

버터플라이밸브 성능 및 수명시험장치 개발과 개선에 관한 연구

이기천* · 김형의* · 정동수* · 김재훈**†

A Study of Development and Improvement for Butterfly Valve Performance & Life Test Equipment

Gi-Chun Lee*, Hyoung-Eui Kim*, Dong Soo Jung*, Jae-Hoom Kim**†

Key Words : Butterfly valve(버터플라이밸브), Life test(수명시험), Rated pressure(정격압력), Leakage(누수), Valve seat(밸브시트), Disc(디스크)

ABSTRACT

The butterfly valve has been used over all industries. It has been studied to improve its performance through the theoretical analysis and the test in industry. Though products adopted those improvements have been sold in markets, manufacturers often launch products without the life test. One reason is because of the long development period and financial difficulties. The other is the lack of the design and fabrication experiences on building the life test equipment. Thus, this study has been researched for the design and fabrication of our life test equipment, and developed and improved the equipment to check the leakage of the valve with the naked eyes during the test.

1. 서론

일반적으로 밸브는 아주 오래 전부터 유체의 흐름을 제어하는데 사용되어 왔고, 유체에서 물리적 특성으로 표현되는 압력 및 속도 즉 유량을 조절한다. 밸브는 파이프계의 유체 흐름을 각각의 프로세스에서 요구하는 유체의 물리적 조건과 양에 맞도록 각 제어단계의 마지막 단계에서 유체의 흐름을 제어하는 가장 일반적이고 중요한 제어요소이다.

화력발전소, 석유화학제품 운반선 및 유조선 등에 사용되고 있는 중 소형밸브는 그 사용 용도에 따라 볼 밸브 및 게이트 밸브 등 다양한 밸브를 사용하고 있다. 그러나 대형 밸브는 설치 면적과 중량의 문제점 때문에 버터플라이 밸브가 많이 사용되고 있는 실정이다. 버터플라이 밸브는 원과 내부에 설치된 원형디스크를 회전시킴으로써, 비교적 낮은 압력에서 유체의 큰 흐름을 포함하는 개폐와 유량을 조절하는 목적으로 사용된다.¹⁾ 버터플라이 밸브는 축에 대한 회전 원판의 회전으로 유량이 조절되기 때문에 구조가 간단하고, 다른 밸브에 비해 경량이므로 부가적인 지지대를 필요로 하지 않아

작은 크기를 가지는 장점이 있다.²⁾

현재 산업용으로 사용하는 버터플라이밸브에 대한 국내의 표준으로는 ISO10631, ANSI/ASME B16.34, ANSI/AWWA C504, KS B 2333 등이 있다. 이러한 표준에서는 밸브 사용에 대한 압력등급을 규정하고 있으며, ISO 5208, IEC 60534-4, KS B 2304에서는 밸브의 검사방법과 압력시험에 대하여 규정하고 있다.³⁾

산업분야에서 연구가 진행되고 있는 여러 인자들에 대한 개선을 적용하였을 경우 성능 및 수명시험이 필요하게 된다. 그렇지만 국내에서는 일정규모 이상의 기업체 외에는 간단한 성능시험을 진행하여 시장에 출시하는 상황이다. 그러므로 본 연구에서는 사용 환경을 고려한 고장모드 분석과 수명시험장비의 설계 및 제작에 관하여 연구하고, 수명시험을 진행하면서 수명시험 장비에서 발생한 문제점들을 개선하기 위한 연구를 진행하였다.

2. 성능 및 수명시험 계획

2.1 버터플라이밸브 현장 사용조건

버터플라이밸브는 아파트 단지, 댐, 배수펌프장, 수도배관 등 사용되는 곳이 다양하고 광범위하다. 그러므로 사용되는 외부환경이나 사용조건은 여러 조건들에서 사용된다. 유

* 한국기계연구원 신뢰성평가센터
** 충남대학교 기계설계공학과
† 교신저자, E-mail : kimjhoon@cnu.ac.kr

속의 흐름이나 압력의 범위등도 각각 사용처에 따라 다르게 설정하여 사용된다. Fig. 1은 같이 배관과 배관들 사이에 연결되는 조건은 내부환경이나 외부환경조건에 따라 밸브에 미치는 영향은 다르다.

2.2 고장모드

버터플라이밸브의 주요 구성품은 주로 몸체, 시트, 디스크 및 스템으로 구성되어 있다. 이러한 밸브의 구성에서 누수는 주요 고장모드이다. 다른 부품의 고장보다도 더 현장에서 많이 발생하는 고장으로는 시트부에서 발생하는 누수현상을 들 수 있다. 현장조사에서 주로 발생하는 고장의 60% 이상이 시트부에서의 누설인 것을 확인할 수 있다. 그렇지만 장기간의 사용을 필요로 하는 버터플라이밸브의 경우 단기적 성능

에만 만족하는 것은 장기적인 안목에서 피해야할 내용이다. 왜냐하면, 버터플라이밸브는 한번 현장에 설치될 경우 일반적으로 플랜트 설비의 경우 10년 이상을 사용하여야 하는데 단기간에 확인이 가능한 성능시험만으로 제품을 출시할 경우 장기간 사용 시 고장이 발생하여 경제적 손실을 가져올 수 있기 때문이다. 그러므로 현장조건에서 발생할 수 있는 고장모드를 확인하고 고장모드를 재현할 수 있는 시험장비의 개발을 통해 종합성능 및 수명시험을 진행하는 것은 필수적이다. 따라서 현장에서 발생하는 고장모드의 조사 및 고장 메커니즘은 제품의 시장진출에 필히 조사되어야 하는 항목이다. Table 1은 고장모드 및 고장 메커니즘을 나타낸 것이다.

2.3 버터플라이밸브의 수명 시험 계산

플랜트 설비에 사용되는 버터플라이밸브의 현장 작동조건을 조사한 결과 보증기간은 10년이며, 1일에 평균적으로 1.5 사이클이 사용되고 1년에 300일이 가동되므로 10년과 등가인 수명은 5000사이클이다. 따라서 보증수명은 신뢰수준 80%로 B10 수명 5000사이클(등가 수명 10년)을 보장하는 것으로 한다. 밸브는 “Machinery Failure Analysis and Troubleshooting”에서⁵⁾ 언급된 마모(wear)와 등가이므로 형상 모수(β) 3.0을 인용하여 적용한다. 또한 무고장 시험 시간의 계산은 식(1)과 같다.⁶⁾

$$\begin{aligned}
 t_n &= t_{100p} \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \\
 &= 5\,000 \cdot \left[\frac{\ln(1-0.8)}{3 \cdot \ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{3.0}} \\
 &= 8\,601.91 \approx 9\,000 \text{ 사이클}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

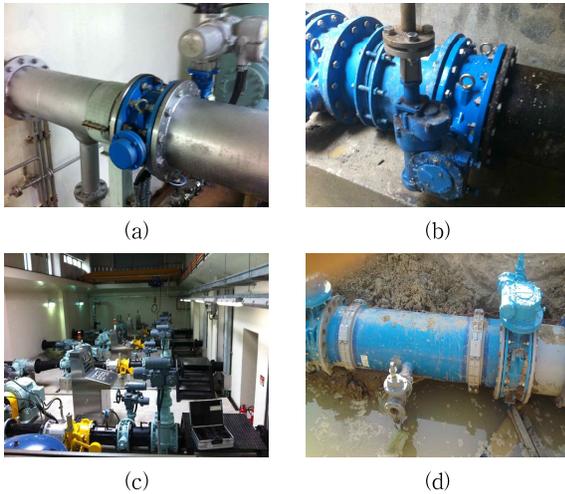


Fig. 1 Example of the operating conditions for butterfly valves (a) drainage pump room (b) water pump room (c) filtration room (d) water pipe underground

여기서, t_n 은 무고장 시험 시간이며, B100p은 보증수명, p는 불신뢰도(B10이면 $p = 0.1$), β는 형태모수이다.

Table 1 Failure modes and failure mechanisms

No	Primary Components	Function	Failure Modes	Failure Mechanisms
1	Body	Steel member covered up the internal pressure	Crack & Fracture	Vibration & crack caused by fluid force
			Corrosion	Corrosion caused by water
			Permanent deformation & loose assembly part	Deformation & loose caused by vibration, impact and fluid force
2	Seat	That portion of a seat ring or valve body which a valve plug contacts for closure	Leakage	Wear of seat
			Leakage	Seat damage
3	Disc	The valve closure member in a butterfly valve which provides a variable restriction in a port	Crack & Fracture	Vibration & crack caused by fluid force
			Looseness between stem and disc	Vibration and impulse
4	Stem	A special case of top guided in which the valve plug is aligned by a guide acting on the valve plug stem	Crack & Fracture	Vibration, impulse, and fluid force
			Get out of the control with switch over	Breakaway

따라서 발췌시료 3 개를 주어진 9000 cycle까지 수명시험 한 후, 3 개 모두 고장이 없고 종합성능의 평가기준을 만족하면, 신뢰수준 80 %에서 작동 사이클 작동 5000 cycle (B10 수명)을 보장하는 것으로 한다.

3. 기존의 시험장비 설계 및 제작

버터플라이밸브의 시험을 수행하기 위해서는 샘플을 3개 이상을 선정하여 수명시험을 진행하여야 한다. 그러므로 다수의 밸브를 동시에 시험하기 위해서는 수압펌프, 탱크, 밸브, 필터, 압력센서 및 액추에이터를 동작하기 위한 설비들이 필요하다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 시험장비는 회로에서 보는 바와 같이 탱크로부터 수압펌프에서 물을 공급받아 시험대상품인 밸브로 수압을 보낼 수 있도록 한다. 그리고 필터를 통하여 유량조절밸브를 통과해 시험대상품을 압력을 가할 수 있도록 한다.

시험대상 밸브의 전후단에는 압력센서를 설치하여 압력상태를 모니터 할 수 있도록 한다.

그리고 버터플라이밸브는 공압식 액추에이터를 장착하여

개폐 동작을 할 수 있도록 하였다. (b)는 시험대상품에서 배관연결이나 기타 자재 등을 제거하여 나타낸 사진이다. 양쪽 모두 막혀 있는 구조를 나타내고 있으며, 수명시험 중간에 내부 누유를 확인하고자 할 경우에는 조립된 밸브 전체를 분해하여 내부 누유를 확인하여야 하는 어려움이 있다.

Fig. 3은 버터플라이밸브의 현장 작동 조건을 고려하여 설계한 장비사진이다. 수압펌프와 필터 등은 챔버 내부에 위치하고 있다. 버터플라이밸브 시험장비의 핵심 부분은 밸브가 설치되는 부분으로 Fig. 4(a)에서와 같이 버터플라이 밸브의 양쪽에 강 재질을 사용하여 배관을 형성하고 있으며, 입구 쪽에는 압력센서를 설치하여 압력을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다.

Fig. 5는 버터플라이밸브의 누유를 확인하기 위한 시험으로 배수되는 부분에서 강으로 제작된 커버를 제거하여 육안으로 확인하여야 하는 불편함이 있다. 일반적으로 산업체에서 누유시험을 진행할 경우 Fig. 5와 같은 시험 장비를 사용하여 누유를 확인하는 경우가 많다.

4. 개선된 시험장비 설계 및 제작

4.1 1차 개선 시험장비

기존의 시험장비는 수명시험 진행시 누수를 확인하여야

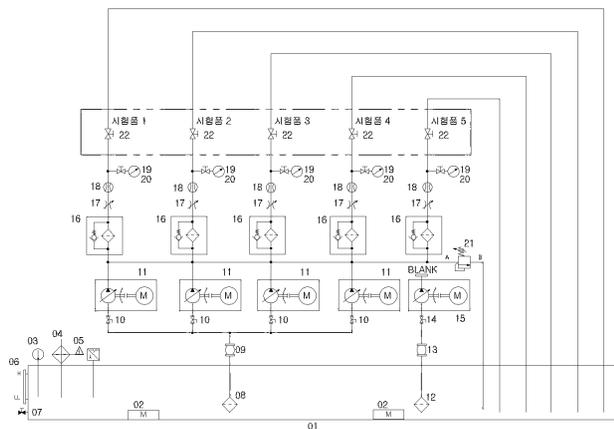


Fig. 2 Hydraulic circuit for butterfly valve test

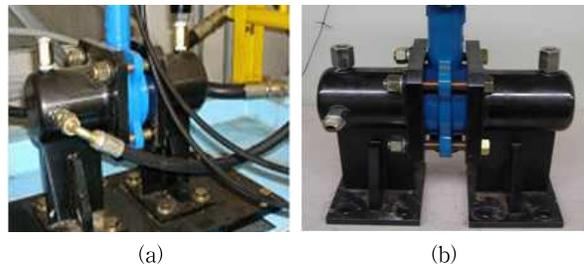


Fig. 4 The detail view of butterfly valve test equipment (a) installation view with hose assembly & pressure sensors (b) the view without hose assembly & pressure sensors



Fig. 3 Butterfly valve life test equipment before modification



Fig. 5 General procedure for leakage test of butterfly

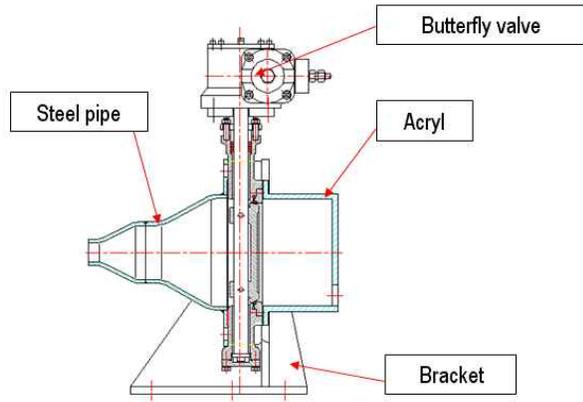


Fig. 6 Butterfly valve life test equipment after 1st modification



Fig. 7 The view of butterfly valve test equipment with 3 sets after 1st modification

하는데 배관 내부의 유로가 보이지 않아 누수를 확인하는데 어려움이 발생하였다. 이를 개선하기 위해 입구측은 압력을 견뎌낼 수 있도록 강 배관을 설치하고 출구측은 내압 형성이 되지 않으므로 아크릴(acryl)로 된 덮개를 사용하여 배수될 수 있도록 설계하였다.

Fig. 6은 버터플라이밸브가 브라켓에 설치되어 있는 것을 나타내고 있으며, 버터플라이밸브의 좌측에는 강배관을 설치하고 왼쪽에는 아크릴로 투명하여 내부를 육안으로 확인할 수 있도록 설계된 것을 나타내고 있다.

Fig. 7은 3개의 버터플라이밸브를 Fig. 6과 같이 설계한 후 밸브를 탱크의 상부에 설치한 사진이다. Fig. 8(a)는 밸브 시험 중 밸브가 닫힌 상태, 즉 내압을 받고 있는 상태를 나타내고 있으며, (b)는 열린 상태를 나타내고 있다. Fig. 9는 버터플라이밸브 시험 시 내부 압력을 센서를 통하여 모니터링한 그래프이다.

4.2 2차 개선 시험장비

1차로 개선된 제품에서는 아크릴로 제작된 부분이 전면부로 돌출되어 외부의 강한 충격이나 진동에 의해서 파손으로 누유



(a)



(b)

Fig. 8 Butterfly valve life test equipment after 1st modification
(a) closed condition of the valve (b) open condition of the valve

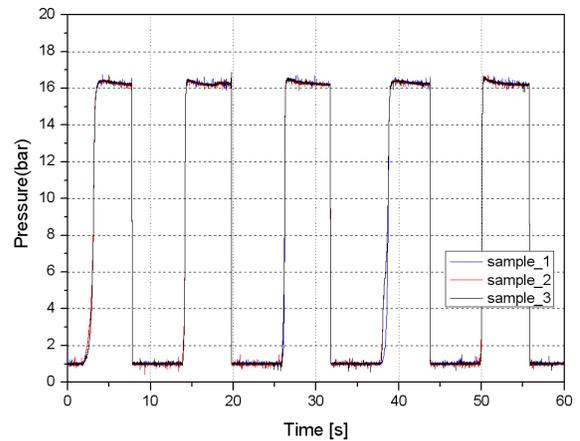


Fig. 9 Test graphs for butterfly valves with 3 sets

가 발생할 가능성이 있었다. 또한 설치 작업을 진행하면서 아크릴과 배관을 연결하는 부분에서 취약한 부분이 발생하기 때문에 이러한 부분을 2차 개선을 하여 장비를 구축하였다.

Fig. 10에서는 2차로 개선된 시험장비에 버터플라이밸브가 장착되어 있는 것을 나타내고 있다.

주요 개선 내용은 아크릴 부분을 1차 개선에서는 원형과 평면을 접착본들 사용하여 누수가 되지 않도록 하였으나, 2차 개선에서는 원형 평면으로 제작된 아크릴을 눌림 형식으로 설치될 수 있도록 설치하여 누수가 발생하지 않도록 장비

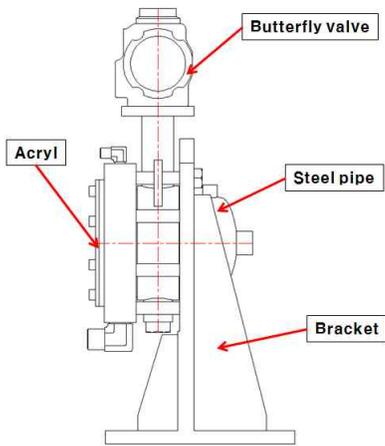


Fig. 10 Butterfly valve life test equipment after 2nd modification



(a)



(b)

Fig. 11 Butterfly valve life test equipment after 2nd modification (a) front view (b) back side view

를 구축하였다. 드레인 배관연결은 1차 개선 때와 동일하게 출구측 하부에 연결될 수 있도록 하였다. Fig. 11(a)은 2차 개선된 시험장비에서 아크릴이 설치된 배수되는 부분을 나타내고 있고, (b)는 강관으로 설치되어 압력이 가해질 수 있도록 하는 부분을 나타내고 있다.

5. 결 론

버터플라이밸브는 발전소, 선박, 상하수도 설비, 화학 플랜트, 담수화 설비 등 다양한 분야에서 사용된다. 산업분야에서 버터플라이밸브의 성능을 개선하기 위해, 이론적인 해석과 실험을 통하여, 제품의 개선을 연구하고 있다. 제품의 성능에 대한 개선 사항들은 제품에 반영되어 시장에 판매되고 있지만 제조사에서는 짧은 개발기간 및 경제적인 이유로 인하여 수명 시험을 진행시키지 못하고 제품을 출시하고 있는 경우가 많은 것으로 확인되고 있다. 또 다른 이유로는 수명시험장비 구축에 대한 설계·제작 경험의 부족도 한 이유라 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 아래와 같은 내용으로 연구를 수행하였다.

(1) 버터플라이 밸브의 현장사용 조건을 고려한 시험을 진행하기 위해 현장 작동 조건을 검토하고, 이에 따른 고장모드를 규명하였으며, 수명시험을 계획하였다.

(2) 버터플라이 밸브의 수명시험을 진행하기 위해 수압탱크부, 수압펌프부, 액추에이터 동작부, 제어 및 컨트롤부를 구성하여 설계 및 제작하였다. 시험 중 누수가 발생할 경우 버터플라이밸브 내부를 확인하기 어려운 단점을 포함하였다.

(3) 기존 시험 장비를 압력이 배수되는 드레인부에 아크릴을 원통형으로 제작 설치하여 1차 개선을 하였으며, 이로 인하여 수명시험 중에도 시험을 중단하거나 버터플라이밸브를 장비에서 분해하지 않고 밸브시트 누유를 육안으로 확인 할 수 있는 시험 장비를 개발하였다.

(4) 2차 개선을 통해 아크릴 원통형으로 제작된 확인 창을 별도의 접착과정이 없는 단면으로 고정할 수 있도록 제작하여 장비의 내구성을 증대시킬 수 있도록 개선하였다.

본 연구를 통하여 개선된 시험 장비를 적용하여 시험을 진행할 경우 시험 중 발생하는 누유확인 어려움이 해소될 것으로 사료된다.

후 기

본 과제는 “부품·소재 신뢰성기반기술 확산사업”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 공유식, 김선진, 정민화, 2009, “1000A용 버터플라이밸브 주요부품의 구조해석,” 해양공학회지, Vol. 23, No. 1, pp. 140~145.
- (2) 윤석호, 이정호, 유정환, 박상진, 정장환, 2010, “버터플라이 밸브의 유량측정 불확도에 대한 영향,” 유체기계저널, Vol. 13, No. 4, pp. 18~24.
- (3) 신명섭, 윤준용, 박인원, 이성환, 박한영, 정승화, 2011, “산

- 업용 표준의 압력시험 방법에 의한 버터플라이 밸브 구성품의 구조해석에 관한 연구,” 유체기계저널, Vol. 14, No. 3, pp. 5~9.
- (4) J. W. Hutchison, 1976, “ISA Handbook of Control Valve,” Instrument Society of America, 2nd Edition.
- (5) Heinz P. Bloch, Fred K. Geitner, “Machinery Failure Analysis and Troubleshooting,” 3rd edition, Vol. 2.
- (6) 신뢰성평가기준, 2011, “플랜트용 테프론시트 버터플라이 밸브,” RS-KIMM-2011-0101.