Journal of the Korea Convergence Society
Vol. 8. No. 5, pp. 155-160, 2017 https://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.5.155

제작 오차를 고려한 트랙터 캐빈의 구조 해석

박장우
아주네트웍스(주) 서비스본부

Structural Analysis of a Tractor Cabin Considering Structure Production Error

Jang-Woo Park
Service Division, Aju Networks Co., Ltd.

요 약 트랙터는 각종 작물을 생산하는 농용작업 외에 건설작업, 임야작업, 가정용 등에 사용되는 다목적 작업차량으로 경작용의 가래, 쟁기, 써레, 수확기 등을 견인하는 농업 작업에 없어서는 안 되는 필수 장비이다. 트랙터 운전자의 작업공간인 캐빈은 트랙터가 전도되었을 때 운전자가 입게 될 피해를 최소화하고 운전자가 전락하여 상해를 입지 않도록 보호하여야 한다. 일반적으로 캐빈은 프레임과 판들의 용접으로 제작되기 때문에 용접상태에 따라 구조물의 강성이 크게 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 유한요소 해석을 이용하여 캐빈의 제작 시 예상되는 구조물의 용접 오차가 캐빈 구조물의 정적, 동적 강성에 미치는 영향을 파악하고, 캐빈의 강성을 확보하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

• 주제어 : 트랙터 캐빈, 정적 강성, 동적 강성, 유한요소 해석, 제작 오차

Abstract A cabin of the agricultural tractor is designed to protect the driver from vibration transmitted due to the irregular ground and overturning of the tractor. The cabin is usually manufactured by welding frames and plates. Consequently, the welded state of the frame and plate affects the stiffness of the cabin structure. In this paper, the static and dynamic stiffness characteristics of the cabin are identified through finite element analysis and effects of the structure production error are investigated to insure the structural stiffness of the cabin.

• Key Words : Cabin, Static Stiffness, Dynamic Stiffness, Finite Element Analysis, Production Error

1. 서론

최근 영농 면적이 구획화되고 확대됨에 따라 농업용 트랙터의 사용이 증가되고 있다. 트랙터는 각종 작물을 생산하는 농용작업 외에 건설작업, 임야작업, 가정용 등에 사용되는 다목적 작업차량으로 경작용의 가래, 쟁기, 써레, 수확기 등을 견인하는 농업 작업에 없어서는 안 되는 필수 장비이다. 운전자의 작업공간인 캐빈은 트랙터가 전도되었을 때 운전자가 입게 될 피해를 최소화하여야 할뿐 아니라 불규칙한 지면위에서의 작업으로 인하여 전달되는 소음 및 진동으로부터 운전자를 보호하여야 한다. 이러한 운전자의 작업환경과 관련된 캐빈의 특성 때문에 유한요소법을 이용하여 캐빈의 소음원과 소음 전달 경로를 파악하거나[1,2], 캐빈의 정적, 동적 강성과 관련된 구조해석[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15], 또한 캐빈내

*Corresponding Author : 박장우(jw.park@aju.co.kr)
Received March 27, 2017 Revised May 1, 2017
Accepted May 20, 2017 Published May 28, 2017

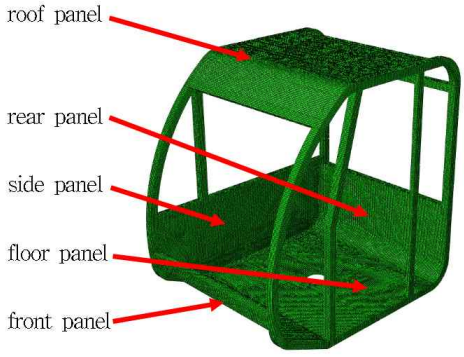
소음 저감방안과 관련된 연구[16,17,18]가 활발히 진행되어왔다.

일반적으로 캐빈은 프레임과 판들을 용접하여 제작된다. 결과적으로 프레임과 판들의 용접상태에 따라 캐빈의 강성은 크게 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 캐빈의 정적, 동적 강성이 구조물의 용접상태에 따라 받는 영향을 유한요소 해석을 통하여 파악하고, 캐빈의 구조적 강성을 확보하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 캐빈의 정적 강성 해석

2.1 정적 강성 해석 조건

캐빈의 유한요소 모델은 [Fig. 1] 과 같다. 캐빈 구조의 해석은 상용프로그램인 ABAQUS를 이용하였다. 재료의 물성치는 <Table 1> 과 같고 해석 모델은 쉘 요소를 사용하였으며 4개의 node를 가지는 S4 요소는 82,990개이고 3개의 node를 가지는 S3 요소는 34개를 사용하였다.



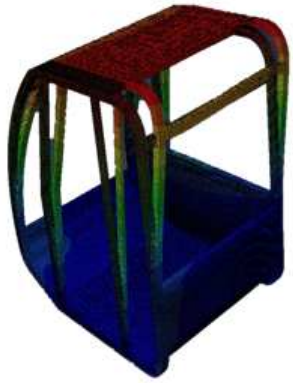
[Fig. 1] Finite element model of the cabin

<Table 1> Material properties

Mass Density	7850 kg/m^3
Young's Modulus	208×10^{12} N/m^2
Poisson's Ratio	0.3

캐빈의 정적 강성을 확인하기 위한 시험은 농업기계 검정방법 중에 농업용 트랙터 보호구조물의 강도시험에 명시되어 있으며 후방부하(rear load) 시험과 측방부하(lateral load) 시험으로 나누어진다. 먼저 명시된 후방부하 시험기준에 의한 시험조건은 캐빈 뒤쪽 상단 프레임의 1/6 지점에 16 kN의 하중을 가하여 발생하는 최대 변위를 확인하는 것이다[Fig. 2]. 측방부하 시험 기준에 의한 시험조건은 캐빈 왼쪽 상단 프레임의 1/2 지점에 12 kN의 하중을 가하여 발생하는 최대 변위를 확인하는 것이다[Fig. 3]. 두 경우 모두 경계조건으로 캐빈이 트랙터 몸체와 연결되는 부분, 즉 하부의 네모서리 부분을 고정하였으며 해석 결과는 <Table 2> 의 전체 모델(full model)에 나타나 있다.

[Fig. 2] Cabin deflection by a rear load



[Fig. 3] Cabin deflection by a lateral load

<Table 2> Max. deflection of the cabin due to horizontal loads (mm)

Configurational Parameters		rear load	lateral load
1	full model	6.8	11.2
2	remove side panel	19.1	11.1
3	remove roof panel	7.1	16.4
4	remove rear panel	7.0	18.8
5	remove floor panel	6.8	10.7
6	remove front panel	6.8	11.0
7	frame only	20.6	29.0

2.2 제작 오차에 따른 정적 강성 해석

캐빈의 일반적인 구조는 [Fig. 1] 과 같이 뼈대 역할을 하는 파이프 형태의 기본 프레임과 각 부위에 용접되는 판재들로 이루어져 있다. 유한요소 해석 시 프레임과 판재의 결합조건은 완전 고정으로 가정하지만 실제 결합되는 판재는 용접특성에 따라 완전 고정보다는 약한 결합상태를 가질 수 있으므로 예측한 강성과 실제 제작된 캐빈의 강성사이에 오차가 발생할 수 있다. 캐빈의 구조적 특성, 즉 프레임에 부착되는 각 판재들의 결합상태가 강성에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 각 판재들이 프레임과 단단히 결합되어있는 경우와 각 판재가 제거된 경우의 극단적인 상황에 대한 강성 변화를 살펴보았다. 정적 부하시험에 대한 해석 결과의 변화는 Table 2 와 같다. 해석 결과를 보면, 후방부하 시 캐빈의 정강성은 측면판(side panel)의 결합상태에 크게 영향을 받으며 측방부하에 대하여는 후방(rear) 판과 천장(roof) 판의 결합상태에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

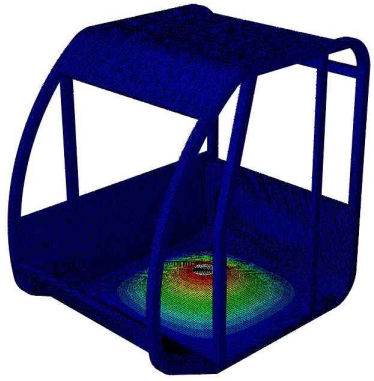
3. 캐빈의 동적 강성 해석

3.1 동특성 해석

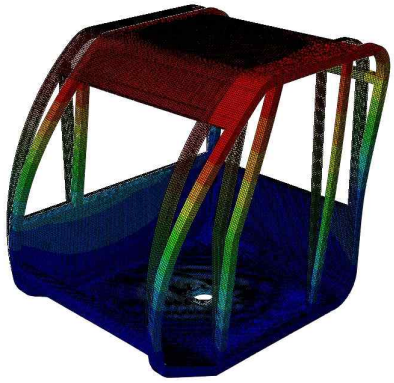
캐빈의 정적 강성 해석과 동일한 경계조건하에서 유한요소 해석으로부터 얻어진 캐빈의 고유진동수는 <Table 3> 과 같고 각 고유진동수에 해당하는 모드형상은 [Fig. 4] 와 같다. 모드형상을 살펴보면 첫 번째와 세 번째 모드는 캐빈의 바닥과 천장이 진동하는 국부진동모드로서 소음특성에 영향을 주는 모드이고 나머지 모드들은 전체 프레임이 진동하는 모드임을 알 수 있다. 따라서 운전자의 승차감과 관련되는 전체 프레임이 움직이는 진동모드 중에서 변위가 가장 클 것으로 예상되는 두 번째 모드가 캐빈의 제작 오차에 의해서 받는 영향을 살펴보았다.

<Table 3> Natural frequencies of the cabin

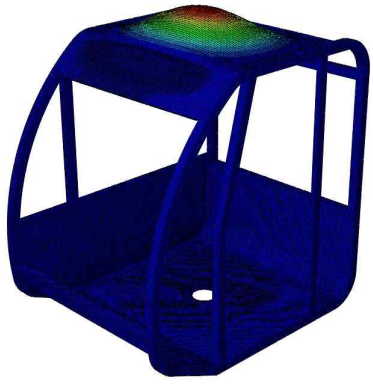
Mode number	Frequency (Hz)
1	23.7
2	25.7
3	27.0
4	30.0



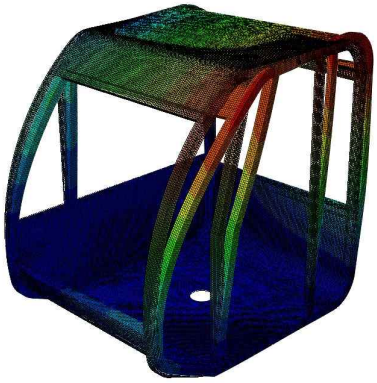
(a) 1st mode shape



(b) 2nd mode shape



(c) 3rd mode shape



(d) 4th mode shape

[Fig. 4] Modes of the cabin

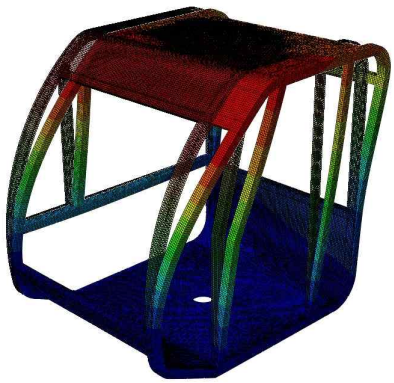
3.2 제작 오차에 따른 동특성 해석

캐빈의 구조적 특성, 즉 프레임에 부착되는 각 판재들의 결합상태가 앞에서 살펴본 두 번째 모드에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각 판재들이 프레임과 단단히 결합되어있는 경우와 각 판재가 제거된 경우의 극단적인 상황에 대한 고유진동수의 변화를 살펴보았다.

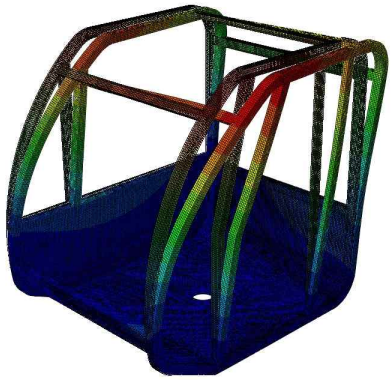
각 부위 판재의 유무에 따른 두 번째 고유진동수의 변화는 <Table 4> 와 같고 그에 따른 모드형상은 [Fig. 5] 와 같다. 변화율은 전체 모델의 고유진동수를 기준으로 계산하였다.

<Table 4> Variations of the 2nd natural frequency

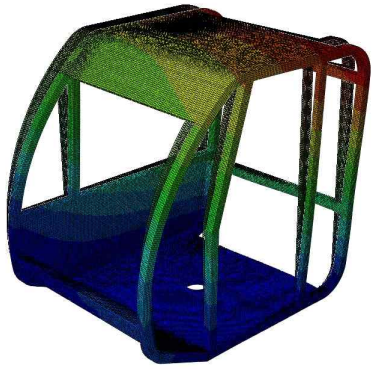
Configurational Parameters		Frequency (Hz)	Variation (%)
1	full model	25.7	-
2	removal of side panel	25.2	-1.9
3	removal of roof panel	27.5	7.0
4	removal of rear panel	19.2	-25.3
5	removal of floor panel	25.7	0
6	removal of front panel	23.9	-7.0
7	frame only	18.8	-26.8



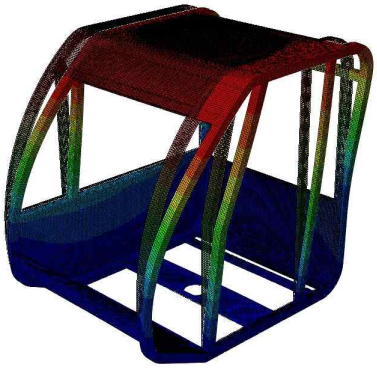
(a) mode shape when the side panel is removed



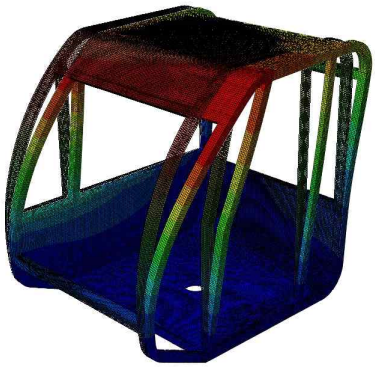
(b) mode shape when the roof panel is removed



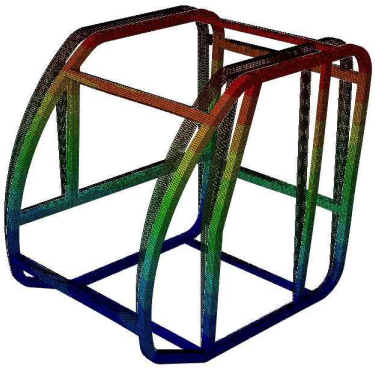
(c) mode shape when the rear panel is removed



(d) mode shape when the floor panel is removed



(e) mode shape when the front panel is removed



(f) mode shape of frame only

[Fig. 5] 2nd modes due to structural variation

해석 결과를 보면, 천정이 없는 경우에는 캐빈의 고유진동수가 오히려 7.0% 증가하였는데 이는 판재가 캐빈의 강성에 기여하는 정도보다 무게를 증가시키는 효과가 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 옆면의 판이 없는 경우에는 고유진동수가 감소하였으나 그 변화량은 1.9% 정도로 미소하였다. 후방의 판이 없는 경우의 고유진동수가 25% 감소하여 그 변화량이 가장 컸으며, 이는 캐빈의 동적 강성이 가장 크게 감소하였다는 것을 의미한다.

4. 결론

트랙터 캐빈을 모델링하고, 유한요소 해석을 수행하여 캐빈의 정적, 동적 강성을 파악하였다. 정적 강성은 수평하중에 대한 캐빈의 최대변위로부터, 동적 강성은 캐빈의 고유진동수를 이용하여 그 특성을 살펴보았다. 또한 캐빈의 제작과 관련된 구조적 특성을 고려하여 프레임과 판재의 결합과 관련된 제작 오차가 캐빈의 정적, 동적 강성에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과 캐빈의 정강성에 큰 영향을 미치는 부위는 측면, 후방, 천장판재의 결합상태이고 각 판재를 제거하는 경우 최대 변위가, 측면판재 180%, 후방판재 67%, 천장판재 46%, 각각 증가하였다. 또한 동강성에 큰 영향을 미치는 부위는 후방판재의 결합상태로 판재제거 시 고유진동수가 25% 감소하였다. 따라서 캐빈을 제작할 때 이 판재들이 프레임과 단단히 결합되도록 세심한 주의를 기울여야한다.

REFERENCES

[1] S. H. Kim, "Research on the Booming Noise Reduction of the Cabin of the Tractor using Hybrid Method," KSME Spring Conference, pp. 601-605, 2011.

[2] T. K. Lee, “Experimental Study for Construction Equipment’s Cabin Noise Control”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 8, pp. 802-808, 2009.

[3] C. Chen, “Dynamic Modeling of Tractor-Semitrailer Vehicles in Automated Highway Systems,” Proc. American Control Conference, Seattle, USA, 1995.

[4] J. S. Cho, “Determination of Dynamic Parameters of Agricultural Tractor Cab-Suspension By Modal Analysis,” Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 7, No. 8, pp. 216-223,

1999.
[5] W. S. Choe, "Simulation of Static Tests on Agricultural Tractor Cab," Korean Society for Agricultural Machinery Spring Conference, pp.3-9, 2001.
[6] C. W. Ha, "Finite Element Analysis of an Agricultural Tractor Cabin based on the OECD Standard(code 4)", J. of the Korean Society for Agricultural Machinery, Vol. 28, No. 4, pp. 305-314, 2003.
[7] W. Deng, "Parametric Study on Vehicle-Trailer Dynamics for Stability Control," SAE Trans. J. of Passenger Cars, pp. 1411-1419, 2003.
[8] J. M. Choung, "Study on the Static and Dynamic Structural Analysis Procedure of Excavators," KSME Spring Conference, pp. 537-543, 2003.
[9] G. S. Kim, "Measurement of Static and Dynamic Stress and Motion Characteristics of Excavators," KSME Spring Conference, pp. 473-478, 2003.
[10] S. H. Kim, "Evaluation of Design Fitness for the E-Tractor by using CAE Analysis," KSME Spring Conference, pp. 27-32, 2012.
[11] J. K. Yu, "Tractor Resonance Analysis and Validation," KSME Fall Conference, pp.1972-1976, 2013.
[12] P. Velmurugan, "Ride Comfort Analysis of Unsuspended Cabin Tractor Semi-Trailer," Int. J. Vehicle Structures & Systems, Vol. 6, No. 4, pp. 101-109, 2014.
[13] J. B. Ma, "Mechanical Characteristics Analysis of Structural Light-weight Aluminum Foam", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 2, No. 3, pp. 1-6, 2011.
[14] Y. J. Jang, "Simplified Load Calculation and Structural Test for Scale Down Model of Small Wind Turbine Blade according to IEC 61400-2", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 4, No. 3, pp. 1-5, 2013.
[15] J. U. Cho, "Study on Convergence Technique through Structural Analysis on the Axle of Railway Vehicle", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 1, pp. 93-101, 2015.
[16] D. H. Yoo, "A Case Study on Inside Noise Reduction of Agricultural Tractor Cab(I)", J. of the Korean Society for Agricultural Machinery, Vol. 20, No. 2, pp. 117-126, 1995.
[17] D. H. Yoo, "A Case Study on Inside Noise Reduction of Agricultural Tractor Cab(II)", J. of the Korean Society for Agricultural Machinery, Vol. 20, No. 2, pp. 127-132, 1995.
[18] W. J. Kim, "Noise Reduction in Tractor Cabin", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 23, No. 4, pp. 380-384, 2014.

저자소개

박 장 우(Jang-Woo Park) [정회원]

- 2015년 8월 : 서울과학기술대학교 산업대학원 자동차공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 일반대학원 자동차공학과 (박사과정)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 두원공과대학교 자동차과 겸임교수
- 2015년 10월 ~ 현재 : 아주네트웍스(주) 서비스본부 본부장

<관심분야> : 자동차구조해석, 자동차소음진동, 자동차서비스