

대한기계학회 주선

제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (0)				
참가분야	공모주제 (0) / 자유주제 ()				
참가팀명	어깨꼭잡아				
설계제목	인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발				
지도교수/교사	(소속) 고려대학교 기계공학부 (성명) 최병호 (연락처)				(이메일)
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	이재운	고려대학교 기계공학부			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김영서	고려대학교 컴퓨터학과 / 3학년	
2	홍지환	고려대학교 컴퓨터학과 / 3학년	
3	김수인	고려대학교 기계공학부 / 3학년	
4	김재원	고려대학교 기계공학부 / 3학년	
5	지우성	고려대학교 기계공학부 / 3학년	
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 (0) / 자유주제 ()
참가팀명	어깨꼭잡아
설계제목	인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발
대표자명	이재윤
요약문	<p>1) 설계 배경 및 목적 현재 사용되고 있는 안전벨트의 설계 기준은 성인 남성을 기준으로 하고 있다. 수동 조절 장치로 본인의 체형에 맞게 조정할 수 있는 방안을 제공하고는 있으나, 해당 정보를 알고 있는 사람도 적고 조작의 불편함을 느껴 조정하지 않고 안전벨트를 착용하는 사람들이 많다. 하지만 본인의 체형에 알맞은 높이의 안전벨트를 착용하지 않는다면, 안전벨트를 착용했음에도 불구하고 부상의 위험성은 감소하지 않는다. 본 설계는 AI 학습을 통한 자동 높이 조절 장치를 이용해 편리함과 안정성을 동시에 만족시키고자 한다.</p> <p>2) 설계 내용 성인 남성부터 7~11살의 어린이까지 모두 적용 가능한 자동 높이조절 안전벨트를 설계하였다. 크게 제어부와 구동부, 회로부로 나뉜다. 제어부는 현재 안전벨트 위치와 탑승자를 인식하는 딥러닝 모델로부터 도출한 새로운 안전벨트의 위치의 차이로 구동부가 스텝 모터를 조절할 수 있게 한다. 제어부와 구동부의 ESP32를 블루투스로 연결하여 제어부에서 값을 보내 주면 ESP32는 해당 값에 맞춰 스텝 모터를 조작한다. 구동부는 스텝모터를 이용해 안전벨트가 달려있는 레일을 좌우로 평행이동 시켜주는 역할을 한다. 적절한 위치에 도달했을 때 MG90모터와 연결되어 있는 랙 앤 피니언을 이용해 구동부와 레일을 구속시킨다. 회로부는 제어부에서 얻은 최적의 높이 값을 ESP32를 통한 블루투스 방식을 통해 구동부로 전송한다. 전달받은 값을 구축한 알고리즘을 통해 목표 위치까지 스텝모터와 서보모터를 적절히 조작하여 도달한다.</p> <p>3) 기대 효과 본 장치를 적용해 차량의 안전벨트 자동 조절 시스템을 구축한다면, 안전 사각지대에 위치한 어린 아이들과 일부 체형의 사람들의 사고 위험성 감소에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 시스템의 경우 딥러닝 학습을 통한 AI 모델을 활용해 데이터가 많아질수록 더 정확하고 편리한 제품으로 설계 변경 없이 목표 효과를 달성할 수 있을 것이다.</p>

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

이재윤* · 김재원* · 김수인* · 지우성* · 김영서** · 홍지환** · 최병호*
*고려대학교 기계공학부 · **고려대학교 컴퓨터학과

Development of an automatic seat belt adjustment device based on AI

Jaeyoon Lee*, Jaewon Kim*, Sooin Kim*, Useong Ji*, Youngseo Kim**, Jihwan Hong** and
Byeongho Choi*

* School of Mechanical Engineering, Korea University

** Dept of Computer Science and Engineering, Korea University

(Received September 11, 2023)

Key Words: Artificial Intelligence(인공지능), Deep Learning(딥러닝), Human Pose Estimation(인간 자세 추정), Seat Belt Position Adjustment Device(안전벨트 위치 조절 장치), Crash Analysis(충돌 해석), Vehicle Safety(차량 안전), Safety Evaluation(안전 평가)

초록: 차량안전에 있어 안전벨트 착용여부뿐만 아니라 올바르게 착용하는 것이 중요하다. 그러나 성인 남성을 기준으로 안전벨트가 설계되기 때문에, 표준 규격과 체형이 다른 사람들의 경우 올바른 위치에 안전벨트를 착용할 수 없다. 이를 위해 안전벨트 높이조절 장치가 존재하나 대부분의 경우 번거롭다는 이유로 제대로 활용되지 못하고 있다. 본 설계는 AI를 활용하여 탑승자에 맞춰 자동으로 안전벨트 높이를 조절하는 것을 목표로 한다. 차량에 장착된 카메라를 통해 탑승자의 신체 정보를 얻고, AI가 최적의 안전벨트 위치를 도출한다. 이에 따라 스텝모터를 통해 안전벨트 위치가 조정되고 고정장치를 통해 구속된다. 본 장치를 통해 차량 사고 시 치명률을 최소화하고 부적절한 안전벨트 위치로 인한 2차 피해를 막고자 한다.

Abstract: Proper seat belt usage is crucial for vehicle safety. However, seat belts are typically designed for the average adult male, causing issues for individuals with different body types. To address this, we propose an AI-based system that automatically adjusts seat belt height. Using in-vehicle cameras, the system collects passenger body data and calculates the ideal seat belt position. A stepper motor then adjusts the seat belt accordingly, ensuring a secure fit. Our device aims to reduce accident fatalities and prevent secondary injuries caused by improper seat belt positioning.

1. 서 론

오늘날 자동차는 우리의 일상생활에 빼놓을 수 없는 필수적인 교통수단으로서 중요한 역할을 하고 있다. 이에 따라 탑승자의 안전성을 높이기 위한 기술적 발전 또한 이루어지고 있는데, 그 중에서도 안전벨트는 차량 내에서 사고 발생 시 탑승자의 신체를 보호하는 가장 중요한 장치 중 하나이다. 그러나 기존 안전벨트의 경우 탑승자의 다양한 체형을 고려하지 않고 표준 규격으로 제작되어,

† Corresponding Author, abc@pusan.ac.kr

© 0000 The Korean Society of Mechanical Engineers

어린이나 여성과 같이 일부 표준 규격과 체형이 다른 사람들은 안전벨트를 제대로 착용하더라도 안전벨트가 올바른 위치에 위치하지 못하여 착용감에 있어 불편함을 느끼거나 안전성을 보장받지 못하고 있다.

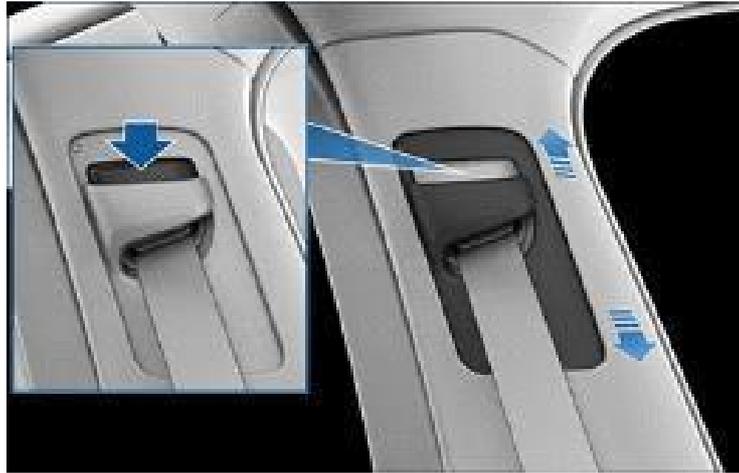


Fig. 1 Seat belt height adjuster device(1)

최근에는 탑승자의 다양한 체형을 고려하여 대부분의 차량에 안전벨트 높이 조절 장치가 탑재되어 있으나 중요한 안전 기능임에도 불구하고 사이드 미러나 룸미러를 제외하고서는 많은 사람들이 귀찮음을 이유로 안전벨트 높이 조절 기능을 제대로 사용하지 않는 실정이다. 이로 인하여 맞춤형 자동 안전벨트 조절 장치 설계의 중요성이 한층 더 부각되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고 차량 내 안전성을 높이기 위해 탑승자의 불편함을 최소화하면서도 안전성을 극대화하기 위한 핵심 기술로서, 보다 편리하고 안전한 차량 탑승 경험을 제공하고자 딥러닝 기술을 활용한 맞춤형 자동 안전벨트 조절 장치 설계를 제안한다.

본 설계는 탑승자의 신체구조를 분석하여 각개인의 최적 안전벨트 높이를 계산하고 이에 맞게 조절함으로써, 맞춤형 착용 경험을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 다양한 연령, 성별 및 체형의 탑승자들에게도 최적화된 안전성을 제공함과 동시에 사고 발생 시 부상 정도를 최소화하는 것을 목표로 하고 있다.

2. 설계핵심내용

2.1 설계 문제 정의

현재까지 대부분의 자동차 사고 연구가 표준 성인 남성을 기준으로 하여 모델링되어 왔으며, 다양한 탑승자의 신체 특성이 고려되지 않았다.(2) 때문에 안전벨트의 적절한 위치 조절이 이뤄지지 않을 경우, 표준 성인 남성의 체형과 비교하여 다른 체형을 가진 탑승자일수록 사고 발생 시 상대적으로 더 큰 부상 위험에 노출된다. 특히 가장 문제가 되는 탑승자로는 카시트를 막 벗어난 어린이들이 있다. 어린이가 기존 안전벨트를 착용하면 올바른 위치가 아닌 목과 하복부를 지나게 되어 부상의 정도가 더 심각할 확률이 높아진다. 이를 해결하기 위해 시중에 부스터 시트나 유아용 안전벨트 조절기가 판매중이나, 이들은 KS 인증 기준이 강화되기 이전에 통과한 제품이라 그 안전성을 보장하기 어렵다.



Fig. 2 (a) Child Seatbelt Positioning Regulator and (b) Collision test continuous picture

한국 소비자원에서 실시한 실험 결과에 따르면, 48km/h의 속도로 차량 충돌 시 위치조절기가 파손이 되어 순식간에 어린아이의 목과 배를 압박하였다고 한다. 부스터 시트를 사용했을 때보다 상해치가 최대 머리는 42%, 흉골 26.5%, 목부 18.3% 높게 나타났기에 ‘어린이보호 기능이 없음이 확인’ 되었다고 한다.(3)

따라서 본 설계는 안전벨트의 높이 자체를 조절함으로써 어린아이부터 노인까지 각기 다른 체형을 가진 탑승자 모두에게 최적화된 안전벨트를 전자동으로 제공하는 장치를 만들고자 한다. 본 장치가 작동하는 일련의 과정은 다음과 같다.

- (1) 카메라를 통해 탑승자의 사진을 찍는다.
- (2) Human Pose Estimation 기술을 통해 탑승자의 신체를 분석한다.
- (3) 분석한 탑승자의 신체에 맞게 최적화된 안전벨트 높이정보를 구동부로 보낸다.
- (4) 구동부는 높이정보에 따라 고정장치를 해제하고 안전벨트를 최적화된 위치로 옮긴 후 재고정한다.
- (5) 필요하다면 탑승자는 스위치를 통해 간단하게 추가적인 위치 조절할 수 있다.
- (6) 이렇게 조정된 위치 데이터는 추가로 인공지능이 학습하는데 활용된다.

2.2 기존 연구 및 특허분석

2.2.1 유사 제품

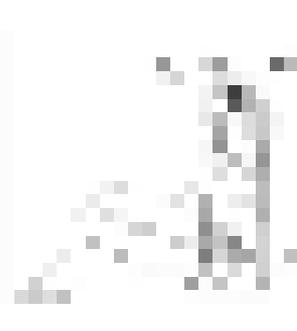
특허	특허 정보	특허 설명
	<p>안전벨트 보조장치</p> <hr/> <p>공개번호: 10-2019-0140164 공개일자: 2019년 12월 19일</p>	<p>안전벨트 보조 장치가 안전벨트의 사선부와 가로부가 만나는 지점에 위치해 얼굴에 걸리지 않고, 어깨 위에 안착되도록 한다.</p>
	<p>어린이 안전 벨트</p> <hr/> <p>공고일자: 2019년 05월 27일 등록번호: 20-0489270 등록일자: 2019년 05월 20일</p>	<p>헤드 레스트와 시트 사이에 어린이 안전벨트를 고정시켜, 목부분의 안전벨트가 걸리지 않고 안전벨트 사용이 가능하도록 고정해준다.</p>
	<p>차량용 시트 위치 연동 안전 벨트 조절 시스템</p> <hr/> <p>공고일자: 2016년 08월 25일 등록번호: 10-1651356 등록일자: 2016년 08월 19일</p>	<p>운전자 또는 탑승자의 체형에 부합되게 시트의 전후 위치 및 시트의 높이 위치 조절과 연동하여 안전벨트의 전후 위치 및 높이 조절이 함께 이루어지도록 한다.</p>
	<p>자동차의 안전벨트의 제어시스템 및 제어방법</p> <hr/> <p>공고일자: 2014년 08월 08일 등록번호: 10-1427922 등록일자: 2014년 08월 01일</p>	<p>탑승자의 상체 높이, 상체 폭, 앉은 키, 어깨 높이를 카메라와 초음파 센서를 이용해 측정해, 적절한 안전벨트의 높이를 제어한다.</p>

Table 1 Similar Product Patent-Related Information

2.2.2 차별점

본 제품은 다양한 체형의 사람들 모두 적용 가능한 자동 조절 안전벨트 조절 시스템을 목표로 한다.

고정되어 있는, 어린아이를 위한 안전벨트 특허의 경우, 기존 안전벨트가 지나가는 부분에 장치를 두어 안전벨트를 조정한다. 안전벨트가 어린아이의 목이 아닌, 어깨 부분을 지나가도록 조절한다는 점은 본 장치와의 공통점을 가진다. 또한, 3번과 4번 특허의 경우, sensor를 이용하여, 자동적으로 안전벨트의 위치를 변경시켜 준다는 점에서 본 제품과 공통점을 가진다.

본 장치는 앞선 어린아이용 안전벨트 특허와 같이, 어린아이가 사용 가능한 안전벨트 보조장치 역할을 수행함과 동시에 성인들 역시 사용 가능한 안전벨트 조절 기능을 수행한다. 또한, 후술한 두 특허와 같이 카메라를 이용해 자동으로 조절되는 안전벨트 기능을 수행함과 동시에 실제 사람들의 데이터를 통해 안정성이 보장된 위치로 자동 조절해주는 기능을 수행한다. 본 장치는 시트에 고정되는 형태로, 일반적인 자동차에 모두 설치할 수 있고, 설치 시 어린아이부터 성인까지 모두 아우를 수 있는 안전벨트 자동 조절 기능을 수행할 수 있다. 또한 4번 특허의 경우, actuator를 상하 좌우를 구동하게 설계해 조절하는 방식을 사용하지만, 본 장치의 경우 반원 모양의 레일을 움직이는 방식으로 더 적은 공간에서 동일한 기능을 수행할 수 있다.

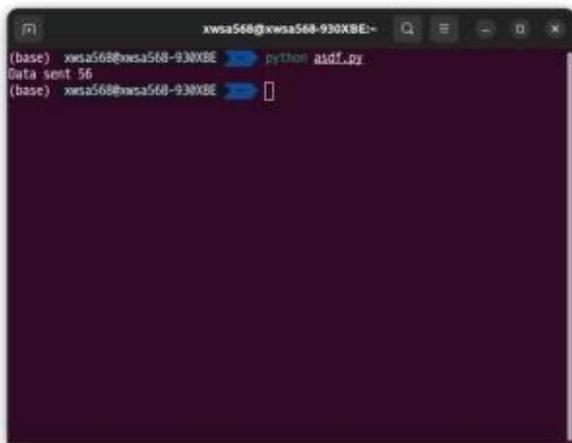
2.3 소프트웨어

2.3.1 통신

2.3.1.1 ESP32

본 장치는 구동부와 제어부 사이의 통신을 블루투스를 통해 구현하였고, 무선 통신을 위해 ESP32를 사용하였다. 일반적으로 사용하는 MCU인 아두이노 UNO의 경우 별도의 무선통신 기능이 탑재되어 있지 않으나 ESP32의 경우 블루투스, 와이파이가 가능하다. 본래 ESP32의 softAP 모드를 통한 IP 기반의 와이파이 방식의 통신을 하려하였으나, 와이파이의 전력소모가 크다는 점과 블루투스를 사용해도 문제 없을 정도의 바이트 단위의 데이터의 작은 크기와 통신의 거리가 멀지 않은 점을 고려하여 통신 방식을 블루투스로 전환하였다.

(a)



(b)



Fig. 3 (a) Control Unit's Terminal Environment (b) ESP32's Serial Monitor

위의 사진은 제어부에서 테스트용 코드로 블루투스를 통해 56을 전송하여 ESP32에 전달하여 시리얼 모니터에 출력한 모습이다. 제어부의 터미널의 경우 우분투를 구동 중인 PC이며 ESP32는 macOS를 구동 중인 다른 PC에 연결되어 있고 두 PC 간에는 별도의 연결이 없다. 따라서 macOS의 PC와 ESP32의 시리얼 통신에 의해 시리얼 모니터에 나타난 값이 우분투의 PC가 전송한 값과 같은 것을 보아 통신이 정상

작동한다는 것을 알 수 있다.

2.3.1.2 코드

```
(a)
import bluetooth
# ESP32의 Bluetooth 주소 (MAC 주소) 입력
esp32_mac_address = "XX:XX:XX:XX:XX:XX"
# 블루투스 소켓 생성
sock =
bluetooth.BluetoothSocket(bluetooth.RFCOMM)
# ESP32와 연결 시도
try:
    sock.connect((esp32_mac_address, 1))
except bluetooth.btcommon.BluetoothError as e:
    print("Error:", str(e))
    sock.close()
    exit(1)
# 보낼 숫자
curData = 1
newData = 3

data = curData - newData

# 숫자 전송
if data >= 0:
    sock.send("1\n")
    sock.send(str(data))
    sock.send("\n")
else:
    sock.send("0\n")
    data = -1 * data
    sock.send(str(data))
    sock.send("\n")
# 소켓 닫기
sock.close()
```

```
(b)
#include <BluetoothSerial.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <Stepper.h>
BluetoothSerial SerialBT;
Servo servo;
// Step motor setting
const int stepsPerRevolution = 200;
// 360/1.8=200 -> 1에 1.8도
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 14, 27, 16,
25);
const int stepSize = 22.23;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    SerialBT.begin("ESP32"); // Bluetooth 이름설정
    myStepper.setSpeed(30); //rpm 30
    servo.attach(2);}
void loop() {
    if (SerialBT.available()) {
        float rot;
        String dir = SerialBT.readStringUntil('\n');
        String receivedNumber =
SerialBT.readStringUntil('\n');
        if (receivedNumber != 0) {
            if (dir.toInt() == 1) {
                Serial.println("Direction: Right");
                rot = receivedNumber.toInt() * stepSize;
            }
            else {
                Serial.println("Direction: Left");
                rot = -1 * receivedNumber.toInt() *
stepSize; }
            Serial.print("Received: ");
            Serial.write(receivedNumber.toInt());
            Serial.println("");
            servo.write(40);
            delay(500);
            myStepper.step(rot);
            delay(500);
            servo.write(120);
            delay(500); } } }
```

Fig. 4 (a) Bluetooth Transmission Test Code (b) Test Code for ESP32 in English

제어부에서는 pybluez 라이브러리를 사용하여 파이썬 상에서 블루투스 기능을 구현하였다. ESP32 모듈의 블루투스 MAC 주소를 확인 후 해당 MAC 주소로 블루투스 소켓을 생성하고, 소켓에 데이터를 담아서 전송하게 된다. 소켓에 데이터를 담을 때는 String형이 필요하기 때문에 str()를 사용하고, ESP32에서는 이를 다시 Integer형으로 변환하여 사용하게 된다. 왼쪽의 코드를 메소드화하고 main에 임포트하여 측정으로부터 얻은 숫자를 파라미터로 사용해 제어부의 통신 모듈로서 기능하게 된다.

ESP32에서 필요한 정보는 어느 방향으로 얼마나 이동해야하는지에 대한 내용이다. 제어부에서 이것을 계산하여 ESP32에서 정보를 그대로 이용할 수 있도록 한다. 현재의 위치 정보를 curData, 새로운 위치 정보를 newData라 할 때 두 값의 차이의 절대값을 통해 모터가 이동해야할 정도를 구하고 이때 차이값의 부호를 통해 stepper motor 회전의 방향을 결정한다.

2.3.2 모델

2.3.2.1 Pose Estimator

사용자가 착석하였을 경우 사용자의 어깨 너비와 키를 인식하기 위한 pose estimator를 사용하였다. 이는 MoveNet의 thunder 버전을 사용하였으며, TF hub에서 제공하는 Tensorflow pretrained model을 사용하였다. encoder에서는 MobileNetV2 아키텍처가 backbone 네트워크로 동작한다. decoder는 Feature Pyramid Network를 사용한다. 이후 CenterNet prediction head를 이용하여 prediction한다.(4)

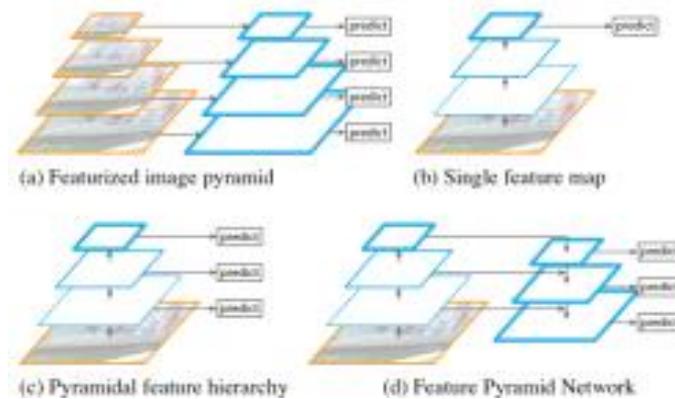


Fig. 5 Feature Pyramid Network (5)

Thunder 버전에서의 input은 $256 \times 256 \times 3$ 을 사용하므로, tensorflow의 resize를 이용하여 이미지를 변환하여 사용하였다.

Output은 [nose, left eye, right eye, left ear, right ear, left shoulder, right shoulder, left elbow, right elbow, left wrist, right wrist, left hip, right hip, left knee, right knee, left ankle, right ankle] 순서의 [1, 1, 17, 3] 크기 벡터를 출력한다. 마지막 차원은 각각 정규화된 y, x좌표와 [0.0, 1.0] 사이의 confidence score를 의미한다.

어깨 너비를 재기 위해서 left shoulder의 좌표와 right shoulder의 좌표를 추출하여 L2 distance를 측정하였고, 척추 높이를 측정하기 위해 left shoulder와 right shoulder의 중간점과 left hip과 right hip의 중간점의 거리를 L2 distance로 측정하였다.

2.3.2.2 Level Regressor

Level regressor는 pose estimator로부터 얻은 어깨 너비와 키 높이 벡터를 입력으로 받아 사용자에게 적합한 단계를 출력하는 회귀 모델이다. 각 layer는 linear layer로 구성하였으며, layer 사이에 ReLU activation을 추가했다. (6) Adam optimizer를 사용하였으며(7), lr=1e-4로 설정하여 100 epoch 학습하였다.

학습 데이터는 총 119장의 이미지-레벨 쌍 데이터를 사용하였다. 각 데이터는 metadata.json 파일로 만들어 name, link, label 값을 가지도록 하여 입력하였다. 총 level 레이블은 [0,14] 범위의 정수 값으로 설정되었으며, 각각 데이터 pair에 대한 분포는 다음과 같다.

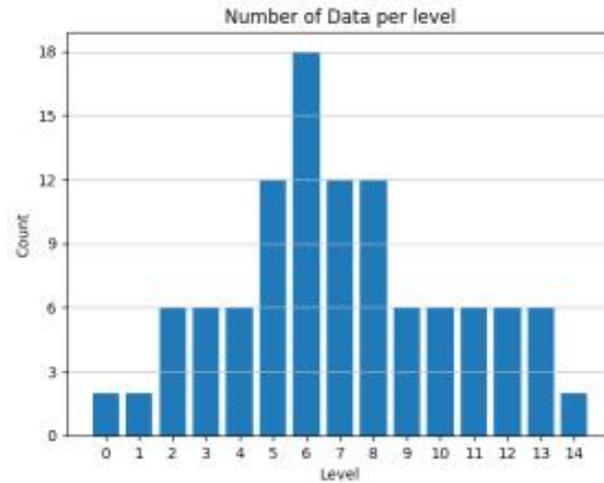


Fig. 6 Image-level pair data distribution

2.3.2.3 Overall Architecture

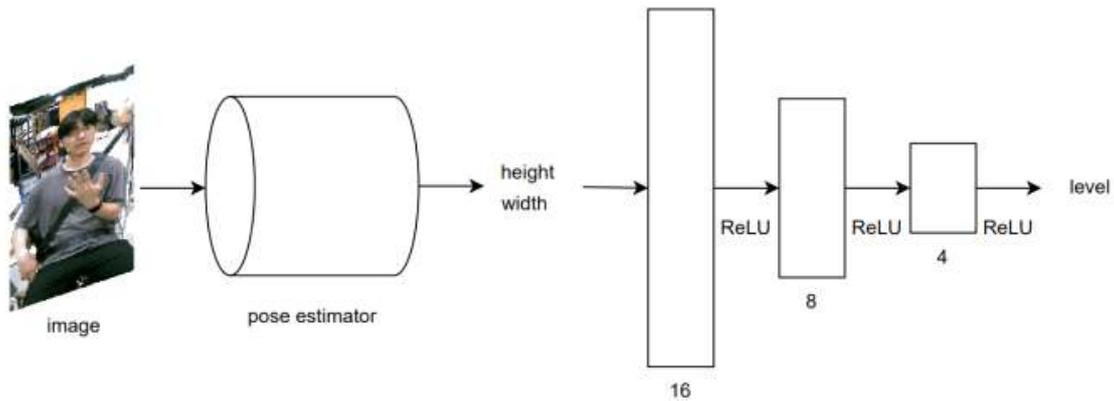


Fig. 7 Overall Model Architecture

Figure. 7에서는 전체적인 flow를 그리고 있다. FHD 웹캠으로 촬영된 이미지는 $3 \times 1920 \times 1080$ 크기이므로 이미지를 먼저 $256 \times 256 \times 3$ 크기로 resize와 reshape한다. Tensorflow hub에서 사전 학습된 MoveNet Thunder 모델을 로드하여 height와 width 값을 계산한다. 이 두 값을 level regressor의 input으로 넣어 조절하여야 하는 단계를 획득할 수 있다.

아래는 딥러닝 과정에서 활용한 이미지 데이터들이다.

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

<p>7</p> 	<p>7</p> 	<p>6</p> 	<p>6</p> 
<p>5</p> 	<p>5</p> 	<p>8</p> 	<p>8</p> 
<p>5</p> 	<p>5</p> 	<p>6</p> 	<p>6</p> 
<p>6</p> 	<p>6</p> 		

Table 2 Image data for Deep Learning

2.4 하드웨어

2.4.1 전용 부스 설계

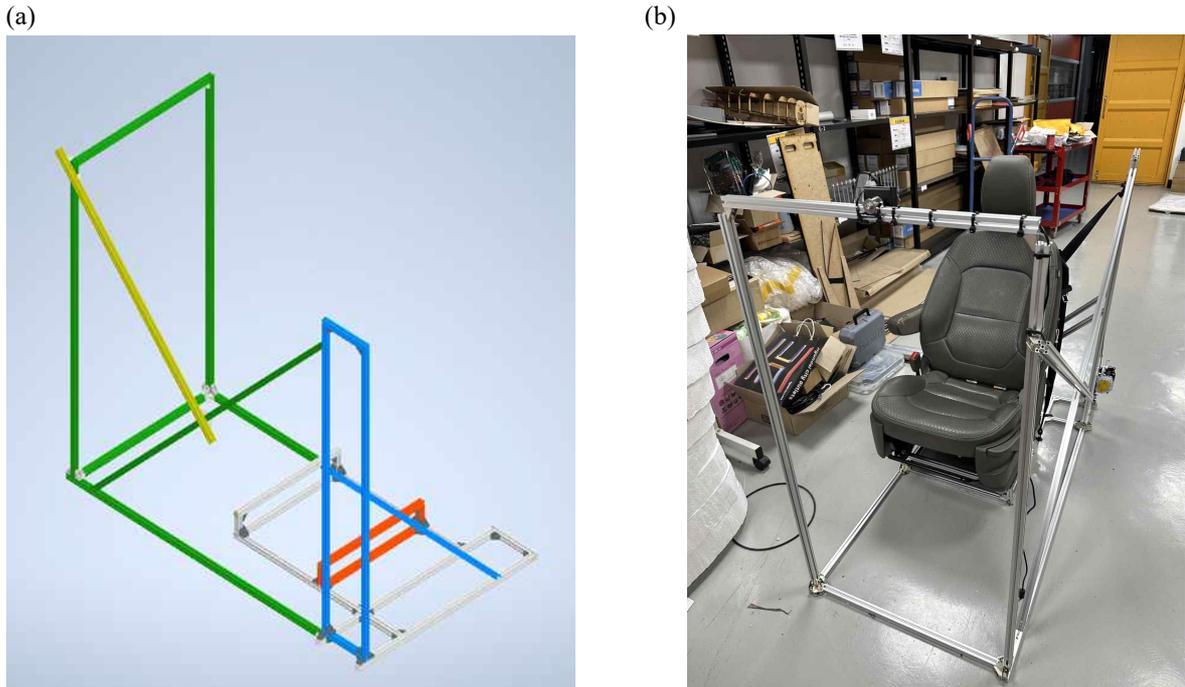


Fig. 8 (a) Booth CAD design and (b) Booth Actual Production Appearance

본 장치의 제작 전 단계로, 차량 내부와 유사한 환경을 시뮬레이션하기 위해 전용 부스를 제작하였다. 해당 부스에 차량 시트와 안전벨트를 설치하여 실제 차량의 운전석과 유사한 공간으로 조성하였다. 후속 설계된 장치는 차량 시트 뒷면에 부착될 것이며, 시트 앞부분 프로파일에는 탑승자의 체형 분석을 위한 카메라가 장착되었다.

2.4.2 고정장치

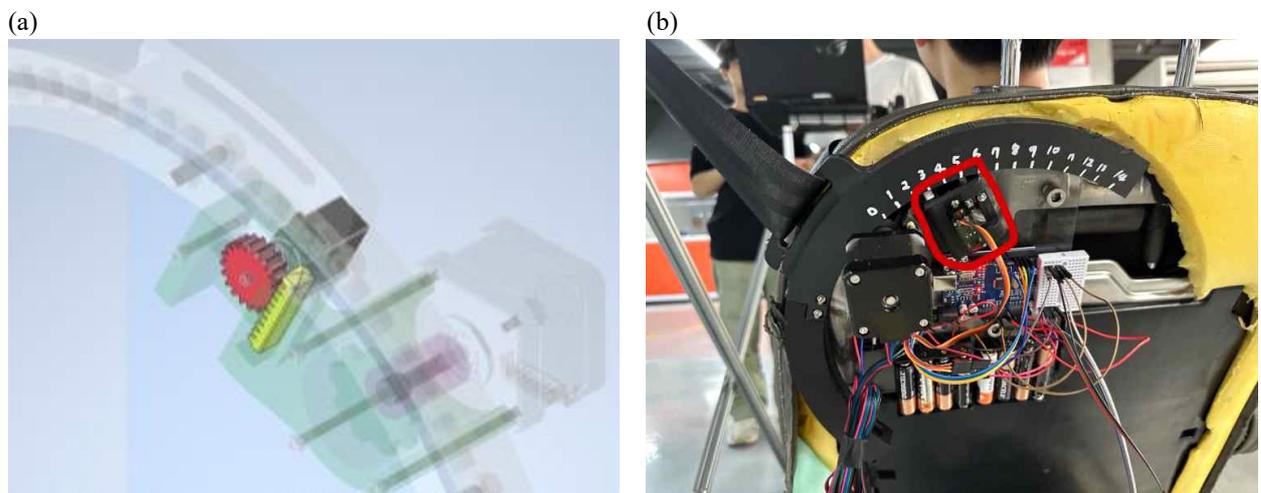


Fig. 9 (a) Fixing Device CAD design and (b) Fixing Device Actual Production Appearance

고정장치를 고안할 때 해당 장치에 교통사고가 났을 때 매우 강한 충격이 가해지기에 이를 견딜 수

있는지에 대한 평가를 동시에 진행하며 설계하였다. 레일 부분은 높낮이 조절을 위해 탑승자가 차량에 탑승 후 적절한 높이를 찾아 이동하게 된다. 안전벨트 착용 전 높낮이 조절을 할 때는 자유자재로 움직여야 하고, 그 이후 높이가 결정된 이후는 사고 시에도 안전벨트 구동부가 충분히 버텨야하기 때문에 그에 맞는 높이를 고정할 수 있는 고정장치를 고안해야 했다.

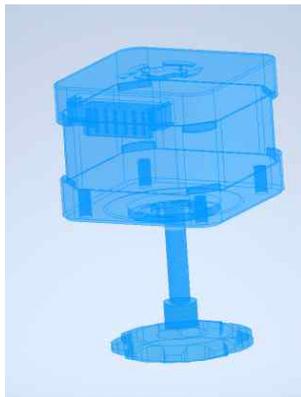
초기에는 기차와 자동차에 대해 어떤 식으로 정지가 되고 이를 유지할 수 있는지를 확인해보았다. 국가철도공단(8)에 의하면 기차는 공기제동과 유압제동 등을 통해 제동을 한다. 압력공기가 직통관을 통해 제동통에서 제동피스톤을 밀어 제동 작용이 이루어지게 한다. 하지만 이 같은 방식은 강철인 차륜과 레일이 마찰계수가 낮기에 제동거리가 길다. 자동차는 디스크 브레이크를 사용하여 제동을 하는데, 기차와 마찬가지로 움직이는 물체를 멈추게 하는 용도로 사용되기 때문에 정지 상태에서 완전한 구속으로 강한 충격을 견뎌야 하는 위 장치에는 적합하지 않다고 생각이 되었다.

위 문제를 해결하기 위해 구동부와 레일 사이를 강성을 삽입하여 완전히 구속해야 한다고 판단하였다. 크게 아래 2가지 방식을 고안하였다.

- (1) sprocket을 구속하는 방법
- (2) 레일을 구속하는 방법

Sprocket을 구속하여 장치를 구속하는 것에 대한 장점은 sprocket이 어떤 상태에 있든 언제나 구속하여 장치를 고정시킬 수 있기 때문에 안전벨트의 높이를 미세하게 조절하여 사용자들로 하여금 더 자신에 맞는 장치를 착용할 수 있다는 점이다. 그에 반해 sprocket을 구속하기 때문에 충격이 가해졌을 때 모터와 모터 축에 과도한 하중이 가해지게 되고 이로 인해 고정장치의 역할을 할 수 없게 되어 선택하지 않았다.

(a)



(b)

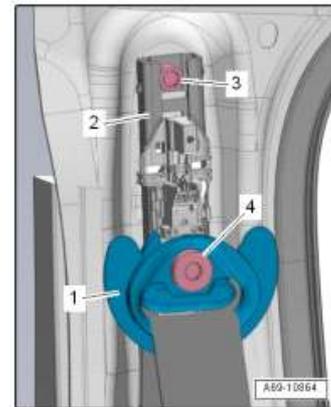


Fig. 10 (a) stepper motor and sprocket (b) volkswagen golf car's seat belt

Rail을 구속하는 방법에 대한 특징은 구속 막대를 rail에 삽입하는 방식으로 진행하였다.

기존에 수동으로 안전벨트의 높이를 조절하는 장치를 보면, 높낮이를 조절할 때 사람의 힘으로 홀에 삽입되어 있던 고정장치를 빼내어 높이를 조절한 후 적절한 위치에서 손을 떼면 스프링의 탄성으로 인해 고정장치가 다시 홀에 삽입된다. 이와 유사하게 본 장치는 모터를 이용하여 고정장치를 빼고 다시 삽입하는 방식으로 고정된다.

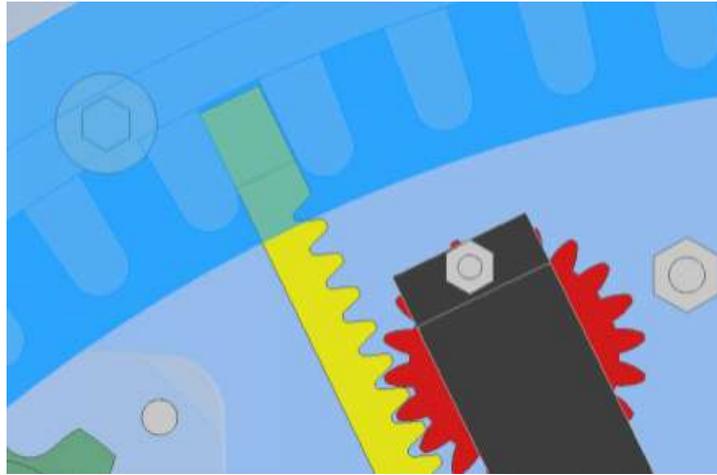


Fig. 11 The positions relation among the pin, gear and rail

고정막대를 rail에 삽입과 추출하는 방식은 rack and pinion을 사용하였다. 고정막대를 rack으로 사용하기 위해서 한쪽 면에 선형기어를 설계하였고, pinion은 MG90과 원형기어와 결합하여 제작하였다. 결과적으로 MG90의 축 회전에 따라 rack 역할을 수행하는 구속막대가 직선 운동하여 rail에 삽입 또는 추출된다. 고정막대는 쉽게 구할 수 있는 stainless steel 304(인장강도 712.84N/mm^2)를 사용한다고 가정하였다.

고정막대의 크기는 레일의 기둥과 기둥 사이에 고정이 되어야 하고 크기가 작아질수록 더욱 정밀한 위치 조절이 가능하다. 따라서 안전벨트 강도의 법적 기준인 ‘자동차안전기준에 관한 규칙’의 제103조(좌석안전띠장치등)에 근거할 때 9800N의 하중에서 분리되거나 파손되지 않아야 한다. 이를 기준으로 inventor의 정적 해석 기능을 통해 본 고정막대가 법적 기준을 만족하는지 확인해볼 수 있다.

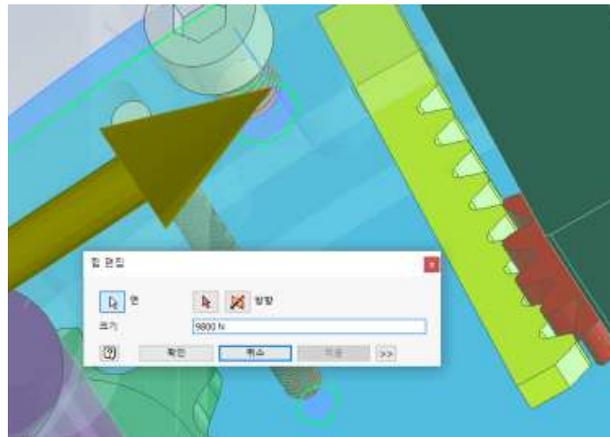


Fig. 12 Apply a load to the rail pillar

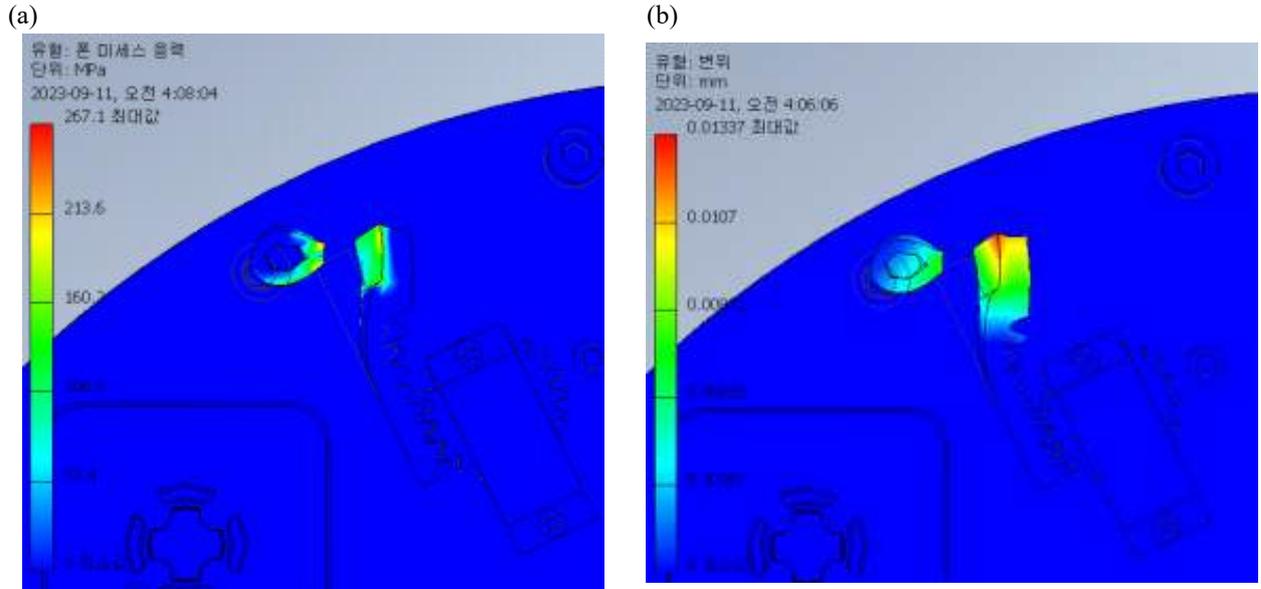


Fig. 13 (a) Stress analysis of fixing pin (b) Displacement analysis of fixing pin

고정막대가 맞닿아있는 rail의 기둥 옆면에 수직으로 9800N을 가했을 때 고정 막대의 최대 집중 stress와 최대 변위를 보았을 때, 최대 stress가 stainless steel 304의 인장강도인 712.84MPa보다 작으므로 차량사고 시에도 본 고정막대가 파괴되지 않음을 알 수 있다. 최대 변위 또한 0.01337mm로 법적 기준 변위량 125mm 이내에 들어온다.

고정막대로 활용되는 rack을 rail의 기둥 사이에 삽입하기 위해서 모터를 사용하였다. 외부충격 발생 시 위에서 정적 해석했던 것처럼 하중이 rail의 접선 방향으로 rack에 작용하기 때문에 비교적 holding torque가 작은 모터를 사용해도 큰 문제가 없기에 시제품을 제작할 때에는 쉽게 구할 수 있는 아두이노 모터인 MG90을 사용하였다.

2.4.3 Rail 및 구동부

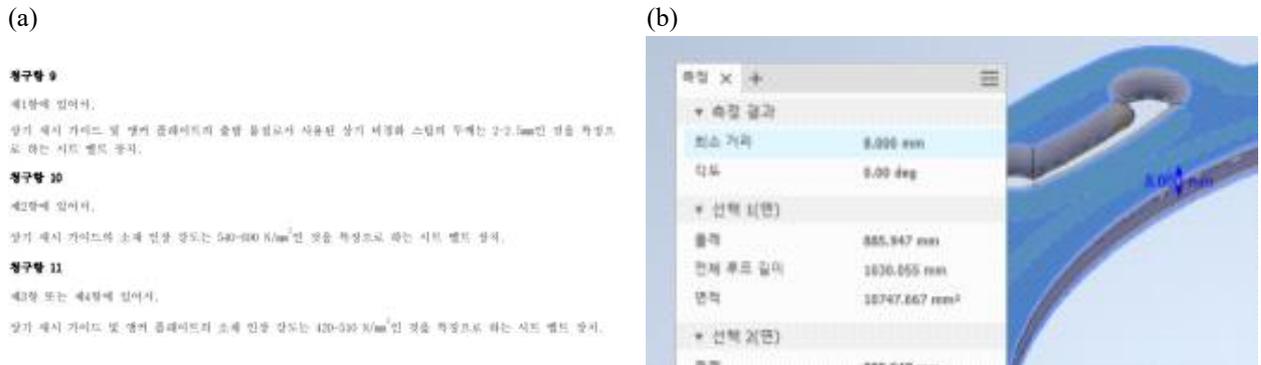


Fig. 14 (a) A passenger restraint system equipped with a new sash guide and anchor plate for seat belts(KR101059488B1) (b) Rail thickness

특허정보 KR101059488B1에 따르면, 벨트 가이드에 사용되는 비경화 스틸의 두께는 2-2.5mm으로 인장 소재 인장 강도는 보수적으로 540-690 N/mm²이어야 한다. Stainless 304의 경우 712.84N/mm²이므로 충분하기 때문에 본 장치의 rail에 안전벨트가 걸리는 부분의 최소 두께는 2mm 이상이면 충분히 안전함을 알 수 있다. 그러나 구동부에 사용되는 sprocket의 두께를 적어도 4mm로 제작하기 위해 (rail을 구동시킬

수 있는 강도를 가지기 위함) 본 rail은 8mm의 두께로 제작하기로 한다.

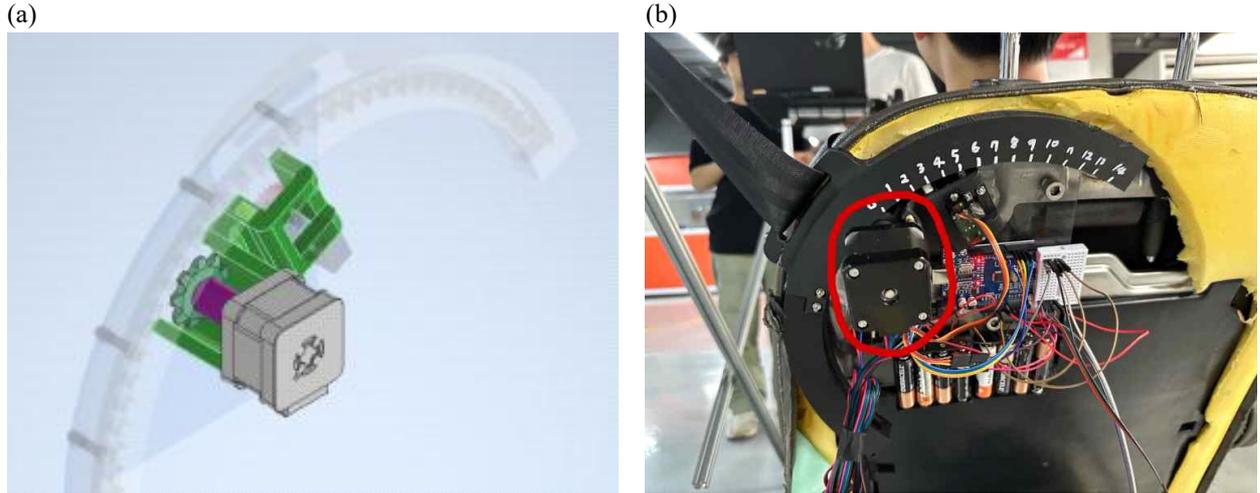


Fig. 15 (a) Drive Unit CAD design and (b) Drive Unit Actual Production Appearance

Rail에 안전벨트가 거쳐 지나감으로써 탑승자에게 적합한 높이로 조정된다. 따라서 본 rail은 일종의 idle pulley의 역할을 수행한다. Idle pulley로서의 역할을 수행하기 위해 안전벨트를 걸 수 있는 고리가 있고, stepper motor를 이용하여 해당 고리의 위치를 조정한다. Stepper motor를 통해 고리의 위치를 조정함에 있어서 자전거에서 쉽게 찾아볼 수 있는 chain과 sprocket의 디자인을 참고하여 rail과 stepper motor에 달리는 sprocket을 설계했다.

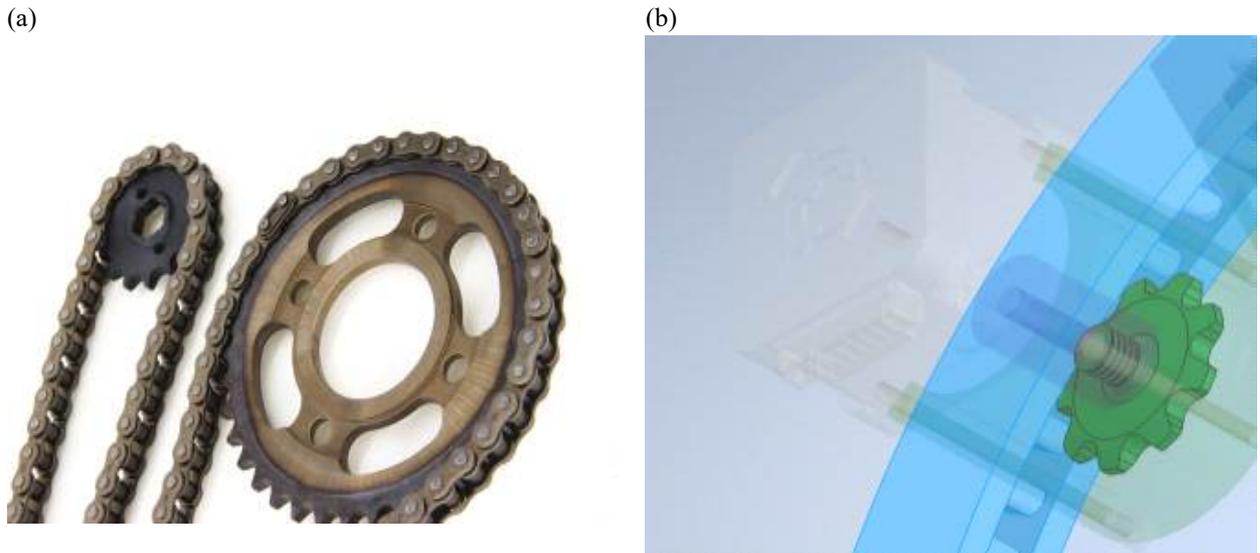


Fig. 16 (a) Chain and Sprocket (b) Rail and Sprocket

고정장치에서 활용한 rack and pinion을 대신 sprocket 형상으로 구동부를 설계한 이유는 고정막대를 rail 기둥 사이에 정확히 위치시키기 위해서는 어느정도 높은 정확도가 요구되기 때문에 rack and pinion보다 상대적으로 유격이 적은 sprocket을 이용하였다. 또한 안전벨트 높이를 조절하기 위해 좌우로 많이 구동되는 부분인 만큼 백래시를 줄이기 위해 rail 기둥 형상에 맞춰 sprocket 치형을 설계하였다.

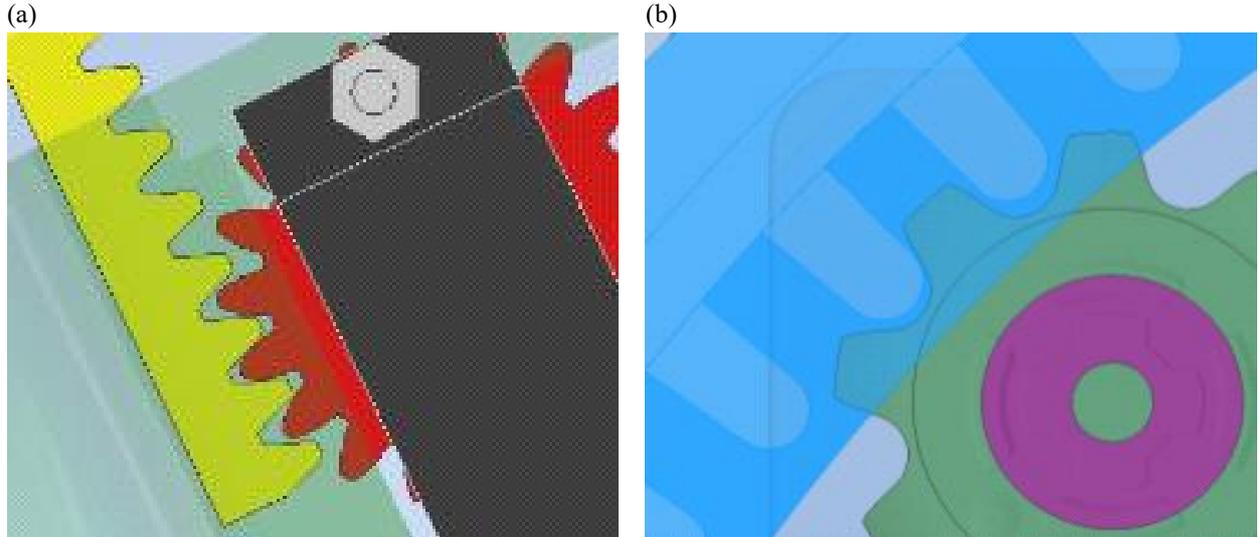


Fig. 17 (a) Rack and Pinion (b) Rail and Sprocket

Rail이 지나가는 경로는 차량 시트의 어깨선을 따라 이동하도록 설계하였고, 안정적인 거동을 위하여 rail 하단에 guide line을 파고 pin들을 세워 구속조건을 주었다. 이를 통해 안전벨트가 손잡이에 걸리고 가해지는 장력에 구동부로부터 벗어나지 않고 제대로 작동하게끔 일정 거리를 지속적으로 유지할 수 있게 된다. 추가적으로 차량사고로 인한 충격이 발생했을 때에도 고정막대 외 pin에도 충격이 분산되어 본 장치가 더 높은 강도를 가지게 된다.

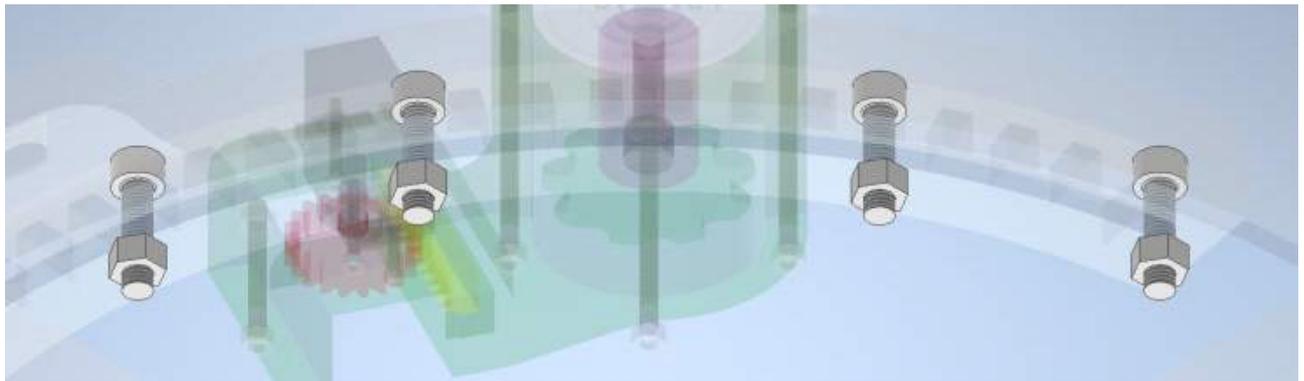


Fig. 18 Rail Guide Line and Pins

Rail의 설계된 모습과 실제 제작된 모습은 아래와 같다.

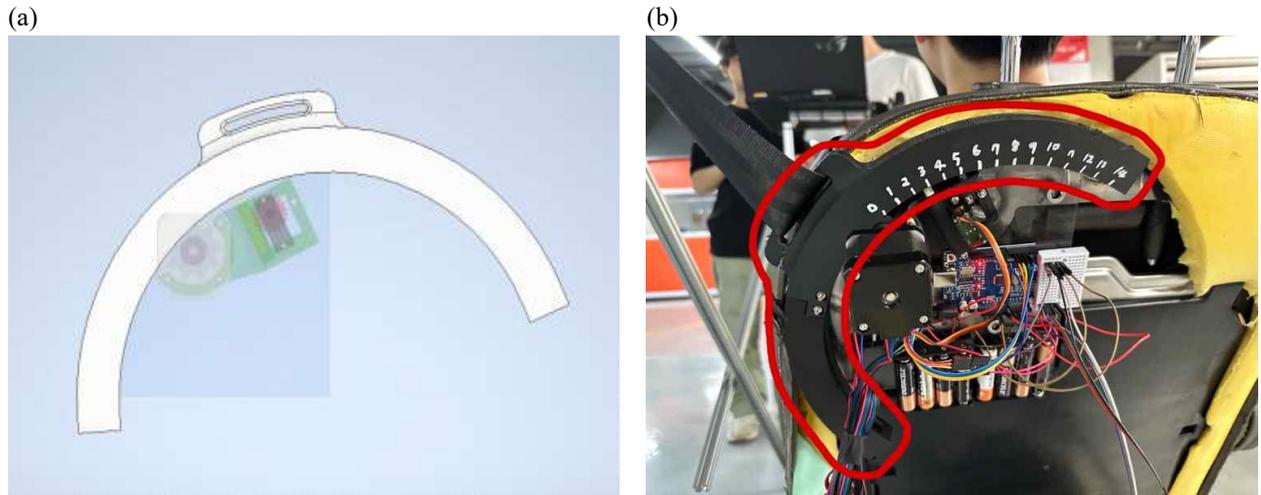


Fig. 19 (a) Rail CAD design and (b) Rail Actual Production Appearance

Stepper motor를 통해 고리의 위치가 조정되는 모습은 다음과 같다. 현재 제작된 시제품 기준으로 15단계(0단계~14단계)의 위치 조정이 가능하다.

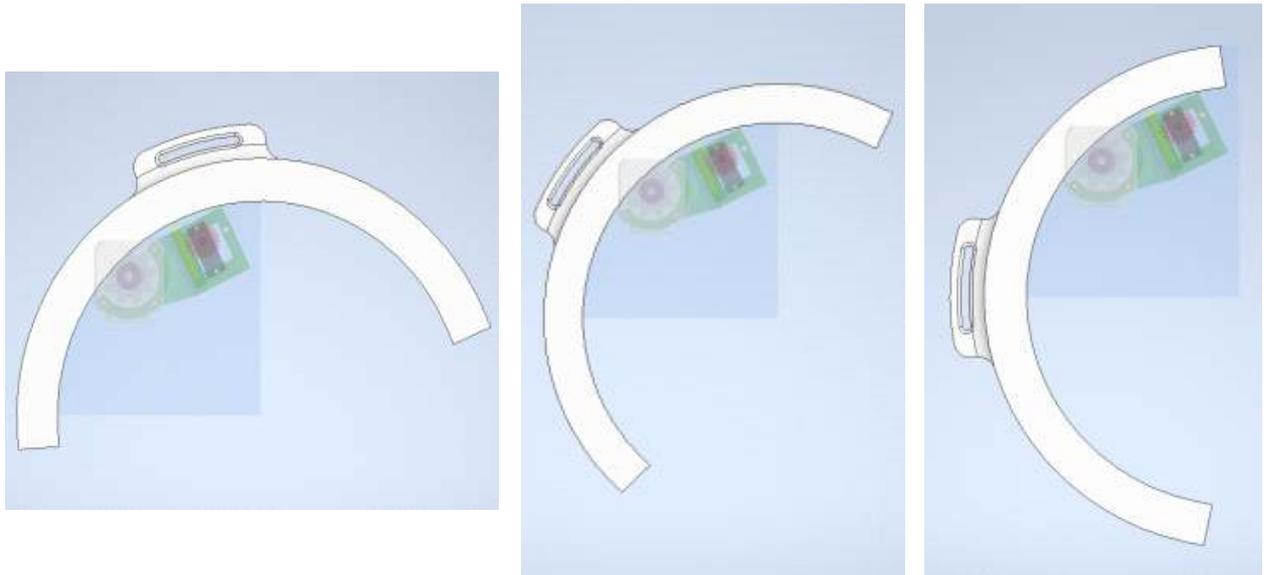


Fig. 20 Rail Positioning Adjustment Procedure

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

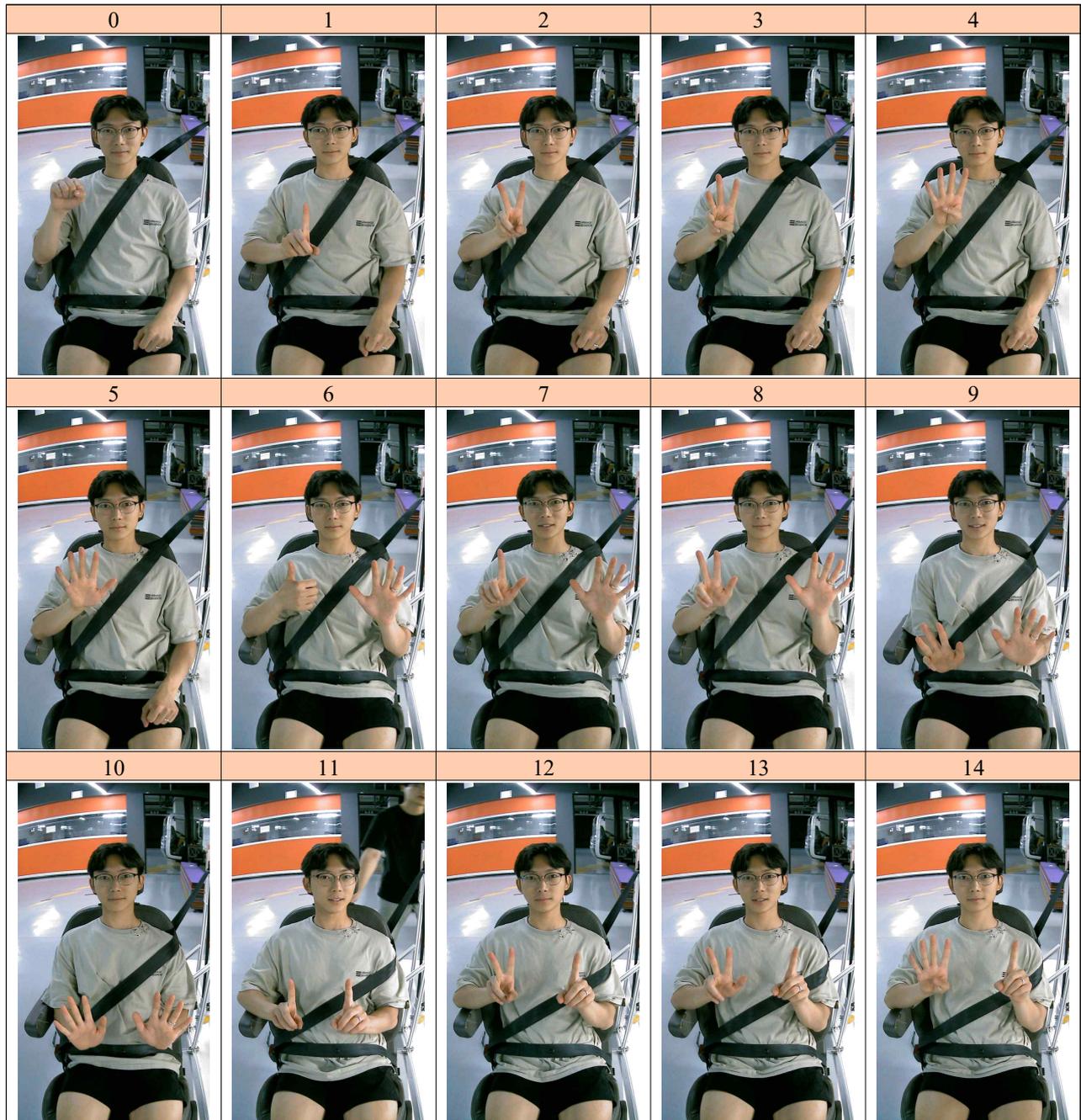


Table 3 Rail Positioning Adjustment Procedure Step-by-Step Visual Guide (0 to 14)

위 사진처럼 단계가 높아짐에 따라 안전벨트의 위치는 아래로 내려가게 되고, 이에 따라 키가 큰 성인부터 키가 작은 어린이까지 모두에게 최적화된 안전벨트를 제공한다.

2.4.4 고정판

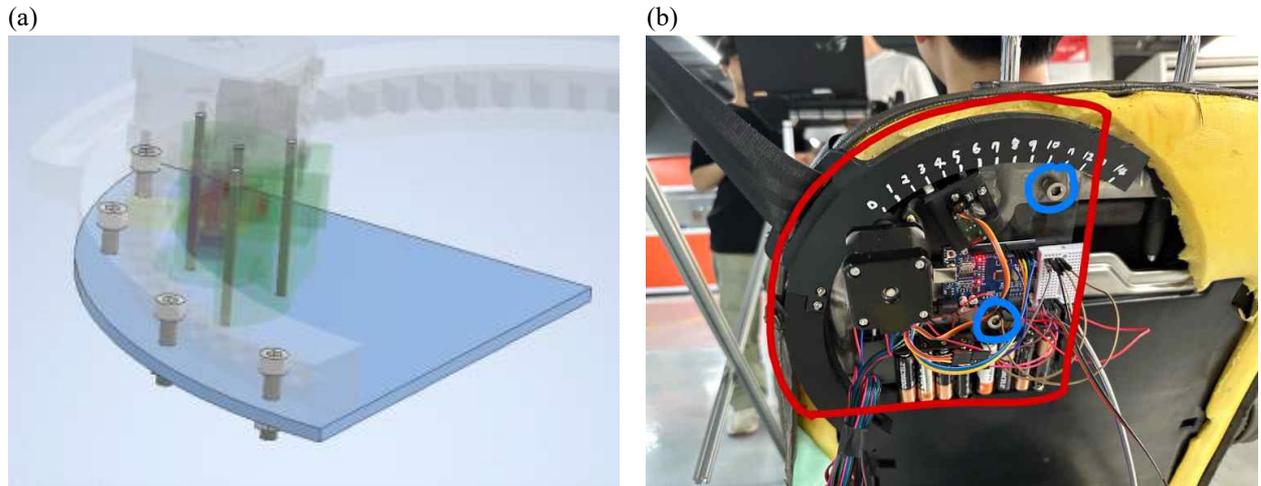


Fig. 21 (a) Fixed Plate CAD design and (b) Fixed Plate Actual Production Appearance

앞서 설계한 모든 부품들은 고정판에 볼트와 너트를 통해 구속되며, 고정판 또한 시트에 볼트와 너트를 통해 단단하게 구속된다. 일반적으로 안전벨트가 고정되어 있는 차량의 B-pillar가 아닌 시트 뒷판에 고정되는 것으로 안전벨트의 위치를 바꿔주는 idle pulley의 역할만을 수행하긴 하지만 그 고정 위치에 대한 안정성에 의문이 들 수도 있다. 그러나 시장에 이미 BIS(Belt In Seat)라는 이름으로 많은 차량에서 안전벨트가 시트 내부에 장착되어 나오고 있기 때문에 이러한 방식도 충분히 안정하다는 것임을 알 수 있다. 다만 우리가 시제품을 제작함에 있어 시트 내부에 뚫려있는 구멍을 활용하여 단순히 볼트-너트 체결로 구속하였지만, 실제로 제품이 차량에 탑재된다면 기존의 BIS 방식과 유사한 방식으로 시트와 보다 단단히 구속될 것이다.

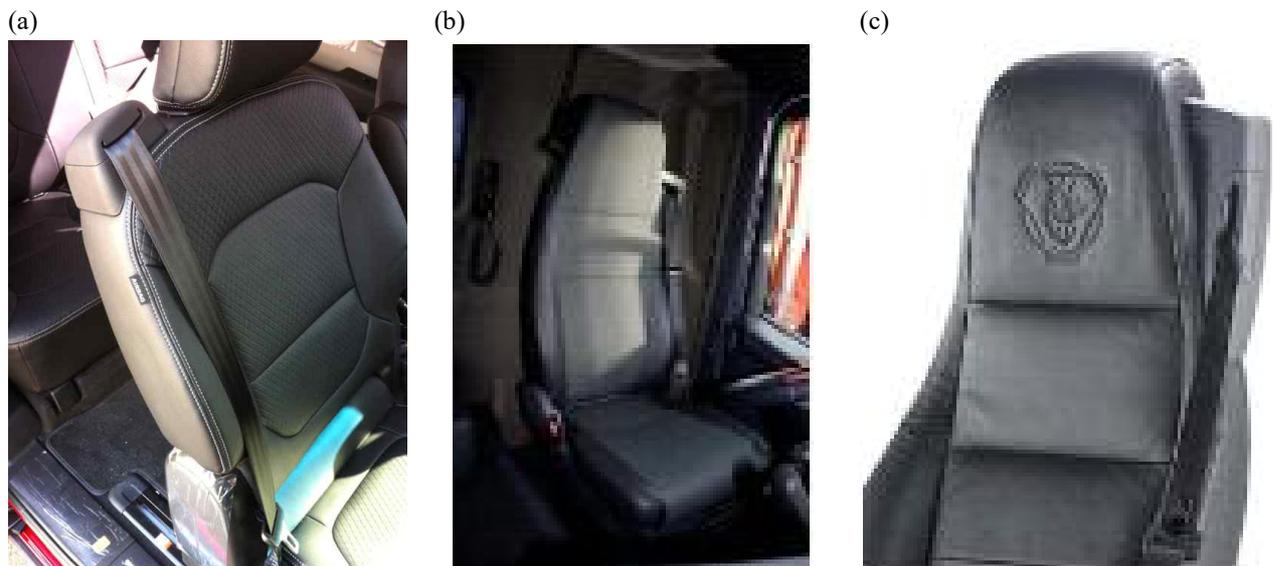


Fig. 22 (a) KIA Ray BIS (b) Isringhausen seat and (c) Tomas Scott seating

2.4.5 모터제어

2.4.5.1 MG90

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

MG90의 주요한 역할은 고정막대를 레일 기둥 사이에 삽입하는 것이다. Rack and pinion으로 구성이 되어 있으며 MG90이 회전하면서 기어가 랙을 돌리면서 고정하는 방식이다. 움직일 수 있는 각도는 0~180도인데 위 장치에 대해서는 40도일 때 고정막대는 빠지고, 120도일 때 고정막대는 삽입된다. 이를 이용하여 간단한 방법으로 위 장치의 안정성을 보장할 수 있다.

2.4.5.2 Stepper motor

Stepper motor는 위 장치의 구동부로서 레일을 좌우로 움직이게 하는 역할을 한다. 이를 구동할 때 주의해야 할 점은 1칸 당 정확하게 움직여야 한다는 점이다. 칸을 세분화함으로써 사람마다 정밀도를 높이고, 정확히 1칸 당 움직이기에 고정막대를 삽입하는 것도 손쉽게 가능해진다. 현재 사용 중인 stepper motor는 1step당 1.8도를 회전한다. 이와 연결된 sprocket은 9개의 톱니가 있다. 만약 sprocket의 회전으로 레일에 기둥 한 칸을 지나가고자 한다면, $360/9 = 40$ 도를 회전해야 한다. 따라서 $40/1.8 = 22.222\cdots$ 이므로 22.222 steps를 회전해야 할 것이다.

2.4.5.3 상세 code

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>
#include <Stepper.h>

Servo servo;

// bluetooth setting
const int btTx = 2;
const int btRx = 3;
SoftwareSerial bluetooth(btTx, btRx);

// Step motor setting
const int stepsPerRevolution = 200;
// 360/1.8=200 -> 1에 1.8도
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 7, 6, 5, 4);

int now = 1;
int goal;
int difference;
const int stepSize = 22.23;

void right_move() {
  servo.write(40);
  delay(1000);

  myStepper.step(stepSize);

  servo.write(120);
  delay(1000); }
void left_move() {
  servo.write(40);
  delay(1000);

  myStepper.step(-stepSize);

  servo.write(120);
  delay(1000); }

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  bluetooth.begin(9600);

  myStepper.setSpeed(30); //rpm 30

  servo.attach(9); }

void loop(){
  if (bluetooth.available() > 0) {
    goal = bluetooth.read();
    Serial.write(goal); }

  difference = now - goal;

  if (difference > 0 ) {
    for (difference; difference == 0; difference--){
      right_move();
      now = now + 1; }}

  if (difference < 0) {
    for (difference; difference == 0; difference++){
      left_move();
      now = now -1; }}}}
```

Fig. 23 Step mottor driving code

소프트웨어부에서 전송한 사람에 따른 적절한 목표치인 goal을 전송한다면 구동부에서는 아두이노에 HM-10 블루투스 모듈을 결합하여 이를 제공받는다. 통신이 원활한 상태에서 goal 값을 받게 될 때, 현재 안전벨트의 위치값과 다르다면 그 차이를 줄이기 위해 반복문 for문을 이용하여, 차이가 음수라면 왼쪽으로 이동하고 차이가 양수라면 오른쪽으로 이동한다. 현재 위치와 목표 위치가 같다면 더 이상 움직이지 않고 고정이 되는 방식으로 진행된다.

2.4.6 수동조절용 스위치

안전벨트 높이 조절 과정의 모든 과정이 인공지능을 통해 완전한 자동으로 이뤄지는 것이 가장 이상적이나 본 기술이 적용되고 초창기에는 관련된 학습데이터가 충분하지 못하기 때문에 최적화된 위치가 아닌 잘못된 위치로 조절될 수 있기 때문에 이를 탑승자가 수동으로 제어할 수 있는 추가적인 방법을 제공하고자 수동조절용 스위치를 제작하였다. +버튼을 누르면 안전벨트가 높은 위치로 한 단계 조정되고(키가 크거나 어깨가 좁은 탑승자를 위한 옵션), -버튼을 누르면 안전벨트가 낮은 위치로 한 단계 조정된다.(키가 작거나 어깨가 넓은 탑승자를 위한 옵션)

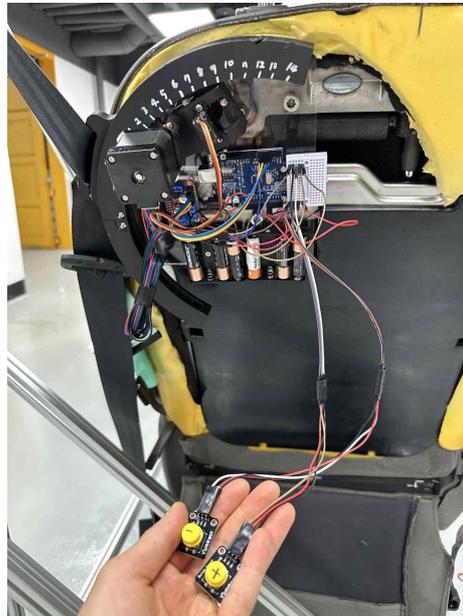


Fig. 24 Manual Adjustment Switch

각 버튼을 눌렀을 때 일련의 과정은 다음과 같다.

(+)버튼을 눌렀을 때 : MG90을 통해 rail의 고정막대를 제거하고 stepper motor를 반시계 방향으로 한 단계 회전 후, 다시 고정한다.

(-)버튼을 눌렀을 때 : MG90을 통해 rail의 고정막대를 제거하고 stepper motor를 시계 방향으로 한 단계 회전 후, 다시 고정한다.

3. 결과 및 토의

3.1 충돌 해석

3.1.1 안전 규정

본 장치의 안정성 및 기존 안전벨트가 가지는 문제점을 해소할 수 있는지 여부를 검증하기 위해 충돌 해석을 진행하였다. 충돌 해석을 통해 얻어낸 결과값은 미 연방 자동차 안전기준으로 차량 충돌에 대한 탑승자 보호법 FMVSS 208을 통해 해석하였다.⁹⁾ FMVSS 208의 정면충돌 평가시험은 머리, 목, 가슴 상해에 대해 각각의 안전 기준을 만족해야 한다. 각 세부 사항은 Table 4와 같다.

신체 부위	기준
머리	입의의 시점으로부터 15ms 구간의 두부 상해치(HIC)가 700 미만. (단, Hybrid 3 5 th percentile 여성더미의 경우)
목	목 상해 값(N_{ij})이 1이하
가슴	안전벨트에 의한 갈비뼈의 변위가 52mm 이하

Table 4 The Standards for Each Section of FMVSS 208

머리 상해는 두부 상해치(HIC) $HIC = [\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A_r dt]^{2.5} (t_2 - t_1)$ 로 평가하며 특정 시점으로부터 15ms 동안의 값이 700 미만이어야 안전하다고 본다. HIC는 (다음과 같은 식)을 통해 계산할 수 있으며 다만 본 해석에서는 ls dyna 시뮬레이션 프로그램에서 계산된 값을 제공하고 있으므로 이를 활용하도록 한다.

목 상해는 충돌 발생 시 탑승자의 몸체 부분과 머리 부분 운동의 차이로 인해 발생하며, 경추 부위에 힘 또는 휨 모멘트가 가해진다. 목 상해(N_{ij})의 계산은 $N_{ij} = (F_z / F_{zc}) + (M_{ocy} / M_{yc})$ 식에 근거하며 이 값은 충돌 상황에서 항상 1.0 이하를 유지하여야 한다.

이때 F_{zc} 와 M_{yc} 는 critical value로 실제 충돌 실험에서 사용되는 더미에 따라 결정되어 있는 값이다. 본 상해 해석에서는 시뮬레이션에서 사용한 dummy와 키, 무게, 운동 특성이 거의 흡사한 Hybrid III male 50% dummy의 critical value를 사용한다.

차량 충돌 시 안전벨트 retractor의 작용으로 인해 탑승자의 가슴 부위에 순간적으로 큰 하중이 작용하게 된다. 이로 인해 흉부에 압축 변위량이 발생하며 이를 통해 가슴 상해를 평가하게 된다. 변위가 52mm를 초과할 경우 안전 규정을 위반하였다고 본다.

3.1.2 차량 충돌

충돌 해석을 진행함에 있어서, 차량은 각각 40km/h, 60km/h, 80km/h 의 속도로 벽과 충돌시켰다. 이때, 해석 시간의 효율성을 위해 더미 파일과 차량을 동시에 해석하는 것이 아닌, 차량이 벽에 충돌해 얻게 된 내부 시트의 가속도 값을 활용하였다. 내부 시트의 가속도 값을 이용해 시트와 더미로 구성된 새로운 시스템에 실제 상황과 유사한 제약 조건들을 설정해 해석을 진행하였다. 해석 프로그램으로는 ANSYS에서 제공하는 LS-NYNA를 사용하였다.

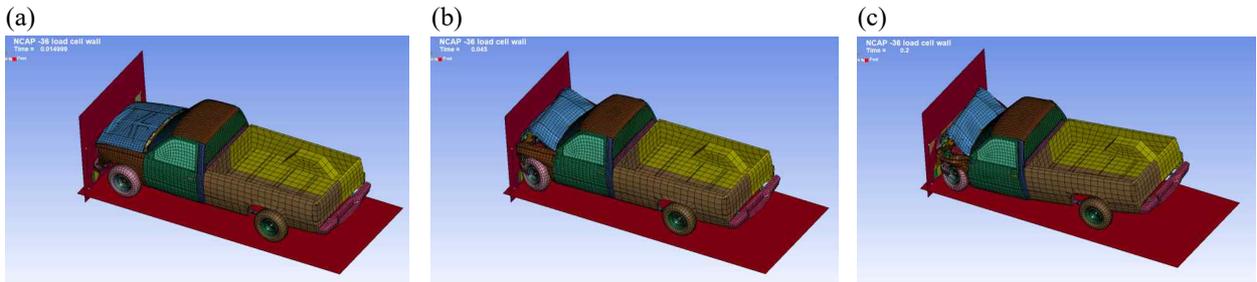


Fig 25 pickup truck 60km/h crash simulation (a) 0.015 (b) 0.045 (c) 0.2 seconds after

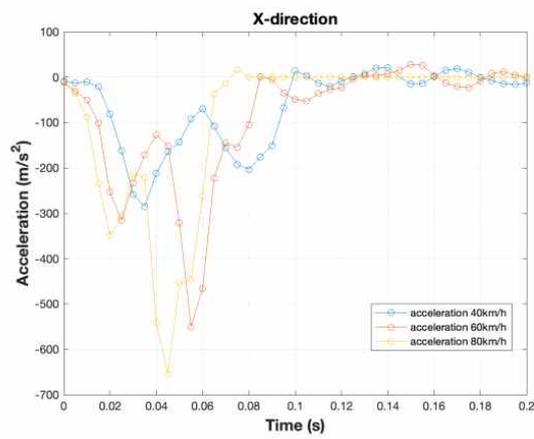


Fig 26 car seat x acceleration plot - 40km/h, 60km/h, 80km/h

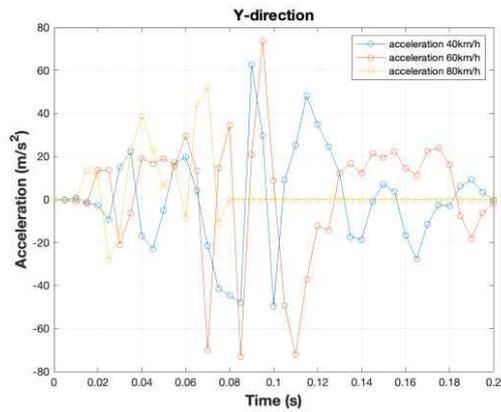


Fig 27 car seat y acceleration plot - 40km/h, 60km/h, 80km/h

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

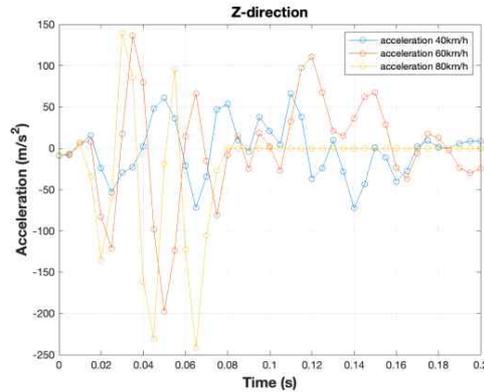


Fig 28 car seat z acceleration plot - 40km/h, 60km/h, 80km/h

rigid wall과의 충돌이 x-direction으로 이루어지므로 해당 plot에서 크게 fluctuation이 발생하고, y와 z plot의 경우 0을 기준으로 진동하는 형태를 가짐을 알 수 있다.

3.1.3 더미 상해값 분석

3.1.3.1 분석 방향성

본 제품의 우수성을 확인하기 위해 다음 세 경우의 대한 결과를 확인하였다.

먼저, 성인 남성을 기준으로 설계된 기존의 안전벨트를 기준으로 성인남성의 dummy를 이용해 충돌해석을 진행함으로써, 충돌 해석 조건에 신뢰성을 확인한다. 두번째로, 동일한 안전벨트 위치 상태의 아이의 dummy 파일을 이용해 다시 충돌해석을 진행해 현재 안전벨트가 가지는 문제점을 보인다. 이때 성인 남성 대비 아이의 상해 기준을 살펴봄으로써 해당 결과를 해석할 수 있다.

마지막으로는, 아이의 dummy 파일 역시, 최적화된 안전벨트 위치로 조정해 충돌 해석을 진행함으로써 본 장치를 통해 안전벨트를 최적화된 위치로 조정시에 상해 위험성이 감소할 수 있음을 확인한다. 이때, 성인 역시 최적화된 안전벨트 위치와 부적절한 안전벨트 위치의 결과를 비교함으로써 성인에게도 본 장치가 효과가 있음을 살펴볼 것이다.

UNIVERSITY VIRGINIA ENGINEERING에서 무료로 제공하는 THOR 50th Male Finite Element Model의 dummy (10)파일을 본래 활용할 계획이었으나 LS-Dyna Student version의 경우 node 수와 mesh 수에 제한이 있어 활용하지 못하였다. 그래서 oggstruct FEA.(11)가 제공하는 단순화된 모형인 Belted_dummy 파일을 활용하여 충돌해석하기로 한다.

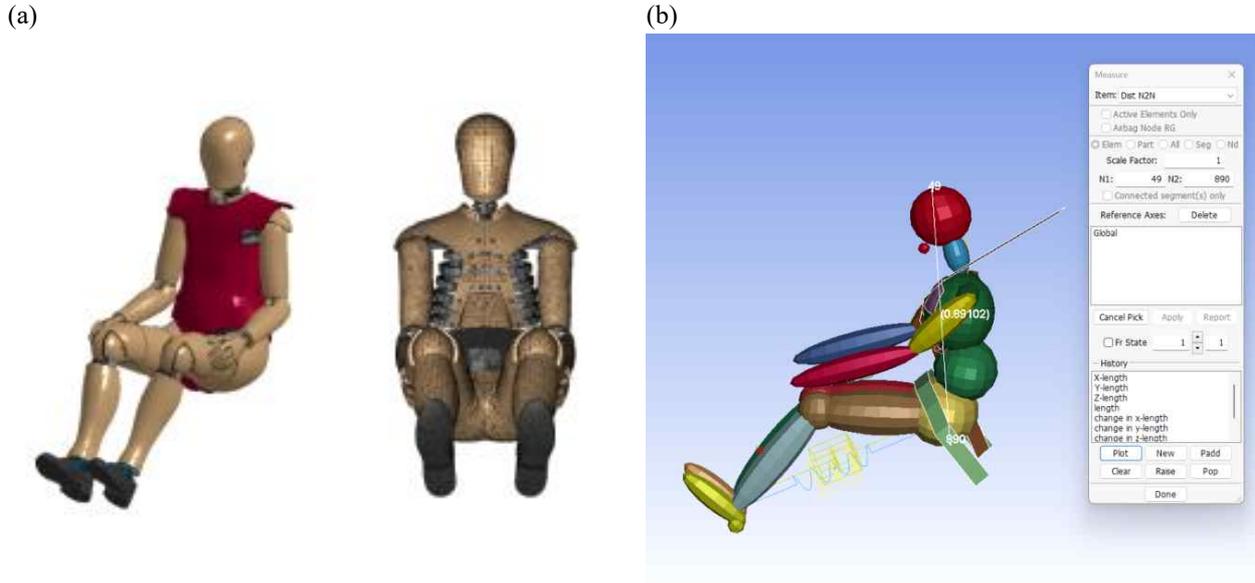


Fig. 29 (a) THOR 50th Male Finite Element Model CAD (b) Belted_dummy CAD

단순화된 아이 dummy 파일을 찾을 수 없어 Belted_dummy의 scale을 줄이는 방식으로 분석하기로 한다. Scale factor의 경우, 김진호의 『한국인 인체 측정에 관한 연구』를 참고하였다.(12) 아래 표를 참고하면 {3} 성인남성(20세~50세)의 경우 평균 앉은 키는 90.3cm이고, 어린이(8~11세)의 경우 평균 앉은 키는 71.7cm이다. 이를 통해 scale factor는 약 0.79로 도출되어, 실제로 충돌해석을 진행할 때에는 Belted_dummy를 0.79배로 scaling하여 해석하였다. 실제로 Belted_dummy의 앉은키도 89.9cm로 매우 유사하였다.

표 30. 앉은키, 머리둘레, 허리둘레, 앉은키에 대한 남녀, 연령별 통계명

성별	연령(세)	남성				여성							
		평균		백분위수		평균		백분위수					
		본 차	5%	95%	본 차	5%	95%						
남성	6	59.0	3.4	54.0	64.9	61.3	1.3	49.0	53.3	64.9	2.8	60.7	69.3
	7	62.4	2.7	56.0	67.9	61.9	1.3	49.8	53.9	67.9	2.9	62.0	71.7
	8	63.7	4.3	57.2	71.8	58.8	1.4	49.5	54.3	68.8	2.9	64.1	73.3
	9	65.7	4.3	59.2	73.3	52.2	1.6	50.0	54.8	70.8	2.8	65.4	75.9
	10	68.3	4.5	61.6	77.9	52.6	1.4	50.2	54.8	72.6	2.7	67.8	76.7
	11	70.4	4.8	63.4	82.8	52.8	1.5	50.4	55.2	74.7	2.2	69.3	80.0
	12	74.5	6.1	65.6	85.3	53.2	1.5	50.8	55.8	75.8	4.0	70.6	85.9
	13	77.4	6.1	68.1	87.8	53.6	1.6	51.1	56.3	80.	4.9	72.6	89.7
	14	81.4	6.9	71.4	91.2	54.2	1.5	51.4	56.7	84.8	4.8	75.6	91.2
	15	84.3	4.8	77.0	95.7	54.2	1.5	52.1	56.9	87.1	4.1	79.7	92.7
	16	86.1	4.9	80.0	99.9	55.0	1.5	52.8	57.2	90.9	5.8	83.0	94.6
	17	86.5	3.8	80.1	92.8	55.0	1.5	52.8	57.4	85.6	2.4	84.0	95.1
	18	87.5	4.6	81.0	94.4	55.8	1.5	53.2	58.2	88.1	3.2	85.8	95.5
	19	87.9	3.9	81.7	94.4	55.8	1.5	53.4	58.3	88.5	3.0	85.6	95.5
20	88.6	3.5	83.1	94.4	55.6	1.5	53.2	58.3	88.9	2.9	86.2	95.7	
23 - 25	88.8	4.0	82.3	95.8	55.9	1.4	53.4	58.1	88.4	2.8	86.3	96.4	
26 - 30	89.5	4.6	82.8	96.2	55.9	1.5	53.8	58.6	90.1	3.0	86.3	96.9	
31 - 35	90.7	4.6	83.3	96.3	56.4	1.4	54.1	58.9	90.8	2.8	86.8	94.9	
36 - 40	91.2	4.6	83.3	97.5	56.5	1.4	53.5	58.9	91.1	3.1	84.7	94.2	
41 - 50	91.2	4.6	82.3	97.4	56.2	1.4	53.7	58.5	89.4	3.2	84.3	94.0	
여성	6	58.8	3.2	53.9	65.3	50.5	1.4	48.9	53.3	64.5	2.6	60.2	68.8
	7	60.8	3.7	55.7	67.4	50.8	1.4	48.5	53.0	65.7	2.6	61.5	70.1
	8	62.9	4.0	57.0	71.2	51.0	1.4	46.7	53.1	67.9	2.8	63.0	72.0
	9	66.3	4.9	59.8	75.7	51.5	1.4	48.3	53.0	70.4	3.1	65.4	75.7
	10	69.7	4.9	62.4	78.5	52.2	1.4	50.8	54.4	72.7	3.6	67.7	78.5
	11	72.9	6.7	65.0	83.3	52.5	1.5	50.3	54.9	75.4	3.7	70.9	82.3
	12	76.2	6.6	68.5	88.8	53.0	1.5	50.8	55.1	79.9	3.9	72.9	85.4
	13	80.0	5.7	72.5	91.8	53.5	1.4	51.4	55.7	81.4	3.6	75.3	88.6
	14	84.6	5.1	76.0	92.8	53.9	1.4	51.5	56.3	82.6	3.0	76.2	87.7
	15	86.7	4.2	80.0	94.8	54.0	1.4	51.7	56.3	83.1	2.8	74.3	87.5
	16	87.2	4.3	80.7	94.3	54.0	1.4	51.8	56.4	83.6	2.9	74.8	88.3
	17	87.9	4.0	81.5	95.0	54.0	1.3	51.8	56.2	83.6	2.7	73.9	88.4
	18	88.3	4.0	81.8	94.6	54.2	1.3	52.1	56.4	83.9	2.6	74.5	88.4
	19	88.3	4.1	82.0	95.4	54.2	1.3	52.1	56.4	84.0	2.8	74.5	88.8
20	88.4	3.6	82.1	94.3	54.2	1.3	52.0	56.2	84.0	2.9	74.8	88.2	
23 - 25	87.8	4.2	81.0	94.5	54.3	1.3	52.0	56.5	84.3	2.8	73.9	88.2	
26 - 30	88.7	4.4	81.7	96.5	54.4	1.4	52.3	56.8	84.3	2.8	73.1	88.4	
31 - 35	90.8	4.7	82.1	97.8	54.4	1.4	52.0	56.7	85.9	2.9	73.2	88.4	
36 - 40	91.8	5.6	81.6	98.7	54.6	1.4	52.4	57.0	84.2	2.9	73.6	88.4	
41 - 50	91.8	4.8	84.7	100.5	54.8	1.3	52.7	56.9	85.7	2.8	73.7	87.2	

Fig. 30 Statistics on Hip Circumference, Head Circumference, and Sitting Height by Gender and Age

3.1.3.2 분석 결과

3.1.3.2.1 두부상해지(HIC) 및 가슴 상해

첫 번째 경우인 최적화된 안전벨트를 착용한 성인 남성 dummy의 위험성과, 같은 높이를 가진 안전벨트를 어린이가 착용했을 때의 위험성을 분석하였다. FMVSS 208 정면충돌 평가시험에 의거 HIC, 목상해식 (N_{ij}), 가슴 상해(chest deflection) 값을 데이터 상에서 산출했다.

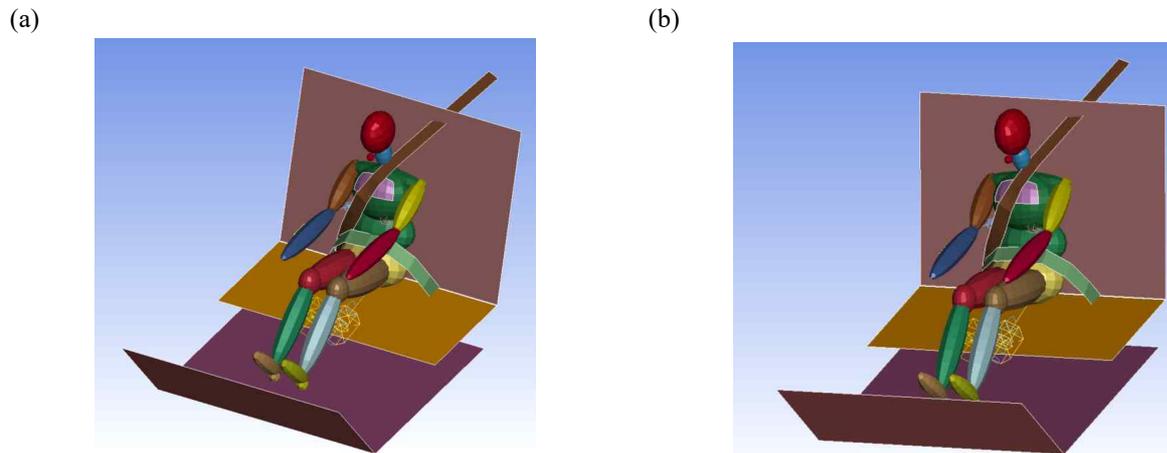


Fig. 31 (a) hybrid 3 male 50th with optimized seat belt and (b) child dummy with unfitted seat belt 위 더미를 시속 60km로 출발시켜 갈비뼈 변위, 목상해식, HIC를 구하였다.

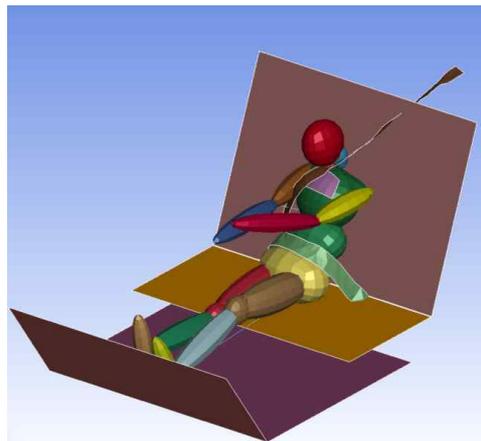


Fig. 32 child dummy with unfitted seat belt

다음과 같이 충돌해석을 진행하였다.

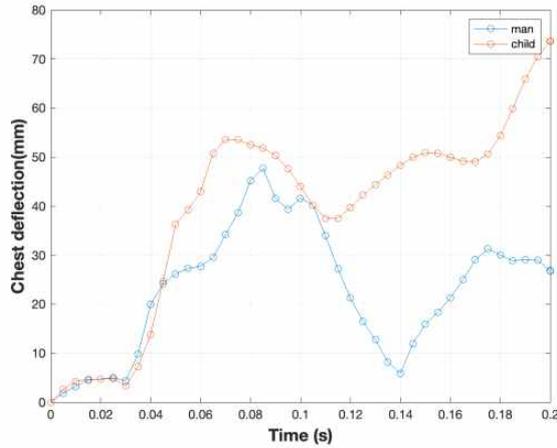
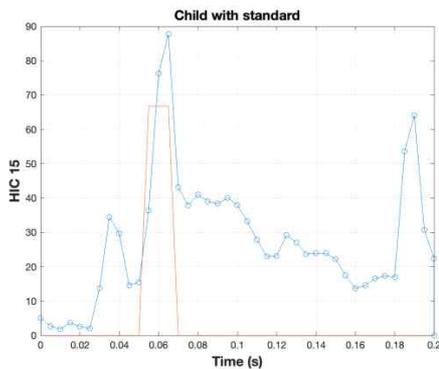


Fig. 33 Chest deflection for hybrid 3 male 50th with optimized seat belt and child dummy with unfitted seat belt

가슴 상해 값의 경우 갈비뼈의 변위값이 52mm 이하여야하는 조건을 생각했을 때 child의 경우 충돌 후 0.2초에 가까워질수록 52mm를 초과하게 되므로 최적화된 안전벨트를 착용한 성인 남성 dummy에 비해 위험성이 크다는 결론을 내릴 수 있다.

(a)



(b)

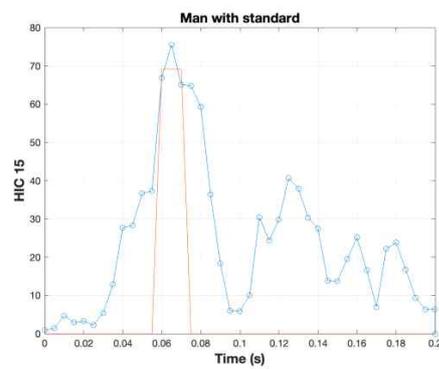


Fig. 34 (a) HIC(Head Injury Criterion) for hybrid 3 male 50th with optimized seat belt and (b) child dummy with unfitted seat belt

두부상해치(HIC) 값을 볼 때 두 값 모두 기준 값인 700 이하이기 때문에 두 경우 모두 안전하다고 할 수 있다.

두 번째 경우, 최적화된 안전벨트를 착용한 어린이 dummy의 위험성과 신체에 맞지 않는 부적절한 안전벨트를 어린이가 착용했을 때의 위험성을 분석하였다. 조건은 첫 번째 경우와 같다.

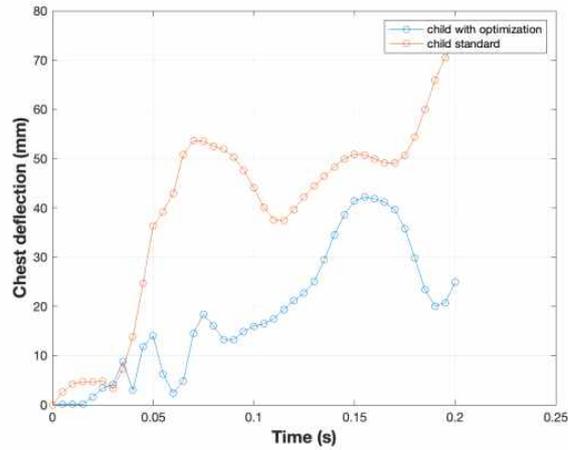


Fig. 35 Chest deflection for child dummy with optimized seat belt and child dummy with unfitted belt

가슴 상해 값의 경우 child의 경우 충돌 후 0.2초에 가까워질수록 52mm를 초과하게 되므로 최적화된 안전벨트를 착용한 어린이 dummy에 비해 위험성이 크다는 결론을 내릴 수 있다.

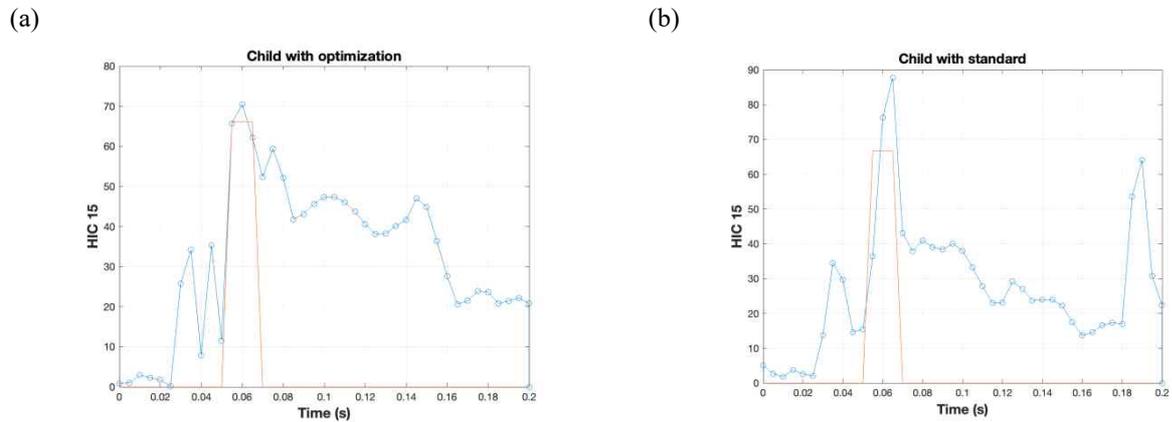


Fig. 36 (a) HIC(Head Injury Criterion) for child with optimized seat belt and (b) child dummy with unfitted seat belt

이 경우에도 두부상해치(HIC) 값을 볼 때 두 값 모두 기준 값인 700 이하이기 때문에 두 경우 모두 안전하다고 할 수 있다.

세 번째 경우인 최적화된 안전벨트를 착용한 성인 남성 dummy의 위험성과, 신체에 맞지 않는 부적절한 안전벨트를 성인이 착용했을 때의 위험성을 분석하였다. 조건은 첫 번째 경우와 같다.

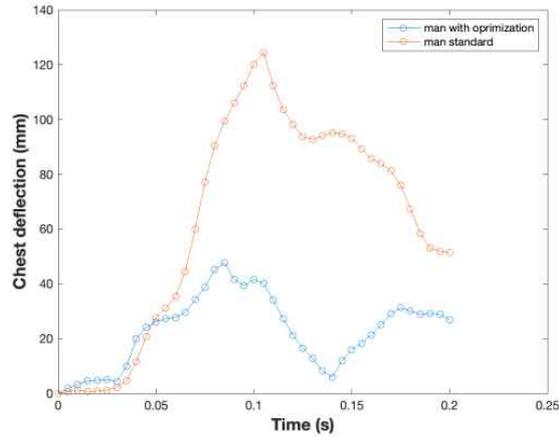


Fig. 37 Chest deflection for hybrid 3 male 50th dummy with optimized seat belt and hybrid 3 male 50th dummy with unfitted belt

가슴 상해 값의 경우 child의 경우 충돌 후 0.2초에 가까워질수록 52mm를 초과하게 되므로 최적화된 안전 벨트를 착용한 어린이 dummy에 비해 위험성이 크다는 결론을 내릴 수 있다.

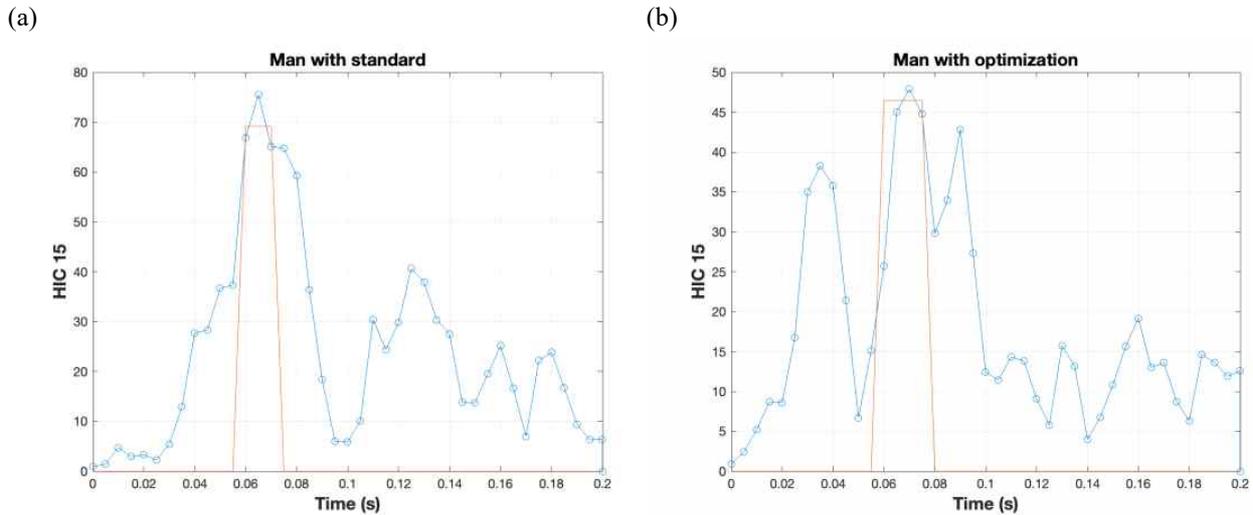


Fig. 38 HIC(Head Injury Criterion) for hybrid 3 male 50th with unfitted belt and optimized seat belt

이 경우 또한 두부상해치(HIC) 값을 볼 때 두 값 모두 기준 값인 700 이하이기 때문에 두 경우 모두 안전 하다고 할 수 있다.

3.1.3.2.1 목 상해치

충돌해석 결과를 바탕으로 앞서 말한 $N_{ij} = (F_z / F_{zc}) + (M_{ocy} / M_{yc})$ 식에 근거하여 목 상해(N_{ij}) 정도를 계산해보면 아래 표와 같다.

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

	인장 꺾힘	인장 휨	압축 꺾힘	압축 휨
Child_fit	1.5857505	1.7213788	-0.007583	-0.00826
Child_unfit	2.8404146	2.7821706	-6.431221	-6.489466
Man_fit	2.1143788	2.0797933	-4.801078	-4.835664
Man_unfit	4.322333	4.5544372	-10.28884	-10.05674

Table 5 Neck Injury Severity by Model

Man_fit model의 경우 성인 남성 dummy파일에 기존 안전벨트 파일을 그대로 활용했기 때문에 안전규정에 부합하는 결과인 1.0이하의 결과값이 나와야한다. 그러나 위 표를 보면 알 수 있듯이, 인장 꺾힘/휨, 압축 꺾힘/휨 모두 절대값이 1을 넘는 것을 알 수 있다. 이는 충돌해석 시 활용한 dummy파일의 node와 mesh가 단순화되어있는 파일이기 때문에 정확한 결과가 도출되지 않은 것으로 파악된다. 무료로 활용할 수 있는 적합한 다른 dummy이 없었기에 상기 도출 결과로부터 오류치를 조정해주는 방식으로 상해치의 경향성만을 분석해보았다. Man_fit mode을 기준으로 해당 모델은 상해치가 1.0에 부합한다고 가정하여 해당 값을 1.0으로 만들도록 값을 보정해주었다. 그리고 다른 값들이 man_fit model을 보정하는데 사용한 보정치를 동일하게 적용하여 보정하였다. 보정 결과는 아래 표와 같다.

	인장 꺾힘	인장 휨	압축 꺾힘	압축 휨
Child_fit	0.749984	0.827668	0.001579	0.001708
Child_unfit	1.34338	1.337715	1.339537	1.342001
Man_fit	1.0	1.0	1.0	1.0
Man_unfit	2.044257	2.189851	2.143027	2.079701

Table 6 Neck Injury Severity by Model with Error Correction

보정된 결과값을 토대로 경향성을 분석해보면, 성인 남성에게 적합한 안전벨트 위치 그대로 어린아이가 착용했을 경우 상해치는 모든 부분에 있어서 약 35% 정도 증가하여 안전규정인 1.0이 넘는 것을 볼 수 있다. 그 상태에서 본 장치를 통해 아이에게 최적화된 안전벨트를 적용하였을 때 상해치는 1.0이하로 안전규정 이내로 다시 들어오게 되었다. 마찬가지로 성인 남성에게 부적절한 안전벨트 위치값을 주었을 때 보면 상해치가 약 2배 정도 증가하여 안전규정에서 벗어남을 확인할 수 있다.

이를 통해 성인 남성에게는 적합한 안전벨트일지라도 체형이 다른 어린 아이가 착용했을 경우, 해당 안전벨트는 부적절한 안전벨트가 된다. 따라서 본 장치를 통해서 각 개인의 체형에 맞는 최적화된 안전벨트 위치를 제공할 경우 상해치가 확실하게 줄어들을 알 수 있다.

3.2 작동 테스트

실제로 어린아이나 키 큰 사람을 두고 테스트해볼 수가 없어서 인위적으로 앉은키를 변화하는 방법으로 각 단계별 최적화된 안전벨트를 제공하는지 테스트하였다.

2	3	4	5



Table 7 Optimized Safety Belt at Each Stage(2 to 13)

3.3 상용화 가능성

3.3.1 예상 제작 단가

(a)

스테인리스강					
재질명	기호	규격	기준가격 (당도 기준)	도매가격	소매가격
STS CR	3B	1,000×1,219×2mm	-	3,550,000	-
		HL 1,000×1,219×2mm	-	3,750,000	-
	HL	1,000×1,219×2mm	-	6,360,000	-
		1,000×1,219×2mm	-	6,900,000	-
STS 430	3B	1,000×1,219×2mm	-	2,400,000	-
	HL	1,000×1,219×2mm	-	2,600,000	-
STS HR	3B	1,000×1,219×3~6mm	-	3,500,000	-
		1,000×1,219×3~6mm	-	6,250,000	-
		1,000×1,219×3~6mm	-	2,300,000	-
STS 후판	3B	8mm 이상	-	3,800,000	-
			-	6,300,000	-
			-	4,900,000	-
STS 박판 (코일기준)	STS 304	600×0.1mm×Coil	-	6,600,000	-

(b)



Fig. 39 (a) Stainless Price Tag (b) Mass of 8t stainless plate

최신 stainless 가격표를 보면 8mm이하의 plate의 경우 ton 당 350만원이 나온다. 판매하는 stainless plate 규격이 1000mm X 1219mm이므로 해당 plate에 본 장치의 rail이 몇 개 제작될 수 있는지 아래와 같은 방법으로 대략적으로 파악해봤다.

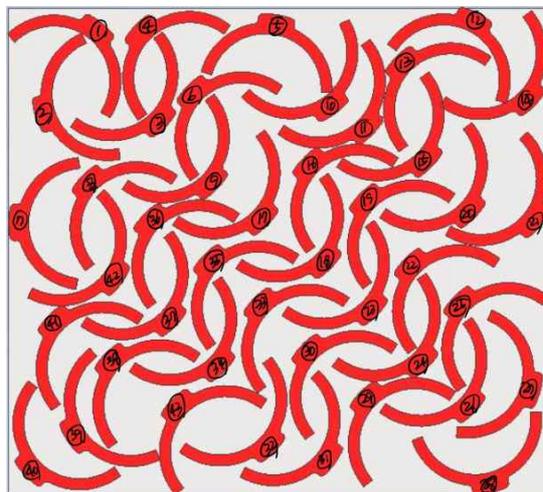


Fig. 40 The number of rails that can be produced on a single stainless steel plate

대략적으로 배치해봤을 때 43개의 rail을 출력할 수 있다. 제대로 규칙적으로 배치할 경우 약 50개 정도의 rail을 출력할 수 있는 것으로 예상된다. 고정막대의 경우 위에서 빈 공간을 활용하여 제작하면 된다. 그 결과 rail과 고정막대를 제작하는데 필요한 재료비는 5.88만원으로 약 6만원이다.

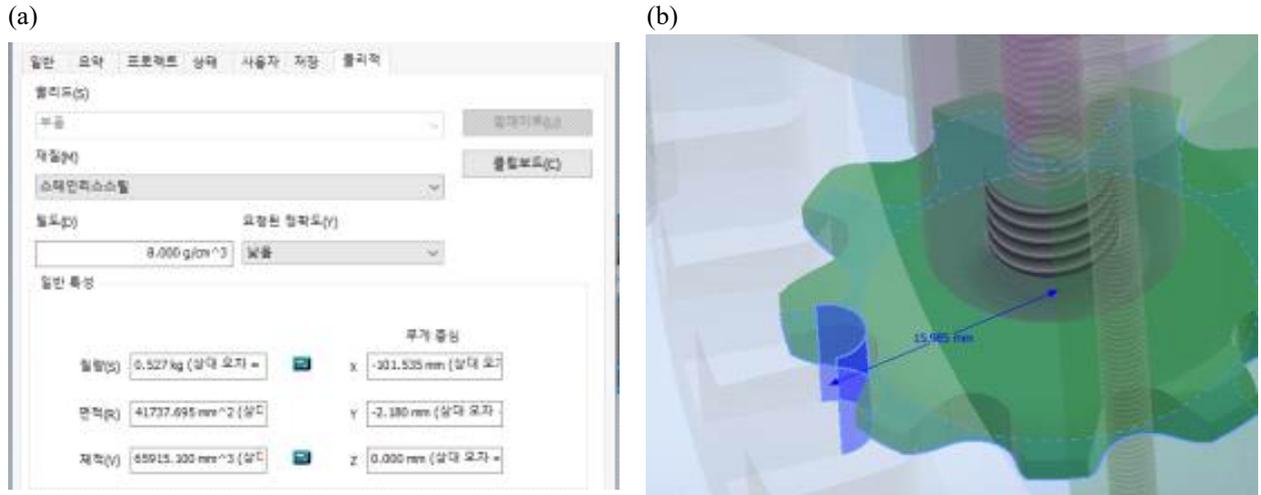


Fig. 41 (a) Mass of rail made from stainless steel (b) Length from axis of sprocket to rail

Sprocket의 축부터 rail이 걸리는 부분까지의 거리는 16mm 이내이고, rail을 stainless steel로 제작하였을 때 질량은 0.527kg이다. 실제로는 rail의 가이드라인에 걸리는 pin에도 하중이 분산되겠지만 이 하중이 온전히 sprocket에만 작용한다고 가정하고 stepper motor에 가해지는 토크를 계산해보면 약 0.0826N·m로 stepper motor 4234의 holding torque만으로도 충분히 버틸 수 있다. Stepper motor 4234의 경우 인터넷에서 13000원 정도의 가격대를 형성하고 있다. 이보다 더 약한 motor를 사용해도 된다는 점과 대량으로 구매하면 가격이 저렴해진다는 점을 고려했을 때 개당 만 원 이하로 구입할 수 있을 것이다.

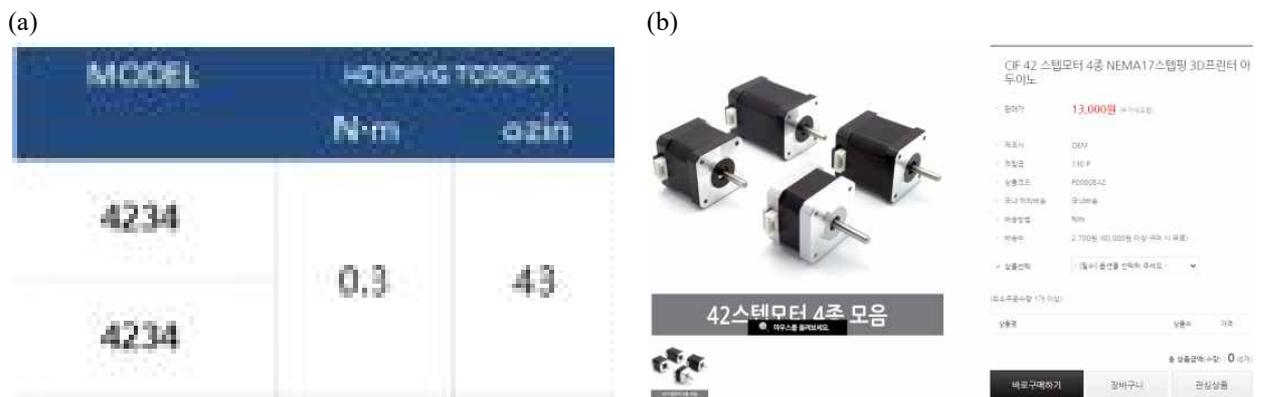


Fig. 42 (a) Holding torque of stepper motor 4234 (b) Market price of stepper motor 4234

아두이노와 건전지의 경우 본 장치가 실제 차량에 장착될 경우 차량의 배터리와 소프트웨어와 직접적으로 연결될 것이기 때문에 불필요할 것으로 예상된다. 이외의 고정장치에 사용할 MG90 및 도선, 볼트/너트의 경우 다 합쳐도 만 원 이내로 해결될 것이다. 카메라 모듈의 경우 학습 목적이 아닌 실사용 목적으로는 그렇게 높은 화소를 요구하지 않기 때문에 마찬가지로 만 원 내외로 비용이 들 것이다.(게다가 만약 운전석과 조수석 시트에 설치할 경우 카메라는 하나만으로 커버되므로 여기서 추가적으로 비용을

인공지능 기반 자동 안전벨트 조절 장치 개발

아낄 수 있다.) 이 모든 것을 종합하여 보면, rail의 가공비용을 제외한 총 제작 단가는 약 9만원 이하로 측정된다. 나아가 레일을 찍어내는 방식이 아니라 다이캐스팅 방식을 활용한다면 초반 몰딩 비용은 많이 지출되나 대량으로 생산할수록 제품하나 당 제작 단가를 현저히 감소시킬 수 있을 것이다. 또한 가장 많은 응력이 가해지는 고정막대에도 최대 하중이 약 270MPa 정도이기 때문에 값비싼 stainless steel 대신 aluminum 6061-T6(인장강도 290MPa)만으로도 충분하기 때문에 소재를 변경한다면 추가적인 지출을 줄일 수 있다. 보다 세부적인 가격은 실제로 가공 회사로부터 견적을 받아봐야겠으나 적어도 10만원 내로 제작할 수 있음은 명백하다.

3.3.2 실용성 분석

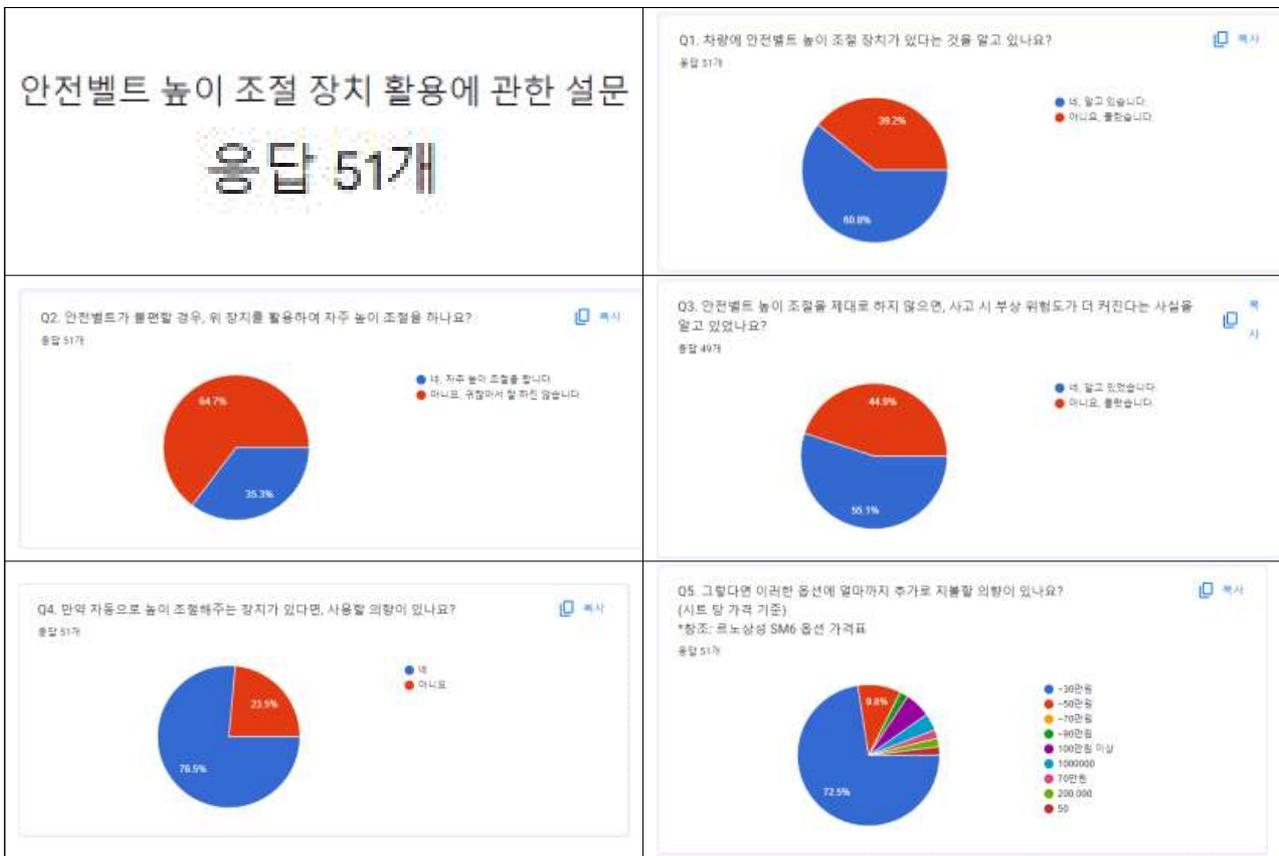


Table 6 Survey Results on the Utilization of Seat Belt Height Adjustment Devices

『안전벨트 높이 조절 장치 활용에 관한 설문』을 주제로 소비자를 대상으로 설문조사를 진행하였고, 총 51개의 응답이 있었다. 설문조사 결과, 생각보다 많은 사람들이(전체의 약 40%) 기존의 안전벨트 높이 조절 장치가 있다는 것을 모르고 있었고 알고 있는 사람들 중에서도 약 65%는 귀찮다는 이유로 매번 높이 조절을 하지 않는 것으로 나왔다. 또한 안전벨트 미착용이 아닌 오착용으로 인해 부상 위험도가 커진다는 걸 모르는 사람이 약 45% 정도 차지하였다. 이를 통해서 서론에서 말했던

본 장치를 있다면 사용할 의향이 있다는 사람들이 응답자의 75%가 넘게 과반수에 해당하였고, 대다수의 사람들은 시트 당 30만원 이하(4인석 차량 기준 120만원 이하)의 옵션 가격을 희망하였다. 앞서 분석한 예상 제작 단가는 가공비를 제외하고 약 9만원이므로 충분히 수익성이 있음을 예상해볼 수 있다.

3.4 기대효과

앞의 설문결과를 통해 이미 시중에 수동으로 안전벨트 조절 장치가 있음에도 모르는 사람도 많고 또

한 그 존재를 알고 있다라고 귀찮다는 이유로 잘 활용되지 않는다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 본 장치의 경우 모든 일련의 과정이 자동으로 이뤄지기 때문에 본 장치에 대해 잘 모르는 탑승자도, 위치 조절이 귀찮은 탑승자도 모두 최적화된 안전벨트 위치를 제공받게 될 것이다. 이는 차량 사고시 기존 성인남성의 체형과 크게 동떨어진 어린아이나 작은 키를 가진 여성들의 기존에 높은 부상 위험도를 감소시킬 수 있다. 특히 이제 막 카시트를 벗어난 아이의 경우, 카시트에 탑승할 수는 없지만 일반적인 안전벨트를 착용하기에는 아직 성장이 덜 되었기 때문에 이와 같은 탑승자까지도 본 장치는 폭넓게 커버할 수 있다. 결과적으로 본 장치는 어린아이부터 노인에 이르기까지 다양한 체형의 탑승자에게 최적화된 안전벨트를 제공함으로써 차량 안전 기술 증진에 기여한다.

3.5 발전사항

본 설계에서 고려된 안전벨트 위치 요소는 크게 가슴부와 어깨 위치에 있었다. 안전벨트의 높이 조절을 통해서 탑승자의 어깨 중앙부와 가슴의 중앙의 단단한 뼈 부분을 지남으로써 보다 최적화된 안전벨트를 제공하는 것을 목표로 하였다. 그런데 안전벨트 위치 중요한 요소 중 다른 하나에는 3점식 안전벨트의 하단 벨트가 탑승자의 골반 뼈의 정확한 위치를 지나는 것이 있다. Pipkorn, B.의 논문 『Innovative Seat Belt System for Reduced Chest Deflection』을 참고하면, 하단 벨트의 위치에 따른 충돌 해석 결과를 제공하고 이를 실현화하기 위한 버클 설계를 대략적으로 보여주고 있다.^(?)

이러한 하단 벨트에 관련한 추가 논문들을 바탕으로 본 장치가 단순히 상단 벨트의 최적화된 위치만을 제공하는 것이 아니라 하단 벨트까지도 최적화된 위치를 제공하는 방식으로 추가 발전을 이룰 수 있다. 하단 벨트의 조정 또한 human pose estimation을 이용하여 추가적인 학습을 거듭한다면 충분히 구현할 수 있을 것이다. 이 모든 과정은 물론 기존과 동일하게 자동으로 이뤄져야할 것이다.

(a)

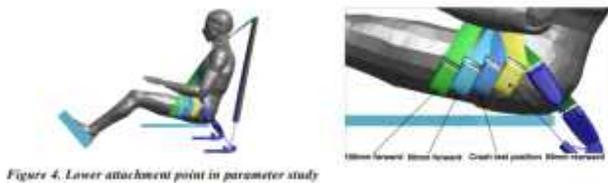


Figure 4. Lower attachment point in parameter study

(b)



Figure 8. Split buckle activation

(c)

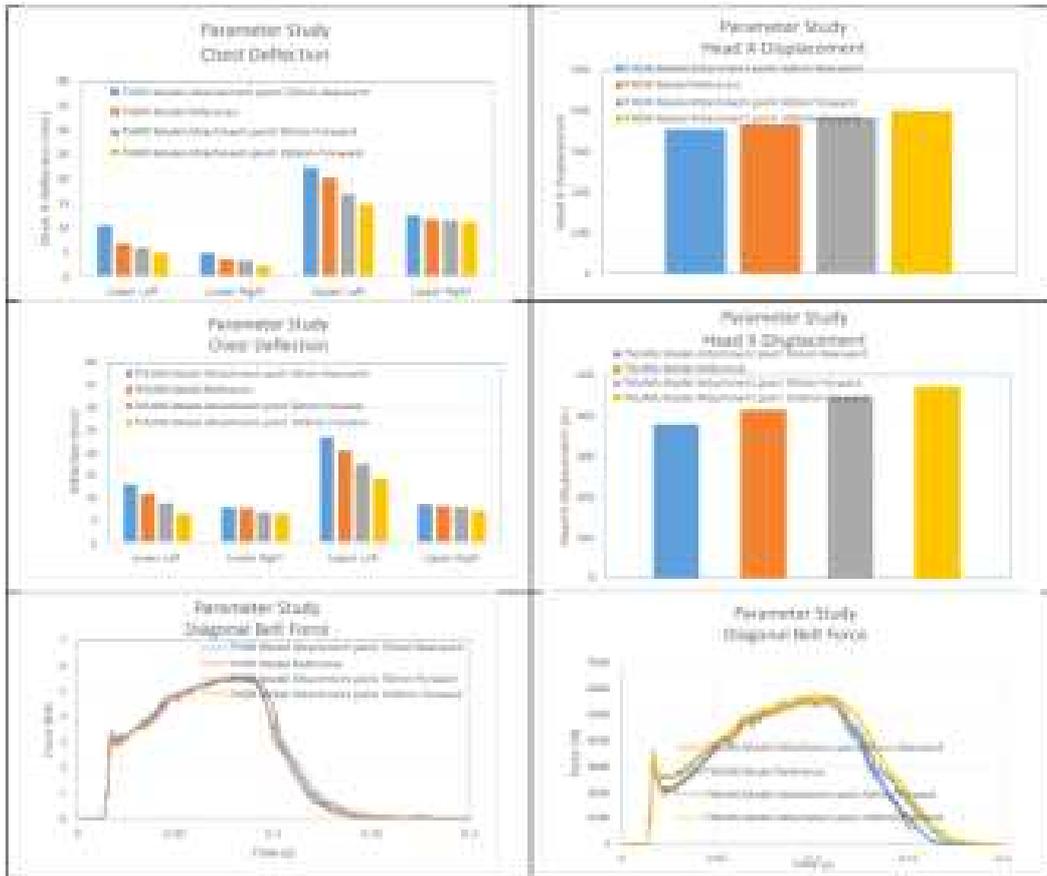


Figure 7. THOR model & THUMS Chest Deflection, Head-Displacement and Belt Forces for Altered Lower Attachment Point

Fig. 43 Study for Lower Attachment Point in 『Innovative Seat Belt System for Reduced Chest Deflection』

4. 결론

기존에도 안전벨트 높이 조절 장치는 존재하였으나 모두 탑승자가 수동으로 직접 조절해야만 한다. 차량안전에 있어서 매우 중요한 부분임에도 불구하고 해당 장치에 대한 사람들의 인식이 얕을 뿐만 아니라 귀찮다는 이유로 제대로 활용되지 못하고 있다. 그러나 본 장치는 인공지능과 기계설계를 접목하여 탑승자가 최적화된 안전벨트 위치를 제공받는 일련의 과정을 모두 자동으로 이뤄지도록 제작되었다는 점에서 큰 의의가 있다. 모든 과정이 자동이 됨으로써 해당 장치에 대한 인식률이나 탑승자의 귀찮음과 무관하게 안전벨트의 위치 조절이 자동으로 이뤄지기 때문에 정확히 안전벨트를 착용한 탑승자의 비율을 극적으로 증대시킬 수 있다. 뿐만 아니라 어린아이부터 노인에 이르기까지 넓은 범위에 걸쳐 대부분의 체형을 포괄하여 각각의 최적화된 안전벨트 위치를 제공한다는 점에서 보편성 또한 가지고 있다. 결론적으로 본 장치는 탑승자 개인의 안전에서 더 나아가 전반적인 차량안전 증대에 크게 기여할 것이다.

후 기

본 논문을 작성하는데 큰 도움을 주신 고려대학교 기계공학부 최병호 교수님께 진심으로 감사드립니다. 추가적으로 충돌 해석 관련 부분을 자문해주신 김룡관 박사님께도 감사드립니다.

무엇보다 설계 중심의 경진대회를 매년 지속적으로 개최해주시는 관계자 분들께도 진심으로 감사 인사드립니다.

참고문헌

- (1) Tesla, Inc. Seat belt height adjuster device. Tesla Owners Manual - Model X. URL: https://www.tesla.com/ownersmanual/modelx/ko_us/GUID-3319C55D-F148-4D9C-98A6-AD09BA7EED61.html
- (2) Economy Insight. (2022, June 1). Limitations in Reflecting Injuries in Elderly Women: Measuring with the 'Standard Male' Model. Retrieved from <http://www.economyinsight.co.kr/news/articleView.html?idxno=5759>
- (3) Korea Consumer Agency (한국소비자원). (2020, November 14). Safety Belt Position Adjusters Sold as Car Seat Alternatives Fail to Protect Children. Retrieved from <https://www.kca.go.kr/home/sub.do?menukey=4002&mode=view&no=1001603486>
- (4) TensorFlow Hub. (n.d.). <https://tfhub.dev/google/movenet/singlepose/thunder/4>
- (5) Lin, T., Dollar, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2016). Feature pyramid networks for object detection. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.1612.03144>
- (6) Agarap, A. F. (2018, March 22). Deep Learning using Rectified Linear Units (ReLU). arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/1803.08375>
- (7) Kingma, D. P. (2014, December 22). Adam: A method for stochastic optimization. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/1412.6980>
- (8) The principle of passenger train brake - rail industry information center URL: http://www.kric.go.kr/jsp/board/portal/sub06/cyberRailMuseum.jsp?q_type=his04-5
- (9) Yun-Bae Kim, Hyun-Jun Kim, Jae-Nyung Han, etc. (6 January 2012). “The Optimization of Passener Seat Belt Design for Female Passenger”, *transaction of KSAE*, Vol. 20, No.4, pp.10-15.
- (10) THOR 50th Male Finite Element Model. (2020, June 18). University of Virginia School of Engineering. <https://engineering.virginia.edu/thor-50th-male-finite-element-model>
- (11) oggystruct FEA. (2020, May 28). Belted dummy crash test simulation using LS-DYNA [동영상]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=vxUdFkLM3Ew>.
- (12) Kim, Jin-Ho. (1989). A Study on Measurements of the Korean Human Body. *Journal of the Human Engineering Society of Korea*, 8(6), 5.