, pp.137-152, 1996
- 29) R. Hossein, M. Mahmood and A. Hadi, “Simulation of Draught Force During Chisel Ploughing Using Discrete Element Method,” *J. Biosyst. Eng.*, Vol.47, No.2, pp.152-166, 2022
- 30) Y. B. Lee, G. C. Lee, J. J. Lee, S. Y. Lim and W. J. Kim, “A Study on the Acceleration Durability Test of In-Wheel Drive Gearbox for Military Special Vehicles,” *J. Drive Control*, Vol.19, No.3, pp.32-38, 2022
- 31) Z. Yaojuan, C. Kai, Z. Peng and W. Zhilin, “Research on the Simulation of the Driving System of Crawler Bulldozer,” *In Proc. Conf. TMEE*, pp.703-706, 2011
- 32) A. Wang, Z. Gu and X. Sun, “Dynamic Simulation of Acceleration for a Four Sprocket Electric Tracked Vehicle under Different Pavement Conditions,” *In Proc. Conf. ITEC*, pp.1-4, 2014
- 33) R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley’s Mechanical Engineering Design* 9th ed., Mcgraw-Hill, New York, pp.10-15, 2011
- 34) M. Sri, S. J. Hwang and J. S. Nam, “Experimental Safety Analysis of Transplanting Device of the Cam-type Semi-automatic Vegetable Transplanter,” *J. Terramechanics*, Vol.103, pp.19-32. 2022
- 35) W. S. Lee and H. W. Lee, “A Study on the Prediction of the Fatigue Life of a Lug through the Finite Element Analysis,” *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol.15, No.10, pp.88-95, 1998
- 36) Y. H. Lee, J. H. Lee, K. S. Lee, K. R. Kim and S. J. Lee, “Ergonomic Risk Factors Related to Musculoskeletal Symptoms in the Vineyard Workers,” *J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg.*, Vol.18, pp.122-132, 2008
- 37) NAAS, *A Study of Useful Life for Agricultural Machinery*, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, South Korea, pp.10-17, 2017