

이산화탄소용 요소부품 해석 및 성능 평가 기술

김 옥 중 · 한국기계연구원 에너지기계연구센터, 책임연구원
황 윤 옥 · 한국기계연구원 에너지기계연구센터, 선임연구원

_e-mail : ojkim@kimm.re.kr

이 글에서는 이산화탄소를 냉매로 사용하는 냉난방시스템에서 필수적으로 요구되는 요소부품인 전자팽창밸브와 사방밸브 개발을 위한 해석과 성능 평가 기술에 대해서 소개하고자 한다.

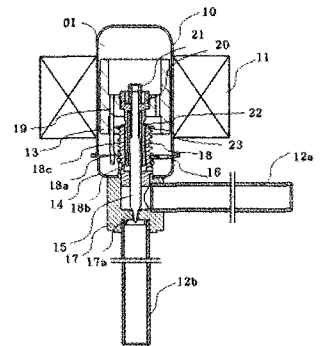
전자팽창밸브

이산화탄소를 냉매로 사용하는 냉난방시스템의 팽창장치로는 전자팽창밸브, 팽창터빈 혹은 피스톤, 팽창스크롤 등 다양한 형태의 개발이 시도되었으나 현재까지 전자팽창밸브만이 상용화되어 있다. 이 전자팽창밸브는 그림 1과 같은 형태를 가지며 구성도에 보인 바와 같이 회전 코일과 스테이터 코일로 구성된 구동스테핑 모터에 의해 직선 운동하는 니들이 냉매가 흘러가는 오리피스 면적을 결정하고, 이에 따라 냉난방시스템 내에 흐르는 냉매의 유량과 작동압력이 결정된다.

사방밸브

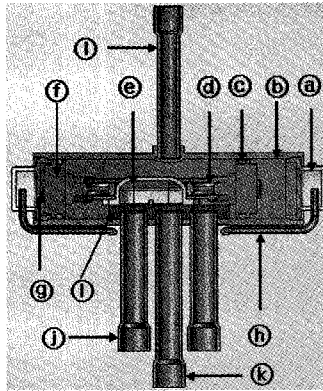
냉난방시스템에서 냉·난방 운

전 절환을 위해 요구되는 이산화탄소 냉매용 사방밸브는 그림 2와 같은 형태를 가지며 전자밸브



01: 밸브 본체, 11: 스테이터 코일, 10: 상케이스, 12a: 입구파이프, 12b: 출구파이프, 13: 마그네트, 14: 하케이스, 15: 니들, 16: 회전 스프링, 17: 베이스, 17a: 오리피스(Orifice), 18: 고정 프레임, 18a: 회전코일, 18b: 하축 스톱퍼, 18c: 정밀 나사부, 19: 고정편, 20: 이동 나사부, 21: 고정용 와셔, 22: 압축스프링, 23: 상축 스톱퍼

이산화탄소 냉매용 전자팽창밸브 및 구성도



a: 사이드 캡(Side Cap), b: 바디(Body), c: 오링(O-ring), d: 피스톤 브래킷(Piston Bracket), e: 슬라이드 밸브(Slide valve), f: 사이드 시트(Side seat), g: 볼트(Bolt), h: 모세관(Capillary), i: 압축기 고압 접속관(Charge pipe), j: 응축기 또는 증발기 접속관, k: 압축기 저압 접속관(Suction pipe), l: 바디 시트 패널(Body seat panel)

그림 2 이산화탄소 냉매용 사방밸브 및 구성도

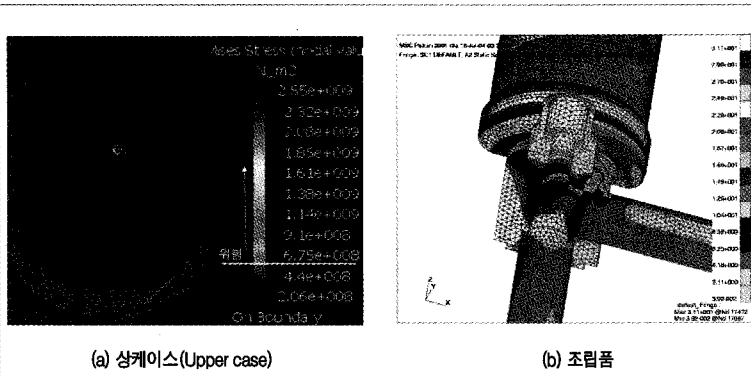


그림 3 Patran을 이용한 전자팽창밸브 구조해석

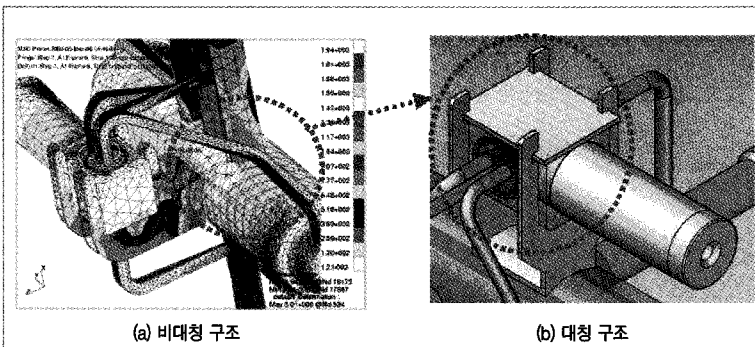


그림 4 Patran을 이용한 사방밸브의 구조해석

를 이용하여 고압과 저압의 압력 차로 슬라이드밸브를 이동시킴으로써 냉매의 흐름을 변경하게 된다.

단품 및 조립품 구조해석

냉난방시스템의 작동압력과 용량에 적합한 전자팽창밸브와 사방밸브를 설계하기 위해서는 구조 및 유동 해석 소프트웨어를 이용하여 단품 및 조립품의 기하학적인 변수들의 영향에 대한 고찰이 선행되어야 한다. 특히, 기존의 프레온계 냉매에 비해 10배 이상의 고압의 특성을 가진 이산화탄소 냉매에 적용하기 위해서는 내압성과 기밀성이 매우 중요한 요소이므로 ANSYS, Patran 등의 구조해석 소프트웨어를 이용하여 재료의 선정 및 기하학적 설계의 적절성을 분석하여야 한다.

그림 3에는 Patran 소프트웨어를 이용하여 전자팽창밸브에서의 단품 및 조립품의 응력분포를 계산한 결과를 보인 것으로 특정 지점에 응력집중이 나타날 수 있음을 확인할 수 있어 제품 제작에 앞서 고압에 취약한 부분을 개선할 수 있다. 그림 4는 Patran 소프트웨어를 이용하여 사방밸브의 응력분포를 보인 것으로 비대칭에 의한 모멘트 발생을 상쇄시키기 위해 형상 변경을 시도한 예이며 또한 재료 변경에 따른 응력분포와 항복강도 특성

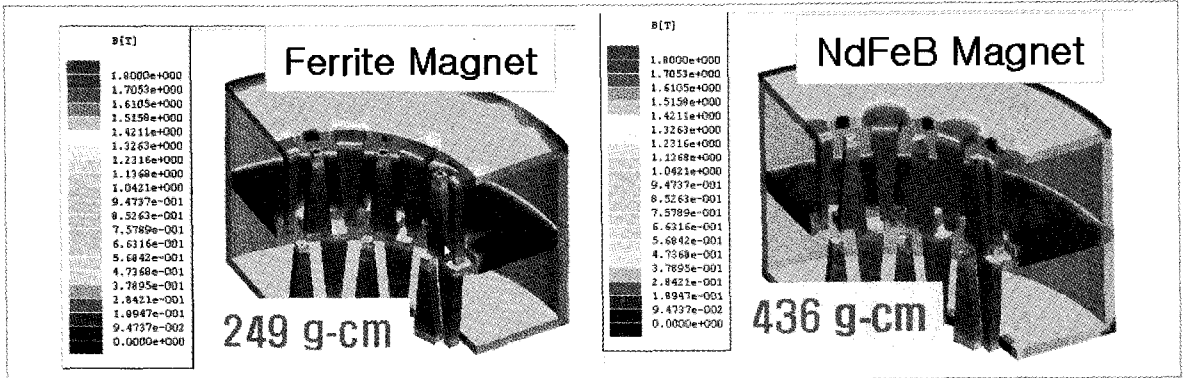


그림 5 Maxwell 프로그램을 이용한 전자팽창밸브 구동부 토크 해석

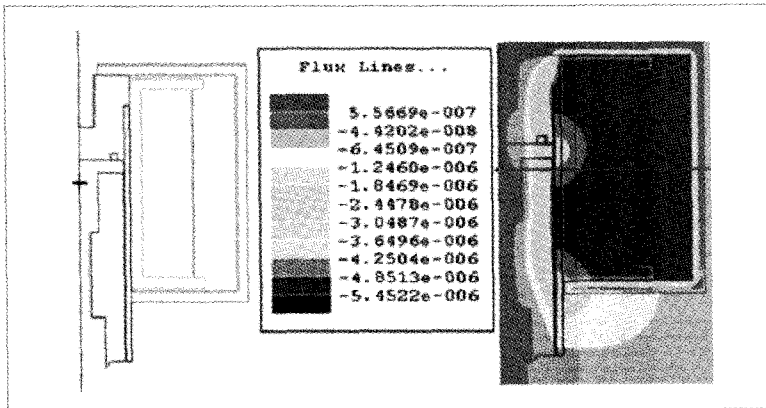


그림 6 Maxwell 프로그램을 이용한 사방밸브용 솔레노이드 밸브 해석

을 쉽게 파악하여 실제 제품의 설계와 제작에 반영할 수 있다.

그림 5에는 전자기 해석 소프트웨어인 Maxwell을 이용하여 전자팽창밸브 구동부의 재료에 따른 자기력과 토크(torque) 해석결과를 보여준다. 스테핑 모터의 구동치 형상과 재료 변화에 따라 자속밀도와 구동 토크가 변하는 경향을 살펴볼 수 있으며, 이를 바탕으로 스테핑모터의 최적값을 실제 제품 제작시 반영할 수 있다.

또한 그림 6에 보인 바와 같이

기존 프레온계 냉매의 경우에 비해 훨씬 큰 흡인력을 요구하는 이산화탄소용 사방밸브의 구동원인 솔레노이드 밸브의 소재와 압페어턴을 결정하는 데 Maxwell 프로그램을 적용할 수 있다.

유동해석

기하학적인 설계가 이루어진 후에는 이산화탄소를 유체로 하여 유동특성을 살펴보아야 한다. 유동해석 소프트웨어로는 Fluent, CFX, CFD-ACE 등이

널리 사용된다. 그림 7에는 Fluent를 이용하여 구한 전자팽창밸브 내 속도 분포를 보인다. 이산화탄소를 적용하는 전자팽창밸브 내에서는 보통 초임계상태의 이산화탄소가 액상과 기상이 혼합된 2상 상태로 상변화가 일어난다. 2상 상태의 유동을 해석하기 위한 모델에는 VOF모델, Cavitation 모델, Algebraic Slip 모델 등이 있으나 어떠한 모델도 유량값을 정확하게 예측하기에는 한계가 있다. 그러나 기하학적인 형상의 변화에 따른 유량과 압력강하의 변화 경향을 분석할 수 있는 장점을 제공한다. 해석 소프트웨어의 결과가 보다 실제적인 의미를 지니기 위해서 전자팽창밸브의 성능평가 결과와 비교함으로써 정교한 모델로 확립될 수 있을 것이다. 그림 8에는 역시 Fluent를 이용한 사방밸브내의 유동해석 결과를 보인 것으로 이와 같은 해석을 통하여 사방밸브의 주요설계 항목인 압력강하를 예측해 볼 수 있다.

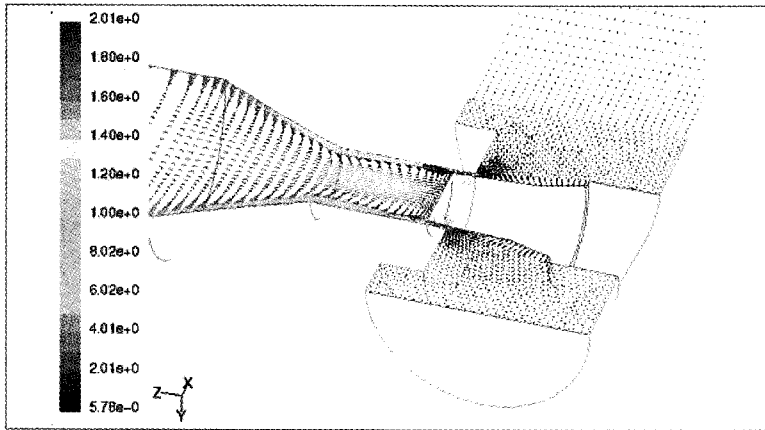


그림 7 Fluent를 이용하여 해석한 전자팽창밸브 속도 분포

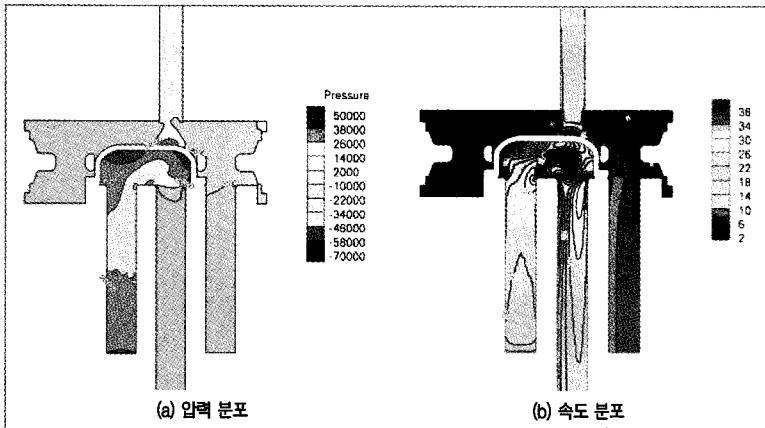


그림 8 Fluent를 이용하여 해석한 사방밸브의 압력 및 속도 분포

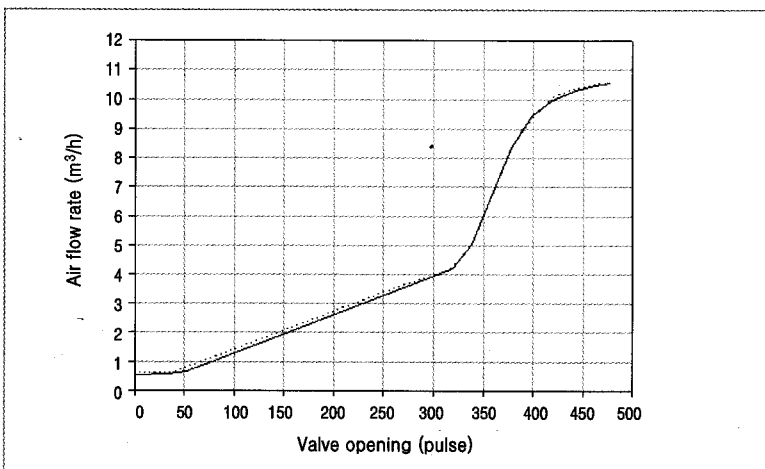


그림 9 개도에 따른 전자팽창밸브 내 유량 변화

성능평가

전자팽창밸브와 사방밸브의 성능은 크게 유량 및 압력강하 특성 평가와 반복 작동에 의한 내구성 평가로 구분될 수 있으나 이산화탄소용에 대해서는 현재 KS 등으로 규정되어 있지 않으므로 여기서는 전자팽창밸브의 평가에 대해서만 언급하고자 한다.

전자팽창밸브를 지나는 유량 및 압력강하 특성을 실험을 통하여 분석할 수 있는 방법에는 2가지가 있다. 일반적으로 밸브를 평가하는 방식으로는 상류에 일정한 압력의 공기나 질소를 통과시켜 대기압으로 배출하는 방식으로 널리 사용된다. 그림 9에는 공기를 이용하여 전자팽창밸브의 성능을 평가한 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과를 통하여 유량계수를 산출하여 사용자가 실제 밸브를 선정함에 있어 가이드라인을 제공할 수 있다.

그러나 일반적인 밸브가 아니라 냉난방시스템용으로 개발된 전자팽창밸브는 실제 사이클에 설치하여 유량 및 압력강하 특성을 살펴보는 것이 가장 중요하다. 냉매를 적용한 실제 사이클 성능 평가는 펌프 구동 사이클과 압축기 구동 사이클의 2가지 방법이 있다. 펌프 구동 사이클은 포화압력이 낮은 냉매에 적합하고 냉동유의 영향을 배제한 냉매만의 유량 및 압력강하 특성을 살펴볼

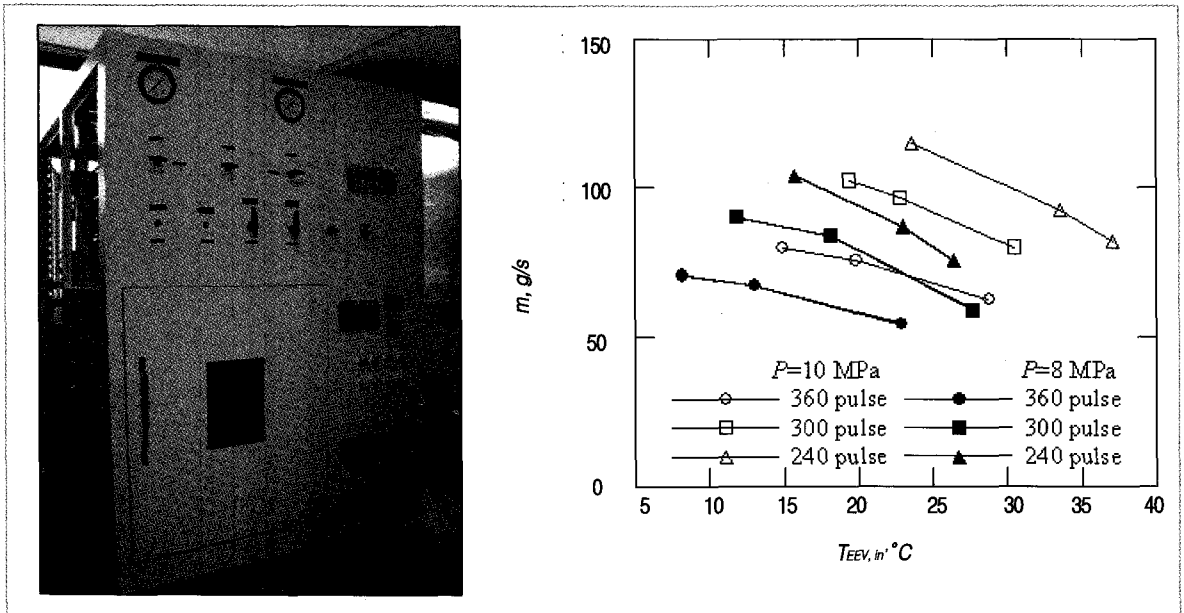


그림 10 압축기 구동 사이클을 이용한 평가 장치 및 전자팽창밸브 내 이산화탄소 유량 특성

수 있는 장점이 있다. 압축기 구동 사이클을 이용한 성능평가는 실제 열펌프 사이클에 적용하는 방식으로 냉매와 냉동유가 함께 흐름으로써 실제로 열펌프에 일어나는 현상과 동일하다는 장점을 지니고 있다. 이산화탄소와 같이 포화압력이 매우 높고 팽창밸브를 통한 압력강하가 큰 경우에는 펌프구동 사이클을 이용한 성능평가 방법은 적용이 어려워 압축기 구동 사이클을 적용하는 것이 일반적이다.

그림 10에는 압축기 구동 사이클을 이용한 평가 장치와 이 장

치를 이용하여 전자팽창밸브 입구 압력을 8MPa, 10MPa로 일정하게 유지하고, 입구온도가 변화할 때 전자팽창밸브를 통과하는 실제 이산화탄소의 유량변화를 살펴본 결과를 보인다. 전자팽창밸브 입구온도가 임계점에 가까워질수록 이산화탄소의 밀도가 감소하여 유량이 감소하고, 입구 압력이 증가함에 따라서 증발 개시점이 전자팽창밸브 내 하류지점으로 이동함으로써 유량이 증가함을 실제 사이클 실험을 통하여 이해할 수 있다.

이처럼 이산화탄소용 전자팽창

밸브와 사방밸브를 개발하는 과정은 해석 소프트웨어를 이용한 기하학적인 설계로부터 실제 사이클에 설치하여 그 성능을 평가하는 일련의 과정을 거쳐야 한다. 이산화탄소 냉매를 적용함에 있어서는 높은 압력이라는 제약 조건이 있기 때문에 누설과 응력집중에 의한 파괴에 대한 설계에 주의하여야 하며 실제 사이클에 설치하여 장시간 운전함으로써 개발된 전자팽창밸브와 사방밸브의 내구성도 함께 살펴봐야 할 것이다.