

가스팽창분리형 볼트 분리거동 해석 연구

김동진* · 이용조** · 강원규***

A Study of Interpretation of Separation Behavior in Gas Expansion Separation(GES) Bolt

Dong Jin Kim* · Yeung Jo Lee** · Won Kyu Kang***

ABSTRACT

The present work has been developed the study of interpretation of separation behavior in gas expansion separation(GES) bolt which has the separation characteristic without fragmentation and minimum pyro-shock during the operation of the explosive bolt. In order to obtain the performance of minimum pyro-shock, the present work used non-compressive material instead of separation explosives. The use of the interpretation processor could be extensively helped to design the shape and the amount of explosives in the explosive bolt having complex geometry, and to analyse the separation behavior during the operation. It is also proved that the GES bolt is the most suitable the separation system necessary to minimum pyro-shock and non fragmentation compare to others.

초 록

본 논문은 기존 폭발볼트의 기능을 그대로 유지하면서 분리시 발생하는 파편 및 충격파의 악작용을 완벽히 제거할 수 있는 GES 볼트의 분리거동에 관한 연구이다. GES 볼트는 압력카트리지의 압력을 이용하여 분리가 이루어지게 개발된 파이로 장치이다. 볼트 설계시 고려된 설계인자의 최적화는 볼트의 분리거동을 해석함으로써 달성할 수 있었다. 또한 볼트 설계인자의 최적화 방법을 제시함으로써 향후 볼트와 같은 파이로 부품 설계에 기준을 제시하고자 한다.

Key Words: 가스팽창분리형 볼트(Gas Expansion Separation Bolt), 파이로쇼크(Pyro-Shock), 설계인자(Design Factor), 분리거동(Separation Behavior)

1. 서 론

첨단 무기 및 장비에 필수적으로 사용되는 결합 및 분리기능을 갖춘 부품들은 다양한 종류와

모양으로 개발되어 왔다. 이와 같은 기능을 가진 부품으로 대표적인 것이 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, 외부 탱크 방출, 추력이 소모된 모타 분리 등 많은

* 한화 중앙연구소 선임연구원

** 국방과학연구소 추진기관부 책임연구원

*** 한화 중앙연구소 연구원

연락처, E-mail: gudcfdl@hanafos.com

부분에 다양하게 사용된다. 하지만 폭발볼트의 경우 화약의 폭발력에 의해 분리되는 특성 때문에 분리시 파편 및 충격파가 발생하는 단점을 갖고 있다[1]. 폭발볼트 분리시 발생하는 파편은 설계인자의 최적화를 통하여 거의 완벽하게 없앨 수 있게 되었지만, 충격파의 악작용은 현재의 기술력으로는 제어하기가 어렵다. 충격파(pyro-shock)는 짧은 지속시간, 높은 주파수, 높은 충격량을 갖는 특징을 갖고 있다. 즉 수백g에서 수만g의 가속도 값을 가지며 그 지속시간은 10~30ms 이내로 짧다. 이와 같은 특징을 갖는 충격파는 주변의 전자장치 및 기계장치의 손상과 오작동을 유발하여 시스템 실패의 원인이 되기도 한다.

GES 볼트는 기존의 폭발볼트의 기능을 그대로 유지하면서 분리시 발생하는 파편 및 충격파의 악작용을 완벽히 제거한 볼트이다. GES 볼트는 볼트에 결합된 압력카트리지에서 발생하는 압력을 이용하여 볼트 몸체를 절단시키는 메카니즘을 갖고 있다. GES 볼트 설계시 고려된 설계인자는 볼트 절단면 면적, 볼트 절단부위 형상, 압력카트리지 압력, 볼트몸체 재질, 볼트몸체 경도, 볼트몸체 내부 형상이었다. 볼트절단부위 형상 및 몸체 내부 형상은 AUTODYN이라는 파괴거동을 전문적으로 해석하는 S/Ware를 사용하여 다양한 형상에서 Simulation을 통하여 결정하였다[2]. Simulation을 통해 실제 제작할 모델을 결정하였고 이 모델을 실제 제작하여 다른 설계인자를 최적화 하였다.

압력카트리지에서 발생하는 압력을 극대화하기 위하여 볼트몸체 내부의 빈공간은 비활성유체를 충전하여 최적화 하였다. 또한 결합에 요구되는 결합강도는 볼트몸체의 재질과 절단 단면적을 최적화하여 얻었을 수 있었다. 볼트분리에 필요한 압력카트리지 위력은 10cc CBT(Closed Bomb Test)로 상대적 평가를 통하여 결정하였다.

2 GES 볼트 설계 및 해석

2.1 볼트몸체 형상 설계

볼트몸체 형상을 설계하기 위하여 여러 가지 모델을 AUTODYN S/Ware로 Simulation하여 결정하였다.

Simulation 해석에 사용된 전제조건은 ①볼트 내부에 작용하는 압력은 모든 방향에서 동일하며 ②지속되는 시간 또한 해석이 완료될 때 까지 계속 유지된다. ③볼트 내부의 빈 공간은 비활성 유체로 완전히 충전되어져 있다.

그림1은 GES 볼트의 형상이다.

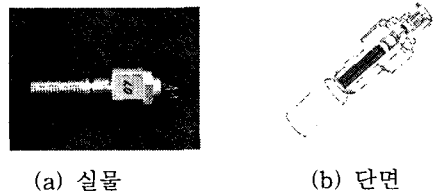


그림1. GES 볼트 형상

볼트 몸체 형상 설계시 고려하여야할 설계인자는 노치형상, 노치와 볼트내부 홈 깊이의 관계이다. 그림2는 Simulation 해석에 사용된 모델들이다.

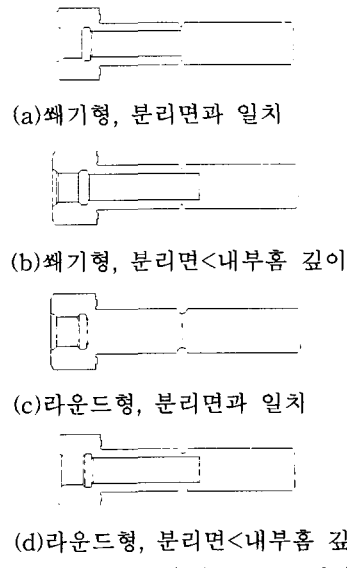


그림2. 해석에 사용된 볼트 모델형상

그림2의 (a), (b)모델과 (c), (d)모델은 볼트 분리면 외부의 형상에 따른 응력 분포를 확인하기

위하여 썬기형과 라운드형으로 설계하였다.
또한 그림2의 (a), (c)와 (b), (d)의 경우는 분리면과 볼트 내부 홈과의 깊이 관계를 비교하기 위하여 설정하였다.

Simulation 해석결과는 그림3과 같다.



(a)썬기형, 분리면과 일치



(b)썬기형, 분리면<내부홈 깊이



(c)라운드형, 분리면과 일치



(d)라운드형, 분리면<내부홈 깊이

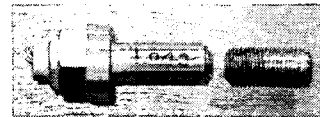
그림3. 모델별 해석결과

해석결과 그림3 (a)의 경우 썬기 부분과 내부 홈 밑 부분에서 분리 예정면을 따라 최단거리로 응력집중현상이 나타났으며 다른 부분에서는 거의 응력이 나타나지 않았다. 즉 볼트내부에서 생성된 압력이 볼트 몸체 분리에 아주 효율적으로 사용되고 있다고 해석할 수 있다. (b)의 경우 볼트 내부에서 생성된 압력이 볼트 홈 밑면에 우선 충격을 준 후 점차 노치부에서 응력이 집중되는 현상을 보였다. 이와 같은 결과는 볼트 몸체 분리에 필요한 압력이 (a)의 경우보다 더 커야 한다는 것을 보여준다. 왜냐하면 볼트 밑면에 집중된 응력은 볼트 분리에 사용될 수 없기 때문이다. (c)의 경우는 (a)의 경우처럼 볼트 내부 홈 밑면과 노치 부분에서 예정 분리면을 따라 응력이 집중되었지만 집약도 면에서 (a)보다 산만하다. 즉 분리시 볼트몸체의 분리면

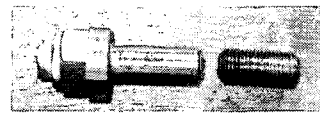
이 깨끗하지 않고 요철이 발생될 가능성이 있다는 것이다. 마지막으로 (d)의 경우는 네가지 해석모델 중 가장 나쁜 분리현상이 나타날 것으로 해석되었다. 분리시 응력 집중현상이 먼저 볼트 몸체 밑면에서 발생되었으며 노치면에서도 응력이 집중되지 못하고 산만하게 분포되었다.

동일조건하에서 simulation 해석결과 라운드형보다 썬기형에 응력집중현상이 더욱 잘 일어나는 것과 노치형상과 볼트 홈 내부 깊이가 응력집중현상에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 그러나 각 모델별 실제 절단, 인장하중 시험에서는 거의 동일한 인장 값을 얻어 노치의 모양과 분리면과 내부 홈 깊이에 따른 영향이 나타나지 않았다. 이와 같은 이유는 실제 인장하중 시험은 기계적 인장력을 이용하여 시험하였고, 해석에 사용된 것은 짧은 시간에 볼트 몸체 전체에 균일한 힘이 작용하도록 설정한 압력을 사용하였기 때문이다. 즉 시간에 따른 변형률의 차이 때문이라고 판단된다.

그림4는 썬기형과 라운드형으로 제작한 볼트의 실제 분리시험 결과이다.



(a)썬기형, 분리면과 일치



(b)썬기형, 분리면<내부홈 깊이



(c)라운드형, 분리면과 일치



(d)라운드형, 분리면<내부홈 깊이

그림4. 모델별 분리시험 결과

썬기형의 경우 분리면의 요철이 거의 생기지

않고 깨끗하게 절단되었다. 하지만 라운드형의 경우 분리면이 노치부분과 일치하는 모델은 깨끗한 분리면을 얻을수 있었지만 (d)의 경우에는 분리면에서 심한 요철이 생겼다. 이와같은 현상은 simulation 결과와 정확히 일치하였다.

3. 시험결과

3.1 분리시험

AUTODYN으로 Simulation하여 최적 모델을 선정하고 선정된 모델을 바탕으로 실제작하는 볼트몸체의 외형을 결정하였다. 볼트 분리면의 면적은 요구하중을 견딜 수 있도록 볼트재질의 인장강도와 분리면의 내경 외경을 최적화하여 결정하였다. 압력카트리지의 위력은 3000psi/10cc로 결정하였으며 볼트 내부 빈공간은 PV 관계식에서 결정하였다. 그림5은 설계인들의 최적화에 의해 만들어진 볼트의 분리현상 결과이다.



(a) a 모델 시험결과 (b) d 모델 시험결과
 그림5. 분리시험 후 볼트 분리현상 결과

a 모델 분리면은 요철 없이 깨끗하였으며(그림 5(a)), d 모델은 simulation 결과와 같이 분리면이 상당히 거칠게 나타났다(그림 5(b)).

3.2 Pyro-Shock 시험

분리시 발생되는 Pyro-shock은 가속도 미터 센서를 이용하여 측정하였다.

기존의 폭발볼트는 분리시 수천에서 수만g달 하는 가속도가 측정되었다. 하지만 GES 볼트의 경우 Pyro-shock의 전형적인 파형이 측정되지 않았다. 따라서 GES볼트는 분리시 Pyro-shock을 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

GES 볼트 설계시 설계에 고려되어야 하는 설계인자에 관하여 살펴보았다.

각각의 설계인자를 최적화함으로써 분리시 파편 및 충격파의 악작용이 없는 볼트의 개발이 가능하다.

설계인자를 최적화함에 있어 가장 먼저 고려에 두어야 하는 것은 GES 볼트가 견디어야 하는 기계적 강도이다. 볼트 특성상 압력카트리지에서 발생하는 압력에 의해 분리현상이 일어나므로 기존 폭발볼트처럼 높은 인장강도가 요구되는 시스템에는 사용되지 못한다. 하지만 일정 크기이하의 인장강도가 요구되는 시스템에는 효과적으로 사용될 수 있다.

요구되는 인장강도에 따라 볼트 분리면의 단면적이 결정된다. 단면적이 결정된 후 최적 몸체형상을 설계하기 위하여 먼저 동일단면적을 갖는 여러 가지 형상의 볼트몸체를 Simulation을 통하여 결정한다. 볼트내부 부피와 압력카트리지의 위력의 상호 최적화를 통해 압력카트리지의 위력을 결정한다.

볼트몸체 외부형상은 라운드형보다 쉘기형이 보다 많은 응력집중을 나타내어 양호한 분리결과를 얻을 수 있었으며 볼트내부 형상 또한 분리면과 일치시켰을 경우가 더 나은 결과를 얻었다. 이와 같은 현상은 AUTODYN Simulation 해석과도 동일하였다.

참고문헌

1. M.A. Meyers and L.E.Murr, Shock Wave and High-Strain-Rate Phenomena in Metals, Plenum Press, NY, 1981, pp. 51-63
2. 이용조, 김동진, 해석프로시저를 이용한 리치컷형 폭발볼트 분리기구 해석, 한국추진공학회지, 제8권 2호, 2004, pp. 102-104