

자동차 에어컨용 냉매인 HFC-134a와 OS-12a의 성능 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of HFC-134a and OS-12a Refrigerant in Automobile Air-Conditioning System

이종인*, 하옥남**, 윤갑식***, 홍경한****, 권일욱****, 박찬수****
Jongin Lee, Oknam Ha, Gabsig Youn, Kyoungghan Han, Ilwoog Kwon, Chansoo Park

ABSTRACT

HFC-134a is currently used as the refrigerant in automobile air-conditioner, replacing the ozone depleting refrigerant CFC-12. Although HFC-134a has no ozone depletion potential, it has a relatively high global warming potential, approximately 1300 times that of CO₂ over a 100 year time horizon. Therefore, HFC-134a does not seem to be a perfect alternative refrigerant due to high GWP. For this reason, non-azeotrope refrigerant mixture have been proposed as a long-term and drop-in alternative to HFC-134a in the automobile air-conditioning system which has variable operating conditions with changes in RPM and pressure ratio. In this study, OS-12a of which thermodynamic properties are similar to those of HFC-134a is selected among the mixed refrigerant. HFC-134a and OS-12a are examined experimentally by the performance test in the same automobile air-conditioning system.

주요기술용어 : Automobile air-conditioning(자동차용공조기), Alternative refrigerant(대체냉매), GWP(지구온난화지수), RPM(분당회전수)

Nomenclature

P_c : condensing pressure
 P_e : evaporating pressure
 q_e : heat capacity of evaporation
 q_c : heat capacity of condenser
 W_c : compressor required power

* 회원, 조선이공대학 자동차과
** 회원, 조선대학교 기계공학부
*** 회원, 광주기능대학
**** 회원, 조선대학교 대학원

1. 서론

경제성장으로 인하여 자동차의 보급은 날로 증가하고 있으며 자동차는 이제 단순한 운송수단으로서가 아니라 생활의 필수품으로 사용되고 있으며 쾌적한 운전을 위한 자동차 에어컨디셔너 시스템은 기본적으로 장착되며 고급화되어 가고 있다.

초기의 자동차 에어컨디셔너 냉매는 CFC-12가 사용되었다. CFC-12는 염화불소 탄소계물질 CFC(chlorofluorocarbon)로 우수한 열역학적 성질과 뛰어난 화학적 안정성을 가진 냉매로서 자

동차 에어컨디셔너에 사용될 뿐만 아니라, 전자 제품의 세정 및 에어로졸의 분사발포제 등 여러 산업분야에서 광범위하게 사용되어 왔다.

하지만, 이 물질은 대기권에서 분해되지 않는 물질로 오랜 기간에 걸쳐 오존과의 화학반응을 통하여 오존층을 파괴한다는 사실이 밝혀지면서 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 따라서 지구환경보호를 위해 국제적 차원의 대책이 마련되고 있으며 CFC의 생산, 무역 및 사용을 규제하는 몬트리올 의정서가 1987년에 조인됨으로써 CFC를 사용하는 업체는 새로운 문제에 직면하게 되었다.^{1,2)} 그 후 이에 대한 규제대상은 5종에서 15종으로 확대되었으며, 1992년 2차 개정서(코펜하겐)에서는 이를 더욱 확대하였고, 규제 일정도 선진국은 1996년 전폐, 개도국은 2010년 전폐로 확정됨에 따라 오존층을 파괴하는 염소대신 수소가 결합되어 생태학적으로 오존과 파괴지수(ODP)가 0이며, CFC-12냉매와 유사한 열역학적 특성을 구비하고 있는 HFC-134a가 자동차 대체냉매로 상용화되었다. 그러나 HFC-134a의 ODP는 0이지만, 지구온난화지수(GWP)는 CFC-11냉매를 기준으로 할 때 0.26으로서 높고 대기권에서 태양광선에 의해 분해되어 산과 독성물질을 생성하는 문제점등이 있다. 또한, CFC-12에 비해 응축기압력이 높아 동력사용량이 증가되므로 자동차의 전체적인 열효율감소를 초래하고 다른 HFC에 비하여 지구온난화지수가 높으므로 지구온난화를 막기 위한 대체냉매의 개발이 필요하다.^{3,5)}

따라서 자동차 에어컨디셔너시스템에 사용되고 있는 HFC-134a를 대체하기 위해 물성치를 Table 1에서 나타낸바와 같이 국내에서 생산하고 있는 프로판과 이소부탄의 혼합냉매 R290/R600a(40%/60%)를 선정하여 외기 온도조건과 압축기의 회전속도에 따른 냉매의 기본특성과 에어컨디셔너 성능특성을 분석하고, 자동차 에어컨디셔너의 냉매로서 가능성 여부를 파악하여 앞으로 자동차 공기조화시스템 냉매로서의 적용 가능성에 대해서 살펴보고자 한다.

Table 1 Comparison of characteristics for HFC-134a and OS-12a

Character	Units	OS-12a	HFC-134a
Molecular mass	g/mol	57.9	102
NBP(1atm)	°C	-34.5	-26.5
Heat of vaporization at 0°C	kJ/kg	367.0	198.7
ODP	CFC-12 기준	0	0

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험에 사용한 자동차 에어컨디셔너시스템은 소형 승용자동차의 공기조화시스템을 실험에 필요한 부분을 최소한으로 개조하여 실제차량과 가장 유사한 작동조건과 성능특성을 파악할 수 있도록 하였다. 증발기입구 공기유량 조절은 DC 12V, 220W 송풍기에 1.78Ω, 1.11Ω, 0.33Ω의 가변저항을 단계적으로 연결시켜 4단계로 조절할 수 있도록 하였다.

응축기 입구 공기유량은 0.5Ω의 저항을 연결시켜서 2단계로 제어할 수 있도록 하였으며, 증발기 입구와 응축기 입구의 외부공기온도와 공기유량을 정확하게 조절하고 측정할 수 있도록 증발기측과 응축기측 흡입구에 140mm×145mm, 680mm×380mm의 투명아크릴로 특수 제작한 4각 덕트를 설치하였으며, 증발기와 응축기의 입구에 각각 2kW와 4kW의 편 코일과 온도조절기를 설치하여 온도를 조절할 수 있도록 제작하였다.

압축기는 회전속도를 정확하게 변화시켜 자동차의 주행조건에 따른 압축기의 회전속도를 3단계로 변환될 수 있도록 하였으며, 이에 상응하는 회전속도를 정확하게 제어할 수 있도록 SPS 3상 구동 동력모터를 장착하였다.

모터의 회전속도는 인버터를 설치하여 주파수조정에 의해 압축기의 회전속도를 조절할 수 있도록 하였으며, 에어컨디셔너시스템에 포함된 수분을 완전히 제거하기 위하여 리시버 드라

이어를 설치하였다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 증발기와 응축기의 입·출구 공기온도를 측정하기 위하여 4개의 T-type 열전대를 설치하였으며, 냉매압력은 고압부와 저압부에 각각 0~35kg/cm²의 압력계를 설치하여 측정할 수 있도록 하였으며, 실제차량에 장착되어 사용되고있는 트리플 압력스위치를 사용하여 측정된 압력 값을 서로 비교할 수 있도록 하였다.

응축기에서 열교환하여 나오는 고온과 증발기의 저온의 공기가 실험장치에 영향을 주지 않도록 덕트를 설치하여 밖으로 완전히 배출되도록 하였고, 시스템에 사용한 파이프는 주위의 열원에 영향을 받지 않도록 단열시켰다.

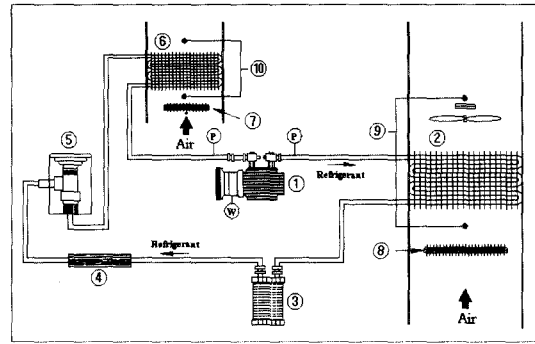
압축기의 소비전력을 측정하기 위해 디지털 전력계(WT-1030)를 사용하여 측정할 수 있도록 하였으며, 실내공기온도와 습도는 디지털 건·습구온도계를 사용하였고, Data acquisition system(DA-100)을 통하여 측정된 자료는 컴퓨터를 이용하여 분석할 수 있도록 시스템을 설치하였다.

2.2 실험방법

에어컨디셔너 시스템 성능에 영향을 주는 주요 변수중의 하나는 시스템에 들어있는 냉매 충전량이다. 따라서 냉매 충전량이 부족하게 되면 시스템내의 순환량이 적어지므로 냉방능력이 저하되어 차가운 공기가 공급되지 못하며, 반면에 냉매 충전량이 과다하면 시스템내의 압력이 높아 압축기의 소요동력이 증가되므로 자동차 엔진에 과부하를 주게 된다.

실험에 사용한 실제차량의 냉매 충전량은 R-134a의 경우 730±20g이지만, 실험장치를 실험환경에 맞게 냉매 파이프를 변경하여 대체하고자하는 두 냉매 모두다 정확하게 어느 정도인지 파악되지 않으므로 충전량실험을 통하여 적정량을 결정한다.

충전량실험은 먼저 시스템내부에 들어있는 공기 및 수분을 완전 배출시키기 위해 진공펌프를 사용하여 10⁻⁷torr까지 진공 시킨 후 R-134a를



- ① Compressor ② Condenser ③ Receive-drier
- ④ Flow meter ⑤ Expansion device ⑥ Evaporator
- ⑦ Fin coil for evaporator ⑧ Fin coil for condenser
- ⑨ Thermocouples for cooling air at condenser in-and out-let
- ⑩ Thermocouples for cooling air at evaporator in-and out-let
- P Pressure gauge for refrigerant at compressor in-and out-let
- W Power meter for compression power

Fig. 1 Schematic diagrams of the experimental apparatus

저압측에 750, 800, 850, 900, 950, 1000g으로 변화시켜가면서 리시버드라이어 액면경에 나타나는 기포발생여부와 과냉도변화를 보면서 측정된 결과 과냉도가 5°C 정도되는 950g을 적정 충전량으로 결정하였으며, 이때 냉매 충전량은 외기 온도영향에 따라 충전량이 변화됨으로 외기 온도를 25°C로 유지시키면서 충전시켰다. OS-12a 또한, R-134a와 동일한 조건으로 충전량실험을 한 결과 최적 충전량은 830g이었다.

외기 온도와 압축기의 회전속도 변화에 대한 압력비와 성능특성 파악하기 위해 증발기와 응축기측 입구공기 온도를 동시에 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C로 단계적으로 상승시켜가면서 실험을 수행하였다. 이때 최적의 외기 온도는 허용오차 ±0.5°C범위 내에서 온도를 제어하며 실험을 수행하였다.

자동차의 실제주행에 있어서 에어컨디셔너는 외기 온도가 일반적으로 25°C에서부터 45°C 범위까지 운전되며, 일반 에어컨디셔너와는 달리 압축기의 회전속도가 엔진회전속도에 비례하게 되므로 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM의 3단계로 증가시키면서 측정하였다. 응축기 입구 공기는 0.414m³/s으로 항상 일정하게 유지하였으며, 증

발기 팬의 회전속도를 단계적으로 증가시켜 증발기 입구공기유량을 $0.046\text{mm}^3/\text{s}$, $0.059\text{mm}^3/\text{s}$, $0.10\text{mm}^3/\text{s}$, $0.141\text{mm}^3/\text{s}$ 으로 점차적으로 증가시키면서 측정하였다. 습도는 각각의 증발기와 응축기는 4각 덕트 입구에서 외기 온도에 따라 가열 가습하여 상대습도 $50 \pm 5\%$ 범위 내에서 실험을 수행하였다. R-134a 및 OS-12a의 성능특성 실험은 반복 실험을 통하여 실험이 정확한지를 확인한 후 비교 분석하여 대체냉매로서의 가능성여부를 파악하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 외기 온도조건과 압축기회전속도 변화에 대한 압력변화

Fig. 2, 3, 4는 외기 온도와 압축기의 회전속도 변화에 따른 R-134a와 OS-12a의 압력 값과 압력비를 서로 나타내었다.

Fig. 2는 압축기의 회전속도 1000RPM에서 각각의 외기 온도에 따라 R-134a와 OS-12a의 압력 값과 압력비를 비교한 그림으로서 증발기압력은 일정한 반면 응축기압력 및 압력비는 R-134a가 OS-12a보다 높게 나타났다. 증발기압력과 응축기압력은 두 냉매 모두 외기 온도가 낮은 온도에서 높은 온도로 상승될 때 압력은 상승하였다. 이는 외기 온도가 상승할수록 증발기에서의 열교환이 잘 이루어져 압축기 입구로 건포화 증기를 흡입함으로써 냉매의 압력이 상승하였으며, 압력비는 외기 온도가 상승할수록 증발기압력

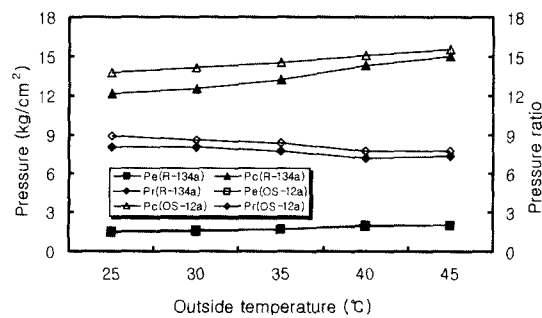


Fig. 2 Pressure ratio for HFC-134a and OS-12a under condition of 1000RPM

이 상승하므로 압력비는 감소하였다.

Fig. 3은 압축기의 회전속도 1500RPM에서 압력 값과 압력비를 나타내었다. 압축기의 회전속도 1000RPM에서와 같이 R-134a와 OS-12a의 증발기압력과 응축기압력은 외기 온도를 낮은 온도에서 높은 온도로 상승시켰을 때 상승하였으며, 압축기의 회전속도가 증가할수록 증발기의 압력이 감소하기 때문에 압력비는 상대적으로 높게 나타났다. 이는 압축기의 회전속도가 상승하면 압축기에서의 흡입력이 증가하기 때문에 압력은 감소함을 나타낸다.

Fig. 4는 압축기의 회전속도 2000RPM에서 압력 값과 압력비를 나타내었다. 외기 온도를 낮은 온도에서 높은 온도로 상승시켰을 때 증발기압력과 응축기압력은 같이 상승을 하였으나, R-134a가 OS-12a보다 높게 나타났다.

또한, 두 냉매 모두 온도가 상승할수록 증발기

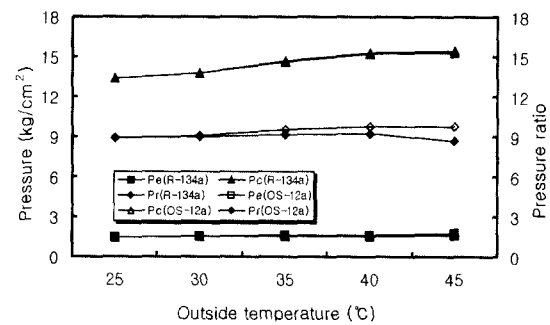


Fig. 3 Pressure ratio for HFC-134a and OS-12a under condition of 1500RPM

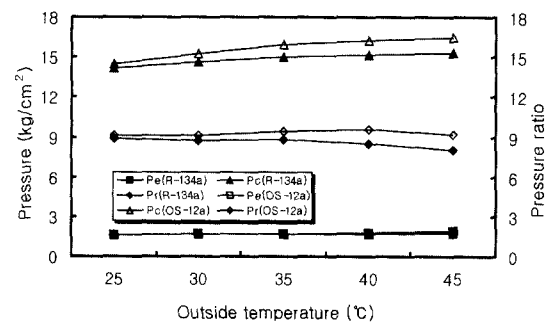


Fig. 4 Pressure ratio for HFC-134a and OS-12a under condition of 2000RPM

압력이 상승하므로 압력비는 감소하였다.

3.2 외기 온도조건과 압축기회전속도 변화에 대한 성능특성

Fig. 5, 6, 7은 외기 온도와 압축기의 회전속도 변화에 따른 성능특성들을 나타내었다.

Fig. 5는 압축기의 회전속도 1000RPM에서 외기 온도에 따른 성능특성을 나타내었다.

외기 온도가 낮은 온도에서 높은 온도로 상승시켰을 때 증발기 열량은 두 냉매 모두 증가하였으며, 응축기 열량은 감소하였다. 이는 외부부하의 증가에 따라 냉매 순환량이 증가하여 증발기에서의 활발한 열교환으로 증발기 열량은 상승함을 나타내며, 외기 온도가 증가할 때 응축기 냉매와 공기 사이의 열교환 능력이 저하되어 응축기의 열량은 감소하게 된다.

R-134a의 소비전력은 외기 온도가 상승할수록 소비전력이 증가하므로 COP는 감소하였으며, OS-12a는 소비전력이 상승은 하였지만 거의 일정함에 따라 COP는 증발기 열량에 비례하여 증가하였다.

Fig. 6은 압축기의 회전속도 1500RPM에서 외기 온도에 따른 성능특성을 나타내었다.

압축기의 회전속도 1000RPM에서와 같이 외기 온도를 낮은 온도에서 높은 온도로 상승시켰을 때 증발기 열량은 두 냉매 모두 증가하였으며, 응축기 열량은 감소하였다. COP는 두 냉매 모두 1000RPM에서보다 감소하였다. 이는 증발기

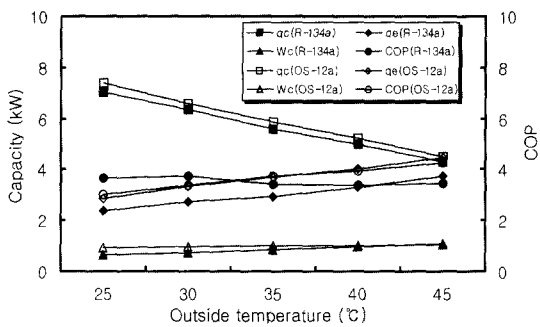


Fig. 5 Performance test result for HFC-134a and OS-12a under condition of 1000 RPM

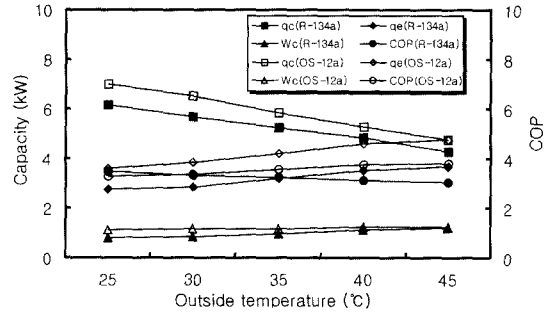


Fig. 6 Performance test result for HFC-134a and OS-12a under condition of 1500 RPM

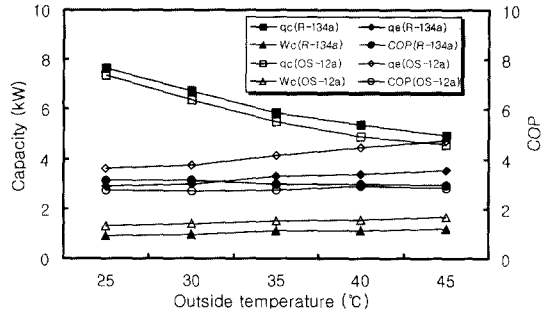


Fig. 7 Performance test result for HFC-134a and OS-12a under condition of 2000 RPM

열량은 일정한 반면에 압축기의 일량이 증가함으로써 COP는 감소하게 된다.

Fig. 7은 압축기의 회전속도 2000RPM에서 외기 온도에 따른 성능특성을 나타내었다.

증발기 열량 및 응축기 열량은 외기 온도에 따라서 증가와 감소를 나타내었으며, 압축기의 소비전력은 압축기의 회전속도가 상승할수록 높게 나타났다. 이는 압축기의 회전속도가 증가함에 따라 응축기로의 압입력이 증가되고, 외기 온도가 상승함에 따라 응축부하가 증가되기 때문에 소비전력은 상승한다.

OS-12a의 압축기의 소비전력이 R-134a보다 높게 나타남에 따라 R-134a보다 COP가 낮게 나타났다. 이는 혼합냉매의 특성으로 여겨진다.

3.3 외기 온도조건과 압축기회전속도 변화에 대한 질량유량 변화

Fig. 8은 외기 온도와 각 압축기의 회전속도에

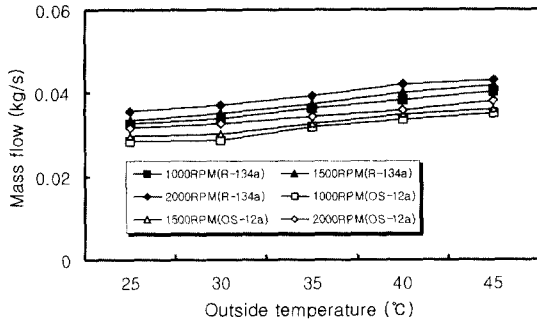


Fig. 8 Mass flow for HFC-134a and OS-12a under each conditions

따른 R-134a와 OS-12a의 질량유량을 나타내었다. 압축기의 회전속도를 저속에서 고속으로 상승시킬 때 냉매유량이 증가하였다.

외기온도를 낮은 온도에서 높은 온도로 상승시켰을 때와 압축기의 회전속도를 상승시켰을 때 유량이 증가하였다. 평균적으로 압축기의 회전속도를 상승시킬 때 R-134a가 OS-12a보다 12% 증가하였고, 외기 온도가 상승함에 따라 13% 증가하였다.

4. 결론

자동차 에어컨디셔너 냉매 R-134a와 OS-12a의 성능 특성을 알아보기 위한 실험으로 현재 시판되고 있는 자동차 에어컨디셔너 시스템에 R-134a와 혼합냉매인 OS-12a의 성능 특성들을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축기의 회전속도에 대한 냉매의 압축비 변화와 외기 온도조건에 따른 응축기열량과 증발기열량의 변화는 에어컨디셔너 시스템의 성능에 커다란 영향을 준다.
- 2) 압축기의 소비전력은 R-134a보다 OS-12a가 높게 나타나는데 이는 OS-12a의 압력비가 크게 나타나기 때문이다.
- 3) COP는 OS-12a가 R-134a보다 압축기의 회전속도 상승에 따라 6~12% 정도 증가하며, 외기 온도조건에 따라 12~14% 정도 평균적으로 증가하였다.

4) 냉매 질량유량은 외기 온도가 높을수록, 압축기 회전속도가 상승할수록 증가함을 알 수 있고, OS-12a가 R-134a에 비하여 압축기의 회전속도와 외기 온도의 상승에 따라 약 12% 정도가 증가하였다.

후 기

본 연구는 2000년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) H. N. An, "Study on Use of New Refrigerant in the Motor vehicle," The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 25, No.6, pp.515-523, 1996.
- 2) M. McLinden, S. Klein, E. Lemmin, A. Peskin, NIST Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures(REFPROP) Version 6.0, National Institute of Standards and Technology, Boulder, Co., U.S.A., 1998.
- 3) D. S. Jung, "Development Trend of New Alternative Refrigerant," The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.25, No. 6, pp.479-488, 1996.
- 4) H. C. Lee, B. J. Park, D. S. Jung, S. J. Oh, E. K. Jung, "Performance of Alternative Refrigerant Mixtures Containing CF3I for CFC12 in Automobile Air Conditioners," The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Proceedings of the SAREK '99 Summer Annual Conference(I), pp.219-224, 1999.
- 5) J. S. Han, J. G. Youn, S. P. Won, "A Study on Performance Characteristic of a New Alternative Refrigerant Replacing HFC- 134a," The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Proceedings of the SAREK '99 Summer Annual Conference(I), pp.219-224, 1999.
- 6) S. Soloman, D. Wuebbles, ODPs, GWPs, and Future Chlorine/Bromine Loading, Scientific Assess-

- ment of Ozone Depletion, pp.131-136, 1994.
- 7) UNEP, Report of the Secretariat on the Reporting of Data by the Parties in Accordance With Article of the Montreal Protocol, UNEP/Ozl. Pro. 3/5, 1991.
- 8) C. W. Bullard, R. Radermacher, New Technologies for Air Conditioning and Refrigeration, Annu. Rev. Energy Environ, pp.113-152, 1994.
- 9) S. L. Smith, "Void Fraction in Two-phase Flow: A Correlation based on an Equal Velocity Heated Model," Proc. Inst. Mech. Engng, pp.647-657, 1970.