

탄피 고착 회피를 위한 근사 최적화 설계기법 Design Technique of SAO for the Avoidance of Cartridge Case Stuck

*차기업¹, #안상태¹, 김학인¹, 조창기¹, 강대오²

*K. U. Cha¹(undersea@add.re.kr), #S. T. Ahn¹, H. I. Gimm¹, C. K. Cho¹, D. O. Kang²
¹국방과학연구소, ²최적설계연구소

Key words : SAO, DOE, CTA, Rotating Chamber

1. 서론

탄두내장형 탄약(CTA, Cased Telescoped Ammunition)은 탄두가 탄피 밖으로 돌출되어 있는 기존 탄약과는 달리 탄두를 탄피 내부에 내장시킴으로 원통형의 단순한 구조를 나타내는 새로운 형식의 탄약이며 이를 효율적으로 운용하기 위해 발사장치는 기존의 고정식약실이 아닌 회전식약실(Rotating Chamber)을 채택하였다. 회전식약실은 매 90° 회전 시 마다 탄약이 장전되며 이때 탄피는 새롭게 장전되는 탄약에 의해 회전식약실외부로 추출되게 된다. 기존 약실의 경우 약실내경에 테이퍼(taper) 가공을 통해 탄피 추출에 소요되는 작용력을 줄일 수 있었으나 회전식약실의 경우 양방향으로 탄약이 장전되기 때문에 약실의 어느 한 방향으로 테이퍼 가공을 할 수 없다. 탄두내장형 탄약과 회전식약실의 운용 및 작동은 탄피의 원활한 추출이 이루어져야만 달성될 수 있게 된다. 따라서 직선형 내경을 갖는 회전식약실에서 원활한 탄피 추출 기능을 확보할 수 있는 체계적 설계기법의 정립을 필요로 하게 된다.

본 연구에서는 탄피 추출력을 성능지수로 설정하여 이를 최소화하는 설계조합을 산출하는 것을 목표로 하였다. 먼저 각 설계변수 조합조건에서 성능지수를 확인할 수 있도록 유한요소 모델을 구성하였으며 실험계획법을 기반으로 다수의 설계변수가 성능지수에 미치는 효과 및 영향을 분석하였다. 효과분석을 위해 추출된 실험점을 초기점으로 한 메타 모델을 구성한 후 순차적 근사 최적화(SAO, Sequential Approximate Optimization) 기법을 적용하여 탄피 추출력이 최소화되는 설계 최적조합을 도출하는 설계프로세서를 정립하였다.

2. 해석모델의 구축

Fig. 1은 본 연구에서 구축한 회전식약실과 탄두내장형 탄약에 대한 유한요소 모델 및 경계조건

을 나타낸다.

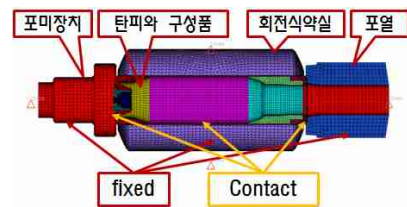


Fig. 1 FEM model and boundary condition

해석은 두 단계로 나누어 진행되었는데 1 단계에서는 강내압력 387Mpa을 입력으로 변형 및 응력에 대한 해석을 수행하였고 변형 및 응력 해석 후에는 포미장치와 탄약의 접촉 경계조건을 풀고 포열과의 접촉면에서부터 탄피를 밀어내는 2단계 해석을 진행하여 탄피 추출에 소요되는 작용력(Fig. 2 참조)을 계산하였다. 본 연구에서 ABAQUS implicit code를 사용하였다. 초기의 설계변수로 산출된 최대 탄피 추출력은 252N 이었다.

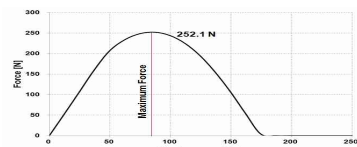


Fig. 2 Simulation result at stage 2 (Extraction force)

3. 설계변수의 설정과 효과분석

회전식약실의 외경을 포함한 11개의 설계변수와 각 설계변수당 3 수준을 고려하였다. 본 연구에서 수행되는 유한요소 모델의 경우 만나절 이상의 해석 시간을 요하는 문제로 최소한 주효과를 분석할 수 있으면서 차후 효과적으로 메타모델을 구성할 수 있는 실험계획법의 선정이 필요하였다. 해당도 III의 실험계획표로 ISCD II(Incomplete Small

Composite Design II) 실험계획표를 사용하였는데 Plackett-Burman design에 중심점만을 추가한 실험 계획표이다. 설계변수를 11개로 설정하였기에 Plackett-Burman design의 12개 실험점과 기본 설계 치수로 조합된 중심점 1개를 추가하여 총 13개의 실험점을 산출하였다.

Fig. 3은 탄피 추출력에 대한 효과분석 결과로 탄피 항복 강도는 다른 설계변수의 민감도를 모두 합한 것 보다 클 정도로 주요 설계변수임을 나타내고 있다.

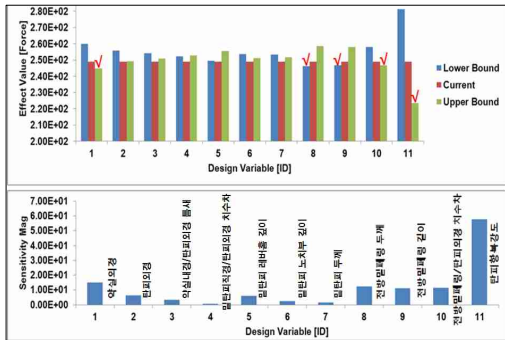


Fig. 3 Sensitivity chart on extraction force

3. 메타 모델의 구성과 최적설계

탄피 추출력을 최소화하는 최적 설계문제의 정식화는 다음과 같다. 여기서 제한조건인 252N은 기본설계 형상의 치수에서 산출된 탄피 추출력을 나타내는 수치이다.

$$\text{Minimize Extraction Force}(x_i)$$

Subject to

$$g_i(x_i) < 252N \quad i = 1, \dots, 11$$

$$x_i^L < x_i < x_i^U$$

메타 모델을 구축하는 방안은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 실험점을 다항식(polynomial)으로 표현하는 반응표면법과 보간법(interpolation)으로 근사화하는 Kring 모델 및 RBF(Radial Basis Function) 모델이다. 본 연구에서는 비선형성이 적고 설계변수가 많은 경우에 적합한 것으로 알려져 있는 RBF 모델을 적용하였다.

Fig. 4는 상기의 메타모델과 최적화 알고리즘의 반복 작업을 통해 산출된 성능지수(탄피 추출력)의 수렴이력을 나타낸 그림이다. 총 8번의 반복 최적화 과정을 거쳐 수렴을 확인하였다. 최적화된 탄피 추출력 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 6은 기본모델과

최적화된 모델의 형상을 비교한 그림이다. 기본설계 형상에서의 탄피 추출력 252N에서 최적화된 설계변수의 조합에 의한 탄피 추출력은 220N으로 약 12.7%의 추출력 감소를 확인할 수 있었다.

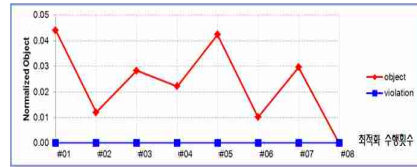


Fig. 4 Convergence history of SAO

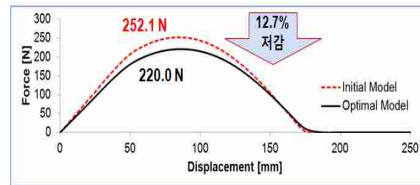


Fig. 5 Extration force betw. base design and optimal design

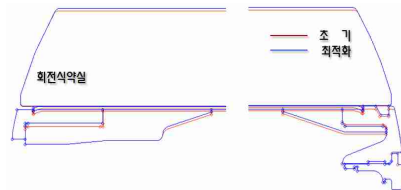


Fig. 6 Comparison betw. base design and optimal design

4. 결론

실험계획법, 메타모델과 최적화 알고리즘을 적용한 순차적 근사 최적화 기법을 통해 테이퍼 가공을 할 수 없는 직선형 내경을 갖는 회전식약실에서 원활한 탄피 추출을 확보할 수 있는 체계적인 설계 기법을 정립하였으며 이를 통해 기본설계 대비 12.7% 감소된 탄피 추출력을 나타내는 설계조합을 산출할 수 있었다.

참고문헌

1. T. W. Simpson, J. D. Poplinski, P. N. Koch and J. K. Allen, "Metamodels for Computer-based Engineering Design : Survey and recommendations", Engineering with Computers, Vol.17, No.2, pp.129-150, 2001
2. D. C. Montgomery, "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, 1997
3. M-S, KIM, "User's Guide for EasyDesign", Institute of Design Optimization, Inc., 2011.