



고속버스용 가변형 승객 시트 개발 연구

이 용 우^{*1)} · 강 병 도²⁾

신한대학교 기계자동차융합공학과¹⁾ · 한국교통안전공단 자동차안전연구원²⁾

Development of Sliding Seat System for Express Buses

Yongwoo Lee^{*1)} · Byungdo Kang²⁾

¹⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Shinhan University, Gyeonggi 11644, Korea

²⁾Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority, 200 Samjon-ro, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18247, Korea

(Received 16 September 2019 / Revised 25 September 2019 / Accepted 27 September 2019)

Abstract : As society rapidly ages, the number of wheelchair users is also steadily increasing. However, public transportation systems have not provided proper access to wheelchair users. Therefore, it is necessary to build a special model of express/intercity buses to secure easy accessibility for wheelchair users. These types of buses must develop passenger seats that can be flexibly operated, depending on whether the wheelchair user is onboard. This study was carried out to make passenger seats with a sliding mechanism and optimized thickness through a finite element analysis. Furthermore, a rear moment and belt anchorage analysis was performed based on FMVSS 202 and 210 to verify the integrity of the seat system. The results of the analysis confirmed the structural integrity of the seat system against rear moment and belt anchorage load. Likewise, a belt anchorage test was conducted, further validating the structural integrity of the seat system. The findings of this study are expected to be applied in commercial vehicles and in the welfare industry.

Key words : Express bus(고속버스), Mobility handicapped(교통약자), Sliding seat(슬라이딩 좌석), Finite element method(유한요소법), Strength analysis(강도 해석)

1. 서 론

우리나라는 노령인구의 급격한 증가에 따라 고령 사회로 진입하고 있다. 2014년 고령인구는 전체 인구의 11.0%를 넘어가고 있으며, 2026년 20.8% 이상으로 증가될 것으로 예상되고 있다. 또한 노령인구 대비 장애인구는 41.42%를 차지하고 있어 사회의 노령화에 따른 장애인구의 증가폭은 점차적으로 확대되어 갈 것으로 예상되고 있다. 이러한 장애 인구 중 휠체어 사용자는 62.02%로 많은 수의 장애인들이 휠체어를 통해 이동하고 있다.¹⁾ 그러나 우리나라의 대중 교통서비스는 휠체어 사용 장애인들에게 충분한 접근성을 보장하지 못하고 있는 실정이다. 특히 시내 저상 버스를 제외한 시외 고속버스는 휠체어 사용 장애인들을 위한 탑승 보조 장치를 장착한 차량이 보급되지 않아 이들의 버스를 이용한 시외 이동은 어

려운 실정이다. 이에 따라, 국가는 교통 약자의 이동권에 대한 의무의 이행을 위해 관계 법령을 개정하고 휠체어 탑승 가능한 고속버스의 도입에 대한 제도적인 기반을 확립하여 관련 기관에서 연구개발을 수행하고 있다.

휠체어가 버스 차량 내부에 탑승하기 위해서는 휠체어를 위한 공간 확보가 필수적으로 필요하다. 따라서 기존에는 휠체어 탑승 가능 버스의 개발을 위해 기존의 시트를 삭제하거나 측면에 접이형 시트를 설치하여 개발하여 왔다. 그러나 이러한 형식의 구조는 사용성 측면을 고려할 때 공간 활용성이 떨어지는 단점이 있으며, 측면 접이형 시트는 일반 좌석으로 운용시 안전을 확보하기 어려운 단점이 있다. 이에 따라 휠체어 사용자의 탑승 여부에 따라 일반 시트로 운용이 가능하고 안전성을 확보한 가변형 승객 시트의 개발이 필요한 실정이다. 이러한 차량용 시트와 관련하여 김기선 등은 프레임에 대한 기

*Corresponding author, E-mail: ywlee@shinhan.ac.kr

¹⁾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.

구부의 유격 및 강도를 해석적으로 검토하고 전후 모멘트 강도에 대한 연구²⁾를 수행하였으며, 우창수 등은 시트 프레임에 대한 전후 모멘트에 대한 내구시험 평가를 통해 피로 특성 연구³⁾를 수행하였다. 또한, 한문식 등은 자동차 시트에 대한 리클라이너 구조부의 변경에 대한 모멘트 강도에 대한 특성 연구⁴⁾를 수행하였으나 인증 범위 규정인 시트 벨트 앵커리지 강도에 대한 평가는 수행되지 않았다. 또한, 상용 버스용 시트에 대한 연구는 우호광 등이 알루미늄 시트 프레임에 대한 연구를 통해 후방 모멘트 및 벨트앵커리지 강도에 대한 평가⁵⁾를 수행하였으나, 이는 고정형 시트에 대한 연구로 가변형 슬라이딩 기구부를 포함하는 시트에 대한 연구는 수행되지 않았다. 이에 본 연구에서는 슬라이딩 기구부를 포함하고 충분한 범규 안전 강도 규정을 만족하는 버스용 가변형 승객 시트에 대한 연구를 수행하였다.

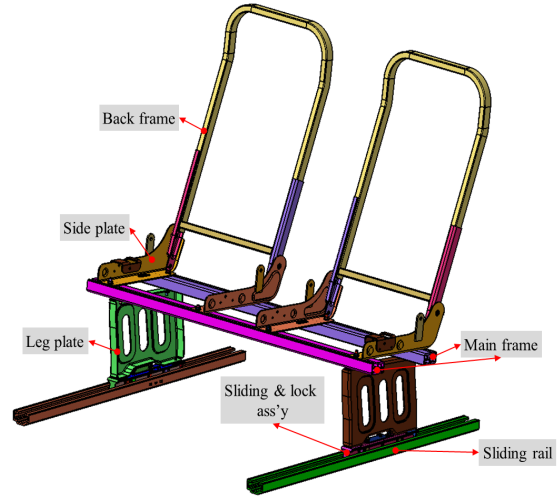


Fig. 1 Mock-up CAD of sliding seat system

Table 1 Seat testing regulation

Test	Load	Requirements	Regulation
Back moment	38 kgf·m	No failure	FMVSS 202
Seat belt anchorage	300 kgf (each)	No failure	FMVSS 210

본 연구에서는 대상 시트의 안전 강도 평가를 위한 기준으로 Table 1의 FMVSS 210(Seat Belt Assembly Anchorage)의 시트벨트 앵커리지 강도 규정 중 4.5톤 이상 승합차 승객좌석 기준⁶⁾과 FMVSS 202(Head restraints for passenger vehicle)의 후방 모멘트 규정⁷⁾을 근거하여 가변형 승객 시트 개발을 수행하였다.

2. 가변형 시트 설계

가변형 시트의 개발을 위해 시트에 대한 안전 규정을 검토하고 휠체어 탑승 공간 설계를 위해 휠체어 사용자에게 대한 이동성 평가를 수행한 후 가변형 시트의 레이아웃 검토를 하였다. 슬라이딩 기구부에 대한 컨셉 설계를 수행하고 차량 설치 방법을 고려하여 초도 설계를 수행하였다. Fig. 1은 가변형 승객 좌석의 설계를 보여주고 있다. 시트 프레임은 접이식 형태를 고려하여 등받이부(Back frame)와 착석부 메인 프레임(Main frame) 및 사이드 플레이트(Side plate)는 기존 일반 시트에 비하여 단면계수를 높여 강도를 개선할 수 있도록 설계를 수행하였다. 또한 하단부는 파이프 구조를 대체하는 레그 플레이트(Leg plate)형식의 설계를 통해 전후방향의 모멘트에 대한 저항력을 강화할 수 있도록 하였다. 가변형 시트의 기구부중 가장 중요한 슬라이딩 고정장치(Sliding & lock

ass'y)는 레일부의 이동에 따라 고정할 수 있도록 설계를 수행하였으며, 가장 많은 부품수가 포함되어 있다. 또한, 슬라이딩 고정장치는 외부 하중 작용시 직접적으로 바닥면에 고정하는 역할을 수행하여야 하므로 충분한 강도를 확보할 수 있도록 하기 위해 해석을 통한 검토가 수행되었다.

특히 슬라이딩 고정장치는 Fig. 2와 같이 구성되어 있으며, 스톱퍼 핀(Stopper pin)과 힌지 핀(Hinge pin)을 조정하여 고정할 수 있도록 기구를 구성하였다. 슬라이딩 및 고정은 스톱퍼 브라켓(Stopper brkt.)이 슬라이딩 레일의 측면 홈의 체결 여부에 따라 제어된다. 스톱퍼 브라켓에 작용하는 하중은 스톱퍼 가이드 사이드(Stopper guide side)와 스톱퍼 가이드 어퍼(Stopper guide upr.)가 지지하는 구조이며, 메인 브라켓(Main brkt.)과 슬라이더 서포트

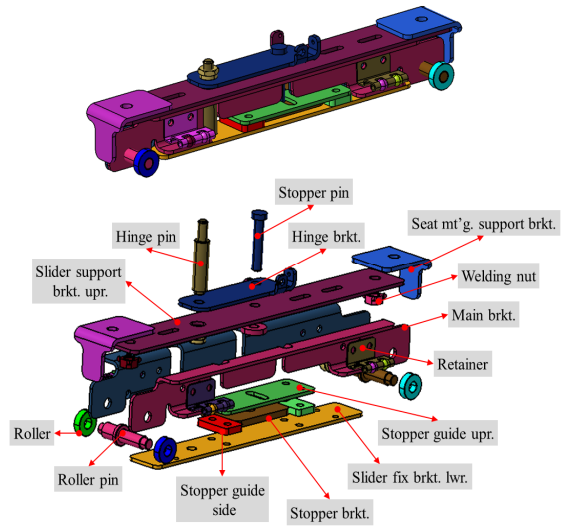


Fig. 2 Mock-up CAD of sliding & lock ass'y

브라켓 어퍼(Slider support brkt. upr.)를 통해 전체의 하중을 지지하는 구조로 구성되어 있다. 또한 시트 마운팅 서포트 브라켓(Seat Mt'g. support brkt.)을 시트 프레임 하단부의 레그 플레이트와 연결되게 된다. 롤러(Roller)와 롤러 핀(Roller pin)은 슬라이딩 작동을 원활하게 해주는 기능뿐만 아니라, 작용되는 하중에 대하여 스톱퍼 브라켓의 하중을 분산하는 구조로 설계되었다.

슬라이딩 고정장치는 판재를 절단 및 절곡을 통해 제작할 수 있도록 설계되었다. 슬라이딩 고정장치의 각 요소 부품에 대한 경량화 및 강도 확보를 위하여 최적화를 수행한 후 강도를 검토하여 설계에 대한 검증을 수행하였다.

3. 시트 기구부 최적화 및 강도 해석

가변형 시트의 해석은 슬라이딩 고정장치에 대한 요소 부품별 두께 최적화를 수행하고, 선정된 제원에 따라 모델링을 수행한 후 슬라이딩 고정장치의 강도 검토를 수행하였다. 또한, 백 프레임에 대한 강도를 검증하기 위하여 후방 모멘트 강도 해석을 수행하여 평가를 하였다.

Table 2 Material properties of part items

Ass'y	Part	Material name	Elastic modulus (GPa)	Strain at break (%)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)
Frame Ass'y	Back frame	STKM 11A	200	30~35	200	320
	Side plate	SS41	176	17	245	380
	Leg plate	SS41	176	17	245	380
	Main frame	Al 6061	69	17	276	320
Slide & lock ass'y	Hinge pin	S45C	205	20	343	569
	Stopper pin	S45C	205	20	343	569
	Hinge brkt.	S45C	205	20	343	569
	Slider support brkt. upr	S45C	205	20	343	569
	roller pin	S45C	205	20	343	569
	Stopper brkt.	S45C	205	20	343	569
	Stopper guide side	S45C	205	20	343	569
	Main brkt.	S45C	205	20	343	569
	Seat mt'g. support brkt.	S45C	205	20	343	569
	Slider fix brkt. lwr.	S45C	205	20	343	569
	Retainer	S45C	210	26	195	400
	Sliding rail	Al 6061	69	17	276	320

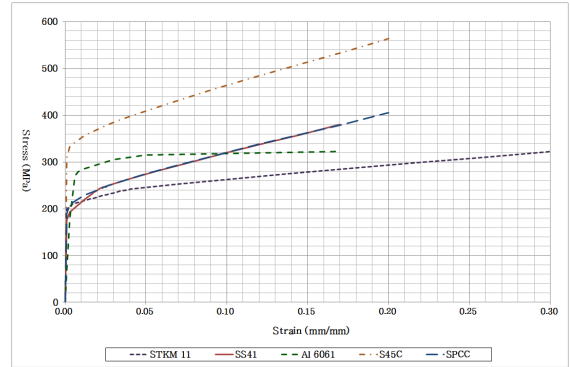


Fig. 3 Stress-strain curves of material

이후 전체 시트 시스템을 구성하고 FMVSS 210의 상용차 승객 시트에 대한 강도 규정에 대한 해석을 수행하고 설계 검증을 수행하였다.

설계에 사용된 각 요소 부품에 대한 재질은 Table 2에 나타나 있으며, Fig. 3에 재질별 진응력-변형률 선도(True stress-strain curve)를 보여주고 있다. 또한 백 프레임의 재질은 STKM 11A를 사용하였으며, 사이드 플레이트 및 레그 플레이트는 SS41 재질이 적용되었다. 메인 프레임과 슬라이딩 레일은 알루미늄 6061계열 압출재를 사용하였는데, 이는 향후 우등형 차량의 1인 승객 배열 및 45인승 일반형 시트에 대한 확장성을 고려하여 공용화 및 설치될 차종별 시트 배치 제원의 차이에 대하여 가변적으로 적용하기 위한 목적과 프레임의 경량화를 위해 선정되었다. 또한 슬라이딩 고정장치의 요소부품은 절곡 및 용접을 통해 가공 될 수 있도록 소재를 판재로 선정하여 설계되었으며 강도 특성을 고려하여 대부분의 재질을 S45C로 적용하였다.

3.1 시트 슬라이딩 기구부 두께 최적화

시트 기구부의 최적화를 수행하기 위하여 슬라이딩 고정장치의 주요 판재 및 슬라이딩 레일을 셸(Shell)요소로 모델링을 수행하고 시트 벨트 앵커리지 강도 기준에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 4는 슬라이딩 기구부에 대한 모델링 및 하중 조건을 보여주고 있다.

하중 조건은 슬라이딩 레일의 바닥면을 고정하고 슬라이딩 고정장치의 레그 플레이트 연결부에 대하여 상부

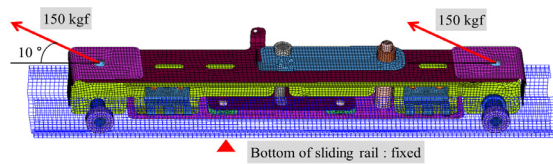


Fig. 4 FE model and load condition of sliding & lock ass'y for optimization

Table 3 Formulation of optimum design

Find	Thickness of slide & lock ass'y parts
Minimize	Total mass
Boundary	2.0 mm < parts thickness < 5.0 mm
Constraint	Max. stress of parts < yield strength Thickness of Stopper brkt. = Thickness of guides

10°각도로 300 kgf를 부여하게 된다. 이는 시트 벨트 앵커 리지의 강도 규정상 2인 시트의 경우 총 600 kgf가 부여되며, 슬라이딩 고정장치는 1개 세트당 300 kgf가 부여되게 된다. 이를 바탕으로 레그 플레이트 체결부 2지점에 각각 150 kgf를 부여하여 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 모델의 절점(Nodes)은 46,474개, 요소(Elements)는 39,606개가 사용되었다. 최적화를 위한 해석 조건은 Table 3에 나타나 있으며 해석을 위한 모델링은 Hypermesh v.2017⁸⁾로 수행되었으며 두께 최적화 해석은 Optistruct⁹⁾를 이용하여 수행하였다.

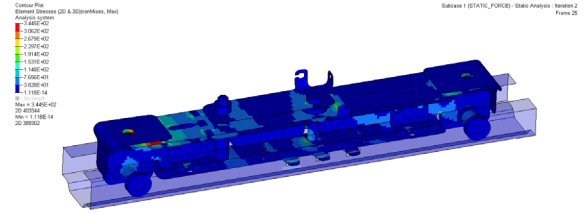
최적화 해석은 중량을 최소화하고 부여된 하중에 대하여 항복이 발생하지 않는 조건으로 수행되었다. 이는 FMVSS 210의 시트 벨트 앵커리지 강도 시험 기준이 부여된 하중에 대하여 대변형 또는 파단이 발생하지 않아야 하기 때문에 이를 고려한 보수적인 조건으로 각 부품들의 최대 응력이 항복강도를 넘지 않는 조건으로 정의하였다. 또한, 구조적으로 스톱퍼 브라켓과 스톱퍼 가이드 사이드의 두께는 동일하여야 하므로 두께가 같도록 구속조건을 부여하였다.

두께 최적화 해석 결과는 Fig. 5와 같이 나타났으며 각 요소 부품의 두께는 Table 4에 나타나 있다. Fig. 5(a)는 두께 최적화 결과에 대한 Von-Mises응력에 대한 결과로 슬라이드 서포트 브라켓에 가장 높은 응력인 344.5 MPa이 나타남을 볼 수 있었으며, 스톱퍼 브라켓과 스톱퍼 핀의 연결부에서 311.8 MPa이 나타났으며, 메인 프레임과 슬라이드 서포트 브라켓 어퍼의 연결부에서 293.3 MPa이 나타남을 알 수 있었다.

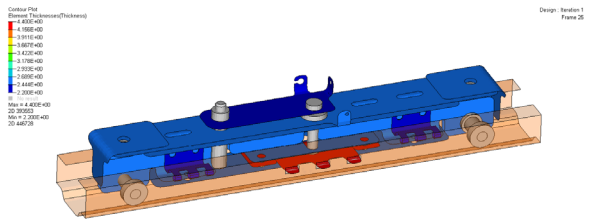
Table 4에서 볼 수 있듯이 하중이 가장 크게 작용하는 스톱퍼 브라켓과 슬라이더 픽스 브라켓 로워는 초기 설계에 비하여 두께가 증가함을 볼 수 있었으며, 다른 파트 부품의 경우 두께 감소가 나타난 것을 확인할 수 있었다. 또한 최초 설계에서 슬라이딩 고정장치의 무게는 2.14 kg

Table 4 Result of optimization

Part thickness (mm)	Hinge brkt.	Stopper brkt.	Slider support brkt. upr	Stopper guide side	Main brkt.	Seat mt'g. support brkt.	Slider fix brkt. lwr.	Retainer
Base design	3.00	4.00	3.00	4.00	3.50	3.00	2.00	2.00
Optimization result	2.20	4.41	2.57	4.41	2.52	2.54	2.51	2.00
Final design	2.20	5.00	2.60	5.00	2.60	2.60	2.60	2.20



(a) Von-Mises stress contour



(b) Thickness contour

Fig. 5 Analysis result of sliding & lock ass'y

이었으나 최적화 이후 1.43 kg으로 0.71 kg의 경량화가 수행되었다. 이러한 해석 결과를 바탕으로 제작을 위한 파트 부품별 최종 설계 두께를 선정하였다. 최종 선정된 두께를 반영한 시트기구부의 중량은 1.47 kg으로 나타났다.

3.2 시트 슬라이딩 기구부 강도 해석

시트 기구부의 최적화 해석 결과를 바탕으로 각각의 요소 부품에 대하여 Fig. 6과 같이 솔리드(Solid) 모델링을 수행하여 강도 해석을 수행하였다. 이는 고정장치의 요소 부품간 접촉이 다양한 면에서 나타나 쉘 요소 사용 시 모서리(Edge)간 접촉 발생의 가능성이 있으므로, 이로 인한 오차 영향을 최소화하기 위하여 상세 모델링이 수행되었다.

해석에 사용된 모델의 절점은 170,029개, 요소는 113,014개

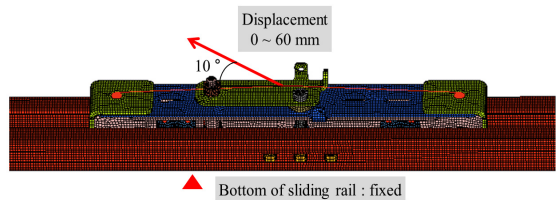


Fig. 6 FE model and load condition of sliding & lock ass'y for strength analysis

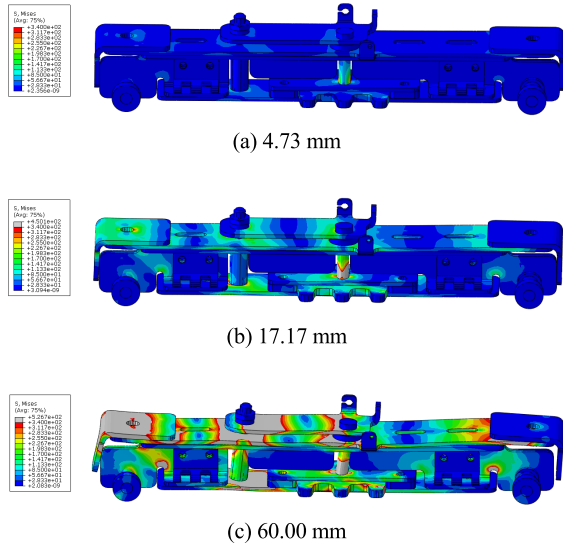


Fig. 7 Von-Mises stress contours of sliding & lock ass'y strength analysis

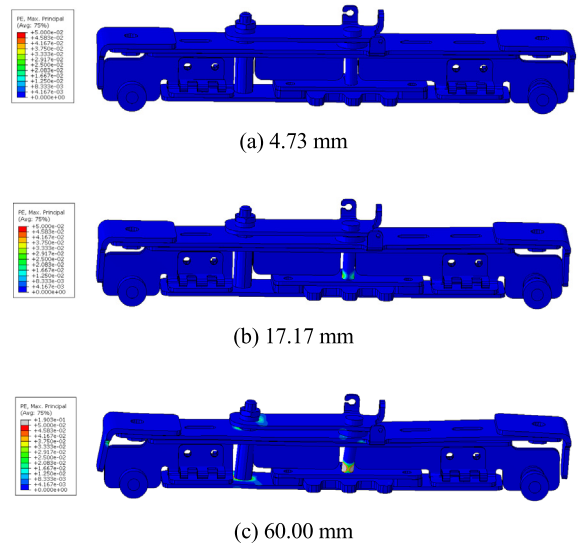


Fig. 8 Plastic strain contours of sliding & lock ass'y strength analysis

가 사용되었다. 강도 해석은 ABAQUS 2018¹⁰⁾을 사용하여 수행되었다. 강도 해석 조건은 레그 플레이트를 강체(Rigid)로 모델링 수행 후 강체 요소의 중간지점에 변위를 0 ~ 60 mm를 선형적으로 부여한 후 반력을 평가하였다. 해석시 재료 물성은 탄소성으로 정의되었으며 각 요소 부품간 접촉조건을 부여하여 수행되었다. Fig. 7은 변위에 따른 응력 분포를 보여주고 있다.

해석 결과 강체 변위 4.73 mm인 경우 최대응력은 스톱퍼 핀에서 311.7 MPa이 나타났으며, 슬라이더 픽스 브라켓 로워에서 힌지 핀과 접촉되는 지점에서 133.1 MPa이 나타났다. 강제 변위 17.17 mm에서는 스톱퍼 핀에서 최대응력이 450.1 MPa로 항복응력을 다소 상회하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 최적 두께 계산 결과와 마찬가지로 슬라이더 픽스 브라켓 로워에서 289.4 MPa이, 메인 브라켓에서 249.6 MPa이 계산되었다. 강제 변위 60.00 mm인 조건에서는 최대 응력은 스톱퍼 브라켓의 슬라이딩 레일과 접촉면에서 526.7 MPa이 나타났으며, 스톱퍼 핀에서 511.4 MPa이, 메인 브라켓에서 499.3 MPa이 발생하여 인장강도에 거의 근접하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 강도 해석 결과에 대한 소성변형률을 보여주고 있다. 강제 변위 4.73 mm인 소성변형은 나타나지 않았으며, 강제 변위 17.17 mm에서는 스톱퍼 핀에서 0.038 mm/mm의 최대 소성 변형률이 나타났다. 강제 변위 60.00 mm에서는 스톱퍼 핀에 0.190 mm/mm가 나타났으며, 슬라이더 픽스 브라켓 로워와 힌지 핀의 연결부에서 소성 변형률 0.730 mm/mm이 나타났다. 스톱퍼 핀은 재료의 최대 소성 변형률 한계인 0.200 mm/mm에 거의 근접하여 강제 변위 60 mm 이상의 하중부터 파단이 발생할 가능성

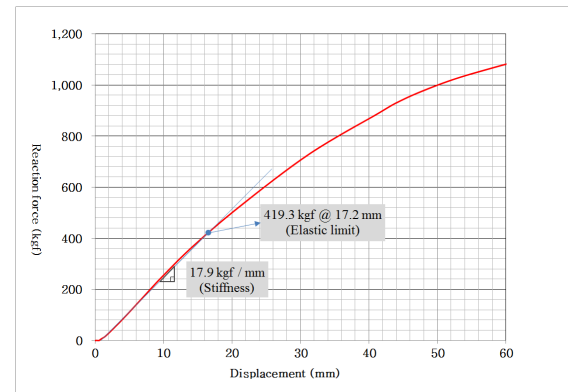


Fig. 9 Reaction force of sliding & lock ass'y strength analysis

이 있음을 판단할 수 있었다.

Fig. 9는 슬라이딩 고정장치에 대한 강도 해석 결과로 변위에 따른 반력에 대한 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 선형적으로 거동하는 구간은 변위 17.17 mm까지 나타나고 있는 것으로 보이며 반력으로 419.3 kgf가 나타남을 볼 수 있었으며, 하중에 대한 강성(Stiffness)은 17.9 kgf/mm가 나타남을 알 수 있었다. 이는 평가 기준인 시트 벨트 앵커리지 강도 300 kgf를 충분히 상회하고 있음을 알 수 있었으며, 약 1,080 kgf 까지 파단 없이 하중을 지지하고 있는 것을 알 수 있었으며, 슬라이딩 고정 장치의 설계는 충분한 구조건전성을 확보하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3 후방 모멘트 해석

후방 모멘트 해석을 위한 조건은 Fig. 10에 나타나 있다. 후방 모멘트 해석은 FMVSS 202 규정에 따라 사이드 플

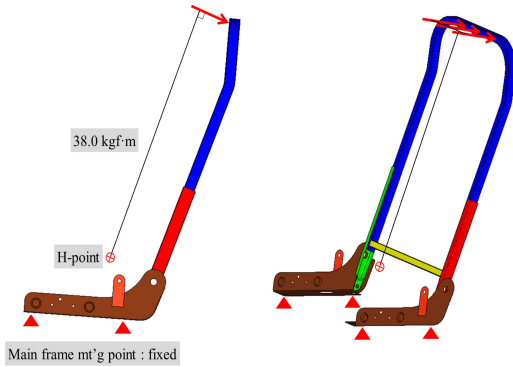


Fig. 10 Load & boundary condition of back moment analysis

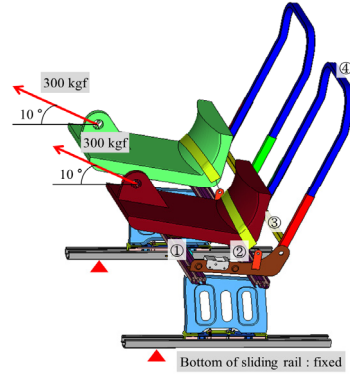


Fig. 12 Load & boundary condition of seat belt anchorage analysis

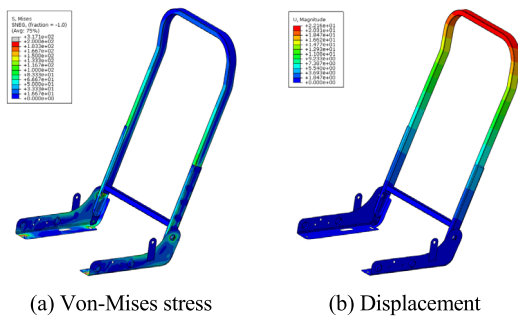


Fig. 11 Analysis results of back moment analysis

레이트의 메인 프레임 볼트 체결부의 변위를 구속하고 착석 기준점(H-point)을 기준으로 38.0 kgf·m의 모멘트 하중을 프레임 상단부에 부여하였다.

Fig. 11에서 볼 수 있듯이 최대응력은 사이드 플레이트의 메인 프레임 볼트 체결부에서 최대응력 317.1 MPa이 나타났으나 이는 재료의 과단응력인 380 MPa을 하회하고 있어 과단이 발생하지 않을 것으로 판단되었다. 또한, 백 프레임과 사이드 프레임 체결부에서는 최대 161.8 MPa이 나타났으며, 백 프레임에서는 98.4 MPa이 나타남을 알 수 있었다. 후방 모멘트에 대한 최대 변위는 백 프레임 상단부에서 22.16 mm가 발생함을 알 수 있었으며, 좌굴로 인한 과도 변형이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3.4 시트 벨트 앵커리지 해석

시트 벨트 앵커리지 해석은 슬라이딩 레일, 슬라이딩 고정장치 및 시트 프레임을 포함한 가변형 시트 전체 구조물에 대하여 해석 모델을 구성하여 수행되었다. 시트 벨트 앵커리지 해석 평가방법은 FMVSS 210 중 상용차 규정을 적용하였으며, 각 랩 블록(Lap block)에 300 kgf를 10°로 부여하였다. Fig. 12는 해석 모델 및 하중 조건을 보여주고 있다. 벨트는 멤브레인(Membrane) 요소를 사용하여

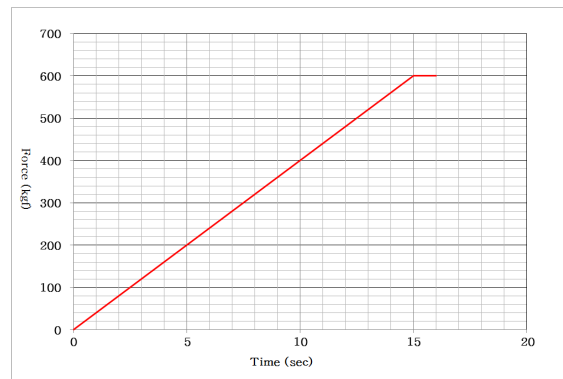


Fig. 13 Load curve for seat belt anchorage analysis

모델링을 수행하였으며, 해석을 위한 모델은 절점 428,223 개, 요소는 412,670 개가 사용되었다.

해석은 ABAQUS를 사용하였으며, 하중은 Fig. 13과 같이 600 kgf의 하중을 15 초 동안 서서히 증가시킨 후 1 초 동안 유지하는 조건으로 해석을 수행하였다. Fig. 14는 시트 벨트 앵커리지 해석 결과 중 16초에서의 응력 분포를 보여주고 있다.

해석 결과 최대 응력은 슬라이딩 고정장치의 상부 구조물인 슬라이딩 서포터 브라켓 어퍼의 스톱퍼 핀 접촉부에서 최대응력 348.5 MPa이 나타났으며, 스톱퍼 핀에서 322.7 MPa이 나타났다. 이는 재료의 과단응력인 569 MPa을 넘지 않으며 항복응력인 343 MPa과 동등한 수준으로 과단의 가능성은 높지 않을 것으로 판단되었다. 또한, 레그 플레이트는 하단부 슬라이딩 고정장치 체결부 모서리부에서 최대응력 321.9 MPa이 발생하였으며, 메인 프레임에서는 프레임과 벨트 체결부에서 최대응력 64.3 MPa, 백 프레임에서는 71.2 MPa이 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 15는 Fig.12에서 표시된 4개 지점의 시간에 따른 변위 거동을 보여주고 있다. 최대 변위는 ① 메인 프레임 프론트 중간 지점에서는 13.24 mm, ② 메인 프레임 리어

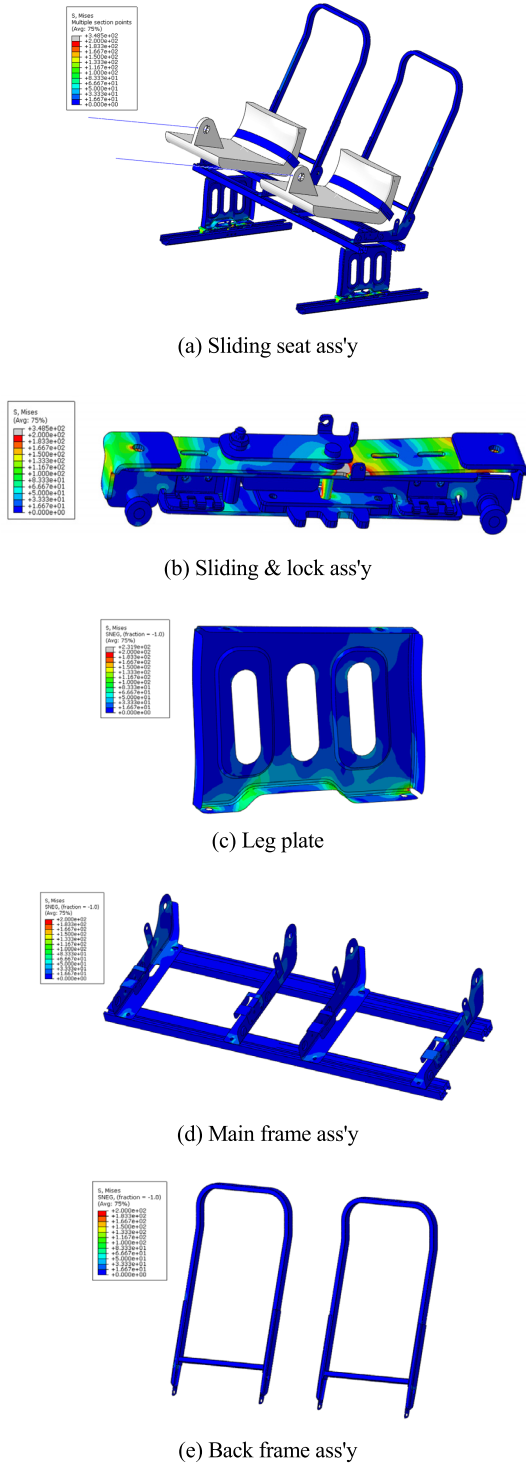


Fig. 14 Analysis results of seat belt anchorage analysis

중간 지점은 15.64 mm, ③ 백 스테이 중간 지점은 24.28 mm, ④ 백 프레임 상단 중간 지점에서는 53.64 mm가 나타났다. 그래프에서 볼 수 있듯이 시간별 하중에 대하여 좌굴 및 파단이 발생하지 않고 있는 것을 확인할 수 있었다.

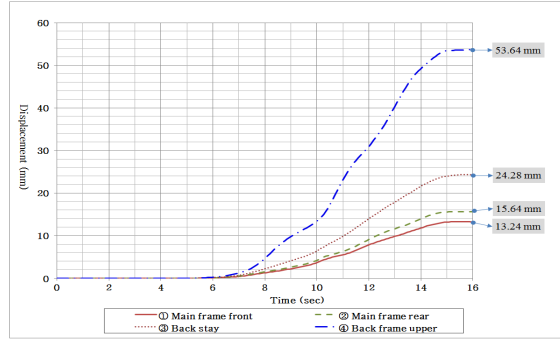


Fig. 15 Displacement history of seat belt anchorage analysis

4. 가변형 시트 검증 시험

설계 및 해석을 통해 개발된 고속버스용 가변형 승객 시트에 대하여 시트 벨트 앵커리지 강도 시험을 수행하였다. 시험 조건은 해석 조건과 동일하게 하중을 15 초간 점차적으로 300 kgf 이상으로 증가시킨 후 15초 이후 1초간 유지하였을 때 대변형 여부를 판단하게 된다. Fig. 16은 개발된 시트의 시험 전후에 대하여 보여주고 있는데 해석 결과와 유사하게 변형이 거의 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다. 또한, Fig. 17은 힘-시간 선도로부터 하중 부여 구간동안 하중감소가 없이 선형적으로 증가하고 있음을 확인하여 시트프레임에 파단이 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다.

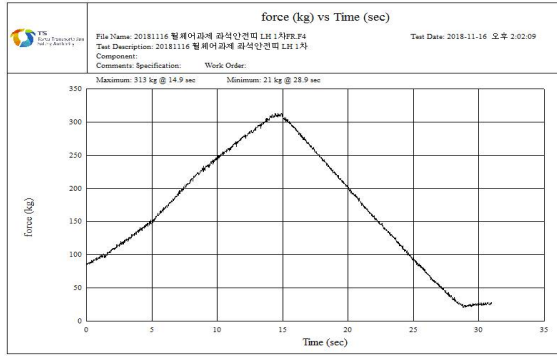


(a) Before test

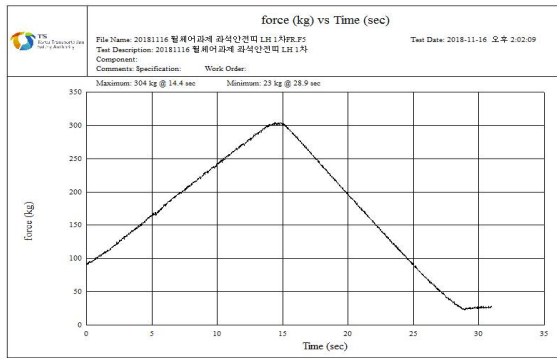


(b) After test

Fig. 16 Seat belt anchorage test of developed seat system



(a) Window side



(b) Aisle side

Fig. 17 Force graph of seat belt anchorage test for developed seat system

5. 결론

본 연구에서는 휠체어 사용자의 탑승 여부에 따라 일반 시트로 운용이 가능하고 안전성능을 확보한 가변형 승객 시트에 대해 FMVSS 202와 210 규정에 근거한 해석을 통해 슬라이딩 고정장치 기구부 요소들에 대한 두께 최적화를 수행하고 강도 해석을 수행한 후 시험을 통해 검증을 수행하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 교통 약자를 위한 휠체어 탑승 가능 버스의 개발을 위해 휠체어의 탑승여부에 따라 가변적으로 운용가능한 승객 시트의 개발을 위해 슬라이딩 고정장치를 포함한 승객 시트의 설계를 수행하였다.
- 2) 슬라이딩 고정장치에 대한 두께 최적화를 위하여 모델링을 수행하고 시트 벨트 앵커리지 시험 조건에 상응하는 하중조건을 부여하여 최적화를 수행하여 초기 설계 대비 0.71 kg의 경량 설계를 수행하고 제작가능한 두께를 선정하였다.
- 3) 슬라이딩 고정장치에 대한 상세 모델을 구성하고 시트 벨트 앵커리지 시험 조건과 유사한 하중조건을 부여하여 강도 해석을 수행한 결과 419.3 kg까지는 영구

변형이 발생하지 않아 충분한 구조 건전성을 확보하고 있음을 확인하였다. 또한, 해석 결과 슬라이딩 고정장치는 최대 1,080 kgf까지 파단이 일어나지 않는 것으로 나타났다. 이는 현행 2점식 시트 벨트 앵커리지 조건에서는 과도한 설계이나 향후 3점식 강화 범규에 대한 강도 확보 필요성에 의해 선정된 두께를 기반으로 개발을 수행하였다.

- 4) 백 프레임에 대한 후방 모멘트 해석 결과 최대 응력이 317.1 MPa로 해당 재질의 파단응력인 380 MPa이하로 나타나 파단 가능성은 높지 않은 것으로 평가되었으며 좌굴 등의 대변형은 발생하지 않아 프레임은 충분한 강도를 확보함을 알 수 있었다.
- 5) 가변형 승객 시트에 대하여 벨트 앵커리지 강도 해석을 수행한 결과 최대응력은 슬라이딩 고정장치에서 348.5 MPa이 나타났으나 재질의 파단 응력인 569 MPa 이하로 나타나 평가 규정을 충분히 만족하는 설계임을 확인하였다.
- 6) 개발된 시트 시제품에 대한 시트 벨트 강도 시험 결과 대변형 및 좌굴은 발생하지 않았으며 규정하중을 충분히 만족하고 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원이 지원한 ‘교통물류사업’의 지원을 받아 수행된 결과입니다[과제명 : 휠체어 탑승 고속/시외버스 개발].

References

- 1) K. C. An, “Aging and Characteristics of the Korean Population,” Korean Journal of Sociology, Vol.29, pp.717-732, 1995.
- 2) K. S. Kim, S. S. Kim, S. H. Kim and J. U. Cho, “Study on Structural Strength Analysis of Automotive Seat Frame,” Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol.14, No.1, pp.39-44, 2013.
- 3) C. S. Woo, H. J. Cho, J. S. Koo and J. D. Kwon, “A Study on the Durability Design of an Automotive Seat Frame,” Transactions of KSAE, Vol.12, No.4, pp.50-57, 2004.
- 4) M. S. Han and J. U. Cho, “Structural Strength Analysis on Recliner Case of Automotive Seat,” Transactions of KSAE, Vol.22, No.4, pp.82-88, 2014.
- 5) H. W. Woo, S. B. Lee, S. B. Kim and H. Y. Kim, “A Study on the Development of Aluminum Seat Frame for Commercial Bus,” Transactions of KSAE, Vol. 12, No.3, pp.91-100, 2004.
- 6) Seat Belt Assembly Anchorage Test, FMVSS No.210,

- NHTSA USA, 2003.
- 7) Head Restraints for Passenger Vehicle, FMVSS No. 202, NHTSA USA, 2003.
 - 8) HyperWorks Manual, Version 2017, Altair Inc., 2017.
 - 9) Optistruct User Manual, Version 2017, Altair Inc., 2017.
 - 10) ABAQUS Manual, Version 2018, Dassault System Inc., 2018.