

탄소복합재 부품 파티션패널의 구조 강성/강도 신뢰성 평가에 관한 연구

이재진*, 문지훈*, 윤원호*, 강다경*, 안민수**, 노형진***, 강지현****, 이재욱****.#

*경북하이브리드부품연구원, ** (주)신영, ***삼양사, ****한국생산기술연구원

Study on Structural Reliability Assessment of a Partition Panel Made of a CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)

Jaejin Lee*, Jihun Mun*, Wonho Yoon*, Dakyung Kang*, Minsu Ahn**, Hyungjin Roh***, Jiheon Kang****, Jaewook Lee****.#

*GyeongBuk Hybrid Technology Institute, **Shinyoung, ***Samyang Corp., ****Korea Institute of Industrial Technology

(Received 16 July 2019; received in revised form 5 August 2019; accepted 30 August 2019)

ABSTRACT

In the case of a partition panel for a vehicle, it is used as a vehicle chassis component that serves to distinguish the indoor and outdoor spaces of a vehicle and is mounted on a backrest portion of the vehicle's back seat to ensure the convenience of passengers by connecting the floor and the side of the vehicle. Because it is a relatively large-sized plate material among automobile chassis parts except the moving parts and non-ferrous materials can be applied, it is considered as a part having a large light-weight effect. However, the partition panel is one of the vehicle parts that must satisfy the light-weight effect as well as various structural reliability, such as torsional rigidity, vibration, and impact characteristics, for securing the running stability of the vehicle when driving at the same time. So, In this study, the possibility of replacing the aluminum partition panel as CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) partition panel is evaluated through comparing the two partition panels by using the structural reliability(stiffness/strength analysis), vibration analysis, impact analysis.

Key Words : Al Partition Panel(알루미늄 파티션 패널), CFRP Partition Panel(탄소섬유 강화플라스틱 파티션 패널), Structural Reliability Assessment(구조 신뢰성 평가), Light-weight Effect(경량화 효과)

1. 서 론

최근 완성차 업체를 중심으로 자동차 경량화를 실현하기 위해 그 효과가 가장 큰 소재의 경량화에 대한 연구 및 적용 사례가 급속히 증가하고 있다¹⁻³⁾.

2025년까지 기존 일반 강판의 적용 비중은 큰 폭으로 감소할 것으로 예상되고, 이를 점차 고강도강판 및 비철금속계열 알루미늄합금, 마그네슘합금과 합성수지계열 엔지니어링플라스틱, 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)으로 대체될 것으로 보이며, 소재 변화에 따라서 비철금속과 합성수지는 경합의 관계를 형성하면서 상호 발전할 것으로 전망된다.

Fig. 1에서 보인 차량용 파티션 판넬(Partition Panel)의 경우, 차량의 실내의 공간을 구분하는 역

Corresponding Author : jaewk@kitech.re.kr
Tel: +82-53-580-0186, Fax: +82-53-580-0130

할을 하고 뒷좌석 등받이 부분에 장착되어 차량의 바닥과 측면을 연결하여 승객의 편의성을 보장하는 차체 구성 부품으로 무빙 파트(Moving Part)를 제외하고는 자동차의 차체 부품 중 비교적 대면적 판재이고 비철소재를 적용 가능함에 따라 경량화 효과가 우수하다고 판단되는 부품이다. 하지만 경량화와 동시에 주행 시 차량의 주행안정성 확보를 위한 좌우 비틀림 강성 및 진동, 충격 특성 등 다양한 구조적인 신뢰성을 만족시켜야 한다. 기존의 파티션 패널의 경우, 일반 강판을 대체하기 위해 경량 소재인 알루미늄 및 마그네슘 소재를 단순 적용하

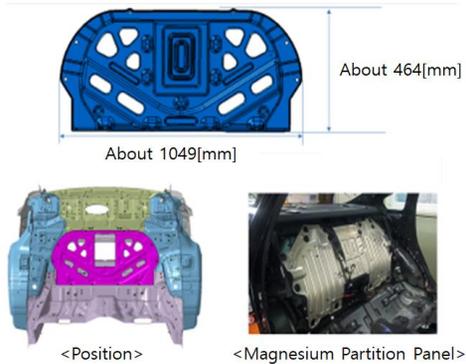


Fig. 1 Partition panel for automotive vehicles

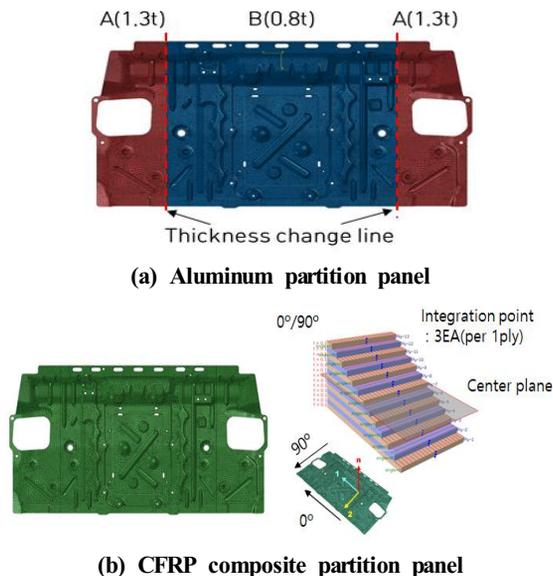


Fig. 2 Analysis model for two partition panels

Table 1 Mechanical properties of partition panels

Properties	CFRP	Al
Axial modulus [E_1]	57.1 GPa	72.0 GPa
Transverse modulus [E_2]	57.1 GPa	-
Shear modulus [G_{12}]	4.5 GPa	-
Shear modulus [G_{13}]	4.0 GPa	-
Shear modulus [G_{23}]	4.0 GPa	-
Poisson ratio [ν_{12}]	0.05	0.33
Density [ρ]	1.76 g/cm ³	2.6 g/cm ³
Axial tensile strength [X^t]	744.0 MPa	262 MPa
Axial Comp. strength [X^c]	889 MPa	-
Transverse tensile strength [Y^t]	744.0 MPa	262 MPa
Transverse Comp. strength [Y^c]	889 MPa	-
In-plane shear strength [S]	120 MPa	-

는 방식으로 연구되어왔지만, 이는 경량화 한계가 명확히 존재한다. 이에 본 연구에서는 기존의 알루미늄 파티션 패널을 탄소섬유강화 플라스틱으로의 소재 변경 가능성을 검토하기 위해 구조 강성/강도 해석, 진동해석, 충격해석 등을 수행⁴⁻⁶⁾하여 알루미늄 패널 대비 제안된 탄소섬유강화 플라스틱 파티션 패널의 구조적 안정성을 평가하였다.

2. 파티션패널의 구조신뢰성해석

2.1 파티션패널 해석모델

Fig. 2에 본 연구에 사용된 파티션패널의 유한요소모델을 나타내었으며, Table 1에 알루미늄과 CFRP 파티션패널의 기계적 물성에 관해 정리하였다. Fig. 2(a)에 보인 알루미늄 파티션 패널의 경우, 경량화를 목적으로 좌, 우측의 지지부의 경우, 1.3t의 평판을 사용하고 중앙부에는 0.8t를 적용하였으며, Fig. 2(b)에 보인 CFRP의 경우, 0.1t의 UD(Uni-direction) 평판을 13장 적층한 판재로 본 연구에서는 다양한 해석적인 기법을 활용하여 알루미늄 대비 CFRP 파티션 패널의 구조적 신뢰성 수준을 검토하여 적용 가능성 여부를 평가하려고 한다.

2.2 차체 비틀림 신뢰성 검토

우선 첫 번째로 Fig. 3과 같이 주행 시 발생하는 차체 비틀림에 대한 파티션 패널의 강성, 강도 특성을 평가하였다. 차체에 연결되는 부분 6점을 고정하고 차체의 좌우 비틀림을 구현하기 위해 상하 좌우 4지점의 강제 변위를 그림과 같이 4mm씩 인가하였으며 그 결과를 Fig. 4-5와 Table 2와 같이 나타내었다. 알루미늄 대비 CFRP 파티션 패널의 경우, 강성은 74% 수준으로 나타났으나 중량 대비 강성은 2.4배 수준으로 경량화 효율이 매우 높은 것으로 판단된다. 강도의 경우에도 알루미늄 파티션 패널은 국부적으로 항복 이상의 응력인 182.4MPa가 발생할 것으로 예상되나, CFRP 파티션 패널은 ply층의 결과를 정확히 확인하기 위해 각 ply층에서 발생하는 응력 중 가장 큰 응력을 나타내었지만 108.8MPa의 최대응력이 발생할 것으로 예측되어 강도상 안전할 것으로 판단된다.

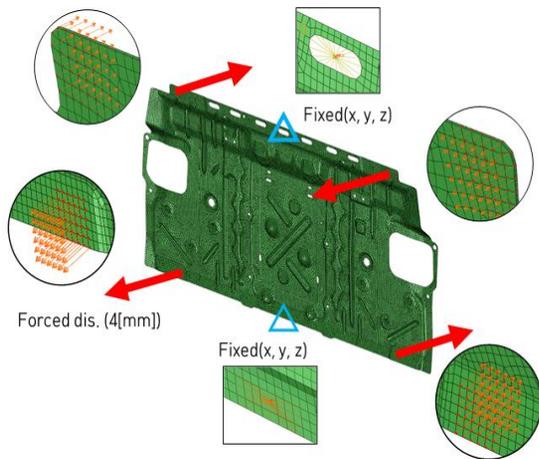
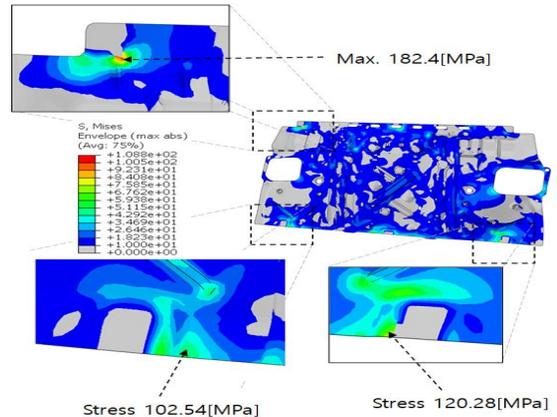


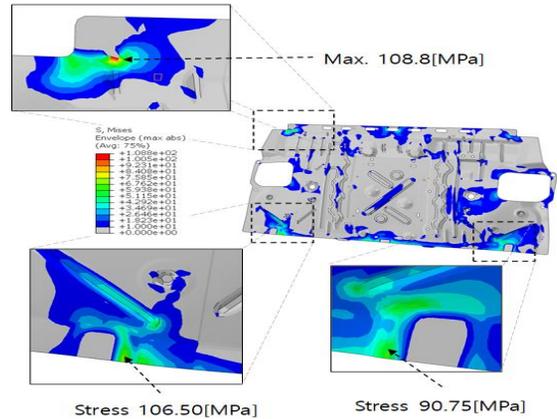
Fig. 3 Boundary conditions of lateral torsion mode

Table 2 Torsion mode results of partition panels

	Strength [MPa]	Stiffness [N/mm]	Weight [kg]	Stiffness per weight [N/mm/kg]
Al	182.4	25.9	4.20	6.17
CFRP	108.8	19.1	1.27	15.04



(a) Al partition panel



(b) CFRP partition panel

Fig. 4 Stress contour under lateral torsion

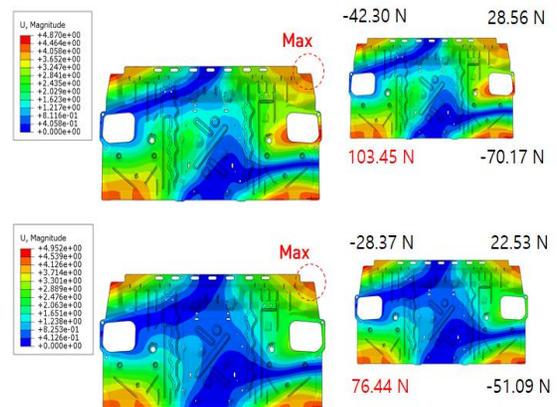


Fig. 5 Displacement contour under lateral torsion

CFRP 복합재 패널의 경우, 섬유 적층 각도에 따른 결과가 상이하다⁷⁻⁹⁾. 그러므로 Fig. 4에 나타난 $[0^\circ/90^\circ]_8$ 와 달리 $[\mp 45^\circ]_8$ 의 적층에 대해서도 동일한 비틀림 평가를 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 6과 Table 3에 보였다. 45도 방향으로 적층한 경우, 90도 교차 적층에 비해 강성은 7.3% 떨어지나 강도는 13.3% 증가할 것으로 판단된다.

2.3 3점 굽힘하중에 대한 신뢰성검토

파티션 패널의 경우, 차량의 트렁크와 승객석을 구분하는 차량 부품으로 승객석 혹은 트렁크에서 발생하는 굽힘 하중에 대한 지지 정도의 파악이 중요하다. 이에 본 절에서는 Fig. 6과 같이 중앙 부위의 강체 봉에 대한 3점 굽힘해석을 수행하였다. 해석을 위한 경계조건은 Fig. 7과 같고, 그 결과를 Fig. 8~9에 나타내었다.

3점 굽힘 하중에 대한 강성 결과는 CFRP 파티션 패널이 6.7% 정도 높을 것으로 판단되며, 이를 앞서 설명한 바와 같이 중량 대비 강성으로 변경하면 3.5배 이상으로 높은 경량화 효과를 나타내었으며, 알루미늄 파티션 패널의 대체 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

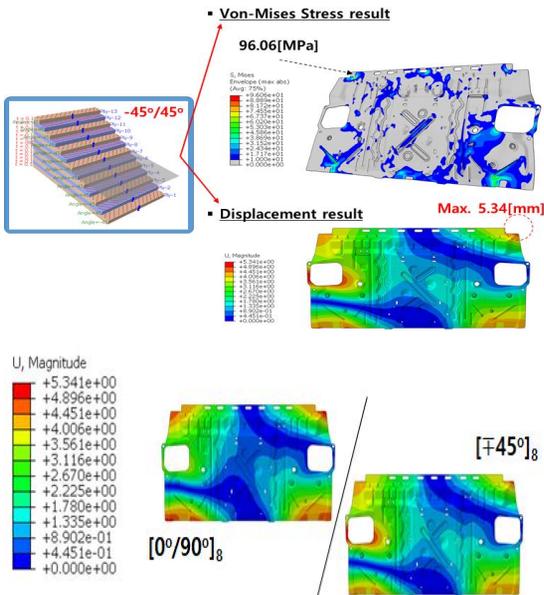


Fig. 6 Torional results according to the stack angles

Table 3 Torsion mode results according to the fiber stack angles

	Max. Stress	Max. Disp.
$[0^\circ/90^\circ]_8$	108.8 MPa	4.95 mm
$[\mp 45^\circ]_8$	96.06 MPa	5.34 mm

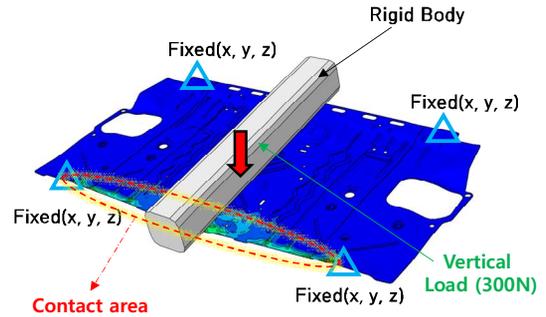


Fig. 7 Boundary conditions of 3P bending analysis

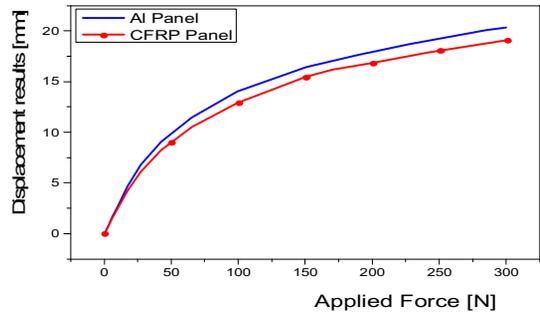


Fig. 8 Force vs Displacement plot under 3P bending

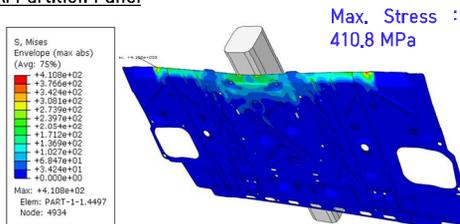
2.4 동적 모드 신뢰성 검토

앞서 설명한 바와 같이, 차량용 파티션 패널의 경우, 차체를 이루는 부품 중 비교적 대면적인 부품으로 파티션 패널의 굽힘 진동이 차체 전체 진동에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 본 절에서는 알루미늄 대비 CFRP 파티션 패널의 진동 특성에 대해 검토해 보았다. Fig. 11과 12에서 판단할 수 있는 바와 같이, 전반적으로 동일한 모드 대비 CFRP의 고유진동수가 높게 나타났지만 Fig. 10의 가진점(attack point)에 대한 입력점(point 3) 및 전달점

(point 1)에서의 동강성은 유사하거나 조금 낮게 나타났다.

이는 CFRP 파티션 패널의 굽힘 동강성 저하보다는 질량 절감의 효과가 높아 이에 따른 고유진동수가 상승한 것으로 판단되며, 15~35Hz의 저주파 영역에서는 진동 전달률이 낮고 응답이 낮아 차체의 떨림에 대한 파티션 패널의 전달 기여도가 낮을 것으로 판단된다.

▪ Al Partition Panel



▪ Composite Partition Panel

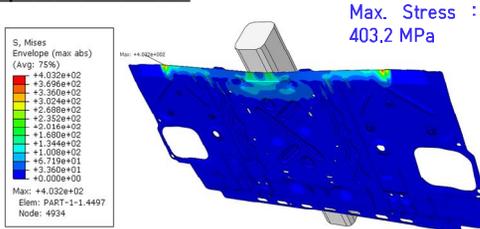


Fig. 9 Stress contour under 3 point bending load

Table 4 3 Point bending results of partition panels

	Deform. [mm]	Stiffness [N/mm]	Weight [kg]	Stiffness per weight [N/mm/kg]
Al	20.35	14.74	4.20	3.51
CFRP	19.05	15.72	1.27	12.34

Table 5 Normal mode analysis results

	Mode1	Mode2	Mode3	Mode4
AL	19.49	24.25	26.00	27.50
CFRP	29.79	50.56	42.64	43.68

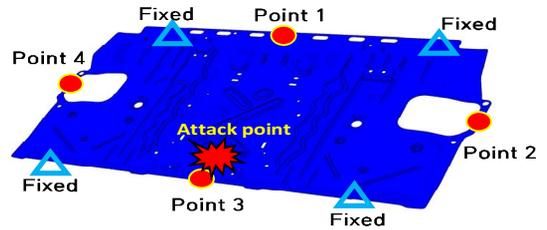
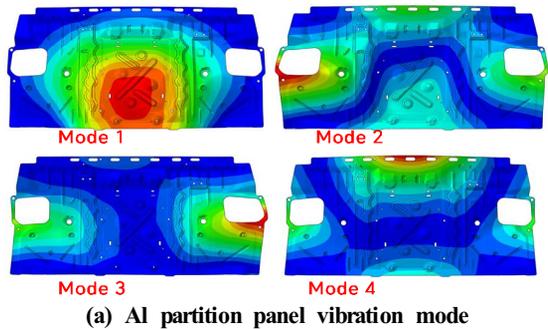
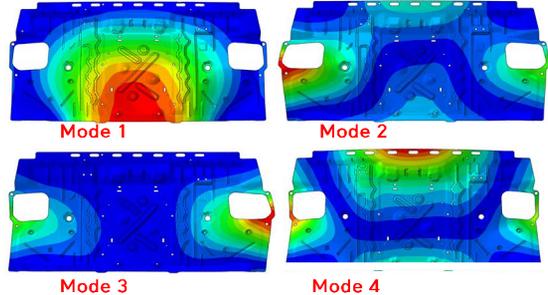


Fig. 10 Boundary conditions for vibration analysis



(a) Al partition panel vibration mode



(b) CFRP composite partition panel vibration mode

Fig. 11 Vibration analysis results

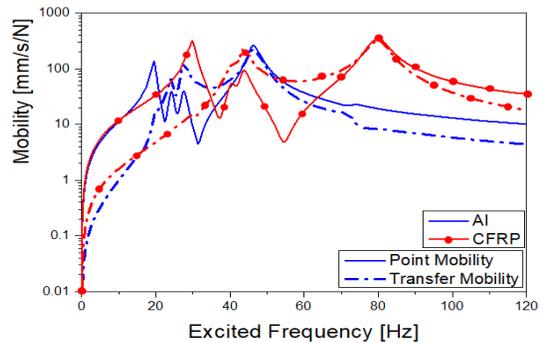


Fig. 12 Frequency response analysis results

2.5 충돌 신뢰성 검토

마지막으로 앞서 2.3절에서 수행한 3점 굽힘 하중에 대한 신뢰성 판단과 유사하게 제동 시 트렁크의 물건에 의해 파티션 패널이 충격을 받았을 경우에 대한 충돌 신뢰성을 검토하였다. 이를 위한 경계조건은 Fig. 13과 같고, 그 결과를 Fig. 14~16에 나타내었다. 강체 구를 5m/s의 속도로 패널의 중심부에 충돌시켰을 때, 두 파티션 패널의 강성 차이로 인해 강체의 구의 리바운드 시점이 알루미늄이 1.255msec, CFRP가 1.5msec로 나타났으며, 충격에 의한 응력분포는 상대적인 연성재인 알루미늄은 고무 퍼지는 형태를 보이는데 반해 CFRP는 충격 지점에 국한되는 형태를 보였다.

Fig. 15~16에서 확인할 수 있는 바와 같이, CFRP 파티션 패널의 경우, 구의 충격에너지를 패널의 변형에너지로 대부분 흡수하고, 리바운드 후 강체 구의 속도를 회복시켜 차체로 전달되는 충격하중을 줄여주는데 비해 알루미늄 파티션 패널의 경우에는 변형에너지량이 CFRP의 33% 수준으로 리바운드 후 강체구의 운동에너지량이 CFRP의 24% 수준으로 대부분의 충격에너지가 차체에 그대로 전달되는 것을 확인할 수 있다. 이는 강체 충격에 있어서도 알루미늄 파티션 패널의 대체 가능성이 매우 높음을 알 수 있다.

3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 기존 알루미늄 파티션 패널을 탄소섬유강화 플라스틱으로 소재 변경 가능성을 검토하기 위해 구조 강성/강도해석, 진동해석, 충격해석 등을 수행하였다.

비틀림 해석과 3점 굽힘해석을 통해, 알루미늄 파티션 패널 중량 대비 강성이 2.4~3.5배 정도로 경량화 효율이 매우 높음을 검토하였고, 두 경우 모두 강도상 이상이 없어 기존의 알루미늄 파티션 패널의 대체가 가능하다고 판단하였다.

그리고 동적 모드 신뢰성의 검증을 위해 파티션 패널의 진동해석을 수행하였으며, CFRP 파티션 패널의 굽힘 동강성 저하보다는 질량 절감의 효과가 높아 이에 따른 고유진동수가 상승한다는 결과를

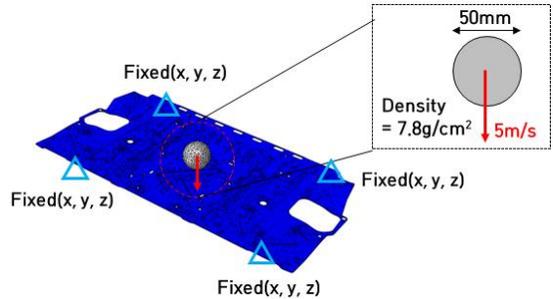


Fig. 13 Boundary conditions for impact analysis

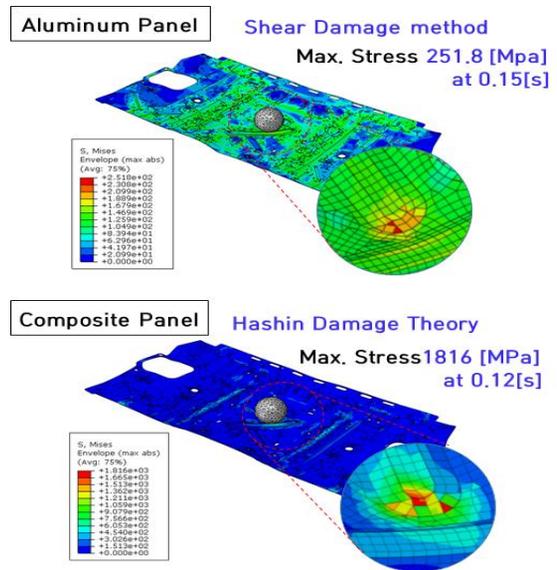


Fig. 14 Boundary conditions for impact analysis

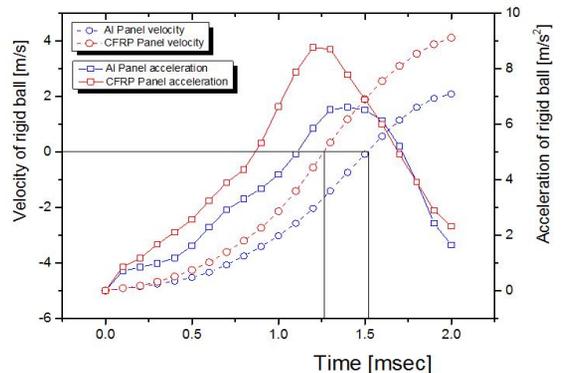


Fig. 15 Vel. & Acc. curves of the rigid ball

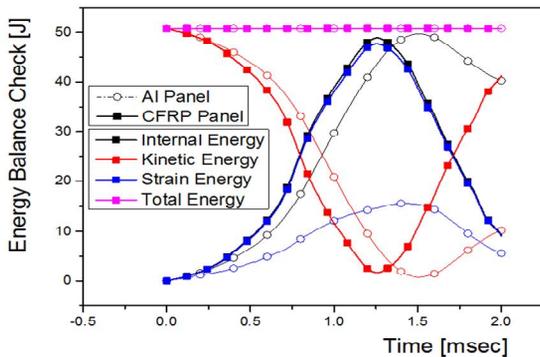


Fig. 16 Energy analysis of impact analysis

보였으며, 15~35Hz의 저주파 영역에서는 진동 전달률이 낮고 응답이 낮아 차체의 떨림에 대한 파티션패널의 전달 기여도가 낮을 것으로 판단하였다.

마지막으로 강체 구에 의한 충돌 신뢰성을 검증하였고 이를 통해 CFRP 파티션 패널의 충격흡수성이 더 높음을 보였다. 이러한 다양한 해석적 검토를 통해 본 연구에서는 기존 알루미늄으로 제작되는 파티션 패널을 충분히 CFRP 파티션 패널로 대체 가능할 것으로 판단하였다.

후 기

이 연구는 2018년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (10083606)과 한국생산기술연구원의 연구지원이 있었습니다. 이에 감사의 인사를 전합니다.

REFERENCES

1. Wu, C., Gao, Y., Fang, J., Lund, E., & Li, Q., "Discrete topology optimization of ply orientation for a carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminate vehicle door", *Materials & Design*, Vol. 128, pp. 9-19, 2017.
2. Suzuki, T., Takahashi, J., "LCA of Lightweight Vehicles by using CFRP for Mass-Produced Vehicles (03DD)", *International conference on composite materials, ICCM-15*, pp. 133-134, 2005.
3. Shin, Y. J., Jeung, H. K., Park, S. W., Park, D. W., Park, Y., Jung, J. W., "Fabrication and Characterization of Carbon Long-Fiber Thermoplastic Composites using the LFT-D System", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 16, No. 5, pp. 25-30, 2017.
4. Wang, G. D., Melly, S. K., "Three-dimensional finite element modeling of drilling CFRP composites using Abaqus/CAE: a review", *International journal of advanced manufacturing technology*, Vol. 94, No.1, pp. 599-614, 2018.
5. Kim, J. H., Bang, J. M., Kim, J. H., "The Study of Simulation Dynamic Behavior of CFRP Structural Members", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 35, No. 5, pp. 561-565, 2011.
6. Na, H. J., Chun, J. S., Cho, K., S., "Development of CFRP Tubes for the Light-Weight Propeller Shaft of 4WD SUV Vehicles", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 17, No. 4, pp. 32-38, 2018.
7. Cho, G. J., Lee, S. C., Jeong, S. T., "Evaluation on the Static Test of CFRP Composites with Respect to Stacking Sequence", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, pp. 284-289, 2007.
8. Lee, M. S., Kang, C. G., "Determination of forming procedure by numerical analysis and investigation of mechanical properties of steel/CFRP hybrid composites with complicated shapes", *Composite structures*, Vol. 164, pp. 118-129, 2017.
9. Yeo, I. G., Choi, J. H., Yang, I. Y., "Dynamic Characteristics of CFRP Structure Member According to Change the Stacking Angle and Shape", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 22, No. 3, pp. 388-393, 2013.