

스텝모터 구동방식 전자밸브의 유로개폐 특성

Flow Control Characteristics of Expansion Valve driven by Stepping Motor

**윤소남¹, 함덕용¹, 김동건¹, 박중호¹, 이근우²

[#]S. N. Yun(ysn688@kimm.re.kr)¹, D. Y. Ham¹, D. G. Kim¹, J. H. Park¹, G. W. Lee²

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부 스마트디바이스응용팀, ²그린산업(주)

Key words : Electronic expansion valve, Throttling device, Two-phase flow, Refrigeration

1. 서론

공기조화기에서 냉매는 냉각사이클의 냉각기능을 조절하는 역할을 하며, 주로 기계식 교축기구 또는 전자식 밸브에 의해 유량, 압력, 방향등이 조절된다. 공기조화기에서 냉매의 흐름을 적절하게 조절하는 방법에는 고정식 오리피스의 일종인 모세관 방식과, 가변식 오리피스의 분류에 해당되는 온도감응 다이어프램 개폐식과, 최근 수요가 증가일로에 있는 멀티형 공기조화기에 적용되는 전자식(전동식)팽창밸브가 있다. 공기조화기의 냉각 시스템에서 유량을 제어하는 데에는 주로 스로틀링(Throttling, 교축) 원리가 적용된다. 과거 일정 용량형 공기조화기의 경우 냉매를 순환함에 있어 냉매 유량은 압축기의 회전수 변화를 통해서만 가능하였다. 기계장치에서 유량을 조절하는 방법은 유량제어밸브를 설치하는 것이다. 유량제어밸브는 통상 오리피스 원리로 동작되는 기구이다. 유량제어기의 가장 단순한 유형은 고정 용량형 교축기이다. 이와 같은 방식은 중공의 블록이나 파이프의 일부에 넥킹(Necking)을 함으로써 이 부위를 통과하는 유체가 축소된 유로면적에 비례하여 교축된다. 고정식 교축기구의 경우 유량의 변화는 공급측 압력변화에 종속된다.

근래 대형건물과 아파트 등을 중심으로 하나의 압축기에 여러 개의 증발기를 연결하여 각 실별로 서로 다른 냉/난방부하를 공급하는 멀티형 공기조화기의 수요가 증가하고 있다. 이러한 멀티형 공조기에서 압축기는 각 실별로 요구되는 냉방부하의 최대치로 설계, 시공되어지며 증발기 상호간은 원칙적으로 서로에게 영향을 주어서는 안 된다. 그러나 기존의 단품형 공기조화기에 적용되는 고정 유량식 모세관은 멀티형 공기조화기의 작동원리에는 부적합하다는 것이 이미 기존의 관련 학술문헌상에 다수 발표되어 있다. 즉, 압축기의 압력변화와 증발기 상호간의 부하변동에 대해서 별개의 독립적 작동구조를 가지고, 가변 유량제어가 가능한 전자밸브가 개발되어 멀티형 공기조화기를 비롯하여 유체의 가변 유량 분배가 필요한 곳에 폭넓게 적용되고 있다. 멀티형 공조기에 적용되는 교축기능을 가지는 전자밸브를 일명 전자식팽창밸브라고 지칭한다. 공기조화기는 냉매의 상태와 압력에 따라서 크게 고압부와 저압부로 나누어진다. 고압부는 압축기 입구에서 응축기를 지나 팽창밸브 유입구까지 해당되고, 저압부는 팽창밸브 유출구에서 증발기를 경유하여 압축기 입구에 이르는 경로를 말한다. 전자식팽창밸브는 밸브 입구와 출구 즉 차압의 변화에 변동이 있더라도 전동모터를 제어하는 펄스를 조절하여 유량을 일정하게 유지할 수 있다. 이러한 전자식팽창밸브의 제어 특성을 이용하여 공기조화기의 제어부는 시스템 각부의 상태 정보를 취합하여 팽창밸브의 유로 개도를 적정 범위내로 조절할 수 있다.

전자식팽창밸브의 교축기구는 가변 오리피스 개념을 기반으로 하여 시스템의 냉방부하에 능동적으로 대응하는 일정 유량제어 기구이다. 유입구의 압력이 달라지더라도 제어부의 통제 신호에 의해 부하량에 비례하는 유량을 유지할 수 있다는 것은 밸브의 개도가 변화하여 밸브의 내부 유로 형상이 시간에 따라 변한다 할지라도 항상 일정한 유량계수가 유지되는 속성이 얻어지므로 피드백 제어가 있다는 것을 의미한다.

본 논문에서는 가변 유로 제어기구를 이용하여 액상냉매를 기상냉매로 교축하면서 냉각시스템의 냉매 유량흐름을 제어하는 전자식(전동식)팽창밸브의 유량특성을 파악하여 전자식팽창밸브 설계에 반영하기 위한 선행연구의 일환으로 차압과 펄스

제어 범위에 따른 실시간 유량 변화와 유로상의 유로단면적 변화의 관계를 고찰하였다.

2. 실험장치

2.1 전자식팽창밸브의 유로 구조

스텝모터가 내장된 전자식팽창밸브의 형상과 구조는 Fig.1과 같다. 밸브 유로는 직각으로 방향을 바꾸어서 흐르게 되어있다. 밸브 내부의 가변 유로는 포켓과 밸브몸체와 일체형으로 된 밸브시트의 조합으로 이루어져 있다. 포켓의 바깥쪽 원주면에는 압력이 제거되면 포켓을 개방상태로 복귀시키기 위한 벨로우즈가 구성되어 있다. 그리고 포켓의 상부에는 밸브 구동부의 회전력을 전달받아 감속된 직선운동으로 전환해주는 감속기어와 출력축이 위치한다. 밸브 구동부의 스텝모터는 4상의 펄스 신호가 90도의 위상차를 가지고 1개의 스텝으로 작동되는 방식이며 제어에 필요한 펄스의 총량은 2000 펄스 이하이다. 감속기어부는 4개의 기어로 구성되어 지며 이중 2개는 협소한 공간내에서 효과적인 감속을 위하여 2개의 기어는 단단기어 형태로 제작되어 있다. 본 실험에서는 밸브의 유입구와 유출구에 PT 1/4 피팅 조인트를 연결하여 압력, 유량시험 전용 시험기와 배관유로를 구성하였다.

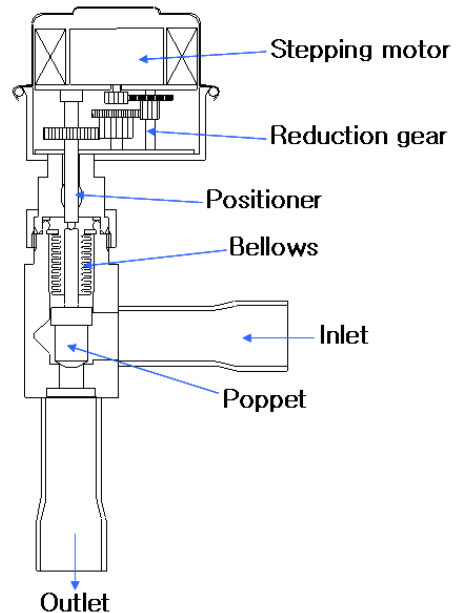


Fig. 1 Electronic expansion valve structure

2.2 유량 실험 장치

유량 실험 장치는 Fig. 2와 같으며 차압 2.5~5[bar]에서 단계별로 0.5[bar] 정도를 상승시키면서 유량을 측정하였고, 차압 5[bar]에서 펄스량 400~1000[pulse] 사이를 각 100[pulse]씩 증가하여 유량을 측정하였다. 밸브 내부 유로의 직경은 9.8(mm), 교축 관로의 직경은 5.4(mm)이다. 압축비 차이를 고려하여 차압과 펄스인가에 따른 팽창밸브 유량제어의 특징을 추론할 수 있으므로 실험 여건상 압축공기를 이용하여 차압과 유량의 상관관계를 측정하였다. 그리고 측정된 유량 데이터를 기초로 유로단면적을 산출하였다.

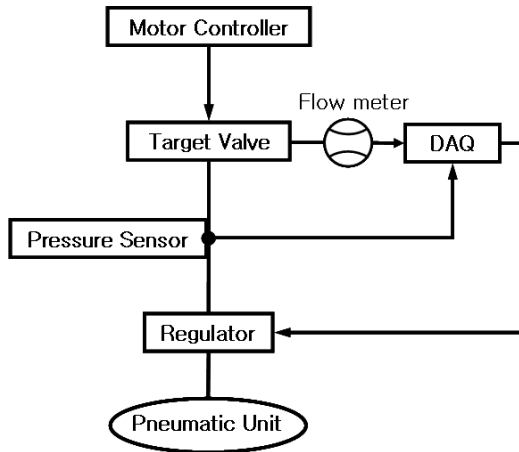


Fig. 2 Block diagram of experimental set-up

3. 실험결과

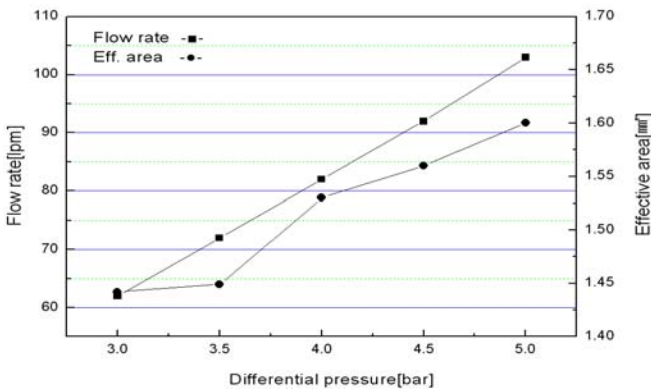


Fig. 3 Test results at 1000 pulse input

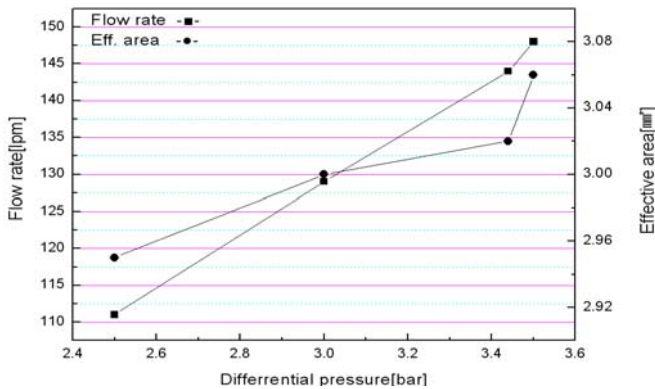


Fig. 4 Test results at 2000 pulse input

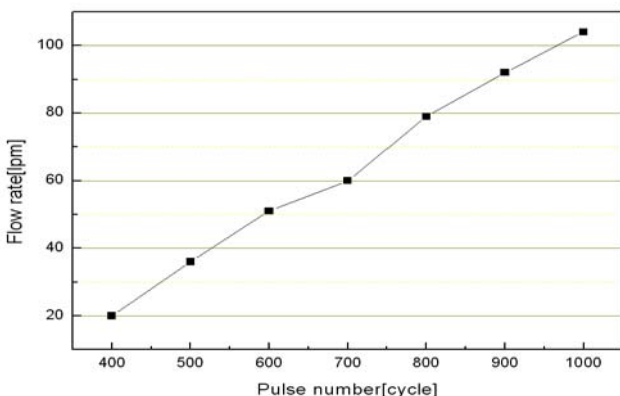


Fig. 5 Test results of flow rate at ΔP=5[bar]

다.

$$Q = 11.1 \times S_e \times (P_1 + 1.033) \sqrt{\frac{273}{T}} \text{-----(1)}$$

Q : 유량(m³/s)
 S_e : 유효 단면적(mm²)
 P₁ : 상류측 압력
 T : 절대온도

유량 측정 데이터와 여기에서 도출된 유효 단면적의 데이터를 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 보여 지는 것처럼 그래프로 정리해보면 유량성능은 매우 선형적이며, 유효단면적 변화의 추이 또한 상식적 수준의 편차 이내에 존재하므로 실험내용의 신빙성이 있다고 하겠다. 하지만, 차압 변화에 따른 유량의 변화량은 일정하지만 밸브 유로 내부의 직경과 교축관로의 크기와 압축공기의 밀도를 고려하여 계산된 유량비에 비하여 현저하게 낮은 유량이 나타남을 알 수 있다. 이로부터 알 수 있는 사실은 팽창밸브 유로에 유체가 통과할 때 급격한 교축에 의한 큰 압력손실이 일어나고 있음을 의미한다. 또한, 1000(pulse)에서의 유효단면적은 1.6(mm²) 이내로 확인되었으며, 2000(pulse) 입력에서는 차압 5(bar)를 유지할 수 없었으나 3.2(mm²) 정도임을 예측할 수 있다.

4. 결론

공기조화기에서 냉매를 교축하여 유량을 조절하는 전자식 팽창밸브의 유량 성능을 시험하였다. 인가 펄스가 변함에 따라 가변 오리피스 개도에 따른 유량변화의 추이를 연구한 결과, 전자식 팽창밸브는 빈번한 부하변동에 대해서 광범위한 유량 조절 능력을 가지며, 정밀도 또한 비교적 선형적 제어 특성을 가지는 것으로 확인되었다. 가변 오리피스 구조를 가지는 팽창밸브 구조 형상이 밸브 유로 내에 어떤 방식으로 작용하여 교축관로 내에 비정상적인 수준의 압력손실을 야기하는지에 대해서는 향후 FEA를 이용하여 밸브내의 유체의 압력 및 속도분포의 경향을 확인해 볼 가치가 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Lee. Y.T., Kim. Y.C., Park. Y.C., Kim. M.S., "Capacity Modulation of an Inverter Driven Heat Pump with Expansion Devices" International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 8 No. 2 pp.60~68, 2000.
2. Mark W. Fly, P.E., "Head Pressure Control" Director of Engineering Governair Corporation, 2005.
3. 김태섭, 홍금식, 손현철, "멀티형 공조/냉동시스템의 증발기 과열도 제어" 에너지공학회지, 제10권 제3호 Energy Engg. Vol. 10. No.3. pp. 253~265, 2001.
4. 박차식, 이선일, 김용찬, 이영수, "R22를 적용한 전자 팽창밸브의 냉매유량 특성 및 유량예측 모델링" 대한설비공학회 설비공학 논문집 제18권 제11호, pp. 881~887, 2006.
5. 김재돌, 오후규, 윤정인, "증발기 과열도 제어에 따른 냉동장치의 동특성에 관한 연구" 대한기계학회논문집, 1995, 19(8), pp.2012~2021, 1995.

팽창밸브의 샘플에 압축공기를 주입하여 차압과 펄스 인가수에 따른 유량을 측정하였으며, 유효단면적은 식 (1)로부터 산출하였