

고속발사 체 내부의 모터에 미치는 충격에 관한 수치해석적 연구 A Numerical analysis on impact getting to motor of inside of high speed projectile

*박동진¹, #이석순², 이종수³ 탁승민¹ 강민규¹ 김종호³
*D. J. Park¹, #S. S. Lee(leess@gsnu.ac.kr)², J. S. Lee³, S. M. Tak¹, M. K. Kang¹, J. H. Kim³
¹ 경상대학교 기계항공공학부, ² 경상대학교 기계항공공학부, ³ 경인테크(주)

Key words : Numerical analysis, Impact

1. 서론

현재 우리나라의 육군은 산악지형이 많은 한반도의 지형 특성 때문에 박격포나 K-9 과 같은 곡사포를 상당수 보유하고 있다. 80년대 후반부터 이 화기들은 활발히 개발되어 왔는데 상당히 넓은 범위를 제압할 수 있어 전략적으로 중요한 무기이다.

이 곡사포는 다른 무기체계와 마찬가지로 실전에 배치되기 전에 시험운용을 하게 된다. 그러나 시험운용 단계에서 잦은 사고가 발생해 인명피해가 발생한 경우가 있어 포탄 개발단계에서 조금 더 신중한 연구가 요구되고 있다.

따라서 컴퓨터를 이용한 유한요소해석을 통한 안전성의 검증이 중요시 되고 있다. 본 논문에서는 고속 발사 체의 발사 시 작용하는 압력에 의해 발사 체 내부 모터의 각 부품에 발생하는 하중을 관찰하여 제품에 대한 안전성을 검증하는 것을 목적으로 한다.

2. 고속 발사 체의 형상 및 시스템

고속 발사 체의 제원은 중량이 46kg 이고, 약실에 작용하는 압력은 358MPa 이다. 그리고 압력을 받는 약실의 직경은 155mm 이다. 고속 발사 체의 발사 시 포구 초속은 약 924m/s 이다.

형상은 고속 발사 체의 비행 시 공기에 의한 저항을 최소화하기 위해 끝의 면적이 좁은 유선형으로 설계되어 있다.

3. 유한요소해석(FEA)을 위한 이론적 접근

유한요소해석의 신뢰성을 검증하기 위하여 이론 식을 이용한 결과와 실제 조건을 비교하였다.

시간에 따른 압력의 변화는 0.01 초까지 half sine 곡선을 그리면서 0.005 초까지 358MPa 까지 압력이 상승하였다가 그 후 점점 압력이 줄어든다.

- 포 단면적 : $A_p = 0.018869 \text{ m}^2$
- 탄 질량 : $M_p = 46\text{kg}$
- 포 약실 압력 : $P = 358\text{MPa}$
- 추력 : $F_p = 6,755,170\text{N}$
- 약실 정체 시간 : $\Delta T = 0.01\text{s}$
- 가속도 : $a_v = 146,852\text{m/s}^2$

압력은 half sine 형으로 가해지기 때문에

- $a_v = (1/\pi) \times \int_0^\pi [146852 \times \sin \theta] d\theta = 93489\text{m/s}^2$
- $V_v = a_v \times \Delta T = 935\text{m/s}$

실제 포구 초속인 924m/s 와 비교했을 때 상대오차가 약 1.17%로 매우 근접한 결과가 나타났다.

따라서 이 조건들을 이용하여 유한요소해석을 수행하고 해석 결과를 바탕으로 모터에 미치는 충격으로 인한 거동이 어떻게 발생하는지에 대한 연구를 수행하였다.

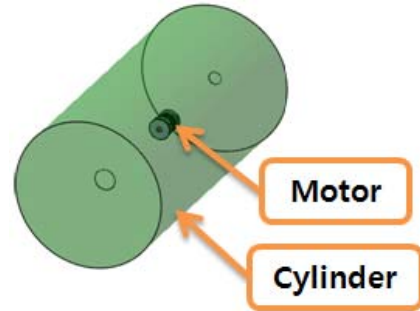


Fig. 1 3D model for finite element analysis

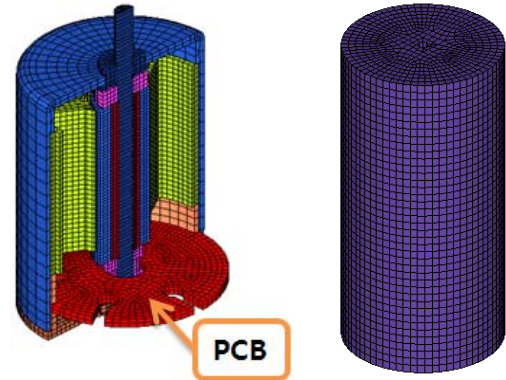


Fig. 2 Finite Element of motor, cylinder

4. 유한요소해석(Finite Element Analysis)

유한요소해석을 통해 고속 발사 체 내부의 모터에 대한 안전성을 검증하기 위해 상용 프로그램인 CATIA V5 을 사용하여 유한요소해석모델을 생성하였다. 최대한 실제의 조건과 동일하게 하기 위해 Fig. 1 과 같이 Motor 의 외부에 Cylinder 를 생성하고 압력을 받는 면의 직경을 155mm 로 설계 하였으며 모델의 전체 무게를 46kg 으로 설계하였는데 비행 시 발생하는 공기의 저항은 고려하지 않으므로 형상을 최대한 단순화 하였다.

각 부품에 대한 재질은 Table 1 에서 나타낸 것과 같이 cylinder 의 재질은 SM35C, PCB 기판을 제외한 나머지 부품은 SUS420J2 를 적용하였는데 PCB 에 대한 물성치는 상용 프로그램인 ABAQUS 에서 제공하는 재료속성을 적용하였다.

Fig. 2 와 같이 유한요소(Finite Element)생성은 HyperMesh 를 사용하여 한 요소당 절점의 개수가 8 개인 C3D8 로 생성하였고, 전체 Element 의 개수는 55,569 개, Node 의 개수는 74,888 개이다.

Table 1 Material property

Material	SM35C	SUS420J2	PCB
Young's Modulus (GPa)	205	200	45
Poisson's ratio	0.29	0.3	0.33
Density (kg/m ³)	7850	7800	2400

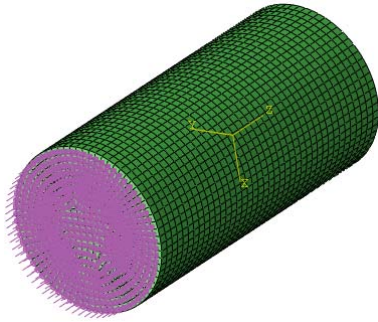


Fig. 3 Boundary Condition

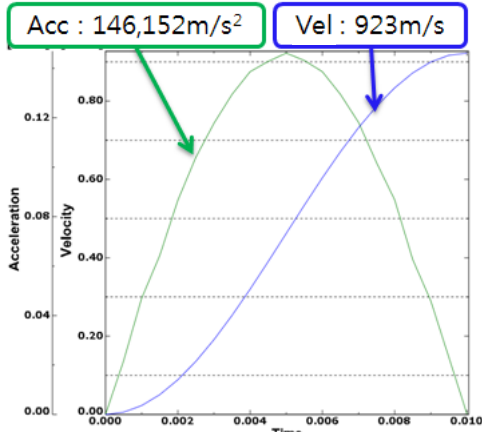


Fig. 4 Velocity, acceleration curve by time

경계조건(Boundary Condition)은 상용프로그램 ABAQUS 에서 Fig. 3 과 같이 cylinder 의 바닥 부분에 358MPa 의 압력 이 0.01 초 동안 half sine 형으로 가해지도록 적용하였다.

본 해석에서는 속도와 가속도에 대한 전체적인 결과를 검토하는 것이 목적이기 때문에 Contact 조건은 접촉면사이의 미끄럼이 발생하지 않도록 적용하였다.

5. 유한요소해석결과

ABAQUS 를 사용하여 해석한 결과인 923m/s 를 실제 조건인 924m/s 과 비교한 결과 상대오차가 약 0.1%로 거의 동일한 결과를 나타내었다.

이론 식에서 가속도의 계산 결과 값인 146,852m/s² 는 중력가속도의 약 15,000 배이므로 15,000g 를 cylinder 를 제외한 motor 에 적용하여 재해석을 수행하였다.

6. Motor 에 대한 재해석

Motor 에 대한 안전성을 검증하기 위해 cylinder 를 제외하고 Fig. 5 와 같이 상, 하부를 Fix 한 후 모델 전체에 15,000g 의 조건을 적용하였다. Contact 조건은 접촉면 사이에 마찰계수 0.3 을 적용하여 해석을 수행하였다.

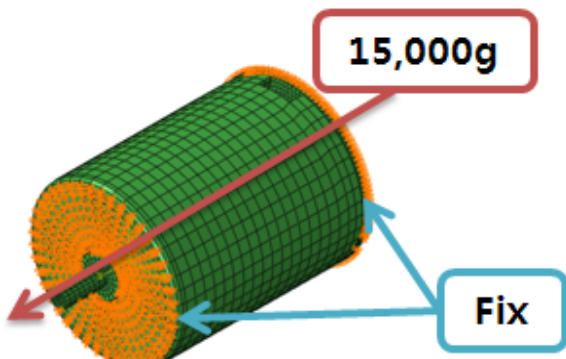


Fig. 5 Boundary Condition of motor impact analysis

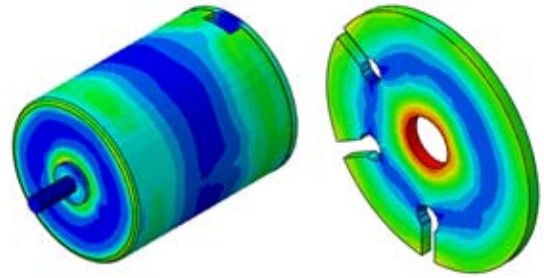


Fig. 6 von Mises stress distribution at motor

7. 재해석에 대한 결과

Motor 전체에서의 von Mises stress 는 최대응력이 0.005 초 일 때 84MPa 로 Motor 의 주 재료인 SUS420J2 의 항복강도인 688MPa 에 훨씬 못 미치는 결과가 나타났다.

Motor 에서 가장 중요한 부품은 내부의 PCB 기판인데 이 기판의 응력 분포를 살펴보면 가운데 Bearing 과의 접촉 부분에서 응력이 집중되는 경향을 보였다. 이 부분에서의 von Mises stress 는 47MPa 로 나타났다.

6. 결론

가속도를 half sine 형으로 가하였기 때문에 응력도 시간이 지날수록 점점 커지다가 줄어드는 경향을 보였다.

모든 무기들이 그러하듯이 이 Motor 도 반복적으로 사용하는 것이 아닌 일회성인 장치이기 때문에 반복적인 사용으로 인한 피로파괴는 고려하지 않는다. 따라서 매우 짧은 시간 동안 순간적인 하중을 받게 되는데 유한요소해석 결과 이 부분에 대한 안전성은 검증이 되었다.

PCB 기판은 두께나 코팅되는 물질에 따라 인장강도의 차이가 크다. 그리고 항복강도와 인장강도가 거의 비슷한데 이 Motor 에 사용된 PCB 기판의 인장강도는 약 160MPa 이다. 따라서 이 기판의 파괴에 대해서는 고려하지 않아도 된다.

그러나 PCB 기판은 실제로 온도나 하중에 대해 민감한 부품들이 매우 복잡한 구조를 이루고 있어 단순히 유한요소해석을 이용한 안전성의 검증은 한계점을 지니고 있는 것이 사실이다.

따라서 이러한 해석결과를 토대로 조금 더 구조적으로 안전한 설계가 필요하다고 판단된다.

후기

본 연구는 2 단계 지역대학 육성사업(BK21)과 창원단지혁신클러스터 추진단의 지원에 의해서 연구되었다. 모든 지원에 감사 드린다.

참고문헌

1. Chon M.S., Lee H. I., "From Continuum Mechanics to Finite Element Method" pp.282~378, 2002.
2. Thomas J. R. Huhjes., "The Finite Element Analysis", pp.9~20, 1987.
3. Altair Engineering, "ABAQUS with HyperWorks", pp.1~39, 2007.
4. Hong, J. P., Mechanical Design", pp.607~680, 2005.