

# 인젝션용 스크롤 압축기의 성능특성에 관한 실험적 연구

조 흥 현\* · 김 용 찬\*\*

## Experimental Study on the Performance Characteristics of an Injection Type Scroll Compressor

Hong-hyun Cho, Yongchan Kim

**Key Words:** Liquid injection(액 인젝션), Inverter-driven scroll compressor(인버터형 스크롤 압축기), COP(성능계수)

### Abstract

For an inverter-driven compressor, the discharge temperature increased with a rise of frequency. Therefore, it is necessary to control the discharge temperature at high frequencies in order to obtain system reliability and efficiency. This paper describes the effects of liquid injection system on the performance of an inverter-driven scroll compressor. Experiments were performed at ASHRAE-T conditions. Frequency was altered from 45 to 105Hz. As results of the present work, the refrigerant discharge temperature for the injection system was dropped approximately 10~20° C as compared to those for the non-injection system. The COP of the compressor was improved approximately 0.8~9.3% at high frequencies(75, 90, and 105 Hz).

### 1. 서 론

한국을 포함한 동아시아 지역에서는 겨울철 외기온도가 낮기 때문에 난방용량의 부족과 실외기의 적상 등 여러 가지 문제가 존재한다. 외기온도가 낮은 시스템의 운전 조건에서는 고압축비와 고주파수의 운전을 요구하게 되고, 이는 압축기의 토출온도를 상승시킨다. 압축기의 토출온도의 상승은 압축기 부재들과 오일에 악영향을 미치기 때문에 압축기의 신뢰성과 효율을 떨어뜨린다. 최근 이러한 문제점들을 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 개발되고 있으며, 그 중에 하나가 액인젝션 방법이다. 액인젝션은 응축기에서 응축

된 냉매를 바이패스시켜 팽창장치를 지나게 한 후 저온·고압의 냉매를 압축기의 압축과정에 분사하여 토출온도를 제어하는 방법이다.

액인젝션을 이용한 사이클의 장점은 높은 압축비의 운전조건에도 불구하고 토출되는 냉매의 온도를 상당히 떨어뜨릴 수 있다는 점과 응축기에서의 이상영역을 증가시켜 난방능력을 향상시킬 수 있다는 점이다. 이런 액인젝션 방법은 대표적인 에너지 절약기기로 인식되고 있는 공냉식 열펌프를 저온의 외기조건에서 사용하기 위한 가장 효과적인 방법중의 하나이다.

스크롤 압축기는 고효율, 저진동, 저소음 그리고 간단한 구조를 가지고 있으며 작동과 기동 시에 작은 토크의 변화로 인하여 소요동력이 적다.

\* 고려대학교 기계공학과 대학원  
 \*\* 고려대학교 기계공학과

따라서 인버터형 스크롤 압축기는 열펌프 뿐만 아니라 자동차용 공기조기에도 효과적으로 사용되고 있다. 80년대 초부터 양산되어 사용되기 시작한 스크롤 압축기는 현재 냉동공조산업 전반에 걸쳐 적용되고 있으며, 그 적용범위가 점점 더 증가하고 있는 추세에 있다.

인젝션을 적용한 사이클에서 압축기는 사이클의 90%이상의 에너지를 소모함으로 압축기에 대한 정확한 성능해석을 하는 것은 매우 중요하다. 액인젝션에 대한 기존의 연구는 인젝션을 적용한 사이클의 성능해석에 치중하여 연구가 진행되어 왔다. 즉, 시스템에서 인젝션 질량이나 인젝션 압력에 따른 시스템의 변화나 인젝션을 적용한 시스템의 운전조건에 따른 성능변화 연구가 거의 대부분이었다. 특히, 액인젝션 시 인젝션 위치가 여러 가지로 존재할 수 있는 스크롤 압축기에 적용되었을 경우, 압축기의 토출온도와 성능특성에 대한 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 스크롤 압축기의 인젝션 실험을 통하여 신뢰성에 관련된 압축기 토출온도와 성능특성을 중심으로 알아보려고 한다. 그러기 위하여 압축기 칼로리미터를 개조하여 인젝션 사이클을 구성하였으며, 스크롤 압축기에 인젝션을 적용하여 성능해석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 인젝션형 인버터 스크롤 압축기의 신뢰성과 인젝션 적용시의 특성을 알아보기 위한 참고 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험 방법

Fig. 1은 인젝션형 압축기의 성능 실험을 위하여 개조된 압축기 칼로리미터의 개략도를 나타내고 있다. 압축기 칼로리미터는 압축기 시험부와 인젝션 시스템으로 구성되어 있다.

Fig. 2는 인젝션을 위해 개조된 압축기 시험부의 개략도를 나타내고 있다. 액인젝션은 스크롤 압축기의 압축 과정에 인젝션 되어야 함으로 정밀한 가공을 요한다. 본 실험에서 채택된 압축기는 미쯔비시 제품의 용량(0.85~1RT정도) 스크

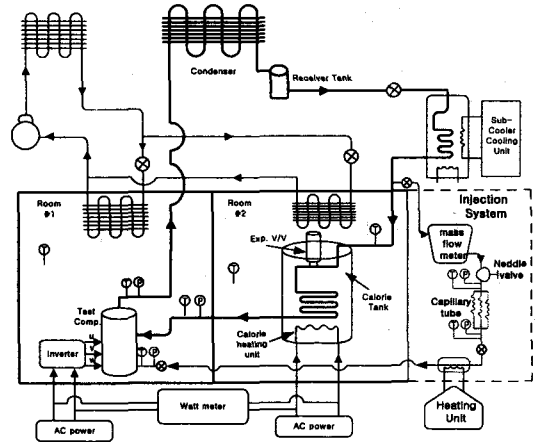


Fig. 1 Schematic diagram of compressor calorimeter with injection system.

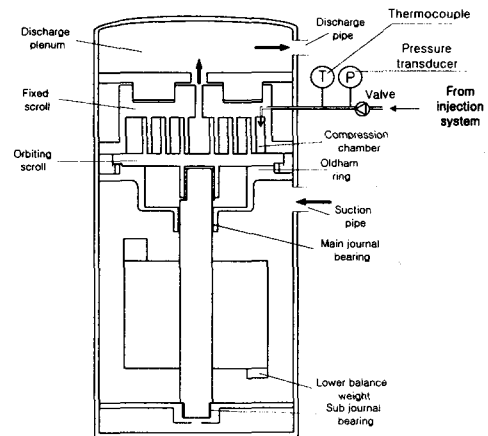


Fig. 2 Construction of scroll compressor with injection port.

롤 압축기이며, 고정배압방식을 사용하고 있었다. 작은 용량임으로 적은 손실에도 성능에 미치는 영향은 크게 나타난다.

Table 1은 인젝션을 적용하기 위한 실험조건들을 나타내고 있다. 인젝션을 적용한 스크롤 압축기의 성능 실험은 ASHRAE-T조건하에서 이루어졌으며, 인젝션 위치는 고정스크롤 상단 흡입구로부터 180° 회전한 곳에 설치하였다. 인젝션 구멍의 직경은 1.0 mm로 제작하였으며, 인젝션

Table 1. Test conditions of scroll compressor

Operation condition	Injection diameter	Injection position	Injection condition	
			$P_{inj}$ =kPa	$T_{inj}$ = °C
ASHRAE-T	1.0 mm	180 ° ( from suction port )	900	20.5
			1000	24.5
			1100	27.8
			1200	30.8

압력은 900, 1000, 1100, 및 1200 kPa로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 각각의 냉매의 상태는 측정장비의 정확도를 고려하기 위하여 포화상태에 가까운 기체상태로 설정하였다.

인젝션 실험을 위하여 응축기의 과냉각 장치를 지나 상태가 일정해진 냉매를 인젝션을 위하여 바이패스시켰다. 바이패스된 냉매는 상태가 액체상태로 일정함으로 질량유량계를 이용하여 인젝션되는 냉매의 유량을 측정하였다. 또한 압축기 입구에서 측정되는 인젝션 온도와 압력을 설정하기 위하여 니들밸브(needle valve)와 모세관(capillary tube), 그리고 가열부(heating unit)를 설치하였다. 니들밸브를 통하여 냉매의 질량유량을 조절하였으며, 세밀한 압력과 온도 조절은 모세관을 이용하였다. 모세관은 직경이 작고, 길이가 다른 3개를 병렬로 설치하여 실험중에 선택이 자유롭게 하였다. 바이패스된 냉매는 모세관을 지나면 온도가 낮아지면서 이상영역이 존재하게 된다. 실험에서는 인젝션에 대한 정확한 측정을 필요로 함으로 가열부를 설치하여 바이패스 냉매를 일정한 기체상을 만들었다. 인젝션으로 유입되는 냉매의 측정은 압축기 인젝션 포트 입구에 압력변환계(pressure transducer)와 열전대(thermocouple)를 설치하여 측정하였다. 인젝션되는 냉매가 기체상임으로 압력변환계와 열전대를 이용하여 정확한 측정이 가능하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3은 흡입구로부터 180° 위치에 인젝션 한 경우와 인젝션을 적용하지 않은 경우의 압축기 토출온도를 주파수에 따라 비교하여 나타내고 있다. 냉매의 토출온도는 인젝션 적용 시 전반적으로 10~20° C 정도 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 인젝션을 적용할 경우 인젝션 압력이 증가할수록 압축기에 인젝션 되는 저온의 냉매의 양은 많아지게 되고, 이는 압축과정의 냉매의 온도를 감소시켜 결국 토출온도의 저하를 가져온다. 따라서 인젝션 압력이 증가할수록 토출온도는 더욱 낮아지고 있음을 볼 수 있다.

토출온도는 인젝션 조건이 45 Hz, 900 kPa의 경우에 대한 인젝션을 제외하고, 낮은 토출온도의 분포를 가진다. 저주파수 영역에서는 압축과정 중의 누설의 양이 많음으로 정격 주파수에 비하여 토출가스의 온도가 상승하고 있음을 알 수 있다. 특히, 인젝션 압력이 900 kPa로 인젝션한 경우 압축과정 중의 압력이 인젝션 압력보다 높음으로 인젝션 포트를 통하여 누설과 비슷한 현상이 일어남으로 토출가스의 온도가 인젝션을 적용하지 않은 경우보다 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

그러나 고주파수가 되면 압축과정의 압력이 저주파수보다 낮아지고, 한 사이클당 압축과정의 냉매의 양이 적어짐으로 인젝션에 의하여 유입되는 냉매의 질량은 증가하게 된다. 따라서 인젝션 효과가 크게 나타나고 이에 토출온도는 저주파수에 비하여 더 낮아지고 있음을 알 수 있다. 한랭지향형 열펌프에서 외기온도 저하에 의하여 주파수는 증가하게 되고, 높은 토출온도를 인젝션에 의하여 감소시킬 수 있으므로 액인젝션 방법은 압축기의 신뢰성을 매우 향상시킨다.

Fig. 4는 인젝션을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대한 압축기의 소요동력의 변화를 주파수에 따라 나타내고 있다. 인젝션이 압축기의 소요동력에 미치는 영향은 두 가지 측면에서 설명할 수 있다. 하나는 압축기의 압축과정에 인젝

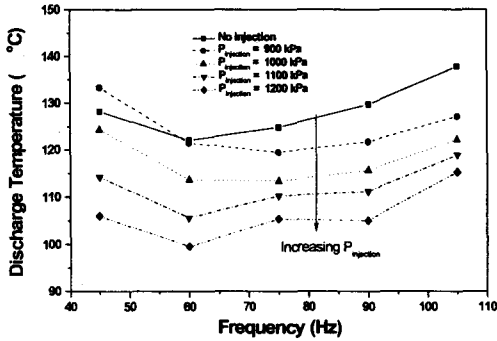


Fig. 3 Comparison of discharge temperature for injection and no-injection system.

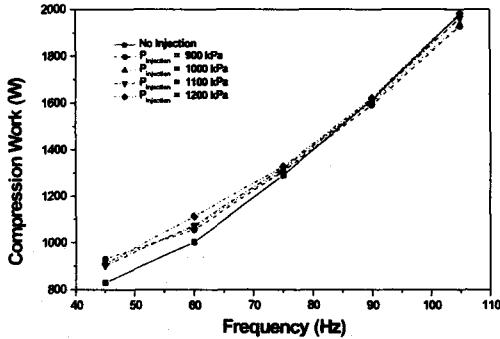


Fig. 4 Comparison of compressor power for injection and no-injection system.

선포트를 통하여 냉매가 인젝션되고, 이는 압축과정 중 냉매의 질량을 증가시킨다. 따라서 압축에 소요되는 압축일은 증가하고 결국 압축기 소요동력은 증가하게 된다. 또 다른 설명은 압축기에 온도가 낮은 냉매가 유입되어 압축과정의 냉매의 온도를 감소시키고 엔탈피의 감소를 가져온다. 이는 압축기의 압축과정 중에 중간냉각(inter-cooler)과 같은 작용을 하게 된다. 그러므로 압축기의 소요동력은 감소한다. 인젝션 시에 이 두 가지 요소가 서로 상반된 영향을 미치므로 각 요소의 크기에 따라 소요동력의 변화가 결정되게 된다.

압축기의 소요동력은 직선에 가까운 선형적인 증가를 보인다. 실험에서 주파수가 45 Hz나 60 Hz 인 경우에 압축기의 소요동력이 인젝션하지 않은 경우보다 증가하고 있음을 알 수 있다. 45, 60 Hz와 같은 저주파수에서는 압축과정 중 냉매의 양이 많기 때문에 인젝션 냉매에 의한 중간냉각의 효과가 크게 나타나지 못하고, 이에 반하여 인젝션으로 압축과정 중의 질량의 증가에 의한 소요동력의 증가가 더 크게 영향을 미치므로 결국 압축기 소요동력은 증가한 것으로 사료된다.

그러나 고주파수가 되면 압축기에 들어가는 소요동력은 인젝션 압력에 따라 그 특성이 다르게 나타난다. 고주파수인 90, 105 Hz에서는 인젝션 압력이 900, 1000, 및 1100 kPa까지도 압축기의 소요동력이 인젝션을 적용하지 않은 경우보다 작게 나타나고 있다. 고주파수에서도 인젝션 압력이 증가하면 압축기에 유입되는 냉매의 질량이 증가하게 되므로 압축기의 소요동력은 점점 증가하게 된다. 고주파수에서 압축과정보다 높은 적당한 압력으로 인젝션 한 경우, 압축 중에 냉매의 질량이 적고 압축과정의 압력이 낮으며, 압축과정이 빠르게 진행됨으로 인젝션에 의한 중간냉각의 효과는 저주파수에서 보다 크게 나타난다. 이로 인하여 엔탈피는 감소하게 되고 압축기 소요동력은 증가하게 된다. 반면에 점점 더 많은 냉매의 유입은 압축기 소요동력을 약간 증가시키게 된다. 따라서 각 주파수와 인젝션 위치에 따라 최적의 인젝션 압력과 조건이 각각 다르게 존재함을 알 수 있다.

Fig. 5는 냉동능력을 비교하여 나타내고 있다. 압축기의 냉동능력은 주파수가 증가함에 선형적인 증가를 보이다가 75 Hz 이상의 고주파수에서는 그 증가폭이 둔화되고 있음을 볼 수 있다.

인젝션에 의한 압축기의 냉동능력은 인젝션을 적용하지 않은 경우에 비하여 증가하는 경향을 나타낸다. 인젝션 적용 시 냉매가 압축과정에 유입됨으로 압축과정의 냉매량이 증가하게 되고 이는 토출과정으로 이어져, 결국 냉동능력은 향상되게 된다. 저주파수인 45 Hz의 경우 인젝션에

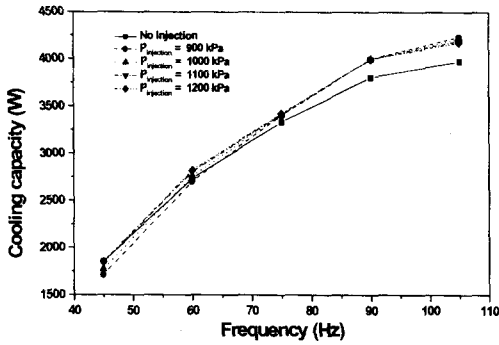


Fig. 5 Comparison of cooling capacity for injection and no-injection system.

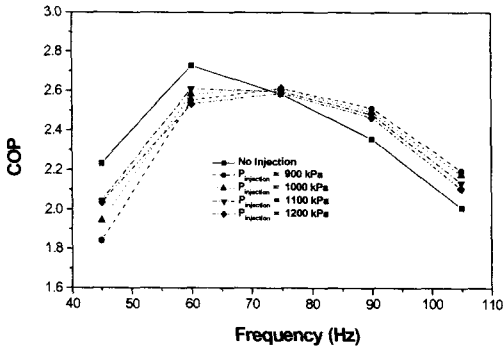


Fig. 6 Comparison of COP for injection and no-injection system.

의하여 압축과정의 냉매의 질량이 증가한다고 하더라도 누설량이 많기 때문에 유입된 질량만큼 토출질량으로 이어지지 않는다. 그렇기 때문에 인젝션을 적용하지 않은 경우보다 토출질량은 크게 증가하지 않으며 누설량은 더욱 증가한 것으로 나타나고 있다. 따라서 냉동능력은 증가하지 않음을 볼 수 있다.

반면에 60 Hz 이상의 주파수에서는 주파수 증가로 인하여 누설량이 적어짐으로 인젝션에 따라 유입된 냉매의 질량만큼 토출질량은 증가한다. 따라서 냉동능력은 인젝션을 적용하지 않은 경우보다 증가하게 된다. Fig. 5를 보면 90 Hz와 105

Hz 같은 고주파수에서 냉동능력이 인젝션을 적용하지 않은 경우보다 상당히 향상되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 인젝션 압력에 따른 압축기의 성능을 주파수에 따라 보여주고 있다. 압축기의 성능은 75 Hz를 기점으로 그 모양이 변화하고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 75 Hz 이상의 고주파수에서는 압축기의 성능이 인젝션에 의하여 향상되고 있음을 알 수 있다. 이에 반하여 저주파수인 45, 60 Hz에서는 인젝션을 적용한 경우가 인젝션을 적용하지 않은 경우보다 낮은 성능을 나타내고 있다.

저주파수에서 인젝션 적용 시 성능계수가 낮은 이유는 압축기에 인젝션에 의한 질량유입으로 인한 압축기 소요동력이 증가한 반면에 누설의 증가로 인하여 냉동능력은 크게 향상되지 않았기 때문이다. 이에 반하여 고주파수에서는 인젝션에 의하여 성능계수가 향상되는 것을 볼 수 있는데, 이는 인젝션에 의하여 중간냉각의 효과가 크게 나타나고 이에 압축기의 소요동력이 감소하며, 또한 누설량이 적음으로 냉동능력이 훨씬 향상되었기 때문이다. 고주파수에서는 인젝션 압력이 낮을수록 높은 성능을 가짐을 볼 수 있다. 이는 인젝션 압력이 낮을수록 유입되는 질량도 적어지기 때문이다.

전반적으로 저주파수에서는 인젝션 적용하였을 경우 토출온도의 저하의 효과는 가져올 수는 있으나 성능계수는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 하지만 고주파수에서는 토출온도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 성능계수도 상당히 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 압축기의 인젝션은 고주파수 운전 시에 작동할 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 스크롤 압축기의 신뢰성을 향상시키기 위한 한 방법인 액 인젝션 방법에 대하여 연구하였다. 스크롤 압축기에 인젝션 되었을 때,

압축기의 토출온도, 소요동력, 냉동능력, 그리고 성능계수를 해석함으로써 스크롤 압축기에 인젝션 특성을 고찰하였다.

인젝션 실험을 통하여 모든 주파수에 대하여 압축기의 인젝션에 의하여 토출온도는 10~20° C 정도 떨어졌으며, 압축기의 성능이 고주파수에서 높게 나타남을 알 수 있었다. 75 Hz 이상의 고주파수에서는 압축기의 인젝션 질량의 유입으로 인한 중간냉각효과가 증가되어 압축기의 소요동력이 줄어들고 냉동능력의 향상됨으로 인하여 성능계수가 향상됨을 알 수 있다.

그러나 저주파수에서는 압축기의 인젝션에 의하여 압축기의 소요동력이 매우 증가하는 반면, 많은 누설로 인하여 압축기의 토출질량이 증가하지 못함으로 성능계수가 저하됨을 보였다. 따라서 액인젝션 방법은 저온의 외기조건이나 난방운전 시 고주파수에서만 작동할 수 있도록 설계되어야 함을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

1. 조흥현, 김용찬, 1999, 인젝션형 스크롤 압축기의 성능 시뮬레이션, 공기조화·냉동공학회 동계학술발표회 논문집(I), pp. 113~118.
2. Morishita, E., et al., 1986, Scroll compressor dynamics, Bulletin of JSME, Vol. 29, No. 248, pp. 476-482.
3. Tojo, K., et al., 1986, Computer modelling of scroll compressor with self adjusting back-pressure mechanism, Proc. of Int. Compressor Eng. Conf. at Purdue, pp. 872-886.
4. Hickman, C., et al., 1984, Implications of cooling rotary sliding vane heat-pump compressors, Int. J. Ambient Energy, vol. 5, Num. 4, pp. 207-212
5. Diab, T. A. R. and Gephart, J., 1991, Compressor technologies for low temperature applications of R-22, Int. J. Refrig., Vol. 14,

pp.5-9

6. 김옥중 외 4명, 1999, 액분사 사이클을 이용한 공기 열원 열펌프의 사이클 시뮬레이션, 공기조화·냉동공학회 하계학술발표회 논문집(I), pp. 196~202.