

## 유한 요소법을 이용한 붐대의 동특성 해석 Dynamic Analysis of Boom Using Finite Element Method

한수현\* · 김병진\* · 홍동표\*\* · 태신호\*\*\*

Han Su Hyun, Kim Byung Jin, Hong Dong Pyo and Tae Sin Ho

**Key Words** : CAE , Boom, Structural analysis & Shape design, dynamic condition, stiffness, deflection, and dynamic condition.

### ABSTRACT

The Aerial platform Truck is widely used for work in high place with the aerial platform. The most important thing is that worker's safety and worker must be able to work with trustworthiness so it needs to be verified its stiffness, deflection of boom, and dynamic condition concerned with a rollover accident.

It should have an analytical exactitude because it is directly linked with the worker safety. In this point, we are trying to develop a proper CAE analysis model concerned with a rollover safety, bending stress and deflection for load.

The Aerial platform Truck have a dynamic characteristics by load and moving of boom in the work field, so its static and dynamic strength analysis, structural mechanics are very important.

Therefore, we evaluate the safety of each boom to calculating its stress, deflection. A computer simulation program is used widely for doing applying calculation of stiffness and structural mechanics, then finally trying to find a optimum design of the Aerial platform Truck.

### 1. 서 론

지지대 없는 높은 곳의 열악한 환경에서의 작업을 위하여 고소작업차의 개발이 진행중이다. 여기서 가장 중요한 것은 작업자의 안전과 작업자가 신뢰감을 가지고 작업할 수 있어야 한다는 것이다. 그러므로 구조 및 강도의 설계가 최상의 조건을 만족하는가를 검증하여야 한다. 현재의 경험적 방법과 조건 설정의 한계성을 극복하고 이론적이고 과학적인 최상의 조건을 정립하여야만 최적의 고소작업차의 개발이 가능하며, 이러한 품질보증의 완전한 장비를 사용함으로써 품질의 고급화 등을 통한 생산성 향상 및 판매기대 효과도 얻을 수 있다. 개발과정에서의 설계에서 양산까지 많은 어려움이 있지만 본 연구에서는 고소작업차의 붐대를 유한

요소법을 이용한 동적특성을 해석하였다. 이러한 해석의 결과들은 붐대의 두께 및 작업자의 인원 등을 좌우할 수 있는 중요한 정보가 될 수 있다. 더 나아가 제품의 생산비 절감에도 도움이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서 적용되는 유한요소법(Finite Element Method)은 한정된 크기의 연속체를 유한개의 요소의 집합체로 가정하고 각 요소에 한정된 수의 절점을 만들어 에너지 최소화 원리 또는 가상변위의 원리를 토대로 절점의 변위 값을 구하여 연속체의 변형을 근사적으로 나타내는 수치 해석법이다. 해석과정은 CAE시스템을 이용하였다

CAE란 컴퓨터 이용 공학(Computer Aided Engineering)의 약어로 컴퓨터 이용에 관한 기술 전반을 의미하며 CAD, CAM 등이 있다. 시스템으로 작성한 모델에 따라 이전처럼 사람이 직접 제품을 제조하면 강도, 소음, 진동 등의 예측 불가능한 결점이 나타날 수 있으나 CAE는 CAD로 작성한 모델의 성능을 컴퓨터 내에서 상세히 검토하여 그 자료를 토대로 모델을 수정하는 시스템이므로 제품의 성능이나 특성을 시험 제작 전에 미리 예측하여 개발 기간의 단축, 공정 비용 절감 등을 할 수 있다.

\* 소속 : 전북대학교 정밀기계공학과 대학원

E-mail : hab79@hotmail.com

Tel : (063) 270-2455

\*\* 전북대학교 공과대학 기계항공시스템공학과

\*\*\* 현대자동차

## 2. 설계 및 모델링

### 2.1 기본 Lay-Out 설계 및 Boom의 구조 설계

본 연구의 개발하고자하는 40m이상의 고소작업차의 전체적인 차량의 Lay-Out을 먼저 기본 설계하여 전체적인 구조나 중량의 한계를 벗어나지 않고 안정성을 갖도록 그림 1과 같이 설계하였다. 고소작업차의 Boom의 구조는 아래의 그림 2와 같이 단면을 나타낼 수 있다. 또한 특이한 점은 자중과 집중하중에서 발생하는 응력 집중과 굽힘 모멘트를 줄이기 위하여 육각형으로 설계하였다.

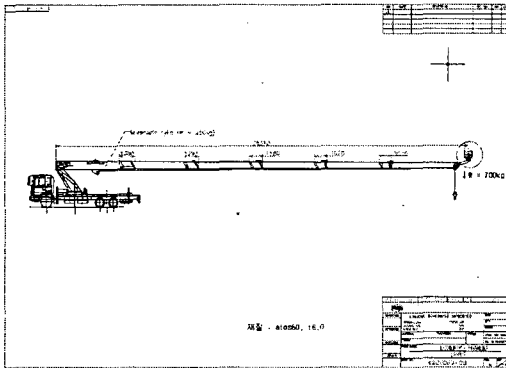


그림 1 고소작업차의 설계도

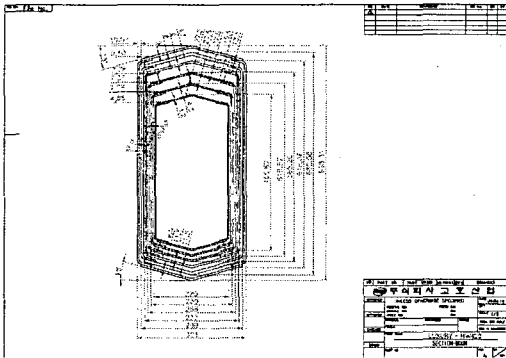


그림 2 고소작업차 붐대의 단면도

### 2.2 모델링

상용 해석 프로그램을 이용하여 모델링을 수행하였고 이는 설계도면에 따른 치수에 의한 것이다. 모델링을 용이하게 하기 위하여 점좌표의 추출은 CATIA V5를 이용하였다. 그림 3은 실제 고소작업차의 최대작업각도 일 때의 모습이다. 그림 4 ~ 그림 6 은 프로그램에서 모델링되는 과정을 보여 준다.

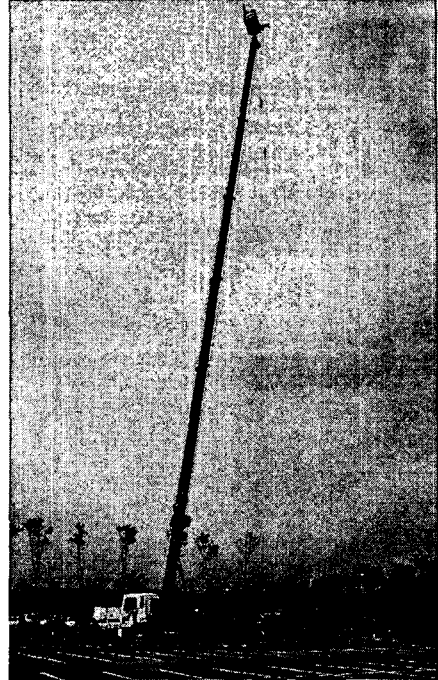


그림 3 실제 고소작업차의 최대작업각도일 때의 모습

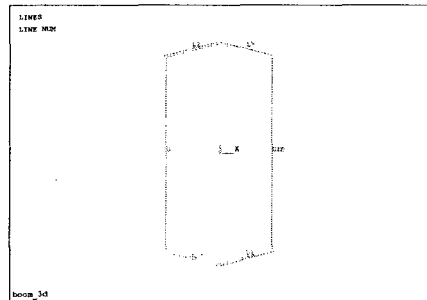


그림 4 붐대의 단면 모델링

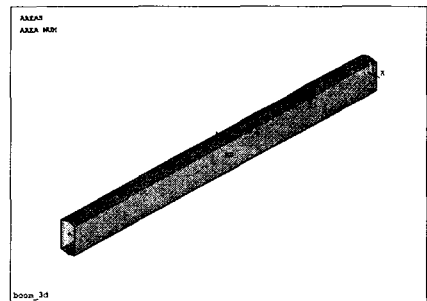


그림 5 1단 붐대의 볼륨 모델링

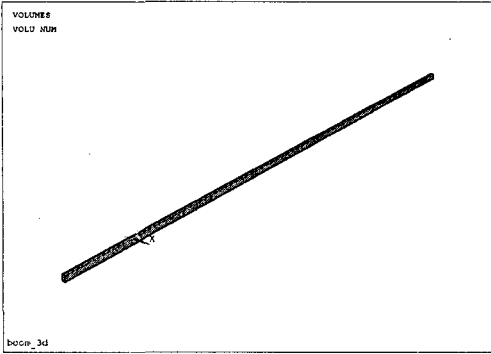


그림 6 최종 완성된 모델

### 3. 해석 과정

#### 3.1 Boom의 재료 물성치 및 재원

유한요소 해석 시 요구되는 재료의 물성치는 영계수와 밀도이며, 겹침량, 각단의 길이, 작업각도 등의 유한요소 모델링 시 요구되는 값들이다.

표 1 재료의 물성치

Boom	재질	영계수	밀도	프라이츰비	비고
1단~6단	ATOS 60 (연강)	210X10 <sup>9</sup> N/m	7850kg	0.3	

기호	적용두께 (mm)	화학성분(wt%)						인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )
		C	Si	Mn	P	S	Nb	
ATO	4.5이상12.	0.20	0.40	1.50	0.030	0.030	0.050	60미만
SG6	7이하	이하	이하	이하	이하	이하	이하	

기호	인장시험				굴곡시험	
	항복강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율(압연방향,%)		굴곡 각도	내측반경	시험편
		5호시험편	1A호 시험편.6.3mm 이상			
ATO SG6	45미만	25이상	15이상	180	1.5t	3호 압연 방향에 직각

- ※비고 - ① 외관, 형상, 치수, 무게 및 그 허용치는 KSD3555(강관용 열간 압연탄소강대)에 따름  
 ② 인장시험편 및 굴곡 시험편수 상동  
 ③ 굴곡시험편 KS다호 압연방향

표 2 붐대의 재원

항목	내용	비고
Boom의 수량	6단	
Boom의 길이	각단평균 6830mm	
겹침량	각단평균 1200mm	
Boom전체길이	36.31m	
최대작업높이	41m	
작업하중	700kg	
작업각도	45도, 60도, 65도, 70도, 75도, 80도, 85도	

#### 3.2 해석과정

해석 과정은 아래의 순서도에서 나타난 바와 같이 실행하였다. 그리고 그림 7은 프로그램에서의 해석을 나타낸 것이다 모델링을 하고 Mesh의 크기는 0.3으로 하였고 6단의 끝에 최대 하중은 700 kg을 가하여 해석하였다.

순서도 해석 과정

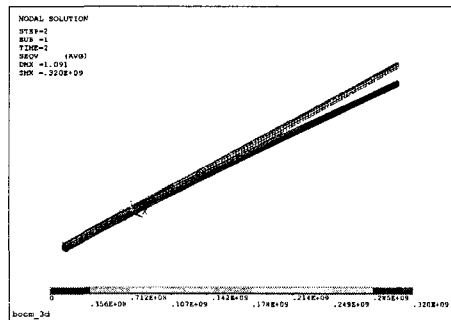
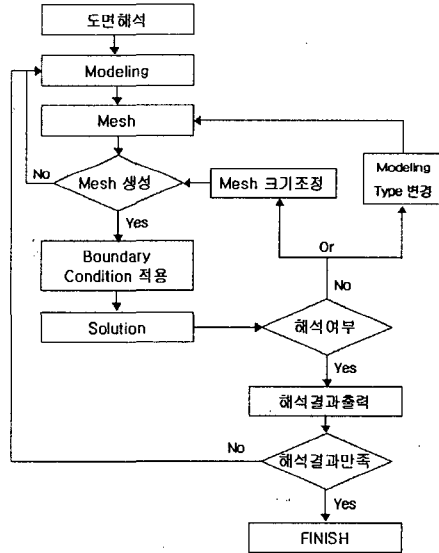


그림 7 해석 결과 출력

## 4. 해석 결과

### 4.1 처짐량

각 단의 처짐량을 구하는 위치는 각 단 끝부분의 node point이다. 표 3에서 나타난 바와 같이 처짐은 0.006m에서 1.091m사이에서 나타났고 최대처짐은 작업각도 0도의 6단에서 최소처짐은 작업각도 85도의 1단에서 나타났다. 처짐량의 경향은 예상했던 바와 같이 작업각도가 높을수록 작은 처짐을 보였고, 1단에서보다 6단에서 많은 처짐을 볼 수 있다. 그림 8 ~ 그림 9는 0도와 85도의 각 단의 처짐을 비교한 것이다

표 3 각도에 따른 붐대 각 단 끝에서의 처짐량(단위: m)

	1단	2단	3단	4단	5단	6단
0도	0.067	0.198	0.380	0.597	0.834	1.091
45도	0.047	0.140	0.269	0.422	0.590	0.772
60도	0.033	0.099	0.190	0.299	0.417	0.546
65도	0.028	0.084	0.161	0.252	0.353	0.461
70도	0.023	0.068	0.130	0.204	0.286	0.373
75도	0.017	0.051	0.098	0.155	0.216	0.283
80도	0.012	0.034	0.066	0.104	0.145	0.190
85도	0.006	0.017	0.033	0.052	0.073	0.095

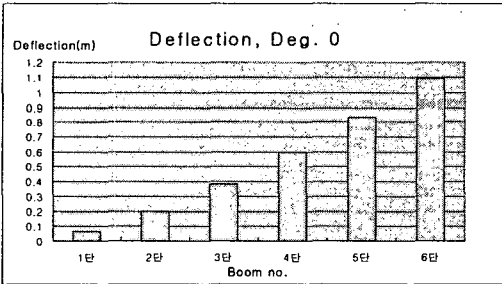


그림 8 작업각도 0도일 때 하중에 의한 각단의 처짐량

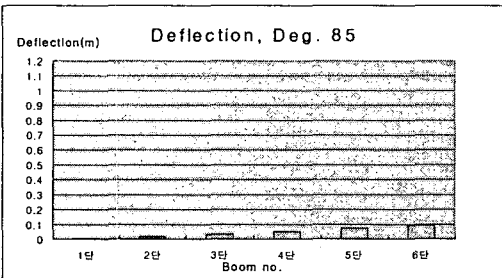


그림 9 작업각도 85도일 때 하중에 의한 각단의 처짐량

### 4.2 발생 응력

발생 응력 분포는 표 4에서 나타난 바와 같이 가장 많은 응력이 집중되는 상황은 작업각도 0도일 때 1단에서  $0.0015 \times 10^9 N/m^2$ 로 나타났다. 그러나 Boom이 최대로 신장되고 최대 하중을 가한 조건에서 작업각도 0도에서의 결과는 무의미하다. 따라서 실제작업각도인 60도 이상의 결과로 안전성을 평가하는 것이 바람직하다. 그림 10은 Boom의 위치에 따른 응력분포를 보여주고 있다. 그림에서 Boom 간의 이음부분에서 최대응력이 분포하는 것을 알 수 있다. 그림 11에서 그림 12까지는 작업각도별 각 Boom에서 발생하는 최대응력을 비교한 것이다.

표 4 각도에 따른 붐대 각 단의 최대발생응력 (단위:m)

	1단	2단	3단	4단	5단	6단
0도	0.3203	0.2306	0.1567	0.0836	0.0273	0.0025
45도	0.2292	0.1162	0.0823	0.0441	0.0148	0.0021
60도	0.1634	0.1180	0.0806	0.0434	0.0146	0.0021
65도	0.1387	0.1003	0.0686	0.0370	0.0125	0.0020
70도	0.1130	0.0818	0.0560	0.0303	0.0104	0.0019
75도	0.0865	0.0627	0.0431	0.0234	0.0081	0.0017
80도	0.0592	0.0431	0.0298	0.0163	0.0058	0.0015
85도	0.0316	0.0232	0.0162	0.0091	0.0035	0.0013

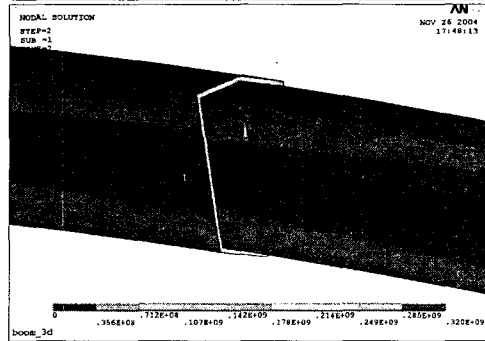


그림 10 붐대 위치에 따른 응력 분포

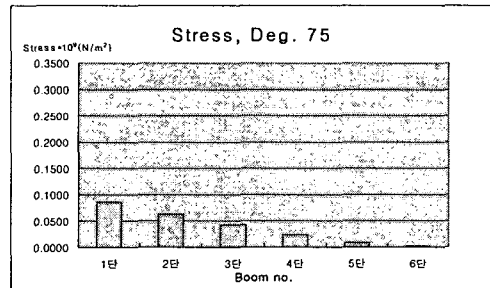


그림 11 작업각도 75도일 때 하중에 의한 각단의 최대응력

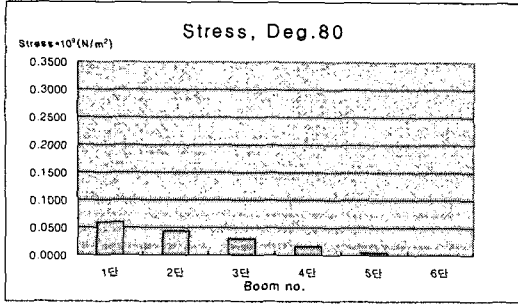


그림 12 작업각도 80도일 때 하중에 의한 각단의 최대응력

### 4.3 안전율

안전율(또는 안전계수)은 집중응력이 가장 큰 1단에서 안전하다면 그 이외의 단에서는 모두 안전하므로 그래프는 1단에서만 그리기로 한다. 발생응력은 표 4의 결과이고 허용응력응력은 기존 상용되고 있는 5단 Boom 고소작업차의 허용응력을 사용하였다, 결과적으로 Boom 구조물에 대한 안전율은 보통 1.6이상인 요구되는 바 본 연구에서 고소작업차의 안전성을 확보할 수 있게 되었다. 표 5은 각 단의 안전율을 계산한 것이다. 그리고 그림 13는 작업각도별 1단 Boom에서의 안전율을 도시한 것이다.

표 5 집중응력에 따른 각단의 안전율

	1단	2단	3단	4단	5단	6단
0도	2.142	2.975	4.377	8.209	25.091	274.785
45도	2.994	5.903	8.334	15.560	46.496	327.571
60도	4.199	5.815	8.512	15.815	46.973	319.590
65도	4.946	6.842	10.004	18.546	54.749	341.107
70도	6.070	8.388	12.245	22.631	66.197	370.171
75도	7.934	10.944	15.935	29.305	84.519	406.109
80도	11.578	15.913	23.056	42.011	118.113	450.102
85도	21.716	29.569	42.275	75.209	198.518	509.961

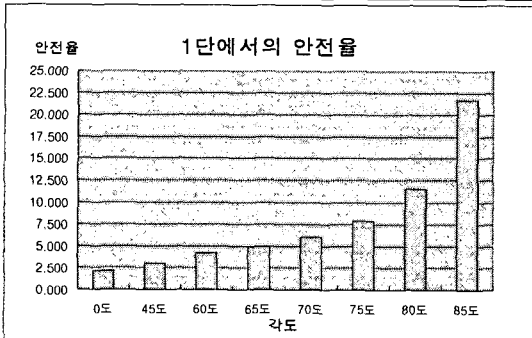


그림 13 작업각도에 따른 1단에서의 안전율

## 5. 결 론

본 과제의 고소작업차의 핵심은 Boom의 강도, 강성 및 전복안정성이다. 컴퓨터 시뮬레이션의 조건은 가장 극한 상황으로 구성 해석한 것을 안정성의 기준으로 삼았다.

1. 해석 결과는 작업각도 0도에서 최대 처짐이 1.091m이고, 작업각도 0도에서 최대응력집중은  $0.3203 \times 10^9 N/m^2$ 으로 해석되었다. 위의 극한 상황이란 6단의 Boom을 끝까지 신장시킨 상태이고 작업각도만을 변화시켜서 해석한 것을 말한다. 표 5에 나타난 바와 같이 최대응력집중에 대한 안전율이 2.142이상으로 해석되었다. 그러므로 Boom 구조물의 안전율 1.6이상을 만족하므로 안전성에 문제가 되지 않는다.

2. 고소작업차의 성능을 최적화 하는 설계기술 및 시뮬레이션 등의 개발로 응용기술을 활용하여 용도의 다양화 및 유사장비의 개발이 가능해 졌으며, 응력 시험을 기초로 하여 향후의 설계나 부분적인 개선 등에 보다 향상된 방법의 구상이나 적용 등이 더욱 활발해지리라 본다.

## 후 기

본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성 사업의 지휘로 “초고층용 고소작업 장비 최적설계 및 안전 시스템 개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] M.J.Turner, R.W.Clough, H.C.Martin, L.J.Topp, "Stiffness and Deflection of Complex Structures", J. of Aero. Sci. Vol. 23, (1956)
- [2] "An Introduction to the Mechanics of Solid" 2d ed. edited by S. H. Crandall, N. C. Dahl and T. J. Lardner(McGraw-Hill, New York. 1978), 공역 임재규, 조규종, 김영석, 김영수, "컴퓨터원용 고체역학"(시그마 프레스, 1996)
- [3] 저자 Jasbir S. Arora, 공역 류연선, 임오강, 박경진. "최적설계입문", 반도출판사(1994)
- [4] 저자, 태성에스엔이 FEA사업부, "제 4 판 유한요소해석 입문과 선형해석", (주)태성에스엔이 (2004)