

위상 및 형상 최적화기법에 의한 샤시부품의 국부동강성 및 경량화 효과

박정훈^{*,***}, 전승태^{*}, 이태진^{**}, 강정대^{**}, 강명창^{***,#}

^{*}(주)체시스, ^{**}옵티스엔지니어링, ^{***}부산대학교 융합학부

Effect on Drive Point Dynamic Stiffness and Lightweight Chassis Component by using Topology and Topography Optimization

Jeong-hun Park^{*,***}, Seung-tae Jeon^{*}, Tae-jin Lee^{**}, Jeong-dae Kang^{**}, Myung-Chang Kang^{***,#}

^{*}CHASYS CO., LTD, 528, Iryeon-ro, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, Korea

^{**}OPTIS Engineering, 13-13, Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, Korea

^{***}Graduate school of convergence science, Pusan National University, Pusan 46241, Korea

(Received 24 March 2018; received in revised form 13 May 2018; accepted 21 May 2018)

ABSTRACT

Recently, interest in customers has shifted to the emotional quality of customers as the driving, handling, and collision stability of automobiles have been greatly improved. The NVH performance of a vehicle is quantified and evaluated from the DPDS. To improve the DPDS, we need to optimize the shape without considering the increases in thickness of the parts or additions to the parts. And at the same time, we need to establish design and analysis processes to satisfy the requirements of the DPDS.

Key Words : Chassis Component(샤시부품), Topology Optimization(위상최적화), Topography Optimization(형상 최적화), Dynamic Stiffness Analysis(동강성 해석), Lightweight(경량화), Frequency Response Analysis (주파수 응답해석)

1. 서 론

차량의 구매 고객은 차량의 성능에 대해 각종 지표와 수치적인 결과를 비교할 수 있으며, 안정성에 대해서도 미국고속도로 안전보험협회(IIHS, The Insurance Institute for Highway Safety), 유럽 신차평가제도(Euro NCAP, European New Car

Assessment Program), 한국안전도평가(KNCAP, Korea New Car Assessment Program)등을 통해 확인이 가능하다. 이는 차량 제조사의 차량의 성능 및 안정성 목표를 핵심사항으로 개발하고 있으며, 최근 성능 및 안정성이 크게 향상되면서 고객은 진동, 소음 같은 청각과 촉각을 자극하는 감성 품질에 관심이 옮겨 가고 있다. 차량의 성능과 안정성을 만족하면서 감성 품질이 높은 차량 개발이 필요하다.^[1-2]

Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2361, Fax: +82-51-510-7396

차량 운행시 발생하는 소음은 주로 500Hz이하 영역의 소음으로 차체의 구조 전달 소음이 지배적이다. 0~250Hz의 중저주파수 대역은 타이어에 입력된 가진이 샤시부품의 결합부위에서 차체를 가진하여 발생하는 구조에 기인하는 소음(Structure Borne Noise)이다.^[1-2] 샤시부품은 차체와 서스펜션, 타이어에 연결되어 차량의 중량을 지지하고 노면의 진동을 흡수하는 기능을 하고 있으며, 이와 관련된 성능을 평가하기 위해 정강성, 피로내구, 충돌해석 등의 방법으로 평가되고 있다.^[3,4]

최근 이러한 구조성능 이외에 감성 품질 개선을 위해 샤시부품의 소음진동정도(Noise Vibration Harshness, NVH)는 국부동강성(Drive Point Dynamic Stiffness, DPDS)으로 정량화하여 평가된다. 샤시부품의 DPDS 개선을 위해 부품의 두께 증가 또는 매스 댐퍼(Mass Damper) 추가 등으로 쉽게 개선이 가능하나 이는 중량 증가로 인한 연비 손실, 부품 증가에 따른 경쟁력 저하로 이어지므로 중량 및 부품 증가없이 DPDS 성능을 만족하는 샤시부품 개발이 요구된다.^[5-6] 이러한 요구사항을 충족하기 위해 여러가지 형상에 대한 반복적인 설계 및 해석 작업이^[7,8] 필요하기 때문에 많은 시간과 비용 및 인적자원이 소요된다.

따라서 본 연구에서는 위와 같은 문제를 해결하기 위해 자동차 샤시부품인 리어 주행 모듈(Rear Driven Module, RDM)부품에 위상(Topology) 및 형상(Topography) 최적화 기법을 이용하였다. 이를 통해 부품 개발 시간을 단축하고 중량 및 부품 추가없이 국부동강성에서의 목표 설정값을 만족하고, 경량화의 효과를 제시하고자 한다.

2. 국부동강성 해석

2.1 국부동강성 해석 모델

DPDS 해석은 샤시 부품 조립부의 국부적인 강성값을 평가하는 해석으로 차량 운행시 발생하는 진동 소음 감소를 위한 샤시부품의 DPDS 성능 확보를 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 AWD CTBA(All Wheel Drive Coupled Torsion Beam Axle)에 조립되는 샤시부품인 RDM을 선정하였다.

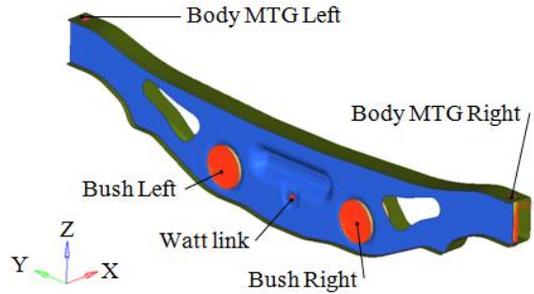


Fig. 1 Rear drive module 1st design & Frequency response function load position

차량의 Package를 고려한 최외각 형상을 Unigraphics NX를 이용하여 3D 모델링후 Altair사의 Hypermesh를 통해 2D Element로 유한요소모델(Finite Element Model, FE-Model)하여 Fig. 1과 같이 최초 설계사양을 구성하였다.

DPDS 해석을 수행하기 위해 BIW(Body In White)의 FE-Model을 이용할 수 있으나 본 해석에서는 부분 구조 합성법(Component Mode Synthesis, CMS) 방법을 통해 강성값과 중량값을 행렬로 구성하여 BIW를 슈퍼요소(Superelement, SE)^[9]로 RDM FE-Model의 Node Point를 공유하여 구성하였다. Bush Left/Right, Watts Link 3개 Node Point에 차량 전후(X), 좌우(Y), 상하(Z) 각 방향에 대하여 1 KN의 단위 하중을 0~562 Hz 주파수 영역에서 가진하였다.

2.2 국부동강성 해석 결과

DPDS의 해석 조건은 본 연구에서는 상용해석 프로그램인 Altair사의 Optistruct (Ver.13)를 이용하여 DPDS 해석을 수행하였다.^[10-12]

DPDS 평가 방법은 가진점에서의 속도(Velocity)를 구하여 1/3 옥타브밴드(Octave Bend)를 이용하였다. DPDS 해석시 AMSES(Automatic Multi level Sub-structuring Eigensolver Solution)을 사용하였으며 Table 1과 Fig. 2와 같이 기존의 해석 방법인 Lanczos eigensolver 대비 약 8배 이상 해석 시간(Elapsed time)이 빠르고 그 결과도 유사함을 확인하였다. 이는 DPDS 최적화 해석시 여러번의 반복 해석 수행시 시간을 획기적으로 단축하였다.^[10-13]

Table 1 Result comparison of Lanczos and AMSES

| Point | Bush Left | | | Bush Right | | |
|---------------------------------------|-----------|------|------|------------|------|------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1/3 Octave Stiffness (KN/mm) | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | -0.2 |
| | 0 | 0.1 | -0.4 | 0 | -0.1 | 0.4 |
| | 0 | 0 | -0.2 | 0 | 0 | 0.2 |
| | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0 | -0.1 |
| | 0.1 | -0.6 | 0 | -0.1 | 0.6 | 0 |
| | 0 | 0.3 | 0.3 | 0 | -0.3 | -0.3 |
| | 0 | 0.2 | -0.1 | 0 | -0.2 | 0.1 |
| | -0.5 | 0.2 | -0.3 | 0.6 | -0.2 | 0.3 |
| | 0.7 | -0.8 | -0.2 | -0.9 | 0.7 | 0.3 |
| | 0.1 | -0.2 | 0.1 | -0.2 | 0.3 | 0 |
| 0 | -0.2 | -0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | |

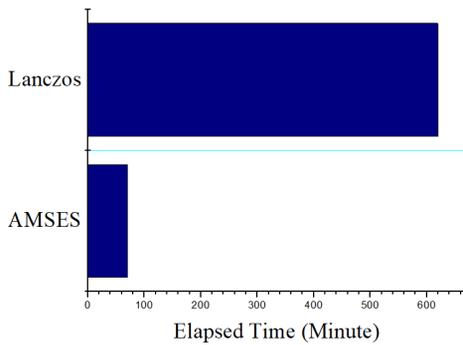
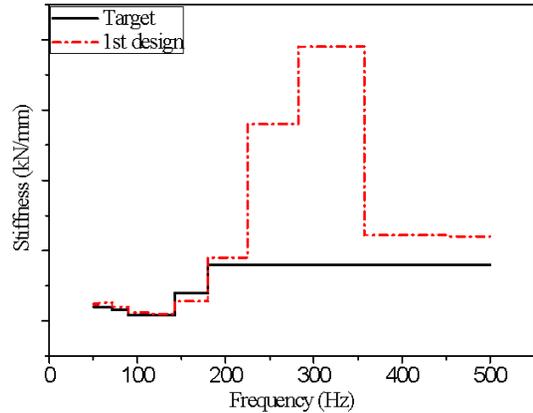


Fig. 2 Elapsed time comparison of Lanczos and AMSES method

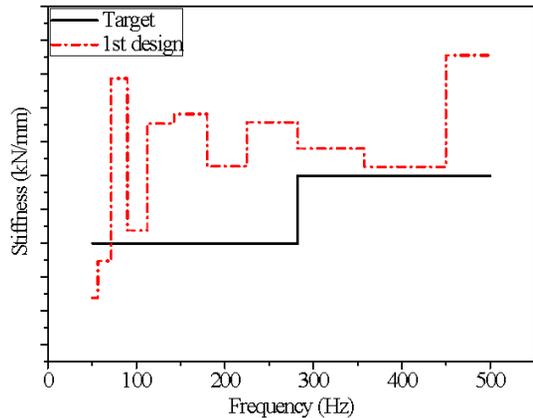
3. 위상 및 형상최적화 결과 및 고찰

3.1 위상최적화에 의한 해석결과

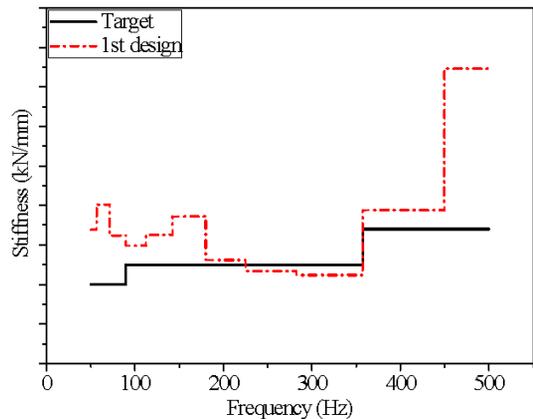
최초 설계사양의 DPDS 해석결과는 국내 G회사에서 설정한 목표 대비 Fig. 1에서 표현된 부쉬(Bush)부에서 와트 링크(Watts Link)부의 Fig. 3과 같이 국부적인 영역에서 목표값을 만족하지 못함을 확인하였다. Bush부가 RDM에서 가장 DPDS 성능이 취약한 것으로 확인하였다. 80Hz 이하 저주파 영역은 BIW의 DPDS 성능이 약하여 목표를 만족하지 못하는 영역으로 RDM 형상 최적화에서는 80Hz이하 영역은 평가에서 제외하였다.



(a) Bush Left - X



(b) Bush Left - Y



(c) Bush Left - Z

Fig. 3 1/3 Octave band drive point dynamic stiffness result of 1st design

Table 2 Load case for drive point dynamic stiffness optimize analysis

| Load Case | Hz | Position | Result/Target | Direction |
|-----------|-----|------------|---------------|-----------|
| 1 | 125 | Watts Link | 75% | X |
| 2 | 160 | Bush | 70% | X |
| 3 | 160 | Watts Link | 50% | X |
| 4 | 250 | Bush | 89% | Z |
| 5 | 315 | Bush | 83% | Z |

Optistruct의 위상(Topology) 최적화 기법은 개념설계를 위한 최적화의 한 방법으로 주어진 설계영역 내에서 주어진 제약조건 하에서 사용자가 정의한 목표를 최대, 최소화 하기 위한 구조의 최적화된 모양과 재료분포를 생성하는 수학적 기법이다. 최초 설계사양의 최적화 해석에서 Topology 기법을 적용하여 Design Variable은 2D Mesh 및 Node Shape으로 설정하였다. 응답함수(Response Function)는 중량 및 1/3 Octave Band를 이용한 DPDS 성능값을 사용하였고 Objective는 최소 중량으로 설정하였다. 모델 형상 및 부쉬부의 DPDS 목표값이 좌우 대칭이기 때문에 최적화 해석의 제한조건인 평면 대칭(Plane Symmetry) 조건을 사용하여 Bush부에 대해서는 좌측 기준으로 최적화를 수행하였다.

최초 설계사양의 해석 결과를 확인하여 DPDS 성능 목표를 만족하지 못하는 주파수 영역에 대한 DPDS 성능 목표값을 Table 2로 정리하여 최적화의 구속(Constraint)값으로 설정하였다.

Optistruct에서 계산되는 Response인 주파수응답함수(Frequency Response Function, FRF) 속도값을 1/3 Octave Band별 강성값으로 변환하기 위해 Excel의 함수식과 연동하도록 하였다. 전체적인 최적화 과정은 Fig. 4에 도식화하였다.

최초 설계사양의 최적화 해석에서 RDM의 외각 형상을 결정하기 위해 Topology 기법만을 사용하였으며 해석 결과는 Fig. 5와 같이 Body Mounting 부를 제외한 RDM의 상단부의 형상이 DPDS 성능에 대한 기여도가 낮게 나타났다. DPDS 목표의 불만족 구간의 DPDS 성능값이 최초 설계사양 대비 향상되었으나 일부 주파수 영역의 목표값을 만족하지 못하였다. 최초 설계사양의 최적화 수행

결과 DPDS 기여도가 낮은 영역의 형상을 제외하고 양산 제조 가능성을 고려하여 Fig. 6과 같이 두 번째 설계사양을 생성하였다.

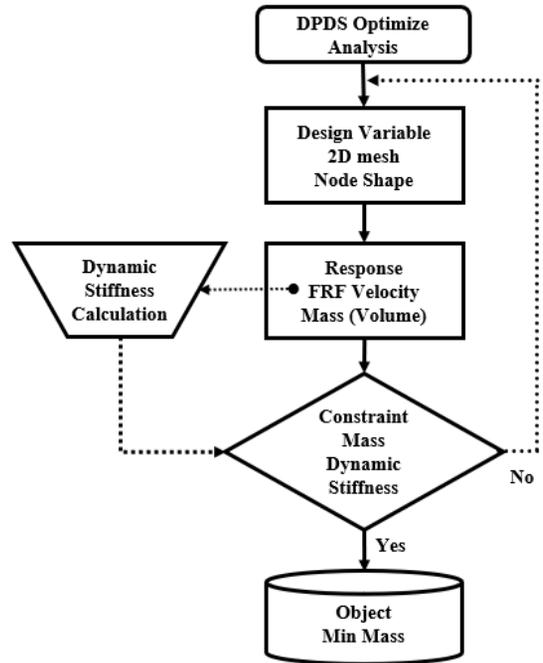


Fig. 4 Drive point dynamic stiffness optimize analysis process of rear drive module

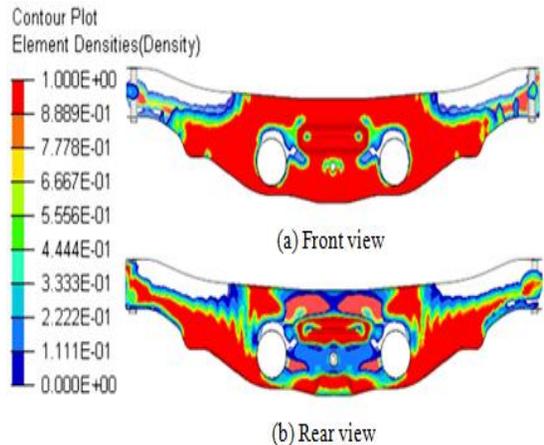


Fig. 5 Result shape of 1st design

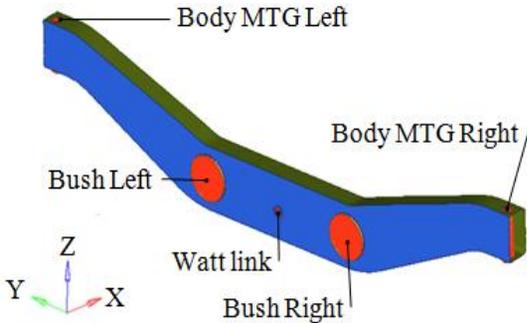


Fig. 6 2nd design model considering contribution of 1st design and feasibility

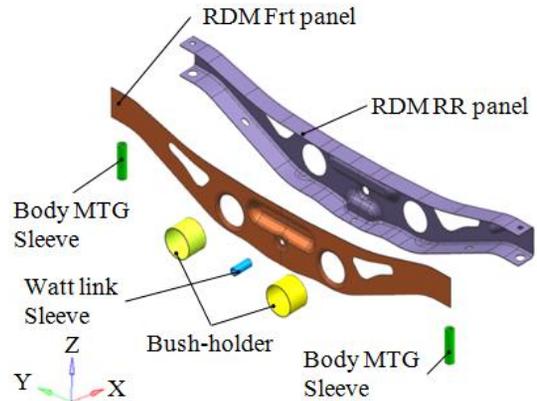


Fig. 8 Final design model considering contribution of 2nd design and feasibility

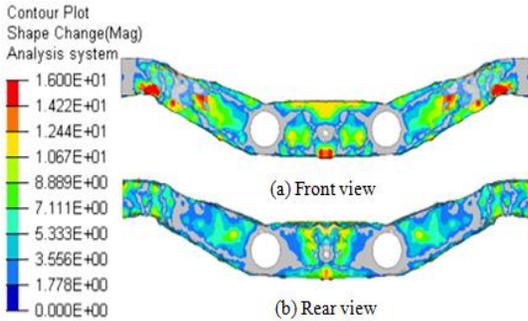


Fig. 7 Result shape of 2nd design

3.2 위상 및 형상을 동시 고려한 최적화 해석 결과

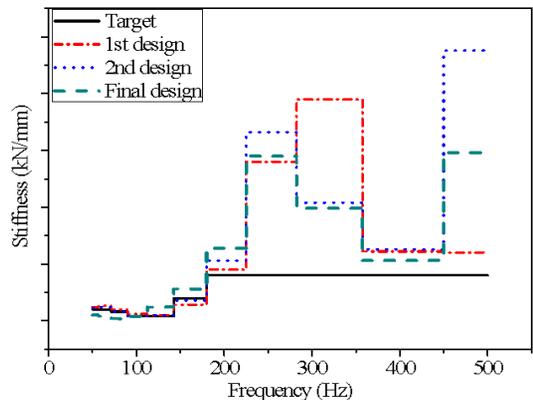
두 번째 설계사양의 해석시 위상(Topology)과 형상(Topography) 최적화 기법을 동시 적용하여 최적화 해석을 수행하였다.

Optistruct의 형상(Topography) 최적화 기법은 개념설계를 위한 최적화 방법으로 주어진 설계영역인 얇은 판 구조에 비드 등의 형상을 생성하여 최적의 형상을 찾는 최적화 방법이다. 두 번째 설계사양의 최적화 해석 결과는 Fig. 7과 같이 Watts Link부의 형상 기여도가 높게 나타났다.

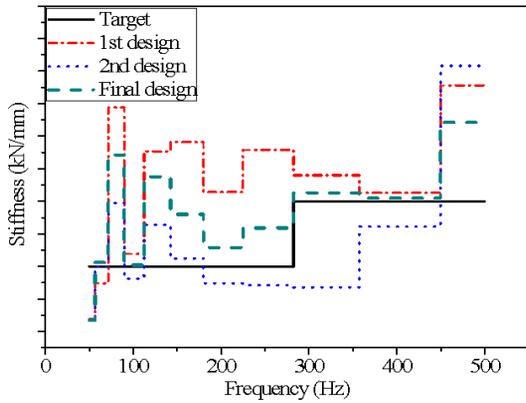
최적화 수행시 DPDS 1/3 Octave로 Excel에서 계산된 정수의 목표값인 최적화 Constraint 조건에 대한 위배(Violation)는 반복(Iteration) 30번이후에서 최적화 결과가 발산하는 결과를 확인하였다.

목적함수가 중량 최소화로 DPDS 성능 측정부의 중량이 감소한 결과로 확인하였고 최종 형상은 Constraint 값을 만족하고 있는 Iteration 29번에서 추출한 기여도 형상을 반영하고 제조 가능성을 고려한 최종 설계사양은 Fig. 8과 같다.

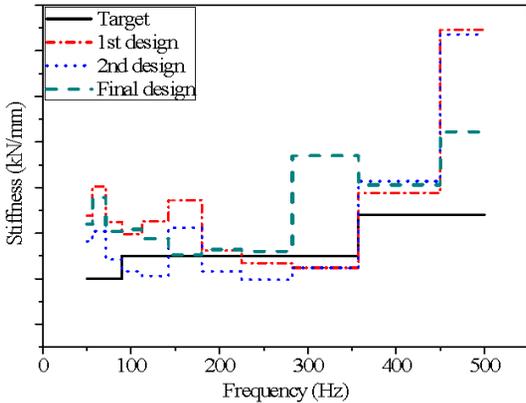
최초 설계사양 및 최종 설계사양의 최적화 해석시 각 사양에 대한 최종 DPDS 비교 결과는 Fig. 9와 같다. 최초 설계사양 대비 최종 사양은 가장 강성이 취약했던 Body MTG부와 Bush부에 Bead 형상을 추가하여 차량 상하방향(Z) 방향 315Hz 기준으로 DPDS 성능이 약 20% 향상되었다. DPDS 기여도가 낮은 부분의 형상을 삭제, 축소하여 중량이 최초 설계사양 대비 15%감소를 확인하였다.



(a) Bush Left - X



(b) Bush Left - Y



(c) Bush Left - Z

Fig. 9 1/3 octave band drive point dynamic stiffness result of rear drive module optimize analysis

Table 3 Result summary of optimization

| Design case | Weight (kg) | Description |
|--------------|-------------|---|
| 1st design | 5.73 | Bush (X,Y,Z) , Watts Link (X,Y) does not satisfy target |
| 2nd design | 5.24 | Bush(X,Z) , Watts Link (X,Y) does not satisfy target |
| Final design | 4.90 | Satisfy target |

4. 결론

차량 주행시 발생하는 진동, 소음과 관련된 샤시부품의 국부동강성(DPDS) 성능 및 경량화 효과를 알아보기 위하여 후륜 주행 모듈(Rear Drive Module, RDM)의 위상(Topology) 및 형상(Topography) 최적화 해석 기법에 의한 최초, 두 번째 및 최종 설계 사양에 대한 해석 결과는 다음과 같다.

위상 및 형상 최적화 기법을 이용한 두차례에 걸친 최적화 해석으로 형상 최적화의 결과를 반영하여 차체 조립(Body Mounting)부와 부쉬(Bush)부에 Bead 형상을 추가하여 차량 상하방향(Z)의 강성이 315Hz 기준에서 약 20% 향상시킴으로써 DPDS 성능 만족이 가능하였고 최적화 해석 기법의 기여도 분석을 통해 성능 만족에 불필요한 영역을 제거하여 차량 패키지를 고려한 최초 설계사양 대비 최종 설계사양은 15%의 경량화를 달성하였다. 또한, 개발된 최적화 방법론에 따라 샤시부품의 설계, 해석 시간을 단축할 수 있었다.

향후 본 연구를 통해 개발한 최적화 과정을 더 많은 부품수와 DPDS 성능이 요구되는 프론트 크래들(Front Cradle) 샤시부품에 적용하여 최적화 해석 연구를 진행할 예정이다.

후기

“본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 2018년도 경제협력권산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.”

REFERENCES

1. Kim, S. Y., Kim, K. S., "A Study on Radiation Noise of Vehicle Power Seat Recliner using Finite Element Analysis," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 1, pp. 101~107, 2018.
2. Chung, W. J., Oh, J. S., Park Y. N., Kim, D.

- C., Park, Y. J., "Optimization of the Suspension Design to Reduce the Ride Vibration of 90kW-Class Tractor Cabin," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 91~98, 2017.
3. Nam, K. S., Choi, J. K., Choi H. Min., Kim, J. K., Yeum, S. H. and Lee, S. S., "Study on the Improvement of Strength of Excavator Attachments Considering the Field Environment," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 1, pp. 122~128, 2016.
 4. Kang, J. S., "A Study on Structural Design of Torsion Beam Rear Suspension," Transaction of KSAE, Vol. 13, No. 3, pp. 146~153, 2005.
 5. Kim, K. Y., Kwak, S. H., Han, G. D., Park, J. S., Cho, J. H., Lee, C. H. and Kan,g M. C., "Formability Evaluation of the Vacuum Resin Transfer Molding of a CFRP Composite Automobile Seat Cross Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 24~29, 2017.
 6. Kim, K. Y., Choy, L. J., Shin, H. I., Cho, J. H., Lee, C. H. and Kang, M. C., "Characteristics of Mechanical Properties and Micro Structure according to High-Frequency Induction Heating Conditions in Roll Forming Process of a Sill Side Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 6, pp. 87~94, 2017.
 7. Kim, Y. C., Hong, J. K. and Jang, G. W., "Lightweight Crane Design by Using Topology and Shape Optimization," Transactions of the KSME - A, Vol. 35, No. 7, pp. 821~826, 2011.
 8. Kong, Y. S., Abdullah, S., Omar, M. Z., Haris, S. M., "Topological and topographical optimization of automotive spring lower seat," Latin American Journal of Solids and Structures, Vol. 13, No. 7, pp. 1388-1405, 2016.
 9. Kuntjoro, W., Jalil, A. A., & Mahmud, J., "Wing Structure Static Analysis using Superelement", Procedia Engineering, Vol. 41, Pages 1600-1606, 2012.
 10. Choi, W. H., Huang, C. G., Park, G. J. and Kim, T. K., "Basic Study on Performance Comparison of Structural Optimization Software Systems," Transactions of KSME-A, Vol. 38, No. 12, pp. 1403~1413, 2014.
 11. HYPERWORKS, Hypermesh 13.0 Manual, Altair Engineering, Inc., pp. 139-218, 2014.
 12. HYPERWORKS, Optistruct 13.0 User guide, Altair Engineering, Inc., pp. 331-406, 2014.
 13. "Using AMSES Automatic Multi Level Sub Structuring Eigensolver Solution," 2018.
<http://blog.altair.co.kr>(accessed 10, May., 2018)