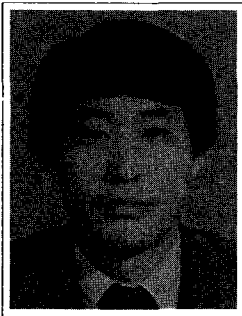


무누출 자기동력 전달장치형 밸브

황 성 태

한국원자력연구소 액체금속로검증시험랩 책임연구원



한국원자력연구소는 95년부터 2년간의 연구 끝에 방사성 물질 및 유독성 가스나 액체, 가연성 물질 등 인체 및 환경에 해로운 유체가 배관 계통 밖으로 새나가지 못하도록 하는 반영구적인 환경공해 방지용 밸브인 자석 밸브를 개발하는 데 성공하였다. 이 밸브는 이른바 무누출 자기 동력 전달 장치형 밸브로 마모될 염려가 없어 유체가 외부로 누출되는 것은 근본적으로 차단할 수 있으며 회전축의 상하 운동은 물론 회전 운동도 가능한 것이 장점이다. 이번의 개발로 원자력발전소 등에서의 배관 사고의 60%를 차지하는 밸브의 결함을 방지할 수 있어 이들 시설의 안전성을 크게 높일 수 있을 뿐만 아니라, 국내 밸브 시장의 5%를 차지하고 있는 벨로우즈 밸브의 수입 대체 효과(4백억 원 정도)를 거둘 것으로 전망된다.

무 누출 자기 동력 밸브는 한국원자력연구소 과제 중 '액체 금속로 개발' 과제를 수행하면서 냉각재로 사용되는 나트륨의 물성과 높은 공정 온도(약 500℃) 때문에 밸브로부터 유체가 누설되는 것을 원천적으로 봉쇄할 필요가 있어서 개발하게 되었다.

왜냐하면 만일 나트륨이 누설되어 대기중의 공기와 접촉하게 되면 화재를 유발하게 되고, 또 나트륨은 물과 접촉하면 폭발하는 특성을 가지고 있기 때문이다.

연구 개발 배경 및 목적

현재 세계적으로 사용되고 있는 누설 방지용 팩크리스(packless) 밸브로는 금속재 다이아후램 밸브와 금속재 벨로우즈 셸 밸브가 있다.

금속재 다이아후램 밸브는 밸브의 스템(축) 운동량이 3~5mm로 매우 제한적인 범위에서만 사용되고, 다이아후램의 피로 현상 등의 문제로 점차 사용이 기피되고 있다.

금속재 벨로우즈를 이용한 벨로우

즈 셸 밸브는 그 기술적 진전이 이루어져, 방사성·유독성 및 인화성 물질 등이 외부로 누출되는 것을 방지하기 위한 최적의 밸브로서 인식되어 있어 날로 사용 빈도 및 수요가 증가되고 있다.

그러나 벨로우즈 셸 밸브는 조작 빈도에 따라 수명의 한계가 있는 것이 단점이며, 또한 벨로우즈 셸의 적용이 글로브 및 게이트 등 스템이 상·하로 움직이는 밸브류에만 가능하고, 볼 밸브, 플러그 또는 버티플라이 밸브처럼 밸브의 유체 제어 방식이 볼(또는 디스크)의 회전 운동에 의할 경우에는 벨로우즈 적용이 공학적으로 불가능해진다.

이는 벨로우즈가 뒤틀림이나 굽힘 모멘트에는 구조적으로 매우 취약하기 때문에, 회전 운동을 이용하여 유체 흐름을 조작하는 종류에는 적용이 불가능하여 아직까지 상품화된 것은 없다.

본 '무누출 자기 동력 전달 장치형 밸브'는 팩크리스 밸브로서 앞에서 언급한 밸브의 치명적 단점인 피로 문제를 근본적으로 해결한 밸브 모델

이고 특히 저온이나 점성이 높은 유체 계통에 적절하며, 벨로우즈나 다이아후램으로 제작할 수 없는 회전 조작형 밸브에 최적의 조건을 갖추고 있는 메커니즘으로서 최초의 반영구적 무누출 밸브이다.

또한 영구 자석의 직경, 두께, 배열 방식 및 자석의 갯수 등에 따라 임의로 토크를 조절할 수 있어 대형 밸브는 물론 다양하게 이용이 가능하며, 특히 방사성·유독성 및 인화성 물질 등의 외부 누설을 방지하여 환경적 측면에서의 기대감도 매우 크다.



무누출 자기 동력 밸브를 실험하고 있는 모습

특성 및 원리

본 밸브는 방사성 물질 및 방사성 폐기물, 유독성 가스나 액체, 가연성 물질 등과 같이 인체 및 환경에 유해한 유체가 계통 외부로 누출되어서는 안되는 물질을 취급하는 산업 시설에 사용하기 위하여 유체를 밀봉체 내에 폐회로화함으로써 완전 무누출을 유지하는 영구 자석의 흡인력을 이용한 밸브로서 그 특징은 다음과 같다.

- 영구 자석을 이용하여 상부 구동 부분과 유체 접촉 부분(하부 구동 부분 포함)이 완전히 분리됨
- 유체 접촉 부분이 완전 밀폐되어 유체가 외부로 전혀 누설되지 않음
- 패킹을 사용하지 않으므로 유지·보수 불필요
- 스텝(축)이 회전 및 수직 방향으

로 움직이는 모든 밸브에 적용 가능

- 영구 자석의 크기 및 배열 방법으로 토크의 세기 조절 가능

따라서 본 밸브는 게이트·글로브 및 볼 밸브 등 모든 밸브에 적용이 가능하며, 고온·고압 및 저온·저압으로도 사용할 수 있고, 특히 방사성·유독성 및 가연성 물질 등과 같은 위해 물질 및 환경 오염 물질의 누설 방지용으로 적합하다.

본 밸브의 구성 및 구조를 간단히 서술하면 다음과 같다.

무누출 자기 동력 전달 장치형 밸브는 크게 나누어 구동 부분과 고정 부분으로 구분된다.

구동 부분으로는 핸들(또는 레버), 상부 영구 자석 홀더, 하부 영구 자석 홀더, 슬리브, 스텝 및 디스크(볼·게

이트·니들·글로브)로 구성되어 있으며, 고정 부분으로는 상부 영구 자석 홀더를 둘러싸고 있는 상부 하우징, 하부 영구 자석 홀더를 둘러싸고 있는 하부 하우징, 본네트 및 밸브 몸체로 구성되어 있다.

구동 부분 중에 핸들·축 및 상부 영구 자석 홀더가 한 몸체이고, 하부 영구 자석 홀더, 슬리브 또는 스텝(볼 밸브의 경우)이 한 몸체이다.

하부 하우징, 본네트 및 밸브 몸체 간의 연결 부분은 모두 용접으로 밀봉되어 있기 때문에 유체는 이 밀봉체 내에서만 존재 가능하고, 상부 하우징과 하부 하우징은 완전히 분리되어 있으며 이들의 연결은 볼트로 체결한다.

상부 하우징과 하부 하우징 내에는 구동 부분인 영구 자석 홀더와 하부

영구 자석 홀더가 회전할 때 마찰을 줄이기 위하여 베어링이 장착되어 있으며, 하부 하우징의 윗면은 상부 영구 자석 홀더와 하부 영구 자석 홀더 간의 분리판 역할을 하므로, 자석에 의한 흡인력을 높이기 위하여 얇은

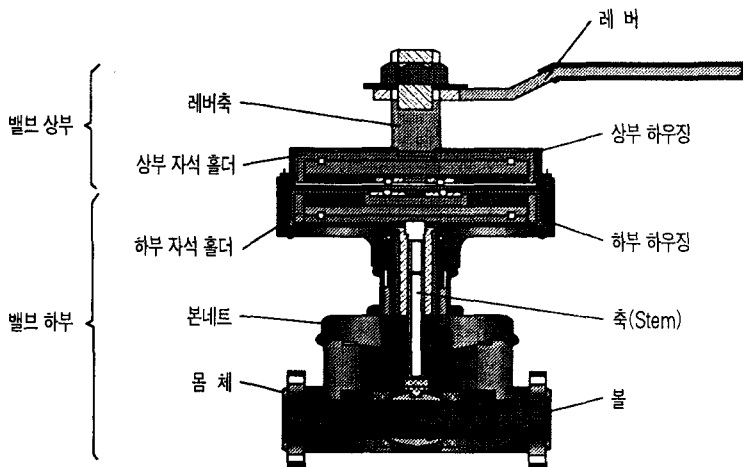
판을 사용하며 그 재질은 비자성체이어야 한다.

본 밸브의 작동 원리는 여러 개의 자석들이 N-S극을 교대로 배열한 자석 홀더를 상하로 마주보게 설치하여 자석의 힘을 배가시켰다.

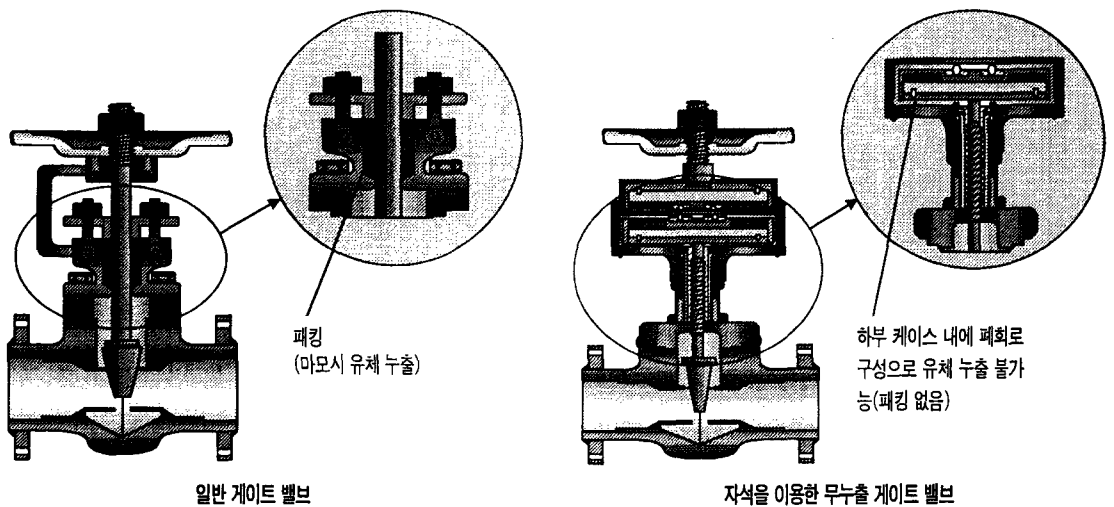
또한 상부 자석 홀더의 자석과 하부 자석 홀더의 자석을 서로 반대극 즉 N-S극 또는 S-N극으로 맞물리게 함으로써 상호 강한 흡인력이 발생하도록 하였다.

그리고 상부 자석 홀더는 밸브를 돌리는 핸들이 부착되어 있고 하부 자석 홀더에는 밸브의 유로를 개폐하는 스템 및 볼 또는 디스크 등과 같은 개폐 장치가 연결되어 있어, 상부의 핸들을 돌리게 되면 이와 연결된 상부 자석 홀더가 회전하게 되고 동시에 자석간의 흡인력에 의하여 하부 자석 홀더, 스템 및 볼 또는 디스크 등도 회전하게 된다.

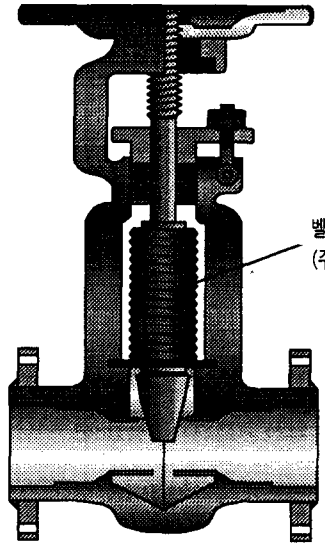
일반적으로 볼 밸브는 개폐 장치인 볼을 90° 회전시킴으로써 유로를 개폐하고, 그의 모든 밸브류는 개폐 장치인 디스크를 상하로 움직이게 함으



(그림 1) 자석 볼 밸브의 주요 명칭

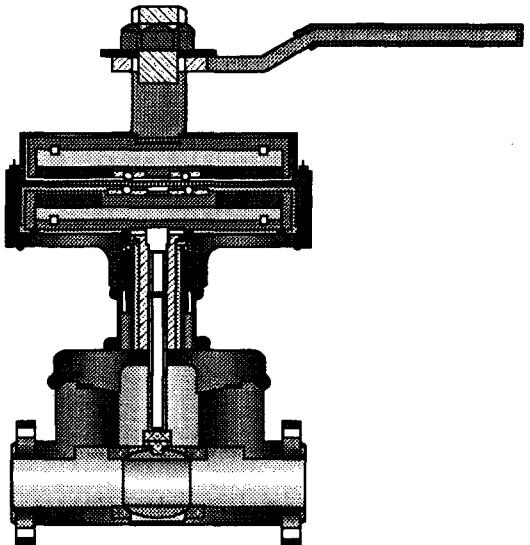


(그림 2) 일반 밸브와 자석 밸브의 누출 가능성 비교



벨로우즈 밸브
(회전축: 수직 운동)

벨로우즈
(주름원동)



무누출 자석 밸브
(회전축: 회전 운동)

〈그림 3〉 무누출 밸브의 비교

〈표〉 밸브의 특성 비교

밸브 종류	일반 밸브	벨로우즈 밸브	무누출 자석 밸브
유체가 닿는 부분	패킹 사용	패킹 사용치 않음	패킹 사용치 않음
Body와 본네프트 연결	가스킷 사용	용접	용접
유체 누출 여부	가능	1차적으로 불가	완전 불가
누출 방지 장치	1차	패킹	상·하 구동 부분 분리(유체의 폐회로 구성)
	2차	-	패킹(벨로우즈가 터질 경우에 대비)
누출 가능성	사용 빈도에 따라 패킹 마모 잦음 → 누출	사용 빈도에 따라 벨로우즈(얇은 주름 박막) 찢어짐 → 2차 패킹 마모 → 누출	누출 안됨
용도	일반적으로 유체가 누출되어도 괜찮은 무해 물질에 사용	유체가 누출되어서는 안되는 유해 물질(방사성·유독성·인화성·폭발성 등)에 사용	유체가 누출되어서는 안되는 유해 물질(방사성·유독성·인화성·폭발성 등)에 사용
유지 보수	패킹 마모시 교체(빈도 잦음)	벨로우즈가 터질 경우나 2차 패킹이 마모할 경우 교체	불필요
사용 가능한 밸브 종류	각종 밸브	게이트·글로브 밸브	각종 밸브
밸브 크기	무제한	2인치 미만	무제한

로써 유로를 차단하거나 열어준다.

그러나 본 밸브의 자력에 의한 작동은 회전 운동(그림 1)을 하므로 계

이트·글로브 및 니들 밸브와 같이 개폐 장치가 상·하로 작동하는 밸브에 대해서는 하부 자석 홀더의 회전

축(스텝)에 기계적인 조작을 첨가하여 회전 운동을 상·하 왕복 운동(그림 2)으로 바꾸어 주는 장치를 부가

함으로써 개폐 장치를 상·하로 작동하도록 하였다.

일반 밸브와 기존의 무누출용 밸브인 벨로우즈 밸브와의 특성을 비교하여 보면, 일반 밸브는 유체가 닿는 구동 부분과 고정 부분 사이에 유체가 새어나오지 못하도록 패킹을 사용하고 있으나, 벨로우즈 및 무누출 자석 밸브에는 패킹을 사용하지 않을 뿐만 아니라 용접함으로써 유체가 외부로 누출되는 것을 근본적으로 방지하고 있다.

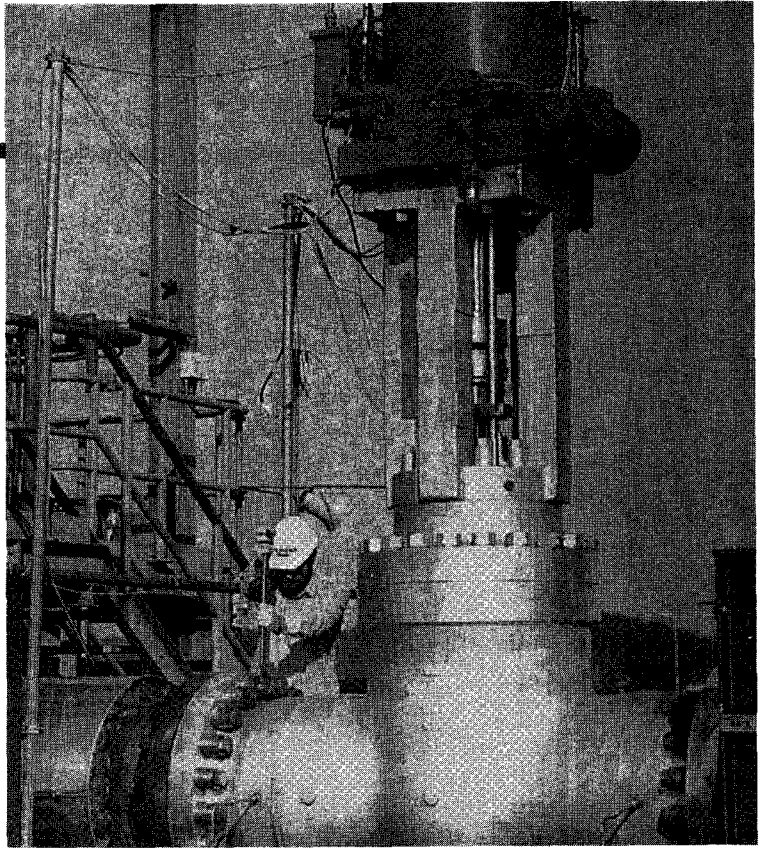
따라서 일반 밸브는 유체의 누출 가능성이 항상 존재하며, 무누출용 밸브인 벨로우즈 밸브도 1차적으로는 불가능하나 사용 빈도에 따라 벨로우즈의 피로 현상으로 인해 찢어져서 유체가 누출될 수도 있다.

그러나 무누출 자석 밸브는 상부 구동 부분이 유체가 닿는 부분과 완전히 분리되어 있기 때문에, 유체가 외부로 누출될 수 없는 것이 특징이다.

이 외의 누출 방지 장치, 용도, 유지·보수 및 밸브의 종류에 대해서는 <그림 3> 및 <표>와 같다.

결론

본 '무누출 자기 동력 전달 장치형 밸브'는 영구 자석에 의한 흡인력으로써 밸브 스템을 작동시키는 밸브로서, 영구 자석 배열 방법에 따른 상·하 자석 뭉치간의 토크가 본 밸브의



원전의 주증기 격리 밸브의 성능 실험 장면(영국의 Sizewell B 원전)

기능면에서 매우 중요하다.

토크의 세기를 최대화하기 위해서 본 연구에서는 자석의 크기, 두께, 배열 방법 및 자석 뭉치 내부 구조 등을 변화시키면서 최적 조건을 도출하고자 하였다.

토크 측정 결과 토크 세기는 자석의 면적에 거의 비례하였으며, 두께에 따라서는 어느 정도 증가하였지만 일정 두께(약 10') 이상에서는 증가하지 않았다.

자석의 직경이 $\phi 30\text{mm}$, 두께가 5'인 경우 극수에 따른 토크의 세기를 측정한 결과 게이트 및 글로브 밸브와 같이 스템 동작이 수직 운동을 하는 밸브에 적용하기에는 부족하여, 이를 해결하기 위해 자기 회전력을 향상시키는 기계적인 실험을 수행하였으며, 그 결과 기어의 비에 따

라 토크의 세기도 비례함을 알 수 있었다.

또한 원자력발전소의 1차 및 2차 수처리 계통에 적용할 경우를 대비하여 자기 동력 장치에 이용된 영구 자석에 대해 감마선 조사 시험을 수행한 결과 100Mrad에서 자속 밀도의 영향은 없는 것으로 나타났으며, 이로써 원자력 산업 분야의 고방사능 취급 시설에도 이용할 수 있음을 확인하였다.

자석은 온도에 매우 민감하여 자석에 전달되는 온도가 80°C가 되면 자력이 약화되기 시작한다.

따라서 액체 금속로의 냉각제인 나트륨과 같이 고온의 유체에 적용하기 위해서는 밸브 몸체와 자석 뭉치가 있는 구동 부분과의 거리를 충분히 하고 그 사이에 있는 extended

bonnet에 방열판(fin)을 장착하여야 한다.

자석 및 방열판에 미치는 온도 영향을 실험한 결과 유체의 온도를 500°C로 하였을 때 방열판의 단수가 2단일 경우 자력이 약해지는 온도(80°C)에 근접하였고, 4단 이상에서는 안전권에 들어갔으나 유체 온도가 400°C 이상에서는 방열판의 단수를 보수적으로 7단 정도로 하는 것이 안전하리라 판단된다.

이 외에도 밸브 디스크의 마찰에 의하여 토크의 세기가 손실되는 것을 최소화하기 위하여 일반적으로 사용되고 있는 게이트 밸브의 디스크 모양을 썸기형에서 평행형(parallel type)으로 개선하였다.

그리고 이에 따른 디스크와 시트간의 밀봉 상태를 유지·보완하기 위하여 디스크 사이에 용수철을 삽입한 parallel slide 게이트 밸브를 선정하였으며, 볼 밸브와 같이 스템이 90° 회전하는 경우에는 토크의 세기가 적절하였다.

자석의 흡인력을 높이기 위해서는 상·하 자석 홀더 사이에 있는 분리판의 두께를 가능한 한 얇게 하여야 하므로, 압력에 따른 최적의 두께를 선정하기 위하여 유체 압력을 5~100bar로 변화시키면서 실험한 결과, 압력을 100bar로 했을 때 8mm의 두께에서 변형이 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다.

산업 시설의 배관에 있어서 가장

큰 위험 요소는 파이프 내부를 흐르는 유체의 외부 누설이나 내부적인 제어 불량이다.

방사성 물질, 유독성 가스나 액체 및 가연성 물질 등이 계통 외부로 누설될 때에는 엄청난 재앙의 직접적인 원인이 된다.

배관 계통에서의 누설 원인의 90% 이상이 밸브에서의 누설, 특히 밸브의 그랜드 패킹에서의 누설임을 고려할 때 패크리스 밸브의 등장은 날로 고도화되어 가는 프로세스 배관 계통에 있어 당연한 결과라고 생각된다.

현재까지는 밸브 외부로의 누설을 근본적으로 방지할 수 있는 패크리스 밸브로는 금속재 다이아후램 밸브나 금속재 벨로우즈 셸 밸브뿐이다.

그러나 금속재 다이아후램 밸브는 밸브의 스템 운동량이 매우 제한적인 범위에 사용되며, 피로 등의 문제로 점차 사용을 기피하고 있다.

금속재 벨로우즈를 이용한 벨로우즈 밸브는 그 기술적 진전이 이루어져 많은 분야에서 점차 사용이 늘고 있으나, 고점도의 유체 및 빈번한 밸브 조작이 필요한 계통에서는 치명적인 밸브의 피로 문제로 전혀 적용할 수 없다.

따라서 본 무누출 자기 동력 전달 장치형 밸브는 패크리스 밸브로서 앞에서 언급한 밸브의 치명적 단점인 피로 문제를 근본적으로 해결한 밸브 모델이고, 특히 저온이나 점성

이 높은 유체 계통에 적절하며, 벨로우즈나 다이아후램으로 제작할 수 없는 회전 조작형 밸브에 최적의 조건을 갖추고 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 밸브의 활용도로는 완전 무누출 밸브로서 1/2인치 이상의 경우 크기에 관계없이 모든 밸브류(게이트·글로브 및 볼 밸브 등)에 적용이 가능하며, 방사성·유독성 및 가연성 물질 등과 같은 위해 물질의 누설 방지용으로 최적이다.

경제적 파급 효과로는 현재 세계적으로 무누출용 밸브로 사용되고 있는 벨로우즈 밸브의 수입 대체 효과로 94년 기준 연간 약 400억원의 대체 효과가 있을 것으로 예상된다(현재 약 95%를 수입에 의존).

사회적 파급 효과로는 유해 물질 및 환경 오염 물질이 외부로 새어나오는 것을 차단함으로써 인체 및 환경 보호 측면에서의 기대 효과를 증대할 수가 있으며, 원자력 산업의 방사성 물질 및 방사성 폐기물, 화학 공장의 유독성·인화성 물질 등과 같이 유해한 물질을 취급하는 산업 시설에 최적이다.

현재 본 밸브에 대해 국내 3건 및 국외 1건(미국·유럽·일본) 특허를 출원하였으며, 미국으로부터는 97년 3월 18일 특허를 획득하였고 나머지는 아직 진행중에 있다. 