

유한요소해석을 이용한 마늘 수확기 굴취부의 응력분석

김규봉*, 이명희*, 김대철**, 조용진*,**,#

*전북대학교 생물산업기계공학과, **전북대학교 농업기계 ICT 융합연구소

Finite Element Analysis Approach for the Stress of Digging Part of Garlic Harvesters

Kyu-Bong Kim*, Myung-Hee Lee*, Dae-Cheol Kim**, Yongjin Cho**,#

*Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Jeonbuk National University,

**Institute of Agricultural Machinery ICT Convergence, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea

(Received 22 June 2020; received in revised form 20 August 2020; accepted 23 August 2020)

ABSTRACT

A stress analysis was performed to verify the stability of the digging part of a garlic harvester. A finite element analysis was performed to examine the distribution and concentrated loads on the digging part of the blade and contact plate. Moreover, the stability and maximum deformation of the digging part were determined. Under a distributed load, the maximum principal stress, total deformation, and minimum safety factor ranged from 64–128 MPa, 0.35–0.70 mm, and 2.9–5.7, respectively. The analysis results for the distribution load indicated that the maximum stress occurred at the center of the blade. In contrast, under the concentrated load, the maximum principal stress, total deformation, and minimum safety factor ranged from 66–247 MPa, 0.35–0.79 mm, 1.48–5.53, respectively. The analysis results for the concentrated load indicated that stress and deformation were larger toward the edge and center, respectively.

Key Words : Garlic Harvester(마늘 수확기), Digging Part(굴취부), Distributed Load(분포하중), Concentrated Load(집중하중), Factor of Safety(안전계수)

1. 서 론

마늘은 고추 다음으로 국내 조미채소 중 연간 생산율이 19%를 차지하는 중요한 작물이다. 마늘은 국내 많은 음식의 주 양념으로 사용되고 있는 중요한 양념채소이다. 그러나 2015년 기준 마늘의 주산지인 지리산 재배면적은 2013년부터 2015년 29,352ha에서 20,638ha로 재배면적이 약 30% 감소하였다

(KOSIS,2015)^[1]. 국내 마늘 재배면적의 감소 원인은 농가의 인구 노령화, 노동력의 부족, 인건비 상승, 작은 영농규모 등 어려운 여건이 있다.

마늘은 지역 및 기상조건에 따라 한지형과 난지형으로 구분되어 재배하고 있다. 마늘 연간 생산량은 387,671ton이며, 그 중 난지형 마늘은 생산량의 약 73%를 차지하고 있으며, 수량성과 수익성을 보장할 수 있는 난지형마늘 재배면적이 증가추세이다(Nongsaro,2019)^[2]. 한지형 마늘과 난지형 마늘은 재배형식과 재배양식에 따라 마늘 물성에 차이가 있어 사용되는 농기계가 다르다. 수집형 마늘 수확기

Corresponding Author : choyj@jbnu.ac.kr

Tel: +82-63-270-2615, Fax: +82-63-270-2620

는 한지형 마늘보다 재배량이 많은 난지형 마늘을 기준으로 개발 중에 있다.

마늘 농작업의 기계화율은 2018년 기준 58.6%이며, 각 농작업 기계화율은 경운 및 정지작업경우 99.6%이며, 비닐피복작업경우 54.3%, 방제작업경우 96.8%이다. 하지만 파종작업과 수확작업의 기계화율은 타 작업에 비하여 각각 15.9%, 36.7%로서 저조한 실정이다. 마늘 파종작업의 경우 최(2005)^[3]는 점파식 마늘 파종기를 개발 하였으며, 김 (2019)^[4]은 마늘파종로봇 자율주행 시스템 개발에 대한 연구를 하였다. 하 등(2018)^[5]은 마늘농가용 농업용 로봇 주행부의 최적 회전 매커니즘을 개발하였다.

마늘 수확작업의 경우 농가에서는 수집기능이 없는 단순 굴취식 수집형 마늘 수확기를 대부분 사용하고 있으며, 마늘 손상을 줄이고 추가적인 마늘 수집 노동을 줄이기 위하여 수집형 마늘 수확기를 개발 중에 있다. 마늘 수확기의 이송과정에서 마늘 손상이 발생되는데 이를 분석하고자 마늘과 롤러사이의 충돌 시뮬레이션을 EDEM으로 위치, 속도별로 분석하고 마늘 수확기의 구조를 개선하고자 하였다(박 등 (2019)^[6]). 개발하고자 하는 수집형 마늘 수확기 굴취부는 마늘 굴취 시 발생하는 분포하중과 토양 내 자갈, 이물질 등에 의한 집중하중이 일어날 것으로 판단된다(김 등(2018)^[7]). 용접으로 연결된 굴취날의 결합부와 접합부 사이에 응력이 집중될 것으로 판단되어 응력검증이 필요하다고 판단하였다(이 등(2019)^[8]). 김(2005)^[9]은 응력 집중부를 가지는 필릿용접부에 대하여 실제 피로수명평가를 실험적 검증하였다. Askari, M 등(2011)^[10]은 로드셀을 이용하여 프레임 타입의 3점 히치 동력계의 제작하여 현장 실험을 통해 내외부 프레임에 가해지는 힘을 측정하였다. 응력 검증 시 시간적, 노동적 소요가 적은 유한요소해석기법을 이용하여 해석할 필요하다고 판단했다. 김 등(2019)^[11]는 공기압 컨베이어 시스템의 구조해석과 실증 시험을 통하여 컨베이어의 변형 및 안정성에 대한 문제가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 김 등(2018)^[7]은 수집형 마늘 수확기의 굴취부 중 굴취날의 응력 해석을 실시하였다. 수집형 마늘 수확기 굴취부의 최대응력 발생지점은 용접으로 가정한 굴취날의 양 가장자리부분으로 나타났다. 최대응력 발생지점은 사이드판을

제외한 굴취날에 대한 구조해석이므로 실제 수집형 마늘 수확기의 굴취부에 대한 정확한 해석이라고 판단할 수 없어 차후 사이드 판을 추가하여 실제 굴취부와 동일한 모델링으로 구조해석이 필요하다고 보고하였다.

본 연구는 유한요소해석을 이용하여 마늘 수확기의 굴취부를 분포하중과 집중하중별 응력분석에 목적을 두고 있다.

2. 마늘 수확기 모델링

본 연구에서는 기존에 연구되었던 수집형 마늘 수확기의 굴취날 응력 해석에서 굴취날과 접합되어 있는 접합판에 응력을 산출하고 굴취날과 접합판의 구조에 발생하는 응력 해석을 통해 안전계수를 확인하였다.

2.1 수집형 마늘 수확기

개발 중인 수집형 마늘 수확기는 트랙터 견인 방식으로 개발하고 있다. 마늘 수확기는 그림 1의 ① 굴취부, ②이송부로 구성되어 있으며, 톤백을 사용하여 굴취된 마늘을 수집하고 있다. 수집형 마늘 수확기의 제원은 표 1과 같다. 마늘 수확기의 굴취부는 굴취날, 굴취날 결합부, 사이드 판으로 구성되어 있다. 이송부는 1차 이송부와 2차 이송부가 있으며, 별모양의 이송휠로 구성된 축 10개로 구성되어 있다. 마늘 수확기는 굴취부에서 토양 속 마늘을 굴취하며, 굴취 된 마늘은 1차 이송부, 2차 이송부, 수집함순으로 이동한다. 이송부에서는 마늘을 이송 시 줄기 및 잎 등의 이물질과 마늘 표면의 토양을 제거가 가능하다.

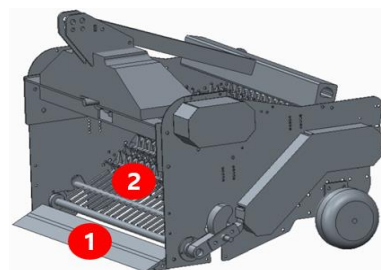


Fig. 1 Gathering type of garlic harvester

Table 1 Garlic Harvester Properties

	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
Garlic Harvester	1,675	1,275	1,185
Digging Part	1,320	1,163	850

Table 2 Digging Part Properties

	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)
Digging blade	1,300	180	10
Side panel	850	1,163	8

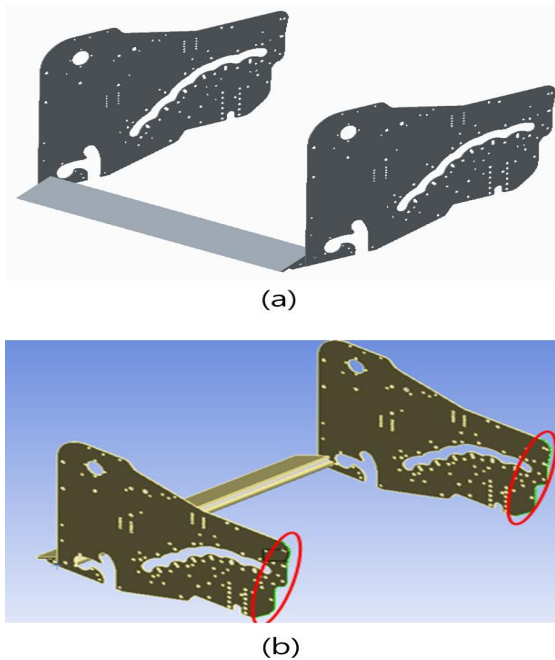


Fig. 2 3D modeling of (a) the digging part model and (b) the fixed supported model

굴취부는 사이드 판과 용접으로 고정되어 있다. 마늘 수확기로 굴취작업에서 마늘을 표토로 올리는 도중에 굴취부에 자갈이나 마늘, 이물질 등에 걸려 굴취날에 응력이 가해 질 수 있다. 용접으로 고정되어 있는 부분이나 연결부에서 최대응력이 발생하면 추가적인 파손이 생기거나 용접부위가 파손될 수 있다.

수집형 마늘 수확기의 굴취부의 응력 분석하고자 수집형 마늘 수확기 전체를 3D CAD상용 프로그램인 PRO-E를 이용하여 설계하였다(그림 1). 굴취날과 사이드 판의 제원은 표 2와 같다. 굴취날의 폭은 사이드 판에 1/3만 접하도록 설계하였다.

셀과 노드가 증가할수록 해석시간은 증가하게 되어 응력 해석 시 해석 시간을 단축하기 위해 수집형 마늘 수확기 모델링의 굴취부 및 사이드 판을 제외한 이송부 부분을 제거하여 단순화 하였으며, 단순화 한 형상은 그림 2(a)와 같다.

설계된 모델로 유한요소해석을 하기 위해서 굴취날의 재질은 실제 수집형 마늘 수확기 굴취부 재질인 SM45C로 설정하였다.

2.2 해석 조건

유한요소해석은 상용 유한요소해석 상용프로그램인 ANSYS 14.5를 이용하여 해석을 진행하였다. 유한요소해석은 하중 형태에 따른 시스템 응답을 결정하기 위하여 사용되며, 유한 요소 해는 근사값이다. 유한요소해석에서 해석의 정확성을 높이기 위해서 가장 중요한 것은 mesh 밀도 설정, 요소의 선택과 사용이다. 역학적 움직임에 따라 다양한 요소의 존재가 있으며, 유한요소해석의 목적, 원하는 결과에 따라 적절한 요소를 선택해야 한다.

3D CAD로 설계된 수집형 마늘 수확기의 굴취날과 사이드 판은 선형으로 접촉되어 있고 오직 하나의 상호작용이 요구되기 때문에 면이 서로 고정되어 분리되거나 미끄럼이 발생하지 않는 bonded로 설정하였다. 변형은 구속된 평면의 수직 방향을 제외한 모든 방향에서 허용되기 때문에 굴취날에 하중을 적용하기 위하여 굴취부의 사이드 판 뒷쪽면을 점, 모서리, 면의 모든 자유도를 구속하는 Fixed Supported로 그림 2(b)에 적용하였다. 응력 해석은 Von-Mises Stress (equivalent stress)과 Total Deformation를 기준으로 분석하였다.

2.2.1 Von-Mises Stress

Von-Mises Stress는 여러 방향으로부터 하중이 복합적으로 가해졌을 시, 어느 한 부위의 응력장에 대해 1축의 인장 또는 압축 응력으로 투영시킨 값이다. 재료의 항복점은 시편을 가지고 1축 인장실

힘으로 인해 측정한다 하지만 다축방향으로부터 복합하중이 가해졌을 경우 재료가 항복했는지 정확한 판단 내릴 수 없는 문제가 있어 Von-Mises Stress 해석을 진행하였다. Von-Mises Stress 정의식은 다음 식 1과 같다.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \quad \text{①}$$

$\sigma_1 = \text{Maximum principal stress}$
 $\sigma_2 = \text{Middle principal stress}$
 $\sigma_3 = \text{Minimum principal stress}$

2.2.2 Total Deformation

변형은 외력에 의해 물체의 각 점들이 상대적인 움직임으로 인한 형상 변화이다. 본 연구의 유한요소해석에서 형상의 변화를 수치적으로 확인 할 수 있도록 총 변형량으로 나타냈다. 총변형량은 정의식은 다음 식 2와 같다.

$$U_{total}^{[12]} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad \text{②}$$

2.2.3 안전계수

안전계수는 재료 특성의 하중 추정 및 응력에 대비하여 최대 하중에 대하여 설계할 때 여유를 두는 하중 배수이다. 안전계수는 허용 응력/실제 응력으로 안전계수를 구하는데 ‘안전계수가 1보다 크면 파손되지 않는다.’라고 알려져 있다. 굴취날과 사이드 판의 응력 해석을 진행하여 최소 안전계수를 구하였다. 상용 프로그램을 이용하여 구조 해석을 진행할 경우 상용 프로그램의 안전계수는 연성 이론의 Maximum Equivalent Stress(최대 등가 응력)와 Maximum Shear Stress(최대 전단 응력), 취성 이론의 Mohr-Coulomb Stress와 Maximum Tensile Stress로부터 계산된다.

$$S = \frac{\sigma_s}{\sigma_a} \quad \text{③}$$

$\sigma_s = \text{Allowable stress}$
 $\sigma_a = \text{Design stress}$

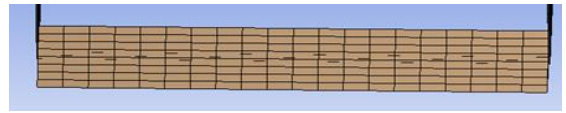


Fig. 3 Digging pan mesh

2.2.4 Mesh 설정

굴취날의 Mesh Method는 균일한 mesh를 생성할 수 있는 Sweep method를 사용하였다. Sweep method는 평면 또는 곡면 위에 생성된 surface mesh를 특정 경로 또는 회전축을 따라 이동시킴으로써 생성되는 순서를 따른다. mesh가 조밀한 경우 해의 정확성을 향상시키지만, 해석을 수행하는 시간과 메모리 사용량을 증가시키게 된다. 해석 시간을 줄이며, 해석의 타당성을 얻기 위하여 굴취날의 응력 해석의 경우, 굴취시 전면으로 흙이 들어오기 때문에 굴취날의 면에 응력이 발생하므로 굴취날의 두께와 동일하게 Mesh size를 10 mm로 적용하였다. 굴취날의 Node수는 9,848개이며, element수는 4,350이며 굴취부 전체의 Node수는 198,061이며, element수는 28,314이다. mesh처리한 굴취날의 형상은 그림 3과 같다.

2.2.5 하중 설정

하중은 박원엽 등(2003)^[13]에 따르면 50마력 트랙터 기준 견인력이 평균 10,000 N으로 측정되었다. 최대 견인력을 견인력의 2배로 적용하여 분포하중시 10,000 N, 15,000 N, 20,000 N의 하중을 가정하였다.

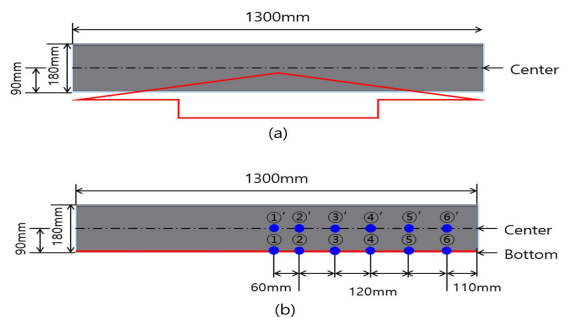


Fig. 4 Schematic view of (a) the distributed load and (b) the concentrated load at the center and bottom side

굴취날 전면으로 흙이 들어오기 때문에 분포하중 해석은 굴취날 폭의 중심부에 Force로 적용하였다. 마늘 재배 시 두둑 당 10줄 재배이므로, 가운데를 기준으로 반대편은 같다고 가정하여 굴취날의 중심과 마늘이 심어져 있는 5군데를 집중하중을 적용하였다. 집중하중 해석은 굴취 중 이물질이 굴취날 폭의 하단부 및 중심부에 부딪히는 것으로 가정하여, 굴취날의 가장자리부터 110 mm, 230 mm, 350 mm, 470 mm, 590 mm, 650 mm로 총 6부분의 하단부와 중심부의 위치에 각각 Remote Force로 적용하였다. 적용한 형태는 그림 4와 같다.

3. 해석 결과 및 고찰

수집형 마늘 수확기 굴취날의 재질인 SM45C은 항복 강도가 365 MPa이다. 유한요소해석 중 해석 결과 굴취날에 발생한 응력이 365 MPa보다 작아야 적정 설계가 이루어졌다고 판단할 수 있다.

3.1 분포하중

분포하중의 설정은 그림 4(a)에서 설명한 바와 같이 설정하였으며 유한요소 해석 프로그램상 분포하중 10,000 N일 때 설정된 모습은 그림 5와 같다. 분포하중 해석 결과는 표 3과 같이 나타났다. 분포하중 10,000 N을 발생 시 최대응력 및 변형량 발생 지점은 대부분 굴취날의 중심부에 나타났으며(그림 6), 이때 최대응력 64 MPa이며 최대변형량 0.37 mm로 나타났다. 이때 안전계수는 항복 강도 365 MPa에 설계 하중 64 MPa를 나눈 값인 약 5.7로 나타났다.

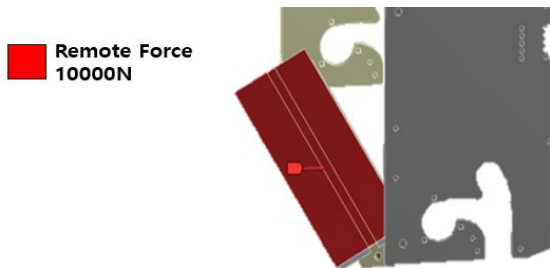


Fig. 5 Distributed load setting on the finite element analysis program

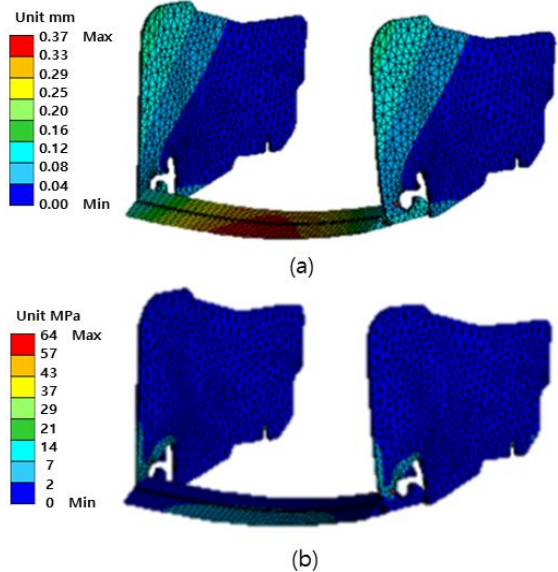


Fig. 6 Results of analysis for (a) total deformation and (b) maximum principal stress by the distributed load of 10,000 N

Table 3 Results of analysis of the distributed load

Distributed Load (N)	Design Stress (MPa)	Total Deformation (mm)	Factor of Safety
10,000	64	0.37	5.7
15,000	96	0.58	3.8
20,000	128	0.70	2.9

3.2 집중하중

표 4는 그림 4(b)와 같이 날 하단부의 위치별(①부터 ⑥까지)로 집중하중을 발생시켰을 때 해석 결과인 최대변형량, 최대응력, 안전계수를 보여주고 있다. 프로그램상에서 10,000 N의 집중하중을 ③에서 발생시켰을 때, 최대변형량은 0.37 mm로 변형되었으며(표 4 및 그림 7(a)), 최대응력은 82 MPa로 굴취부 하단 가장 자리(⑥)에서 발생되었다(표 4 및 그림 7(b)).

표 4를 분석하면 하단부에서 10,000 N의 집중하중을 발생시키는 위치가 중앙(①)에서 가장자리(⑥)로 갈수록 발생하는 최대응력은 77 MPa에서 123 MPa로 점차적으로 증가하였고, 발생하는 최대변형

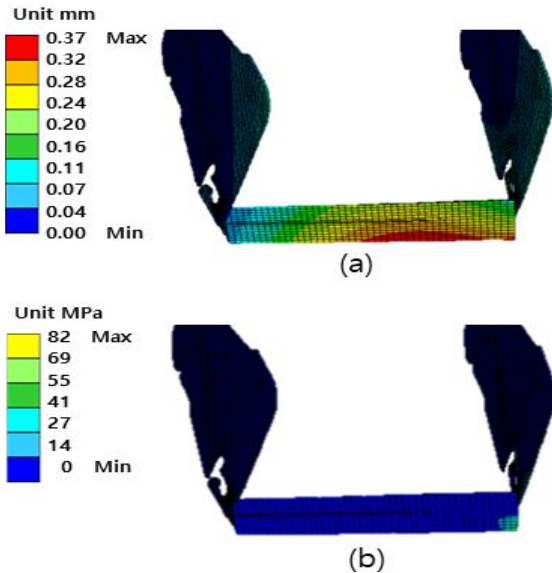


Fig. 7 Results of analysis for (a) total deformation and (b) maximum principal stress by the concentrated load of 10,000 N at position ③ among the bottom side

량은 0.39 mm에서 0.35 mm로 점차적으로 감소하였다. 또한, 기대의 안전을 확인하는 최소 안전계수는 ⑥에서 2.97로 가장 낮게 나타났다. 집중하중 15,000 N 및 20,000 N에서도 동일한 경향을 보여주고 있으며, 집중하중 20,000 N일 때 가장자리(⑥)에서 최소 안전계수는 1.48로 나타났다. 집중하중에서 굴취날의 중앙(①)과 가장자리(⑥)에서 발생하는 최대응력은 각각 154 MPa, 247 MPa로 굴취날 가장자리에서 가해지는 최대응력은 컸지만, 최대변형량은 각각 0.78 mm, 0.71 mm로 변형량의 차이는 미비하였다. 집중하중이 가해질 때, 날의 가장자리에서 대부분 응력이 집중되고 있다. 날이 휘는 방향으로 계속적으로 응력이 집중되면서 변형이 발생되고 변형된 부분에 다시 응력이 집중되는 것으로 판단된다.

표 5는 그림 4(b)와 같이 날 중심부의 위치별(①'부터 ⑥'까지)로 집중하중을 발생시켰을 때 해석 결과인 최대변형량, 최대응력, 안전계수를 보여주고 있다. 그림 8은 프로그램상에서 10,000 N의 집중하중을 ②'에서 발생시켰을 때, 최대변형량은 0.37

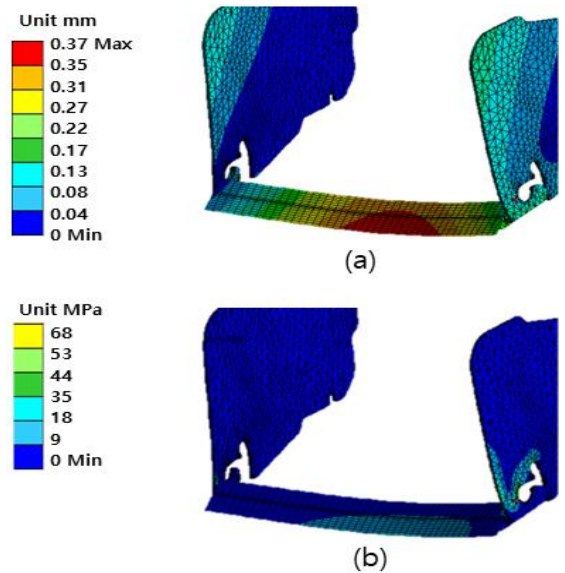


Fig. 8 Results of analysis for (a) total deformation and (b) maximum principal stress by the concentrated load of 10,000 N at position ②' among the center side

mm(표 5 및 그림 8(a))였으며 변형량이 발생한 지점은 ②'를 중심으로 굴취부 중앙부터 하단까지 포물선형태로 분포되고 있었다. 이때 최대응력은 68 MPa(표 5 및 그림 8(b))였으며, 응력이 발생한 지점은 발생지점(②')부터 하단부까지 분포하는 형태로 나타났다.

표 5를 분석하면 날 중심부에서 10,000 N의 집중하중을 발생시키는 위치가 중앙(①')에서 가장자리(⑥')로 갈수록 발생 되는 최대응력 및 최대변형량은 각각 66 MPa에서 79 MPa로 0.37 mm에서 0.39 mm로 점차적으로 증가하였다. 이때 최소 안전계수는 ⑥'에서 4.61로 가장 낮게 나타났다. 집중하중 15,000 N 및 20,000 N에서도 동일한 경향을 보여주고 있으며, 집중하중 20,000 N일 때 가장자리(⑥')에서 최소 안전계수는 2.31로 나타났다.

집중하중 20,000 N을 발생 시 최대변형량은 날 하단부 ⑥와 중심부 ⑥'에 발생하였을 때 각각 0.78 mm, 0.79 mm로 변형되었다. 이때, 최대응력은 각각 247 MPa, 158 MPa로 발생하였다. 날 하단부와 중심부에서 최대응력의 분포를 항복강도 대비 분석한

Table 4 Results of analysis of the concentrated load at bottom side

	Concentrated Load (N)	①	②	③	④	⑤	⑥
Maximum Principal Stress (MPa)	10,000	77	78	82	85	103	123
	15,000	115	117	122	128	155	185
	20,000	154	157	163	171	207	247
Total Deformation (mm)	10,000	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35
	15,000	0.58	0.57	0.56	0.54	0.53	0.53
	20,000	0.78	0.76	0.74	0.72	0.71	0.71
Factor of Safety	10,000	4.74	4.68	4.45	4.29	3.54	2.97
	15,000	3.17	3.12	2.99	2.85	2.35	1.97
	20,000	2.37	2.32	2.24	2.13	1.76	1.48

Table 5 Results of analysis of the concentrated load at the center side

	Concentrated Load (N)	①'	②'	③'	④'	⑤'	⑥'
Maximum Principal Stress (MPa)	10,000	66	68	70	73	76	79
	15,000	100	101	105	110	114	119
	20,000	133	135	140	146	152	158
Total Deformation (mm)	10,000	0.37	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39
	15,000	0.56	0.56	0.56	0.57	0.58	0.59
	20,000	0.74	0.75	0.76	0.76	0.78	0.79
Factor of Safety	10,000	5.53	5.37	5.21	5.00	4.80	4.61
	15,000	3.65	3.61	3.48	3.32	3.20	3.07
	20,000	2.74	2.70	2.61	2.50	2.40	2.31

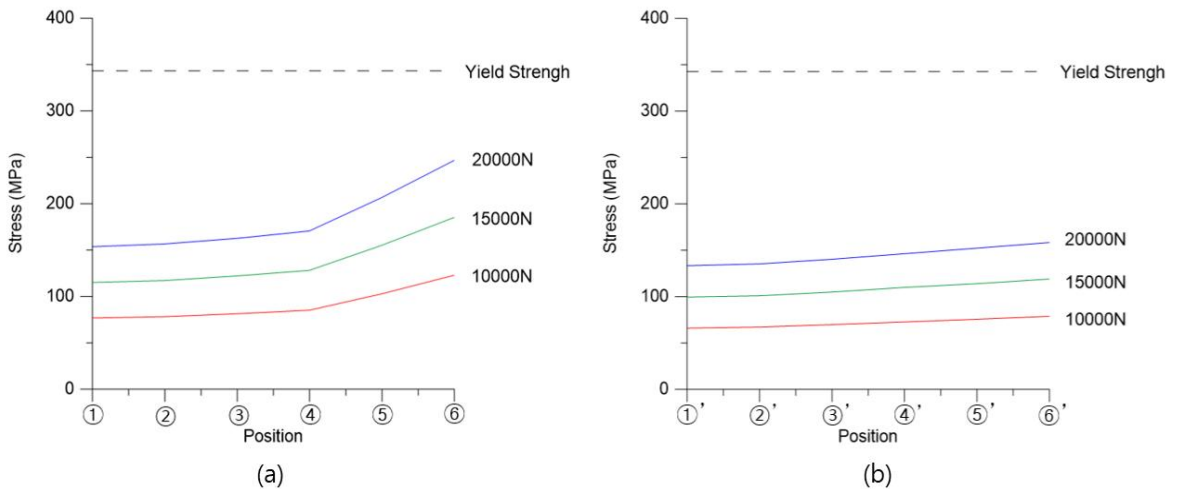


Fig. 9 The maximum principal stress by position at (a) the bottom side and (b) the center side

그래프는 그림 9와 같다. 날 가장자리(㉔ 및 ㉕)로 갈수록 최대응력이 점점 증가하고 있으며, 날 중심부보다 날 하단부에서 최대응력 변화가 큰 것으로 나타났다.

김(2018)⁷⁾은 굴취날의 하단부에 집중하중을 발생시켰을 때 최대응력은 굴취날의 하단부 가장자리에서 발생되며, 최대 변형 발생은 굴취날의 하단부 중앙에서 발생된다고 하였다. 두께 12 mm의 굴취날에 집중하중 40,000 N을 발생 시 굴취날 하단부 가장자리에서 최대응력 121.09 MPa, 굴취날 하단부 중앙에서 최대변형량 0.254 mm로 나타났다고 하였다. 본 연구 결과와 김(2018)⁷⁾의 연구 결과를 비교하면 굴취날 하단부에 집중하중을 발생시켰을 때 최대응력은 굴취날 가장자리에서 발생지점이 동일하며, 최대변형량도 굴취날 하단부 중앙에서 발생지점이 동일하였다. 하지만 굴취날 중심부에서는 최대응력은 굴취날 가장자리에서 동일하며, 최대변형량은 굴취날 하단부에서는 굴취날 가장자리에서 굴취날 중심부에서는 중앙에서 발생하는 차이가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 응력분석을 통해 수집형 마늘 수확기의 굴취부의 안전성을 확인하고자 분포하중 및 집중하중 해석을 수행하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

1. 분포하중 10,000 N, 15,000 N, 20,000 N을 발생하였을 때 최대응력은 64~128 MPa, 최대변형량은 0.37~0.70 mm, 최소 안전계수는 2.9~5.7으로 나타났으며, 집중하중 10,000 N, 15,000 N, 20,000 N을 발생하였을 때 최대응력은 66~247 MPa, 최대변형량 0.35~0.79 mm, 최소 안전계수는 1.48~5.53으로 나타났다.
2. 설계한 최대응력(64~128 MPa 와 66~247 MPa)이 항복 강도 365 MPa보다 낮으며, 최소 안전계수가 1.48 이상이므로 적절한 설계로 판단된다.

연구결과는 해석시간을 단축하기 위하여 단순화한 모델링으로 실시하였다. 또한 모델링의 mesh 구현 방식은 sweep method를 사용하여 균일한 mesh를 생성하였다. 해석 결과 값의 정확도를 높이기

위하여 응력이 발생될 것이라고 예상하는 부분에 조밀한 mesh 처리하여 추가 연구할 필요가 있다. 또한 유한해석 프로그램을 사용 시 기계에 적용되는 응력을 비슷한 값을 지표상 보여주지만, 해석에 나타난 결과 값은 전혀 다른 결과를 나타낼 수 있기 때문에 해석 결과에 대한 타당성을 얻기 위해 추가 실증 실험을 할 필요가 있다.

후 기

“본 논문은 농촌진흥청 농업정책지원기술 개발 연구사업(PJ012598062020)의 지원으로 수행되었음”

REFERENCES

1. “Main production area of Garlic,” Retrieved 2020.06.11., from <http://kosis.kr>.
2. Characteristics of Dealings and shipment strategic in garlic, “Retrieved 2020.07.06., from <http://www.nongsaro.go.kr>
3. Choi, D. K., “Development of a Garlic Clove Planter,” A Thesis for a Master’s, Chungbuk National University, Republic of Korea, 2005.
4. Kim, S. B., “On the Development of Autonomous Driving System of Garlic Seeder Robot Using RTK-GPS,” A Thesis for a Master’s, Jeonbuk National University, Republic of Korea, 2019.
5. Ha, J., Lee, C., Pal, A., Park, G. and Kim, H., “Development of Optimized Headland Turning Mechanism on an Agricultural Robot for Korean Garlic Farms,” Journal of Biosystem Engineering, Vol. 43, No. 4, pp. 273-284, 2018.
6. Park, D., Lee, C. G., Park, H., Baek, S. H., & Rhee, J. Y., “Discrete Element Method Analysis of the Impact Forces on a Garlic Bulb by the Roller of a Garlic Harvester”, Journal of Biosystem Engineering, Vol. 44, No. 4, pp. 208-217, 2019.
7. Kim, T. H., Lee, M. H., Cho, Y. J. and Kim, D.

- C “Stress Analysis of Digging Blade of Gathering Type Garlic Harvester,” Proc. of Korean Society for Agricultural Machinery, Vol. 23, No. 2, pp. 191, 2018.
8. Lee, M. H., Kim, K. B., Kim, Y. K., Choi, I. S., Cho, Y. J. and Kim, D. C “Structural Analysis of Digging Part of Gathering Type Garlic Harvester,” Proc. of Korean Society for Agricultural Machinery, Vol. 24, No. 2, pp. 88, 2019.
9. Kim, S. H., “(An) Experimental Study for the Fatigue Assessment of Fillet Welds Using Structural Stress,” A Thesis for a Doctorate, Pusan National University, Republic of Korea, 2005.
10. Askari, M., Komarizade, M. H., Nikbakht, A. M., Nobakht, N., and Teimourlou, R. F. “A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements”, Research in Agricultural Engineering, Vol. 55, No. 4, pp. 128-136, 2011.
11. Kim, C. W., Yoo, J. I., Roh, H. W., Hur, J. W. and Choi, S. D., “ Stability Evaluation of Pneumatic Conveyor through Finite Element Analysis,” Proc. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 2019, No. 4, pp. 250 , 2019.
12. Ansys workbench 16.0. 2015
13. Park, W. Y., Kim, L. Y., Kim, J. D. and Lee, K. S., “Soil Physical Properties and Traction Characteristics of Non-tilled Paddy Field,” Journal of Korea Science and Fertilizer, Vol. 36, No. 6, 2003.