

LNG 배관 시스템용 1인치 글로브 밸브 개발 및 성능시험

이중섭*, 이치우**,#

*경남과학기술대학교 엔진부품검증센터, **경남과학기술대학교 자동차공학과

Development and Performance Test on the 1-Inch Glove Valve for the LNG Piping System

Chung-Seob Yi*, Chi-Woo Lee**#

*Gyeognam National University of Science and Technology, Engine Parts Verification Center

***Gyeongnam National University of Science and Technology, Automotive Engineering

(Received 11 August 2016; received in revised form 1 September 2016; accepted 15 October 2016)

ABSTRACT

This study describes the development of a 1-inch cryogenic glove valve for an LNG pumping system and localization development achieved through the performance test. The cryogenic valve used in the LNG pumping system plays an important role in maintaining a flow rate by LNG transportation. This trial manufactured goods, which was achieved through reverse engineering and developing the assembly process. The result of the leak test satisfied the internal pressure condition using the 78-bar normal temperature test and maintained the anti-leakage condition. Also, the result of the cryogenic leak test (BS 6364: low temperature test procedure) maintained anti-leakage at -196 and 52 bar, which satisfied the test standards.

Key Words : LNG(액화천연가스), Cryogenic(극저온), Glove Valve(글로브 밸브)

1. 서 론

육상의 Oil&Gas가 고갈됨에 따라서 해양에 있는 Oil&Gas로 자연스럽게 그 범위가 확대되고 있고, 이에 따라서 해양플랜트 산업이 많은 부분에서 육성 장려되고 있는 실정이다. 세계 해양플랜트 시장은 2010년 2천억 달러 시장에서 2015년에는 3천억 달러로 급성장하고, 2030년경에는 1조 4천억 달러 이상으로 성장할 것으로 예상하고 있다.

해양플랜트의 많은 부분이 배관으로 이루어져 있고, 배관에는 필수적으로 Valve 및 Fitting이 부착된다. 따라서, 해양플랜트 시장에 진출하기 위한 설비 및 장비의 국산화를 위해 많은 연구가 진행되고 있다.^[1-3]

현재 조선업계는 고부가가치 선종인 LNG선 및 해양플랜트와 관련된 수주가 꾸준히 이루어지고 있으며, 특히, 초저온 관련 LNG 선박 시장에서 독주체제를 굳히고 있다. 최근 일본 원전 사태에 따른 불안감 등으로 천연가스에 대한 수요가 늘어나면서 LNG선에 대한 수요도 급증할 것으로 업계는 예상하고 있다.

Corresponding Author : leecw@gntech.ac.kr

Tel: 82-55-751-3649, Fax: 82-55-751-3643



Fig. 1 Applications for cryogenic valves on LNG system

현재 지구온난화로 인한 이산화탄소 배출 저감을 위해 전 세계적으로 친환경 LNG 자동차 보급 시장의 성장이 가속화되고 있는 시점에서 LNG에 대한 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. 이에 전 세계적인 천연가스 개발과 이에 따른 기자재 산업이 큰 폭으로 성장할 것으로 예상된다.

본 연구의 목적은 LNG 펌핑 시스템의 유량제어 밸브 개발을 통해 선진제품에 의존하던 고기능 특수밸브 분야에 대한 국산화 기술개발을 목표로 하고 있다.

2. 글로브 밸브 개발

본 연구에 적용대상인 소형 LNG 펌핑 시스템에 설치되는 극저온용 수동 글로브 밸브를 개발하기 위해 우선 선진제품을 벤치마킹하여 기본설계를 수행하였다. 이미 선진제품이 선점한 분야이기 때문에 교체시 배관연결이 용이해야 된다. 따라서 높이와 폭을 제외하고 길이는 동일하게 설계하였다. Table 1은 개발된 밸브에 대한 설계제원을 나타내고 있다.

Table 1 Product specification of cryogenic valve

Connection type	Dimensions(mm)				Flow data	
	B	L	H	F	Cv	Kv
Screwed ends	42	140	263	90	3.80	32.3

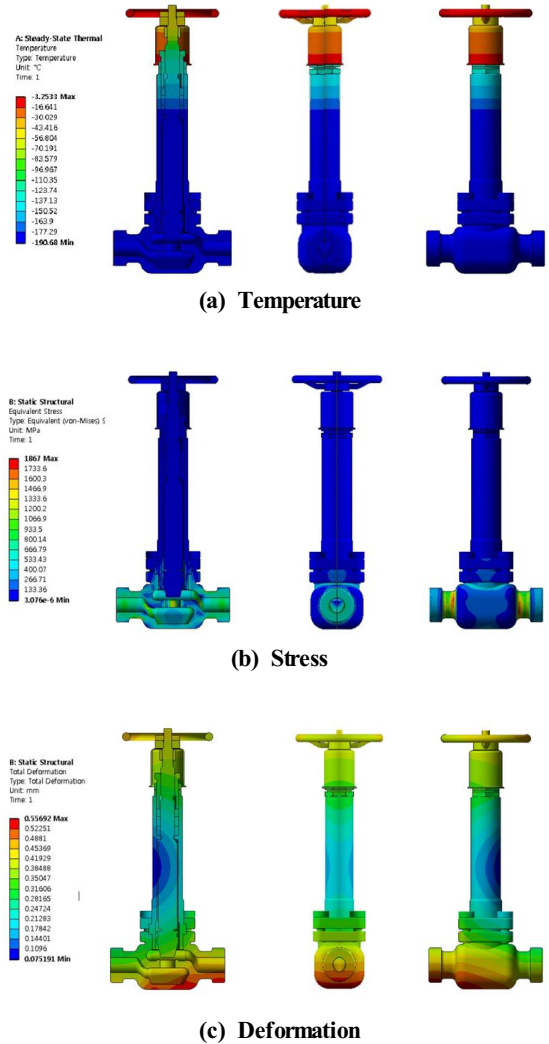


Fig. 2 Results of temperature and structure analysis

극저온 밸브를 개발하기 위해 선진제품을 분석한 후 기초설계를 수행하였고, 3D 모델링을 수행한 후 설계 검토를 위해 Fig. 2와 같이 구조해석을 수행하였다. 구조해석에 사용된 S/W는 상용 프로그램인 ANSYS W/B를 사용하여 온도분포, 응력분포, 변형량 분포에 대한 수치해석을 수행하였다.^[4-7] 경계조건은 밸브 내부 유체가 지나가는 트림부에 -196°C 의 온도가 일정하게 유지되고, 밸브 외부에는 대기온도의 대류조건을 부여하였다.

구속조건으로는 실제 밸브 입-출구에 배관이 연결되어 있기 때문에 밸브 입-출구를 고정시켜 온도영향에 따른 응력 및 변형량을 계산하였다. 해석결과를 살펴보면 (a)는 초저온 니들밸브에 대한 온도분포이며, 밸브 트림부에 -196°C 가 등온조건으로 작용하기 때문에 트림부에서 가장 낮은 온도로 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 트림부에서 최 상부인 핸들 휠 까지 열전달이 이루어지고 있었고, 외부조건이 단열조건이 아니기 때문에 상부로 이동하면서 열전달이 촉진되어 핸들 휠에서는 약 -3°C 의 온도분포가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

(b)은 온도계산 결과를 통해 응력해석을 수행한 결과이며, 밸브 트림부에 -196°C 로 유지됨에 따라 밸브 바디쪽에 응력이 발생함을 확인할 수 있었고, 상대적으로 두께가 얇은 밸브 입-출구 목 부위에서 응력이 가장 높게 나타났다. 반면 밸브 바디 상부 스템쪽으로 이동하면서 상대적으로 낮은 응력이 발생함을 알 수 있었다. 이는 구속조건인 밸브 입-출구에서 고정시켜 놓고 밸브 트림부에 저온이 유지됨에 따라 금속 수축으로 인해 밸브 입-출구 목 부분에서 응력이 집중되었기 때문이다.

(c)는 변형량을 나타낸 것으로 밸브가 수축되어 변형되는 분포를 나타내고 있다. 구속조건인 밸브 입-출구에서 고정시켜 놓고, 밸브 트림부에 저온이 발생함에 따라 밸브 바디 하부쪽에서 변형이 가장 크게 발생하였다. 또한 트림부 전반적으로 수축이 발생함에 따라 변형이 발생함을 확인할 수 있었다.

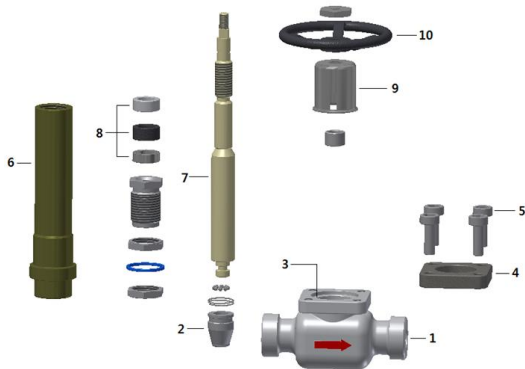


Fig. 3 Disassembly of cryogenic globe valve

Table 2 Material of parts

No.	Parts name	Material
1	Body	ASTM A182 F316/A351 CF 8M
2	Non rotating disc	ASTM A479 TP316
3	Bonnet gasket	Graphite & SUS316
4	Bolted bonnet	ASTM A479 TP 316
5	Bonnet bolt	ASTM A320 B8M.2
6	Extension bonnet	ASTM A182 F316/A351 CF 8M
7	Extension stem	ASTM A479 TP316
8	Stem packing	Grphite
9	Position indicator	SUS 316
10	Hand wheel	ASTM A240 TP304

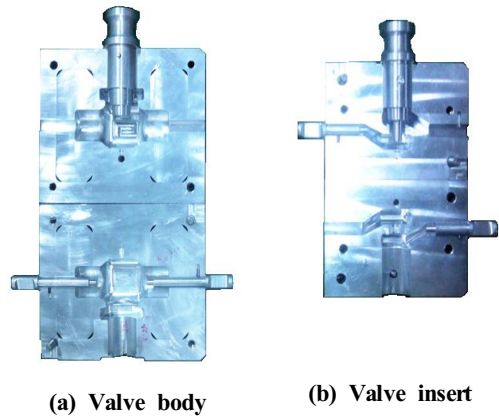


Fig. 4 Development of mold for valve body

구조해석 결과를 참조하여 설계에 반영하여 Fig. 3과 같이 시제품에 대한 각 부품에 대한 설계를 수행하였다. 각 부품에 대한 재질은 Table 2와 같이 선정하였다. 초저온 니들밸브 제작을 위해 Fig. 4와 같이 밸브 바디에 대한 금형을 제작하였다. 금형은 밸브 본체 부분인 트림부를 제작

하였고 밸브바디 좌우 1세트와 밸브 인서트 좌우 1세트를 제작하였다. 이외 볼트와 너트를 포함한 모든 부품은 기계 가공하여 개발 시제품을 제작하였다.

Table 3은 LNG용 밸브를 설계한 후 3D 모델링 도면과 가공된 요소부품을 서로 비교한 것이다.

최종적으로 Fig. 5와 같이 LNG 밸브에 대한 설계 검토를 마친 후 조립공정을 수립하였다. (a)는 밸브 Stem부를 조립하는 공정으로 Rotating Disc를 Extension Stem과 조립한다. 이때 Bearing을 삽입하여 Fix Ring으로 이탈을 방지시켰다.

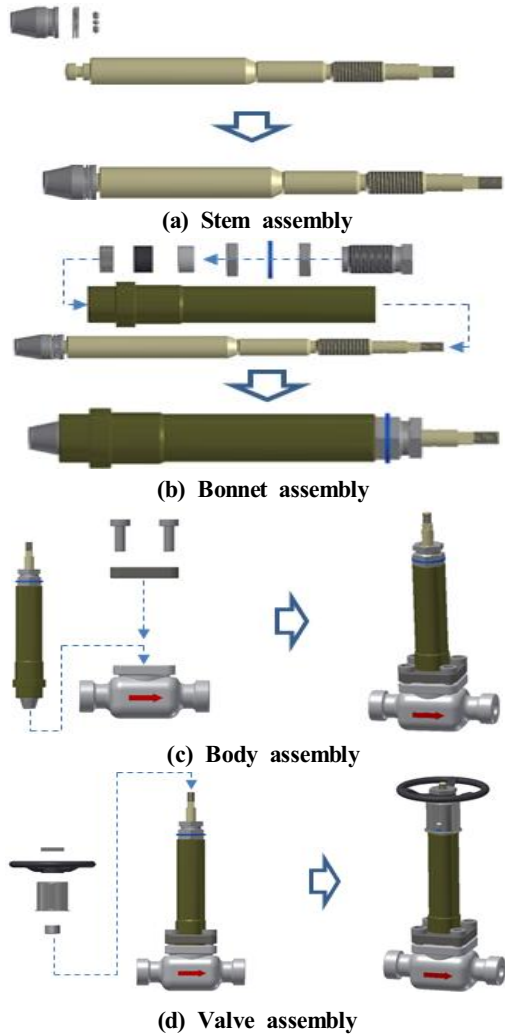


Fig. 5 Assembly process for LNG valve

Table 3 3D modeling and manufacturing

design	product
(a) Body	
(b) Rotation disc	
(c) Fix ring	
(d) Bearing	
(e) Extension stem	
(f) Extension bonnet	
(g) Bolted vonnet	

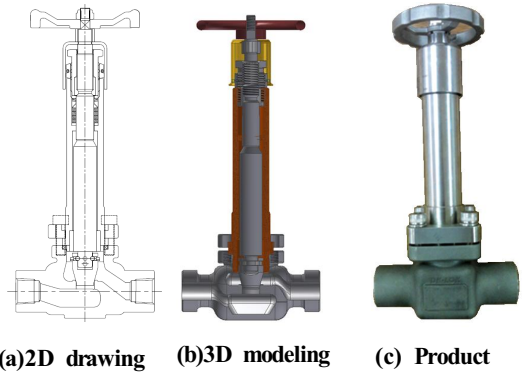
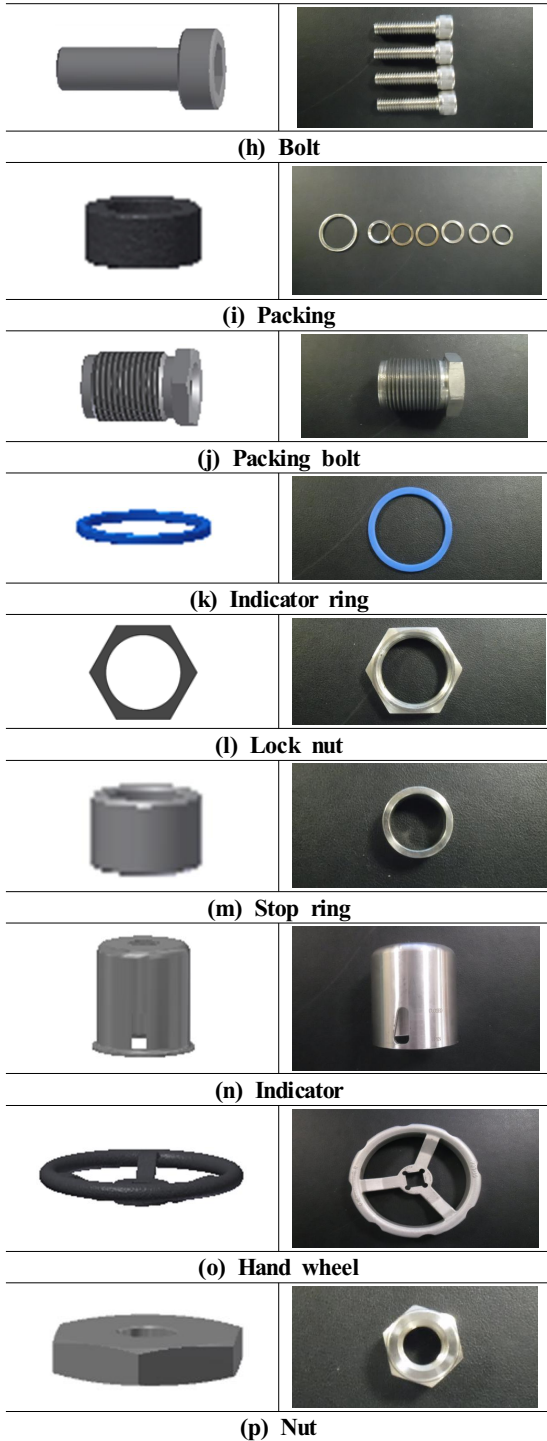


Fig. 6 Comparison of final design and product

(b)는 Bonnet부를 조립하는 공정으로 Stem Assembly를 Extension bonnet에 삽입 후 Packing류를 적층시키고, Packing bolt로 가압시킨 후 Lock nut으로 Packing bolt의 조임 토크를 고정시킨다.

(c)는 Body assembly 공정으로 Extension bonnet assembly, Bolted bonnet을 순차적으로 Body에 삽입 후 Bolt로 고정시킨다. 마지막으로 (d)와 같이 Stem 끝단에 Indicator 및 Hand-wheel를 적층시키고 Nut로 고정 후 밸브를 조립 완료하는 공정을 개발하였다.

최종적으로 이러한 공정에 의해 Fig. 6과 같이 1인치 LNG 글로브 밸브 시제품을 개발하였다. 그림에서 보는 것과 같이 2D 도면과 3D 모델링을 거쳐 시제품을 개발할 수 있었다.

3. 성능시험

3.1 상온시험

개발 시제품에 대한 상온 기밀시험 및 수압시험을 수행하기 위해 Fig. 7과 같이 시험대상 시료에 Double-valved quick coupling을 체결하여 상온 상태에서 기초성능 시험을 수행하였다. 상온 기밀시험 및 수압시험에 대한 규격은 ASME 16.34 Standard를 기준으로 시험을 수행하였다. 수압시험과 기밀시험 시 밸브에서 누출되는 버블을 카운트

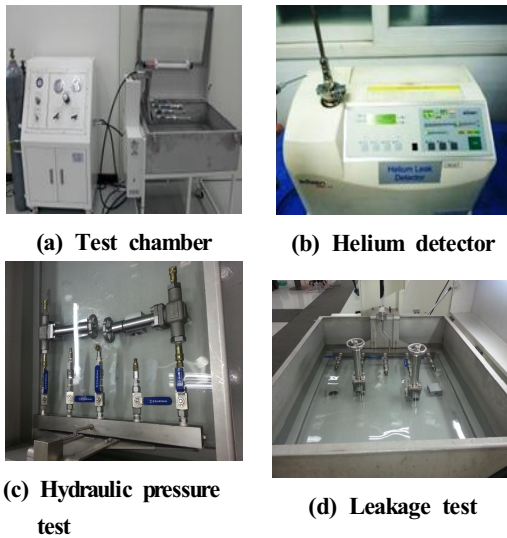


Fig. 7 Performance test at normal temperature

하게 된다.

상온 수압시험은 (c)와 같이 청수가 투입된 상온시험 챔버(W450×L1650×H300mm)에 시험대상 시료인 밸브를 투입하고 Valve-opened condition으로 유출구는 막은 상태로 실험을 수행하였다. 수압시험에서 누설을 확인하기 위해 헬륨가스를 사용압력(52 bar)의 1.5배(78 bar)로 인가하여 1분간 밸브 외부로 나오는 버블의 수를 확인하였고, 실험결과 누설이 발생되지 않았다.

상온 기밀시험은 (d)와 같이 챔버에 시험 대상 시료를 넣고 밸브 입구는 헬륨 투입관과 연결하고 밸브를 완전히 잠근 다음 출구는 개방상태로 설치한다. 헬륨가스 압력은 수압시험과 동일하며 1분간 유출구로 나오는 버블의 수를 확인하였다. 기밀시험결과 버블은 발생되지 않았다. 따라서 개발된 밸브에 대해 1차적으로 상온실험을 수행한 결과 기본적인 밸브의 성능은 확보하였다.

3.2 극저온 시험

상온시험에서 충분히 검증한 후 최종적으로 극저온시험을 수행하였다. 시험에 대한 규격은 BS 6364 Standard(Low temperature test procedure)를 기준

Table 4 Test conditions

Test temp.(°C)	Test pressure(bar)	Test gas
-196	50	He (97%purity)

Table 5 Test equipments

He gas booster	Data logger	Temp. sensor
Max. 392bar	YOKOGAWA, mv200	Pt100 Ω -200 ~ 200°C

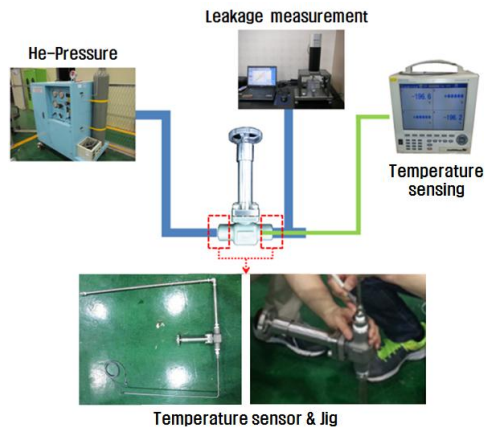


Fig. 8 Schematic diagram of leakage test

으로 시험을 수행하였고, Fig. 8과 같은 방법으로 실험을 수행하였다.^[8] 밸브의 온도측정과 헬륨가스 주입을 위한 전용지그를 제작하여 온도센서와 헬륨가스 주입관을 밸브에 연결하였다

Fig. 9는 극저온 밸브 누설시험 진행과정을 나타내고 있다. 시험조건은 Table 4와 같으며, 시험장비는 Table 5와 같다. 시험은 Fig. 10과 같은 과정으로 시험을 진행하였고, (a)와 같이 극저온 챔버에 액체질소 투입한 후 약 1시간가량 소요되었다. 시험대상

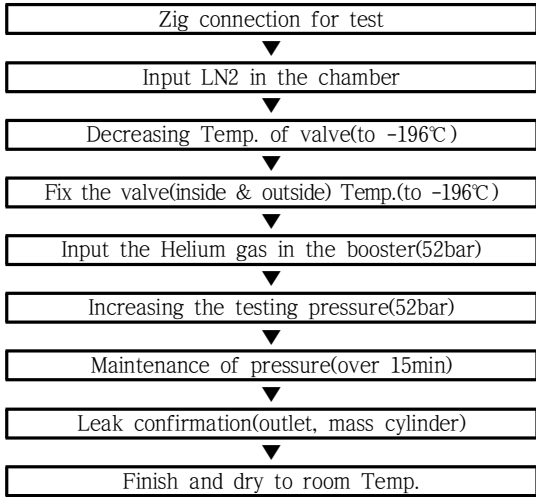
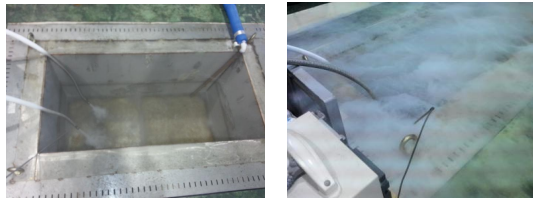
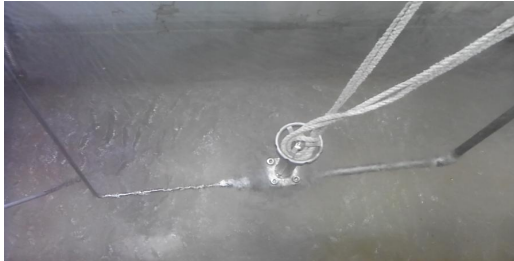


Fig. 9 Process of leakage test for cryogenic valve



(a) Suppling liquid nitrogen



(b) Valve drop into chamber



(c) Detecting He

Fig. 10 Leakage test in cryogenic chamber

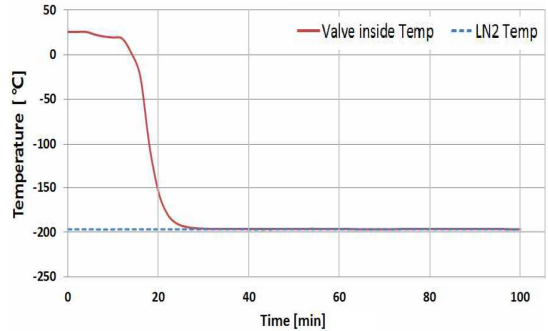


Fig. 11 Temperature distributions at LN₂ and valve inlet

밸브 내부에 온도센서를 부착한 후 (b)와 같이 저온 챔버에 침수 시켜 밸브 내외의 온도가 동일해지기까지 약 30분 정도 소요되었다. 밸브의 온도는 Fig. 11과 같이 저온챔버와 밸브가 동일하게 196°C가 되는 것을 확인한 후 (c)와 같이 밸브를 꺼내 헬륨누설시험기와 연결하고 다시 저온 챔버에 30분간 침수시킨 후 누설시험기에서 압력 52 bar를 15분간 인가한 후 누설시험을 수행하였으나 밸브 출구에서 누설은 발생되지 않았다. 따라서 극저온 밸브시험에서 누설이 발생되지 않았기 때문에 LNG 용으로 적용할 수 있는 밸브개발을 완료할 수 있었다.

4. 결론

LNG 펌핑용 1인치 극저온 글로브 밸브 개발과 성능시험을 통해 국산화 개발이 이루어졌고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 설계를 통한 제품개발에 대한 조립공정을 개발하였고, 밸브 요소부품에 대한 3D 모델링과 기계가공을 통한 부품을 개발하였다.
- (2) 상온시험에서 78bar의 내압과 52bar의 누설시험을 수행한 결과 내압조건을 만족하였고, 밸브의 기밀이 유지되었다.
- (3) 극저온 누설시험을 수행한 결과 -196°C 52bar에서 밸브의 기밀이 유지되었다.

후 기

“본 논문은 2015년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Jeong, H. S., Kim, Y. H., Cho, J. R., Kim, J. H., Kim, J. R., Park, J. H., "A Study on Structural Design of Cryogenic Miniature Globe Valve using Finite Element Method", J. of KSOME, Vol. 31, No. 4, pp. 343-349, 2007.
2. Kim, D. K., Kim, J. H., "A Study on Structural Analysis of Globe Valve for LNG Carrier", J. of KSOME Vol. 31, No. 8, pp. 1013-1019, 2007.
3. Ahn, Y. J., Kim, B. J. and Shin, B. R., "Numerical Analysis of 3-D Flow through LNG Marine Control Valves for their Advanced Design", J. of Mechanical Science and Technology, Vol. 22, pp. 1998-2005, 2008.
4. Ahn, J. T., Lee, K. C., Lee, Y. B., Han, S. H., "Seat Tightness of Flexible Metal Seal of Butterfly Valve at Cryogenic Temperatures", J. of KSME(A), Vol. 35, No. 6, pp. 643-649, 2011.
5. Kim, S. P., Jeon, R. W., Hwang, I. J., Lee, J. H., Kang, D. K., "A Numerical Analysis Study on the Characteristics for Packing Design of Cryogenic Gate Valve", J. of KSMPE, Vol. 11, No. 3, pp. 160-165, 2012.
6. Lee, J. H., Kim, S. P., Jeon, R. W., Lee, G. H., "Numerical Analysis of Y-shaped Check Valve for Power Plant", J. of KSMPE, Vol. 15, No. 1, pp. 129-135, 2016.
7. Jang, S. C., Park, T. S., Hur, N. S., Kim, I. W., "CAE/CFD Analysis and Design of High-Pressure Drop Control Valve for Offshore Project", J. of KSMPE, Vol. 14 No. 5 pp. 42-49, 2015
8. BS 6364, "Specification for Valve for Cryogenic Service," British Standard Institution, 1984.