

## 파괴방수차 다관절 붐의 동특성 및 내구성에 관한 연구

김진수<sup>1\*</sup>, 소수현<sup>2</sup>, 임수홍<sup>3</sup>

<sup>1</sup>전주대학교 기계자동차공학과, <sup>2</sup>경일대학교 소방방재학과, <sup>3</sup>전주대학교 기계공학과

### A Study on Dynamic Characteristics and Durability of Multi-joint Boom for Demolition Water Vehicle

Jin-Soo Kim<sup>1\*</sup>, Soo-Hyun So<sup>2</sup>, Su-Hong Lim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University

<sup>2</sup>Dept of Fire Safety Kyungil University

<sup>3</sup>Dept of Mechanical Engineering Jeonju University

**요약** 본 논문은 다관절 붐의 선단이 구조물과 충돌할 때 발생하는 각 붐의 동응력에 대해서 논하고자 한다. CATIA를 이용하여 3D 모델을 작성하고, ADAMS와 ANSYS를 이용하여 메쉬작업을 수행 후 응력데이터를 포함한 다관절 붐의 MNF를 만든다. 이 두가지 모델을 가지고 ADAMS에서 FFT해석을 수행하여 각각 모델의 타당성을 알아본다. ADAMS에서 타당성이 검증된 모델을 이용하여 붐 선단의 충돌해석에 따른 동특성 해석을 수행한다. ADAMS Durability를 이용하여 다관절 붐과 구조물의 충돌시 각 붐에 응력이 크게 발생하는 지점을 알아보고자 한다.

**Abstract** This paper discusses the dynamics stress of each boom, which occurs as a result of the conflicts on a multi-joint boom at the end effector and structure. In this process, CATIA was applied to create 3D modeling, ADAMS and ANSYS were then performed using mesh analysis by obtaining the stress data to create a MNF(Modal Neutral File) of multi-joint boom. Two types of MNF models were analyzed using ADAMS FFT(Fast Fourier Transform) performing to check the validity of each model. In this process, the models were verified by ADAMS, which performs the dynamic characteristics of conflict. The ADAMS Durability was used to analyze the maximum stress between the multi-joint boom and structure.

**Key Words** : ADAMS, ANSYS, Durability, FFT, MNF

### 1. 서론

소방차는 화재나 재해와 같은 긴급사태에 대비하여 소방용 등의 장비를 갖춘 특수차이다. 그러나 화재 발생시 일반적인 소방차로는 화재 진압에 어려움을 겪는 사건들이 종종 발생하는 추세이다[1]. 특수목적구조물의 화재 발생시 초기 진압이 가장 중요하지만 일반적인 소방차로는 구조물의 창문이나 외벽 등을 해체하기 위해서는 소방관들이 직접 나서야 하는 상황이 발생한다. 최근에는 소방대원에 의한 화재진압이 어려운 현장에 화재진압용 무

인방수로봇을 투입하기 위한 연구가 시도되고 있다[2].

이러한 관점에서 특수 목적 구조물의 화재 발생시 초기에 구조물의 외부를 파괴하고 내부로 방수 노즐을 삽입하여 효과적인 초기 진압을 수행하며, 소방관의 작업 안전성을 극대화한 "원격조정 파괴방수차"의 국산화 개발이 필요하다[3]. 본 논문에서는 한국형 파괴방수차에 필요한 다관절 붐의 충돌시 구조물과 노즐의 충돌하중을 파악하기 위한 해석모델을 작성한다. 본 논문에서는 강체 다관절붐을 유연체 모델로 변환하여 해석을 수행한다. MNF는 ADAMS에서 유연체 모델을 이용한 해석을

\*Corresponding Author : Jin-Soo Kim(Jeonju Univ.)

Tel: +82-63-220-2903 email: jskim@jj.ac.kr

Received April 16, 2014

Revised May 9, 2014

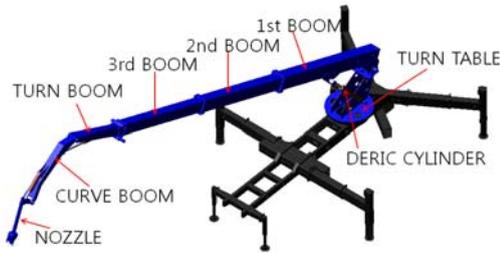
Accepted August 7, 2014

수행하기 위해 필요한 입력 파일로서, ANSYS와 MSC Nastran이 내장되어 있는 Adams/ViewFlex 모듈을 사용하여 MNF를 생성하며, MNF는 질량, 강성, 응력 등의 데이터를 매트릭스 형태로 구조화하여 포함하고 있다[4,5].

본 논문의 목적은 다관절 붐의 선단이 구조물과 충돌할 때 발생하는 붐의 동응력 해석이다. CATIA를 이용하여 강제 3D모델을 작성하며, ANSYS와 Adams/ViewFlex 모듈로 입력하여 메쉬 작업을 수행후 응력 데이터를 포함한 MNF를 생성하고 이 MNF를 ADAMS/VIEW로 불러들여 강제 다관절 붐을 유연체 다관절 붐으로 변환한 후 FFT해석을 수행한다. 이 다관절 유연체 모델을 이용하여 구조물과의 y축, z축 회전 충돌 해석을 수행하여 다관절 붐에 동특성을 파악한다. 이 결과로부터 본 논문에서 MNF생성에 Adams/ViewFlex 모듈을 이용한 유연체 다관절 붐의 타당성을 나타낸다.

Adams/ViewFlex 모듈의 MNF파일을 이용한 유연체 모델에만 적용가능한 ADAMS/Durability해석을 수행하여 다관절 붐의 충돌 하중 이력을 이용하여 MSR (Modal Stress Recovery) 방법에 의한 동응력값을 나타낸다.

## 2. 파괴방수차 모델링



[Fig. 1] Diagram of demolition water vehicle

파괴방수차는 물탱크 및 폼방수 시스템을 탑재하고, 파괴 방수 노즐을 탑재한 굴절 붐, 아웃트리거로 구성된다. 붐의 슬라이드는 3단으로 구성되며 슬라이드의 선단부에 회전 액츄에이터가 장착되어 360[°] 회전할 수 있다. 3차원 캐드 프로그램 CATIA를 이용하여 모델링한 파괴방수차의 모델은 Fig. 1과 같다[2].

3단 슬라이드 붐을 인출하고 회전 액츄에이터와 굴절 붐이 연결되어 있어 원하는 위치로 파괴 방수 노즐을 이동시킬 수 있다. 아웃트리거는 굴절 붐의 동작시 지면과

차량을 이격시켜 차량의 안정성 확보하는데 중요한 역할을 한다. 본 논문에서 사용된 붐에 대한 제원은 Table 1과 같다.

[Table 1] Parameters of booms

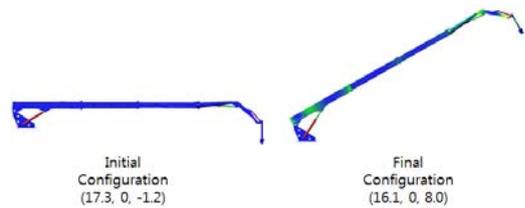
	Length [mm]	Mass[kg]
1st sliding boom	5,133	1008.6
2nd silding boom	5,004	615.1
3rd silding boom	5,283	589.5
1st refracting	2,309	186.9
2nd refracting	2,659	130.2

## 3. ADAMS MNF와 ANSYS MNF 비교

본 장에서는 ADAMS와 ANSYS에서 작성한 유한요소모델을 ADAMS에서 같은 조건으로 파괴방수차의 다관절 붐을 각각 동특성 해석을 수행한다. Fig. 2는 턴 테이블과 1번 붐이 연결되어 있는 데릭실린더에 힘을 입력하여 노즐 선단의 초기위치와 최종위치의 붐 형상과 위치이동을 나타내고 있다. 본 해석에서 사용된 힘의 함수는 다음과 같다.

$$F = 100,000 \cdot [100 \cdot (-30d - d_z) - v_z] \quad (1)$$

여기서  $d_z$ ,  $v_z$ 은 각각 데릭실린더의 z축상의 거리, 속도를 나타낸다.

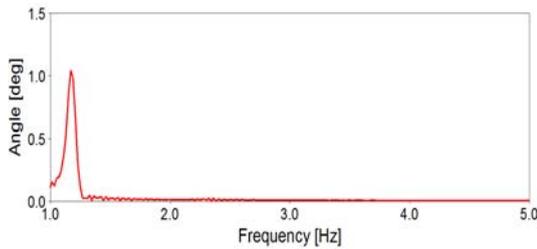


[Fig. 2] Configuration for FFT solver model

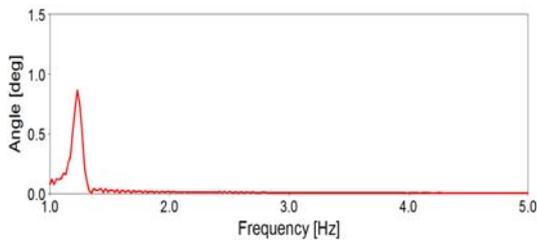
Fig. 3과 Fig. 4는 Fig. 1의 턴 테이블과 1번 붐 사이에 회전조인트의 각도변화에 대한 FFT해석 결과이다. Table 2 이 때 발생한 주파수와 최대 값을 나타낸다.

[Table 2] Result of FFT solver

	x-axis [Hz]	y-axis [deg]
ANSYS	1.1719	1.0399
ADAMS	1.2305	0.8663



[Fig. 3] Result of ANSYS model FFT



[Fig. 4] Result of ADAMS model FFT

이상의 유연체 모델의 상호 검증 결과로부터 ADAMS와 ANSYS 유연체 모델은 타당하다 할 수 있다.

#### 4. 파괴방수차 충돌해석

본 장에서는 다관절 붐의 선단과 구조물이 충돌할 때 발생하는 충돌하중의 응답성 대해 알아보려 한다. 파괴방수차에서 붐의 인입과 인출 운동의 속도를 결정하는 것은 Fig. 1 하단부에 나타낸 턴 테이블과 1번 붐 사이에서 자세를 제어하는 데릭실린더이다. 파괴방수차에 사용하는 데릭실린더의 인출시 최고 속도는 0.035[m/s], 인입시 최고 속도는 0.06[m/s], 턴 테이블의 회전 최고 속도는 7[°/s]이다. 각 붐들과 구조물은 모두 유연체로 설정하여 해석을 수행하였다.

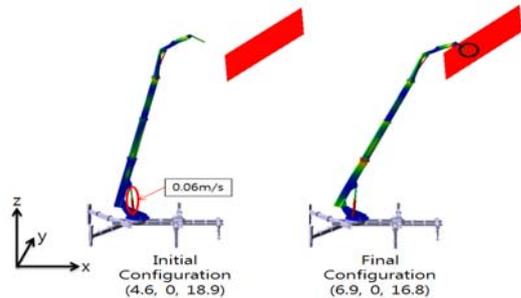
##### 4.1 y축 중심으로 회전

Fig. 5는 다관절붐의 하부에 있는 데릭실린더의 인입 운동(y축 회전)에 따른 붐의 선단과 구조물과 충돌시의 붐 선단의 초기위치와 최종 위치를 나타낸다. 이때의 데릭 실린더의 속도는 0.06[m/s], 힘의 함수는 다음과 같다.

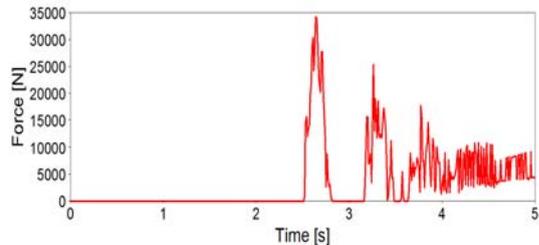
$$F = 1,180,000 \cdot [0.005 \cdot (-0.108 - d_z) - v_z] \quad (2)$$

여기서  $d_z, v_z$ 은 각각 데릭실린더의 z축상의 거리, 속도를 나타낸다.

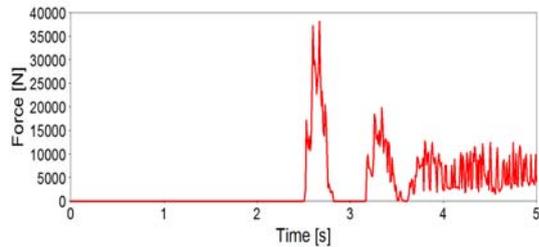
Fig. 6은 다관절 붐의 선단과 구조물의 y축 회전에 대한 충돌시 하중응답성을 나타내고 있다.



[Fig. 5] Configuration for y axis of rotation



(a) ADAMS



(b) ANSYS

[Fig. 6] Force response for y axis of rotation

Fig. 6(a), (b)는 ADAMS와 ANSYS의 유한요소모델을 이용하여 충돌 해석을 수행한 값을 나타내며, 이때 최대값은 각각 34,258[N]와 38,103[N]이다. 첫 충돌 후 노즐이 구조물과의 반발력으로 인하여 튕겨져 나간 후 다시 구조물과 충돌하는 과정이 반복적으로 발생하다가 충돌력이 약해지면서 다관절 붐의 선단과 구조물이 접촉되고 있음을 나타낸다.

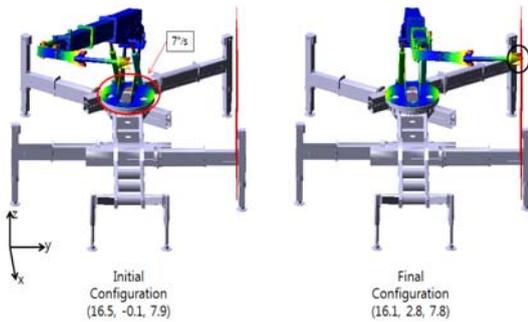
##### 4.2 z축 중심으로 회전

Fig. 7는 턴 테이블이 z축 중심으로 회전 운동할 때 붐의 선단과 구조물과 충돌시의 붐 선단의 초기위치와

최종 위치를 나타낸다. 이때의 턴 테이블의 회전속도는  $7[^\circ/s]$ 이며, 힘의 함수는 다음과 같다.

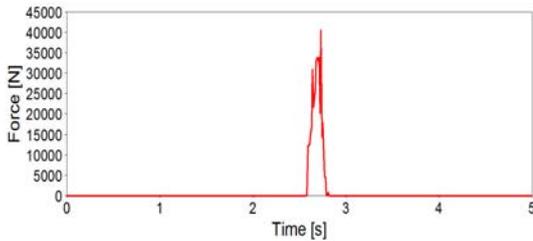
$$T = 100,200 \cdot [0.13 \cdot (90d - \theta_z) - w_z] \quad (3)$$

여기에서  $\theta_z$ ,  $w_z$ 은  $z$ 축 중심으로 회전하는 턴 테이블의 각도, 각속도를 나타낸다.

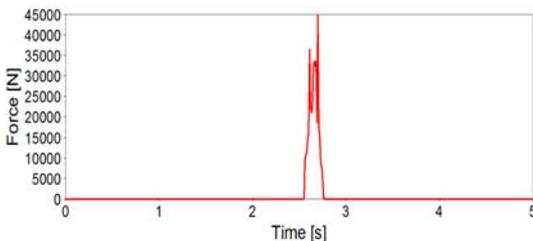


[Fig. 7] Configuration for  $z$  axis of rotation

Fig. 8은 다관절 붐의 선단과 구조물의  $z$ 축 회전에 대한 충돌시 하중응답성을 나타내고 있다. Fig. 8(a), (b)는 ADAMS와 ANSYS의 유한요소모델을 이용하여 충돌 해석을 수행한 값을 나타내며, 이때 최대값은 각각  $40,553[N]$ 와  $44,736[N]$ 이다.



(a) ADAMS



(b) ANSYS

[Fig. 8] Force response for  $z$  axis of rotation

이상의 결과로부터 ANSYS의 MNF와 ADAMS로부터 생성된 MNF를 이용한 유연체 다관절 붐의 FFT해석

과 충돌 해석의 결과 값이 유사하므로 본 연구에서 MNF 생성에 Adams/ViewFlex 모듈을 이용한 유연체 다관절 붐의 모델이 유효하다 할 수 있다.

## 5. 각 붐의 HOT SPOT

본장에서는 Adams/ViewFlex 모듈의 MNF파일을 이용한 유연체 모델에만 적용가능한 ADAMS/Durability 해석을 수행하여 다관절 붐의 충돌 하중 이력을 의한 3단 슬라이드 붐의 동응력값을 나타낸다.

### 5.1 $y$ 축 중심으로 회전운동

Table 3은 다관절 붐이  $y$ 축 중심으로 회전하면서 충돌할 때 발생하는 3단 슬라이드 붐의 주요 응력을 나타낸 것이다. 이 결과로부터 1번, 3번, 2번 붐의 순으로 큰 응력이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 10은 Table. 3에 나타난 주요 응력들이 발생하는 위치를 각 붐에 나타낸 것이다.

### 5.2 $z$ 축 중심으로 회전운동

Table 4는 턴 테이블이  $z$ 축 중심으로 회전하면서 충돌할 때 발생하는 3단 슬라이드 붐의 주요 응력을 나타낸 것이다.

[Table 3] Hot spot table for each boom of  $y$  axis rotation

Model= MODEL_1		Analysis= Last_Run		Time = 0 to 5 sec		
Top 10 Hot Spots		Abs		Radius= 0.0 meter		
Hot Spot	Stress	Node	Time	Location wrt LPRF (meter)		
#	(newton/meter**2)	id	(sec)	X	Y	Z
1	5.09279e+008	48141	4.48	-0.38298	-0.19	-0.195258
2	4.90596e+008	48159	4.48	-0.392093	-0.19	-0.214937
3	4.89173e+008	12279	4.48	-0.38908	0.198	0.214716
4	4.67419e+008	37246	4.48	-0.39492	0.19	0.214937
5	4.43866e+008	37224	4.48	-0.354903	0.19	0.214937
6	4.34583e+008	37226	4.48	-0.364236	0.19	0.19526
7	4.10316e+008	22656	4.48	-0.354945	-0.198	-0.214716
8	4.05183e+008	37228	4.48	-0.384242	0.19	0.19526
9	3.74649e+008	13165	4.48	-0.375597	0.198	0.2345
10	3.70929e+008	48137	4.48	-0.351775	-0.19	-0.214859

(a) 1st Boom

Model= MODEL_1		Analysis= Last_Run		Time = 0 to 5 sec		
Top 10 Hot Spots			Abs	Radius= 0.0 meter		
Hot Spot	Stress	Node	Time	Location wrt LPRF (meter)		
#	(newton/meter**2)	id	(sec)	X	Y	Z
1	2901.61	17795	2.51	0	-0.172	0.00517845
2	2699.83	8847	2.51	0	0.172	0.0052294
3	2539.54	4159	2.51	-0.0145947	0.172	-0.00670802
4	2334.64	8848	2.51	0	0.172	-0.0143628
5	2323.79	17794	2.51	0	-0.172	-0.0144137
6	2272.89	38408	2.51	-0.0197746	-0.172	-0.00685215
7	2098.5	46065	2.51	-0.0152402	-0.18	-0.0114179
8	2080.21	38409	2.51	-0.0145947	-0.172	0.0133823
9	2008.38	38407	2.51	-0.0145947	-0.172	-0.0260975
10	1901.06	4158	2.51	-0.0197746	0.172	0.0124653

(b) 2nd Boom

Model= MODEL_1		Analysis= Last_Run		Time = 0 to 5 sec		
Top 10 Hot Spots			Abs	Radius= 0.0 meter		
Hot Spot	Stress	Node	Time	Location wrt LPRF (meter)		
#	(newton/meter**2)	id	(sec)	X	Y	Z
1	249343	44784	4.22	-4.8479	-0.135348	0.2135
2	172566	23240	4.22	-2.50951	-0.18	0.209
3	172550	23241	4.22	-2.52955	-0.18	0.209
4	172546	23239	4.22	-2.48948	-0.18	0.209
5	172507	17422	4.22	-4.85698	0.135348	0.202475
6	172502	23242	4.22	-2.54958	-0.18	0.209
7	172442	23238	4.22	-2.46945	-0.18	0.209
8	172423	23243	4.22	-2.56962	-0.18	0.209
9	172310	23244	4.22	-2.58965	-0.18	0.209
10	172286	23237	4.22	-2.44941	-0.18	0.209

(b) 2nd Boom

Model= MODEL_1		Analysis= Last_Run		Time = 0 to 5 sec		
Top 10 Hot Spots			Abs	Radius= 0.0 meter		
Hot Spot	Stress	Node	Time	Location wrt LPRF (meter)		
#	(newton/meter**2)	id	(sec)	X	Y	Z
1	5.42742e+006	26633	3.89	-2.61504	0.1435	0.209
2	5.41799e+006	26959	3.89	-2.69522	-0.1435	0.209
3	5.4129e+006	26640	3.89	-2.75536	0.1435	0.209
4	5.41197e+006	26950	3.89	-2.51482	-0.1435	0.209
5	5.40931e+006	25025	3.89	-2.70078	0.120276	0.209
6	5.40854e+006	26961	3.89	-2.73531	-0.1435	0.209
7	5.40492e+006	26628	3.89	-2.51482	0.1435	0.209
8	5.39839e+006	26642	3.89	-2.79545	0.1435	0.209
9	5.39516e+006	24958	3.89	-2.68734	-0.103875	0.209
10	5.39387e+006	25032	3.89	-2.76087	-0.123716	0.209

(c) 3rd Boom

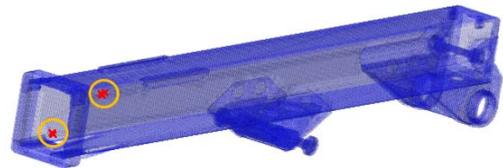
Model= MODEL_1		Analysis= Last_Run		Time = 0 to 5 sec		
Top 10 Hot Spots			Abs	Radius= 0.0 meter		
Hot Spot	Stress	Node	Time	Location wrt LPRF (meter)		
#	(newton/meter**2)	id	(sec)	X	Y	Z
1	1.37453e+008	26633	4.59	-2.61504	0.1435	0.209
2	1.37085e+008	26640	4.59	-2.75536	0.1435	0.209
3	1.36963e+008	25025	4.59	-2.70078	0.120276	0.209
4	1.36878e+008	26628	4.59	-2.51482	0.1435	0.209
5	1.36831e+008	26959	4.59	-2.69522	-0.1435	0.209
6	1.36716e+008	26642	4.59	-2.79545	0.1435	0.209
7	1.36676e+008	26950	4.59	-2.51482	-0.1435	0.209
8	1.36592e+008	26961	4.59	-2.73531	-0.1435	0.209
9	1.36484e+008	24919	4.59	-2.52053	0.120276	0.209
10	1.36304e+008	24958	4.59	-2.68734	-0.103875	0.209

(c) 3rd Boom

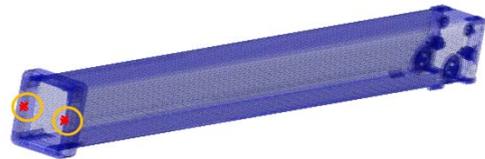
[Table 4] Hot spot table for each boom of z axis rotation

Model= MODEL_1		Analysis= Last_Run		Time = 0 to 5 sec		
Top 10 Hot Spots			Abs	Radius= 0.0 meter		
Hot Spot	Stress	Node	Time	Location wrt LPRF (meter)		
#	(newton/meter**2)	id	(sec)	X	Y	Z
1	7.14331e+008	48141	4.95	-0.38298	-0.19	-0.195258
2	6.88136e+008	48159	4.95	-0.392093	-0.19	-0.214937
3	6.86156e+008	12279	4.95	-0.38908	0.198	0.214716
4	6.5564e+008	37246	4.95	-0.39492	0.19	0.214937
5	6.22596e+008	37224	4.95	-0.354903	0.19	0.214937
6	6.0958e+008	37226	4.95	-0.364236	0.19	0.19526
7	5.75519e+008	22656	4.95	-0.354945	-0.198	-0.214716
8	5.6834e+008	37228	4.95	-0.384242	0.19	0.19526
9	5.25517e+008	13165	4.95	-0.375597	0.198	0.2345
10	5.20279e+008	48137	4.95	-0.351775	-0.19	-0.214859

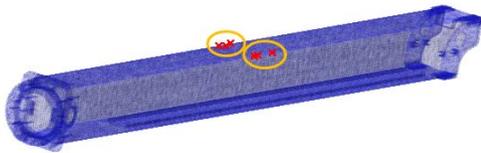
(a) 1st Boom



(a) 1st Boom

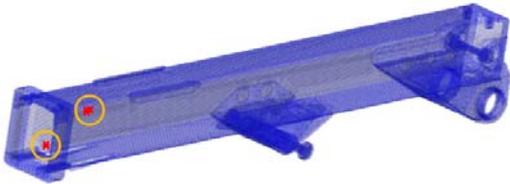


(b) 2nd Boom

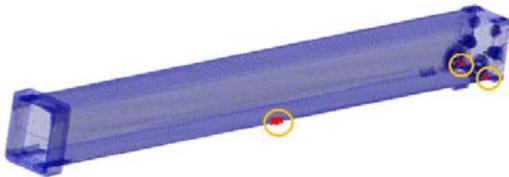


(c) 3rd Boom

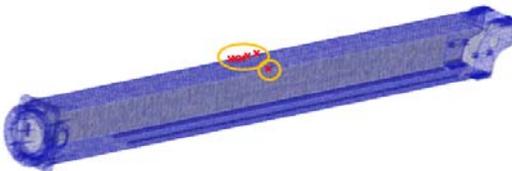
[Fig. 10] Hot spot table position of each boom of  $y$  axis rotation



(a) 1st Boom



(b) 2nd Boom



(c) 3rd Boom

[Fig. 11] Hot spot table position of each boom of  $z$  axis rotation

Table 4로부터 1번, 3번, 2번 붐의 순으로 큰 응력이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 11은 Table. 4에 나타낸 주요 응력이 크게 발생하는 위치를 각 붐에 나타낸 것 이다.

### 5.3 해석 결과

Fig. 3과 Fig. 4, Fig. 6과 Fig. 8, Fig. 10과 Fig. 11로부터 ANSYS의 MNF와 ADAMS로부터 생성된 MNF를 이용한 유연체 다관절 붐의 FFT해석과 충돌 해석의 결과 값이 유사함을 나타내었다. 이결과로부터 본 연구에서 MNF생성에 Adams/ViewFlex 모듈을 이용한 유연체

다관절 붐의 모델이 타당하다 할 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 8, Fig. 10과 Fig. 11로부터  $z$ 축 중심의 회전에 의한 충돌이  $y$ 축 중심의 회전에 의한 충돌보다 큰 충돌력과 붐에 큰 응력을 발생시킴을 알 수 있다.  $y$ 축 중심의 회전 충돌 해석에 사용한 힘, 식(2)는 테리실린더의 설계사양 최대 속도 0.06[m/s]을 나타내며,  $z$ 축 중심의 회전 충돌 해석에 사용한 토크, 식(3)은 턴 테이블의 설계사양 최대 회전속도는 7[°/s]을 나타낸다. 이때  $z$ 축 중심의 회전 운동이  $y$ 축 중심의 회전 운동보다 큰 관성력을 발생하므로  $z$ 중심의 경우가 큰 충돌력과 붐에 큰 응력을 나타냄을 알 수 있다.

다관절 붐이  $y$ 축과  $z$ 축 중심의 회전에 의한 충돌시 1번 붐과 3번붐은 비슷한 위치에서 응력이 크게 발생하나 2번 붐은 다른 위치에서 응력이 크게 발생한다. 2번 붐의 주요 응력이 발생하는 위치가 상이한 이유는  $z$ 축 중심의 회전이  $y$ 축 중심의 회전보다 관성력이 크며, 이 영향으로 2번 붐에 굽힘 모멘트가 크게 발생한 것으로 판단된다. 또한 Table 3과 Table 4로부터 2번 붐의 응력이 1번 붐, 3번 붐에 비해 적게 나타나는 이유로는 다관절 붐 선단의 충돌시 2번 붐은 1번 붐과 3번 붐 사이에 위치하고 있어 충돌시 2번 붐에 발생해야할 응력의 일부가 각 붐으로 전달되어 응력이 적게 발생된다고 판단된다.

## 6. 결론

본 논문에서는 강체 다관절붐을 유연체 모델로 변환하여 붐의 충돌에 의해서 발생하는 통특성 해석을 다음과 같이 수행하였다.

1. CATIA를 이용하여 강체 3D모델을 작성
2. ANSYS와 Adams/ViewFlex 모듈을 이용하여 MNF를 생성
3. 2개의 MNF를 ADMS/VIEW로 불러들여 강체 다관절 붐을 유연체 다관절 붐으로 변환하여 FFT해석을 수행
4. 2개의 다관절 유연체 모델의 선단과 구조물간의 충돌에 따른 붐의 동특성을 파악하기 위해  $y$ 축,  $z$ 축 회전 충돌 해석을 수행
5. Adams/ViewFlex 모듈의 MNF파일을 이용한 유연체 모델에만 적용가능한 ADAMS/Durability해석을 수행

이 해석의 결과로부터 본 논문에서 MNF생성에 Adams/ViewFlex 모듈을 이용한 유연체 다관절 붐의 타당성을 나타내었다. 또한, Durability해석으로부터 다관절 붐의 충돌 하중 이력을 이용하여 MSR (Modal Stress Recovery) 방법에 의한 동응력값을 나타내었다. 이 해석값으로부터 충돌에 의한 극대하중 발생 부분을 보강함으로써 내구성이 강한 다관절 붐의 설계가 가능할 것이다.

### References

[1] Jai-pil Jeon, Hae-Sool Yang “A Study on method construct system for u-Safe fire management support” Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society, Vol 9, No 5, pp. 1201~1209, 2008  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.5.1201>

[2] Woo-Sub Lim, Seong-Ho Sakong, Jang-One Lee, Jae Han Jung, Sung-Su Byun, Ju-Hwan Oh, “A Study of Performance Test for Fighting Robot”, Proceedings of 2010 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 361-364 May, 2012

[3] Jin-Soo Kim, Su-Hong Lim, Sokuntharith Ouk, Yeon-Jae Shin, “A Study on Multi-joint Boom Conflicts Using ADAMS/ANSYS”, Proceedings of the KAIS Spring Conference, pp.29-31, Vol. 14, No. 1, pp. 29-31, 2013

[4] Terrance W Ewanochko, “Integrated Durability Analysis Using ANSYS, ADAMS and Finite Element Fatigue”, 16<sup>th</sup> European Mechanical Dynamics User Conference, pp. 1~5, 2001

[5] ADAMS User’s Reference Manual, Ver. 8.0 MDI, 2005

소 수 현(Soo-Hyun So)

[정회원]



- 1997년 2월 : 포항공과대학교 기계공학 석사
- 2003년 3월 : 일본동경대학교 기계공학 박사
- 2003년 12월 ~ 2011년 2월 : 한국소방산업기술원 선임연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 경일대학교 소방방재학과 교수

<관심분야>

유체역학, 다상유동, 소방기계, 소방정보통신

임 수 홍(Su-Hong Lim)

[준회원]



- 2013년 2월 : 전주대학교 기계자동차공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 전주대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

메카트로닉스, 로봇공학

김 진 수(Jin-Soo Kim)

[정회원]



- 1995년 3월 : 일본동북대학 정밀공학 석사
- 1998년 3월 : 일본동북대학 정밀공학 박사
- 1998년 2월 ~ 2000년 2월 : 현대자동차 과장
- 2000년 3월 ~ 2001년 8월 : 한국항공우주연구원 선임연구원
- 2001년 9월 ~ 현재 : 전주대학교기계자동차공학과 교수

<관심분야>

로봇, 메카트로닉스, 자동차 현가장치