

# 보일러 급수펌프용 1500lb 고차압 제어밸브 국산화 개발에 관한 연구

이권일\*, 장훈\*\*, 이치우\*\*\*,#

\*경상국립대학교 대학원, \*\* (주)TES CEO, \*\*\*경상국립대학교 자동차공학과

## A Study on the Localization of 1500lb High-Pressure Drop Control Valve for Boiler Feedwater Pump

Kwon-Il Lee\*, Hoon Jang\*\*, Chi-Woo Lee\*\*\*,#

\*Graduate School of Gyeongsang National University, \*\*Total Engineering Solution CEO,

\*\*\*Department of Automotive Engineering, Gyeongsang National University

(Received 27 May 2022; received in revised form 10 June 2022; accepted 25 July 2022)

### ABSTRACT

We developed a prototype from the design of a trim, which is the most important in the localization development of a 1500 lb high-differential pressure-control valve used for boiler feedwater, and measured the flow coefficient, the most basic design data for valves. The following conclusions were drawn.

The comparison of the design values of the flow coefficients for the existing X-trim and the multicore trim designed for localization development showed that they were almost identical, and the X-trim value was slightly lower. The comparison of the X-trim and multicore trim based on the valve flow coefficient test showed that they were generally similar, indicating no problem with the design. In the future, we plan to compare and analyze the flow paths for the X-trim and multicore trim via flow analysis.

**Keywords** : High-Pressure Drop Control Valve(고차압제어밸브), Valve Flow Coefficient(밸브 유량계수), Valve Trim(밸브트림)

### 1. 서 론

현재 국·내외 고차압 밸브는 화력발전소, 복합화력 발전소 및 원자력 발전소 등 고온고압 유체를 제어하는 밸브를 말하며, 제어밸브 전·후단에 압력차가 높게

발생할 경우 제어밸브 동작 시 높은 구동력이 필요하기 때문에 미세유량 조절(5% 이내)이 어려우며, 무거운 구동기와 높은 시팅 포스 때문에 배관 및 밸브 바디에 손상을 유발시킬 수 있다. 특히, 제어밸브 시트 링과 플러그 사이를 통과하는 유체가 높은 차압으로 인하여 매우 빠른 유체 속도로 통과하며, 캐비테이션, 플래싱 및 스팀 커팅 현상이 발생하여 유체 누설 및 제어밸브 손상을 유발시킨다. 이러한 문제점들은 계통에 운전

# Corresponding Author : leecw@gnu.ac.kr

Tel : 82-55-772-3643, Fax : 82-55-772-3649



Fig. 1 Control valve cage and plug damage

신뢰성 및 효율성을 저하시키고, 정비 및 운영에 대한 경제성을 저해한다.

국외의 경우, 1970년부터 굴곡 유로를 이용하여 유체 저항계수를 증가시켜 높은 차압을 안전하게 감압하고 구동기 출력을 감소시켜 연구 및 제품을 개발해 국내 화력발전소 및 원자력발전소에도 고온고압 계통에 유체를 제어하기 위하여 많이 설치되어 현재 운전 중에 있다.

국내의 경우 1970년~1980년부터 국외 기술을 벤치마킹하거나 독자적으로 기술을 개발하려고 노력하였으나 국외 제품보다 성능이 낮거나 실패하였고, 현재는 국외 기업 제품이 국내 발전소 고온고압 계통의 유량 제어밸브는 대부분 국외 제품이 설치되어 운전 중에 있어서 국내 독자적인 기술개발이 매우 필요하다고 생각한다.

현재 고차압 Trim 설계 및 제작기술 부족으로 Fig. 1과 같이 시트 링과 플러그가 높은 차압과 작동유체의 빠른 속도로 인해 캐비테이션 및 플래싱이 발생하여 손상되는 사례가 많이 발생하고 있다.

따라서, 국산화 개발을 위해 고차압 밸브 Trim에 대한 개발을 위해 상하/좌우 3D 입체 유로를 가지고 있는 단위 모듈 Trim을 2개 이상 조합으로 Multi Core Trim을 적용할 경우 밸브 유량계수에 대하여 실험을 통해 기초적인 설계자료를 확보하고자 한다.

## 2. 밸브 설계 및 제작

### 2.1 유량계수 및 설계

제어밸브의 용량 선정은 제어밸브 기술기준인 ISA75-01에 따라 결정하여야 한다. ISA 75-01은 제어밸브의 유량계수 및 성능시험을 규정하고 있으며, 제어밸브 손상을 방지하기 위하여 유체 속도에 대한 기준을 기술하고 있다. 따라서, 고차압 제어밸브 Multi Core Time의 크기는 ISA 75-01에 따라 유량계수 및 유체 특성이 설계되어야 한다. 식 (1)은 ISA 75-01의 비압축성 유체에 대한 유량계수 산출식을 보여주고 있다.

$$Cv = \frac{W}{N_6 F_p Y \sqrt{x P_1 \rho_1}} \quad (1)$$

여기서  $Cv$ 는 유량계수,  $W$ 는 질량유량,  $N_6$ 는 단위보정계수,  $F_p$ 는 배관형상계수,  $Y$ 는 유체팽창계수,  $x$ 는 전안압력과 차압의 비,  $P_1$ 은 유체밀도,  $\rho_1$ 은 밸브 전단압력을 나타낸다.

식 (1)에서 보듯이 유량계수는 차압에 반비례하고, 유량에 비례하며, 밀도와 배관 형상 계수에 따라 달라진다. 여기서, 유체에 대한 손상을 방지하고, 유량계수를 보존하기 위해서는 차압으로 발생하는 유체 속도를 감소시키면서 유체를 통과하는 면적으로 증가시키는 방법으로 6인치 밸브에 대한 Trim을 설계하였다.

ISA 75-01에서 제시한 제어밸브 바디 및 부품의 유체 침식을 방지하기 위한 유체 속도 및 운동에너지 기준에서 유체가 단상 유체일 때 제어밸브를 통과하는 유체속도는 30m/s 이내에서 통과되어야 하며, 캐비테이션과 상변화를 방지하기 위해 23m/s 이하로 제어밸브를 통과되어야 한다.

Multi Core Trim의 유량계수는 6개 Core를 사용하고, 각 Core에 적층되는 디스크는 총 30단으로 선정되었다. 이때 유체를 통과하는 홀은 사각 홀로 가로 7.5mm 및 높이 3mm 크기로 총 통과면적은 100% 개도율일 때 4,050mm<sup>2</sup>이다.

표 1은 기존 X-Trim 성능과 개발품인 Multi Core Trim 설계 결과를 비교하여 보여주고 있다. 이때 총

Table 1 Comparison of design data

Review item	X-Trim	Multi Core Trim
Cv	66.29	68.24

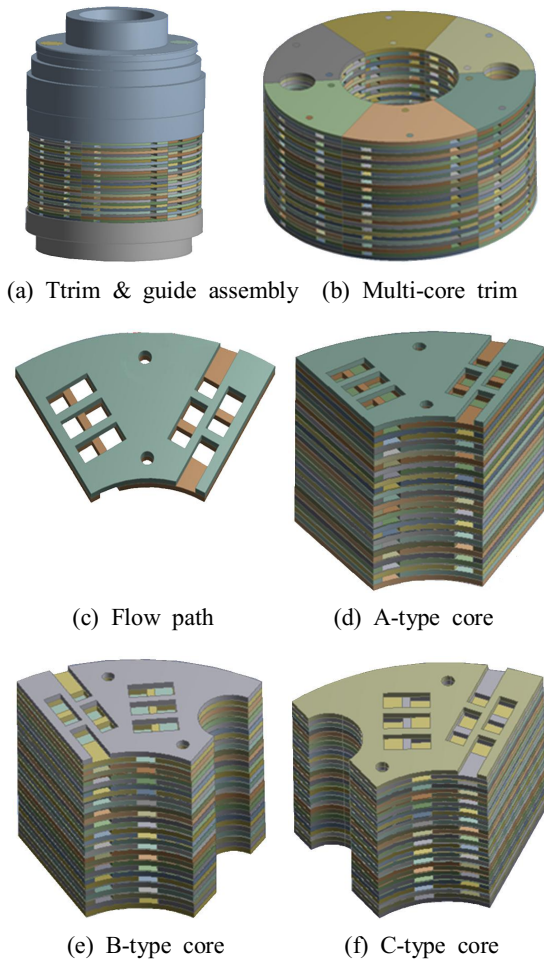


Fig. 2 Configurations of internal multi-core trim

유량계수  $C_v$ 값은 68.24로 기존 X-Trim이 가지고 있는  $C_v$ 값 66.29수보다 다소 높게 산출되었다.

Fig. 2는 시제품 설계에서 Multi-core trim 및 Guide부 조립체와 Multi-core trim 내부 형상을 나타낸 것이다. Trim 내부 유로는 2개의 다른 홀이 가공된 부채꼴 평판이 겹치면서 3D 유로를 형성하도록 설계하여 제작하였다. Trim 외부에서 각 단의 사각형 유로로 유입되는 유체는 좌우 및 상하로 유동하면서 Trim 내부를 통과하여 유체 속도 및 압력이 감소할 수 있도록 설계되었고, 그림과 같이 3가지 형태로 Core Trim이 제작되었다. A 형태를 기본으로 좌우 대칭인 B와 C 형태로 구분된다.

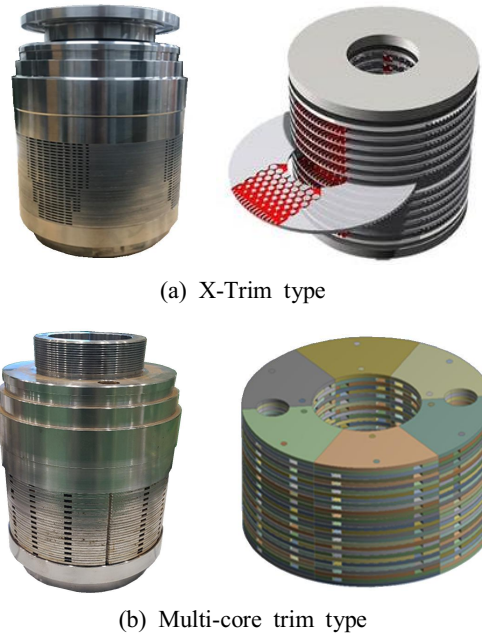


Fig. 3 Comparison of experimental valves according to trim type

## 2.2 시제품 Multi Core Trim 제작

기본설계 및 상세설계를 수행한 후 Trim 설계에 대한 유량계수 특성을 분석하기 위하여 시제품을 Fig. 3와 같이 제작하였다. Multi-core trim 격판 가공은 레이저 커팅으로 가공하였으며, 후처리를 통하여 격판에 대한 정밀도를 높였다. 가공 후, 각 격판은 Brazing 기법을 이용하여 접합하였으며, M24 볼트를 이용하여 Trim을 조립하였다.

본 연구에 사용된 시제품은 Trim에 대한 유량 특성을 분석하기 위하여 제작된 것으로 Trim 재질은 STS 304를 사용하였으며, 6개 Core로 분할하지는 않았다. 추후 고온 고압에 대한 작동 성능시험을 수행할 때 6개 Core로 분할 가공을 수행할 것이며, 표면 코팅 적용 및 인코넬 계열이 적용된 Trim을 2차로 제작하여 시험할 계획이다. 이때 각 Core는 와이어 커팅 방식을 이용하여 최대한 정밀하게 분할할 예정이다.

## 3. 밸브 유량계수 시험

### 3.1 실험방법

본 연구개발 시제품의 성능시험은 ISA 75-01에 따라 수행하였고, 이를 위해서는 유량계수 시험설비를 기술기준에 설계하여 제작하였다. 유량계수 시험장치는 약 10m<sup>3</sup> 체적을 가지고 있는 사각 수조에 인라인 펌프가 장착되어 순환시키는 시스템으로 시험설비를 구성하였다.

배관 사이즈는 10인치, 6인치 및 4인치 배관으로 구성되어 있고, 시제품의 제어밸브 크기는 6인치 1500lb이지만, 시제품 개발 전 Multi-core trim의 홀형상과 단수 및 굴곡 형상에 대한 정확한 실증 시험을 위하여 다양한 배관 사이즈로 구성하였다.

순환 펌프는 최대 150m<sup>3</sup>/h에 유량이 흐르도록 원심 펌프로 선정하였다. 인라인 펌프는 배관 중심과 동일하게 연결되어 별도의 유량 및 압력 손실이 없고, 펌프 맥동이 거의 없기 때문에 유량과 압력 측정에 용이하다.

Fig. 4는 본 연구에서 밸브의 유량계수를 측정하기 위하여 제작된 밸브 유량계수 성능시험 장치와 제어 화면을 나타내고 있다. 이동식 노트북을 이용하여 시험장치를 제어할 수 있으며, 숫자 또는 마우스 클릭을 이용하여 계통에 유량과 시험장치의 주요 기계를 제어할 수 있다. 고온·고압의 시험 유체 형성은 설정된 압력과 온도에 따라 시험장치 온전원이 별도 조작 없이 자동으로 온도·압력을 제어하기 때문에 위험한 시험에서 안전적으로 시험장치를 운전할 수 있다.



Fig. 4 Photograph of test equipment for measuring valve flow coefficient(Cv)

Table 2 Comparison of X-Trim and Multi-Core Trim data at valve opening ratio 100%

No.	Q (m <sup>3</sup> /hr)		ΔP (Bar)		Cv	
	X-Trim	Multi	X-Trim	Multi	X-Trim	Multi
1	44.33	44.14	0.72	0.72	60.41	60.14
2	44.28	44.73	0.72	0.72	60.17	60.94
3	44.47	44.29	0.72	0.72	60.57	60.34
4	44.29	44.26	0.72	0.72	60.32	60.30
5	44.54	44.75	0.72	0.73	60.72	60.55

### 3.2 실험결과

표 2는 밸브 개도율 100%일 때 X-Trim과 Multi-Core Trim에 대한 유량계수 시험을 총 5회 실시한 결과를 보여주고 있다. X-Trim의 경우 총 5회를 수행한 결과 유량계수는 평균 60.44로 확인할 수 있었다.

또한, Multi-Core Trim의 경우 유량계수는 평균 60.45로 확인할 수 있었다. Trim 기본설계 단계에서 제어밸브 데이터 시트를 이용하여 산출한 유량계수인 Table 1과 비교하면 X-Trim의 경우 약 6 정도 낮았고, Multi-Core Trim의 경우 약 8정도 낮은 결과를 확인할 수 있었다. 이는 시험장치에 대한 저항계수와 제어밸브 바디 형상에 대한 저항계수가 포함되었기 때문에 실험결과에서 다소 낮은 유량계수가 측정된 것으로 판단된다.

기준에 적용되는 X-Trim의 결과와 매우 유사한 유량계수를 확보함에 따라 Multi Core Trim 설계는 문제없는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 X-Trim과 Multi-Core Trim의 유량계수 곡선시험 결과를 보여주고 있다. 유량계수 특성 곡선 시험을 비교한 결과 X-Trim과 Multi-Core Trim은 거의 유사한 기울기를 가지는 유량계수 특성을 보인다. 초기 40% 개도율까지는 X-Trim의 유량계수가 다소 낮게 산출되며, 개도율 60% 이상에서는 X-Trim이 Multi-Core Trim보다 다소 높게 산출된다. 이러한 이유는 개도율에 따라 Trim으로 유입되는 면적 차이가 발생하기 때문이다. 그러나, X-Trim은 Fig. 6에서 보는 것과 같이 저 개도율 20%에서 부터 유량이 많이 증가하는 것을 볼 수 있으며, Multi Core Trim은 선형적으로 증가하는 것을 확인

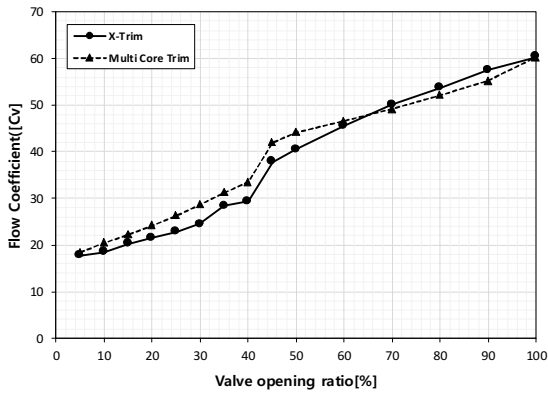


Fig. 5 Result of valve flow coefficient according to trim types

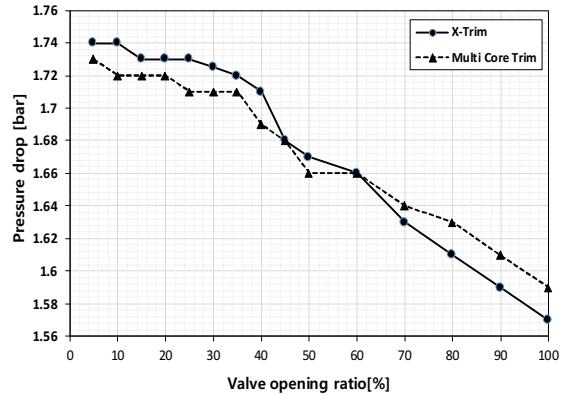


Fig. 7 Result of valve flow pressure drop according to trim types

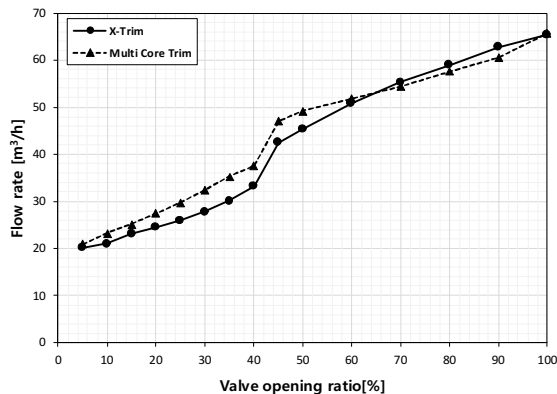


Fig. 6 Result of valve flow rate according to trim types

할 수 있다. 저 개도율에서 유량을 선형적으로 제어하기 위해서는 Multi Core Trim을 적용하는 것이 더 좋을 것으로 판단된다.

Fig. 7은 X-Trim과 Multi-Core Trim의 압력강하 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 전반적으로 밸브 개도율이 증함에 따라 압력강하가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 기존에 적용되는 X-Trim과 비교할 때 Multi-core Trim의 경우 밸브 개도율 40%까지는 압력강하가 낮게 나타났고, 이후에는 다소 높게 나타났지만 압력강하 곡선이 X-Trim에 비해 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, X-Trim에 비해 유량제어가 다소 유리할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

보일러용 급수용으로 사용되는 1500lb용 고차압 제어밸브에 대한 국산화 개발에서 가장 중요한 Trim에 대한 설계를 통해 시제품을 제작하여 밸브에서 가장 기초적인 설계 데이터인 유량계수를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

기존 X-Trim에 대한 유량계수 설계 값과 국산화 개발을 위해 설계된 Multi-Core Trim의 유량계수 설계 값을 비교한 결과 거의 동일하게 나타났고, X-Trim이 다소 낮게 나타났다.

밸브 유량계수 시험을 통해 X-Trim과 Multi-Core Trim을 비교한 결과 전반적으로 유사한 결과를 보여 줌에 따라 설계에 문제없는 것으로 나타났다.

향후 유동해석을 통해 X-Trim과 Multi-Core Trim에 대한 유로를 비교분석할 예정이다.

## REFERENCES

1. Kang, C. W., Yi, C. S., Jang, S. M., Lee, C. W., "A Study of the Measurement of the Flow Coefficient Cv of a Ball Valve for Instrumentation", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18 No. 3, pp. 103~108, 2019.
2. Byeon, J. U., Kim, C. H., Park, S. H., Lee, M. W., Kang, M. C., "Effects of Flow Rate and Discharge Pressure with Compressing Spring in Non-diaphragm

- Type Stem of Water Pressure Reducing Valve”,  
Journal of the Korean Society of Manufacturing  
Process Engineers, Vol. 18, No. 5, pp. 103~109,  
2019.
3. Kang, C. W., Yi, C. S., Lee, C. W., “Experiment and  
Flow Analysis of the Flow Coefficient Cv of a 1 inch  
Ball Valve for a Thermal Power Plant”, Journal of  
the Korean Society of Manufacturing Process  
Engineers, Vol. 18, No. 3, pp. 109~115, 2019.
  4. Jeong, H. S., Nam, J. W., "Experimental Analysis of  
the Static and Dynamic Characteristics for a Pilot  
Proportional Pressure Control Valve" Proceedings of  
KSPE Autumn Conference, Vol. 8, No. 4, pp. 9-16,  
2011.
  5. Lee, J. H. and Sung, J. K., "A Comparative Study  
on the Improvement of the Performance of Swivel  
Valve Tube Couplers," Journal of Korean Society of  
Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 5, pp.  
20-27, 2010.
  6. Kim, J. W., "Safety Estimation of High Pressure Drop  
Control Valve for Offshore Structures", Journal of the  
Korean Society of Manufacturing Process Engineers,  
Vol. 20, No. 5, pp. 553-558, 2011.
  7. Ahn, Y. J., Kim, B. J. and Shin, B. R., “Numerical  
Analysis on Flow Characteristics of High Pressure  
Drop Control Valve with Anti-Cavitation Trim,”  
Journal of Fluid Machinery, Vol. 10, No. 4, pp.  
61-70, 2007.
  8. Kwak, K. M., Cho, J. S., Kim, J. D. and Lee, J. H.,  
"A Study on Flow Coefficient and Flow  
Characteristics for Butterfly Valve by Numerical  
Analysis," Journal of Korean Society of  
Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp.  
62-65, 2012.
  9. Park, S. W., Choi, I. S., Noh, K. C., Ryu, S. P. and  
Yoon, K. S., "An Experimental Study on  
Measurement of Flow Coefficient Using the  
Steady-Flow Test Rig," Journal of the Korean Society  
of Marine Engineering, Vol. 36, No. 4, pp. 423-429,  
2012.