

활공탄의 안전분리 해석을 위한 지상투하시험

이기두*, 이인원, 박영근, 백승욱, 정나현, 정상준

Ground Ejection Tests for the Safe Separation Analysis of a Gliding Bomb

Kidu Lee*, Inwon Lee, Youngkun Park, Seungwoock Baek, Nahyeon Jung and Sangjun Jung
Agency for Defense Development

ABSTRACT

Various combinations of cartridge and orifice were applied for ground ejection tests of a gliding bomb model equipped with a new guidance kit. Larger diameter of orifice made larger ejection force at each of bomb racks. Normal operations of the wing deploying mechanism and the devices inside of the bomb model were confirmed. Also high speed video data showed that pitch angle of the gliding bomb varied due to the ejection force.

초 록

새로이 개발된 유도키트를 장착한 모의 활공탄에 대하여 지상투하시험을 수행하였다. 사출형 분리장치의 카트리지와 오리피스 조합에 따른 사출력을 측정된 결과, 오리피스 직경이 클수록 사출력이 크게 작용하였으며, 투하된 후 날개 전개장치를 비롯하여 탄의 내부에 탑재된 시험 장치들의 정상 작동을 확인하였다. 또한 영상자료로부터 활공탄의 피치 각은 전방과 후방의 사출력 분포 즉 카트리지와 오리피스 조합에 따라 증가 또는 감소하는 것으로 분석되었다.

Key Words : Gliding bomb(활공탄), Wing deploying mechanism(날개 전개장치), Ejection bomb rack(사출형 분리장치), Ejection force(사출력)

1. 서 론

기존 항공기에 새로운 외부장착물을 사용하기 위해서는 비행시험을 수행하기 전에 지상에서 여러 가지 시험을 통하여 안전성을 검토하고 분석 자료를 획득하여야 한다. 이러한 시험 중의 하나가 지상투하시험이다. 지상투하시험은 비록 정지된 상태에서 외부장착물을 투하하는 시험이지만, 실제와 동일한 투하 과정을 모사함으로써 안전분리 해석에 필요한 자료들을 획득할 수 있다[1].

이때 필수적으로 사용해야 하는 장치가 무장분

리장치(Bomb Rack)이다. 항공기에 장착된 외부장착물을 투하할 때 사용하는 분리장치는 자유낙하형과 공기압력 또는 폭발가스압력을 이용하는 사출형 두 가지가 있다. 자유낙하형 분리장치는 중력만을 이용하므로 시스템 구성이 단순하다는 장점이 있지만, 중력에 비하여 상대적으로 공기력이 큰 고속비행 상태에서 외부장착물이 분리될 때에는 안전성을 확보하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 사출형 분리장치는 폭발가스의 압력 즉 사출력으로 외부장착물을 항공기와 간섭이 발생하는 유동장 영역 밖으로 빠른 속도로 밀어내기 때문

† Received: November 9, 2012 Accepted: May 8, 2013

* Corresponding author, E-mail : forgood@add.re.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

에, 외부장착물 분리 시 높은 안정성 확보가 용이하다. 따라서 전투기 등 고속 항공기에서는 일반적으로 사출형 분리장치를 사용하고 있다[2, 3].

사출형 분리장치는 항공기의 공력특성, 외부장착물의 형상, 물성치 및 공력특성 등의 조건에 따라 그에 적합한 사출력을 제공해야 한다. 이를 위하여 사출형 분리장치는 상황에 따라 카트리지(Cartridge) 및 오리피스(Orifice) 조합을 다르게 적용함으로써 분리장치의 전·후방에 장착된 피스톤을 통해 다양한 사출력을 제공할 수 있도록 설계되어 있다.

본 연구에서는 우리 공군이 운용하고 있는 사출형 분리장치를 사용하여, 공대지 유도키트를 장착한 모의 활공탄의 지상투하시험을 수행하였다.

II. 시험장치 및 계측시스템

2.1 모의 활공탄

모의 활공탄은 Fig. 1에 보여진 바와 같이 일반목적폭탄에 공대지 유도키트를 장착한 것이다. 이 공대지 유도키트는 전개식 날개 및 통합항법장치, 유도조종장치, 전원공급장치를 포함한 비행보조키트와 꼬리날개키트로 구성되어 있다. 또한 모의 활공탄의 몸체 안에는 각종 원격계측장치(Telemetry System)가 탑재되어 있다.

2.2 무장분리장치(Bomb Rack)

활공탄을 장착하게 될 항공기의 기종을 고려하여 본 시험에서는 MAU-50, MAU-12, BRU-47 분리장치를 선정하였다. MAU-50은 14인치 간격의 러그(Lug)를 이용하며, MAU-12와 BRU-47은 14인치 및 30인치 간격의 러그를 모두 사용할 수 있다[4, 5].

Figure 2에 BRU-47의 형상이 나타나 있다. 모든 분리장치에는 유사한 형태로 두 개씩의 카트리지 장전구가 있고, 그 좌·우측에 오리피스 밸브가 있다.

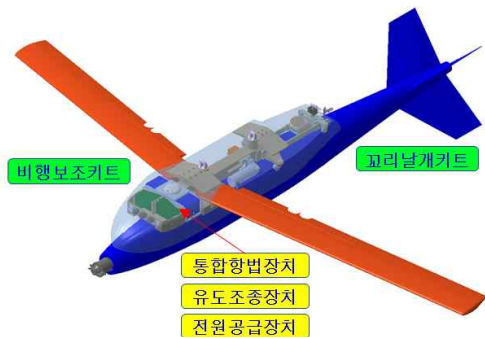


Fig. 1. Gliding Bomb

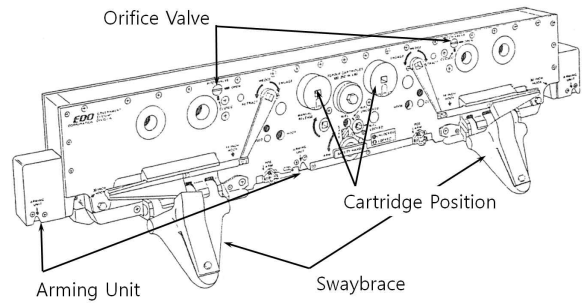


Fig. 2. The Shape of BRU-47 Bomb Rack

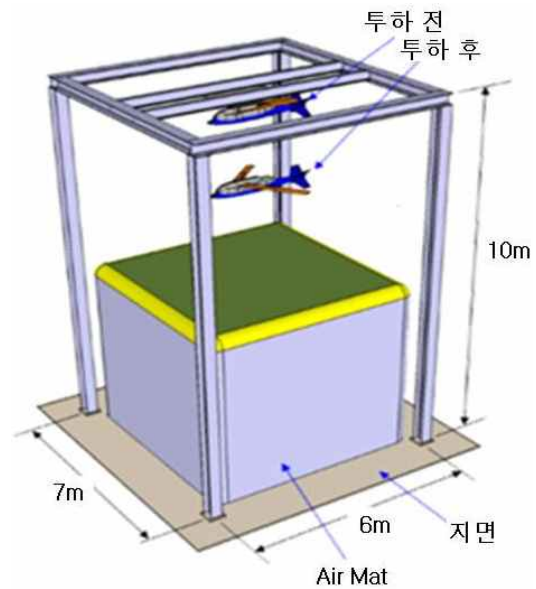


Fig. 3. Drop Test Bench

브가 있다. 전방과 후방의 카트리지 장전구에 카트리지를 교환하여 장전할 수 있으며, 오리피스 밸브를 적절하게 열어 주거나 잠금으로써 전방과 후방으로 향하는 압력가스 관로의 크기를 각각 조절할 수 있다.

2.3 지상투하시험 치구

활공탄이 항공기로부터 투하되는 즉시 날개가 전개되는 것을 고려하여 충분한 높이를 갖는 시험 치구를 제작하였다.

Figure 3에 보여진 바와 같이 H-Beam을 이용하여 기본 골격을 만들었고, 투하된 활공탄을 안전하게 수거하기 위하여 상용 에어매트(Air mat)를 설치하였다. 또한 활공탄이 떨어지는 부위에는 일반 매트리스를 사용하여 탄의 반동과 에어매트의 손상을 방지하였다.

2.4 무장 투하대 및 영상 Pod

지상투하시험 치구의 상판에는 Fig. 4와 같이 3종의 무장분리장치를 교체하여 장착할 수 있는 투



Fig. 4. Installation of Gliding Bomb and Camera Pod Under Test Bench

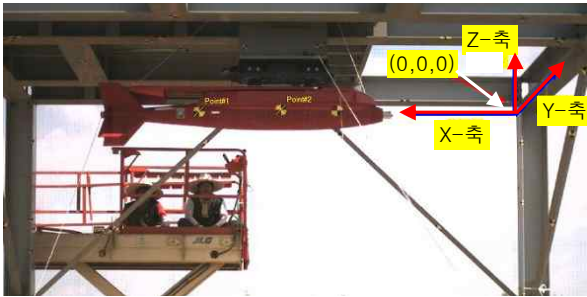


Fig. 5. Reference Point and Test Marker

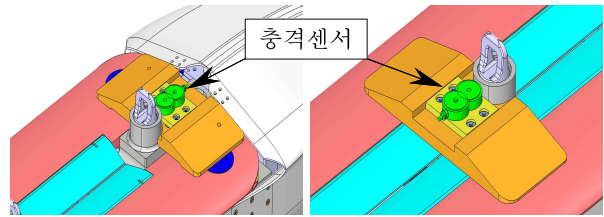
하대를 설치하였다. 활공탄 신관의 정상 작동 여부를 확인하기 위하여 무장 투하대에 모의 활공탄을 장착할 때 실제와 같이 장전선(Arming Wire)과 랜야드(Lanyard)를 설치하였다.

무장 투하대 옆에는 활공탄이 투하될 때의 분리거동을 고속으로 촬영하기 위한 영상 Pod를 설치하였다. 영상 Pod의 설치 위치는 영상 Pod가 실제 항공기에 장착될 때 활공탄과의 상대적인 거리와 높이를 고려하여 선정되었다[6]. 영상 Pod에는 두 개의 고속 카메라와 한 개의 일반 카메라가 장착되어 있으며, 고속 영상의 촬영속도는 메모리 및 투하 소요시간을 고려하여 초당 500 프레임으로 설정하였다.

고속카메라 영상으로부터 활공탄의 거동을 분석하기 위하여 Fig. 5와 같이 투하시험 치구의 모서리 부위에 고정된 기준점을 선정하였으며, 이 기준점에 대한 상대운동을 분석할 수 있도록 활공탄 측면에 마커(Marker)를 부착하였다. 마커는 고속비행 환경에서 접촉상태를 견고히 유지할 수 있는 3M사의 항공기 전용 접착 용지에 마커 표시를 인쇄한 것이다.

2.5 충격센서 장착

조종사가 무장 투하 버튼을 누르면, 분리장치의 카트리지에서 발생하는 폭발가스압력이 후크(Hook)를 고정하는 장금장치를 해지시키고 사출



(a) Front Impact Sensor (b) Rear Impact Sensor

Fig. 6. Installation of Impact Sensor

피스톤을 작동시킨다. 이 사출 피스톤이 활공탄에 강한 충격력을 가하면, 그 힘에 의하여 활공탄은 항공기와의 간섭 유동장 밖으로 사출되어 항공기로부터 분리된다.

이때 분리장치가 몇 인치 간격의 러그를 사용하는가에 따라 사출 피스톤의 간격도 다르게 되어있다. 또한 본 시험에서는 각 분리장치별 사출력의 크기를 산출하기 위한 자료로서 사출 피스톤이 활공탄의 유도키트에 가하는 충격력을 측정해야 한다. 이를 위하여 Fig. 6과 같이 유도키트 윗면의 스웨이브레이스 패드(Sway-brace Pad)를 가공하여 충격센서를 장착하였으며, 이 충격센서는 14인치 러그와 30인치 러그에 공동으로 사용할 수 있도록 제작되었다.

2.6 충격하중 계측 시스템

무장분리장치의 사출 피스톤이 전·후방 두 지점에서 각각 작동하기 때문에 충격하중을 측정하는 채널도 2개이어야 한다.

MIL-STD-2088[7]에 의하면 사출 피스톤이 외부장착물에 충격을 가하는 시간은 100msec 이내이므로, 이 짧은 시간 동안 충분한 데이터를 획득하기 위하여 sampling rate을 100kHz로 설정하였다. 또한 외부장착물에 가해지는 최대 하중은 455kg이므로, 이 하중을 측정할 충격센서는 최대 허용하중이 910kg인 것으로 선정하였다. Fig. 7에 도시된 것과 같이 충격센서에서 입력되는 전압신호를 디지털 신호로 변환시키기 위한 A/D 컨버터는 입력전압 범위가 0~10Vdc이며 24 bit 분해능을 갖는 것을 사용하였다.

지상투하시험을 수행하는 장소가 야외이므로,

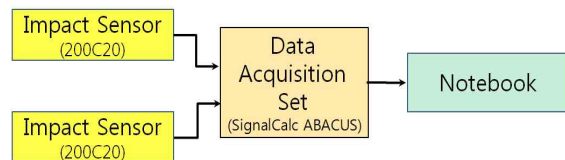


Fig. 7. Diagram of Acquisition System



(a) Arming Wire of Mechanical Fuze



(b) Lanyard of Electrical Fuze

Fig. 8. Installation of Arming Wire and Lanyard

시스템의 이동 편의성을 고려하여 PC 인터페이스를 통한 데이터의 저장은 노트북 컴퓨터를 이용하였다.

III. 시험 결과 및 토론

3.1 무장분리 기능 확인

일반목적폭탄이 기계식 신관을 사용하는 경우에는 전방 및 후방 신관에 장전선을 각각 설치해야 하며, 전기식 신관을 사용하는 경우에는 기폭 장치의 덮개를 열기 위한 랜야드를 설치한다. 이 시험에서는 분리장치와 폭탄 사이에 새로 개발된 유도키트가 존재하고, 장전선과 랜야드가 유도키트를 통하여 설치되어야 하므로 숙련된 설치 기술이 필요하였다. 시험결과로부터 Fig. 8과 같이 신관의 종류에 따라 설치하였던 장전선과 랜야드가 각각의 역할을 수행하여 무장분리기능이 정상적으로 작동됨을 확인하였다.

3.2 활공탄 체계기능 확인

사출 피스톤에 의하여 강한 충격하중을 받더라도 활공탄에 탑재된 각종 계측장치, 통신장치 및 유도키트는 정상적으로 작동해야 한다. 이를 확인하기 위하여 각 투하시험마다 기능 점검을 수행하였다.

활공탄이 투하되는 동안에는 각종 계측장치의



(a) 1st Phase of Wing Deployment



(b) 2nd Phase of Wing Deployment



(c) Test of Control Surface



(d) Communication Test of PDU

Fig. 9. Functional Test After Drop Test

작동상태를 확인하기 위하여 원격계측을 수행하였으며, 투하가 완료된 후에는 유도키트의 기능을 점검하였다. Fig. 9와 같이 날개의 전개 기능, 조종면의 구동 기능 그리고 비상종료장치의 기능에 이상이 없음을 확인하였다. 또한 조종사가 휴대하는 무선통신장치(PDU)와 유도키트 사이의 통신도 정상적으로 이루어짐을 확인하였다.

3.3 사출력 측정 결과

사출력 측정은 공군에서 운용되고 있는 항공 무장 중 활공탄과 유사한 중량의 무장에 사용되고 있는 카트리지와 오리피스 조합을 참조해서 수행하였다. 카트리지의 폭발력과 오리피스의 직경에 따라 사출력의 크기가 달라지며, 새로 개발되는 유도키트를 장착할 활공탄은 사출력에 따라 분리거동이 달라질 것이다.

Table 1. Combination of Orifice and Cartridge

분리장치	카트리지		오리피스	
	전방	후방	전방	후방
MAU-50	KCCU-44B	KCCU-44B	C	C
	KCCU-44B	KCCU-44B	B	B
MAU-12	ARD446-1	KCCU-44B	3	5
	ARD446-1	KCCU-44B	3	4
BRU-47	ARD446-1	ARD 446-1	1	1
			2	2

Table 2. Diameter of Orifice

분리장치	부호	직경(mm)
MAU-50	B	1.1684 ~ 1.2446
	C	1.5748 ~ 1.6510
MAU-12	3	2.0574
	4	2.3622
	5	2.794
BRU-47	1	5.6136
	2	3.9624

따라서 기존 항공기에서 사용하고 있는 분리장치별 카트리지와 오리피스의 조합에 따른 활공탄의 분리거동 자료를 획득해야 한다. Table 1은 분리장치별 카트리지 및 오리피스 조합의 종류, Table 2는 오리피스의 크기를 각각 나타내고 있다.

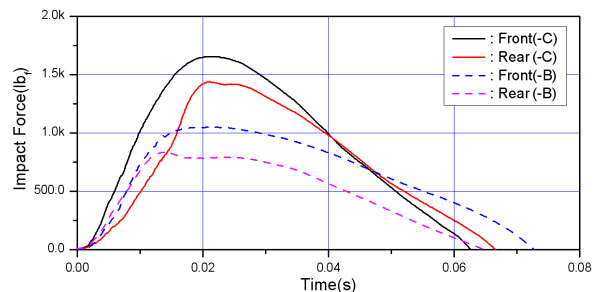
각각의 조합별로 수차례에 걸친 사출력 측정 시험을 수행하였고, 분리장치별 사출력을 Fig. 10에 그래프로 나타내었다.

Figure 10(a)를 보면 분리장치 MAU-50에서는 동일한 카트리지를 사용하더라도 오리피스의 직경에 따라 사출력이 많이 달라짐을 알 수 있다. 직경이 큰 오리피스 C가 직경이 작은 오리피스 B보다 평균 67% 정도 더 큰 사출력을 나타내었다. 또한 전방과 후방에 동일한 카트리지와 오리피스를 사용하더라도 전방에서의 사출력이 후방에서 보다 더 크게 작용하였다. 이러한 경우에는 활공탄이 분리될 때 기수를 낮춤으로써 안전하게 분리될 수 있도록 하는 긍정적인 효과를 얻을 수 있다.

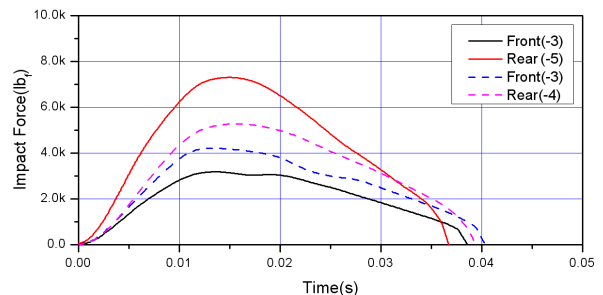
Figure 10(b)는 분리장치 MAU-12에서 카트리지의 폭발력 차이와 오리피스의 직경 차이에 의한 영향이 복합적으로 작용한 경우를 보여주고 있다. 후방 KCCU-44B의 폭발력이 전방 ARD446-1의 폭발력보다 큰 상태에서 후방에 직경이 큰 오리피스 5를 사용하고 전방에는 직경이 2단계 작은 오리피스 3을 사용한 결과, 전방에서 보다 후방에서의 사출력이 2배 이상 크

게 작용하였다. 그러나 동일한 카트리지 배열에서 후방의 오리피스만 직경이 1단계 작은 4를 사용하였더니, 전방의 사출력은 커지고 후방의 사출력은 작아져서 전방과 후방의 사출력 차이가 현저하게 줄어드는 효과를 보였다. 이러한 현상으로부터 카트리지의 폭발력 차이보다는 오리피스의 직경 차이가 사출력에 더 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

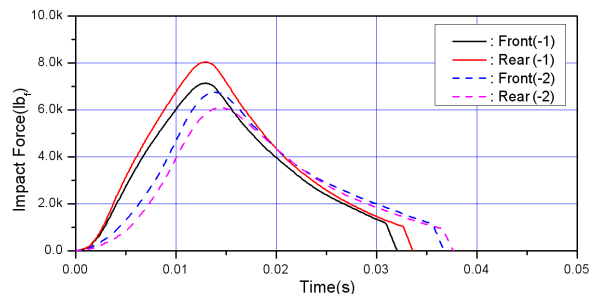
Figure 10(c)는 분리장치 BRU-47의 전방과 후방에 동일한 카트리지를 장착한 상태에서 오리피스 1과 2에 의한 사출력의 차이를 보여준다. 앞에서와 같이 오리피스의 직경이 클수록 사출력도 크게 작용하였으나, 오리피스 직경의 차이에 비해 사출력의 차이는 크지 않았다. 또한 오리피스 직경이 클 때에는 전방보다 후방에서의 사출력이 더 크게 작용하였으나, 오리피스 직경이 작을 때에는 후방보다 전방에서의 사출력이 더 크게 작용하였다.



(a) MAU-50, KCCU-44B/KCCU-44B, C/C, B/B



(b) MAU-12, ARD446-1/KCCU-44B, 3/5, 3/4



(c) BRU-47, ARD446-1/ARD446-1, 1/1, 2/2

Fig. 10. Test Results of Ejection Force

3.4 영상 Pod 화각의 적절성 및 투하계적

영상 Pod로 촬영한 고속 영상자료를 통하여 영상 Pod의 작동 성능과 화각의 적절성을 확인하였다.

Figure 11은 Pod 몸체의 중간부분에 설치된 고속 카메라의 영상자료를 0.2초 간격으로 나열한 것이다. 초당 500 프레임으로 촬영한 이 영상자료를 통하여 활공탄 투하 즉시 날개가 정상적으로 전개되었고 위험한 거동 없이 안전하게 분리됨을 볼 수 있다.

무장분리장치를 교체하고 카트리지와 오리피스의 조합을 변경하면서 시험을 반복하는 동안 분석에 필요한 충분한 양의 영상자료를 획득할 수 있었으며, 실제 비행시험 시 활공탄의 안전분리 해석을 위하여 영상 Pod의 사용이 가능한 것

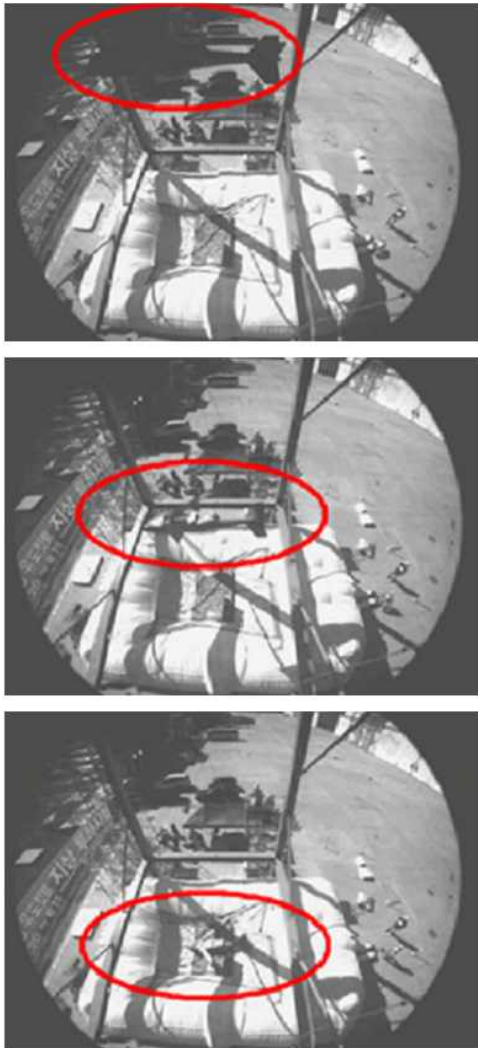
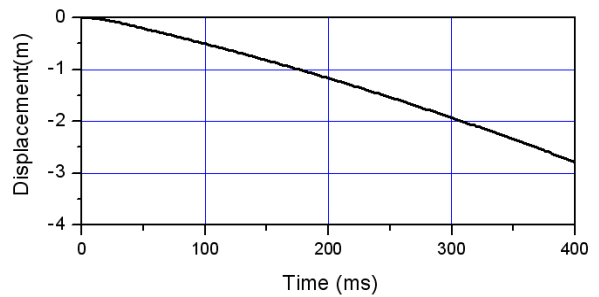


Fig. 11. Altitude of Ejected Bomb Using High Speed Camera

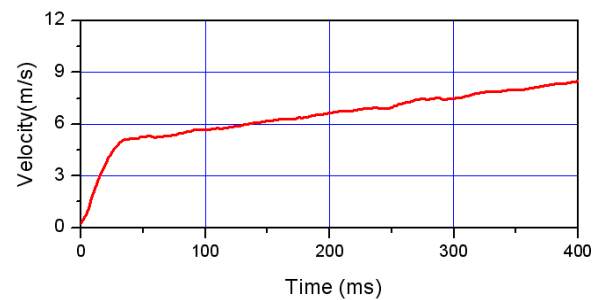
으로 확인되었다. 또한 영상 Pod와 태양의 상대 위치에 따른 화질의 차이가 크게 발생하였으며, 이로부터 실제 비행시험 시 양호한 화질의 영상자료를 획득할 수 있는 시간대에 비행시험을 수행해야 한다는 사실도 파악되었다.

한편 Photogrammetry 프로그램을 활용하여 고속 영상자료의 프레임별로 마커 위치 식별과정을 거쳐 활공탄의 이동거리, 이동속도 및 자세변화를 계산하였다.

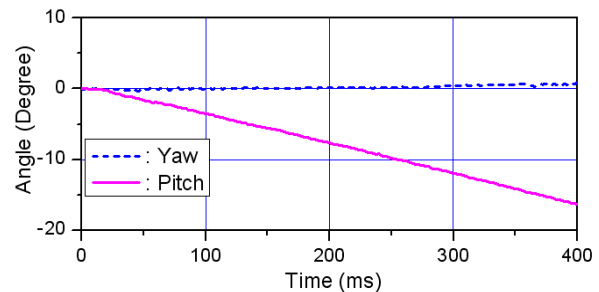
Figure 12는 이 계산결과를 종합하여 활공탄의 분리거동을 분석하기 위한 데이터베이스 구축자료의 일부를 보여준 것이다. Fig. 12의 (a)와 (b)에서 활공탄이 분리된 후 점차 가속되어 낙하하는 것을 볼 수 있으며, (c)에서는 활공탄이 분리된 후 요각은 거의 없는 상태에서 피치각이 점차 커지는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 활공탄이 분리된 후 피치각은 사출력 분포 즉 카트리지와 오리피스의 조합에 따라 증가 또는 감소하였다.



(a) Z-directional Movement



(b) Z-directional Velocity



(c) Pitch and Yaw of Bomb

Fig. 12. Results of Bomb Motion Using Camera

IV. 결 론

우리 공군이 운용하고 있는 사출형 분리장치를 사용하여 모의 활공탄에 대한 지상투하시험을 수행하였다.

H-Beam을 이용하여 제작한 시험치구의 상판에는 세 가지 종류의 분리장치를 교체하여 장착할 수 있는 장착대와 활공탄의 분리거동을 촬영하기 위한 영상 Pod를 설치할 수 있도록 설계/제작하였으며, 시험을 통하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- (1) 세 가지의 분리장치 MAU-50, MAU-12 및 BRU-47의 형상차이에도 불구하고, 기계식 신관의 장전선(Arming Wire)과 전기식 신관의 랜야드(Lanyard)를 이용한 무장분리 기능이 정상적으로 작동하였다.
- (2) 강한 사출 충격하중(3,628kgf) 이 작용되었지만 날개전개장치를 비롯하여 유도키트에 탑재된 각종 계측장치 및 통신장치들이 정상적으로 작동하였다.
- (3) 세 가지의 분리장치에서 공통적으로 오리피스 직경이 클수록 사출력도 크게 작용하였으며, 카트리지의 폭발력 차이보다 오리피스 직경의 차이가 사출력의 크기에 미치는 영향이 큰 것을 확인하였다.
- (4) 영상 Pod를 이용하여 활공탄이 분리되는 과정의 고속 영상 자료를 획득하였으며, 활공탄의 거동을 분석한 결과, 활공탄은 요각이 거의 없는 상태에서 전방과 후방의 사출력 분포 즉 카트리지와 오리피스의 조합에 따라 피치각이 증가하거나 감소되는 것으로 나타났다.

날개가 전개되는 탄에 대한 지상투하시험 시험장치의 설계 및 시험기법이 개발되었으며 구축된 지상투하시험 기술은 향후 유사한 항공무장 개발에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

References

- 1) I. M. Kang, S. J. Kim, "A Study on the Store Separation Procedure of the Korean Fighter", 2005, Research Report of Agency Defense Development, MADC-401-050595.
- 2) S. S. Lee, S. J. Kim, M. S. Kim, "Analysis and Flight Test of XKO-1 Store Separation", J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 32, No. 5, pp.24~29, 2004.
- 3) G. H. Kim, J. H. Sohn, I. W. Lee, "KT-1 Gun Store Separation Analysis and Flight Test", Aerospace Weapon System Development Seminar, Agency Defense Development, pp. 128~133, 2004.
- 4) TO KSIF-16CJ-34-1-1, "Avionics and Nonnuclear Weapons Delivery Flight Manual", Lockheed Martin Corporation. 2004.
- 5) EDO Report 13745, "Booklet of Maintenance and Operating Instructions(Bomb Rack Unit BRU-47/A)", 1987.
- 6) K. D. Lee, Y. K. Park, N. H. Jung, S. W. Beak, S. J. Jung, "Ground Drop Test of Mid-range GPS Guided Kit System", 2010, Research Report of Agency Defense Development, ADDR-315-100078.
- 7) MIL-STD-2088, "Bomb Rack Unit (BRU), Aircraft, General Design Criteria for", 1981.