

## 수압시험을 이용한 밸브의 강도평가

이소담\* · 고준복\* · 박용수\* · 김성수\* · 백기봉\* · 서석훈\* · 하동성\*\*

## Hydraulic Test for Strength Evaluation of Valve

Sodam Yi\* · Junbok Ko\* · Yongsoo Park\* · Seongsu Kim\* · Kibong Baek\* ·  
Suhkhooon Suh\* · Dongsung Ha\*\*

### ABSTRACT

Hydraulic test was conducted to evaluate the structural strength of valve exposed to high pressure environment during combustion progress. For the proof pressure, 1.05 times higher pressure than MEOP was applied in the hydraulic test. Two units of valves were used in the hydraulic test. The result for measured strain of the valve dependent on the pressurization conditions during the test were verified comparing with the results for the finite element analysis. Observing the difference between the results for the finite element analysis and the hydraulic test, the difference was within 20% error and the plastic deformation was not generated.

### 초 록

연소 중 고압의 환경에 노출되는 밸브의 구조적 강도를 평가하기 위해 수압시험을 수행하였다. 수압 시험에서의 보증압력은 MEOP의 1.05배를 적용하였다. 총 2조의 밸브로 수압시험을 수행하였으며, 시험 시 가압조건에 따른 밸브의 변형률 측정결과를 유한요소해석 결과와 비교 검증하였다. 유한요소해석과 수압시험 결과의 오차는 약 20%이내이며, 소성변형은 발생하지 않았다.

Key Words: Hydraulic test(수압시험), Finite Element Method(유한요소해석), 구조강도(Structural strength), 스트레인게이지(Strain gauge)

### 1. 서 론

추력발생을 위해 사용되는 밸브는 연소 중 발생하는 연소가스에 의해 고압의 환경에 노출된

다. 따라서 연소시험 수행 전 고압에서 밸브하우징의 구조적 강도를 확인할 필요가 있다.

본 논문에서는 이러한 밸브의 구조적 강도를 평가하기 위해 수압시험을 수행하였다. 수압시험 전 설계한 밸브 하우징 및 치구 모델에 대해 유한요소해석을 통해 강도를 확인하고, 시험 시 변형률 측정을 위해 스트레인 게이지 부착위치를

\* ㈜한화 종합연구소

\*\* 국방과학연구소

† 교신저자, E-mail: sodam@hanwha.com

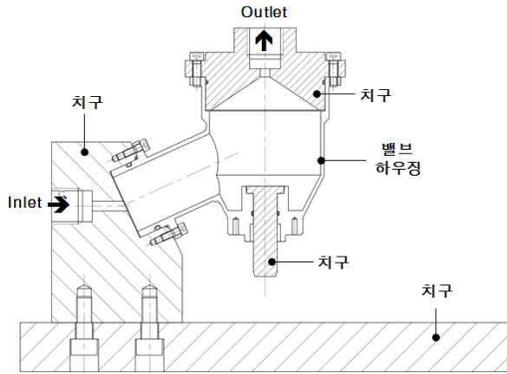


Fig. 1 Section view of testing set

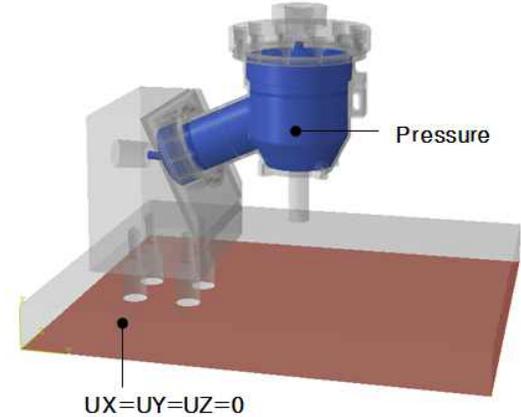


Fig. 3 Boundary condition of FEM Model

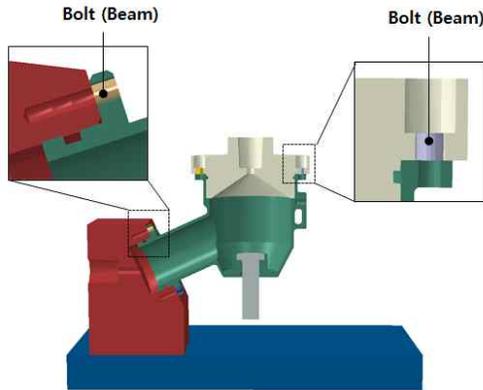


Fig. 2 Section view of FEM model

선정하였다. 또한 수압시험 시 압력에 따른 변형을 계측 결과와 유한요소해석에서의 변형률 결과를 비교 검증하였다.

## 2. 시험 구성 및 유한요소해석

### 2.1 시험 모델 및 개념

시험모델은 Fig. 1에 나타내었다. 밸브하우징 이외의 빗금으로 표현된 시험 치구는 실제 연소 시험 시 사용되는 부품의 조립개념과 동일하도록 설계되었다. 수압시험 시 물이 들어오고 빠져나가는 Inlet과 Outlet의 방향은 연소가스가 밸브로 유입되고 빠져나가는 방향과 동일하다.

밸브하우징은 총 2조를 제작하여 동일한 방법으로 시험하였다.

### 2.2 유한요소해석 모델 및 재료물성치

유한요소해석 모델은 상용 해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 Fig. 2와 같이 시험의 구성과 동일하게 모델링하였다. 요소의 종류는 C3D4로 총 절점 345,551개, 총 요소 1,740,354개를 사용하였다. 밸브하우징과 치구의 조립을 위해 사용된 볼트 체결부는 Beam 요소로 모델링하였다.

### 2.3 경계조건

유한요소해석 시 설정한 경계조건은 Fig. 3과 같다. 치구 바닥면의 각 방향 변위를 고정하였고, 실제 시험 시 수압을 받는 밸브 내부 면에 압력조건을 추가하였다.

또한, 볼트 체결에 의한 체결효과를 고려하기 위해 beam 요소에 볼트체결에 의한 예하중 (pre-load)을 추가하였다. 예하중의 계산은 아래의 Eq. 1을 통해 계산하였다.[1]

$$F_{pre} = c \times A_e \times \sigma_{proof} \quad \text{Eq. 1}$$

$F_{pre}$ 는 볼트 예하중을 의미하며,  $c$ 는 체결방

식에 따른 상수로 본 논문에서는 영구체결을 가정하여 0.9를 적용하였다.  $A_e$ 는 볼트의 유효단면적 값이며,  $\sigma_{proof}$ 는 볼트의 보증강도 값으로, 볼트 항복강도의 90%정도의 값을 적용하였다.

#### 2.4 유한요소해석 결과

Fig. 4는 밸브에 가해지는 최대 압력인 MEOP의 1.05배에 해당되는 값을 부가하였을 때의 응력 분포를 나타낸다. 최대응력은 밸브하우징에서 나타났으며, 안전율은 소재 항복강도 기준 1.01로, 소성변형은 발생하지 않을 것으로 예상하였다.

Fig. 5는 밸브하우징의 변형률 분포를 나타낸다. 이 결과를 통해 위치 A, B와 같이 스트레인게이지 부착 위치를 선정하였다. 부착위치 선정

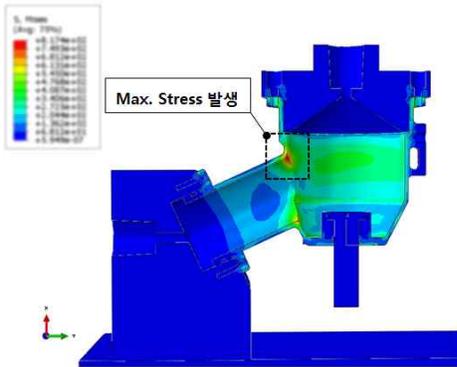


Fig. 4 Stress distribution of test set

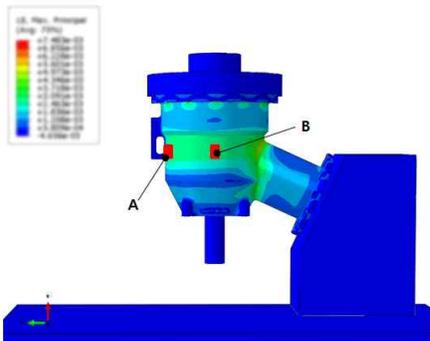


Fig. 5 Max. Principal strain and the location of strain gauge



(a)



(b)

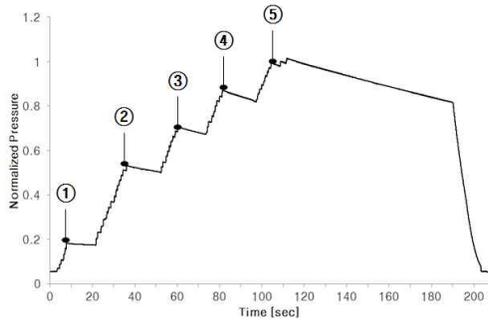
Fig. 6 The numbering of strain gauge locations (a) Top view (b) Side view

기준은 위치에 따라 변형률의 구배가 크지 않은 위치이다.

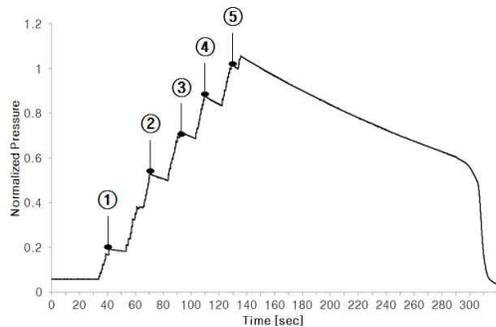
#### 2.5 변형률 계측 구성

Fig. 6은 제작된 밸브하우징에 스트레인게이지를 부착한 모습이다.

계측에 사용된 스트레인게이지는 0도, 45도, 90도 간격으로 구성된 Rosette type으로 저항은  $350.0\Omega \pm 0.6\%$ 이며, 게이지 factor는  $+2.11 \pm 0.20$ 이다. 하나의 밸브 당 2개의 스트레인게이지를 부착하여 총 6채널로 구성된다. 각 축에 설정한 게이지번호는 Fig. 6에 표시한 ①~⑥과 같으며, 각 게이지에서 원주방향을 기준으로 반시계방향으로 번호가 부여되도록 설정하였다.



(a)



(b)

Fig. 7 Pressure profile during hydraulic test (a) Valve housing #1 (b) Valve housing #2

### 3. 수압시험 결과

#### 3.1 압력 프로파일

Fig. 7의 (a), (b)는 수압시험 시 측정한 압력 프로파일이다.

시험 시 밸브 내부의 압력은 MEOP의 1.05배까지 가하였으며, ①~⑤의 단계로 순차적으로 압력을 증가시켜 각 단계에서 10초간 유지하였다. Fig. 7에서 압력을 나타내는 세로축은 MEOP의 1.05배 압력 값에 대해 normalize하여 나타냈다.

#### 3.2 변형률 결과

수압시험 시 스트레인게이지를 통해 측정한 변형률과 유한요소해석에서의 변형률 결과를 비교하였다. Fig. 8 및 Fig. 9에는 시험에 사용된

2조의 밸브의 스트레인게이지 측 별 압력에 따른 변형률을 나타내었다. Fig. 7에 나타난 ①~⑤ 압력 값에서의 값을 비교하였으며, 변형률은 유한요소해석 결과에서 6개의 축의 결과 값 중 최대값을 기준으로 normalize하여 나타내었다.

유한요소해석과 수압시험 모두 원주(Hoop)방향의 변형률을 측정하는 Gauge No. 1 및 Gauge No. 4에서 가장 큰 변형률이 나타났다. 전체적으로 시험 시 측정한 변형률이 유한요소해석 결과보다 높은 경향을 보인다.

두 시험 모두 유한요소해석과의 오차는 20% 내외로, 유사한 경향을 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 고압조건에서의 밸브 구조강도를 평가하기 위해 수압시험 및 유한요소해석을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

수압시험 수행 전 설계한 밸브 및 시험 치구에 대해 시험과 동일한 조건으로 유한요소해석을 하였고, 소성변형이 발생하지 않을 것으로 예측하였다. 또한, 시험 시 밸브에 발생하는 변형률을 측정하기 위해 스트레인게이지를 부착하였다. 부착 위치는 유한요소해석 결과를 바탕으로 위치에 따른 변형률의 구배가 크지 않은 곳으로 선정하였고, 밸브 한 조당 두 개의 스트레인게이지를 부착하였다.

총 2조의 밸브에 대해 수압시험을 수행하였고, 시험 시 측정한 변형률 결과를 유한요소해석 결과와 비교하였다. 시험 측정한 값과 유한요소해석 값의 오차는 최대 20%내외로 유사함을 확인하였다. 시험 및 유한요소해석 모두 원주방향으로의 변형률이 가장 크게 발생하였으며, 전체적으로 시험에서 측정한 변형률이 유한요소해석 결과보다 크게 나타났다.

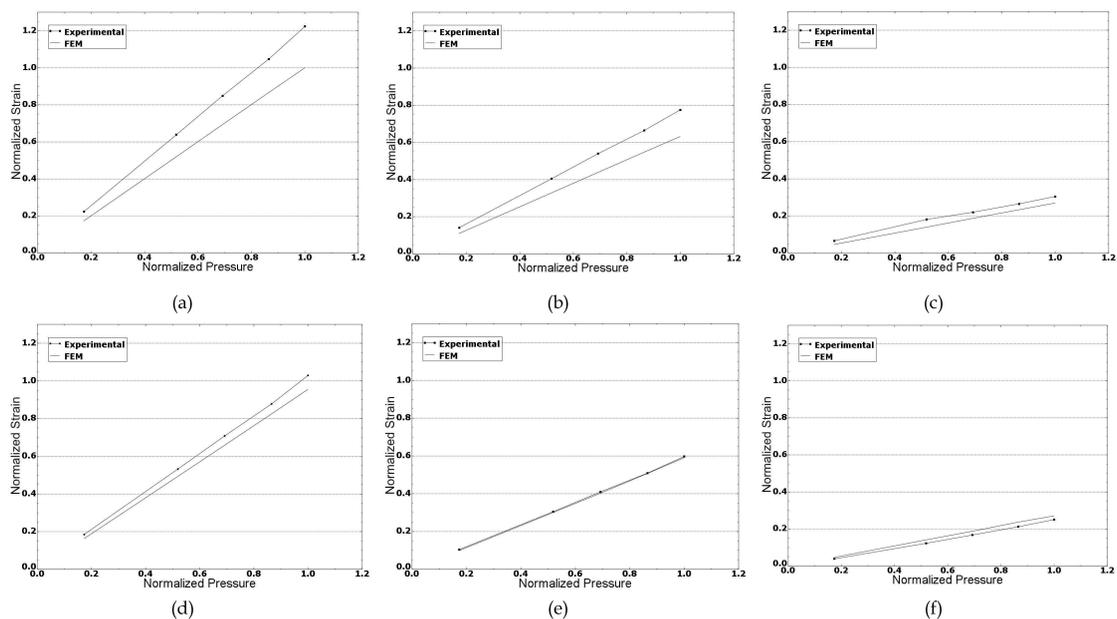


Fig. 8 Comparison between experimental and FEM strain result of valve housing #1 (a) Gauge No. 1 (b) Gauge No. 2 (c) Gauge No. 3 (d) Gauge No. 4 (e) Gauge No. 5 (f) Gauge No. 6

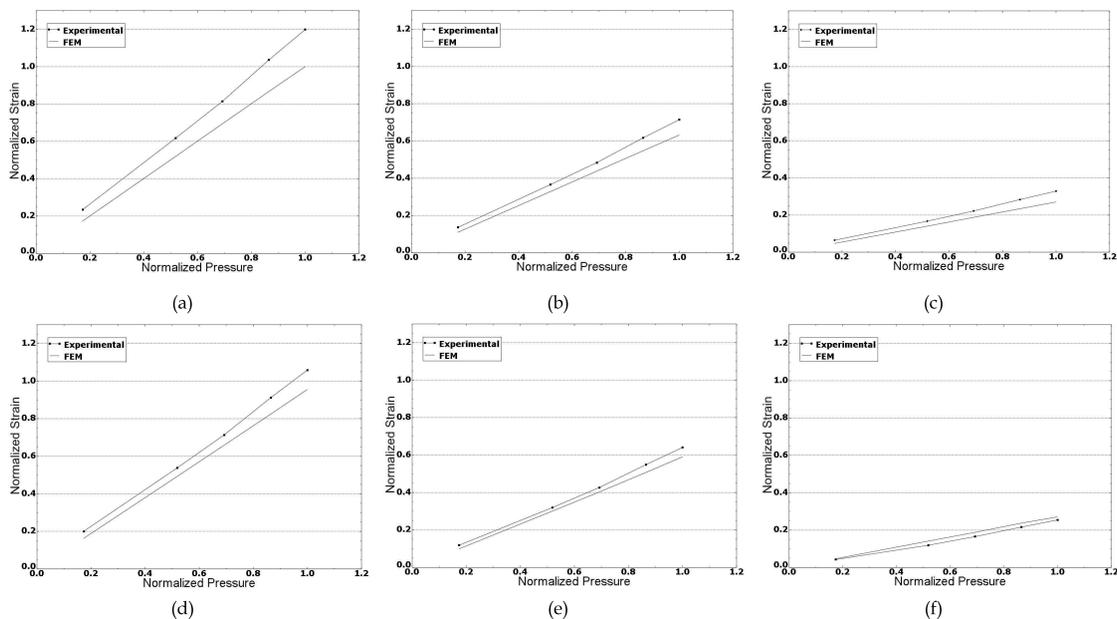


Fig. 9 Comparison between experimental and FEM strain result of valve housing #2 (a) Gauge No. 1 (b) Gauge No. 2 (c) Gauge No. 3 (d) Gauge No. 4 (e) Gauge No. 5 (f) Gauge No. 6

## 참 고 문 헌

1. D. Valladares, M. Carrera, L. Castejon, C. Martin, "Development of a Numerical Technique for the Static Analysis of Bolted Joints by the FEM," *Proceedings of the World Congress on Engineering 2013*, Vol III.