

파이로작동기구 성능평가를 위한 해석모델 연구

최주호* · 성홍계* · 김준식**

A Study on Analytical Approach for Performance Evaluation of Pyrotechnically Actuated Device

Joo Ho Choi* · Hong Gye Sung* · Jun Sik Kim**

ABSTRACT

A pyrotechnic actuated device (PAD) is a component that delivers high power in remote environments by combustion of a self-contained energy source. Historically, the design of these devices has been largely empirical and considered to be an art. In this study, an overview for developing an analytical model is introduced that efficiently evaluates performance of PAD. The model is integrated by three parts of different disciplines that are coupled in sequence with each other. First is the solid explosive burning to form product gas within an actuator and transport to an expansion chamber. Second is the insertion of initially tapered piston into a small hole by gas pressure in the chamber. Third is the shear cutting of the diaphragm from the piston to enable gas flow into the conduit. Some results of preliminary study for each of three parts are introduced in the presentation.

초 록

파이로 작동기구(PAD)는 고에너지 재료를 원격으로 폭발시켜 기구를 작동시키는 부품으로서 지금까지 이에 대한 설계는 주로 경험에 의해 이뤄졌다. 본 연구에서는 PAD의 작동 메커니즘을 해석적으로 모델링하는 효과적 방법을 개발하고 이를 설계에 활용하고자 한다. 해석모델은 서로 다른 해석특성을 가지는 세가지 순차적 스텝으로 구성되며 이들을 연계하여 통합 해석을 수행한다. 첫째 스텝은 작동기에서의 폭발 및 이로 인한 생성된 압력거동 해석, 둘째는 이러한 압력에 의해 피스톤을 작은 구멍 속으로 밀어넣는 압착거동 해석, 셋째는 피스톤 끝단에 있는 커터에 의해 박막을 관통하는 해석이며, 이로 인해 최종적으로 박막이 절개되면서 소기의 임무를 완성하게 된다. 본 발표에서는 이에 대한 개략적 소개와 일부 진행된 선행연구 결과를 소개한다.

Key Words: Pyrotechnically Actuated Device (파이로 작동기구), Analytical Model (해석모델), energetic material(에너지제틱 재료), Plastic deformation (소성변형), Shear Cutting

1. 서 론

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

** 금오공과대학교 지능기계공학과

† 교신저자, E-mail: jhchoi@kau.ac.kr

파이로 작동기구(PAD)는 고에너지 재료를 원

격으로 폭발시키고 이 압력으로 기구를 작동하여 임무를 수행 (특히 로켓발사 시 점화기를 작동)하는 기구를 일컫는 것으로 pin puller, thruster, cable cutter 등 여러 종류가 있고 주로 항공우주 및 국방 시스템에서 많이 사용되고 있다. 지금까지 PAD는 난이도가 있는 여러 현상을 연계 해석하는 어려움으로 인해 주로 경험에 기반한 설계를 수행하였다. 그러나 우주로켓 발사 시 PAD 작동 고장이 계속해서 발생(Landsat 5, Telstar 4, Mars Observer)함에 따라 이에 관한 고장확률 계산, 즉 신뢰성 평가를 설계단계에서 수행할 필요성이 대두되었다. 일반적으로 신뢰성 평가에는 많은 해석이 반복되어야 하므로, 이를 위해 계산효율이 좋은 효과적 해석모델이 필요하다. 지금까지 이와 관련된 연구를 수행한 사례는 참고문헌 [1~6]에 소개되어 있다.

PAD의 작동 메커니즘은 세가지로 구성되며, 이들이 순차적으로 진행되면서 소기의 임무를 수행한다. 첫째 스텝은 작동기에서 hot wire에 의해 energetic material이 폭발되고 이로 인해 발생된 가스에 의한 압력거동, 둘째는 이러한 압력에 의해 피스톤을 작은 구멍 속으로 밀어넣음으로 인한 탄소성 압착거동, 셋째는 피스톤 이동으로 인해 끝단에 있는 커터가 박막을 관통하는 거동이며, 그 결과 박막이 절개되면서 저장된 질소 가스를 내보내는 것으로 임무가 완성된다. 흔히 사용되는 PAD 중 하나를 Fig. 1에 소개하였고, 좌측은 작동되기 전, 우측은 작동결과를 나타낸

다. 따라서 이러한 현상을 분석하려면 연소공간 해석, 피스톤 탄소성변형해석 및 커터 절단해석 등의 해석을 수행해야 하는데, 이에 여러 가지 어려움이 있다. 각 해석을 위해서는 높은 난이도가 요구되는데 이를 구현하기 위해서는 복잡한 해석 프로그램(예를 들어 상용 SW)이 필요하며, 게다가 계산과정에서 이들은 상호 연계되어 해석되어야 한다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 신뢰성 평가를 위해서는 복잡한 해석 보다 계산 효율면에서 단순화된 해석방법이 필요하다.

본 연구에서는 이들에 대해 단순화된, 그러나 현상을 잘 묘사하는 수확모델을 수립하여 효과적인 연산을 할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 개발된 모델을 이용하여 치수 및 물성 등 여러 입력변수의 변화에 따른 성능의 변화를 고찰하고, 나아가서 이들을 확률기반 해석에 활용하여 신뢰성 평가를 수행하고자 한다.

본 발표에서는 PAD 작동 메커니즘의 세 스텝에 대한 간략한 개요, 해석적 특징 소개와 함께, 일부 연구된 결과를 소개한다.

참 고 문 헌

1. Jones et al., "Analysis of Explosively Actuated Valves," J Mech Des, 1994.
2. Gonthier et al., "Modeling Pyrotechnic Shock in NASA Pin Puller," AIAA, 1994.
3. Emery et al., "Design & Analysis of EAV: Interaction of Plunger & Housing," J Mech Des, 1995.
4. Raymond & Kwon, MAVIS II, Sandia Lab Report, 1997.
5. Braud, et al., "System Modeling of Explosively Actuated Valves," J. Prop. & Power, 2007.
6. Paul & Gonthier, "Analysis of Gas Dynamic Effects in EAV," AIAA, 2009.

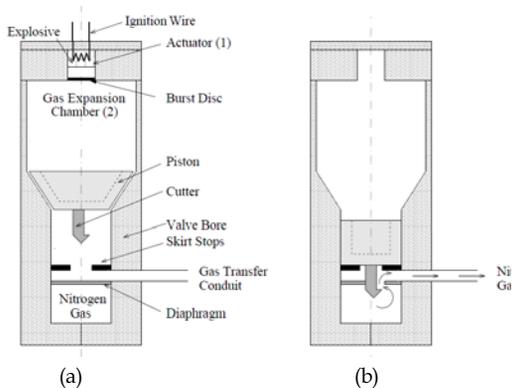


Fig. 1 Illustration of a PAD: (a) prefired and (b) postfired configuration [5]