

## 탄성 효과를 고려한 감시 로봇 모델의 충격 응답 해석

## Shock Response Analysis of Guard Robot Considering the Elastic Effect

김정찬† · 정의봉\*

Jungchan Kim, W. B. Jeong

Key Words : Shock response(충격응답), Elastic effect(탄성 효과), Guard robot(감시 로봇)

## ABSTRACT

In this paper, shock response analysis considering the elastic effects of guard robot is performed using computer simulations when a machine gun of guard robot fires a shot continuously. The bodies of guard robot are modelled in flexible multi-body. The results of its analysis is compared with results of rigid bodies. The tools of computer simulation is used in Multi-body dynamics program.

## 1. 서론

소구경화기(이하 Gun)의 무장 체계에 있어서 단발 및 연속 사격의 정확도를 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다. 일반적으로 Gun의 경우 무기체계에서는 사거리 증가를 위해서는 총신을 길게 만드는 것과 약실의 압력을 증가시켜야 하지만, 이는 단발 및 연속 사격 간 총신의 진동 및 사격 후의 잔류진동을 증가시키게 된다. 또한 단발 및 연속 사격 시에 한쪽 방향으로 총신을 도약시키는 회전 모멘트인 우력이 발생하고, 추진체의 연소로 팽창하는 연소가스 중 일부는 총 자체와 탄자를 각각 반대방향으로 움직이게 하며 총이 후방으로 움직이는 반동이 발생된다. 이러한 도약각과 반동은 사격의 명중률과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다[1, 2].

사격 시 Gun이 탑재된 감시 로봇 몸체에서 발생하는 탄성 변형과 기구학적인 구속 조건이 총신의 조준선(Line of Fire: LOF)에 영향을 미치게 된다. 수직을 이루는 총의 회전축(고저 축)과 조준선이 떨어져 만나지 않을 경우 사격 시 모멘트가 크게 발생하여 총의 거동이 변화하는 원인이 된다.

본 연구에서는 감시 로봇을 다물체 동역학 소프트웨어를 이용하여 모델링 해석을 수행한다. 감시 로봇을 강체 모델과 탄성체 모델로 각각 해석하여 충격 응답을 비교

해보고 탄성을 고려했을 때의 응답변화를 알아본다. 연발 사격 시 충격에 의한 총의 반력과 진동에 의한 총을 거동을 해석하고 로봇의 부품이 경량화 되었을 때 충격이 영향도 알아본다. 감시 로봇 전체를 탄성체로 모델링 하는 것은 해석상 시간도 오래 걸리고 비효율적이므로 사격에 의한 충격이 지배적이라고 판단되는 부품들만 탄성체로 모델링 하여 해석하였다.

## 2. 강체 모델 해석

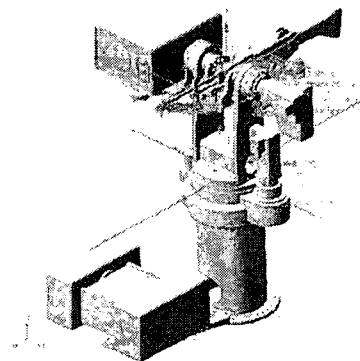


Fig. 1 감시로봇의 강체모델

† 부산대학교 대학원 기계설계공학과

\* 부산대학교 기계공학부

Fig.1에 강체모델링 된 감시로봇을 나타낸다. 강체로

모델링 된 감시로봇은 상부 몸체가 회전하고 Gun이 회전할 수 있도록 된 2자유도 모델이며 회전축에는 비틀림 강성 회전 강성이 모델링 되어 있다. 비틀림 강성은 고저축 Shaft의 비틀림 강성을 뜻하며, 비틀림 감쇠는 고저축 Shaft와 몸체 사이 감쇠를 뜻한다.

강체로 모델링 한 감시 로봇에 Fig. 2(a)와 같은 위치에 충격을 가하였다. 연발 사격 충격 Fig. 2(c)은 단발 사격 충격 Fig. 2(b)가 연속으로 가해지는 그림이다. 충격력에 대한 시간 그래프는 실험을 통해 얻은 결과이다.

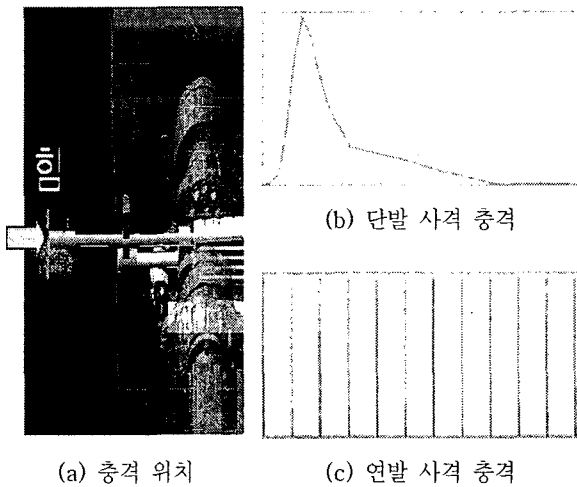


Fig. 2 충격 모델

Fig. 3은 충격에 의해 고저축에서 Gun의 거동을 나타내는 그림이다.

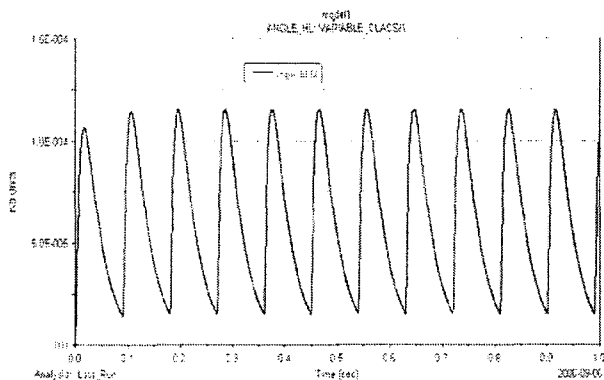


Fig. 3 연발 사격시 고저축에서의 Gun의 거동

연속으로 가해지는 충격에 의해 Gun에 모멘트가 발생하여 고저축을 중심으로 Gun이 돌려 올라감을 알 수 있다. 이 때 비틀림 강성에 의해 Gun에 복원력이 생겨 진

동하게 된다.

### 3. 탄성체 모델

#### 3.1 탄성체 모델링

탄성체 모델 부품은 충격 응답에 크게 영향을 미칠 것이라 판단되는 총(Gun), 총받침, 브라켓, 상부몸체로 정하였다. Fig. 4는 유한 요소 해석을 하기 위하여 요소를 나눈 그림이다.

Fig. 4의 탄성체 모델 부품은 구속을 주지 않고 정규 모드로 해석을 하였으며, 동역학 해석할 때 만들어 줄 구속 조건을 고려하여 구속될 부분에 MPC-RBE2를 사용하여 구속될 NODE들을 연결시켰다.

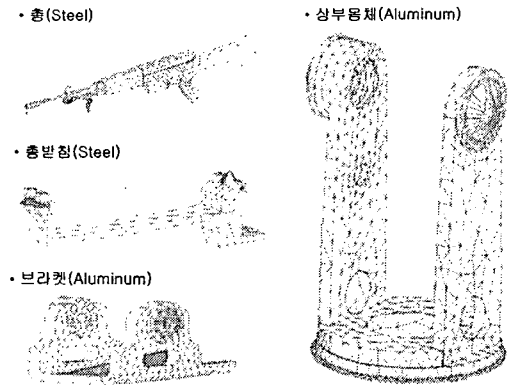


Fig. 4 탄성체 모델 부품

탄성체 모델은 부품 1개당 강체 모드를 포함하여 20개의 모드를 포함하고 있으며 그 결과를 Table 1에 나타낸다.

Table 1. 모델 부품별 고유진동수

		모델 부품			
		총	총받침	브라켓	상부몸체
고유진동수 (Hz)	1차 모드	182.8	268.1	514.6	76.8
	2차 모드	291.1	552.2	959.8	178
	3차 모드	512.2	652.8	1845.6	431.5
	4차 모드	734.1	1311.3	1916.6	457.5
	5차 모드	754.3	1399.2	2886.5	568.2
	6차 모드	1147.4	2298.8	3064.6	604.4
	7차 모드	1440.4	2587.2	3511.3	738.6
	8차 모드	1728.3	3069.3	4649.9	1352.9
	9차 모드	1900	3841.8	5572.9	1511.8
	10차 모드	2463	4154	5884.7	1602
	11차 모드	2512.7	4228	6113.7	1777.2
	12차 모드	2787	5029.8	6881.6	1856.5
	13차 모드	2987	5195	7096.9	2453.2
	14차 모드	3234.8	5647	7225	2753.2

완성된 탄성체 모델의 자유도를 계산하면 다음과 같다.

20 rigid body	×	6 DOF	=	120 DOF
4 flexible body	×	20 DOF	=	80 DOF
2 revolute joint	×	-5 DOF	=	-10 DOF
24 fixed joint	×	-6 DOF	=	-144 DOF
				46 DOF

Fig. 5는 감시 로봇을 탄성체로 모델링 한 그림이다. 선회축과 고저축을 중심으로 회전할 수 있는 2자유도와 총과 총받침에 탄성 모드를 가지고 있다.

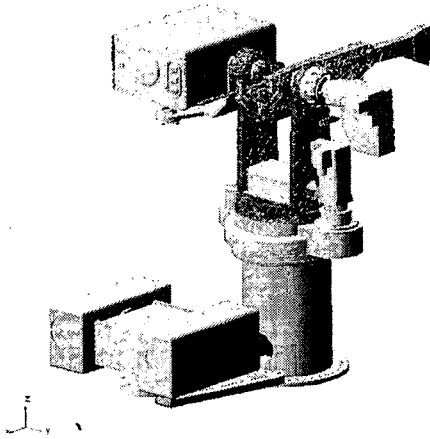


Fig. 5 감시로봇의 탄성체 모델링

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8는 각각 탄성체로 모델링 된 부품의 진동 모드의 예를 보여주고 있다.

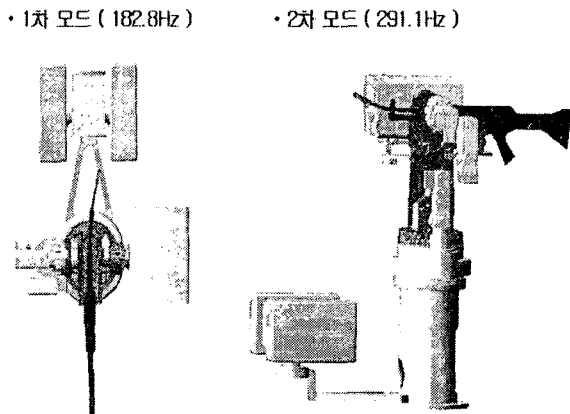


Fig. 6 총의 진동 모드의 예

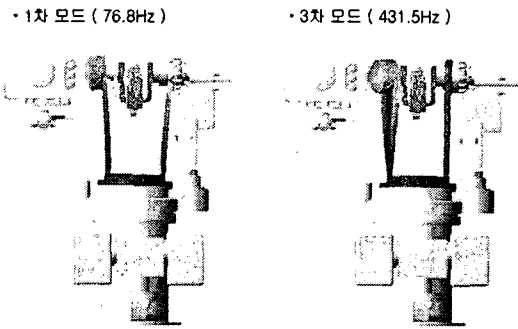


Fig. 7 상부 몸체의 진동 모드의 예

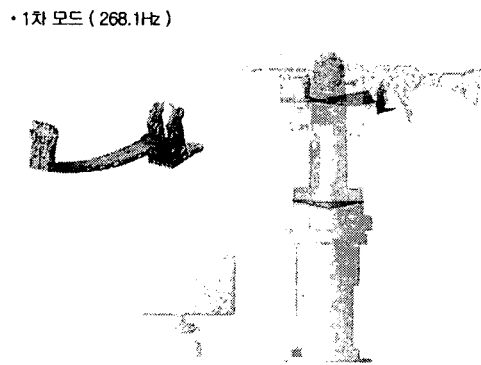


Fig. 8 브라켓 진동 모드의 예

### 3.2 탄성체 모델 해석

Fig. 9는 연발 사격 시 고저축에서 Gun의 거동을 나타낸 그래프이다. 충격 후 진동이 완전히 줄어들지 않은 상태에서 충격이 연속으로 들어와 고저축을 진동시킴을 알 수 있다.

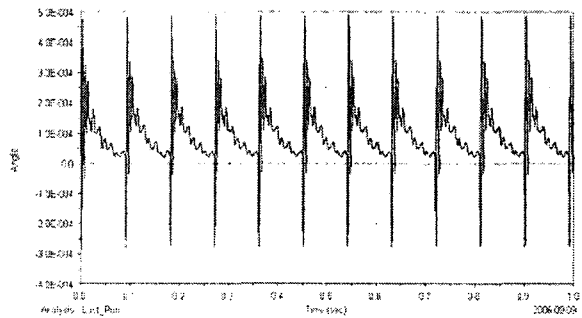


Fig. 9 연발 사격 시 고저축에서 Gun의 거동

Fig. 10은 탄성 모델의 자유도를 46 자유도, 26 자유도, 16 자유도로 변화시켜 가며 자유도에 따른 충격 응답 변화를 나타낸 그림이다. 자유도는 탄성체 부품의 고주파를 가진 자유도부터 하나씩 줄여 갔다.

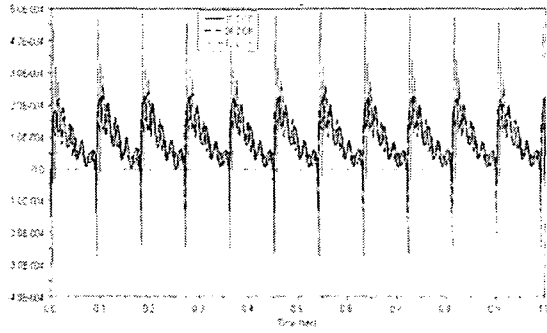


Fig. 10 자유도에 따른 충격 응답 변화

Fig. 11은 연속 사격 시 감시 로봇에 충격이 가해졌을 때 고저축에서 강체 모델과 탄성체 모델의 응답을 비교한 그림이다. 강체 모델보다 탄성체 모델에서 응답이 크게 나타나며 진동도 크게 많이 발생함을 알 수 있다.

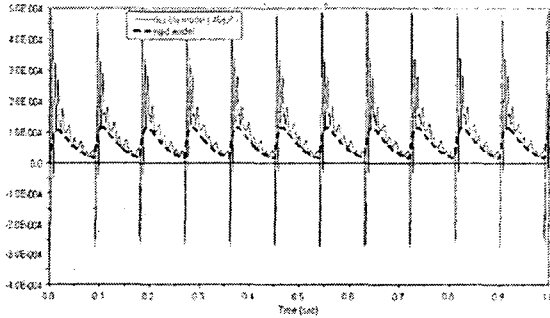


Fig. 11 강체 모델과 탄성체 모델의 충격 응답 비교

### 3.3 경량화 모델과 비교

감시 로봇의 몸체가 경량화 되었을 때, 충격 응답이 어떻게 변화 하는지 해석해 보았다. Fig. 12는 상부 몸체의 두께를 반으로 줄였을 때에 고저축 응답과 일반 모델의 응답을 비교하여 나타낸 그림이다. 경량화 모델의 응답이 크게 나타남을 알 수 있다.

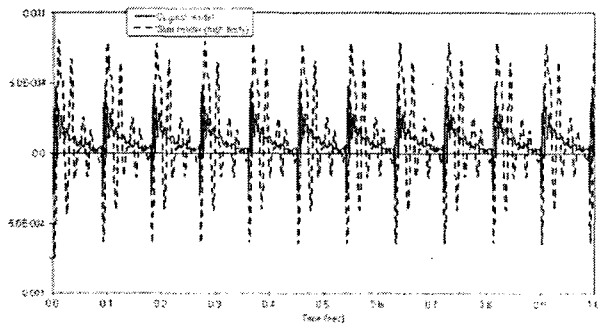


Fig. 12 경량화 모델과 일반 모델의 고저축 응답

## 4. 결론

본 연구에서는 탄성 효과를 고려하여 연속 사격 시 충격을 받는 감시 로봇의 충격 응답을 해석하였다. 먼저 감시 로봇 전체를 강체로 모델링 하여 해석하고 일부 응답에 크게 영향을 미칠 것이라 판단되는 부품을 탄성체로 모델링 하여 해석한 뒤 충격 응답을 비교하였다.

강체 모델 충격 응답 해석과는 달리 탄성체 모델은 탄성체 부품의 진동 모드를 고려하여 모델링 하였기 때문에 응답 특성이 달라짐을 알 수 있었다. 고유 진동수가 높은 진동 모드일수록 감쇠비가 크기 때문에 시스템에 영향은 적게 미치므로 탄성체의 모드를 고려할 때 강체 모드를 포함하여 각 부품 당 20개의 모드를 고려하였다.

감시 로봇 모델이 경량화 되었을 경우를 생각하여 상부 몸체와 브라켓의 두께를 반으로 줄여 모델링 하여 해석 하였다. 두 가지 경우로 시스템을 해석 하였는데 상부 몸체만 경량화 했을 때와 상부 몸체와 브라켓 모두를 경량화 하였을 경우이다. 부품의 두께를 줄이면 줄일수록 전체적인 응답의 크기가 커짐을 알 수 있었다.

충격에 의한 응답을 정확하게 분석하기 위해서는 구조물의 진동 모드를 고려하는 탄성체 모델이 더 정확함을 분석 결과를 통해 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- (1) 이홍주, 총과 탄도학, 청문각, 1996
- (2) 김효준, 박영필, 양현석, 최의중, 이성배, 홍계정, "고 충격 발생기구의 완충시스템 해석", 한국소음진동공학회논문집, Vol. 14, 제12권, 제5호, pp. 389-396, 2002.