

## LNG 선박용 spring load 안전방출밸브의 유량 성능시험

박경암\* · 이생희\* · 김경권\*\* · 고장훈\*\*

### Flow capacity test of spring load safety relief valves used in LNG

Kyung-Am Park\*, Saeng-Hee Lee\*, Keng-Kuen Kim\*\* and Jang-Hoon Goh\*\*

**Keywords :** Safety relief valve(안전밸브), flow capacity test(유량 성능시험), discharge coefficient(유출계수)

#### Abstract

Many LNG ships will be constructed in Korea and the demand of safety valves is increasing. The most important performance of the developed safety relief valves for LNG ship is flow capacity. Flow capacity tests for 8 sizes of developed safety valves were conducted in the high pressure gas flow standard system in KRISS. The initial spring force adjustment was important for setting pressure of the safety valve. The procedure of data reduction and evaluation of the safety valve performance are suggested. This procedure was approved by French Bureau Veritas and Lloyd's Register.

#### 1. 서론

천연가스 유전으로부터 소비자에게 공급되는 경로는 파이프 라인을 통해서 공급되고 있지만 유전과 소비자 사이에 우리나라와 같이 바다를 통과하여야 하는 경우가 있다. 이 때에 천연가스를 액화시켜 배로 운송하게 된다. 이 액체상태의 천연가스를 LNG(Liquidized Natural Gas)라 부르며 국내에서 사용하는 천연가스는 말레이시아, 인도네시아 등의 가스유전에서 LNG선박으로 운송하여 수입하고 있다.

에너지 수요의 증가로 이 LNG를 운반하는 선박의 수요가 증가하고 있으며 세계 수요의 대부분을 국내 조선업계에서 수주받고 있는 상황이다. LNG선박에 있는 LNG탱크는 단열이 잘되어 있지만 주위에서 열을 흡수하여  $-163^{\circ}\text{C}$ 의 액체상태의 천연가스가 기화하여 LNG탱크의 압력이 상승하게 된다. 탱크내의 압력이 상승하면 탱크의 안전에 치명적인 요인이 된다.

이 탱크와 증발한 가스(BOG, boil-off gas)를 사용하는 가스관에 다양한 설정압력과 접속구경의 안전밸브가 설치되어 있다. 지금까지 LNG선박에 설치되는 안전밸브를 정량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 국내 조선업계에서 수주한 LNG선박에 필요한 안전밸브의 수요가 120억원 정도 이므로 이 밸브의 국산화가 시급한 실정이다.

이 안전밸브를 국산화하여 성능시험을 결과는 선급의 인증을 받아야 LNG선박에 설치가 가능하다. LNG선박에 사용되는 제품에 영향력이 가장 큰 Bureau Veritas, Lloyd's Register에서 과격한 검사관이 참관하여 인증을 받으므로 국산화가 완성되었다. 8종류 안전밸브를 유량 성능시험 데이터를 분석하였다.

#### 2. 실험장치

##### 2.1 안전밸브

Fig.1과 같이 안전밸브 입구에서 밸브판이 유동을 차단하고 있다. 밸브판에 작용하는 스프링의 힘보다 밸브판에 작용하는 유압이 크면 밸브판이 열려 유동이 형성된다. 이 유로의 단면적이 가장 작은 지점이 목이되며 유동은 질식된다. 안전밸브의 유출계수는 다음 식과 같이 계산한다.

$$F_d = Q_m (RT_o / M) / (A^* C^* P_o)$$

여기서,  $F_d$ : 유출계수,  $R$ : 기체상수,  $T_o$ : 안전밸브 입구 절대온도,  $M$ : 공기 분자량,  $A^*$ : 목 단면적,  $C^*$ : 임계유동인자,  $P_o$ : 안전밸브 입구 절대압력 이다.

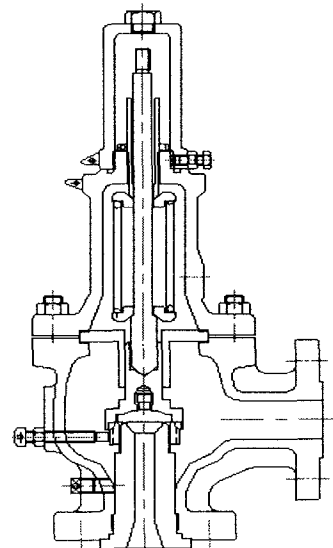


Fig. 1 Schematic diagram of conventional safety valve

\* 한국표준과학연구원 유체유동, kapark@kriss..re..kr

\*\* MTH콘트롤밸브(주), hallav@mth.co.kr

## 2.2 고압가스 유량측정 표준 시스템

표준 시스템은 Fig. 2와 같이 blow-down type이며, 1 - 5 MPa 압력범위에서 정상 유동을 발생시킨다. 유동방향 전환장치와 자이로 저울로 구성된 중량측정방법으로 소닉노즐을 교정하여 10,000 m<sup>3</sup>/h의 최대 유동율을 발생한다.

토출량이 0.33 m<sup>3</sup>/s이고 토출압력이 7.1 MPa인 압축기 3대로 20 m<sup>3</sup>인 저장조를 6.5 MPa 압력까지 채운다. 저장조는 직경이 0.66 m이고, 길이가 30 m인 4개의 관으로 구성되어 있다. 압축공기는 저장조로 들어가기 전에 5 ppm이상의 먼지나 기름입자를 제거하고 이슬점이 -40 °C 인 필터를 통과한다.

실험하는 동안에 안정된 압력과 온도를 유지하기 위해서 저장조에 있는 압축공기는 최대 5 MPa까지 1차 압력밸브에서 조정되어 온도조절 루프에 저장된다. 온도조절 루프의 길이는 45 m이며 7 m<sup>3</sup>이다. 온도조절 루프에 저장된 압축공기는 소닉노즐에 들어가기 전에 2차 압력조절 밸브를 통과한다.

소닉노즐은 ISO 9300 규격에 맞게 제작되었으며 소닉노즐 상류의 압력과 온도가 안정되고 안전밸브 온도와 압력이 안정되었을 때의 데이터를 유량성능 분석에 활용하였다.

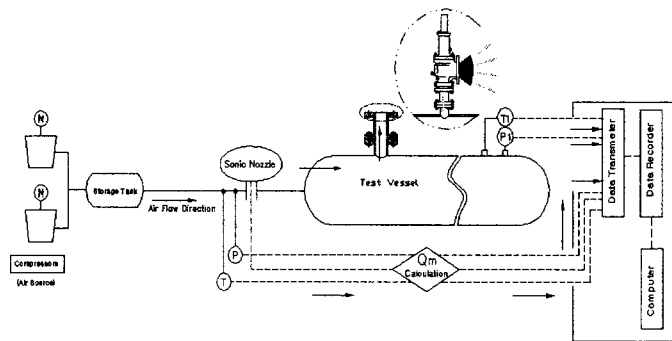


Fig. 2 High pressure gas flow system

## 3. 실험결과 및 분석

안전밸브 입구의 압력을 0.5 Mpa 게이지압으로 설정(set pressure)하였다. 큰 안전밸브는 시스템의 유량 한계 때문에 스프링의 압축을 조절하여, 설정압을 낮추어 실험을 수행하였다.

소닉노즐의 압력, 유량을 증가시키면 초기에는 안전밸브가 잠겨있어 밸브 입구 압력이 상승한다. 설정압 근처에서 밸브가 열리면 순간적으로 입구 압력이 낮아진다. 이러한 현상은 소닉노즐과 안전밸브 사이의 공기량과 순간 토출량의 관계에서 일어나며 안전밸브가 클수록 순간적인 압력강하가 크다.

Fig. 3과 4는 밸브입구 직경이 19.05 mm (3/4 inch)이고 출구 지경이 25.4 mm (1 inch)인 안전밸브의 입구압력과 질량유량의 시간에 따른 변화를 보여준다. 질량유량은 소닉노즐에서 측정된 값과 소닉노즐과 밸브입구 사이의 체적에서 온도와 압력 변화에 따른 유량의 변화를 합한 값이다. 소닉노즐과 밸브입구 사이의 질량의 변화는 소닉노즐 유량의 1% 미만이다.

처음에 표시된 화살표는 설정압이며 2번째의 화살표는 설정압보다 10% 큰 허용 과부하 압력(allowable overpressure)이다. 일정시간동안 이 압력을 유지하였으며 평균압력과 평균유량을 사용하여 밸브의 유출계수를 구하였다.

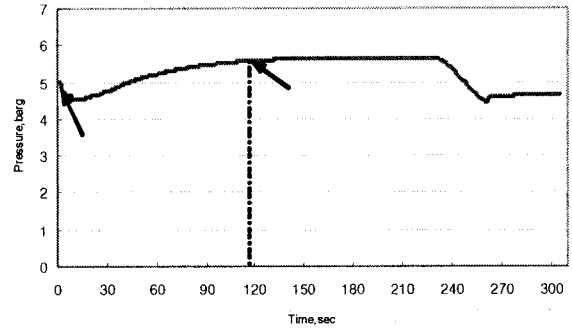


Fig. 3 inlet pressure vs time (3/4 x 1 inch, safety valve)

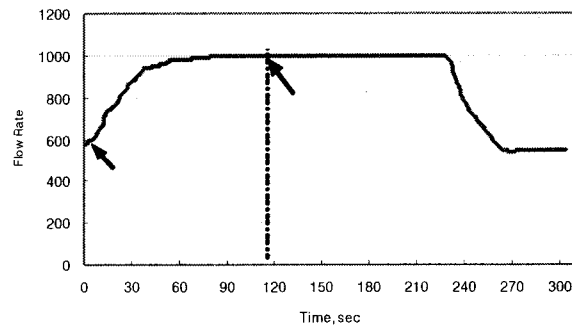


Fig. 4 Mass flow rate vs time (3/4 x 1 inch, safety valve)

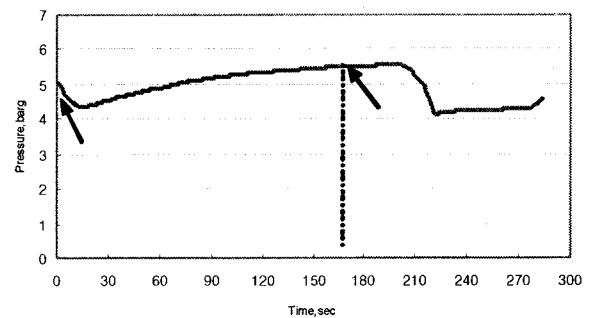


Fig. 5 inlet pressure vs time (1 x 2 inch, safety valve)

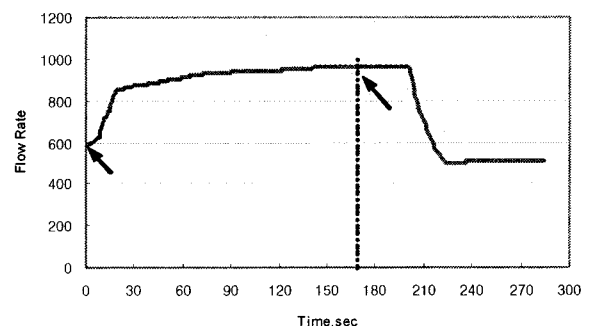


Fig. 6 Mass flow rate vs time (1 x 2 inch, safety valve)

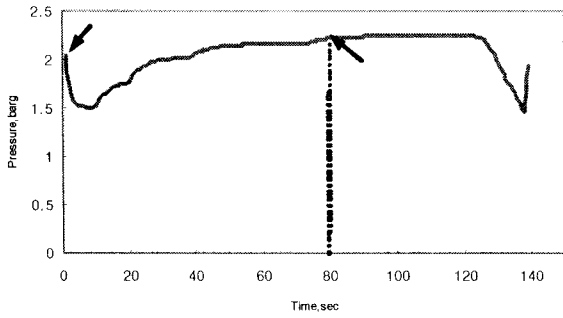


Fig. 7 inlet pressure vs time (3 x 4 inch, safety valve)

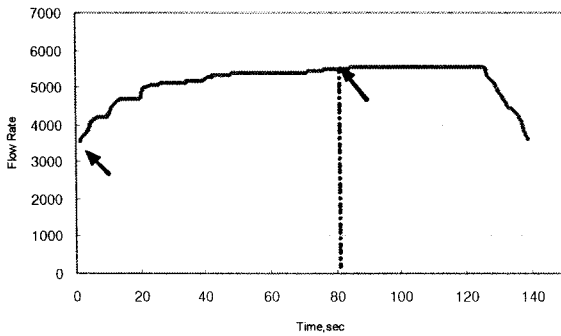


Fig. 8 Mass flow rate vs time (3 x 4 inch, safety valve)

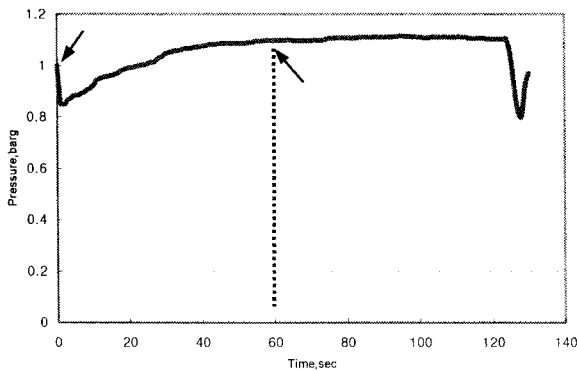


Fig. 9 inlet pressure vs time (4 x 6 inch, safety valve)

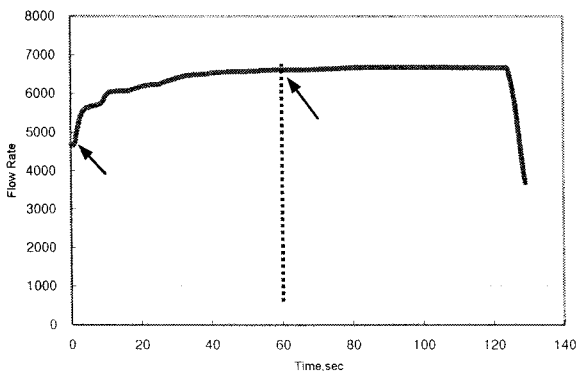


Fig. 10 Mass flow rate vs time (4 x 6 inch, safety valve)

Table 1. Test results

| Size (Inch) | A* (m <sup>2</sup> ) | Po (Mpa) | To ( C ) | Qm (kg/h) | Fd    | Kd    |
|-------------|----------------------|----------|----------|-----------|-------|-------|
| 0.75 * 1    | 0.0001814            | 0.6562   | 21.23    | 1004      | 0.992 | 0.887 |
|             |                      | 0.6562   | 17.93    | 999.3     | 0.982 |       |
|             |                      | 0.6496   | 30.12    | 969.6     | 0.983 |       |
| 1 * 2       | 0.0001814            | 0.6497   | 20.52    | 948.6     | 0.946 | 0.865 |
|             |                      | 0.65     | 21.55    | 960.3     | 0.959 |       |
|             |                      | 0.6504   | 25.48    | 973.5     | 0.978 |       |
| 1.5 * 2     | 0.0003904            | 0.6497   | 18.72    | 2100.9    | 0.97  | 0.873 |
|             |                      | 0.6496   | 18.99    | 2102.5    | 0.971 |       |
|             |                      | 0.6497   | 21.68    | 2088.9    | 0.97  |       |
| 1.5 * 2.5   | 0.0003904            | 0.6502   | 20.09    | 2094.5    | 0.969 | 0.871 |
|             |                      | 0.6496   | 18.46    | 2061.7    | 0.952 |       |
|             |                      | 0.6501   | 27.04    | 2098.2    | 0.982 |       |
| 1.5 * 3     | 0.000598             | 0.6494   | 18.76    | 3158      | 0.952 | 0.857 |
|             |                      | 0.6493   | 16.17    | 3158.6    | 0.949 |       |
|             |                      | 0.6493   | 23.2     | 3142.3    | 0.955 |       |
| 2 * 3       | 0.0009507            | 0.6508   | 18.59    | 5183.3    | 0.981 | 0.866 |
|             |                      | 0.6499   | 15.2     | 5030      | 0.948 |       |
|             |                      | 0.65     | 26.54    | 4983.1    | 0.957 |       |
| 3 * 4       | 0.0021226            | 0.3193   | 17.83    | 5474.2    | 0.946 | 0.853 |
|             |                      | 0.3195   | 19.89    | 5488.6    | 0.951 |       |
|             |                      | 0.3189   | 24.65    | 5403.5    | 0.946 |       |
| 4 * 6       | 0.0047759            | 0.209    | 23.63    | 6595.8    | 0.782 | 0.701 |
|             |                      | 0.209    | 18.26    | 6639      | 0.78  |       |
|             |                      | 0.2096   | 25.44    | 6543.6    | 0.776 |       |

안전밸브의 입구 직경이 25.4 mm, 출구 직경이 50.8 mm인 밸브의 성능 실험 데이터가 Fig. 5, 6이다. 밸브의 내부 노즐의 크기가 Fig. 3, 4와 같은 경우로 압력, 유량 곡선이 유사하다.

안전밸브의 입구 직경이 76.2 mm (3 inch), 출구 직경이 101.6 mm (4 inch)로 노즐이 좀 큰 경우에는 시스템의 용량 제한으로 설정압을 0.3 MPa (게이지압 2 bar)에서 실험을 하였다. 안전밸브가 열리는 순간에 압력강하가 상대적으로 크고 압력증가와 유량증가가 점진적으로 이루어진다. 이것은 시스템의 용량과 소너노즐과 밸브사이의 체적이 작기 때문인 것으로 사료된다.

이 실험에서 가장 큰 안전밸브를 실험한 결과가 Fig. 9, 10이다. 이 안전밸브의 입구 직경은 101.6 mm (4 inch), 출구 직경은 152.4 mm (6 inch)이다. 안전밸브의 용량이 커서 노즐이 충분히 질식될 수 있는 최소 압력인 0.2 MPa (게이지압력 1 bar)에서 실험을 수행하였다. 압력강하가 크고 유량과 압력의 증가가 작다.

Table 1은 선급 인증을 위해 수행한 8종류의 안전밸브의 실험 데이터를 정리한 것이다. 각 사이즈 별로 3회 실험을 수행하였다. 유출계수 Fd의 값의 재현도는 우수하며 안전밸브가 커지면서 유출계수가 작아지는 경향이 있다. 이것은 밸브 단면적을 측정하지 않고 공칭직경(설계 직경)을 사용한 것과 노즐과 밸브 판사이의 거리가 유출계수에 영향을 미친 것으로 판단된다. 유출계수의 값에 안전율 10%를 주어 안전밸브 설계 유출계수 (Kd)를 구하였다.

#### 4. 결론

LNG 선박용 안전밸브를 개발하여 유량 성능실험 수행하였으며 노즐의 유출계수, 설계 유출계수를 구하였다. 실험 데이터는 선급에 제출하여 인증을 받아 LNG 선박에 설치하여 사용할 수 있게 되었다.

## 참고문헌

- [1] ISO 9300, Measurement of gas flow by means of critical flow  
venturi nozzles (CFVN), 2001.
- [2] Flow Measurement, ASME PTC 19.5-2004.
- [3] ISA Handbook of control valves, 2<sup>nd</sup> Edition, ISA.
- [4] Harrison, S.F., Pap, D.M., D'ursi, U., Cox, J.H., Hart, W.F., Keyser,  
D.R., Neumann, C.A., Scallan, D.J., Thibaults, D.G., Wang Z. , and  
York, B.S., "Pressure relief devices", ASME PTC 25-2001