

Y 스트레이너형 자동 정유량 조절 밸브의 개발

윤준용* · 권우철**

Development of Y Strainer Type Automatic Flow Rate Regulating Valve

Joon-yong Yoon*, Woo Chul Kwon**

KeyWords : Automatic flow rate regulating valve(자동정유량조절밸브), Constant flow rate(정유량), Differential pressure(차압), Strainer(스트레이너, 여과기), CFD(전산유체역학)

ABSTRACT

An 'Y' strainer type automatic flow rate regulating valve, which functions are to remove impurities from hot water inside the pipe and to maintain a constant flow rate regardless of variations of the differential pressure between valve inlet and outlet at the same time, is developed for distributing hot water equally to several pipes with district heating or central heating system. Numerical analysis of the three dimensional turbulent flow field in a valve shape is carried out to confirm the flow field whether the designed regulator shape is acceptable or not. The final developed valve improves installation time and cost and maintenance ability comparing with set-up 'Y' strainer and regulator separately. Tolerance for the nominal flow rate is also satisfied within $\pm 5\%$.

1. 서론

현재 산업현장에서는 유량을 효과적으로 제어하기 위해 여러 종류의 자동 제어 밸브들이 사용되고 있다. 그 중 자동 정유량 조절 밸브는 Fig. 1과 같이 현행 지역·중앙 난방지구의 아파트에서 각 세대별로 균등한 난방수가 공급될 수 있도록 하는 밸브이다. 이와 같은 기능을 하는 세대별 자동 정유량 조절 밸브는 현재 다이어프램(diaphragm)방식과 피스톤(piston)방식이 상용화되어 사용되고 있다. 전자의 방식은 다이어프램 상하부의

압력 균형을 맞추는 방식으로 유량을 제어하고, 후자의 방법은 밸브 전·후의 압력차의 변동에 따라 스프링에 연결된 카트리지의 개구 면적이 자동으로 조절되어 유량을 제어하는 방식이다. 후자의 방식을 카트리지(cartridge)방식이라고도 한다⁽¹⁾.

기존의 자동 정유량 밸브는 제어 세대 내에 공급되는 난방수의 유량을 일정하게 유지하기 위하여 Fig. 2의 (a)와 같이 온도조절밸브 및 스트레이너를 각각 설치하였으나 설치위치가 대개 썩크대 하부 등 제한된 공간에 온수분배기와 함께 설치되는 관계로 설치 공간 확보의 어려움이 있고 밸브 연결부속과 연결부위가 많은 관계로 연결부위의 누수 등 하자의 발생요인이 많아 유지 및 관리가 불편하였다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여

* 한양대학교 기계정보경영공학부

** 한양대학교 대학원 기계공학과

E-mail: chuls21@hanyang.ac.kr

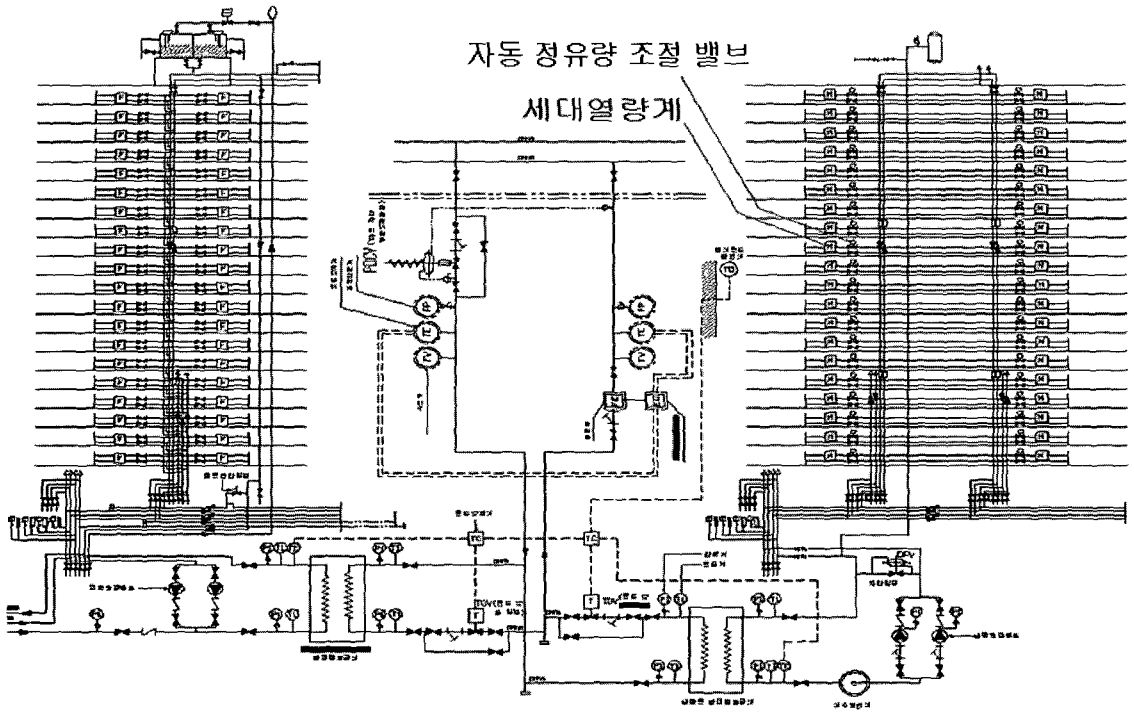


Fig. 1 District heating system for apartments

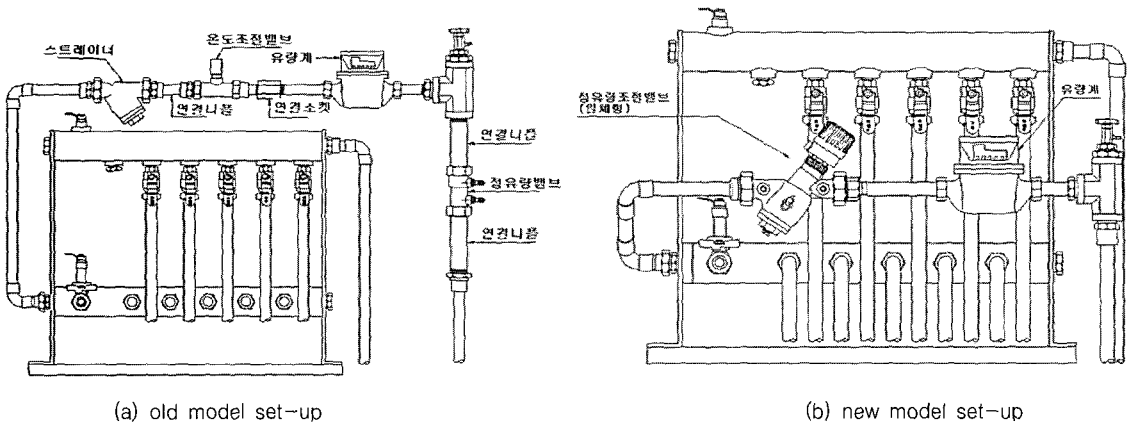


Fig. 2 Comparison between old model set-up and new model set-up

Y형 스트레이너와 카트리지방식의 자동 정유량 조절 밸브를 일체화시킨 밸브를 개발하였으며, 온도조절기 또한 주문자의 요구에 따라 정유량 조절 밸브에 탈부착이 가능한 형태로 설계 개발하였다. 기존의 각각의 밸브들이 하나의 밸브로 일체화시킴으로 인해 발생하는 밸브 소음 및 유량변동정밀도 저하 등을 개선하기 위하여 종래

의 경험적인 방법과 더불어 반복적인 수치해석적인 방법을 밸브 설계에 이용하였다. 개발된 시작품은 유량변동률 시험, 내구성 시험 및 내압시험 등을 통하여 개발 제품의 성능을 확인하였으며, CFD해석을 통하여 유동장을 해석하였다.

개발한 밸브는 난방용 자동 정유량 조절 밸브의 유량

변동률을 기준치인 설정유량 대비 $\pm 5.0\%$ 를 만족하였으며 내구성 시험을 실시하여 제품의 수명과 수명기간동안의 성능에 대한 신뢰도를 확보하였다.

2. 개발 제품 개요

개발 제품은 30평 이하 소형 아파트의 설치공간 제한 및 유지보수의 불편함, 연결부위에서의 누수문제와 경제성 등을 위하여 자동 정유량 조절밸브와 밸브를 보호하고 관내의 이물질질을 제거하기 위한 스트레이너를 일체화시켜 개발한 제품이다.

개발된 밸브의 구조는 Fig. 3과 같으며 사양은 Table 1과 같다.

2.1. 기존 제품과의 비교

기존 제품의 경우 Fig. 4에서 보는 바와 같이 스트레이너와 정유량 조절 밸브를 각각 설치하는 방식이다. 앞서 설명한 것처럼 스트레이너와 정유량 조절 밸브를 각각 설치하므로 인하여 설치비용 및 설치공간과 시공시간이 많이 필요하고, Fig. 2의 (a)에서 보는 것처럼 연결부위가 많아 누수발생의 원인이 되었다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 Fig. 5와 같이 기존의 일자형의 자동 정유량 조절 밸브에 스크린 (여과망)을 설치하여 스트레이너의 기능을 겸한 제품을 개발하였으나, 스트레이너의 기능을 하는 스크린에 걸러진 불순물이 난방수의 흐름을 방해하여 작동 불량에의 원인을 제공하였으며 또한 작동불량에 의한 밸브 보수 시 밸브 양쪽의 연결부위를 모두 해체하여야 하는 불편함이 있었다.

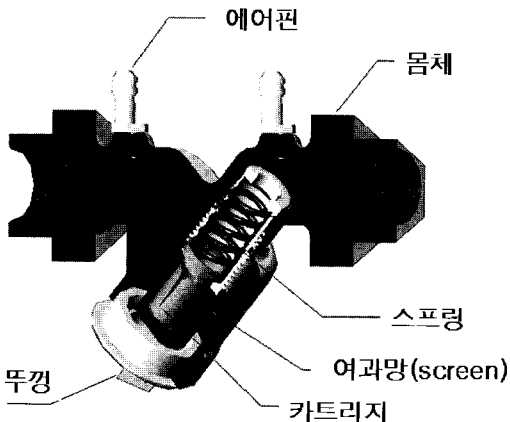


Fig. 3 Schematic of the developed valve

Table 1 Specification of the developed valve

구분	내용
사용 유 체	냉·온수
사용 압 력	최대 0.98 MPa(10 kgf/cm ²)
사용 온 도	160 ℃이하
작동차압범위	0.03~0.245 MPa(0.3~2.5 kgf/cm ²)
접 속 방 식	UNION TYPE(FEMALE)

개발된 제품의 경우 Fig. 3과 같이 기존의 스트레이너와 자동 정유량 조절 밸브를 일체화 시킨 제품으로서 스크린에 걸러진 불순물은 밸브의 아랫부분에 침전되어 난방수의 흐름에 영향을 적게 미치게 된다. 작동 불량 시에도 밸브 몸통의 뚜껑만 열어서 밸브의 보수가 가능하도록 설계하였다.

2.2. 작동 원리

Figure 6과 같이 밸브 전·후의 압력차의 변동에 따라 스프링이 움직여 카트리지의 개구 면적이 자동으로 조절되어 일정한 유량을 자동적으로 제어한다.

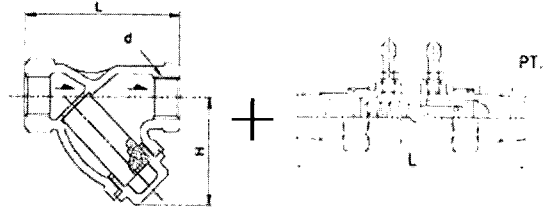


Fig. 4 Old model (strainer and regulating valves separately)

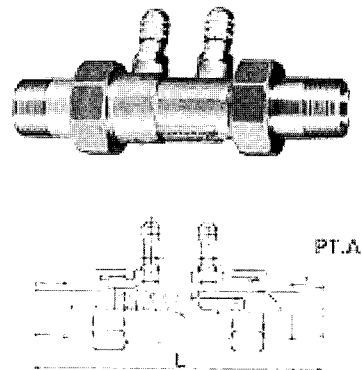


Fig. 5 Strait type with strainer

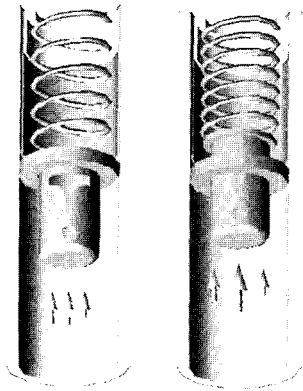


Fig. 6 Working principle

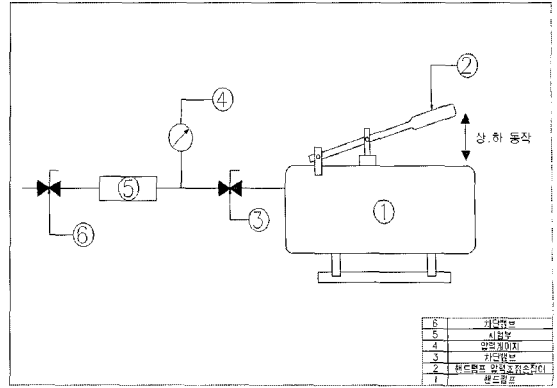


Fig. 8 Schematic diagram of internal pressure test

3. 성능 시험 및 수치 해석

3.1. 성능 시험

3.1.1. 유량변동률 시험

설정유량 범위 내에서 사용유량을 설정한 후 차압을 0.03 MPa (0.3 kg/cm²)에서 0.245 MPa (2.5 kg/cm²)까지 변화시키면서 유량을 측정한다⁽²⁾. 시험 장치 및 시험 라인은 Fig. 7과 같다.

3.1.2. 내압 시험

밸브의 2차측 (출구측)을 막은 후 1차측 (입구측)에서 2.35 MPa (24 kg/cm²)의 수압을 10분간 가하였을 때, 변형 및 외부로의 물 누설을 검사한다⁽²⁾. 이 때 변형 및 누설이 없어야 정상이다. 시험 장치 및 시험 라인은 Fig. 8과 같다.

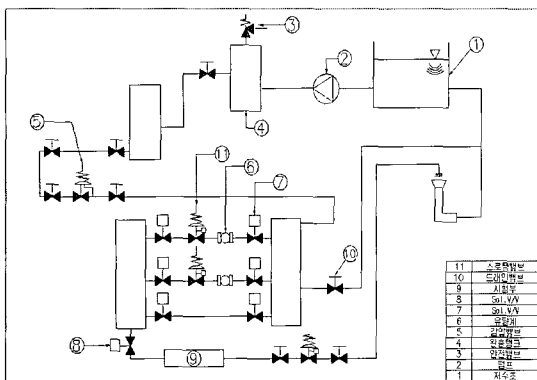


Fig. 7 Schematic diagram of flow rate variation test

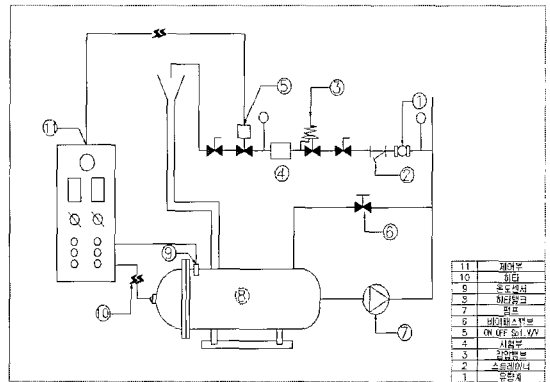


Fig. 9 Schematic diagram of durability test

3.1.3. 내구성 시험

사용유체를 60±5 °C의 물로 하여 최대 작동 차압인 0.245 MPa의 수압으로 공급, 차단을 10만회 반복한 후, 유량변동률 시험 및 내압시험을 실시하여 기준치를 만족하여야 한다. 시험 장치 및 시험 라인은 Fig. 9와 같다.

3.2. 수치 해석

본 연구에서 해석하고자 하는 밸브의 개략도는 Fig. 10과 같다. 밸브 직경은 20 mm, 길이 (L)는 160 mm, 높이 (H)는 70 mm이다.

난류모델로는 공학해석에서 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 표준 k-ε 난류모델을 사용하였으며 속도보정을 위해 SIMPLEC 알고리즘을 사용하였다. 유동장의 해석은 정상상태 및 비압축성 유체로 가정하고 수치해석을 수행하였으며 밸브의 작동차압범위가 0.245 MPa로

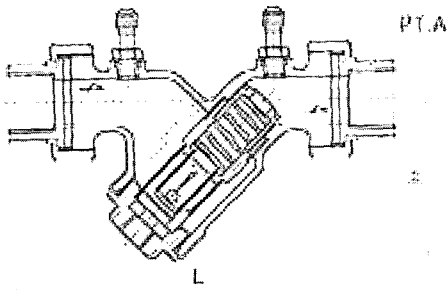


Fig. 10 Schematic diagram of the valve for numerical simulation

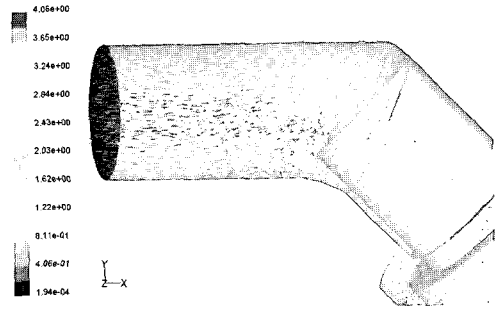


Fig. 13 Velocity vectors at outlet (m/s)

크지 않아 공동현상 (cavitation)은 고려하지 않았다⁽³⁾. 사용 코드는 상용해석프로그램인 Fluent 6.0을 사용하였다.

4. 결과

4.1. 수치해석 결과

최종적으로 설계된 밸브를 실제 시작품으로 제작하기 전 수치해석을 이용한 유동장 해석을 수행하여 밸브

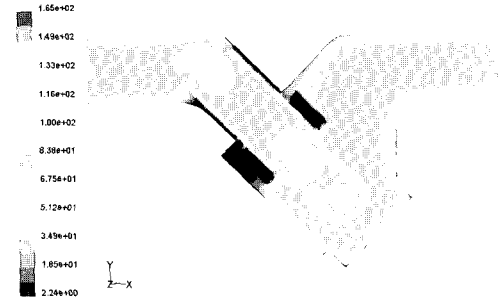


Fig. 14 Contours of turbulence intensity (%)

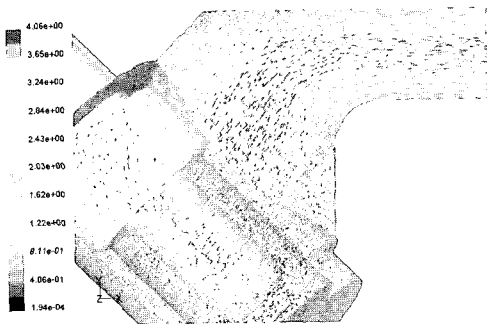


Fig. 11 Velocity vectors at inlet zone (m/s)

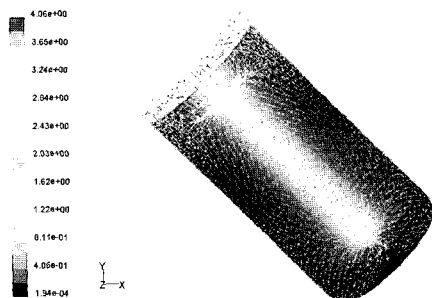


Fig. 12 Velocity vectors at cartridge (m/s)

작동을 위한 문제점을 파악하고자 하였다.

Figure 4에서 보는 것과 같이 기존의 스트레이너는 물의 흐름방향으로 몸통이 기울어져 있으나 이와 같은 방향을 밸브에 적용할 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 차압에 의하여 카트리지가 받는 힘이 스프링으로 정확히 전달하기가 어려워져 Fig. 10처럼 물의 흐름과 반대 방향으로 밸브 몸통이 기울어지게 하였다.

수치해석의 결과를 Figs. 11~14에 나타내었다. 유동장 해석을 통하여 밸브의 몸통 기울기 변화로 발생할 수 있는 유동장의 문제점을 관찰하였으며, 밸브의 유동소음과 밀접한 관계가 있는 난류강도를 확인하였다^{(4),(5)}.

결과에서 보는 것과 같이 밸브의 작동에 문제가 될 부분이나 과도한 난류강도를 나타내는 영역이 발생하지 않아 설계 밸브를 시작품으로 제작하였다.

4.2. 성능 시험 결과

자동 정유량 조절 밸브의 주요 성능인 유량변동을 시험과 내압시험을 실시하였으며, 밸브가 주어진 조건 (사용, 환경조건)하에서 고장 없이 일정기간 (시간, 거리, 사이클 등) 동안 최초의 품질 및 성능을 유지하는 신뢰성을

Table 2 Results of flow rate variation test

차압 (MPa)	유량 (m ³ /h)	유량변동률 (%)
0.03	0.359	-1.75
0.04	0.362	-0.93
0.06	0.363	-0.66
0.08	0.361	-1.20
0.10	0.360	-1.48
0.12	0.361	-1.20
0.14	0.372	1.81
0.16	0.370	1.26
0.18	0.372	1.81
0.20	0.373	2.08
0.22	0.372	1.81
0.245	0.368	0.71
설정 유량 : 0.3654 m ³ /h		

확보하기 위하여 내구성 시험을 실시하였다. 위의 성능 시험 외에도 제품의 선택에 중요한 요소가 되는 실제 현장에서의 설치 공간, 설치 시간, 유지 및 보수성, 설치비용 등에 대하여 기존제품과 개발제품을 비교분석하였다.

Table 2는 유량변동률 시험의 결과이다. 설정유량 0.3654 m³/h (6.09 LPM)에 대한 최대 유량변동률은 2.08%로 일반적인 주택 난방용 자동 정유량 조절 밸브의 기준치인 ±5.0%를 만족하였다. 이와 같은 결과는 밸브 유로의 합리적인 설계로 인하여 유동장애 의한 카르티지의 떨림을 감소시켰기 때문으로 판단되어진다.

Table 3 Results of flow rate variation test after durability test

차압 (MPa)	유량 (m ³ /h)	유량변동률 (%)
0.03	0.369	0.99
0.04	0.374	2.35
0.06	0.376	2.90
0.08	0.376	2.90
0.10	0.377	3.17
0.12	0.379	3.72
0.14	0.377	3.17
0.16	0.375	2.63
0.18	0.378	3.45
0.20	0.379	3.72
0.22	0.379	3.72
0.245	0.375	2.63
설정 유량 : 0.3654 m ³ /h		

Table 4 Comparison between new product and old product

항 목	개발 제품	기존 제품	
구 성	스트레이너, 자동정유량 조절밸브의 일체형 밸브	스트레이너, 자동정유량 조절밸브 각각 설치	
시 공 성	설치 공간	전장 약 25 cm	전장 약 50 cm 이상
	작업 시간	한 개의 제품으로 설치 가능 (숙련공 기준 10분)	연결부속이 많아 작업 시간이 많이 걸림 (숙련공 기준 20분)
	연결부 위누수	연결부위가 적어 누수발 생빈도가 적음	연결부위가 많아 누수 빈도가 높음
경 제 성	일체형으로 설치비용 절감 60천원(밸브) + 5천원(공임) = 65천원	각각의 밸브를 설치함 으로 설치비용 증가 80천원(스트레이너와 밸브) + 10천원(공임) = 90천원	

밸브의 내압시험을 수행한 결과 밸브 몸체 및 연결부에서의 누설이 없었으며 변형도 발생하지 않았다.

Table 3은 내구성 시험 후 실시한 유량변동률 시험 결과이다. 최대작동차압에서 10만회 개폐를 반복한 후 측정된 결과이며 내구성 시험 전의 결과보다 다소 높게 나왔으나 기준치인 ±5%를 만족하였다. 내구성 시험 후 실시한 내압시험에서도 물의 누설 및 밸브의 변형이 발생하지 않았다.

실제 밸브의 사용에는 위의 성능 평가 결과 외에 시공성, 유지보수성 및 비용 등이 고려되어진다. Table 4는 기존 밸브와 개발 밸브에 대하여 위의 사항들을 비교하였다. 설치공간의 경우 개발 밸브가 기존 스트레이너와 밸브를 각각 설치하던 방식에 비하여 약 50% 정도 줄었으며, 설치에 필요한 작업시간도 약 50% 정도 줄었고, 또한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 연결부위가 줄어들어 누수의 발생 빈도의 확률을 감소시켰다. 밸브의 성능 못지않게 중요하게 고려되는 설치비용은 밸브의 가격 및 인건비를 포함하여 약 25% 정도 감소시켰다.

5. 결 론

최근 밸브 개발의 경향 중 하나는 여러 밸브의 기능을 통합한 일체형 밸브의 개발이다. 본 연구에서는 난방용으로 주로 사용되는 자동 정유량 조절 밸브에 스트레이너 기능을 통합하여 스트레이너 일체형 자동 정유량 조절 밸브를 개발하였으며 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 개발제품은 지역·중앙 난방지구 아파트의 각 세대
대에 균등한 물을 공급하는 정유량 조절밸브로서,
밸브를 보호하고 관내의 이물질들을 제거하는 스트
레이너 기능을 일체화시켜 개발하였다.
- 2) 밸브의 제작 설계 시 수치적 방법에 의한 유동장
해석을 수행함으로써 시작품 제작비용 절감 및 밸
브 유동장 개선을 통해 밸브의 성능 향상에 기여
함을 알 수 있었다.
- 3) 개발 밸브의 유량변동률 시험, 내압 시험 및 내구
성 시험을 실시하였으며 모든 항목에서 기준치를
만족하였다. 특히 내구성 시험을 실시함으로써 밸
브 수명기간 동안의 품질 및 성능의 신뢰성을 확
보하였다.
- 4) 기존 스트레이너와 자동 정유량 조절 밸브를 각각
설치하던 방식에 비해 작은 공간에서도 시공이 가
능하고 설치 및 해체가 용이하게 하여 시공성 및
유지보수성을 향상시켰다.

참고문헌

- (1) 권우철, 이병휘, 2004, “Y형 세대별 정유량 밸브
개발에서의 CFD의 활용,” 유체기계공업학회 2004
유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 488~491.
- (2) 한국산업규격, “KS B 2304 - 밸브의 검사 통칙,”
한국표준협회.
- (3) 윤준용, 변성준, 양재모, 이도형, 2001, “고차압 제
어용 글로브 밸브 트림 내부의 3차원 유동장 해
석,” 유체기계저널, 제4권 제3호, pp. 14~20.
- (4) 고기창, “Control Valve Handbook,” 한국본산
(주), pp. 39~45.
- (5) Philip L. Skousen, “Valve Handbook,” 2nd ed.,
McGraw-Hill, pp. 339~434.