

비전기식 지연형 폭발볼트 개발

이용조* · 김동진**

Development of Non-Electric and Delay-Type Explosive Bolt

YeungJo Lee* · DongJin Kim**

ABSTRACT

The present work has developed non-electric and delay-type explosive bolt that does not need electric power supply device and has the delay function in the operation. Non-electric power supply system enables separation device system to be minimized. In order to prove the mechanism of the operation, the power of air resistance caused from aviation object used to ignite the initiator. we can be founded from the present work that the changes in the operation load influence directly the ignition of the initiator. The design of non-electric and delay type of explosive bolt is the most suitable for the separation system that is necessary to reduce the velocity of aviation object and safe landing of parachute system.

초 록

본 연구는 기존의 폭발볼트와는 달리 작동에 필요한 전원의 공급 없이 수행하면서, 또한 지연기능까지 포함한 비전기식 지연형 폭발볼트에 관한 것이다. 즉 비전기식 작동방법을 이용하여 전원 공급 장치를 없앨 수 있기 때문에 분리장치의 소형화가 가능해졌고, 이를 위하여 기존 폭발볼트의 작동 메카니즘과는 다른 새로운 개념의 메카니즘을 적용하였고, 또한 지연기능을 추가하기 위하여 작동 메카니즘 개발과 별도로 지연장치를 개발하였다. 전원을 사용하지 않고 작동하는 착화장치를 설계하기 위하여 폭발볼트가 결합된 비행체에서 발생하는 공기의 저항력을 이용하였다. 고속으로 비행하는 발사체의 속도를 줄이고 안전한 착륙을 위한 낙하 시스템의 설계에 고려될 수 있는 장치라고 생각된다.

Key Words: Non-Electric and Delay Explosive Bolt(비전기식 지연형 폭발볼트), Initiator(착화기) Separation Test(분리시험), Operation Sequence(작동순서)

† 2005년 7월 13일 접수 ~ 2005년 8월 10일 심사완료

* 중신회원, 국방과학연구소 기4-7

** 정회원, 한화 중앙연구소
연락처, E-mail: yeungjolee@nate.com

유도무기의 침단화 및 정밀타격을 위하여 기존의 재래식 탄두를 대체하여 탄두 내에 자탄을 장착한 침단 무기가 개발되고 있다. 탄두 내에 장착된 자탄은 그 자체로 탐색장치를 탑재하고 있기 때문에 탐색기능을 발휘하기 위하여 목표상공에서 비행속도 감속 및 체공시간을 가져야 한다. 비행속도의 감속을 위하여 사용되는 장치는 1차 낙하산으로 벌룻 형태로 사용된다. 1차 낙하산 전개 후 목표속도까지 감속될 때까지 1차 낙하산이 자탄에 결합되어야 하며 감속 후 1차 낙하산이 자탄과 분리됨과 동시에 2차 낙하산이 전개되어야 한다. 이와 같이 결합과 분리의 기능을 동시에 수행하기 위한 분리장치의 개발이 요구되었다. 이와 같은 기능을 가진 부품으로 대표적인 파이로 부품이 폭발볼트이다.

폭발볼트란 화약의 폭발력에 의해 결합되어진 두 개의 구조물을 분리 또는 방출하는 파이로 테크닉 장치이다. 주로 우주선, 미사일, 항공기, 수중 수송 시스템에서 발사작동, 단 분리, 외부탱크 방출, 추력이 소모된 모타 분리 등 많은 부분에 다양하게 사용된다[1]. 하지만 자탄 특성상 기존의 폭발볼트를 바로 적용할 수 있는 것에는 한계가 있다. 기존의 폭발볼트의 경우 배터리에서 발생하는 전원을 이용하여 기폭장치를 작동시켰지만 자탄의 경우 구조상 전원을 공급하는 배터리를 자탄 내부에 장착할 수 없기 때문이다. 또한 1차 낙하산 전개 후 비행체가 원하는 속도까지 감속이 될 때까지 1차 낙하산이 분리되지 말아야 하기 때문에 지연기능 또한 폭발볼트에 탑재되어야 한다. 따라서 전원의 공급 없이 기폭장치를 기폭시킬 수 있는 구조의 기폭 train을 개발하여야 했으며 1차 낙하산 전개 후 공기의 저항에 의해 받게 될 항력을 1차 낙하산이 견딜 수 있도록 충분한 결합력을 갖도록 몸체 형상을 설계하였다.

1.2 작동 메카니즘

궤도 비행중의 비행체에서 자탄이 방출되면 방출과 동시에 1차 낙하산이 전개된다. 이때 1차 낙하산 전개시 자탄 몸체와 1차 낙하산을 연결

하고 있는 볼트에 발생하는 인장력을 이용하여 폭발볼트의 기폭 train을 작동시킨다. 작동된 기폭 train 내의 지연장치에 의해 일정시간동안 1차 낙하산이 자탄 몸체와 분리되지 않도록 유지된 후 원하는 지연시간 후 폭발볼트의 분리에 의하여 1차 낙하산이 자탄에서 분리된다. 분리와 동시에 2차 낙하산이 전개된다. Fig. 1은 작동순서이다. (① 비행체 궤도 비행 → ② 자탄방출/1차 낙하산 전개 → ③ 자탄 비행속도 감속 → ④ 1차 낙하산 분리/2차 낙하산 전개)

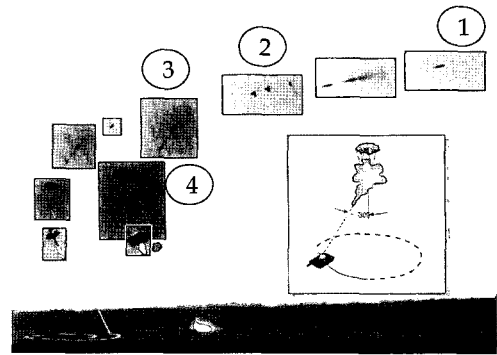


Fig. 1 The Operation Sequences of System

2. 폭발볼트 설계

2.1 설계 요구 조건

폭발볼트 설계시 요구조건은 첫 번째로 기계적 결합강도 및 사용 환경 기능의 내구성을 확보해야 하며, 두 번째로 기폭 train 신뢰성 및 지연시간 작동성을 확보해야 한다. 세 번째로는 분리시 주변 핵심부품 안정성을 확보해야 하며 마지막으로 동작의 신뢰도 기능을 확보해야 한다.

2.2 볼트몸체 형상 설계

볼트몸체 형상을 설계시 고려한 사항은 볼트가 사용 환경에서 받게 될 최대 인장하중 및 볼트 내부에 지연장치를 삽입하기 위한 공간 확보이다. 볼트 분리시 발생하는 파편 및 충격파의 최소화를 위하여 몸체 형상 설계 후 AUTODYN

프로그램으로 수치 해석하여 결정하였다[2]. 폭발볼트 형상은 Fig. 2에 잘 나타내고 있다.

최대인장 하중을 충족시키기 위해선 볼트몸체의 재질 및 분리면의 단면적을 설계인자로 하여 몸체를 설계하여야 한다. 본 개발에 사용된 볼트는 동일소재의 인장시험을 통하여 얻어진 인장강도를 통하여 10 ton의 인장하중을 견디도록 분리면의 내경과 외경을 결정하였다. Fig. 3은 인장하중을 견디도록 설계된 단면적을 갖는 폭발볼트의 수치해석 결과이다. 해석결과 분리 예정면에서 응력집중 현상이 발생하였으며 이것으로 설계 타당성을 확인할 수 있었다.

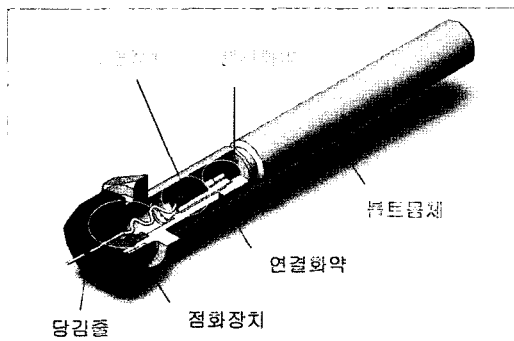


Fig. 2 Shape of Non-electric and Delay Type Explosive Bolt

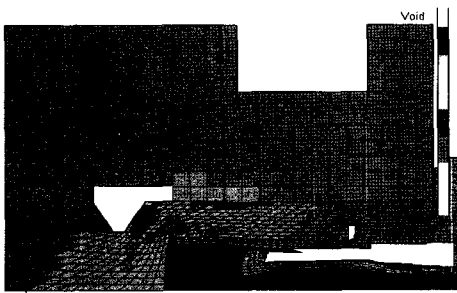


Fig. 3 Failure Mode in Simulation

2.3 기폭 train 설계

전원을 사용하지 않는 비전기식 기폭 train을 설계하기 위하여 고속비행체의 감속 및 감속장치의 분리시스템을 기폭장치의 에너지원으로 사용된 구조로 설계하기 위하여 Fig. 4와 같은 설계를 적용하였다.

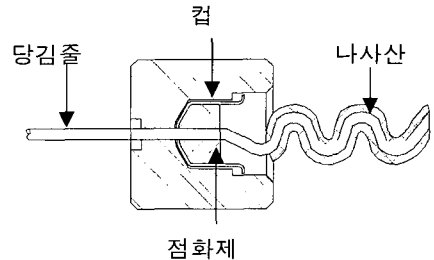


Fig. 4 Non-electric Initiator System

Figure 4에서 보듯이 1차 낙하산 전개시 동시에 당김 줄이 당겨지면서 당김 줄과 컵 사이의 마찰에 의해 기폭이 일어난다. 당김 줄 및 컵 설계시 고려되어야 할 설계인자는 당김 줄의 산수(數)와 재질, 컵 내경 그리고 당김 줄이 당겨지는 토크 값 및 연결화약 형상에 의해 이루어져야 한다.

볼트 내부공간의 최소화를 위하여 설계인자의 최적화를 당김 줄의 산 수를 변수로 하고 나머지를 고정하여 시험하여 착화률을 조사하였다. 기폭장치에서 발생된 기폭에너지를 폭발볼트 분리에 사용되는 주장약으로 연결하기 위하여 Fig. 5와 같이 기폭화약, 지연화약, 연결화약, 분리화약으로 설계하였다.

기폭장치에서 발생된 에너지는 감도가 민감한 화약에서 점점 감도가 둔한 화약으로 연결된다. 이와 같은 일련의 화약 배열순서 및 폭발 순서를 폭발 train이라 하며 신뢰성 있는 폭발 train을 얻기 위해서 각각의 화약의 직경 및 길이 그리고 밀도의 최적화가 이루어져야 한다.

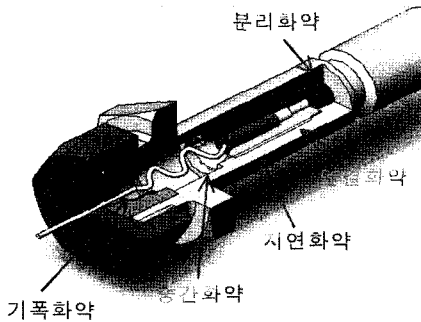


Fig. 5 The Configuration of Explosive Power Transformation

2.4 지연장치 설계

지연장치는 화약의 기폭과 주장약 사이의 폭발 train을 시간으로 조정함으로써 필요시 요구되는 기능을 만족시키기 위하여 사용한다. 요구되는 지연시간을 만족하기 위하여 적절한 지연제의 선택은 필수적이다. 동일 지연제를 사용하여 재연성의 신뢰성 갖기 위해서 지연제의 수분함량, 외부온도, 충전압력, 외부압력, 충전물의 형상을 설계인자로 하여 설계하여야 한다. 본 볼트에 사용된 지연제는 3~4초의 지연시간을 만족하기 위하여 텅스텐계열의 지연제를 사용하였으며 설계인자들의 최적화를 위하여 충전압력, 충전물의 형상을 변수로 한 시험들의 시험결과 자료를 통하여 원하는 시간의 지연시간을 얻을 수 있었다.

기폭장치에서 발생한 발화원은 지연제를 직접 점화하기에는 위력이 약하므로 기폭장치와 지연제 사이에 점화력이 좋은 중간 화약을 사용하였다. 중간화약은 연소시 가스발생 및 부피팽창이 거의 없어야 한다. 왜냐하면 연소시 발생된 가스는 볼트 내부의 압력을 증가시켜 지연제의 지연 속도에 영향을 주며 또한 부피팽창은 지연 column의 형상을 파괴하기 때문이다.

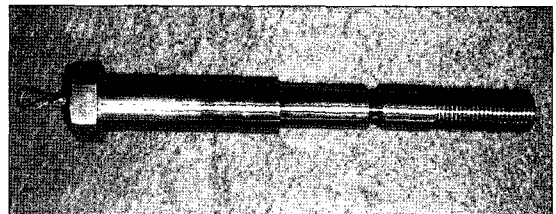
3. 시험결과

3.1 볼트 형상

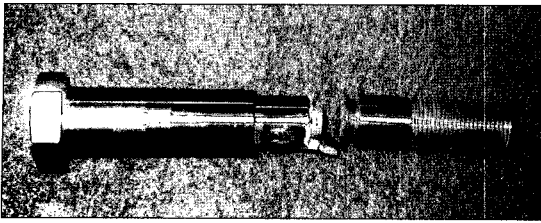
AUTODYN으로 수치 해석하여 최적 모델을 선정하고 선정된 모델을 바탕으로 실시 제작하는 볼트몸체의 외형을 결정하였다. 볼트 분리면의 면적은 요구하중을 견딜 수 있도록 볼트재질의 인장강도와 분리면의 내경 외경을 최적화하여 결정하였다. 볼트 재질은 17-4PH로써 H900 열처리를 수행하였다. 10 ton 하중을 견딜 수 있는 외경은 1/2" 이고, 분리 면은 ridge-cut 형상을 적용하여 분리시 충격파를 ridge-cut 면에 집중시켰다. 화약량은 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 mg을 적용하여 분리시험 후 파편이 발생하지 않고, 분리면이 아주 깨끗한 형상을 보여 주는 120 mg 으로 결정하였다. 분리시험은 각 조건 당 10-15회를 저온(-40℃), 고온(+60℃), 상온(+20℃)에서 수행하였다. 100 mg 이상에서는 항상 분리가 일어났으나, 90 mg 에서는 분리가 일어나지 않은 경우도 있었다.

3.2 분리시험

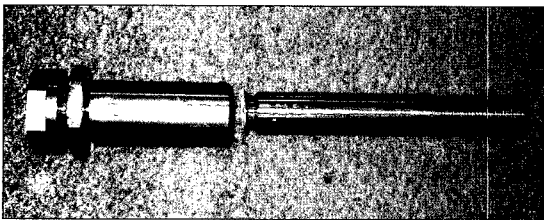
Figure 6은 설계인자들의 최적화에 의해 만들어진 볼트의 분리시험 후 폭발볼트 형상이다. 수치해석 결과(Fig. 3)와 일치하는 분리현상이 나타났다. 분리시험 후 pyro-shock의 크기는 일반 저충격형 폭발볼트와 비슷한 4500 g 정도의 충격량이 측정되었다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Morphology of Non-electric and Delay-type Explosive Bolt Before(a), After(b and c) Separation Tests

3.3 기폭 Train

볼트 내부공간의 최소화를 위하여 설계인자의 최적화를 당김 줄의 산 수를 변수로 하고 나머지를 고정하여 시험한 결과 당김 줄 산 수가 최소 3산 이상일 때는 100 % 착화률을 나타내고 있다. 시험은 2산에서 5산까지 변경하여 시험하였다. 2산일 경우에도 착화가 일어나는 경우도 있지만, 기폭하지 않은 경우가 나타났다. 그러나 3산 이상에서는 모두 기폭이 일어났다. 현재 당김 줄 산 수에 따라 작용되는 정량적인 힘을 계산할 수 있는 시험장치를 제작하여 실험 중에 있다. 이때 당김 줄 소재는 스테인레스 304를 사용하였고, 직경/길이는 2.0/30.0 mm로 정하였다. 충전시 기폭화약은 15000 psi로 충전하였다. 현재 실지로 어느 정도 힘이 가하여 주면 기폭이 일어나는가를 정량적으로 측정하기 위해 시험 장치를 고안하여 시험을 진행 중에 있다.

3.4 지연장치

지연시간은 당김 줄이 당겨지고 볼트가 절단

될 때까지의 시간으로 정의하였으며 지연제 충전 형상 및 충전 횟수 등 지연시간에 영향을 주는 인자들의 제어를 통하여 3-4초 사이의 지연시간을 지연오차 20 %내에서 얻을 수 있게 시험하였다. 지연화약은 텅스텐 계열로 건조기에서 48 시간 이상 건조하였고, 사용 가능한 온도는 -40°C에서 +60°C 까지 이다. 지연제 충전압력은 12000 psi 이었고, 지연제 직경은 지연시간과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 현재 사용하고 있는 폭발볼트의 내경과 지연시간을 고려하여 직경을 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 mm로 조절하여 시험한 결과 3.0 mm가 가장 균일한 지연시간 결과가 나타났다. 지연제 길이는 지연시간이 증가함에 따라 길이가 증가된다는 것을 알 수 있었다. 이때 지연제 약량에 따른 지연시간 시험 결과는 Table 1에 잘 나타나 있다. 본 연구에서는 체계에서 요구하는 지연시간 3-4초를 맞추기 위하여 지연제 화약량은 250 mg 으로 결정하였고, 이때 지연제 화약의 직경/길이는 3.0/6.0 mm 이었다.

Table 1. Results of the Correlation of Amount of Delay Explosive and Delay Time

길이(mm)	화약량(mg)	지연시간(msec)
2.40	100	750 ± 20%
2.72	130	1000 ± 20%
3.60	150	1350 ± 20%
4.32	180	1840 ± 20%
4.80	200	2210 ± 20%
5.28	220	2670 ± 20%
6.00	250	2990 ± 20%
7.20	300	3860 ± 20%
8.00	350	4830 ± 20%

3.5 통합시험

통합시험을 통하여 3-4초의 지연 후 분리가 일어나는 것을 확인하였고, 실제 구속 상태에서는 파편생성이 없었고, 비행체 주위에 발생하는 공기저항에 의해 당김 줄이 작동하여 비전기식 지연형 폭발볼트가 완벽하게 작동함을 알 수 있었다.

4. 결 론

고속으로 비행하는 비행체의 속도 제어 및 안전한 낙하와, 요구되는 체공시간을 얻기 위하여 비전기식 지연형 폭발볼트를 개발하였다.

기존의 분리장치에 사용되는 폭발볼트는 배터리에서 공급되는 전원에 의해 작동되기 때문에 배터리를 장착할 수 없는 소형 비행체에는 적용하지 못한다. 또한 일정시간의 지연을 갖기 위해서도 기존의 기계식, 전자식의 지연장치는 자체의 부피가 크기 때문에 사용하는데 시스템적으로 많은 불편을 가져온다.

본 폭발볼트 작동은 전원이 아닌 비행체 주위

에서 발생하는 공기의 저항을 이용함으로써 전원공급을 위한 배터리의 필요성이 없어졌으며 화약식 지연장치를 볼트내부에 장착함으로써 분리장치의 부피를 줄일 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Brauer, K. O., Handbook of Pyrotechnics, Chemical Publishing Co. Inc., New York, 1974, pp119-128
2. 이용조, 김동진, "해석프로시저를 이용한 리치컷형 폭발볼트 분리기구 해석", 한국추진 공학회지, 제8권, 2호, 2004, pp. 102-114