

대체냉매 R-410A를 적용한 냉난방기 운전성능 실험연구

엄유식*, 박경만, 권영철¹, 이상재²
선문대학교 대학원, ¹선문대학교 기계공학과, ²한국생산기술연구원

Experimental Study on Operation Performance of Cooling and Heating A/C using R-410A

U.S. Um*, K.M. Park, Y.C. Kwon¹, S.J. Lee²

Graduate school, Sunmoon University, Chungnam

¹Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam

²Korea Institute of Industrial Technology, Chungnam

요약

본 연구에서는 R-22와 R-410A를 사용하는 냉난방기의 성능 및 사이클 특성을 조사하기 위하여, R-22와 R-410A를 적용한 냉난방기의 성능을 비교 실험하였다. 이를 위하여 R-22와 R-410A 냉난방기 사이클을 구성하였으며, 냉난방기 시스템의 성능을 측정하기 위하여 공기엔탈피식 칼로리미터를 사용하였다. 실험을 통해 냉난방 온도조건에서 능력, 소비전력, 온도, 압력 등을 측정하였다. 본 연구결과는 R-410A의 냉난방기 사이클 적용 가능성을 보여주었다. 한편, 실험으로부터 획득된 데이터는 R-410A 냉난방기 개발 시 기초 설계자료 및 시스템의 효율향상을 위한 방안으로 활용될 것이다.

1. 서론

대체냉매는 HCFC 계열과 같이 오존층파괴로 인한 문제는 물론이고 기존의 사용하던 냉매들과 포화압력, 냉동능력, 독성, 가연성 등이 현저하게 차이가 나지 않아야 한다. 대체냉매가 기존의 냉매와 비슷한 물성치를 갖도록 선정하여도 열전도율, 점성계수 등의 전달물성치가 기존의 냉매와 다르므로 공조 시스템의 최적화를 위한 체계적인 연구가 필요하다. CFC/HCFC 냉매를 대체하는 방안으로는 기존의 냉매들을 혼합한 혼합냉매와 천연냉매를 사용하는 방법 등이 있으며, R-22의 대체냉매로는 유럽에서 검토 중인 자연냉매를 제외하면 2중 혼합냉매인 R-410A(HFC32 / HFC125 : 50 / 50 wt%)와 3중 혼합냉매인 R-407C (HFC32 / HFC125 / HFC134a : 23/25/52 wt%)등이 있다. 이들 대체냉매의 선택은 국가 혹은 기업의 환경에 따라 다르며 우리나라의 공조기 생산업체는 R-410A를 선호하고 있다.

김병순과 이승홍[1]은 실외건구온도 변화에 따른 R-410A 에어컨의 성능을 연구하였다. 실외온도가 35℃ 이상으로 상승하면 R-410A 사이클이 R-22 사

이클에 비하여 냉방능력비 및 COP가 저하하고, 35℃ 이하에서는 R-410A 사이클이 R-22 사이클 보다 상승한다고 하였다. 전창덕[2]등은 R-410A를 이용한 슬릿환-관 열교환기의 응축특성에 관한 연구에서 R-410A의 응축열전달 계수는 R-22와 비교해서 평균 3%정도 높았으며, 압력강하는 평균 20% 낮게 나타났다고 하였다. Furuhara[3]는 R-410A를 이용한 시스템의 성능 및 사이클 특성을 고찰하였으며, Murphy[4]등은 가정용 에어컨에 대한 캐나다의 시험규격(CSA) 조건에서 4가지 공기조건에서 R-410A 사이클이 R-22 사이클보다 동등 또는 그 이상의 냉방능력을 나타냈다고 언급하였다. Burns[5]등은 R-410A를 적용한 시스템의 설계, 설치 및 서비스 등에 관한 전반적인 연구를 수행하였다.

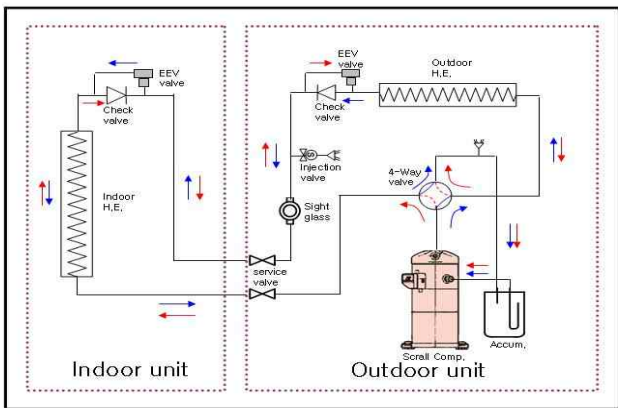
본 연구에서는 대체냉매로 주목받고 있는 HFC계열 냉매 중 R-410A를 냉난방기 사이클에 적용하여 R-22 냉난방기 사이클과 비교하면서 R-410A 냉난방기 사이클의 성능 및 특성을 조사하였다. 이들 자료는 R-410A 냉난방기 사이클 설계 시 기초자료 및 시스템의 효율 향상을 위한 방안으로 활용하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험장치

R-410A 냉난방기 사이클의 성능 및 특성을 조사하기 위하여 공기 엔탈피식 칼로리미터를 이용하였다. 공조기의 능력은 실내측 시료의 입출구공기의 온도와 풍량을 측정하여 KS C 9306[6]에 규정된 방법으로 능력을 산출한다. 칼로리미터는 온습도 조절이 가능한 항온 항습 챔버와 풍량측정 장치 그리고 실내와 실외부의 온도측정 장치 등으로 구성되어있다. 공조기의 성능은 실내류와 실외류의 온도와 습도가 안정적으로 유지($DB\pm 0.3^{\circ}C/WB\pm 0.2^{\circ}C$)되는 동안 측정되며 칼로리미터는 $\pm 1.5\%$ 이내의 신뢰오차를 가진다.

그림 1은 본 실험에 사용된 냉난방기의 개략도로 10.5 kW 용량을 가진다. R-410A 냉난방 사이클에서는 시스템의 변경없이 모세관 대신 전자팽창밸브를 구성하여 냉매 순환량 및 과열도와 과냉도를 조절하였다. 또한 역방향으로 냉매가 역류하는 것을 방지하기 위해 한 방향으로 흐르게 하는 체크밸브를 설치하였으며, 냉매의 상태를 확인하기 위해 사이트글라스를 설치하였다. 압축기의 과열을 방지하기 위하여 인젝션(Injection) 밸브를 설치하였으며, 증발기에서 냉매가 증발하지 못한 액상태로 압축기로 흘러 들어가는 것을 방지하기 위해 어큐물레이터를 설치하여 회로를 구성하였다.



[그림 1] 냉난방기 개략도

2.2. 실험조건 및 실험방법

사이클의 압력을 확인하기 위해 R-22 또는 R-410A 매니폴드 게이지와 압력계를 사용하였으며, 온도측정은 RTD 센서와 T형 열전대를 이용하여 측정하였다. 사이클의 냉매량 및 압력제어를 위하여

EEV와 컨트롤러를 사용하였다. EEV는 0~500step을 가지며, 0~10V로 1V당 50step씩 제어하였다. 배관 내 흐르는 냉매의 상태는 사이트 글라스로 확인하였다. 압력측정은 압축기 전후단과 증발기 전단에서 이루어졌으며, 증발기 측의 압력강하는 증발기 전단의 압력과 압축기 전단까지의 압력차로 나타내었다. 본 실험은 표1에 기술된 온도조건 하에서 수행되었다.

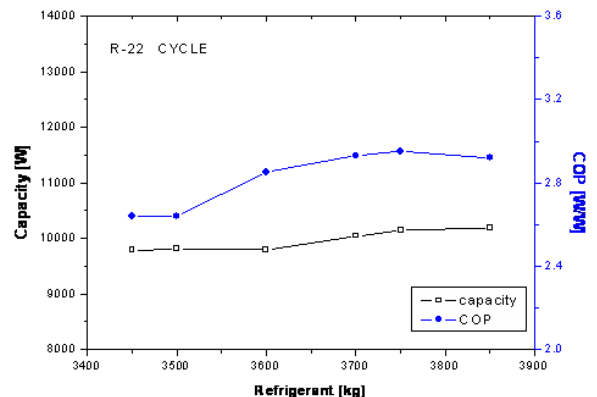
[표 1] 온도조건

	냉방표준조건	난방표준조건
냉매량 (g)	3450 - 3850	
실내 전/습구 온도 ($^{\circ}C$)	27 / 19.5	20 / 15
실외 전/습구 온도 ($^{\circ}C$)	35 / 24	7 / 6

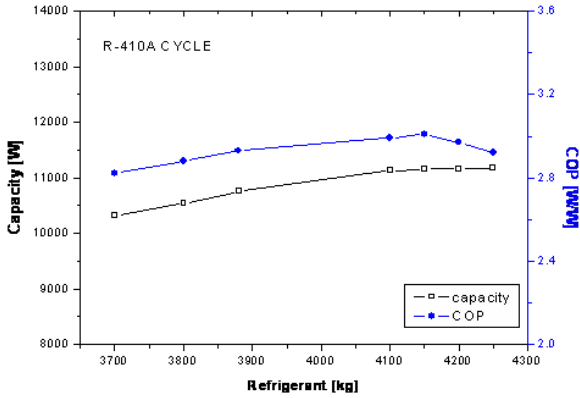
3. 실험결과 및 고찰

3.1. 적정 냉매량 선정

그림 2(a)와 (b)는 R-22와 R-410A 냉난방기 사이클의 냉매량 변화에 따른 냉방능력과 COP의 변화로 냉매량을 증가시킴에 따라 냉방능력과 COP는 증가하였다. R-410A 냉난방기 사이클은 R-22 냉난방기 사이클의 냉매량보다 약 400 g 정도 더 냉매량이 충전되었을 때 최대 냉방능력과 COP를 나타냈었다. 이는 R-410A의 압력과 기체밀도가 R-22에 비해 각각 60%와 30% 정도 크기 때문으로 판단된다. 한편, 사이클 냉매량이 적정 냉매량보다 부족하거나 과하게 되면 사이클의 COP가 적정 냉매량일 때보다 낮아짐을 알 수 있다. 이는 냉매량의 변화에 따른 냉방능력의 변화는 크지 않으나 압축기의 소비전력 변화량이 크게 높아지기 때문이다.



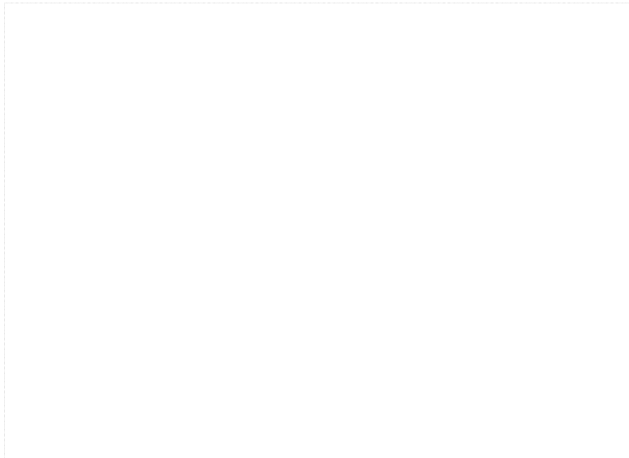
[그림 2(a)] 냉매량 변화에 따른 냉방능력과 COP (R-22)



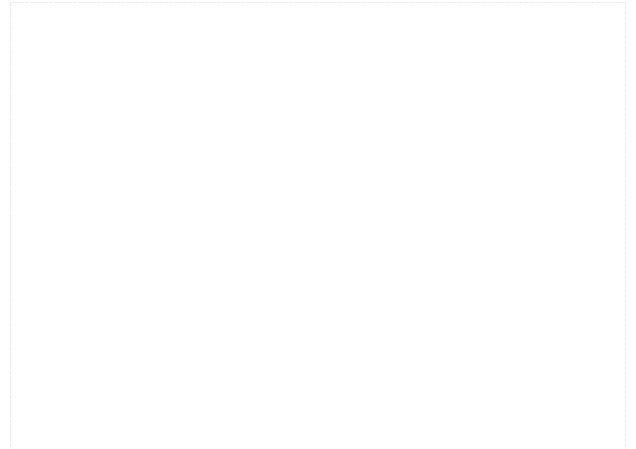
[그림 2(b)] 냉매량 변화에 따른 냉방능력과 COP (R-410A)

3.2. 냉난방 성능 비교

그림 3(a), (b)는 냉방표준 조건에서의 R-22와 R-410A 냉난방기의 냉방성능과 COP를 나타낸다. R-22의 냉방능력을 기준으로 R-410A의 냉방능력비를 계산하면 약 107.4%로 나타났다. 이는 R-22에 비하여 R-410A의 단위질량당 증발잠열이 약 7% 높기 때문이다. R-22의 소비전력을 기준으로 R-410A의 소비전력비를 계산하면 109.7%로 나타났다. 이는 R-22에 비해 R-410A의 작동압력이 약 60% 높기 때문이며 사이클에서의 압축비가 증가함으로 소비전력은 R-22에 비해 증가하게 된다. R-22의 COP를 기준으로 R-410A의 COP 비로 계산하면 98%로 나타났다. R-410A의 COP는 냉방능력이 높음에도 불구하고 소비전력의 증가로 인하여 R-22보다 약 2% 가량 낮게 측정되었다. 이는 냉방능력은 R-22보다 뛰어나지만, 소비전력의 증가로 인한 COP는 낮다는 것을 보여준다. 임계온도가 낮은 냉매의 일반적인 특성을 가지는 R-410A의 냉방능력은 R-22보다 높지만, 고압에서의 압축기 체적효율이 낮아 소비전력



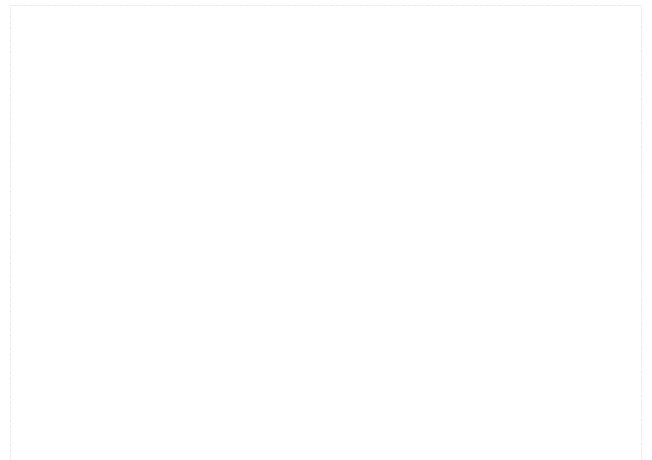
[그림 3(a)] 냉방표준조건에서의 냉방능력 비교



[그림 3(b)] 냉방표준조건에서의 COP 비교

이 크게 된다. 그리고 R-410A 사이클의 COP는 R-22보다 낮다. 따라서 R-410A 압축기의 체적효율 문제를 개선하게 되면 기존 R-22 사이클을 크게 설계변경하지 않더라도 시스템 성능 및 효율적인 측면에서는 적용이 가능하리라 판단된다.

그림 4(a), (b)는 난방표준 조건에서의 R-22와 R-410A 냉난방기의 난방성능과 COP를 나타낸다. R-22의 난방능력을 기준으로 R-410A의 난방능력비를 계산하면 108.1%로 나타났다. R-22의 소비전력을 기준으로 R-410A의 소비전력 비를 계산하면 111.8%로 난방능력보다 증가폭이 큰 것으로 나타났다. R-410A 사이클은 높은 고압으로 압축비가 증가하고 압축기 체적효율이 저조하여 소비전력이 약 11.8% 증가하였다. R-22의 COP 대비 R-410A의 COP는 92.5%로 난방 표준조건에서도 냉방표준조건과 유사하게 기존 R-22보다 낮게 측정되었다. 이는 R-410A 냉매의 일반적인 열역학적 특성으로 임계온도가 낮은 냉매는 능력은 크나 COP는 낮기 때문이다.



[그림 4(a)] 난방표준조건에서의 난방능력 비교



[그림 4(b)] 난방표준조건에서의 COP 비교

4. 결론

본 연구에서는 R-410A를 냉난방기 사이클에 적용하여 R-22 냉난방기 사이클과 비교하면서 R-410A 냉난방기의 성능 및 특성을 조사하여, 다음의 결론을 얻었다.

(1) 냉매량 충전은 R-22 사이클보다 R-410A 사이클이 더 많았다. 그리고 R-410A가 R-22에 비해 냉난방능력은 약 7% 우수하지만 소비전력이 약 10% 높음으로서 COP는 다소 낮아졌다.

(2) 냉난방 표준성능의 결과로부터, R-410A의 냉방성능은 R-22의 냉방성능보다 능력은 약 7.4% 증가하지만 소비전력도 9.7% 증가해 COP는 오히려 2% 감소하였다. 난방성능의 경우도 R-22의 난방성능보다 능력은 약 8.1% 증가하지만 소비전력도 11.8% 증가해 COP는 오히려 7.5%로 감소하였다. 이는 R-410A의 냉난방능력은 R-22보다 뛰어나지만, R-410A 압축기의 높은 고압에 의한 압축비의 증가와 압축기 체적효율의 저하로 소비전력이 증가하기 때문에 COP는 낮다는 것을 보여준다.

후기

본 논문은 서포터즈사업과 산학협력실사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 김병순, 이승홍, “실외온도 변화에 따른 R-410A 적용 에어컨 시스템 성능”, 공기조화 냉동공학 논문집, 제11권, 제4호, pp. 537~541, 1999.

[2] 전창덕, 장경근, 강신형, 이진호, “대체냉매 R-407C 및 R-410A를 이용한 슬릿 핀-관 열교환기의 응축특성에 관한 연구”, 설비공학논문집, 제 14권, 제 9호, pp. 706~716, 2002.

[3] Furuhashi K., “Experiences in air conditioning heat pumps with mixed refrigerants”, 5th International Energy Agency Conference on Heat Pumping Technologies, Toronto, Canada, Vol. 1, pp. 199~205, 1996.

[4] Murphy, F. T., Low, R. E., Gilbert, B. E., Linton, J. W., Snelson, and W. K. Hearty, P. F., “Comparison of R-407C and R-410A with R-22 in a 10.5 KW residential central air-conditioner”, International CFC and Halon Alternative Conference, pp. 31~40, 1995.

[5] Burns, L. D., Hoffman, L., and Schuster, D., “R-410A experiences in unitary air conditioner systems”, Proceedings of the Int. Symposium on HCFC Alternative Refrigerants, Kobe, Japan, pp. 61~66, 1996.

[6] Korean Standards Association, “KS air-conditioner: KS C 9306” 2003.