

트럭경량화를 위한 Deck Frame의 수치해석 연구

윤성우*, 고선호**, 김홍건*, 곽이구*.#

*전주대학교 탄소융합공학과, **전주대학교 기계공학과

Numerical Analysis of Deck Frame for Lightweight Trucks

Sung-Woo Yun*, Sun-Ho Go**, Hong-Gun Kim*, Lee-Ku Kwac*.#

*Graduate School of Carbon Fusion Engineering, JEONJU UNIV.,

**Graduate School of Mechanical Engineering, JEONJU UNIV.,

(Received 29 March 2018; received in revised form 18 April 2018; accepted 4 May 2018)

ABSTRACT

To reduce fuel consumption, research on the weight reduction of vehicles is being actively carried out. Researchers have typically tried to replace metal materials with composites materials, but these materials did not satisfy the required strength and rigidity of a vehicle. Composites are usually not used because of their high cost. There are incomplete studies on lightweight trucks that transport cargo. Therefore, in this paper, we enhance the lightness and mechanical strength through design optimization of the deck frame for a lightweight truck. For that purpose, the side member and cross member, which are mounted on the lower part of the truck to assure the safety of the vehicle and support the luggage load, were targeted. The result of numerical analysis on the safety of the frame was obtained by changing the shape of each cross-section. To verify the numerical analysis, we compared it with the theoretical value of a cantilever beam. As a result, the suitability of the cross-sectional shapes of each frame was confirmed through numerical analysis.

Key Words : Finite Elements Methods(수치해석), Light-Weight(경량화), Side Member(사이드 멤버), Cross Member(크로스 멤버)

1. 서 론

최근 차량의 경량화 요구에 맞춰 차체의 중량저감을 위해 경량소재적용 및 최적설계 등의 연구개발이 이뤄지고 있으나, 차량에서 요구하는 강도와 강성을 만족하지 못하여 적용되지 못하고 있는 실정이다. 특히 화물을 운반하는 트럭의 경량화 방안에 대한 연구는 미비한 상태이다^[1]. 또한, 경량신소재인 탄소복합재등의 경우 강도와 강성 등의 문제

는 해결되고 있으나, 가격 등의 문제로 인해 수요자와 공급자에 의해 배제되고 있다. 본 연구대상인 트럭 Deck의 Frame은 Side Member와 Cross Member가 사다리 모양으로 연결되어 차량 및 적재물의 하중을 지지하며, 주요 차량 부품이 장착되어 차량의 안전성등의 중요 역할을 하는 핵심부품이다^[2]. 특히, Cross Member는 차량의 강성을 높이는 역할로 비틀림이나 휘어짐을 방지하기 위한 역할을 하는 부품이며, 주행 중의 안락함을 결정하는 승차감과 선회주행시의 차량 신뢰성을 좌우하는 조종성에 큰 영향을 미치는 핵심부품으로 알려져 있으며, 개수와 위치는 프레임의 안전성 등을 고려하여 결정하

Corresponding Author : kwac29@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-3063, Fax: +82-63-220-3161

게 된다.^[3] Side Member는 하중을 지지하는 빔의 역할을 하기 때문에 그 형상은 굽힘 모멘트 (Bending Moment) 분포를 기초로 하여 결정하는 것이 일반적이며, 각각의 트럭형상과 차체에 따라 비틀림 강성을 높이기 위해 설계하여 적용하고 있다^[4]. 또한, 트럭의 경우 적재물을 싣고 있는 상태에서 험로를 주행하는 경우가 많아 예기치 않은 굽힘 모멘트와 비틀림 모멘트를 받을 수 있기 때문에 차량의 수명연장과 차량전복의 우려를 해결과 동시에 차체의 경량화를 위한 방법을 모색하고 있는 실정이다^[5]. 트럭의 경량화에 대한 연구들은 차량 중량의 약 20%를 차지하는 덤프박스나 Deck의 경량화 방안에 대한 연구가 이뤄지고 있기 때문에 본 연구에서도 역시 기존의 Deck를 기본으로 하여 동등 이상의 강도와 강성을 유지할 수 있도록 Deck Frame의 Side Member와 Corss Member의 단면형상을 최적화하고자 하였다. 기존에 비해 향상된 구조강도를 유지하며 경량화된 Deck Frame을 확보하고자 하였으며, 이를 위해 수치해석방법으로 접근하여 고찰하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 Deck Frame의 유한요소모델

트럭의 Frame은 Deck를 지지하고 스프링 상중량 부품을 결합하며, 스프링 상중량 부품을 현가 장치를 매개로 하여 스프링 하중량에 전달하는 역할을 하는 가장 중요한 차량 구조물이다. 이러한 이유로 프레임은 승차감, 비틀림강성, 굽힘강성 등에 만족함과 동시에 경량이어야 한다. Cross Member와 Side Member의 단면형상은 각 제조업체에 따라 다르나, 일반적으로 사각형 단면의 Frame이 주를 이루고 있다. 하지만, 본 연구에서는 기존 사각형단면이 아닌 단면형상의 최적화를 통해 기존과 동등한 수준의 성능을 확보하고자 하였다. Fig. 1은 본 연구에 적용된 트럭의 Deck부분의 3-D 모델이며, Deck의 중부재인 Side Member와 횡부재인 Cross Member를 해석대상으로 선정하여 단면형상을 변경하여 구조해석을 통한 기계적 특성에 대해 분석하고자 하였다. 수치해석은 수치해석 상용프로그램인 ANSYS

V15.0을 사용하였으며, CATIA를 통해 모델링된 Deck Frame을 ANSYS WB에 Import한 후 유한요소 모델과 경계조건을 정의한 후 구조해석을 수행하였다^[6]. 각 Side Member와 Side Member의 단면형상과 유한요소모델은 Fig. 2-Fig. 3, Table 1과 같다.

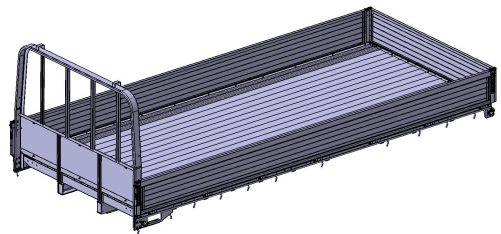


Fig. 1 3-D Model of Deck

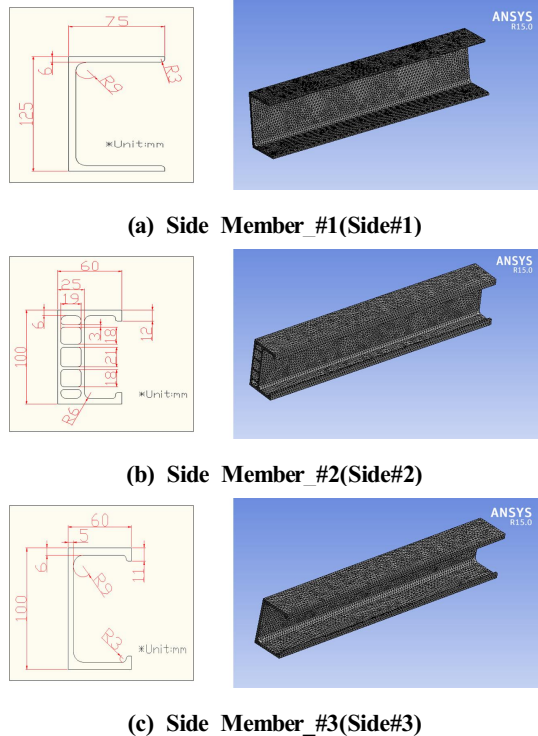


Fig. 2 FEM Model and Cross-Sectional shape of Side Member

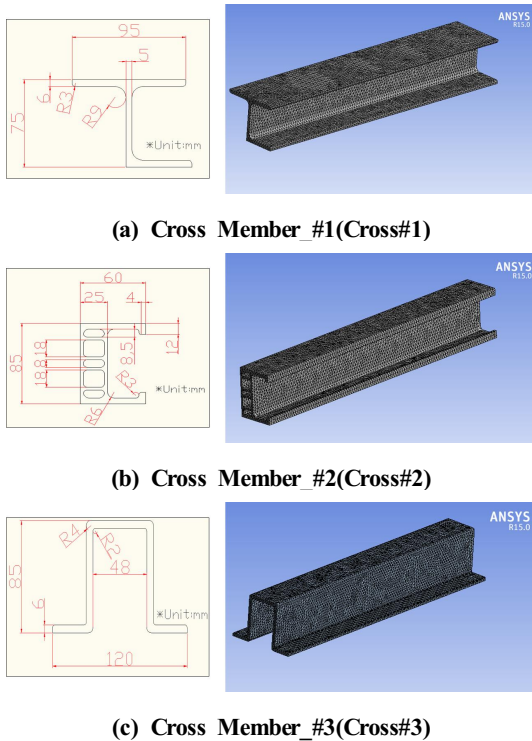


Fig. 3 FEM Model and Cross-Sectional shape of Cross Member

Table 2 Element Properties of Deck Frame

Model	Nodes	Elements
Cross#1	325,099	206,376
Cross#2	477,400	292,815
Cross#3	461,838	293,906
Side#1	418,545	266,511
Side#2	475,066	289,525
Side#3	338,801	212,642
Mesh Method	Tetrahedrons	

2.2 경계조건

각 프레임의 유한요소해석은 순수 단면에 따른 결과를 비교분석하기 위해 외팔보의 경계조건을 적용하여 3,000 N의 하중을 가하여 프레임의

Deformation과 Equivalent Stress를 도출하였다. 각 프레임은 적용되는 차량과 특성에 따라 길이가 다르지만 본 해석의 용이함과 통일성을 위해 임의의 길이인 500mm로 길이로 해석을 수행하였다. 유한요소해석의 경계조건은 Fig. 4와 같은 조건으로 각 프레임 양쪽 끝단 Surface부에 Fixed condition과 Force condition을 각각 적용하였다. 보 끝단의 변위를 δ , 하중을 P , 2차 단면모멘트를 I , 탄성계수를 E 로 하였으며, Euler-Bernoulli 보 이론을 적용하여 구해지는 보의 δ 는 다음 식과 같다[7]. 단면계수 I 는 3D 모델링 프로그램인 CATIA V5를 이용하여 도출하여 수식에 적용하였다. 각 프레임의 단면계수 I 는 Table 2에 표시하였다. 각 단면에 따른 해석결과와 Deformation과 식 1의 δ 와 비교하였으며, 각 프레임의 Equivalent Stress와 항복강도와 비교하여 프레임의 안정성을 도출하였다. 프레임에 적용된 재질은 Al6061-T6재질이며, Table 3과 같다.

$$\delta = -\frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

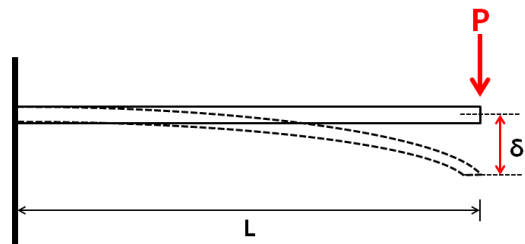


Fig. 4 Cantilever Beam

Table 3 Polar Moment of Inertia of each Model

Model	I (m ⁴)
Cross#1	1.21E-06
Cross#2	1.55E-06
Cross#3	1.60E-06
Side#1	3.95E-06
Side#2	2.29E-06
Side#3	2.03E-06

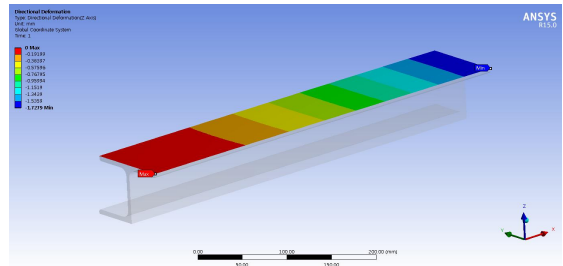
Table 4 Material Properties of Al6061-T6

Property	Value
Density	2.70 kg/m ³
Young's Modulus	68.9 GPa
Poisson's Ratio	0.33
Yield Strength(0.2% offset)	276 MPa
Tensile Strength	310 MPa

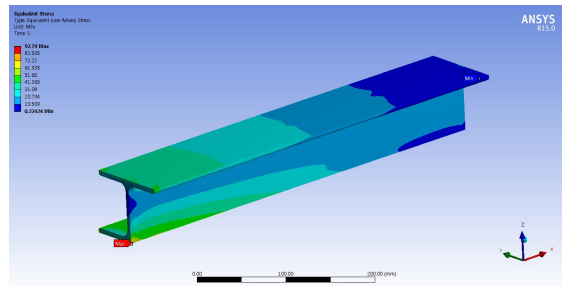
3. 해석결과 및 고찰

각 부재별 3가지의 단면형상을 변경하여 해석을 수행하였으며, 프레임 끝단에서의 Deformation과 프레임의 항복강도를 도출하였다. 또한, 해석의 신뢰성을 확인하기 위해 2.2절의 외팔보 처짐공식인 식 1의 처짐량과 해석에서의 Deformation을 비교하여 확인하였다. Cross Member의 해석결과는 Fig. 5 ~ Fig. 7에 결과를 나타내었다. Fig. 5는 Cross Member 중 #1프레임의 Deformation과 Equivalent Stress의 결과이다. 프레임 끝단에서의 Deformation은 1.72mm였으며, 이론식에서의 처짐량은 1.47mm로 약 85% 유사한 결과를 나타내었다. 프레임의 Equivalent Stress는 92.79 MPa로 Al6061의 항복강도에 2/3수준 이하인 것으로 볼 때 적합한 수준의 단면형상인 것을 확인하였다. 이때의 프레임의 무게는 1.79 Kg으로 확인되었다. Fig. 6은 Cross Member중 #2의 해석결과를 나타낸 Fig. 이다. Cross#2의 끝단에서의 Deformation은 1.28 mm였으며, 이론식을 통해 도출된 처짐량은 1.15 mm로 약 90%유사한 결과를 확인하였다. 또한, Equivalent Stress는 76.46 MPa로 Al6061의 항복강도에 약 2/3이하인 것을 보아 적합한 수준의 단면형상인 것을 확인하였다. 이 프레임의 무게는 2.17 Kg로 확인되었다.

Fig. 7은 Cross member 중 #3의 프레임에 대한 해석결과이다. 프레임 끝단에서의 Deformation은 1.2 mm였으며, 이론식을 통해 도출된 처짐량은 1.12mm로 약 93% 유사한 결과를 확인하였다. Equivalent Stress는 65.22 MPa로 도출되어 적합한 수준의 단면형을 확인할 수 있었다. 또한, 프레임의 무게는 2.35 kg로 확인되었다.

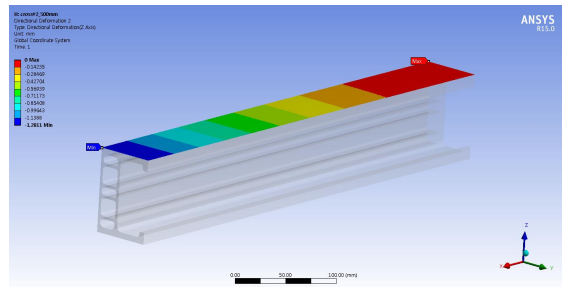


(a) Deformation Z-directional(Cross#1)

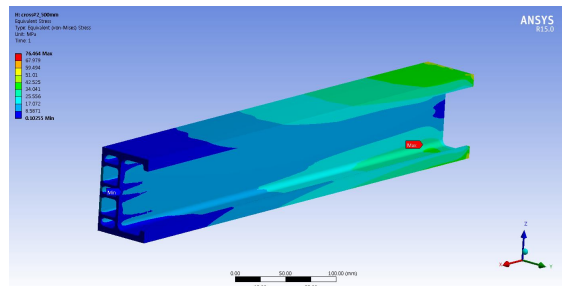


(b) Equivalent Stress(Cross#1)

Fig. 5 FEM Results of Cross Member #1

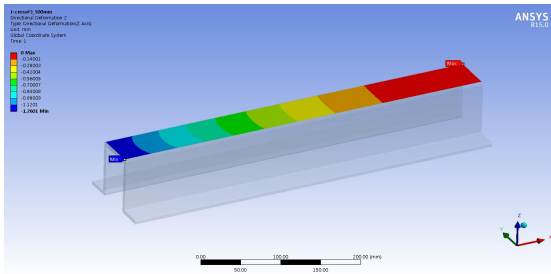


(a) Deformation Z-directional(Cross#2)

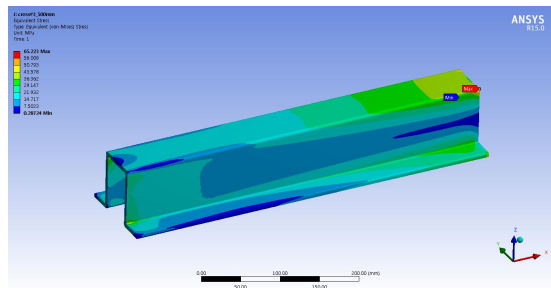


(b) Equivalent Stress(Cross#2)

Fig. 6 FEM Results of Cross Member #2

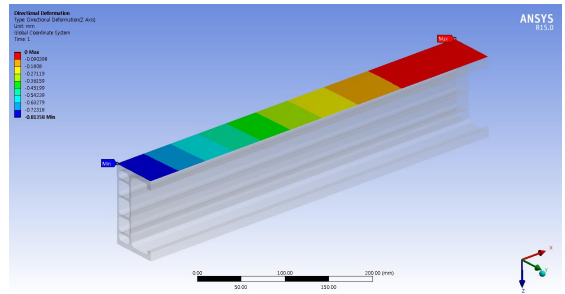


(a) Deformation Z-directional(Cross#3)

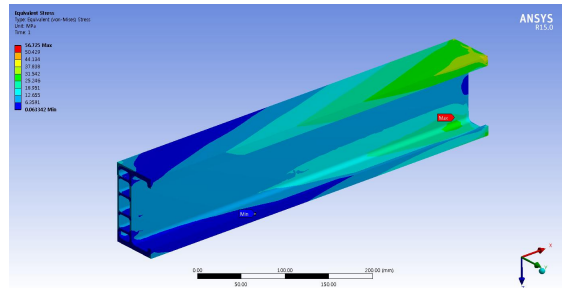


(b) Equivalent Stress(Cross#3)

Fig. 7 FEM Results of Cross Member_#3

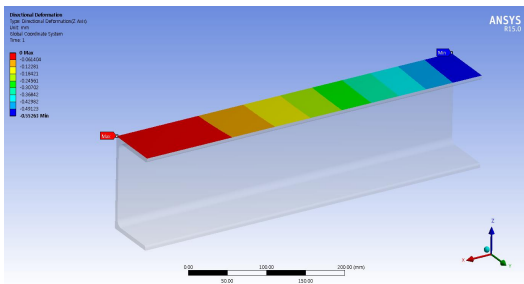


(a) Deformation Z-directional(Side#2)

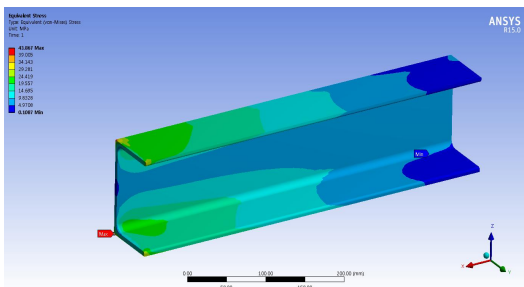


(b) Equivalent Stress(Side#2)

Fig. 9 FEM Results of Side Member_#2



(a) Deformation Z-directional(Side#1)



(b) Equivalent Stress(Side#1)

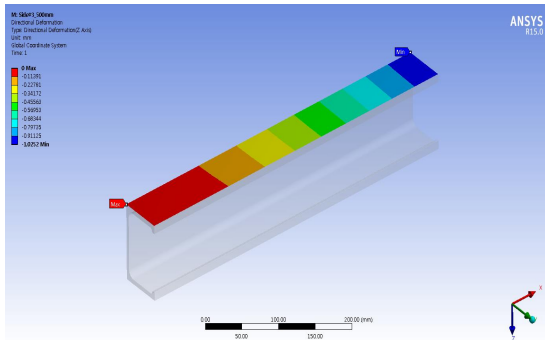
Fig. 8 FEM Results of Side Member_#1

Fig. 8은 Side Member #1의 프레임에 대한 해석결과이다. 프레임 끝단에서의 Deformation은 0.55mm로 나타났으며, 이론식을 통해 도출된 처짐량은 0.45 mm로 약 82% 유사한 결과를 보였다. Equivalent Stress는 43.867 MPa로 Al6061의 항복강도에 비해 약 2/3 이하의 강도를 보여 단면의 적합한 수준인 것을 확인하였다. 이 프레임의 무게는 2.22 kg로 확인되었다.

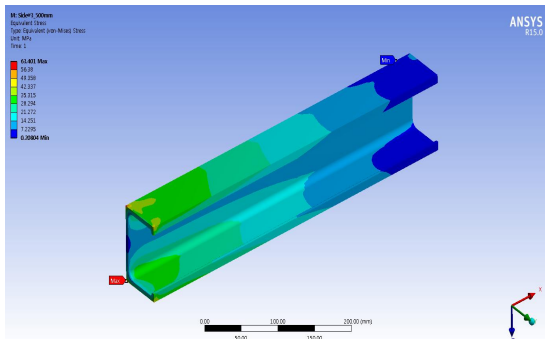
Fig. 9는 Side Member #2의 해석결과이다. 프레임 끝단에서의 Deformation은 0.81 mm였으며, 이론식을 통해 도출된 처짐량은 0.78 mm로 약 97% 유사한 결과를 확인하였다. Equivalent Stress는 56.72 MPa로 Al6061의 항복강도에 비해 2/3 이하의 강도를 보여 적합한 수준의 단면형상인 것을 확인하였다. 이 프레임의 무게는 2.30 kg로 확인되었다.

Fig. 10은 Side Member #3의 해석결과이다. 해석을 통해 도출된 Deformation은 1.02 mm였으며, 이론식을 통해 도출된 처짐량은 0.88mm로 약 86% 유사한 결과를 확인할 수 있었다. Equivalent stress는 63.40 MPa로 Al6061의 항복강도 2/3수준 이하로 적

합한 수준의 단면형상임을 확인하였다. 이 프레임의 무게는 1.77 kg로 확인되었다.



(a) Deformation Z-directional(Side#3)



(b) Equivalent Stress(Side#3)

Fig. 10 FEM Results of Side Member_#3

Table 4는 각 결과들을 표에 나타낸 것이다. 각 프레임의 처짐량은 해석값과 이론값 모두 약 78% 이상 유사한 결과를 확인하여 해석의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 프레임의 강도적 안정성 모두 Al6061의 항복강도 2/3수준 이하의 결과를 확인하여 각 프레임의 단면형상이 적합한 수준으로 설계되었음을 확인하였다.

4. 결론

트럭의 Deck부분의 경량화와 최적화를 위해 Cross Member와 Side Member의 단면형상을 변경하여 각 결과들을 고찰하였으며, 해석결과와 이론값과의 비교를 통해 아래와 같은 결과를 확인하였다.

1. 각 프레임의 해석을 통해 도출된 처짐량과 이론식을 통해 도출된 처짐량이 약 82% 이상 유사한 결과를 얻어 해석의 신뢰성을 확인하였다. 더욱 높은 신뢰성위해서는 유한요소모델을 구성함과 경계조건, 해석조건등의 변경을 통해 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.
2. 각 프레임의 강도적 안정성은 적용된 Al6061 재질의 항복강도 2/3이하의 강도를 확보하여 구조적 안정성을 확인하였으며, 설계된 단면형상의 적합함을 확인하였다.
3. 각 결과와 프레임의 무게를 통해 우선순위로 도출된 모델의 경우는 Cross Member는 2번 모델이 1번 모델에 비해 경량화율은 낮지만 처짐과 강도가 우수하여 2번모델이 적합할 것으로 판단되며, Side Member의 경우는 3번 모델이 본 연구 목적에 적합한 프레임이라고 판단된다. 또한, 상용차의 Cross Member와 Side Member의 결합방법이 트럭의 수명연장과 강성에 중요한 요인이기 때문에 향후 연구를 통해 본 프레임의 결합방법에 대한 연구도 수행할 예정이다.

후 기

“이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부 및 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수

Table 5 FEM Results of Deck Frame

Model	Deflection (mm)			Equivalent Stress (MPa)	Weight (kg)
	FEM	Theory	Similarity		
Cross#1	1.72	1.47	85 %	92.79	1.79
Cross#2	1.28	1.15	90 %	76.46	2.17
Cross#3	1.20	1.12	93 %	65.22	2.35
Side#1	0.55	0.45	82 %	43.86	2.22
Side#2	0.81	0.78	97 %	56.72	2.30
Side#3	1.02	0.88	86 %	63.40	1.77

행된 연구임(No. 2017R1A2B4009646, No. 2016R1A6A1A03012069).”

J., "Linear Analysis and Non-linear Analysis with Co-Rotational Formulation for a Cantilevered Beam under Static/Dynamic Tip Loads," Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 28, No. 5, pp. 467-475, 2015.

REFERENCES

1. Chang, D. C., "Effective of Flexible Connections on Body Structural Response," SAE 740041, 1974.
2. Moon, I. D., Kwon, H. J. and Oh, C. Y., "Development of a Computer Model for the Turning Maneuver Analysis of a Heavy Truck," Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 8, No. 4, pp. 121-129, 2000.
3. Handbook of Automotive Technique, The Korean Society of Automotive Engineers, pp. 281~283, 1996.
4. Kim, J. O., "A Study on the Effect of the Mounted Method of a Large Truck's Frame on Handling Performance," A Thesis for a Master, Chonbuk National University, Republic of Korea, 2004.
5. Baek, M. I., "The Study for Mass Reduction of Dump Box on Dump Truck," A Thesis for a Master, Chonnam National University, Republic of Korea, 1996.
6. Ku, H. K., Kim, J. W., Won, C. and Song, J. I., "Optimization and Structure Analysis of Brake Disc for Free-fall Winch," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 55-61, 2012.
7. Kang, D. M., Cho, K. C., Kwang, T. K., Sim, K. J., Guk, H. H., Kim, J. S., and Park, M. H., "A Study on the Composite Insulation Boom Development of the Aerial Work Platform for Electric Work," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 2, pp. 99-137-144, 2018
8. Ko, J. W., Bin, Y. B., Eun, W. J. and Shin, S.