

## 블래더와 하우징으로 구성된 축압기의 수명피로예측

김대유\*, 이건희\* 허장욱\*.#

\*금오공과대학교 기계시스템공학과

### Life Fatigue Prediction of an Accumulator Composed of Bladder and Housing

Daeyu Kim\*, Geonhee Lee\*, Jangwook Hur\*.#

\*Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received 11 July 2018; received in revised form 16 July 2018; accepted 26 July 2018)

#### ABSTRACT

Recently in weapon systems development, the importance of reliability has been emphasized due to the increase in complexity and the rapid development of key components and components. Accordingly, the importance of lifespan testing is increased. However, lifespan testing to verify the reliability of a system is costly and takes a lot of time. Therefore in this paper, it was demonstrated that the most critical item of a bladder type accumulator is the bladder. Fatigue life is sensitive to temperature and pressure, with temperature having more impact. The fatigue life of the bladder was estimated to be 18,140 hr through fatigue analysis, which satisfies the required life expectancy of 10,000 hr.

**Key Words** : Bladder Type Accumulator(블래더형 축압기), Fatigue Life(피로 수명), Fatigue Analysis(피로 해석), Sensitivity Analysis(민감도 분석), FEM(유한요소해석)

#### 1. 서 론

최근 급속한 기술의 발전은 복잡한 복합시스템의 출현을 독려하고 있으며, 이로 인해 수명시험의 중요성은 더욱 강조되고 있다. 특히 군용 및 민수용 헬기는 지상장비와 달리 고장이나 파손시 인명 및 재산에 막대한 피해를 초래하기 때문에 수명시험은 매우 중요하다. 따라서 최근 군용 헬기를 포함한 무기체계의 경우 핵심 구성품은 일반적으로 수명시험을 수행하고 있으며, 이를 통해

신뢰성을 보증토록 하고 있다<sup>[1]</sup>.

수명시험이 많은 비용과 장기간이 소요되기 때문에 개발업체에서는 많은 부담을 가지고 있으므로, 수명시험 이전에 해석에 의한 타당성 및 적합성을 사전에 검증하는 것은 소요되는 비용과 안전성 측면에서 매우 중요하다<sup>[2-6]</sup>.

헬기에 장착되는 축압기는 유압시스템의 충격과 진동을 흡수하고, 유압유의 압력 변화에 따른 부피변화를 제어하며, 유압펌프 고장시 저장된 오일을 공급하여 일정한 유량을 유지하는 등의 기능을 수행하는 헬기의 핵심 구성품 중 하나이다.

따라서 본 연구에서는 헬기용 핵심 구성품인 블래더형 축압기를 대상으로 피로해석을 통하여 축

# Corresponding Author : hhjw@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7399

압기 부품 중 취약부위를 도출하고, 수명에 민감한 파라미터를 대상으로 민감도 분석을 수행하였다. 또한 헬기의 운용개념으로부터 도출된 요구수명과 피로해석 결과를 비교하여 요구도 충족여부를 검토하였다.

## 2. 해석방법

축압기 중 비교적 소형으로 효율이 높은 블래더형 축압기의 경우 Fig. 1에 나타난 바와 같이 블래더, 하우징, 가스밸브 및 유압포트로 크게 구분할 수 있으며, 기체(질소)와 유압 사이가 완전히 분리된 형태로 되어 있다.

축압기의 재질은 고무(HNBR)를 사용하는 블래더를 제외하고, 모든 부품은 탄소강(AMS 5659)을 적용하고 있으며, 블래더형 축압기 운용간 유압은 0.98~14MPa이고, 질소는 3.5MPa를 유지하였다. 재료의 기본적인 물성값을 Table 1에 나타내었으며, 피로해석을 위한 S-N curve는 Fig. 2에 표시하고 있다<sup>[4-8]</sup>.

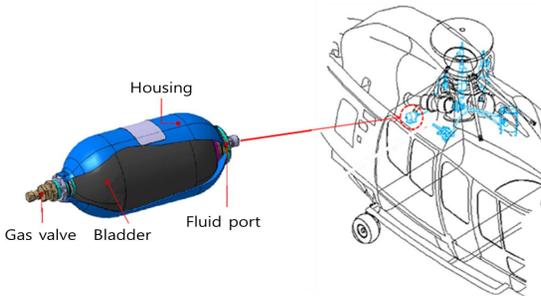
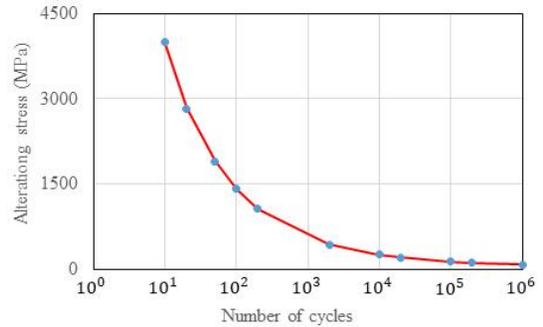


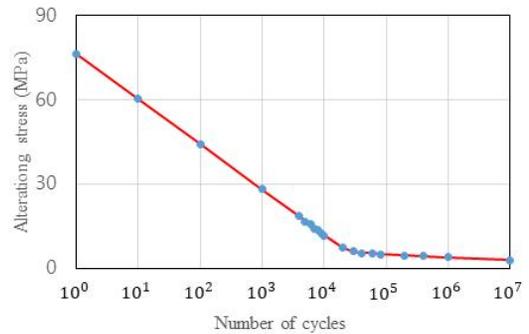
Fig. 1 Accumulator components and installation locations

Table 3 Material properties

| Division                      | HNBR 90 | AMS5659             |
|-------------------------------|---------|---------------------|
| Density (kg/cm <sup>3</sup> ) | 1,180   | 7,850               |
| Tensile strength (MPa)        | 29      | 1,000               |
| Young's modulus (MPa)         | 31      | 2.0×10 <sup>5</sup> |



(a) AMS 5659



(b) HNBR 90

Fig. 2 S-N curve of materials

축압기는 축대칭 구조를 갖는 형상이므로 해석에서는 2D의 축대칭 모델을 고려하였다. 해석 모델은 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 외부 하우징의 위쪽에 가스밸브, 아래쪽에 유압포트가 부착되어 있고, 내부에 블래더가 있으며, 블래더 안에는 내부 충전물이 들어있는 형상이다.

모델의 접촉조건은 가스밸브와 하우징, 가스밸브와 블래더 및 유압포트와 하우징을 Fig. 4에 나타난 바와 같이 모두 Bonded로 설정하여 분리가 불가능하도록 설정하였으며, 블래더와 하우징은 Frictional 조건의 마찰계수를 0.2로 고려하였다. 이러한 접촉조건은 실제 축압기가 조립되어 있는 형태와 가장 유사하며, 블래더와 내부 충전물의 접촉은 질소가 항상 일정한 압력을 블래더에 부가하고 있기 때문이다<sup>[9]</sup>.

해석에서 메시의 형상은 일정하고, 균일하게 분할하였으며, 메시 Quality의 경우 Workbench내의

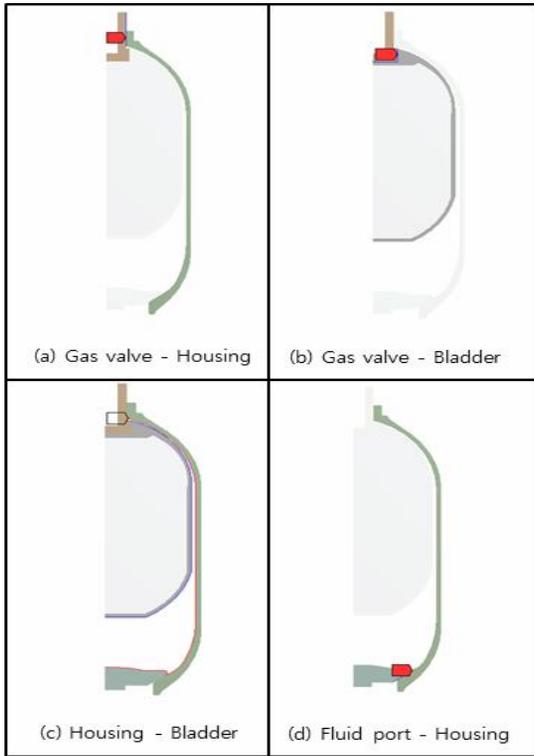


Fig. 3 Contact conditions in analysis

모듈로 확인한 결과 0.999로 1에 가까워 메시 Quality가 양호함을 알 수 있다. 또한 블래더는 174,838개의 요소와 57,071개의 질점으로 분할하였으며, 하우징은 20,270개의 요소와 6,351개의 질점으로 구분하였다.

축압기는 블래더와 하우징사이의 작동유체 흐름에 따라 블래더가 압축과 팽창을 하게 되는데, 이때 작동유체의 최대 압력은 14MPa이며, 이는 하우징에 가해지는 압력( $P_h$ )과 동일하고, 작동유체의 최대 온도는 38°C이다. 따라서 압력부하 조건을 Fig. 5에 나타낸바와 같이 블래더 내부에는 질소가 3.5MPa의 압력( $P_i$ )을 항상 일정하게 유지하고 있으므로 블래더와 하우징사이의 압력증가에 따른 블래더 최대 압축압력( $P_b$ )은 10.5MPa(14MPa-3.5MPa)이 되며, 하우징 최대 팽창압력은 14MPa로 나타낼 수 있다.

아울러, 블래더형 축압기의 피로수명에 영향을

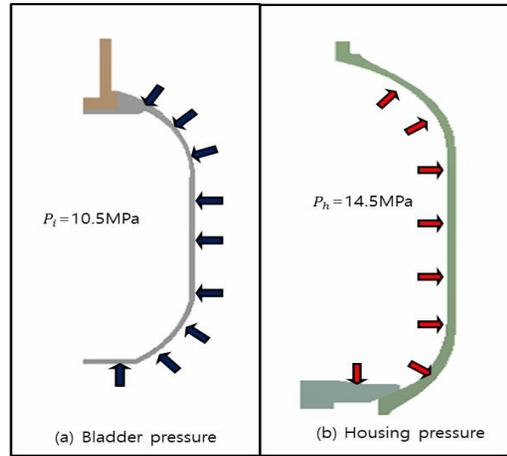


Fig. 4 Pressure conditions in analysis

크게 미치는 파라미터인 온도와 압력을 대상으로 민감도 분석을 수행하기 위해 2가지 조건중 하나를 고정시키고, 다른 하나를 5%씩 증가 혹은 감소시켜서 피로수명의 변화를 해석하였다. 여기서 온도는 절대온도로 계산하였고, 압력은 가장 취약부분인 블래더에 실제 작용하는 압력인 10.5MPa를 기준으로 하여 변화율을 계산하였다.

### 3. 해석결과

상온(25°C)에서 블래더에 10.5MPa이 작용한 경우의 변위, 변형률, 응력 및 피로수명에 대한 해석결과를 각각 Fig. 6의 (a), (b), (c) 및 (d)에 나타내었다. 이때 최대 변위와 변형률은 블래더의 끝부분에서 나타났으며, 각각 약 9.82mm와 0.389를 표시하였다. 그리고 최대 응력은 유압포트와 하우징의 경계면에서 257MPa를 나타내었으며, 피로수명은 블래더의 모서리 부분에서 9,500 cycle로 계산되었다.

한편, 운용온도(38°C)에서 블래더에 10.5MPa이 작용한 경우 변위, 변형률, 응력 및 피로수명에 대한 해석결과를 각각 Fig. 7의 (a), (b), (c) 및 (d)에 나타내었다. 이때 최대 변위와 변형률은 상온에서와 동일하게 블래더의 끝부분에서 나타났으며, 각각 약 9.80mm와 0.387를 표시하였다. 이는 상온에서보다 열팽창에 의해 블래더의 변위와 변형율이

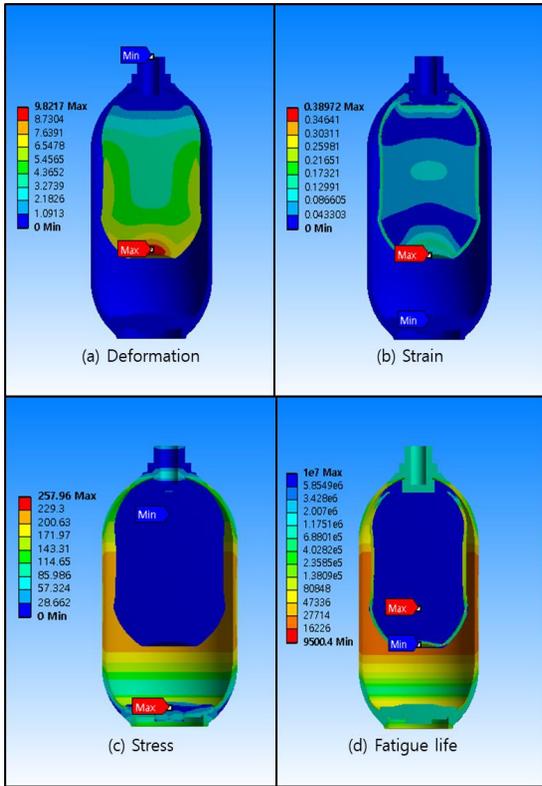


Fig. 5 Results of analysis (T : 25°C)

감소된 것으로 보인다. 그리고 최대 응력은 유압 포트와 하우징의 경계면에서 260MPa를 나타내었으며, 피로수명은 블래더의 모서리 부분에서 9,071 cycle로 계산되었다. 상온에서 보다 변위와 변형률이 감소되었음에도 불구하고 응력이 증가하고, 피로수명이 감소한 것은 고온에 따른 고무의 노화 특성이 반영된 것으로 사료된다.

그리고 블래더형 축압기의 피로수명에 영향을 미치는 파라미터인 온도와 압력에 대한 민감도 분석 결과를 Table 2, Table 3 및 Fig. 8에 나타내었다. 피로해석에서 피로수명을 결정하는 가장 취약한 부위인 블래더에 가해지는 압력(10.5MPa)과 온도(38°C)를 기준으로 5%씩 감소 혹은 증가토록 표시하였다. 표와 그림에 나타난 해석결과로부터 압력보다 온도가 더욱 민감함을 알 수 있다. 이때 변화율과 피로수명의 기울기를 나타낸 민감도 지

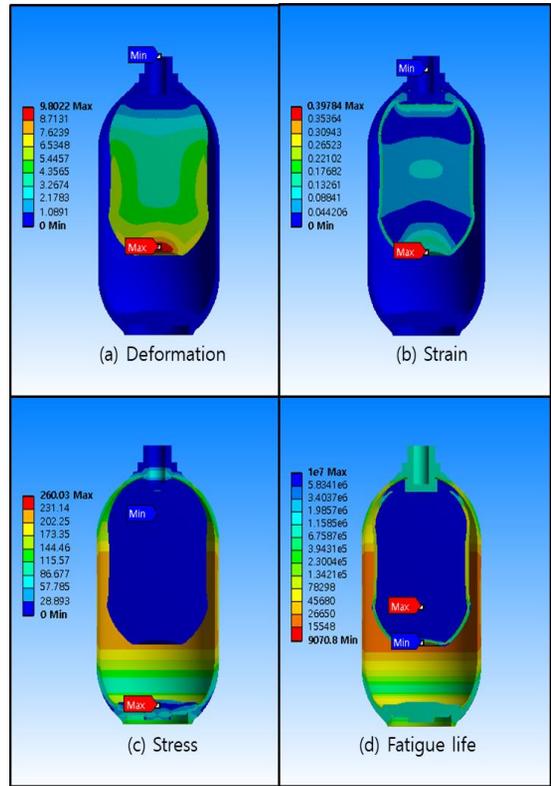


Fig. 6 Results of analysis (T : 38°C)

Table 4 Life according to change of temperature

| No. | Temperature(K) | Pressure(MPa) | Life(cycle) |
|-----|----------------|---------------|-------------|
| 1   | 280.0          | 10.5          | 10,301.8    |
| 2   | 295.6          |               | 9,694.3     |
| 3   | 311.2          |               | 9,070.8     |
| 4   | 326.7          |               | 8,731.0     |
| 5   | 342.3          |               | 8,435.8     |

Table 5 Life according to change of pressure

| No. | Temperature(K) | Pressure(MPa) | Life(cycle) |
|-----|----------------|---------------|-------------|
| 1   | 311.2          | 9.5           | 10,691.7    |
| 2   |                | 10.0          | 9,911.3     |
| 3   |                | 10.5          | 9,070.8     |
| 4   |                | 11.0          | 8,631.4     |
| 5   |                | 11.6          | 8,244.5     |

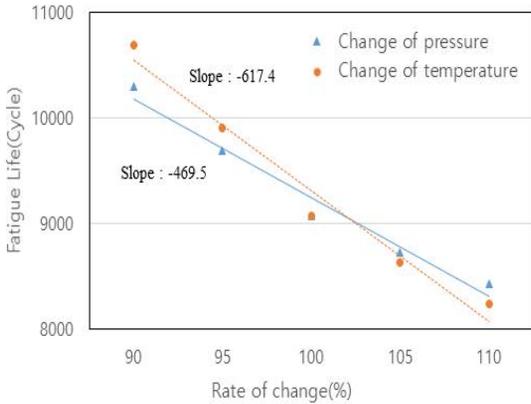


Fig. 7 Life sensitivity according to change rate of temperature and pressure

수는 온도가 -617.4인데 반해, 압력은 -469.5를 표시하여 약 1.31배 정도 온도가 압력보다 민감함을 알 수 있다.

#### 4. 고찰

헬기용 블래더형 축압기를 대상으로 피로해석을 수행한 결과 블래더가 가장 취약한 것으로 나타났으며, 피로수명은 약 9,071 cycle을 표시하고 있다. 블래더의 요구수명은 10,000H로 설정되어 있기 때문에 요구도 충족여부를 확인하였다.

일반적으로 헬기는 오전과 오후에 1일 2쏘티를 운행할 수 있으며, 주 5일 운행 시 주간 10쏘티 운행이 가능하므로 연간 52주를 고려한다면 520쏘티(= 500쏘티)를 운행할 수 있다. 이때 헬기의 창정비를 10년으로 고려시 축압기의 수명은 5,000쏘티가 요구되며, 이는 축압기 수명이 약 5,000 cycle 임을 의미하고, 대부분의 헬기 항속시간이 2시간 전후임을 고려하면 요구수명은 10,000H가 된다.

앞에서 검토한 피로해석 결과에 따르면 블래더 피로수명이 9,071 cycle을 나타내었으며, 헬기 항속시간 2H를 고려하면 18,142H가 된다. 이는 Fig. 8과 Table 4에 나타난 바와 같이 요구수명보다 1.8배 큰 값을 표시하고 있으므로 블래더형 축압기의 요구수명을 충족함을 알 수 있다.

Table 6 Relation between required life and analysis result

| Type            | Life(cycle) | Life(H) |
|-----------------|-------------|---------|
| Required life   | 5,000       | 10,000  |
| Analysis result | 9,071       | 18,142  |

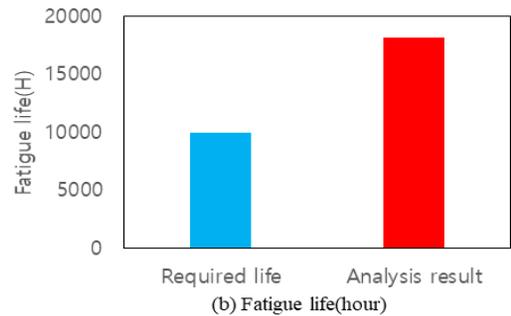


Fig. 8 Relation between required life and analysis result

#### 5. 결론

헬기용 핵심 구성품인 블래더형 축압기를 대상으로 피로해석을 수행하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 블래더형 축압기의 가장 치명 품목은 블래더임을 알 수 있다.
2. 피로수명에 민감한 파라미터는 온도와 압력이며, 온도가 압력보다 더 민감하다.
3. 피로해석을 통한 블래더의 피로수명은 18,142H로 예측되었으며, 이는 요구수명 10,000H를 충

족하고 있다.

## 후 기

본 논문은 산업기술평가원과 한국항공우주산업의 지원(10053155)을 받아 수행된 연구 결과임

## REFERENCES

1. Department of Defense, "Defense Force Development Business instruction", pp. 62-63. 2018.
2. Han, M. S., JO, J. U., "A Study on Durability of Under Bar at Car through Structural and Fatigue Analysis", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 44-50, 2015.
3. Han, M. S., JO, J. U., "A Safety Study Using Impact and Fatigue Analyses According to Headrest Shape", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 3, pp. 39-44, 2018.
4. Kim, C. S., Kwon, Y. H., Kim, J. H., Kim, J. K., "Reliability Analysis of the Spur Gear with Accelerated Life Testing Model", KSME Spring Conference, pp. 136~141, 2004.
5. Woo, C. S., Kim, W. D., Park, H. S., "Fatigue life prediction and evaluation of rubber component under repeated loading", KSME spring conference, pp. 275~276, 2013.
6. Luo, R. K., Cook, P. W., Wu, W. X., Mortel, W. J., "Fatigue design of rubber springs used in rail vehicle suspensions, Proc. Instn Mech. Engrs", Vol. 217 Part F: J. Rail and Rapid Transit pp.237~240, 2003.
7. Kim, W. D., Kim, W. S., Kim, D. J., Woo, C. S, Lee, H. J, Mechanical Testing and Nonlinear Material Properties for Finite Element Analysis of Rubber Components, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 28, No. 6, pp. 848~859, 2004.
8. Lim, H. J., Oh, J., Choi, S. W., Park, K. N., Kim, D. H, Experimental Study on Mechanical Property of High Damping Rubber, KSCE Conference, pp. 3063~3066, 2007.
9. Kim, C. K., Im, S. Y., Finite Element Analysis for Cracks in Rubber bonded to a Rigid Material, Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 7, No. 2, pp 111-120, 1994.