

## 다관절 고소작업 차량의 구조해석

방승옥<sup>1</sup>, 조재웅<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 기계공학과, <sup>2</sup>공주대학교 기계자동차공학부

### Structural Analysis of Multi-Linked High Place Working Vehicle

Seung-Ok Bang<sup>1</sup> and Jae-Ung Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

<sup>2</sup>Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

**요 약** 본 논문에서는 고소작업 차량의 플랫폼에 수직하중 조건을 주어 구조해석을 수행한다. 해석모델은 실제 크기의 1:10으로 축소한다. 붐의 각도에 따른 응력분포 및 변형량 분석을 통하여 취약부분을 파악한다. 해석결과를 보면 대부분 붐의 연결부분에서 응력이 집중되는 것을 볼 수 있다. 이러한 해석결과를 통하여 다른 부분에 비하여 상대적으로 취약한 연결부분을 보완함으로써 안전성을 증진시킨다.

**Abstract** In this paper, the structural analysis is carried out with the vertical loading condition on the platform of the high place working vehicle. The model of analysis is reduced on the scale of 1:10. Deformation and stress distribution of boom are analyzed with the variation of angle at boom position and the vulnerable parts are checked. Analysis result shows that most stress is concentrated at the connection of the boom. Through this analysis result, the safety on this vehicle can be improved by making up for the relatively weak connection parts as compared with other parts.

**Key Words** : Structural Analysis, Finite Element, Stress Distribution, Safety Factor, High Place Working Vehicle

### 1. 서론

조선 및 건설 작업현장에서는 작업자의 작업능률을 높이기 위하여 조립블록, 크레인, 리프트와 같은 장비들을 이용하고 있다. 이러한 장비들은 협소한 공간에서도 고소작업을 수행할 수 있기 때문에 작업현장에서 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 다관절 고소작업 차량은 여러 개의 붐(Boom)이 연결되어 굴절이 가능하다. 각 붐의 연결 부분에 설치된 유압장치는 붐을 상하로 조정하며 붐 끝에 연결된 플랫폼(Platform)에서 작업자가 작업을 수행한다[1]. 이러한 굴절 기능을 통하여 복잡하고 위험한 현장에서 원활하게 작업 대상에 접근할 수 있고 작업자의 편의를 도모한다. 이와 같은 고소작업 차량의 경우에는 일반적으로 2m 이상 높이에서 작업이 이루어지기 때문에 작업자의 안전을 위해서는 구조물에 대한 안전성을 분석

하는 것이 중요하다. 반복적 작업으로 인하여 그림 1과 같이 응력이 집중되는 부분에서는 크랙이 발생할 수 있다. 이와 관련하여 고소작업 차량에 대한 국내 연구 및



[그림 1] 응력집중으로 인한 크랙 발생

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0075368).

\*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 10년 08월 30일

수정일 10년 09월 14일

게재확정일 11년 02월 10일

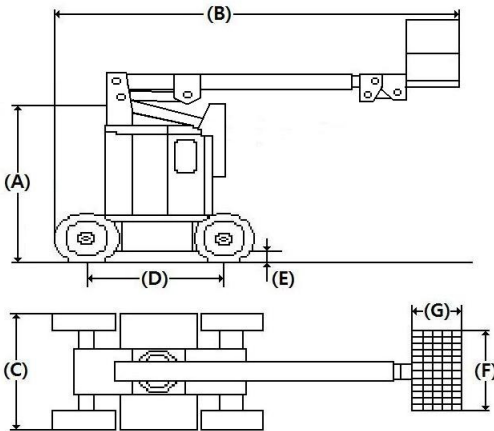
기술개발이 이루어지고 있지만 구조해석에 대한 연구는 미흡한 실정이다[2-4].

본 연구에서는 다관절 고소작업 차량의 유한요소 모델을 가지고 구조해석을 수행하였다. 장비의 상단 끝에 장착된 플랫폼에 지면과 수직인 하중을 주고 붓의 각도에 따라서 발생하는 응력분포 및 변형을 분석하였다. 또한 실린더의 위치 변화에 따라 응력이 분산되는지를 해석하고 반복하중에 의한 안전계수를 확인하였다[5].

## 2. 해석모델 및 충돌해석

### 2.1 해석모델

본 해석에 사용된 모델은 CATIA V5 R18으로 모델링하였으며, 해석 시간의 손실을 줄이기 위하여 실제 작업 현장에서 사용되고 있는 고소작업 차량의 1:10 크기로 축소하였다. 또한 원활한 진행을 위하여 구조를 단순화하고 각 부품들은 어셈블리 하였다[6,7]. 해석모델의 각 부분별 치수는 그림 2와 표 1에 나타나 있으며, 모델의 재질은 ANSYS에서 제공하는 ASME BPV Fatigue Data의 Structural Steel로서 그 특성은 표 2와 같다.



[그림 2] 고소작업 차량의 형상

[표 1] 해석모델의 치수

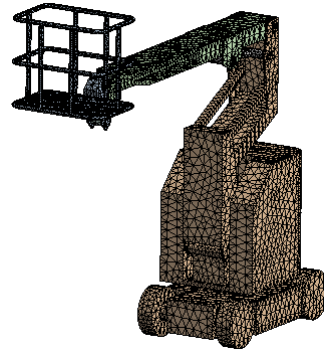
기호	명칭	치수(mm)
(A)	차체 높이	200
(B)	차체 길이	480
(C)	차체 너비	120
(D)	휠 베이스	160
(E)	지상 여유	9
(F)	플랫폼 너비	117
(G)	플랫폼 길이	76

[표 2] 구조용 강물의 물성치

Young's Modulus (MPa)	$2 \times 10^5$
Poisson's Ratio	0.3
Mass Density ( $\text{kg/mm}^3$ )	$7.85 \times 10^{-6}$
Tensile Yield Strength (MPa)	250
Compressive Yield Strength (MPa)	250
Tensile Ultimate Strength (MPa)	460

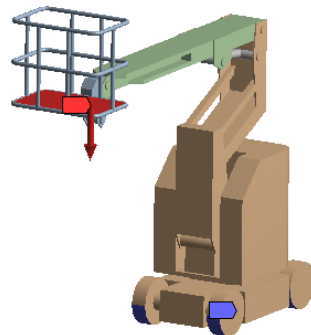
해석모델은 ANSYS 12.0을 사용하여 그림 3과 같이 유한요소로 분할하였으며, 사용된 요소의 종류는 사면체 요소(Tetrahedral Element)이다. 모델의 절점 및 요소들의 개수는 각각 75435개와 38930개 이다.

본 해석에서는 작업자 및 자재가 플랫폼에 탑재되어 있다고 가정하고 지면에 수직인 하중을 준다. 실제 고소작업 차량의 최대 적재 중량은 230 kg으로 축소 비율을 고려하여 그림 4에서와 같이 플랫폼 발판에는 지면 방향으로 225.4 N의 하중을 주고 타이어는 지면에 고정되어 있다고 설정한다.



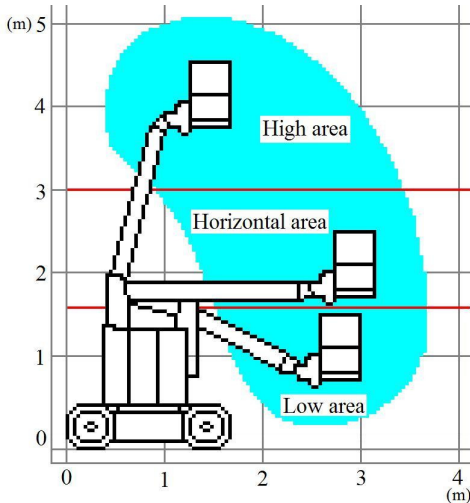
[그림 3] 해석모델의 요소 및 절점

Force: 225.4 N  
Fixed Support



[그림 4] 해석모델의 하중 및 구속 조건

고소작업 차량의 동작 범위는 그림 5와 같이 플랫폼과 차체 사이에 연결된 메인 붐의 각도에 따라서 크게 세 영역으로 나누어진다. 최대 하중이 가해지는 경우에 각 영역에서의 응력분포 및 변형을 파악하였다.

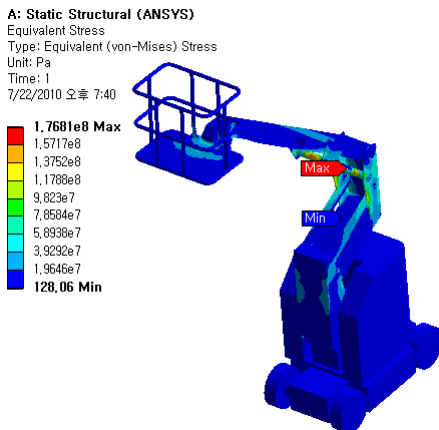


[그림 5] 고소작업 차량의 동작 범위

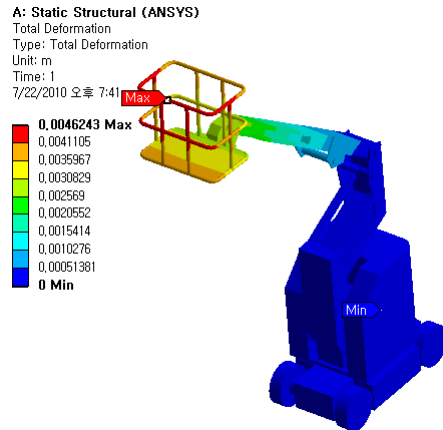
조립된 모델을 ANSYS로 불러오는 과정에서 각 부품들 사이의 접촉이 자동으로 용접 상태가 된다. 그러나 핀으로 연결된 부분에는 슬라이딩이 발생할 수 있으므로 해석을 수행하기 위하여 각 부품의 세부 접촉 형태를 No Separation 으로 정의하였다.

## 2.2 구조해석

### 2.2.1 높은 영역(High Area)



[그림 6] 해석모델의 응력분포(High Area)

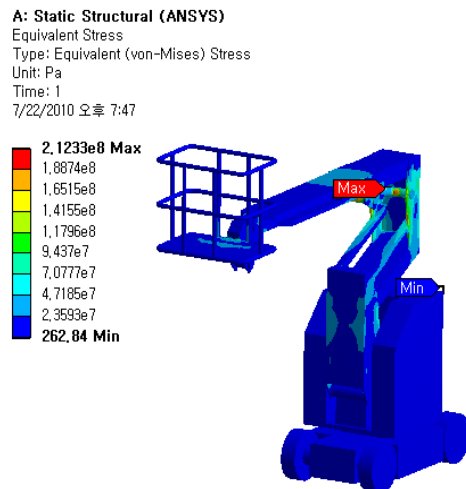


[그림 7] 해석모델의 전체변형(High Area)

플랫폼의 높이가 가장 높은 영역에서 최대 하중에 의하여 차체에 발생하는 응력분포는 그림 6과 같다. 실린더와 메인 붐 및 차체가 연결되는 부분에 응력이 집중되며, 이때의 최대 응력은 177 MPa 정도이다. 전체 변형은 그림 7에서와 같이 플랫폼의 앞쪽에 4.62 mm 정도의 변형이 생기는 것을 볼 수 있다.

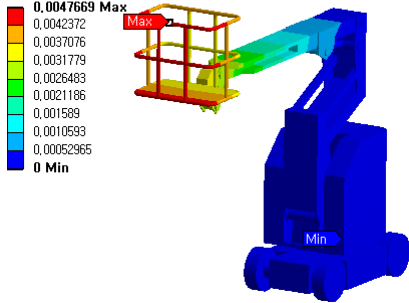
### 2.2.2 수평 영역(Horizontal Area)

플랫폼과 메인 붐이 지면과 수평인 영역에서 차체에 발생하는 응력분포를 보면 그림 8과 같이 연결 부분에서 응력이 집중되며 212 MPa 정도의 최대 응력이 발생한다. 수평 영역에서의 전체 변형은 그림 9에서와 같이 플랫폼의 앞에 4.77 mm 정도의 최대 변형이 발생한다.



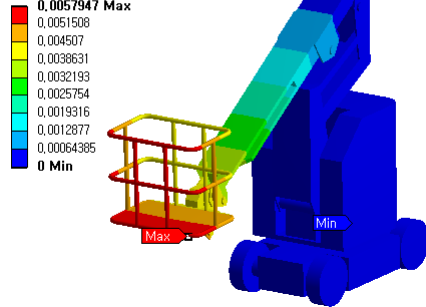
[그림 8] 해석모델의 응력분포(Horizontal Area)

A: Static Structural (ANSYS)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 1  
7/22/2010 오후 7:48



[그림 9] 해석모델의 전체변형(Horizontal Area)

A: Static Structural (ANSYS)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 1  
7/22/2010 오후 8:06



[그림 11] 해석모델의 전체변형(Low Area)

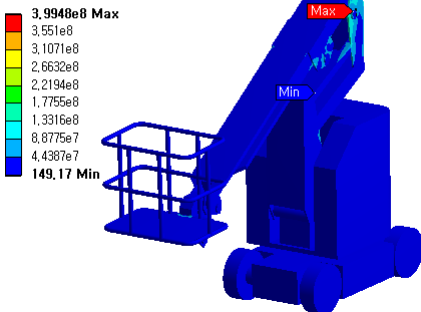
### 2.2.3 낮은 영역(Low Area)

하중이 작용하는 플랫폼의 높이가 가장 낮은 곳에 위치하는 경우에는 그림 10과 같이 연결 부분에서 399 MPa 정도의 최대 응력이 발생한다. 이는 다른 영역에 비하여 메인 붐과 실린더 사이의 각이 좁아져 외팔보(Cantilever)에 가까운 형태가 됨에 따른 것으로 사료된다. 또한 원활한 움직임을 위하여 구조를 단순화한 차체 상단 붐에도 177 MPa 이상의 큰 응력이 발생한다.

전체 변형의 최대 값은 5.79 mm 정도로 그림 11과 같이 플랫폼 앞쪽에서 발생하는 것을 볼 수 있다.

해석 결과를 보면 메인 붐과 차체 상단 붐 및 실린더가 연결되는 부분에서 응력이 집중되는 것을 볼 수 있다. 이러한 응력집중으로 인하여 실린더와 붐의 연결 부위에 파손이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 이 부분에 집중되는 응력을 분산시키도록 구조를 수정하여 안전계수를 높이는 보완이 필요하다고 판단된다.

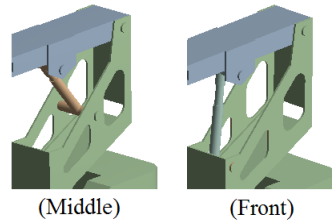
A: Static Structural (ANSYS)  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: Pa  
Time: 1  
7/22/2010 오후 8:06



[그림 10] 해석모델의 응력분포(Low Area)

### 2.3 보완 전 · 후의 구조해석 비교

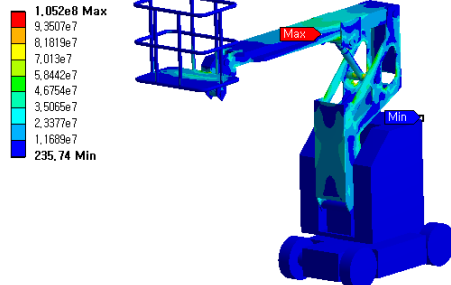
해석모델의 취약부분인 차체 상단 붐을 그림 12와 같이 보완하였다. 또한 실린더와의 연결 위치를 중앙 및 앞부분으로 수정하고 보완 전과 동일한 조건으로 수평 영역에서 해석을 수행하였다.



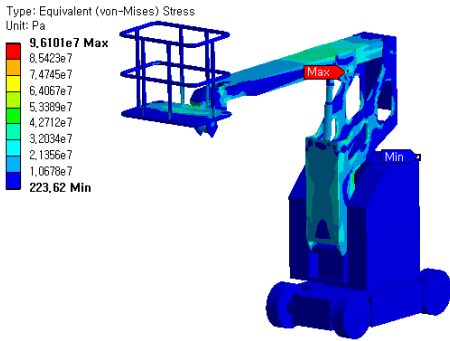
[그림 12] 구조보완 및 실린더 연결 위치 변화

보완 후 차체 상단 붐과 실린더의 연결 위치에 따른 응력분포를 보면 그림 13과 같다. 중앙에 연결되는 (a)의 경우에 105 MPa, 앞부분에 연결되는 (b)의 경우에는 96 MPa 정도의 최대 응력이 발생한다. 또한 차체 상단 붐에 집중되던 응력이 붐의 전체로 분산되는 것을 볼 수 있다.

Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: Pa



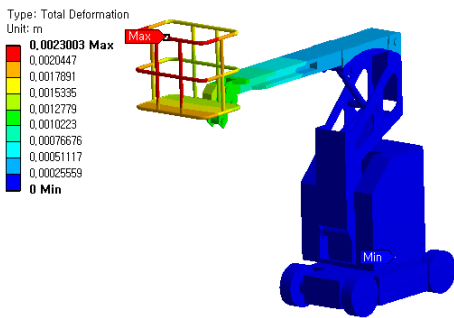
(a) Middle



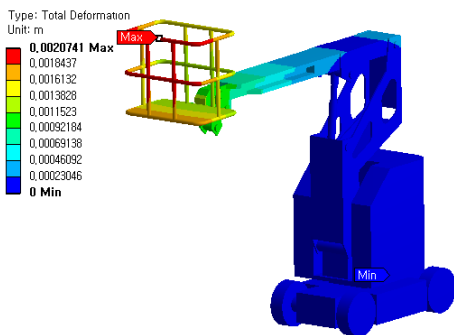
(b) Front

[그림 13] 실린더 위치에 따른 응력분포

전체 변형은 그림 14와 같이 중앙에 연결되는 (c)의 경우에 2.30 mm, 앞부분에 연결되는 (d)의 경우에는는 2.07 mm 정도의 최대 변형이 발생한다.



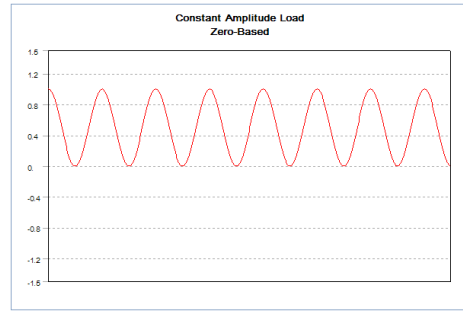
(c) Middle



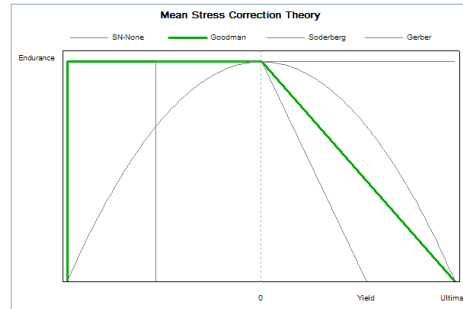
(d) Front

[그림 14] 실린더 위치에 따른 전체 변형

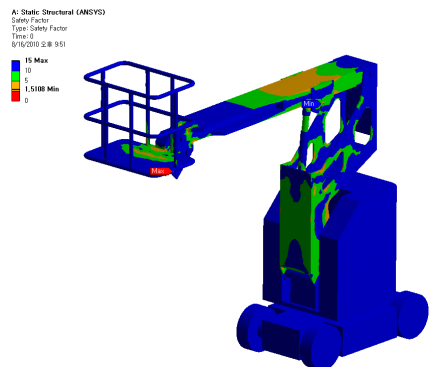
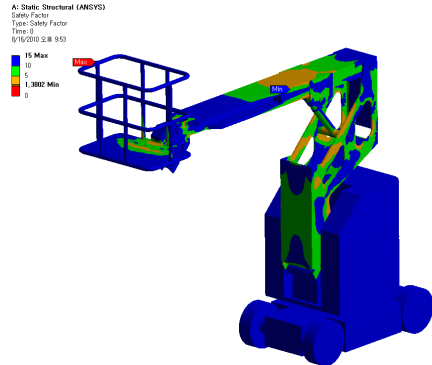
실린더의 위치가 변화함으로써 안전성이 증가하는지를 보기 위하여 그림 15와 같이 Sine 형태의 Zero-Based 하중을 주었으며, Goodman 이론을 적용하였다.



(a) Constant Amplitude Load



(b) Mean Stress Correction Theory  
[그림 15] 반복하중(a) 및 적용이론(b)



[그림 16] 실린더 위치에 따른 모델의 안전계수(Middle/Front)

모델의 안전계수의 분포는 그림 16과 같이 응력분포와 유사하며 실린더와 차체 상단 붐이 중앙에서 연결되는 경우에는 최소 값이 1.38이며, 앞부분에 연결되는 경우에는 1.51 정도의 최소 안전계수 값을 보여준다.

### 3. 결론

본 논문에서는 고소작업 차량의 플랫폼에 작용하는 하중에 의하여 차체에 발생하는 응력분포 및 변형을 해석하였다. 또한 취약 부분의 보완 전·후를 비교하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 플랫폼에 최대 하중이 작용하는 경우, 메인 붐과 실린더 및 차체 상단 붐의 연결 부분이 응력집중으로 인하여 파손될 가능성이 높다.
2. 실린더와 차체 상단 붐의 연결 위치가 앞부분인 경우에는 응력 및 변형 값이 96 MPa과 2.07 mm로 50% 이상 감소하였다.
3. 구조적 보완 후 피로하중에 의한 차체의 안전계수 최소 값이 1.38 및 1.51로 보완 전 보다 2배 이상 증가하였다.

### 참고문헌

- [1] 김민호, 김태영, “고소작업차 자동수평장치를 위한 회전식 유압실린더 개발”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집(하), pp. 1129-1130, 5월, 2010.
- [2] 김면희, 이상룡, “다관절 고소 작업 장치의 개발 (Design of Multi-Linked Lifter)”, 대한기계학회 춘추학술대회 논문집, 제1권, 제1호, pp. 562-565, 4월, 2000.
- [3] 김문기, 심영보, 박철규, 장명수, 이교일, “객체지향 기법을 이용한 다관절 크레인의 유압 시스템 시뮬레이션”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집 (II), pp. 751-755, 11월, 1997.
- [4] 김홍건, 나석찬, 홍동표, 조남익, “고가사다리차의 알루미늄 붐 형상의 최적설계에 관한 연구”, 한국공작기계학회 논문집, 제16권, 제3호, pp. 96-102, 6월, 2007.
- [5] 조재웅, 이은종, “불균일 하중을 받는 피로 파괴에 관한 연구”, 한국산학기술학회 춘계학술대회 논문집, pp. 100-102, 6월, 2004.
- [6] 이종선, “초미립자 살포기의 설계 및 구조개선”, 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제1호, pp.

43-48, 1월, 2010.

- [7] 이종선, 백두성, “레그 익스텐션 기구의 설계 및 구조해석”, 한국산학기술학회논문지, 제5권, 제4호, pp. 326-330, 8월, 2004.

### 방 승 옥(Seung-Ok Bang)

[준회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 자동차공학과 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

### 조 재 응(Jae-Ung Cho)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석