

소방 고가사다리차의 설계 변수에 따른 안정성 평가를 위한 구조해석 연구

정훈*, 김철중*, 김홍건**.#

* (주)한신평, **전주대학교 기계자동차공학과

A Study on Structural Analysis for Stability Evaluation According to Design Parameters of a Fire Ladder Vehicle

Hoon Jung*, Cheol-Jung Kim*, Hong-Gun Kim**.#

*Department of Management, Han Sin Co., Ltd,

**Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University

(Received 16 April 2020; received in revised form 27 May 2020; accepted 28 May 2020)

ABSTRACT

In this study, a stability analysis was conducted through finite element analysis (FEA) of a simplified model of a fire ladder truck by changing the ascending angle, turning angle, and boundary conditions between the outrigger and the ground. The results of the analysis showed that decreasing the angle of the ladder car increases the moment due to the ladder weight, decreasing the safety factor despite being under the same load conditions. In the case of a rotating radius, the stability was found to vary depending on the boundary conditions. A comparative analysis in the future with these results and the experimental values from the actual fire ladder truck may determine the most appropriate boundary conditions based on the analysis program. It is expected to predict the risk of damage and rollover by assessing the stability of aerial ladder vehicles under different conditions.

Key Words : Fire Ladder Vehicle(소방사다리차), Analysis Conditions(해석조건), Finite Element Analysis(유한요소해석), Moment(모멘트)

1. 서 론

최근 현대 사회의 산업발전은 토지가격의 상승과 더불어 시공면적의 부족으로 이어져 주거 및 상업시설의 고층화가 큰 폭으로 증가하고 있는 상황이다.

따라서, 고층에서 작업이 가능한 고가사다리차, 굴절차의 수요가 증가하고 있으며 이 중, 인명구조와

화재진압을 위한 소방용 고가사다리차의 사용량이 증가하고 있고 이에 대한 안정성 검토가 반드시 필요하다^[1-5].

고가사다리차의 경우 사다리차의 화물 적재함이 보다 높은 작업 반경을 갖기 위해서 다단 붐으로 이루어져 있으며 작업 시 전개되는 형태를 가지고 있으며 최대 신장된 상태에서는 강도와 강성이 저하되어 하중에 의하여 붐이 꺾이거나 파손될 위험성이 있다.

Corresponding Author : hkim@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-2613, Fax: +82-63-220-3161

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <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.

차량의 본체에서 전개되는 아웃리거가 차량지지 및 전복 방지 역할을 수행하지만 아웃리거와 바닥면과의 접촉이탈 시 차량의 전복 위험으로도 이어질 수 있다⁶⁻⁹⁾.

이는 풍하중, 작업하중과 같은 외력에 의한 요소와 사다리의 자중, 전개높이 및 각도, 작업회전반경 등의 모멘트 발생에 의한 차량 자체의 내부요인에 의하여 발생하게 된다¹⁰⁻¹²⁾.

따라서 본 연구에서는 사다리의 자중, 전개높이, 작업하중을 고려한 고가사다리차 단순화 모델을 가지고 상승각도 및 작업 회전반경 변화에 의하여 발생하는 힘과 변위에 대하여 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 안정성을 평가하고자 하며 시뮬레이션 해석 시 아웃리거와 지면과의 경계조건에 따른 결과 변화에 대한 고찰을 진행하고자 한다.

2. 해석 이론¹³⁾

3-D의 탄성 거동 해석을 위해 등가응력을 산출하기 위해 Von-Mises 이론을 적용하였으며 Von-Mises 이론 금속재료의 복합응력상태에서 항복을 예측하는데 사용되는 이론으로서 응력상태를 평형으로 유지하고 있는 정육면의 미소입방체를 기준으로 각 축 방향으로 변의 길이를 dx , dy , dz 라고 가정하며 입방체의 각 면에 작용하는 응력은 면에 수직인 1개의 수직응력과 면에 평행한 2개의 전단응력으로 σ_{xx} , σ_{xy} , σ_{xz} , σ_{yx} , σ_{yy} , σ_{yz} , σ_{zx} , σ_{xy} , σ_{zx} 와 같이 총 9개의 응력텐서로 정의된다.

미소입방체의 평형을 만족시키기 위해서는 각 축에 대한 모멘트가 0이어야 하며 이는 $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$, $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$, $\sigma_{zx} = \sigma_{xz}$ 과 같이 정의 된다.

따라서, 물체 내의 점에서의 응력상태를 6개의 응력 성분으로 표시되며 이를 알면 물체 내의 점 P를 지나는 면 위에서의 응력을 구할 수 있다.

응력면에 작용하는 응력 σ 는 면에 수직이며 전단응력성분이 0이고 각 축방향 성분으로 표시하면 식(1)과 같다(수직응력성분 σ_n , 주응력 σ_p).

$$\sigma_n = \sigma_p = \sigma_x i + \sigma_y j + \sigma_z k \quad (1)$$

여기에서 n 은 면 x, y, z 에 수직한 단위 벡터이며 i, j, k 는 각 축방향의 단위벡터를 나타내며 식(1)을 바탕으로 각 축방향의 단위 벡터를 내적하면 다음 식 (2)와 같으며 이를 각각의 응력 텐서 행렬식을 통해 전개하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_p n \cdot i &= (\sigma_x i + \sigma_y j + \sigma_z k) \cdot i \\ \sigma_p n \cdot j &= (\sigma_x i + \sigma_y j + \sigma_z k) \cdot j \\ \sigma_p n \cdot k &= (\sigma_x i + \sigma_y j + \sigma_z k) \cdot k \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sigma_p^3 - J_1 \sigma_p^2 - J_2 \sigma_p - J_3 = 0 \quad (3)$$

계수 J_1, J_2, J_3 는 좌표축계 선택에 따라 불변하는 응력의 불변량이다. 또한, 소성변형과는 무관한 등방향 응력을 제거한 편차응력의 2차 불변량 J_2 가 어떤 일정한 값 k^2 를 초과할 때 항복이 일어나며 이는 식 (4)와 같으며 임의의 상수 k 를 구하기 위하여 1축인장의 항복조건($\sigma_1 = \sigma_{ys}, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0$)을 대입하여 식(5)와 같이 k 를 구한다.

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = k^2 \quad (4)$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_{ys} \quad (5)$$

이를 바탕으로 인장항복 응력을 기초로 한 Von-Mises 식 (6)의 Von-Mises 조건식을 구할수 있으며 이는 재료에 가해진 복합응력을 대입하여 계산된 우변의 값이 좌변의 단순 인장 항복응력의 값과 같거나 크게 되면 재료의 항복이 일어나게 되는 것을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \sigma_{ys} &= \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 \\ &\quad + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (6)$$

이는 Hencky에 의해 전단 에너지가 일정값에 이르면 항복이 시작된다는 물리적 의미로 설명할 수 있으며 탄성의 변형에너지 W_s 는 전변형 에너지

지 W 에서 등방향 응력이 이루는 체적 변형에너지 W_v 를 가진 다는 조건에 의하여 식 (7)과 같이 전개되며 종탄성계수 E 와 횡탄성계수 G 의 관계식을 통해 최종적으로 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 W_s &= W - W_v & (7) \\
 &= \frac{1}{2}(\sigma_1 \epsilon_1 + \sigma_2 \epsilon_2 + \sigma_3 \epsilon_3) - \frac{1}{2} \sigma_m \epsilon_v \\
 &= \frac{1}{2E}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\nu(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1) \\
 &\quad - \frac{1-2\nu}{6E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2
 \end{aligned}$$

$$W_s = \frac{1}{12G}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (8)$$

3. 설계 및 해석조건

소방용 고가사다리차의 유한요소해석을 위하여 CATIA를 이용한 3차원 간소화 모델을 Fig. 1과 같이 설계하였으며 ANSYS 유한요소해석을 위하여 실제 사용되는 재질인 ATOS80의 물성을 Table 1과 같이 적용하였으며 해석용 모델링의 경우 포물선 사면체 Msh를 적용하여 Nodes 수는 108,221개, Elements 수는 65,237로 생성하였다^[14,15].



Fig. 1 3D Simplified modeling using CATIA

Table 1 Mechanical properties of ATOS80

Tensile Strength	Young's Modulus	Density	Poisson's Ratio
780MPa	210GPa	7.849kg/m ³	0.3

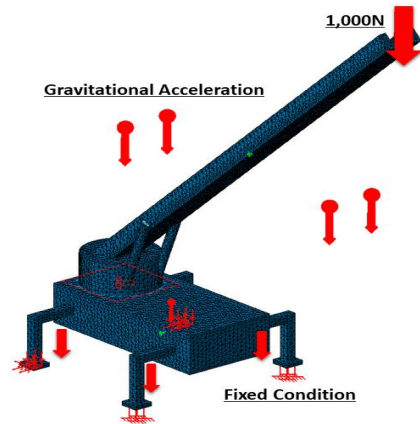


Fig. 2 Boundary conditions for finite element analysis

또한, 경계조건의 경우 아웃리거와 플레이트와의 지면은 Fixed이며 전체 구조에 자중을 고려하여 중력가속도 9.8m/s² 적용하고 사다리차 최상단에 1,000N의 수직하중 조건을 적용하였다.

해석은 모델의 사다리의 상승각도 변경(15°, 45°, 72°)과 상승각도45도 기준에서의 회전반경 변경(15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°)에 따른 응력, 변형량, 안전율에 대하여 분석하였으며 아웃리거와 플레이트와의 고정조건의 경우 상승각도에 따른 해석에서는 1번(모든 아웃리거의 Fixed 조건), 2번(압축 아웃리거 Fixed와 뒷측 아웃리거 z방향 Fix 해제 조건)의 2종에 대하여 분석하였고 회전반경의 경우 3번(좌측 아웃리거 Fixed와 우측 아웃리거 z방향 Fix 해제 조건)을 추가로 분석하였다.

4. 해석결과 및 고찰

소방용 고소사다리차의 상승각도 및 고정조건에 따른 해석 결과, 고정조건 1번의 경우 상승각도가 증가할수록 응력 및 변형량은 점차 감소하였으며 최대응력지점은 사다리의 하부지점에서 발생하였고 압축에 의한 최대 변형은 아웃리거를 포함한 사다리차의 본체 부분에서 발생하였으며 인장에 의한 최대 변형은 사다리의 최상단에서 발생하였다. 안전율의 경우 상승각도 증가에 따라 각각 1.87, 2.52, 5.58로서 점차적으로 향상되었으며 Fig. 3과 Table 2에 이에 대한 결과를 나타냈다.

고정조건 2번의 경우도 Fig. 4에서 볼 수 있듯 1번과 마찬가지로 상승각도가 증가할수록 응력 및 변형량은 점차 감소하였으나 최대응력지점은 72°를 의 사다리 하부지점 발생을 제외하면 아웃리거 부분에서 발생하였다. 압축에 의한 최대 변형은 아웃리거를 포함한 사다리차의 본체 부분에서 발생하였으며 인장에 의한 최대 변형은 사다리의 최상단에서 발생하였다. 안전율의 경우 상승각도 증가에 따라 각각 1.40, 2.16, 5.57로서 점차적으로 향상되었으며 이를 통해, 아웃리거가 모두 고정된 상태가 안정성은 향상되나 사다리가 전개된 상태에서는 상승각도가 낮을수록 하중 및 사다리의 자중에 의한 모멘트가 증가하여 재료의 파손과 변형에 대한 위험이 증가한다는 것을 알 수 있으며 이를 Table 2에서 확인할 수 있다.

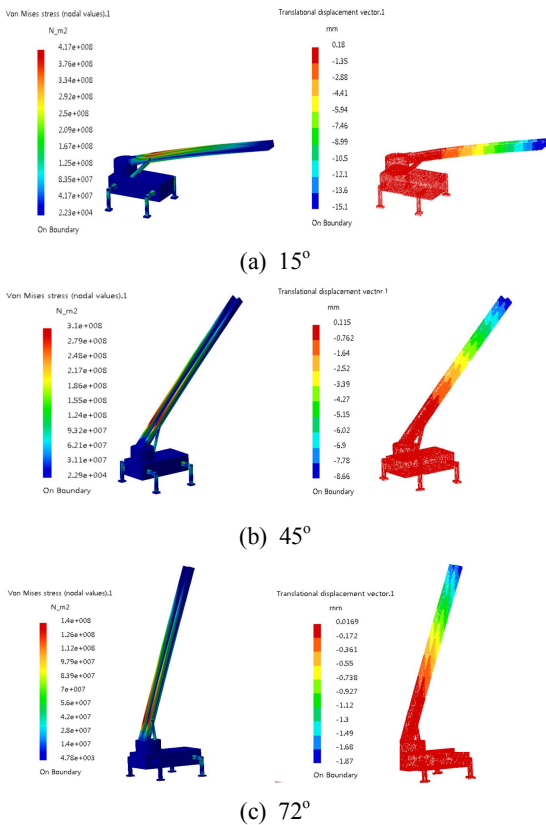


Fig. 3 Analysis results of stress and deformation according to the rising angle (Fixed condition : No.1)

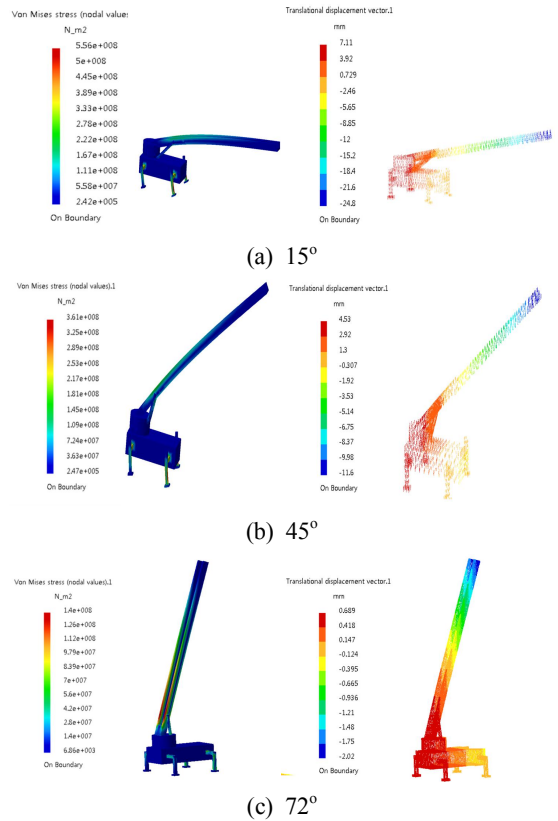


Fig. 4 Analysis results of stress and deformation according to the rising angle (Fixed condition : No.1)

Table 2 Analysis results of stress and deformation according to the rising angle and fixed conditions

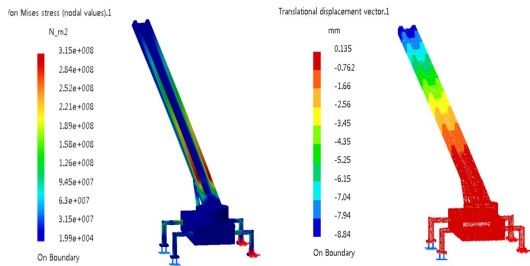
Fixed Condition Number	Rising Angle (°)	Von Mises Stress (MPa)	Deformation (mm)	Safety Factor
1	15	417	-15.1/+0.18	1.87
	45	310	-8.66/+0.12	2.52
	72	140	-1.87/+0.02	5.58
2	15	556	-24.8/+7.11	1.40
	45	361	-11.6/+4.53	2.16
	72	140	-2.02/+0.69	5.57

소방용 고소사다리차의 회전반경 및 고정조건에 따른 해석 결과, 회전반경 15°의 경우 고정조건 1번이 가장 낮은 응력과 인장, 압축에 의한 변형을 보

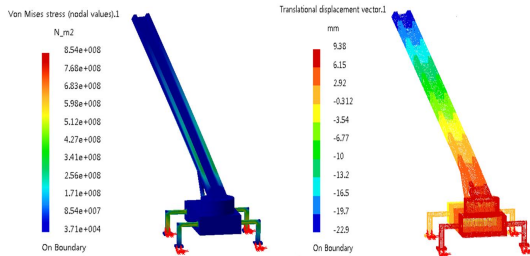
였으며 반대로 고정조건 2번이 가장 높은 응력과 인장, 압축변형을 보였으며 고정조건에 따라 각각 2.48, 0.91, 1.35의 안전율을 나타냈다.

또한, 고정조건 1의 경우 사다리의 하단에서 최대 응력을 보였으나 나머지 조건에서는 아웃리거 부분에서 최대 응력을 나타냈고 세 가지 조건 모두 최대 인장변형은 사다리의 상부, 최대 압축변형은 아웃리거를 포함한 사다리차의 본체에서 발생하였으나 고정조건 2번의 경우 본체의 뒷부분과 아웃리거 뒷쪽에서 가장 크게 압축변형이 발생하였으며 이는 Fig. 5와 Table 3에서 확인할 수 있다.

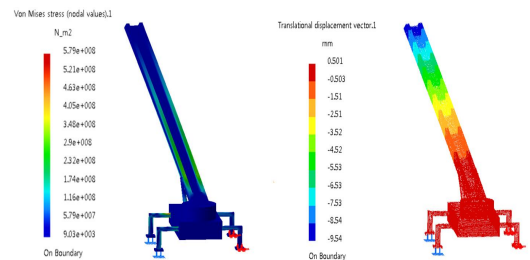
회전반경 30°의 경우도 고정조건 1번이 가장 낮은 응력과 인장, 압축에 의한 변형을 보였으며 반대로 고정조건 2번이 가장 높은 응력과 인장, 압축변형을 보였으며 고정조건에 따라 각각 2.28, 1.04, 1.18의 안전율을 나타냈다. 또한, 고정조건 2, 3의 경우 아웃리거 부분에서 최대 응력을 나타냈으나 고정조건 1의 경우 사다리의 하단과 아웃리거 부분에서 최대응력을 나타냈다. 세 가지 조건 모두 최대 인장 변형은 사다리의 상부, 최대 압축변형은 아웃리거를 포함한 사다리차의 본체에서 발생하였으나 고정조건 2번의 경우 본체의 뒷부분과 아웃리거 뒷쪽에서 가장



(a) Fixed Condition Number 1

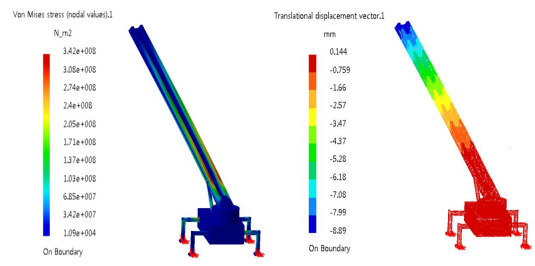


(b) Fixed Condition Number 2

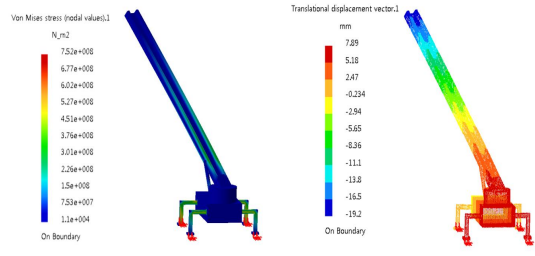


(c) Fixed Condition Number 3

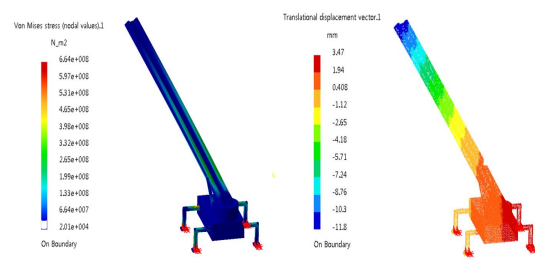
Fig. 5 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius (Rising Angle : 15°)



(a) Fixed Condition Number 1



(b) Fixed Condition Number 2



(c) Fixed Condition Number 3

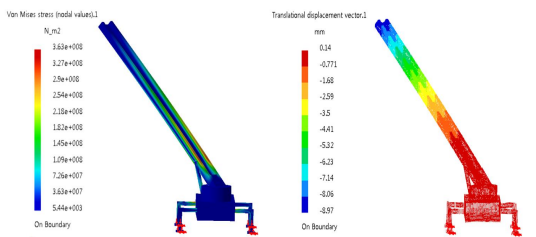
Fig. 6 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius (Rising Angle : 30°)

장 크게 압축변형이 발생하였으며 고정조건 3번의 경우 z방향이 해제된 우측 아웃리거 부분에서 가장 크게 발생하였으며 이는 Fig. 6와 Table 3에서 확인할 수 있다.

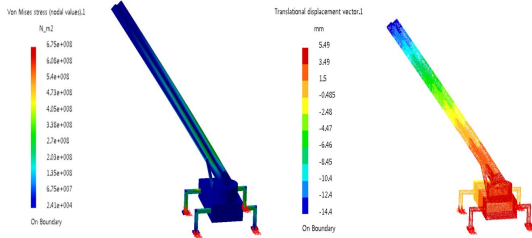
회전반경 45°의 경우는 고정조건 1번이 가장 낮은 응력과 인장, 압축에 의한 변형을 보였으며 고정조건 3번이 가장 높은 응력과 인장, 압축변형을 나타냈으며 고정조건에 따라 각각 2.15, 1.16, 1.12의 안전율을 보였다. 또한, 고정조건 2, 3의 경우 아웃리거 부분에서 최대 응력을 나타냈으나 고정조건 1의 경우 사다리의 하단과 아웃리거 부분에서 둘 다 최대응력을 보였다. 세 가지 조건 모두 최대 인장변형은 사다리의 상부, 최대 압축변형은 아웃리거를 포함한 사다리차의

Table 3 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius and fixed conditions

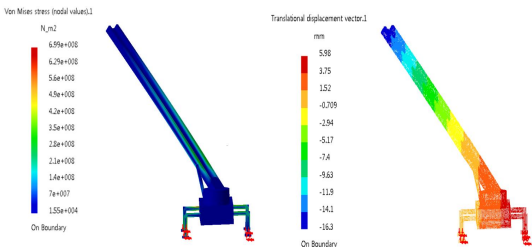
Fixed Condition Number	Rotating Radius (°)	Von Mises Stress (MPa)	Deformation (mm)	Safety Factor
1	15	315	-8.84/+0.14	2.48
	30	342	-8.89/+0.14	2.28
	45	363	-8.97/+0.14	2.15
2	15	854	-22.9/+9.38	0.91
	30	752	-19.2/+7.89	1.04
	45	675	-14.4/+5.49	1.16
3	15	579	-9.54/+0.50	1.35
	30	664	-11.8/+3.47	1.18
	45	699	-16.3/+5.98	1.12



(a) Fixed Condition Number 1

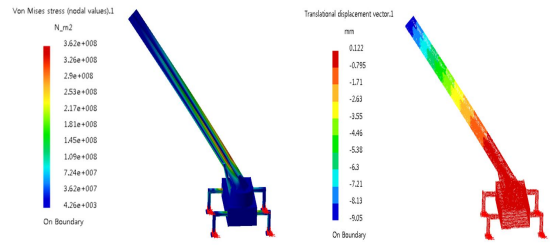


(b) Fixed Condition Number 2

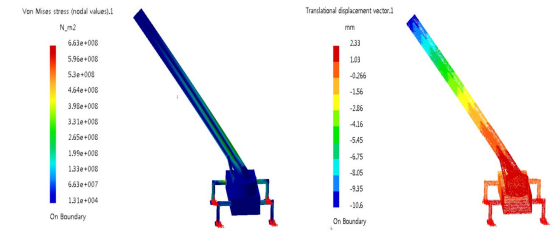


(c) Fixed Condition Number 3

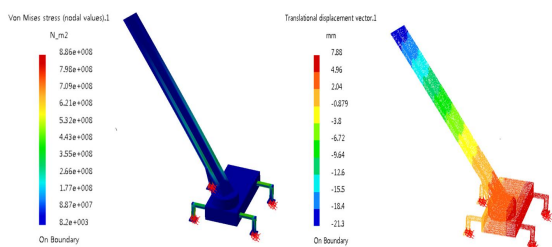
Fig. 7 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius (Rising Angle : 45°)



(a) Fixed Condition Number 1

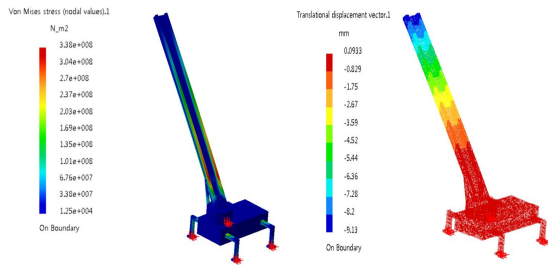


(b) Fixed Condition Number 2

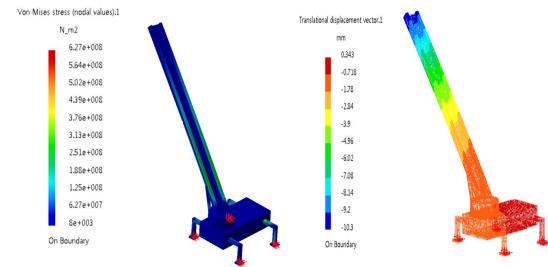


(c) Fixed Condition Number 3

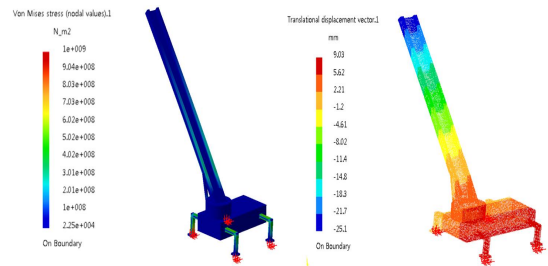
Fig. 8 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius (Rising Angle : 60°)



(a) Fixed Condition Number 1



(b) Fixed Condition Number 2

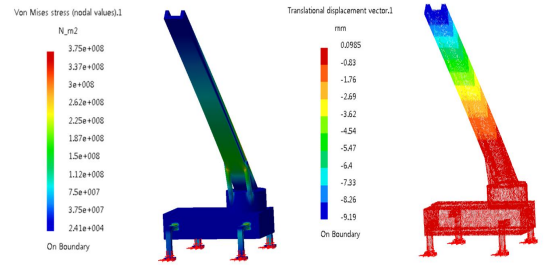


(c) Fixed Condition Number 3

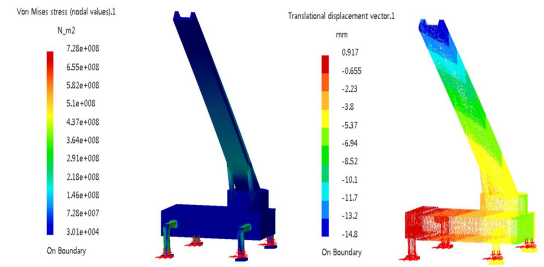
Fig. 9 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius (Rising Angle : 75°)

본체에서 발생하였으며 회전반경 30° 조건과 동일한 위치에서 최대 인장 및 압축에 의한 변형이 발생하였으며 이는 Fig 7과 Table 3에서 확인할 수 있다.

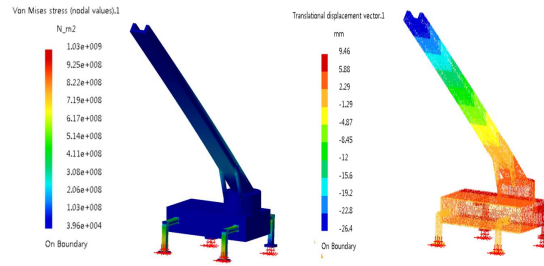
회전반경 60°, 75°, 90°의 경우 또한 회전반경 45°와 마찬가지로 고정조건 1번이 가장 낮은 응력과 인장, 압축에 의한 변형을 보였으며 고정조건 3번이 가장 높은 응력과 인장, 압축변형을 보였고 회전반경 및 고정조건에 따라 각각 60°에서 2.15, 1.18, 0.88 75°에서 2.31, 1.21, 0.78 90°에서 2.08, 1.03, 0.78의 안전율을 나타냈다. 또한, 60°, 75°, 90° 회전반경 모두 고정조건 2, 3의 경우 아웃리거 부분에서 최대 응력을



(a) Fixed Condition Number 1



(b) Fixed Condition Number 2



(c) Fixed Condition Number 3

Fig. 10 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius (Rising Angle : 90°)

나타냈으나 고정조건 1의 경우 사다리의 하단과 아웃리거 부분에서 둘 다 최대응력을 보였다. 또한, 모두 최대 인장변형은 사다리의 상부, 최대 압축변형은 아웃리거를 포함한 사다리차의 본체에서 발생하였으며 회전반경 45° 조건과 동일한 위치에서 최대 인장 및 압축에 의한 변형이 발생하였으며 이는 Fig 8 ~ Fig 10과 Table 4에서 확인할 수 있다.

회전반경 상승에 따라 고정조건 1번과 2번의 경우 최대응력과 인장 및 압축에 의한 변형이 변칙적으로 나타나고 있으며 1번의 경우 회전반경에 따라, 2.08 ~ 2.48의 안전율을 보이고 있으며 15°에서 가장 높은

Table 4 Analysis results of stress and deformation according to the rotating radius and fixed conditions

Fixed Condition Number	Rotating Radius (°)	Von Mises Stress (MPa)	Deformation (mm)	Safety Factor
1	60	362	-9.05/+0.12	2.15
	75	338	-9.13/+0.09	2.31
	90	375	-9.19/+0.10	2.08
2	60	663	-10.6/+2.33	1.18
	75	627	-10.3/+0.34	1.21
	90	728	-14.8/+0.92	1.07
3	60	886	-21.3/+7.88	0.88
	75	1,000	-25.1/+9.03	0.78
	90	1,003	-26.4/+9.46	0.78

안정성과 90°에서 가장 낮은 안정성을 보였다. 2번의 경우 회전반경에 따라, 75°에서 가장 높은 안정성과 15°에서 반대로 가장 낮은 안정성을 나타냈다.

또한, 3번의 경우 1, 2번 고정조건과 달리 회전반경이 증가할수록 점차적으로 응력과 인장 및 압축에 의한 변형이 증가하였으며 안전율이 가장 낮게 나왔으며 1.35 ~ 0.78의 수치를 보였다.

아웃리저가 모두 Fixed된 1번의 경우 회전반경에 따라 모두 안전율 2 이상의 비교적 높은 수준을 보였으며 2번의 경우 회전반경 15°를 제외하고는 1 이상의 수준을 나타냈으나 3번의 경우 60° 이상에서는 안전율이 1 이하로 나타나 해석을 통한 고정조건의 변화의 경우 모두 고정된 형태와 뒤쪽 아웃리저의 z축 방향 Fixed 해제 조건, 우측 아웃리저 z축 방향 Fixed 해제조건 순으로 안정성이 높다는 결과를 보였다.

이를 통해 동일한 하중조건이 적용될 때 차량과 바닥면과의 고정조건의 변화는 차량의 안정성을 판단하는 중요한 요소로 작용하는 것을 판단할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 최근 건물의 고층화에 따른 소방용 고가사다리차의 수요 증가 및 안정성 검토의 중요성에 따라 고가사다리차의 단순화 모델을 통해 상승각도, 회전반경 및 해석 시 아웃리저와 지면과의 경계조건에 변화에 의한 유한요소해석과 이에 대한 안정성 분석을 진행하였다.

1. 상승각도 및 고정조건에 따른 해석 결과, 상승각도(15°, 45°, 72°)의 증가에 따라 안전율의 경우 고정조건 1번(1.87, 2.52, 5.58), 2번(1.40, 2.16, 5.57)로 상승각도가 증가할수록 사다리차의 전체적인 안전율은 향상되며 인장과 압축에 의한 최대 변형량이 감소하게 된다. 이는 동일한 하중을 받는 조건이지만 사다리차의 각도가 작을수록 하중 및 사다리의 자중에 의한 모멘트 증가에 의한 것으로 보인다. 또한, 뒷쪽 아우리저의 z축의 고정이 해제된 2번 조건의 경우 아웃리저 및 차량의 본체 뒤쪽에서 1번에 비하여 응력 및 변형량이 높게 나타났다.
2. 회전반경 및 고정조건의 변화에 따른 해석 결과, 고정조건 1번과 2번의 경우 최대응력과 인장 및 압축에 의한 변형이 변칙적으로 나타나며 1번의 경우 15°에서 가장 높은 안전율, 90°에서 가장 낮은 안전율을 보였으며 모든 각도에서 안전율 2이상의 값을 나타냈다. 2번의 경우 회전반경에 따라 75°에서 가장 높은 안전율과 15°에서 가장 낮은 안전율을 나타냈다. 또한, 3번의 경우 1, 2번 고정조건과 달리 회전반경이 증가할수록 점차적으로 응력과 인장 및 압축에 의한 변형 증가에 따라 안전율이 낮아지는 경향을 보였으며 60° 이상의 조건에서 모두 안전율 1 이하를 나타냈다.
3. 해석을 통한 고정조건의 변화의 경우 모두 고정된 형태와 뒤쪽 아웃리저의 z축 방향 Fixed 해제 조건, 우측 아웃리저 z축 방향 Fixed 해제조건 순으로 안정성이 높다는 결과를 보였다. 이러한 연구결과를 통해 실제 소방용 고가사다리차의 동일 조건에서의 실험값과의 비교분석을 통해 해석프로그램에서 최대한 적합한 고정조건을 도출하여 조건 변화에 따른 고가사다리차의 안정성 검토, 파손 및 전복의 위험성을 예측할 수 있을 것으로 보인다.

후 기

“이 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 광역협력권산업육성사업으로 수행된 연구결과입니다(P0002197)”

This research was supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Regional cooperation Industry Promotion Business(P0002197)

REFERENCES

1. Kim, H. G., Nah, S. C., Hong, D. P., Cho, N. I., "A Study on the optimal design for aluminum boom shape in high ladder vehicles," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 16, No. 3, pp. 96-102, 2007.
2. Kim, J. S., "A Study on the weight saving design of the boom in high ladder vehicle," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 16, No. 2, pp. 8-13, 2007.
3. Joo, J. W., Kang, S. I., Chae, K. B., "Structural analysis of high ladder structure for fire protection," *Journal of Industrial Science and Technology Institute*, Vol. 24, No. 1, pp. 69-76, 2010.
4. Hong, J. M., Lee, J. H., "Optimal design of boom joint for 2.5ton class aerial lift truck," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 35, No. 8, pp. 769-775, 2018.
5. Lee, K. S., "A Study on the characteristics of accelerated life test of automatic angle controlled carriage of ladder truck," A Thesis for a Master's, Chungnam National University, Republic of Korea, 2017.
6. Kang, D. M., "Optimal cabin design for special equipment vehicle," A Thesis for a Master's, Jeonju University, Republic of Korea, 2015.
7. Jeong, W., "A Study on the enlargement of effectiveness in fire fighting activities by the introduction of aerial lift truck," A Thesis for a Master's, University of Seoul, Republic of Korea, 2019.
8. Pertsch, A., Sawodny, O., "Modelling and control of coupled bending and torsional vibrations of an articulated aerial ladder," *Mechatronics*, Vol. 33, pp. 34-48, 2016.
9. Horvath, P., Hajdu, F., Kuti, R., "Investigation of swings caused by sudden wind loads during operation of an aerial ladder," *Faculty of Mechanical Engineering*, Vol. 48, pp. 351-356, 2020.
10. Lee, S. S., Kim, J. T., Park, W. Y., "Development of centralized controller with remote control and hydraulic lift," *Journal of Korean Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 232-241, 2017.
11. Kim, J. T., Lee, G. Y., Lee, S. S., Park, W. Y., "Centralized controller high altitude work car elevations lift structure safety assessment," *Journal of Korean Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 10, No. 4, pp. 350-357, 2017.
12. Lee, S. S., Kim, J. T., Park, W. Y., "Structural analysis for the development of a vertically raise type aerial work machinery," *Journal of Korean Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 225-231, 2017.
13. Lee, J. J., "A Study on optimization of the aerial lift boom through the finite element analysis," A Thesis for a Master's, Jeobuk National University, Republic of Korea, 2011.
14. Kang, D. M., Cho, K. C., Hwang, T. J., Sim, K. J., Guk, H. H., Kim, I. S., 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. 137-144, 2018.
15. Jeong, S. H., "Development of a vehicle loading lift for various aerial works," *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 141-146, 2010.