

회전안정탄의 탄대 설계개선을 위한 연구

이영규*, 박용복**, 양동열*, 조용찬***, 한만준***

*: 한국과학기술원 기계공학과 **: 공주대학교 기계공학과 ***: 국방과학연구소

A Study on the Design of Rotating Band

Young-Kyu LEE, Dong-Yol YANG, Yong-Bok PARK, Yong-Chan CHO, Man-Jun HAN

Abstract

The deformation of the rotating band is simulated to improve the original design of the rotating band. The improved designs are proposed by referring the result of the finite element analysis. A new experimental technique is proposed and its application has been carried out to show the validity of the result of the analysis and the performance of the improved design of the band.

1. 서 론

회전탄대는 회전안정탄의 측면 후미에 고리형태로 육성용접되어 탄의 발사시, 장약의 폭발력이 탄체의 가속과 회전에 효율적으로 변환되어 탄의 발사후, 안정적인 비행을 가능하게하는 회전안정탄에서 매우 중요한 부분이다. 특히 회전탄대의 설계는 회전안정탄의 사정거리와 정확성등의 성능에 큰 영향을 미치므로, 성능이 우수한 회전안정탄의 개발을 위해서는 최적화된 회전탄대의 설계가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 탄이 포신내에 장전된 이후부터 탄대의 주요한 변형이 발생하는 시점까지 탄대의 포신내 변형과정을 해석하여 탄대의 거동특성, 응력, 반력등을 예측하고 이를 설계시에 반영하여 기존에 사용하던 회전탄대를 개선하여 좀더 최적화된 설계를 구현하고자 하였다. 또한 기존의 실 발사시험의 한계를 극복하고 발사시에 탄대의 거동을 규명할 수 있는 시험기법을 제안하고 이를 구현하여 해석의 타당성을 검증하고 개선된 설계를 평가하였다.

2. 회전안정탄의 개요

그림 1은 회전안정탄의 구조와 발사과정을 설명하기 위한 개념도이다. 그림과 같이 탄이 포에 장착된 상태에서 탄의 후방에 위치한 약실내에서 폭약이 폭발하면 발생된 팽창가스에 의해 약실의 압력은 급격히 상승하고 이 압력이 탄을 전방으로 추진한다. 이때 포신내에는 포신에는 강선이 비틀린 형상으로 제작되어있으며 초기에 강선의 형상은 점차적으로 변화한다. 그러므로 탄이 진행함에 따라 탄대는 강선의 형상에 적합하게 변형하고 또한 회전운동을 한다. 즉 강선이 포신과 탄체간의 틈으로 충만해 들어가서 약실을 외부와 밀폐시켜서 폭발가스가 누출되지 않고 효율적으로 탄의 가속에 이용되게 하고 동시에 강선을 따라서 비틀림이동을 하여 탄에 회전을 부여해서 발사후 탄의 비행안정성을 추구한다.

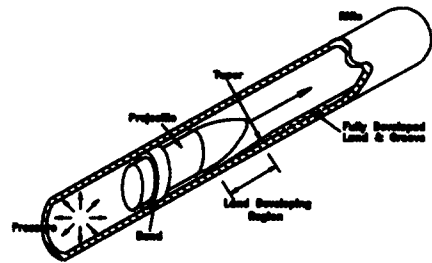


Fig. 1 Schematic Description

앞에서 언급한바와 같이 회전안정탄에서 탄대의 주요한 두가지 역할은 약실의 밀폐성확보와 탄의 회전부여이다. 이 두가지 사항은 단지 탄대가 갖추어야할 기본적인 조건이며, 우수한 탄대를

규정하기 위해서는 탄대의 설계가 탄의 성능에 미치는 영향을 고려해야 한다. 탄대의 설계인자(특히 길이)가 탄의 성능에 미치는 영향을 정성적으로 분석하면, 탄과 포신간의 밀폐성능은 탄대의 길이가 길수록 향상되나 탄대의 길이가 길어질수록 탄대의 변형에 많은 힘과 에너지(energy)가 소모되기 때문에 약실내의 폭발에너지중에 상대적으로 많은 부분이 탄의 가속이 아닌 탄대의 변형에 소모되어 탄의 사정거리가 짧아진다. 반대로 탄대의 길이가 짧아지면 밀폐성능은 떨어지고 지나치게 탄대의 길이가 짧을 경우에는 구조적 강성이 너무 약해서 탄을 제대로 회전시키지 못할 수도 있다. 그러므로 적절한 탄대의 길이를 설정하여 변형에 소요되는 에너지를 최소화하고 동시에 약실을 외부와 밀폐시켜야 한다.

그러나 상기의 정성적인 분석만으로 적절한 탄대의 길이를 결정하기는 실제로 불가능하다. 실제적으로 최적화된 탄대의 길이를 설정하기 위해서는 탄대의 성능을 구체적이고 정량으로 분석하고 이를 설계에 반영하기 위한 정보가 필요하다.

3. 회전안정탄의 유한요소해석

본 연구에서는 탄대가 포신내에서 변형하는 과정 및 제반 기계적 특성을 예측하고 이를 설계에 반영하여 제한된 약실의 압력으로 최대의 성능을 발휘하는 탄대를 설계할수 있도록 유한요소법을 이용한 회전탄대해석시스템을 구축하였다. 특히 본 연구에서는 탄대의 일부 영역이 회전반복되는 특징을 고려하여 반복경계조건(recurrent boundary condition or cyclic symmetry)을 처리할수 있는 해석시스템을 구축하여 탄대의 해석시 연산에 소요되는 시간을 최소화는 동시에 전체 영역을 해석하는 것과 같은 효과를 구현했다. 반복경계조건을 이용한 유한요소해석법은 탄대의 한 단면에서의 재료의 거동속도(velocity), 변형율(strain), 응력(stress) 등의 제반 특성이 반복각만큼 회전된 위치에서의 특성과 완전히 동일하다는 특징을 경계조건으로 도입함으로써, 기존 유한요소해석법으로는 대칭면(symmetric plane)이 없어서 전체영역을 모두 해석해야하는 문제를 하나의 반복영역만 해석해도 전체영역을 해석한 경우와 동일한 결과를 제공하는 기법이다.

그림 2는 탄의 발사시 사용되는 포신의 한 단면형상을 보여주고 있다. 포의 각 위치에서 포신의 단면은 그림 2와 유사한 형상으로 초기에는 단면형상이 점진적으로 변화하다가 일정한 구간이 지나면 형상의 변화는 없이 단순히 회전만 한다. 탄대는 이러한 포신 내를 진행하며 탄체와 포신사이의 구속에 의해 포신내의 빈 공간으로 변형해 들어가고 그 결과 약실을 외부와 밀폐시켜서 폭발가스(gas)의 유출을 방지한다.

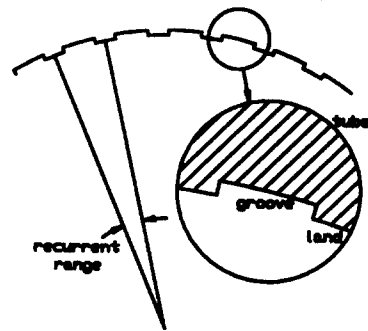


Fig. 2 Schematic Geometry of Rifle

그림3은 단위 길이 17.8 mm의 비교적 긴 회전탄대와 5mm의 짧은 탄대를 해석하여 탄대가 포신내를 진행하므로써 변형되어 가는 양상을 보여주고 있다. 그림4는 위의 두가지 경우에서 탄대의 변형에 소요되는 힘의 변화과정을 보여주고 있다. 탄대의 길이가 긴 경우에 더 큰 추진력이 필요한 것은 변형되는 재료의 절대량이 많기 때문이기도 하지만 길이가 긴 경우에 탄대의 중앙부에서는 전후의 재료에 의해서 변형이 구속되어서 변형에 많은 힘이 소요되기 때문이라 판단된다.

본 연구에서는 여러개의 단위탄대가 있을 경우에 탄대간의 접촉은 고려하지 않았으므로 총 17.3mm의 탄대를 여러개의 단위탄대로 분할했을 경우에 대한 정확한 고찰은 할수 없으나, 5mm의 해석결과로 유추해보면 탄대의 변형에 소요되는 힘은 그림4와 유사한 경향을 보일 것으로 판단된다. 결론적으로, 하나의 긴 탄대의 경우보다는 같은 유효탄대길이(effective length)일지라도 여러개의 단위탄대(unit length)로 분할하는 것이 탄대의 변형을 위한 유실되는 폭발력의 절감측면에서는

유리하다고 할 수 있다. 그러나 탄대의 길이가 지나치게 줄이게 되면 탄대의 밀폐성능이 떨어지며 구조적으로 강성이 낮아져서 탄에 적절한 회전을 부여하지 못할 수 있고 상대적으로 취약한 탄대와 탄체간의 육성용접부위에서 문제가 발생할 수 있다.

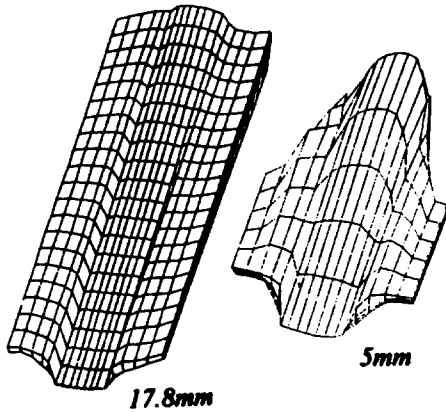


Fig. 3 Deformed Mesh Configuration

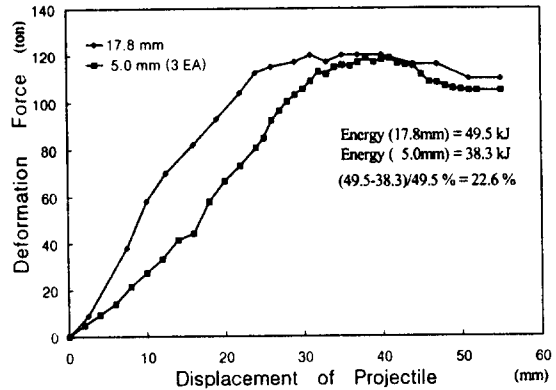


Fig. 4 Trusting Force Variation during the Firing

결론적으로, 탄대의 길이를 과도하게 줄이지는 않아야 한다. 본 연구에서는 재료의 미시/거시적 파괴(micro/macro fracture)는 고려하지 않았으나 최소 탄대길이를 규명하기 위해서는 이에 대한 연구가 기대된다. 그러나 단지 밀폐성능만을 고려해 볼때, 전체 탄대의 영역(유효탄대길이)이 결정 되었을 경우에는 길이가 긴 단위탄대를 한개 또는 두개 설계하는 것보다는 상대적으로 길이가 짧은 단위탄대를 여러개 구성하는 것이 탄의 성능개선을 위해서 바람직하다고 판단된다.

4. 회전안정탄의 실험

회전탄대가 포신내를 진행하면서 변형하는 과정을 해석하고 이때 탄대 내부의 응력분포, 탄대와 포신간의 마찰력등을 분석하므로써 효율적인 회전탄대의 설계를 위한 많은 유용한 정보를 얻고 이를 설계의 개선에 반영할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 탄대의 변형해석시, 단위 탄대와 탄체간의 상호접촉은 무시하였으며, 탄대에 비해서 상대적으로 재료적 특성이 강한 포신과 탄체는 강체로 가정하였고, 탄대와 탄체간에 육성용접된 부분 및 여타 부분의 재료적 파손은 고려하지 않았으므로 실제 탄대의 작동조건과는 다소의 차이가 있다. 그러므로 좀더 실제 조건에 근접한 상황에서 탄의 정확한 성능을 평가할 필요가 있다. 최종적으로는 실 발사시험을 통해서 성능을 평가할 수 있으나, 본 연구에서는 실발사시험 이전에 실제적 현상에 근접하면서도 좀더 안정적으로 실험의 진행과 측정이 용이한 실험기법을 도입하고자 고압과 고충격을 수반하는 실발사시험 대신 저속시험을 도입하였다.

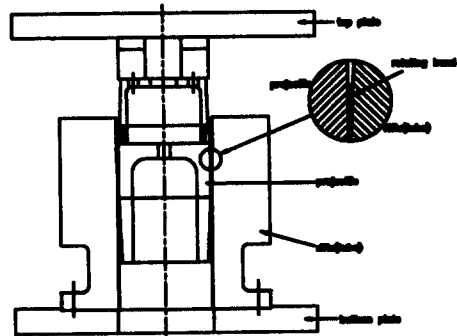


Fig. 5 Experimental Setup

그림5는 본 연구에서 제작한 저속시험장치의 개략도를 보여주고 있다. 저속시험시에는 폭약의 폭발력 대신 프레스(press)등을 이용하여 포탄을 기계적으로 추진하여 안전하며 탄체의 일부분에서 변형율(strain)과 탄대의 변형에 소요되는 힘등을 측정하는 것이 가능하다. 그러나 저속시험이므로 실패사시에 나타나는 고속 및 고가속에 의한 영향등은 무시된다.

실험은 4가지 설계안에 대해 각 3개의 탄을 제작하고 이를 시험장치에 장착하여 300ton급 유압프레스(Press)에서 압하하는 방법으로 진행하였으며 실험결과, 탄대의 길이가 짧은 경우에도 포신과 탄체간의 밀폐성은 보장할수 있었으며, 긴 하나의 단위탄대만을 사용하였을 경우보다 유효탄대길이내에 여러개의 단위탄대를 제작한 경우 탄대의 변형력이 작았다. 실험시, 탄체의 내측부의 2~3개 지점에서 변형율(Strain)을 측정하였으며, 이 경우에도 짧은 단위탄대를 사용한 경우에 탄체에 적은 변형율이 발생하였다.

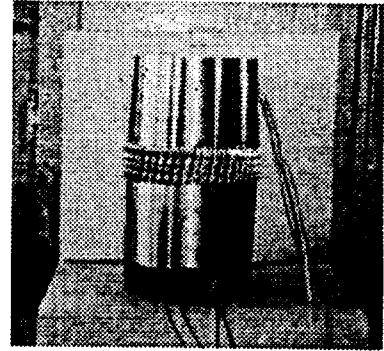


Fig. 6 Specimen after Experiment

5. 결 론

본 연구에서는 회전안정탄이 포대를 진행하며 강선에 의해서 변형되는 과정을 강소성유한요소해석법을 이용하여 해석하였으며, 이때 예측된 변형양상, 변형율, 응력등을 적용하여 기존 회전안정탄의 설계개선에 유용하게 활용하였다. 회전탄대의 변형과정을 유한요소해석을 진행함으로써 실험 및 측정상의 어려움때문에 정확한 분석이 어려웠던 회전탄대의 발사중 변형 및 여타 물리적 거동을 정확하게 예측/규명할수 있었으며, 이를 근거로 더욱 효율적인 회전탄대 및 안정탄의 설계가 가능하리라 기대된다. 또한 해석의 결과를 검증하고 실패사시험시의 측정상의 난점을 극복하고 좀더 실제의 경우와 근접한 정보를 수집/ 측정할 수 있는 저속실험기법을 제안하고 이를 이용하여 설계된 회전안정탄에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과, 해석에 의한 분석에 의해 제안되어진 바와 같이 여러개의 짧은 단위탄대를 이용하는 경우가 하나의 긴 탄대를 이용하는 경우보다 탄대의 변형에 소모되는 변형력을 줄여서 제한된 약실압력하에서 탄의 사정거리를 개선하는 측면에서는 바람직하다는 결론을 확인할수 있었다.

본 연구에서 적용한 유한요소법의 해석은 탄대의 변형과정에서 발생하는 열과 이와 관련된 제반 물성의 변화, 단위탄대간의 접촉, 탄대내 또는 접합부의 파괴특성, 탄대의 과변형에 의한 변형약화등의 문제는 고려하지 않았다. 향후, 좀더 정확하고 신뢰할 수 있는 해석을 위해서는 이러한 요소들을 고려할수 있는 해석기법의 개발 및 도입이 기대된다.

참 고 문 헌

1. J.H. Yoon and D.Y. Yang, Rigid-plastic finite element analysis of three-dimensional forging by considering friction on continuous curved dies with initial guess generation, *Int. J. Mech. Sci.*, Vol.30, pp.887 (1988).
2. Y.B. Park, J.H. Yoon and D.Y. Yang, Finite element analysis of steady-state three dimensional helical extrusion of twisted section using recurrent boundary conditions, *Int. J. Mech. Sci.*, Vol.36, No.2, pp.137 (1994).
3. 국방과학연구소, 회전탄대 설계연구(한국과학기술원 위탁연구 1차년도 보고서), (1995)
4. 국방과학연구소, 회전탄대 설계연구(한국과학기술원 위탁연구 최종보고서) (1996)