

고속발사체 내부 관성측정장치에 미치는 충격의 수치해석적 연구 The Study of Impact Analysis about Inertia Measure Unit of High Speed Projectile

*강민규¹, #이석순¹, 탁승민¹, 박동진¹, 정재훈²
*M. K. Kang¹, #S. S. Lee(leess@gsnu.ac.kr)¹, S. M. Tak¹, D. J. Park¹, J. H. Jung²
¹경상대학교 기계공학과, ²㈜경인테크 연구소

Key words : Impact Analysis, Finite Element Method

1. 서론

최근 독자개발 고속 발사체 무기 전력화 산업이 본격화 되면서 최첨단 정밀 고속 발사체 무기 개발능력 확보 및 사거리 연장을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 유도 무기 개발에는 임무 요구조건이 결정이 되면 기준형상을 설정하고 공력, 추진력, 질량등을 계산하여 비행궤적을 해석하며, 이를 위해 발사체 내부에 여러가지 장치를 장착하게 되는데 이러한 장치들은 고속 발사체의 사용환경 내 외부작용으로부터 견딜 수 있는 설계가 필요하다.

실제로 유도 무기가 운용될 때는 정적인 하중보다 동적인 하중이 작용하게 된다. 피로 내구성이 중요한 항공기와는 달리 유도무기는 1 회 사용하게 되므로 복잡한 동적 해석보다는 정적 해석에 경험적인 안전율을 사용하여 구조물의 안전성을 확보하는 것이 일반적이지만, 정적하중보다 시간에 따른 동적 충격하중이 고속발사체 내부에 가해지는 영향력이 더 크기 때문에 별도로 해석을 수행하여 그 안정성을 평가할 필요가 있다.

고 변형률 속도하에서 재료의 변형 거동에 관한 연구는 주로 군사 분야 응용을 위해 수행되어 왔고, 여전히 과학자들의 관심의 대상이 되고 있다. 이러한 재료들의 고속충격시 변형거동을 해석하기 위해 충격해석을 수행하여 그 거동을 확인하기 위함이다.

2. 관련이론

약실내의 압력(P) 358MPa 을 탄의 질량(M_p)이 46kg 이고 직경이 155mm 인 포 단면적(A_p) 0.018869 에 약실 정제 시간(ΔT) 동안 가해야 하므로 우선 F_p × ΔT = M_p × V_p 의 식을 이용하요 속도를 산출한다.

$$V_p = a_p \times \Delta T = 1471.5 \text{ m/s}$$

이다 따라서 압력에 의한 충격 가속도는

$$a_p = \frac{F_p}{M_p} = 146851.5 \text{ m/s}^2 \text{ (약 15000G)}$$

이다. 하지만 약실내의 압력이 실제로는 일정하게 가해지지 않으므로 충격가속도를 Half Sine 곡선으로 하고, 그 평균 값을 계산해 본다.

$$a_v = \frac{1}{\pi} \times \int_0^\pi (15000G \times \sin\theta) d\theta = 93678.6 \text{ m/s}^2$$

$$V_v = a_v \times \Delta T = 93.678 \text{ m/s}$$

그러므로 0.001초 동안 충격 가속도 15000G에 의한 최종변위는

$$\begin{aligned} \text{Displacement} &= \frac{1}{2} a t^2 \\ &= \frac{1}{2} \times (15000G \times \int_0^\pi \sin\theta d\theta) \div \pi \times 0.001^2 = 47.74\text{mm} \end{aligned}$$

해석결과는 다음 변위의 값으로 그 타당성을 검토하였다.

3. 유한요소 모델링

충격해석을 위한 3 차원 모델링은 Fig.1 에 나타내었다. 모델링은 차원 모델링 상용 소프트웨어인 CATIA V5 에서

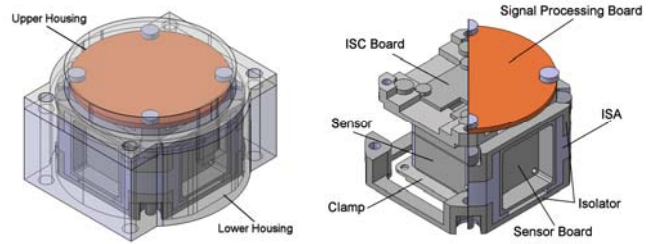


Fig. 1 3D Modeling of Inertia Measure Unit

수행하였다.

유한요소(FEM)는 Hypermesh 를 이용하여 구성하였으며, Fig. 2 는 유한요소격자를 생성한 결과이다. 유한요소(FEM)의 type 은 C3D8I 이며 181351 개의 요소로 구성하였다.

Table 1 은 해석에 필요한 물성치를 나타내었다.

구동체 모델의 단위 mm 를 맞추어 모든 물성치를 mm 단위를 사용하여 ABAQUS 에 입력하였다.

PCB Board 의 경우는 물성치 데이터가 명확하지 않아 탄성계수와 프와송비는 ABAQUS 에서 제공하는 PCB 물성치를 적용하였고, 밀도의 경우에는 CATIA V5 에서 Volume 을 측정하고, 정밀저울을 이용하여 Mass 를 측정한 뒤 직접 계산하였다.

일정한 단면적에 압력을 부여해야 하므로 직경이 155mm 의 추가적인 외부형상을 추가하였다. 추가된 외부 형상의 응력변화는 중요하지 않고, 그 거동이 중요하므로 물성치는 일반적인 철(Steel)을 적용하였다.

아래 Table 2 는 각 부품별로 적용된 물성치를 표로 나타낸 것이다. 적용된 물성치는 아래와 같으며 기재된 부품이외

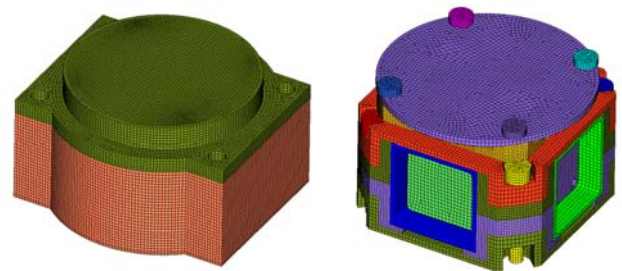


Fig. 2 Mesh Generation of Inertia Measure Unit

Table 1 Material Property

Table legend	FR4	A7075-T6	STS316	TBD
Density (kg/mm ³)	1.1E-6	2.81E-6	7.8E-6	1.46E-6
Young's Moudulus (kg·mm/s ² /mm ²)	22.1E+6	71.7E+6	193E+6	8E+6
Poisson's Ratio	0.33	0.33	0.29	0.3
Yield Strengrh (kg·mm/s ² /mm ²)	4.69E+4	5.03E+5	2.4E+5	1.35E+5

Table 2 Apply Material Property

Part	Material
Upper Housing	A7075_T6
Lower Housing	A7075_T6
ISA	A7075_T6
Sensor	A7075_T6
Clamp	A7075_T6
ISC Board	FR4
Signal Processing Board	FR4
Sensor Board	FR4
Isolator	TBD
All Bolt	STS316

의 모든 Bolt 는 Table 2 에 기재된 바와 같이 STS316 재질을 적용하였다

4. 해석결과

Fig. 3 은 해석결과로부터 구한 속도와 변위의 그래프이다. 앞의 이론식 결과와 비교했을 때 변위와 속도의 결과값이 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 4 에는 관성측정장치 각 부품의 응력을 나타낸 것이다. 대부분의 부품은 각 부품의 물성치가 가지는 항복응력값보다 현저히 낮은 응력값을 보이고 있으나 Fig. 5 에서 확인

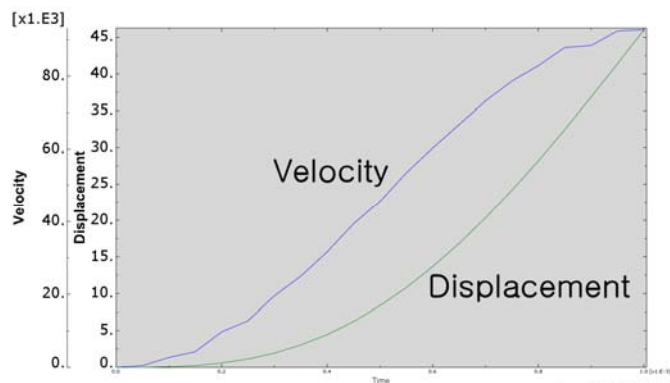


Fig. 3 Velocity & Displacement of Analysis result

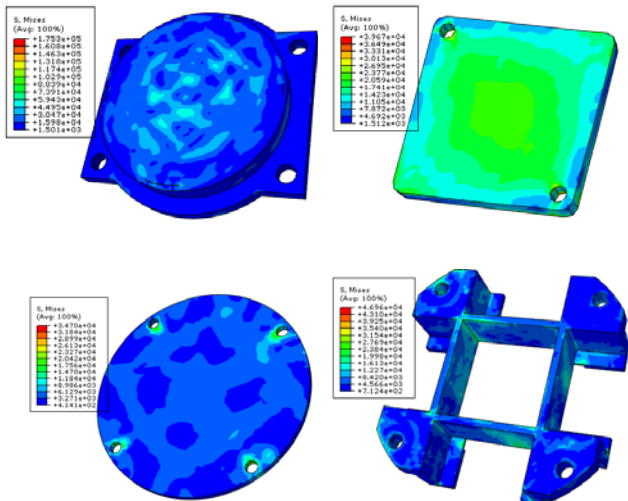


Fig. 4 Stress of Inertia Measure Unit

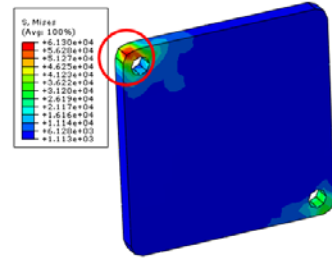


Fig. 5 Stress of Sensor Board

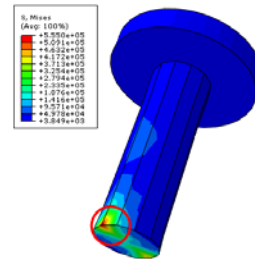


Fig. 6 Stress of Bolt from Clamp

할 수 있듯이 Sensor Board 한 부분에서 항복응력 보다 큰 응력이 작용하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 소성 변형 및 국부적 파괴로 이어질 가능성이 있으며 항복강도 보다 약 14.4MPa 더 높은 것으로 나타났다.

Fig. 6 의 Bolt 는 Clamp 의 체결부에 위치하는 Bolt 로서 재료인 STS316 보다 훨씬 큰 응력을 받고 있는 것으로 나타났다.

이외에 국부적으로 응력집중현상이 일어나는 부품은 없으며 미소한 응력집중 현상은 발생하나 그 응력값은 항복응력에 미치지 못해 안정적인 응력 분포를 보이고 있다.

5. 결론

약실 내 정제시간 동안의 압력 358MPa 로 인한 충격에 의해 나타나는 응력은 전체적으로 부품재료의 항복응력보다 낮은 분포를 보이고 있다. Sensor Board 에서 항복강도 보다 높은 응력 분포를 보이는 부분이 나타나긴 했으나 사용횟수가 1 회라는 것을 감안한다면 전체적으로 안정적인 구조라고 할 수 있다고 판단된다. 물론 Sensor Board 의 큰 응력을 줄이기 위한 설계변경 및 재 설계가 요구된다.

Clamp 체결부의 Bolt 또한 국부적인 큰 응력이 발생하나 이는 극히 일부에서 일어나기 때문에 형상에 의한 응력 집중현상이라고 판단되며 지역적인 소성변형만을 일으킬 뿐 전체 시스템에 큰 영향은 주지 않을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 2 단계 지역대학 육성사업(BK21)과 창원단지 혁신 클러스터 추진단의 지원에 의해서 연구되었다.

참고문헌

1. Chon M. S., Lee H. I., 2002, "From Continuum Mechanics to Finite Element Method", pp.282~378.
2. Thomas J. R. Hughes, 1987, "The Finite Element Analysis", pp.9~20
3. Altair Engineering, 2007, "HyperMesh 8.0 Tutorials", pp.121~294.