

파워 싱킹 시트 프레임 쿠션 브라켓 구조의 강도 최적화 설계 연구

허진희*, 양윤식**, 주영조***, 전의식****

공주대학교 기전공학과 석사과정*, 대일공업(주)**, 공주대학교 기계공학과 박사과정***, 공주대학교 기전공학과 교수****

A Study on the Strength Optimized Design of Cushion Bracket on Power Sinking Seat Frame

Jin Hee Heo*, Yun Sik Yang**, Yeong Jo Ju***, Euy Sik Jeon****

Master student. Dept. of Mechanical and Electrical Engineering, Kongju National University*
Daeil Industrial Co., Ltd.**

Doctor Student. Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University***

Professor, Dept. of Mechanical and Electrical Engineering, Kongju National University****

요 약 최근 자율주행 기술의 발전과 함께 차량이 단순한 이동 수단을 넘어 휴식과 업무 공간으로 변화함에 따라, 차량 내 공간 활용성을 극대화하기 위한 시트 프레임 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 격납식 싱킹 시트의 전동화는 수동식에서 자동식으로 전환되면서 시트 프레임 내 부품의 강도 설계가 중요한 과제로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 싱킹 시트 프레임의 수동식 접이 메커니즘을 전동 모터를 활용한 자동 메커니즘으로 전환하고, 그 과정에서 요구되는 부품의 사양과 강도 설계를 수행하였다. 전동화를 위한 주요 구성요소를 간소화하였고, 특히 쿠션 브라켓 부위에 적용되는 전동 모터의 배치 각도와 길이에 따른 설계변수를 3수준으로 설정하여 3D 모델링을 진행하였다. 연구 결과 첫째, 다물체 동역학 해석을 통해 전동 모터의 허용 범위를 분석한 결과, 기준 배치와 비교하여 모터의 힘과 토크를 각각 30.25%, 6.7% 감소시킬 수 있는 최적의 배치 각도를 확인하였다. 둘째, 쿠션 브라켓 배치에 따른 모터의 최대 허용치와 후방 모멘트를 고려하여 강도 해석을 수행한 결과, 변형량과 응력을 각각 13.76%, 34.95% 감소시킬 수 있는 최적의 각도와 길이를 도출하였다. 최종적으로, 다물체 동역학 해석 결과와 일치하는 쿠션 브라켓의 최적 배치를 결정하였으며, 이 과정은 향후 시트 프레임의 자동화 설계 방안에 유용한 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 강도 최적화, 쿠션 브라켓, 싱킹 시트, 시트 프레임, 브라켓 구조

Abstract With recent advancements in autonomous driving technology, vehicles are evolving beyond being simple means of transportation to become spaces for rest and work. As a result, the development of seat frames that maximize the use of interior space has been actively pursued. In particular, the electrification of containment sinking seats has emerged as a significant challenge, especially regarding the structural strength design of seat frame components as they transition from manual to automated systems.

This study aims to convert the manual folding mechanism of the sinking seat frame into an automated mechanism using electric motors and to design the required component specifications and strength during the process. The main components for electrification were simplified, and, in particular, the design variables related to the placement angle and length of the electric motor applied to the cushion bracket were set at three levels, with subsequent 3D modeling conducted. The study results are as follows: Firstly, multi-body dynamic analysis showed that, compared to the standard configuration, an optimal motor arrangement angle can reduce motor force and torque by 30.25% and 6.7%, respectively. Secondly, strength analysis, considering the maximum allowable motor load and rear moment for each cushion bracket configuration, indicated that deformation and stress could be reduced by 13.76% and 34.95%, respectively, through the optimal angle and length. Finally, the optimal configuration of the cushion bracket, which aligns with the multi-body dynamic analysis results, was determined. This process is expected to provide a useful reference for future design strategies for automated seat frames.

Key Words : Strength Optimization, Cushion Bracket, Sinking Seat, Seat Frame, Bracket Structure

본 논문은 2023년 중소벤처기업부의 중소기업기술혁신개발사업 수출지향형 연계과제(RS-2023-00272394)의 연구비 지원에 의한 연구임

Received 16 Oct 2024, Revised 23 Oct 2024

Accepted 25 Oct 2024

Corresponding Author: Euy-Sik Jeon

(Kongju National University)

Email: osjun@kongju.ac.kr

ISSN: 2466-1139(Print)

ISSN: 2714-013X(Online)

© Industrial Promotion Institute. All rights reserved. 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.

1. 서론

최근 전기차와 자율주행 차량의 보급이 증가함에 따라 차량은 운전자 중심의 공간에서 탑승객의 편의성과 휴식의 공간으로 전환되고 있다[1-2]. 차량 공간의 개념이 변화함에 따라 내부 공간 활용성에 대한 관심이 증가하였으며, 차량 내부 공간을 가변적으로 변화시켜 공간 활용도를 높이는 RV 또는 SUV 등의 PBV(Purpose Built Vehicle)로 분류될 수 있는 차량이 주목받고 있다[3]. 차량 내부 공간을 가변적으로 변화시키기 위해서 편안한 공간을 제공할 수 있도록 안락하고 다양한 기능이 추가된 시트의 필요성이 확대되고 있다[4]. 공간 활용성을 위한 차량용 시트는 기존의 차체 바닥부에 고정형으로 사용되는 전열 좌석의 시트 외에 다양한 종류의 시트 프레임의 구조를 포함하여야 한다. 전열 좌석의 시트 프레임 구조는 운전자 또는 동승자의 탑승을 고려하여 일반적으로 전후 이동, 높이 조절 및 리클라이닝 등의 작동이 가능하지만, 시트 프레임이 차체 바닥부에 고정된 위치에서 벗어나지 못한다[5]. 후열 좌석의 경우에는 프레임이 고정되는 위치에 있지만 공간 활용성을 위하여 격납식 시트 구조를 적용하고 있다. 격납식 시트는 일반적으로 RV 또는 SUV 차량의 2~4열에 적용되고 다양한 방식으로 구분될 수 있으며, 시트 프레임의 구조는 시트 자체의 기구학적 메커니즘을 통해 착석 공간과 격납 공간의 축소 및 확대를 도모하는 기능을 공통적으로 가지고 있다[6]. 격납식 시트의 격납 방향은 하방 방향으로 격납되는 구조, 전방 방향으로 격납되는 구조 및 후방 방향으로 격납되는 구조로 구성되어 있다. 격납식 시트의 격납 후 격납 방향과 반대로 작동하면 시트를 인출시켜 탑승자가 시트에 착석이 가능하도록 한다. 시트의 격납과 인출을 위해 단순한 구조에서부터 복잡한 구조를 구현하는 다양한 링크와 조인트로 구성되어 있다. 격납식 시트 중에서 싱킹 시트 프레임은 후방 방향으로 격납되고 전방 방향으로 인출되는 구조로 다른 시트 프레임과 동일한 높이에 위치하도록 차체 바닥부 공간에서부터 시트 프레임이 견고하게 고정되어야 하므로 위치를 일치시킬 수 있는 다중 링크 구조로 되어 있다. 링크 구조를 이용한 싱킹 시트는 일반적으로 사용자가 수동으로 격납 또는 인출이 가능하여 차량 내 공간 활용성을 높일 수 있다. 싱킹 시트의 격납 및 인출은 일반적으로 수동으로 작

동하므로 사용자가 직접 움직여서 작동시키는 과정이 필요하다. 시트를 격납시키기 위한 과정은 차체에 고정되는 부분을 잠금 해제시키고 시트를 접은 후에 격납 공간으로 이동시키는 3단계의 과정이 요구된다. 인출 과정 또한, 시트의 격납 과정의 역순으로 격납 공간에서 시트를 들어 올린 후에 시트를 펴고 차체의 고정 장치로 위치시켜야 한다. 이러한 시트의 격납 또는 인출 시 요구되는 과정으로 인해 사용자가 불편함을 느끼는 문제점을 발생시킨다. 또한, 격납과 인출 과정에서 흔들림으로 인해 불안정한 구동을 발생시킬 수 있으므로, 싱킹 시트의 격납과 인출의 자동화 및 시트의 고급화를 고려하여 전동형으로 전환하기 위한 연구가 필요하다. 이를 위하여 격납식 싱킹 시트의 수동식 접이 메커니즘을 전동형으로 변형시키기 위한 사양 설정과 사양에 따른 브라켓의 구조 강도 설계를 통한 전동형 과워 싱킹 시트 프레임의 설계 방안에 관한 연구가 필요하다.

시트 프레임의 전동화에 앞서 프레임의 메커니즘 설계 및 최적 설계에 관한 연구는 진행된 바 있다. 시트 프레임 구조의 메커니즘 설계 연구는 격납식 시트, 헤드레스트 및 서스펜션 등의 메커니즘 설계 방안에 관한 연구를 수행하였다. 격납식 시트의 격납 경로 설계를 목표로 하여 기구학적 설계와 다물체 동역학 해석을 이용한 캠형상의 리클라이너 설계를 통해 수동식 싱킹 시트 프레임의 격납 경로에 대한 고찰을 수행하였다[7]. 또한, 격납식 시트의 링크 메커니즘 설계를 위해 5절 링크로 이루어진 링크 메커니즘의 기구학적 설계를 이용한 다이브 시트의 설계 방안을 제시하였다[8]. 산업용 시트의 수평 변위를 최소화하고 필요한 수직 이동 확보를 위해 시트 서스펜션의 링크 메커니즘 설계를 수행하였다. 설계를 위해 방정식과 다물체 솔버를 사용하여 8절 링크 메커니즘의 분석 및 합성을 수행하였으며, 기술 요구 사항에 따른 설계를 수치적으로 최적화하는 방법을 제시하였다[9]. 시트 백 프레임과 연동되는 레그 레스트의 상해 저감 설계를 위해 기구학적 설계를 이용한 리액티브 헤드레스트의 연결구조 및 설계 방안을 제시하였다[10]. 후방 충돌 시 상해 저감을 위한 시트 백 프레임 설계를 위해 가상 탑승자에게 미치는 영향을 평가하였다. 인체 가상 모델의 기하학적 구조를 구현하고 유한 요소 모델을 통하여 시트 백의 다양한 부품이 후방 충격 하에서 목 부분 반응에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구를 수행하였다[11].

시트 프레임의 경량 설계 연구는 시트 백, 시트 쿠션 프레임 및 모듈의 최적 설계 방안에 관한 연구가 수행되었다. 시트 백 프레임의 형상 도출을 위해 최적 설계를 수행하였다. 프레임의 측면부 두께와 리클라이너 체결부 두께를 변수로 설정하여 후방 모멘트 및 편심 하중을 이용한 위상 최적화를 수행하여 고장력강 소재를 적용한 시트 백 프레임의 최적 설계 모델을 도출하고 경량화 효과를 확인하였다[12]. 자율주행 차량용 시트의 형상 도출을 위해 최적 설계를 수행하였다. 프레임의 두께를 변수로 설정하고 안락감 해석으로 도출된 수직 하중 조건을 적용한 위상 최적화를 수행하여 프레임의 형상을 도출하였고, 강성과 안락감을 만족함을 확인하였다[13]. 알루미늄 경량 시트의 내구 성능 향상을 위해 최적 설계를 수행하였다. 프레임의 두께를 변수로 설정한 유한 요소 모델에 자동차 시험 법규에 준하는 하중과 반응 표면 모델을 기반으로 최적 설계 기법을 적용하여 중량 감소와 내구 수명의 향상 효과를 확인하였다[14]. 시트 쿠션 부의 편의 장치인 쿠션 익스텐션 경량 설계를 위해 강도 해석을 수행하였다. 익스텐션 모듈의 PP 소재를 변수로 설정하고 수직 하중 조건에 대한 강도 설계를 수행하고 시험 평가를 수행하여 기존 대비 강도를 만족함과 동시에 중량 절감 효과를 확인하였다[15]. 시트 프레임의 기구 설계 및 강도 해석에 관한 연구는 수행되었으나 메커니즘의 작동 방식 전환에 따른 부품의 사양 결정과 부품의 강도 해석에 관한 연구는 부족하다.

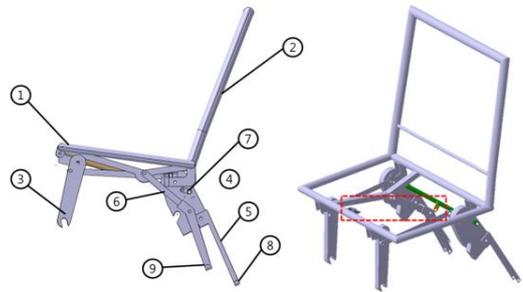
본 논문에서는 싱킹 시트 프레임의 수동식 접이 메커니즘을 전동 모터를 이용한 자동 메커니즘 전환 시에 그에 따른 사양 결정과 부품의 강도 설계를 수행하였다. 이를 위해 싱킹 시트 프레임에 모터를 활용하여 자동 접이 메커니즘을 적용된 파워 싱킹 시트 프레임의 쿠션 브라켓 부의 배치인 각도와 길이에 따른 설계 변수를 설정하여 9가지 경우에 대한 모델링을 수행하였다. 리어 브라켓 조인트의 설계 변수에 따른 파워 싱킹 시트의 자동 메커니즘의 리어 브라켓 조인트와 전동 모터 사양 선정을 위한 동역학적 해석을 통해 전동형 싱킹 시트에 적용이 가능한 전동 모터의 출력 범위를 선정하였다. 유한 요소 모델링을 이용하여 선정된 파워 싱킹 시트 프레임의 전동 모터 출력 범위를 고려한 리어 브라켓 조인트에 배치에 따른 강도 해석을 수행하여 브라켓의 변형량과 응력을 확인하였다. 또한, 9가지 쿠션 브라켓 배치에 따른 결과 비교를 통해 쿠션 브라켓의

최종 각도와 길이를 결정하여 전동화로 전환 시 부품의 설계 방안을 제시하였다.

2. 설계변수 설정

2.1 싱킹 시트 프레임의 접이 메커니즘

싱킹 시트 프레임은 [그림 1]과 같이 구성되어 있으며, <표 1>과 같이 시트 쿠션 프레임, 시트 백 프레임, 시트 쿠션 전방 래치, 시트 쿠션 후방 래치, 시트 쿠션 중앙 다리, 후방 브라켓 조인트, 후방 래치 다리 조인트, 중앙 다리 조인트 등으로 구분하였다.



[그림 1] 싱킹 시트 프레임의 개념도

<표 1> 싱킹 시트 프레임의 구성 요소

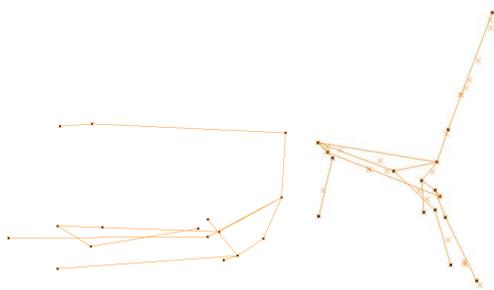
Number	Name
1	Seat Cushion Frame
2	Seat Back Frame
3	Front Latch of Seat Cushion Frame
4	Rear Latch of Seat Cushion Frame
5	Rear Latch Leg of Seat Cushion Frame
6	Center Leg of Seat Cushion Frame
7	Rear Bracket Joint of Seat Cushion Frame
8	Rear Latch Leg Joint of Seat Cushion Frame
9	Center Leg Joint of Seat Cushion Frame

시트 백과 쿠션 프레임은 착석 시 탑승자의 상체와 하체를 지지하는 역할을 한다. 쿠션 프레임 하부와 결합되어 있는 시트 쿠션 래치 부는 프레임 인출 시 차체의 스트라이커와 고정 체결되어 시트 쿠션을 지지하는 역할을 하며, 격납 시 전방 래치는 조인트를 기준으로 반시계 방향과 후방 래치는 조인트를 기준으로 시계 방향으로 회전하며 격납 공간에 쿠션 프레임과 함께 격납된다. 시트 백이

격납된 상태에서 리어 래치 레그 부분이 조인트를 기준으로 시계방향으로 회전하면 쿠션 프레임 부분이 아래 방향으로 접히어 뒷면이 차량 실내의 바닥을 이루게 된다.

싱킹 시트가 인출되었을 때 쿠션 래치부의 아래쪽에는 스트라이커에 고정식으로 체결하고 지지하기 위한 역할을 하는 캐치(잠금장치)가 위치한다.

시트 쿠션 레그는 후열 격납 시트의 작동에 중요한 역할을 한다. 양쪽 끝단에 회전축을 가지며 시트의 전체 중량을 지지하게 된다. 적재 공간은 시트가 격납 시 시트 백과 시트 쿠션이 전체 공간을 차지하게 되며, 재장착 된 후에 적재 공간을 활용할 수 있다. 시트의 격납과 인출은 모두 차량의 후방 트렁크 도어를 열고 차량의 후방 방향에서 작동하여야 하는 구조로 이루어져 있다. 격납된 싱킹 시트의 작동을 위해서는 차량의 후방 트렁크 도어를 열고 시트 백에 위치한 손잡이를 먼저 잡은 다음 레그와 쿠션의 회전을 통해 인출시키게 된다. 주요 부품 구동부를 중심으로 회전 조인트를 생성하여 각 조인트를 연결해 가상의 와이어 프레임을 생성하고, 싱킹 시트의 격납 또는 인출 시의 프레임을 형성할 수 있다. 싱킹 시트 프레임 및 각 부품을 링크로 가정하고 링크 양 끝단의 회전 조인트를 연결하여 다중 4절 링크로 이루어진 링크 메커니즘을 [그림 2]와 같이 구성할 수 있으며, 이러한 싱킹 시트는 일반적으로 수동적인 작동 과정을 통해 격납 및 인출이 이루어진다. 이와 같은 과정을 전동식 파워 사양으로 변경하게 될 경우 싱킹 시트를 수동으로 구동할 때만 필요했던 부품은 제거되어야 한다.



[그림 2] 가상 와이어 링크를 이용한 싱킹 시트의 격납 및 인출 메커니즘

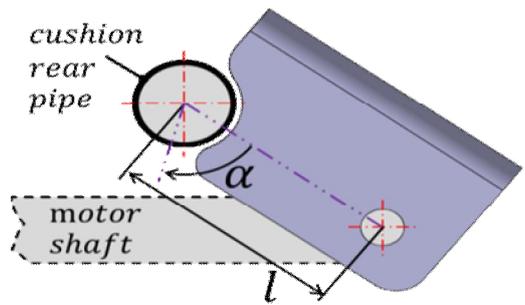
수동 사양에서 파워 사양으로 변경되며 모터를 설치해야 한다. 모터를 설치하며 브라켓 위치에 따라 적용되는 모터의 사양이 좌우될 수 있다. 싱킹 시트에는 모터

를 설치할 수 있는 위치가 두 군데 있다. 싱킹 시트를 수동에서 파워 사양으로 구동 방식을 변경하며 모터를 설치할 수 있는 부분으로는 중앙 다리 조인트와 후방 브라켓 조인트 두 곳이다. 중앙 다리 조인트에 설치된 모터를 구동하기 위해서는 강한 토크가 필요하여 모터의 용량이 증가한다. 모터의 용량이 커지게 되는 것은 모터의 무게와도 직접적으로 이어진다. 모터의 용량 증가를 통해 프레임의 전체 중량이 증가하게 된다. 자동차 부품의 무게 증가는 차량 무게의 증가로 이어지므로, 모터의 용량 증가를 지양하기 위해 후방 브라켓 조인트를 구동하는 방식으로 연구를 진행하였다.

2.2 구동부의 설계 변수 설정

후방 브라켓 조인트의 구동부인 후방 모터 브라켓은 시트 쿠션 후방 래치와 연결된 파이프에 고정되어 있으며, 격납 및 인출 시 후방 래치와 함께 회전하는 구조이다. 이러한 구조로 인해 쿠션 하부의 다른 부품들과 간섭이 발생하는 문제점이 존재한다.

이를 해결하기 위해, 설계 변수의 범위는 부품 간 간섭이 발생하지 않는 최대 및 최소 범위로 설정하였다. 후방 모터 브라켓의 각도는 시트가 완전히 인출되었을 때 후방 모터 브라켓과 싱킹 시트 프레임 후방 래치의 파이프 각도를 고려하여 설정하였으며, 각도 α 는 147.2°일 때 Angle 1, 73.6°일 때 Angle 2, 0°일 때 Angle 3으로 정의하였다. 후방 모터 브라켓의 길이는 후방 모터 브라켓 홀의 중심에서 파이프와 맞닿는 원형 중심점까지의 거리 l 를 기준으로 설정하였으며, 최대 40mm에서 최소 30mm까지의 범위를 3단계로 나누었다. 이때, 30mm는 S, 35mm는 M, 40mm는 L로 구분하였다.



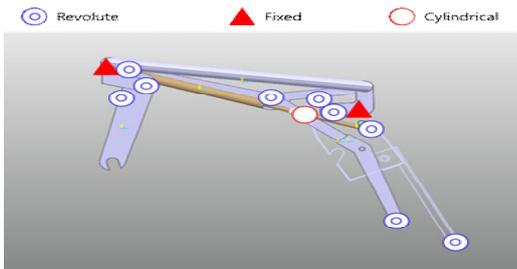
[그림 3] 후방 모터 브라켓의 변수 설정

<표 2> 쿠션 프레임의 리어 브라켓 변수

Bracket Joint length		l		
		30 [mm]	35 [mm]	40 [mm]
α	147.2 [°]	S 1	M 1	L 1
	73.6 [°]	S 2	M 2	L 2
	0 [°]	S 3	M 3	L 3

[그림 3]에서 변수 설정을 통해, <표 2>와 같이 해당 모델들을 간소화하여 지칭하는 방식을 사용하였다. 9개의 모델 중 M3을 기준점이 되는 모델로 지정하였다.

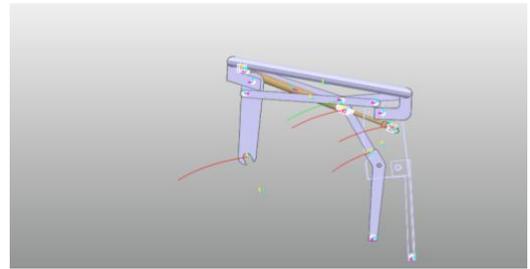
싱킹 시트의 이동 궤적, 반력 및 토크를 확인하기 위하여 다물체 동역학 시뮬레이션 프로그램인 RecurDyn을 활용하였다. 싱킹 시트의 다물체 동역학 해석을 위해 주요 부품의 무게 중심과 무게를 적용해 단순화된 강체 모델링을 생성하였다. 강체 모델링의 구성요소는 <표 1>에 표기된 구성요소를 기반으로 모델을 생성하였다. 각 강체 모델들의 경계조건은 회전 조건(Revolute), 고정 조건(Fixed), 원통 조건(Cylindrical) 기능을 이용하여 설정하였다. 강체 모델로 가정한 싱킹 시트 프레임의 경계조건은 [그림 4]과 같이 회전 조건(Revolute)은 9개소이며, 고정 조건(Fixed)은 모터를 잡아주는 양 끝단에 경계 조건을 설정하였다. 또한, 원통 조건(Cylindrical)은 모터의 움직임으로 설정하였다.



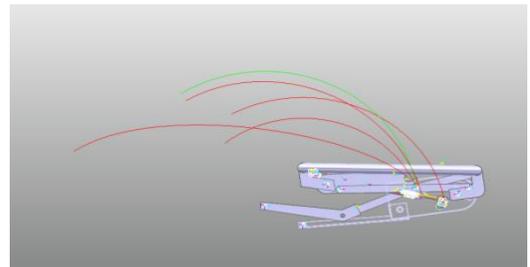
[그림 4] 다물체 동역학 해석을 이용한 싱킹 시트 모델의 경계 조건

3. 다물체 동역학 해석

3.1 다물체 동역학 해석 및 고찰



[그림 5] 싱킹 시트의 초기 궤적



[그림 6] 싱킹 시트의 격납 궤적

[그림 5] 및 [그림 6]와 같이 다물체 동역학 해석 진행 시 싱킹 시트 격납 및 인출 시 조인트별 이동 궤적과 전방 모터 브라켓과 후방 모터 브라켓의 길이 변화에 따른 구동 및 이동 궤적도 함께 확인하였다. 또한, 시트의 격납과 인출 시 후방 모터 브라켓의 각도 변화에 따른 후방 모터 브라켓 조인트, 후방 래치 레그 조인트, 중앙 다리 조인트에서의 반력과 토크 변화량을 확인하였다. 변화량 확인 결과 가장 큰 값이 관찰된 조인트는 후방 모터 브라켓 조인트였다. 따라서 후방 모터 브라켓 조인트를 중심으로 결과값에 대한 고찰을 수행하였다.

3.1.1 후방 모터 브라켓 각도에 따른 비교

후방 모터 브라켓 각도에 따른 반력을 비교하였을 경우, 후방 래치 다리 조인트에서 가장 적은 반력은 L2로 편차는 1.2%, 후방 브라켓 조인트에서 가장 적은 반력은 M3으로 편차는 18.63%, 중앙 다리 조인트에서 가장 적은 반력은 L2로 편차는 1.1%였다. 가장 큰 편차를 보인 곳은 후방 브라켓 조인트였다.

후방 모터 브라켓 각도에 따른 토크를 비교하였을 경우, 후방 래치 다리 조인트의 가장 적은 토크는 S2로 편차는 1.3%이었다. 후방 브라켓 조인트의 가장 적은 토크

는 L3으로 편차는 8.9%, 중앙 다리 조인트의 가장 적은 토크로는 L2로 편차는 1.0%였다. 가장 큰 편차를 보인 곳은 후방 브라켓 조인트였다.

3.1.2 후방 모터 브라켓 길이에 따른 비교

후방 모터 브라켓 길이에 따른 반력을 비교했을 경우, 후방 래치 다리 조인트에서 가장 적은 반력은 L2로 편차가 0.1%, 후방 브라켓 조인트에서 가장 적은 반력은 M3이며 편차가 41.8%였다. 중앙 다리 조인트에서 가장 적은 반력으로는 S2로 편차가 79.2%였다. 가장 큰 편차를 보인 곳은 중앙 다리 조인트였다.

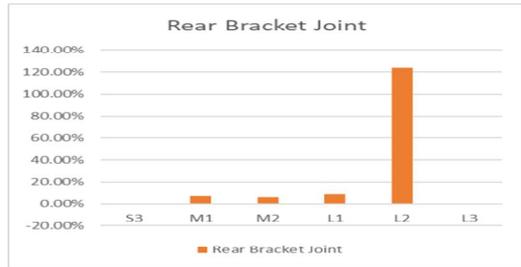
후방 모터 브라켓 길이에 따른 토크를 비교했을 경우, 후방 래치 다리 조인트에서 가장 적은 토크는 S2로 편차는 0.3%, 후방 브라켓 조인트에서 가장 적은 토크는 M3으로 편차는 1.3%, 중앙 다리 조인트에서 가장 적은 토크로는 L2로 편차는 0.6%이었다. 가장 큰 편차를 보인 곳은 후방 브라켓 조인트였다.

3.1.3 기준 모델의 반력 및 토크 편차 비교

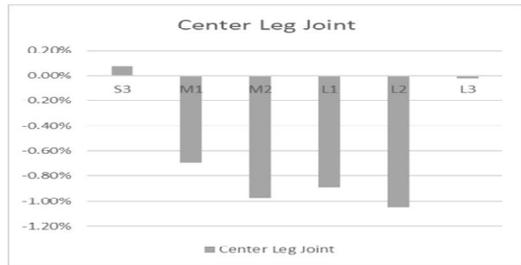
후방 모터 브라켓의 기준 각도와 길이는 0°와 35mm이며, M3을 기준 브라켓의 형상으로 설정하였다. 기준 브라켓의 형상으로 다른 각도와 길이를 갖는 브라켓의 비교 결과는 다음과 같다. [그림 7]은 후방 래치 다리 조인트 편차에 대한 그래프로 표준편차는 -1.23%에서 0.09%까지 분포하였다. [그림 8]은 후방 브라켓 조인트 편차에 대한 그래프로 표준편차는 -30.25%에서 64.96%까지 분포하였다. [그림 9]은 중앙 다리 조인트 편차에 대한 그래프로 표준편차는 -1.05%에서 0.07%까지 분포하였다. 반력 편차를 분석한 결과 M2가 적합하다고 판정되었다.



[그림 7] 후방 래치 조인트의 토크 편차



[그림 8] 후방 브라켓 조인트의 토크 편차



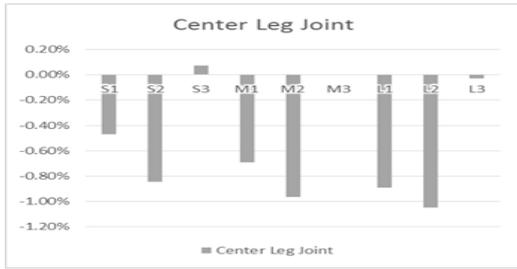
[그림 9] 중앙 다리 조인트의 토크 편차



[그림 10] 후방 래치 조인트의 반력 편차



[그림 11] 후방 브라켓 조인트의 반력 편차



[그림 12] 중앙 다리 조인트의 반력 편차

[그림 10]은 후방 래치 다리 조인트 편차를 나타낸 그래프로 표준편차는 -1.22%에서 0.08%까지 분포하였다. [그림 11]은 후방 브라켓 조인트 편차에 대한 그래프로 표준편차는 -0.87%에서 23.95%까지 분포하였다. [그림 12]는 중앙 다리 조인트의 편차를 나타낸 그래프로 표준편차는 -1.05%에서 0.07%까지 분포하였다. 토크 편차 분석 결과 M1과 M2가 적합하다고 판정되었다.

동적 해석 결과 기준 모델인 M3은 반력 -30.25%와 토크 6.7% 편차가 발생함을 확인하였다. 반력과 토크를 최소화할 수 있는 모델로는 M2를 선정하였다. M2를 기준으로 파워 싱킹 시트 구동이 될 수 있도록 후방 모터 브라켓 설계를 수행하였다.

4. 강도 해석

다물체 동역학 해석을 통해 도출된 진동 모터의 출력 범위에 따라 쿠션 브라켓을 시트 프레임에 적용할 경우 브라켓의 강도가 적합한지에 대한 고찰이 필요하다. 이를 위해 유한요소 해석을 이용하여 쿠션 브라켓의 각도와 길이에 따른 강도 해석을 수행하였다. 강도 해석은 진산 시뮬레이션 프로그램인 Hyperwork v17을 활용하였으며, 다물체 동역학 해석을 위해 사용된 강체 모델을 이용하여 유한 요소 모델을 생성한 후에 진동 모터의 하중을 적용해 강도 해석을 수행하였다.

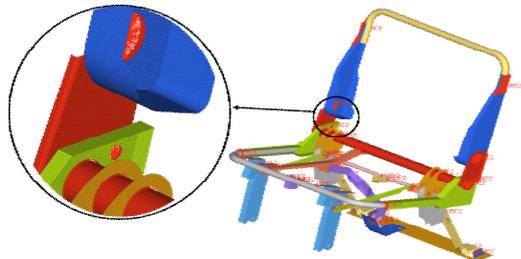
4.1 유한요소 해석

쿠션 브라켓의 각도와 길이에 따른 강도 해석을 위해 유한 요소 모델링은 박판 또는 파이프 형태로 이루어진 프레임의 형상을 고려하여 중간 면(Mid Surface)을 생성한 후에 2차원 요소(2D Mesh)로 모델링을 수행하였다. 2

차원 요소로 구성된 싱킹 시트 프레임의 유한 요소 모델의 요소 형태는 사각형(Quadra)이며, 요소의 크기는 2mm로 구성되어 있다. 시트 프레임 및 각 부품의 유한 요소의 정보는 <표 3>과 같으며, 2차원 요소를 생성한 후 시트 프레임의 볼트 및 용접 부위를 고려한 강체로 가정된 체결 조건을 생성하였다. 강체로 가정된 체결 조건은 시트 백의 프레임, 시트 쿠션의 프레임부, 리클라이너 결합부, 전방 및 후방의 래치 결합부, 후방 중앙 레그 부 및 브라켓 부 등 총 51개의 부위에 적용하였다. [그림 13]과 같이 시트 프레임의 유한 요소 및 체결 조건이 적용된 모델을 생성하여 강도 해석을 위한 유한 요소 모델링을 생성하였다.

<표 3> 파워 싱킹 시트 프레임 유한요소 모델의 요소 정보

Description	Mesh Type	Mesh Size	Mesh Numbers
Unit	-	mm	ea
Seat Cushion Frame	Quadra	2	94,497
Seat Back Frame			77,576
Front Latch			18,690
Rear Latch			16,338
Rear Latch Leg			11,347
Center Leg			10,531
Rear Bracket			796



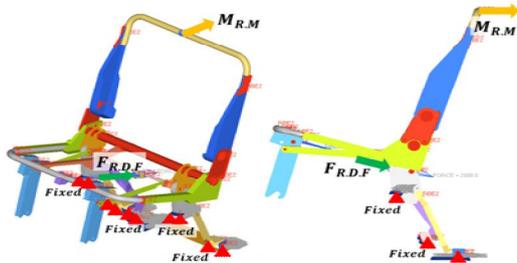
[그림 13] 파워 싱킹 시트 프레임의 유한요소 모델링

싱킹 시트 프레임의 유한 요소 모델에 강도 해석을 위한 적용 소재(Materials), 물성치(Property), 경계 조건(Boundary) 및 하중 조건(Load step)은 다음과 같이 설정하였다. 먼저 적용 소재는 <표 4>와 같이 시트 프레임에 고장력강을 적용하였으며, 물성치는 프레임 각 부품의 기존 두께를 고려하여 설정하였다. 또한, 경계 조건은 [그림 14]와 같이 후방 래치 레그와 중앙 레그 차체 베이스에 회전 조인트로 고정되어 있으며, 후방 래치

또한 차체 스트라이커에 고정되어 총 10개소에 고정 조건으로 설정하였다. 또한, 하중 조건으로는 <표 5>와 같이 후방 쿠션 브라켓과 연결된 리니어 모터의 최대 하중은 2,000N으로 설정하였고, 브라켓의 후방 방향으로 작용되는 하중을 설정하였다. 추가적으로 시트 프레임 전체에 대한 강도를 함께 고려하기 위해 <표 5>와 같이 시트 시험 규격에 준하는 시트 백 프레임 상단부에 약 785N.m의 후방 모멘트 하중이 작용한다는 하중 조건을 설정하였다. 이러한 모터 하중과 후방 모멘트 하중에 따른 유한 요소 해석은 <표 2>와 같이 쿠션 후방 브라켓의 각도와 길이에 따른 9가지 케이스를 적용한 유한 요소 모델을 이용하여 수행하였다.

<표 4> 과워 싱킹 시트 프레임 유한요소 모델링의 물성치 정보

Description	Young's Modulus (E)	Poisson's ratio (NU)	Density (RHO)	Tensile strength (ST)
Unit	MPa	-	kg/mm3	MPa
Value	210,000	0.3	7.89e ⁻⁹	590
	210,000	0.3	7.89e ⁻⁹	780



[그림 14] 유한요소 해석을 위한 경계조건과 하중조건

<표 5> 해석을 위한 하중조건

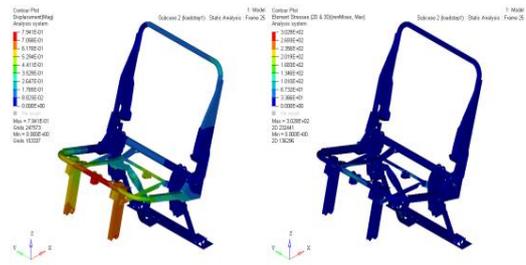
Description	Rear direction force on linear motor	Rear moment on seat back frame
Unit	N	N.m
Symbol	F_{RDF}	M_{RM}
Value	2,000	784.9

4.2. 결과 및 고찰

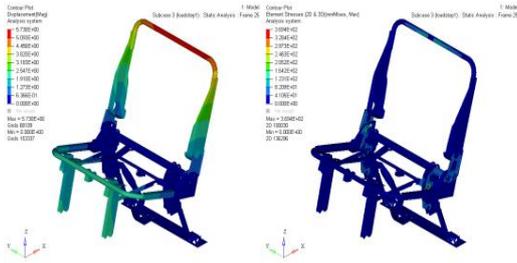
과워 싱킹 시트의 하중에 따른 강도를 확인하기 위해 모터 하중과 후방 모멘트를 고려한 강도 해석 결과는 시

트 프레임 전체와 쿠션 후방 브라켓의 변형량과 응력을 산출해 확인하였다. 강도 해석 결과로 시트 전체의 변형량은 하중이 적용되는 부분을 기준으로 발생하였으며, 모터 하중과 후방 모멘트 하중에 따라 최대 약 1.662mm, 5.739mm의 변형량이 발생함을 확인하였다. 또한, 응력은 쿠션 후방 브라켓이 시트 쿠션 프레임과 체결되는 부위와 전동 모터와 연결되는 부위에서 집중 응력이 나타났으며, 최대 약 317.6MPa과 370.5MPa의 응력이 발생함을 확인하여 적용된 소재의 허용 응력 내에서 파괴가 발생하지 않음을 알 수 있었다.

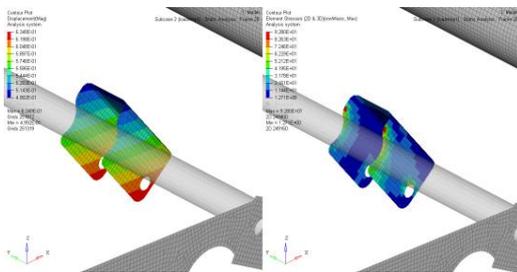
[그림 15] (a)는 전동 모터가 적용된 과워 싱킹 시트 프레임의 모터 최대 하중에 따른 변형량과 응력을 보여주며, 모터 하중으로 인해 전방 모터 브라켓에서 최대 변형량이 발생함을 확인하였다. 모터 하중이 후방으로 작동함에 따라 전방 모터 브라켓의 변형량이 크게 발생하지만, 응력은 후방 모터 브라켓의 체결부에서 집중 응력이 발생함을 알 수 있다. 또한, [그림 15] (b)는 시트 백 프레임의 후방 모멘트 하중에 따른 변형량과 응력을 보여준다. 후방 모멘트에 의해 시트 백 프레임의 상단에서 최대 변형량이 발생하나, 후방 모터 브라켓을 관찰하면 [그림 15] (c)와 같이 모터 최대 하중에 의해 발생하는 변형량의 약 35.48%에 해당하는 수치임을 확인할 수 있었다. 응력의 분포는 후방 모멘트를 적용하였을 때 최대 응력은 후방 래치와 후방 모터 브라켓이 체결되는 파이프 부분에서 발생하며, 브라켓을 관찰하면 [그림 15] (c)와 같이 모터 최대 하중에 의해 발생하는 응력의 45.8%에 해당하는 수치임을 확인할 수 있었다.



(a) 시트 프레임의 모터 후방 하중에 따른 해석 결과 (최대 변형량과 최대 응력)



(b) 시트 프레임의 후방 모멘트 하중에 따른 해석 결과 (최대 변형량과 최대 응력)



(c) 시트 프레임의 하중에 따른 해석 결과(브라켓 타입 3번, 최대 변형량과 최대 응력)

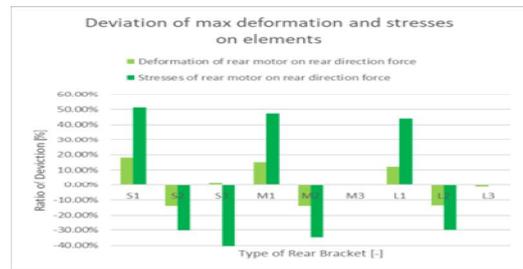
[그림 15] 시트 프레임의 모터 후방 하중과 후방 모멘트 하중에 따른 강도 해석 결과

후방 모터 브라켓의 각도(angle type)와 길이(joint length)에 따른 변형량과 응력을 비교 분석하였다. 먼저 각도에 대한 비교를 위한 대상으로 각도가 0°인 타입 3의 형상을 기준으로 설정하였으며, 기준 브라켓의 각도에 따른 변형량과 응력의 편차 변화를 비교하였다. 기준 브라켓의 각도 대비 73.6°인 타입 2의 경우, 변형량이 최대 14.7% 감소하거나, 반대로 최대 15.3% 증가함을 확인하였다. 응력은 최대 34.9% 감소하거나, 최대 85.4% 증가함을 확인하였다. 147.2°인 타입 1의 경우에는 변형량이 최소 1.88%에서 최대 16.88% 증가함을 확인하였다. 응력은 최대 9% 감소하거나, 최대 47.46% 증가함을 확인하였다. 종합적으로 전체 각도에 따른 기준 브라켓과 비교한 변형량의 편차 변화율은 S2에서 최대 14.74% 감소하였으며, 응력의 편차 변화율은 M2에서 최대 34.95% 감소됨을 확인하였다.

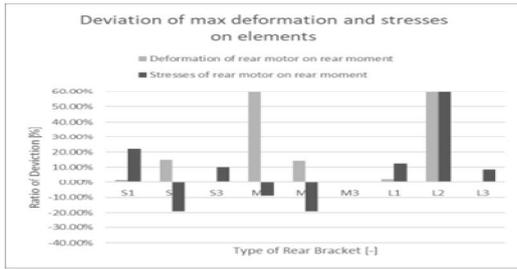
다음으로, 길이에 대한 비교를 위한 대상으로 길이가 중간인 M(35mm) 형상을 기준으로 설정하였으며, 기준

브라켓에 대한 길이에 따른 변형량과 응력의 편차 변화율을 비교하였다. 기준 브라켓의 길이 대비 짧은 S(30mm)의 경우에서 변형량이 최대 58.1% 감소하거나, 최대 2.747% 증가함을 확인하였다. 응력은 최소 0.1%에서 최대 34.1% 증가함을 확인하였다. 기준 브라켓의 길이 대비 긴 L(40mm)의 경우에는 변형량이 최대 57.7% 감소하거나, 최대 0.1% 소폭 증가함을 확인하였다. 응력은 최대 2.33% 감소하거나, 최대 23.78% 증가함을 확인하였다. 종합적으로 전체 길이에 따른 기준 브라켓과 비교한 변형량의 편차 변화율은 L2에서 최대 58.08% 감소하였으며, 응력의 편차 변화율은 L1에서 최대 2.33% 감소함을 확인하였다.

또한, 기준 브라켓을 M3로 설정하여 변형량 및 응력의 편차 변화율을 비교하였다. 변화율은 모터 최대 하중과 시트의 후방 모멘트 하중에 따른 결과를 비교 분석하였다. [그림 16]은 모터 최대 하중에 따른 결과이며, M3를 기준으로 S2, M2, L2에서 변형량은 약 13.7% 감소하였고, 응력은 M2에서 최대 34.67% 감소함을 확인하였다. [그림 17]은 시트 후방 모멘트 하중에 따른 결과를 나타내며, M3를 기준으로 S2와 M2에서 변형량은 약 14.3% 증가하였으나, 응력은 최대 19.65% 감소함을 확인하였다. 최종적으로 각도와 길이에 따른 결과를 종합적으로 비교했을 때, 후방 모터 브라켓의 각도는 타입 2를 적용할 수 있으며, 길이는 S, M, L 모두 적용할 수 있으나 변형량 감소 효과가 큰 M2 형상이 적합함을 확인할 수 있었다.



[그림 16] 모터의 후방 하중에 따른 브라켓 변형량 및 응력의 편차 비교 결과



[그림 17] 모터의 후방 모멘트 하중에 따른 브라켓 변형량 및 응력의 편차 비교 결과

5. 결론

본 연구에서는 격납식 싱킹 시트의 전동 사양을 고려하여 시트 프레임 내의 쿠션 브라켓이 강도를 만족할 수 있는 설계 방안을 제시하였으며 연구 결과는 다음과 같 이 요약할 수 있다.

첫 번째, 싱킹 시트 프레임의 전동화를 위해 주요 구성 요소로 간략화를 통해 전동 모터가 적용되는 쿠션 브라켓의 각도와 길이에 따른 설계 변수를 3수준으로 설정하는 방안 제시하였다.

두 번째, 다물체 동역학 해석을 이용하여 전동형 과워 싱킹 시트의 격납과 인출을 고려한 구동부 회전에 따른 쿠션 브라켓의 반력과 토크 값을 도출하고, 비교 분석을 통해 자동 메커니즘 부품인 전동 모터의 허용 가능한 범위를 확인하였다. 또한, 모터의 힘과 토크가 기준이 되는 쿠션 브라켓의 배치와 비교했을 때, 각도가 73.6° 회전된 배치에서 모터의 힘과 토크를 각각 30.25%, 6.7% 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

세 번째, 전동 모터의 최대 허용치와 후방 모멘트를 고려한 쿠션 브라켓의 강도 확인을 위해 유한 요소 해석을 이용한 쿠션 브라켓 배치에 따른 강도 해석을 수행하였다. 그 결과 기준 쿠션 브라켓의 배치 대비 각도가 73.6° 회전된 배치와 길이가 5mm 짧은 배치에서 변형량과 응력을 각각 최대 13.76%, 34.95% 감소시킬 수 있음을 확인하여 동역학적 해석 결과와 일치하는 쿠션 브라켓의 최종 배치의 설계 방안을 제시하였다.

본 연구는 시트 프레임의 작동 방식 변경에 따른 주요 부품의 설계 방안을 제시하고, 그 주요 요소와 영향 관계를 검증하는 데 의미가 있다.

참고문헌

- [1] Seung-Ju Jang, "SW technology trends for autonomous vehicles", Information and Communications Magazine, 33(4), 27-33, 2016.
- [2] Ju-Yeong Kwon, and Da-Young Ju, "Analysis and Classification of In-Vehicle Activity Based on Literature Study for Interior Design of Fully Autonomous Vehicle", Journal of the HCI Society of Korea, 13(2), 5-20, 2018.
- [3] You-Sun Park, "A Study on Mobility Furniture Composition for a Segment Model Proposal for Autonomous Driving Cars", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 23(4), 370-376, 2022.
- [4] Seong-Ho Kim, and Su-Bin Kim, et al., "Seat Model Study for Autonomous Vehicle", Journal of the Korean Auto-vehicle Safety Association, 14(4), 27-34, 2022
- [5] Key-Sun Kim, and Sung-Soo Kim, et al., "Study on Structural Strength Analysis of Automotive Seat Frame", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 14(1), 39-44, 2013
- [6] Dong-Seok Shin, and Euy-Sik Jeon, "The Design of Containment Mechanism for Dive Seat of using the 4-Link Mechanism", Annual Conference of the the Korean Society of Automotive Engineers, 922-923, 2013
- [7] Dong-Seok Shin, and Euy-Sik Jeon, "Slot-Shape Design of the Recliner Collaboration Module for Manual One-Touch Sinking Seat", Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, 17(3), 525-530, 2015
- [8] Dong-Seok Shin, and Euy-Sik Jeon, "The Design of the Link Mechanism for Manual One Touch Dive Seat", Spring Conference of the the Korean Society of Precision Engineering, 1171-1172, 2013
- [9] A. Spaggiari, and M. Coconcelli, et al., "Synthesis and optimization of an eight-bar linkage mechanism for seat suspensions", Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering,

44(9), 429 2022.

- [10] Md. Fuhad Hassan, and Euy-Sik Jeon, “Kinematic Design of Automobile Seat Connection Mechanism to the Reactive Head Restraint”, Spring Conference of the the Korean Society of Precision Engineering, 865-866, 2010
- [11] Nicolas Bourdet, and Rémy Willinger, “Coupled head - neck - torso and seat model for car seat optimization under rear-end impact”, Journal of Sound and Vibration, 313(3-5), 891-907, 2008
- [12] Hyeon-Ho Shin, Hee-Yong Kang, and Sung-Mo Yang., “Optimal Design of Automotive Seat Back Frame Using Finite Element Analysis”, Journal of the Korean Auto-vehicle Safety Association, 11(4), 57-62, 2019
- [13] Seong-Ho Kim, and Su-Bin Kim, et al., “Seat Model Study for Autonomous Vehicle”, Journal of the Korean Auto-vehicle Safety Association, 14(4), 27-34, 2022
- [14] Byung-Kil Kim, and Min-Soo Kim, et al., “Optimal Design of the Passenger Vehicle Aluminum Seat for Weight Reduction and Durability Performance Improvement”, Transactions of the the Korean Society of Automotive Engineers, 13(3), 58-63, 2005
- [15] Han-seul Jang, and Seong-kyu Choi, et al., “A Study on the Development of Lightweight Seat Cushion Extension Module”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 17(8), 200-207, 2016

허진희 (Heo, Jin-Hee)



- 2021년 4월~2024년 현재: 대일공업 (주) 선행기술연구소 대리
- 2023년 3월~2024년 현재: 공주대학교 기전공학과 석사과정
- 2016년 3월~2020년 2월: 공주대학교 기계시스템공학(공학학사)
- 관심분야: 기계설계, 생산기술, 제조
- E-Mail: jhheo@autodi.com

양윤식 (Yang, Yun-Sik)



- 2018년 3월~2024년 현재: 대일공업 (주) 선행기술연구소 부장
- 2010년 3월~2012년 2월: 공주대학교 기계공학과(공학박사)
- 2008년 3월~2010년 2월: 공주대학교 기계공학과(공학석사)
- 관심분야: 기계설계, 생산기술, 제조
- E-Mail: ysyang@autodi.com

주영조 (Ju, Yeong-Jo)



- 2018년 3월~2024년 현재: 공주대학교 기계공학과 박사과정
- 2015년 3월~2017년 2월: 공주대학교 기계공학과(공학석사)
- 관심분야: 구조설계, 유한요소해석
- E-Mail: robos10@kongju.ac.kr

전의식 (Jeon, Euy-Sik)



- 2013년 3월~2024년 현재: 공주대학교 일반대학원 기전공학과 교수
- 1989년 3월~2024년 현재: 공주대학교 기계자동차공학부 교수
- 1987년 3월~1995년 2월: 한양대학교 정밀기계공학과(공학박사)
- 1985년 2월~1987년 2월: 한양대학교 정밀기계공학과(공학석사)
- 관심분야: 구조설계, 유한요소해석, 소재공정설계, 적층제조
- E-Mail: osjun@kongju.ac.kr