

## 천연 가스 냉매의 증발 열전달 특성

### Evaporating heat transfer characteristics of natural gas refrigerants

김 종 수  
J. S. Kim

부경대학교 냉동공조공학과



• 1955년생  
• 증발기·응축기의 전열 촉진 연구, 이상 열전달, 고성능 플렉시블 열교환기 개발, 진동 세관형 히트 파이프에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

최근 10년 동안 우리들은 성층권의 오존층 고갈(depletion of ozone layer), 지구온난화(global warming) 및 산성비(acid rain) 등을 포함하는 지구환경문제를 해결하여야 하는 많은 도전을 받고 있다. 몬트리올조약(Montreal Protocol)이 수정되어 특정 CFC계 냉매들의 생산삭감계획이 앞당겨짐에 따라 우리들은 조속히 이들 문제를 해결해야될 심각한 국면에 직면하고 있다.

1992년 11월 Copenhagen에서 개최된 오존층 파괴 물질에 대한 제4차 몬트리올조약 분과회의에서 1995년 말까지(개발도상국은 10~15년 정도 연장하여 사용할 수 있도록 규정) CFC계 냉매를 완전히 전폐하기로 결정하였으며, 동시에 HCFC계 냉매도 2030년(실질적으로는 2020년)까지 연차적으로 전폐하는 계획을 발표하였다.

이러한 상황에서, 전세계의 냉동공조산업계는 기존의 CFC계 냉매의 냉동장치에 대한 기술로부터 환경문제를 야기시키지 않는 새로운 환경친화적 냉매(대체냉매) 기술로 순조롭게 전환될수 있도록 하기 위하여, 세계각국이 이 긴박하고 중요한 과제에 대한 연구개발에 경주하고 있다.

사용 가능한 대체 냉매에 대한 요구 조건은 다

음과 같다.

- ① 환경적 수용성(Environmental Acceptability) : ODP가 0이며, GWP가 가능한한 매우 작을 것.
- ② 열역학적 성질: 작동온도, 압력, 냉동능력 및 흡입체적용량 등이 HCFC22와 근사할 것.
- ③ 에너지 효율 : HCFC22와 동일 수준이 요구됨.
- ④ 열적안정성 : 고온에서 열분해능이 HCFC22와 같은 정도이거나 그 이하 일 것.
- ⑤ 가연성 : 비가연성이거나 인화의 위험성이 없을 것.
- ⑥ 독성 : HCFC22보다 작을 것.
- ⑦ 경제성 : 극단적으로 고가인 것은 배제함.

위와 같은 대체냉매 요구 조건을 바탕으로 하여 기존의 물질로부터 후보냉매를 탐색하면, 사용 가능한 대체냉매들은 ODP가 0인 HFC계 냉매인 R407c(R32/R125/R134a(23/25/52wt.%)), R410a(R32/R125) 등의 혼합 냉매와 천연 물질인 탄화수소 냉매 R290(프로판), R600(부탄), R600a(이소부탄) 및 이들의 혼합물 등이 대체 냉매로 대두되고 있다. 지금까지 AREP 및 JARAP에서 지금까지 프레온계 냉매에 대한 기술의 완성도 및

장치의 안정성을 고려하여 HFC계 냉매들이 가장 유력한 대체냉매라고 생각하고 많은 연구를 수행하여왔다.

이중 HFC계 냉매는 냉매로서의 조건을 비교적 잘 갖추고 있으며, 지구 온난화 지수(GWP)는 0은 아니지만, 비가연성, 비독성이며, 오존파괴 지수(ODP)가 0이다. 이러한 HFC계 냉매도 천연가스냉매와는 달리 리사이클링이 되지 못하며, 생산 공정에서 오존층을 파괴시키는 부산물이 나오는 것으로 알려지고 있으며, HFC 물질이 대기권에 존재할 때 태양광에 의해 분해되어 산성 및 독성 물질을 생성시키는 것으로 보고되어 있어 이에 대한 명확한 근거 및 해결책이 필요하게 되었다.

표 1에 프로판(R290)과 R22의 열물성 및 사이클 성능 특성을 나타내었다. 이중 천연가스 냉매인 프로판은 오존파괴지수가 0이고 지구 온난화 지수도 거의 무시할 수 있는 수준이며, 또한, 인체에 무해하고, 독성이 없으며, 화학적으로 안정하며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 냉동기유인 광유(mineral oil)와 잘 혼합된다. 그리고, 냉매의 열역학적 특성이 좋고, 무엇보다도 값이 저렴하며, 재생하지 않아도 된다는 장점이 있다. 따라서, 이를 대체냉매로 사용한다면 환경 친화적 측면에서 많은 도움을 줄 수 있게 되므로, 선진국을 위주로 천연 가스 냉매의 전열성능 연구, 가연성 및 안전성에 대한 연구, 천연 가스 이용 냉동공조용 시스템의 개발에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다.

그러나, 국내의 경우에는 천연 가스 냉매가 가진 가연성 및 안전성에 대한 우려 등의 이유 때문에, 이 분야에 대한 연구가 몇몇 연구자들에 국한되어 제한적으로 진행되고 있으며, 최근에는 한국 과학재단(KOSEF)의 지원을 받은 포항공대 첨단 유체공학연구센터(AFERC)의 열교환기 연구부에서 “천연가스 냉매를 이용한 냉동공조 시스템의 개발”이란 주제로 3년간 천연가스 냉매의 전반에 관한 연구를 수행하였다. 특히, 냉동 공조 시스템의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 핵심 요소라 할 수 있는 증발기의 열전달 특성에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 고에서는 선진 각국에서의 천연 가

표 1 ASHRAE 조건에서의 공조용 냉매의 이론적 특성(NIST REFPROP 5.0이용)<sup>1)</sup>

성 질 \ 냉 매	HCFC22	R290
ODP	0.05	0
GWP(CO <sub>2</sub> =1, 100yr)	1,700	3
가연성(F/N)	N	F
NBP, °C	-41	-42
임계온도, °C	96	97
응축압력(54.4°C), kPa	2,146	1,883(88%)
증발압력(7.2°C), kPa	625	588(94%)
압축비	3.43	3.2(93%)
증발잠열, kJ/Kg	170	308(181%)
COP	100	100
압축기 입구 비체적(35°C), cc/g	43.1	89.8
냉매질량유량 <sup>1)</sup> , kg/h	85	47
행정체적 <sup>2)</sup> , cc/rev	17.44	20.10(115%)
압축기 토출온도, °C(등엔트로피 과정)	101	84(83%)
압축기 윤활유	광유	광유
팽창장치 입구온도, °C	46.1	46.1
냉매 비체적, dm <sup>3</sup> /kg	0.91	2.19
체적 유량, dm <sup>3</sup> /h	77	103

(주) 1)은 4 kW에 대한 냉매의 질량유량,  
2)는 3,500 rpm에 대한 행정체적을 나타낸다.

스 냉매를 이용한 증발 열전달 특성 연구의 사례와 국내의 몇몇 연구 사례를 중심으로, 천연 가스 냉매의 증발 열전달 특성에 대해 논하고자 한다.

## 2. 전반적인 국내의 연구 동향

천연 가스 냉매의 연구에 있어서, 국내에서의 연구가 극소수의 연구자들에게 의해 이루어지는데 반해, 해외에서는 탄화수소계 냉매를 비롯한 천연 가스 냉매에 대한 연구가 유럽을 중심으로 폭넓게 진행되고 있다. 이중 대표적인 해외의 연구 사례들을 살펴보면 다음과 같다.

Kruse<sup>2)</sup>는 냉동공조 및 히트 펌프 시스템에서의 천연가스 냉매에 대한 연구현황을 파악하였다. 여기서, CFCs와 HCFCs의 대체 물질로 잠정적으로 개발되어온 HFC 대신에 궁극적인 대체냉매로서 환경 친화력을 가지는 천연 물질을 사용하고 자 하는 고려가 계속적으로 이루어지고 있다고 확인하였다. 가정용 냉장고에 대해서는 Bosch-Giemens에서 탄화수소 냉매를 사용한 냉장고를 개발하여 1995년부터 판매를 시작하였으며, 상업용 냉동의 경우에는 R410a만이 환경적 측면에서 R22의 대체 물질로 고려된다고 보고하였으나, 이 냉매의 사용을 위해서는 보다 높은 압력에서 사용할 수 있는 압축기의 개발이 필요하며, 개발을 위한 시간도 문제가 된다고 하였다. 또한, R22는 2000년 1월 1일 부터는 사용할 수 없기 때문에, R410a에 대한 적절한 요소들을 개발하고 설계하는 데 충분한 시간이 없다는 사실도 지적하였다. 따라서, 탄화수소 냉매들의 사용이 용이하게 되었으며, 이들 냉매를 이용한 장치들은 냉매 충전량 1kg 미만의 소형 장치에 적용되고 있다고 하였다. 공조·히트 펌프 시스템의 경우는 R407c가 R22의 대체물질로서 고려되고 있으나, 온도 구배(temperature gliding) 문제 때문에, 넓은 온도 범위에서의 응용이 힘들다고 보고하였으며, 독일의 AEG와 이탈리아의 DeLonghi사에서 프로판을 사용한 공조 장치가 판매되기 시작되었다는 사실도 보고하였다. 또한, 차량 공조 시스템의 경우에는 누설의 위험 때문에, GWP가 높은 R134a가 최종적인 해결책이 될 수 없다고 판단하여, 공기를 사용한 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다고 보고하고 있다. 그리고, 독일에서는 가연성 냉매, 특히 탄화수소 냉매를 받아들였으나, 이외의 유럽 국가들과 미국은 가연성 냉매에 대해 전념하지 않고 있다고 보고하였다.

Stene<sup>3)</sup>은 천연 냉매들을 사용하여 종래의 HFC 시스템에 경쟁할 수 있는 안전하고 믿을 수 있는 시스템을 만드는데 가장 큰 장애는 에너지 효율과 초기 비용에 있다는 사실을 보고하였다. 탄화수소 냉매의 현 사용 실태에 대해서는 가정용 냉장고의 경우는 이소부탄(R600a) 혹은 프로판/부탄(R290/R600) 혼합물을 이용하고 있으며, 타

용용 장치의 경우에는 프로판/이소부탄/에탄(R290/R600/R170) 혼합물과 프로판/프로필렌(R290/R1270)이 가장 유력한 탄화수소계 작동 유체로 여겨지고 있으며, 기존에 사용중인 대부분의 장치는 냉매 충전량이 1kg 미만(가열 혹은 냉각 능력 당 0.2kg 미만)의 작은 시스템이며, 프로판(R290)이 가장 많이 사용되고 있으며, 프로판 사용 시스템의 COP는 종래의 HCFC22 시스템보다 3~5% 높다는 사실도 확인시켜 주었다. 또한, 탄화수소계 냉매를 사용한 시스템이 영국, 독일, 스웨덴, 오스트리아 등에서 사용되고 있다고 확인하였다.

Wierzbza 등<sup>4,5)</sup>은 탄화수소 냉매들의 가연성에 대한 연구를 수행하여, 탄화수소 냉매들의 가연성은 기존 냉매들과 비교하여 위험성이 크지 않다고 주장하였으며, Iz 등<sup>6)</sup>, James 등<sup>7)</sup>은 소형 냉동 시스템에서의 프로판 사용에 관련된 다양한 위험에 대해 상세히 고려하였고, 적절한 설계에 의해 이들이 극복될 수 있는 방법도 제시하였다. 또, 이들은 시스템의 파괴를 가져올 정도의 냉매압력까지 상승하여, 화재가 발생할 경우에도, 미량의 탄화수소는 화재에 큰 기여를 하지 않기 때문에, 프로판(유사한, 다른 탄화수소들)은 실제적으로 R12보다 더 안전하며, 반면에, R12는 포스겐 가스나 COCl<sub>2</sub>를 생성한다고 보고하였다.

Agarwal<sup>8)</sup>은 R12가 가정용 냉동 시스템에서 이소부탄(R600a)으로 대체될 수 있는 지의 여부를 확인하였다. 실험을 통해, 부탄(R600)을 사용한 시스템의 성능은 R12 사용 시스템과 비슷하며, 소음이 R134a와 R12에 비해 다소 낮으며, 냉매 충전량은 R12에 비해 1/3 수준에 있다고 보고하였다. 또, 가연성을 제외하고는 R12와 거의 유사하며, 압축기와 기타 요소의 제조 공정에서의 변화가 필요 없다는 것이 밝혀졌다.

김 등<sup>9)</sup>은 비공비 혼합 냉매 R290/R134a(45/55), R134a/R600a(80/20)의 시스템 성능을 R12, R22, R134a, R290과 비교하였다. 여기서, R290/R134a의 COP는 R22보다 높았으며, R134a/R600a의 COP는 R12와 R134a보다 높았다고 보고하였으며, 또한 이들은 히트 펌프 시스템에서 단일의 탄화수소 냉매들과 이들의 혼합물에 대한 성능도 또한 평가하였다. 여기서, R290의 가열/냉

각 능력은 R22 보다 약간 낮았으나, COP는 약간 높았다고 보고하였다. 그리고, R290/R600, R290/R600a의 경우의 가열/냉각 능력은 R290의 질량 속도의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가한다고 보고하였다.

### 3. 증발 열전달에 관한 국내외 연구 결과

위에서 언급한 연구 사례 이외에도, 천연가스 냉매의 연구의 대부분은 주로 시스템의 성능 평가와 가연성에 의한 시스템의 안정성에 대한 연구가 대부분이며, 시스템의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 증발 열전달에 대한 연구는 아래와 같이 손꼽을 수 있을 정도이다.

Pelletier, Palm<sup>10)</sup>은 열교환기에서의 프로판(R290)과 R22을 사용하여 증발 열전달 성능을 나타내었다. 여기서는 소형 가정용 히트 펌프를 시플레이트 하기 위한 시험 장치로 두개의 플레이트 열교환기를 응축기와 증발기로 사용하였다. 냉매의 질량 유량과 엔탈피차와 냉매와 2차 유체인 물의 LMTD를 이용하여 총괄 열전달 계수를 계산하였다. 냉방 부하와 난방 부하가 똑같은 상태에서, 총괄 열전달 계수는 증발기의 경우에는 프로판의 경우가 R-22보다 약간 높았으며, 압력강하에 있어서는 프로판의 경우가 증발기의 경우 R-22의 약 50% 정도였다고 보고하였다. 따라서, 똑같은 부하에서 똑같은 압력강하를 가지는 열교환기들의 새로운 설계에 있어서는, 증발기에서 프로판의 열전달율이 R-22보다 높았다고 보고하였다.

장 등<sup>11)</sup>은 프로필렌(R1270), 프로판(R290), 이소부탄(R600a), 부탄(R600)의 순수 물질과 프로판/이소부탄, 프로판/부탄의 성분비가 질량비로 25/75, 50/50, 75/25인 혼합물을 작동 유체로 하여, R22와의 증발 열전달 성능을 비교하였다.

순수 탄화수소 냉매와 R22의 질량 속도 변화에 따른 평균 열전달 계수 비교에서는 냉매의 질량 속도 증가에 따라 열전달 계수는 증가하였으며, R22 보다는 탄화수소 냉매의 열전달 계수가 월등히 우수하였다고 보고하였다. 이는 탄화수소 냉매의 열전도율이 R22에 비해 우수하고, R1270, R290의 경우 R22에 비해 점성계수가 작고,

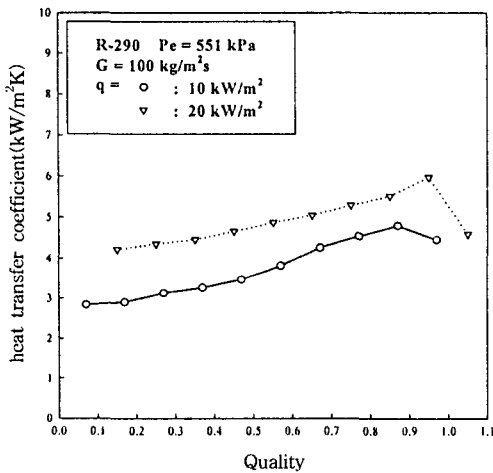
R600a, R600은 포화액과 포화증기의 밀도의 비가 크기 때문에 이러한 결과를 가져온 것으로 보고하였다. 그러나, R22와 탄화수소 냉매 사이의 잠열의 차가 커서 비슷한 냉방용량 하에서 질량 유량의 차가 크다. 따라서, 비슷한 질량 속도에서의 열전달 계수의 비교보다는 질량 유량과 잠열의 곱으로 표시되는 열전달량으로 비교하는 것이 더 의미가 있을 수 있어, 평균 열전달 계수를 비교하였다. 평균 증발 열전달 계수 비교에 있어서는 순수 탄화수소 냉매들은 R22에 비해 우수한 열전달 특성을 보였으며, 비슷한 열전달량 하에서 R1270과 R290이 약 8% 정도까지 R22에 비해 우수한 증발 열전달 계수를 보였다고 보고하였다. 그리고, 혼합 냉매의 경우에는 상분비 성분비의 불균일로 열전달 계수가 순수 냉매일 때보다 감소하는 것으로 알려져 있으며, 이를 실험적으로 확인하였다고 보고하였다. 따라서, 혼합비 50/50의 경우에서 가장 작은 열전달 계수를 보였고, R290/R600의 혼합물이 R290/R600에 비해 열전달 계수의 감소 정도가 컸으며, R290/R600a(50/50), R290/R600(50/50) 일 때, 각각 선형 보간된 값에 비해 약 19%, 26% 작은 값을 보였다고 보고하였다.

김 등<sup>12)</sup>은 전열 성능이 우수하고, 대부분의 냉동공조 시스템에 적용되고 있는 전열관인 마이크로 환관 내에서 천연가스 냉매 R290의 증발 열전달 계수를 R22의 값들과 비교하여, 대체 냉매로서의 적용 가능성을 확인하였다. 본 연구에서 적용된 실험 조건은 일반적인 가정용 에어컨에서의 적용 범위를 기준으로 하였으며, 작동 유체로는 R22와 R290을 사용하였다. 실험 조건으로써, 질량 속도는 150, 200, 250 kg/m<sup>2</sup>s, 열유속 10, 20 kW/m<sup>2</sup>, 건도는 0.08~1.0로 하였다.

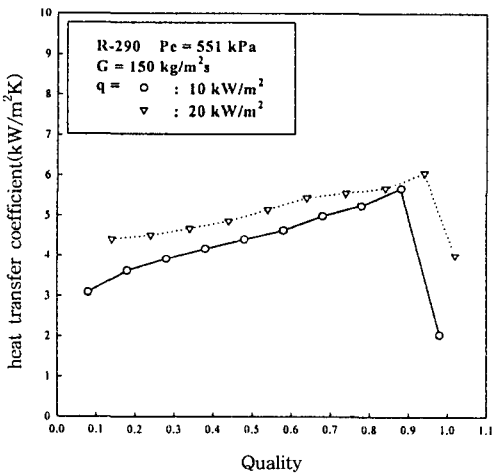
그림 1은 열유속 10 kW/m<sup>2</sup>와 20 kW/m<sup>2</sup>일 때, R290의 건도에 따른 국소 열전달 계수의 변화를 나타낸 것이다. 그림 (a), (b)는 질량 속도가 100 kg/m<sup>2</sup>s, 150 kg/m<sup>2</sup>s 일때의 열전달 계수 변화를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 건도 증가에 따라 열전달 계수가 증가하고 있으며, 열유속 증가에 따라서도 열전달 계수가 상승하는 것을 볼 수 있다.

그림 2는 열유속 10 kW/m<sup>2</sup>일 때, 질량 속도의

증가에 따른 평균 증발 열전달 계수의 변화를 R290과 R22를 비교하여 나타낸 것이다. 이때, 평균 증발 열전달 계수는 건도에 따른 각각의 증발 열전달 계수를 구한 후 이를 평균하여 사용하였다. 질량 속도가 증가할수록 두 유체 모두 열전달 계수가 증가하였으며, 동일 질량 속도일 때, R290의 열전달 계수가 R22에 비해 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 이것은 유동양식에서 알 수 있듯이 R290의 경우, 관벽 전체가 얇은 액막으로 덮여진 환상류가 대부분을 차지하기 때문이라고 생



(a)  $G = 100 \text{ (kg/m}^2\text{s)}$



(b)  $G = 150 \text{ (kg/m}^2\text{s)}$

그림 1 질량 속도 변화에 따른 R290의 국소 증발 열전달 계수

각된다.

그림 3은 R290 및 R22에 대해 열유속  $10 \text{ kW/m}^2$ 일 때의 질량 속도 증가에 따른 단위 길이 당의 평균 압력 손실을 나타낸 것이다. 이때, 평균 압력 손실은 건도에 따른 단위 길이당의 압력 손실을 구한 후 이를 평균하여 사용하였다. 질량 속도가 증가할수록 전체적으로 압력 손실이 증가하였으며, 동일 질량 속도에서는 R290의 압력 손실이 R22보다 3배 정도 높게 나타났다. 이것은

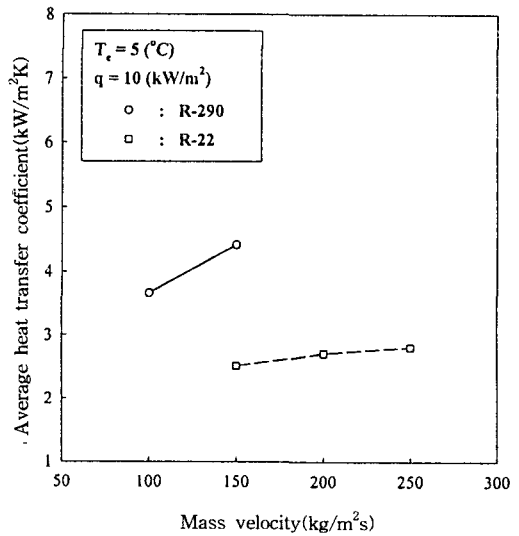


그림 2 질량 속도 변화에 따른 R290과 R22의 평균 증발 열전달 계수

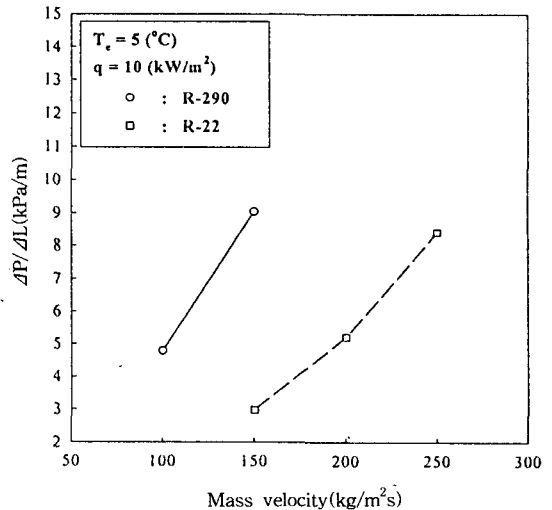


그림 3 질량 속도 변화에 따른 R290과 R22의 평균 압력 손실

R290의 비체적이 R22에 비해 매우 크기 때문이라고 생각된다.

이상의 실험 결과를 통해, R290의 증발 열전달 계수가 동일 질량 속도 및 열유속 조건에서 R22보다 2배 정도 높게 나타났으며, 압력 손실의 경우에는 질량 속도 증가에 따라 전체적으로 증가하였으며, 동일 질량 속도에서는 R290의 압력 손실이 R22보다 3배 정도 높게 나타났다.

또한, 김 등<sup>13)</sup>은 증발 열전달 특성에 미치는 냉동유의 영향에 대해서도 파악하였다. 이때, 적용된 실험 조건은 증발 온도 5℃, 냉동유 SUNISO 5GS, 질량 속도 100 kg/m<sup>2</sup>s, 열유속 10 kW/m<sup>2</sup>, 건도 0.07~1.0, 유농도 0, 1.3, 3.3, 5.7 wt.%이다.

그림 4(a), (b)는 질량 속도 100 kg/m<sup>2</sup>s, 열유속 10 kW/m<sup>2</sup>일 때, 유농도가 각각 0, 5.7 wt.%에서의 실제 유동 양식 사진을 나타낸 것이다. 유농도 0 wt.%일 때, 건도 0.3 이전의 범위에서는 대부분 간헐적인 슬러그류를 동반한 파상류가 관찰되었다. 또한, 평활관에서는 건도 0.6 이상에서 관찰되는 환상류가 환관에서는 저건도 영역에서 관찰되었는데, 이것은 관내 환에 의한 냉매의 선회력 때문이라고 생각된다. 건도 0.3 이후에 반환상류로 천이되었으며, 건도 0.75를 지나면서 완전한 환상류가 관찰되었다. 유농도 5.7 wt.%일 때, 저건도 영역에서는 오일 포밍(oil foaming)에 의해 생성된 비교적 큰 기포를 동반한 파상류가 관찰되었으며, 혼입된 냉동유가 상부로 공급되어 환상류가 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 이것은 냉동유와 혼합된 냉매의 표면장력이 증가하여 순수 냉매일 때보다 관의 상부에 많은 액이 공급되었기 때문이라고 생각된다. 건도가 증가함에 따라 환상류로 천이되었으며, 저건도 영역과는 달리 매우 작은 기포가 관찰되었다.

그림 5는 유 혼입시 건도 증가에 따른 증발 압력 손실을 나타낸 것이다. 유농도가 증가함에 따라 압력 손실은 증가하고 있으며, 특히 천이 영역에서 급격한 압력 손실 변화가 관찰되었다. 유농도가 3.3 wt.% 정도까지는 순수 냉매일 때와 압력 손실의 차이가 근소하였으나, 5.7 wt.%에서는 상당히 높게 나타났다. 따라서 유농도가 낮은 범위에서는 유의 표면 장력 및 점성력에 대한 영향

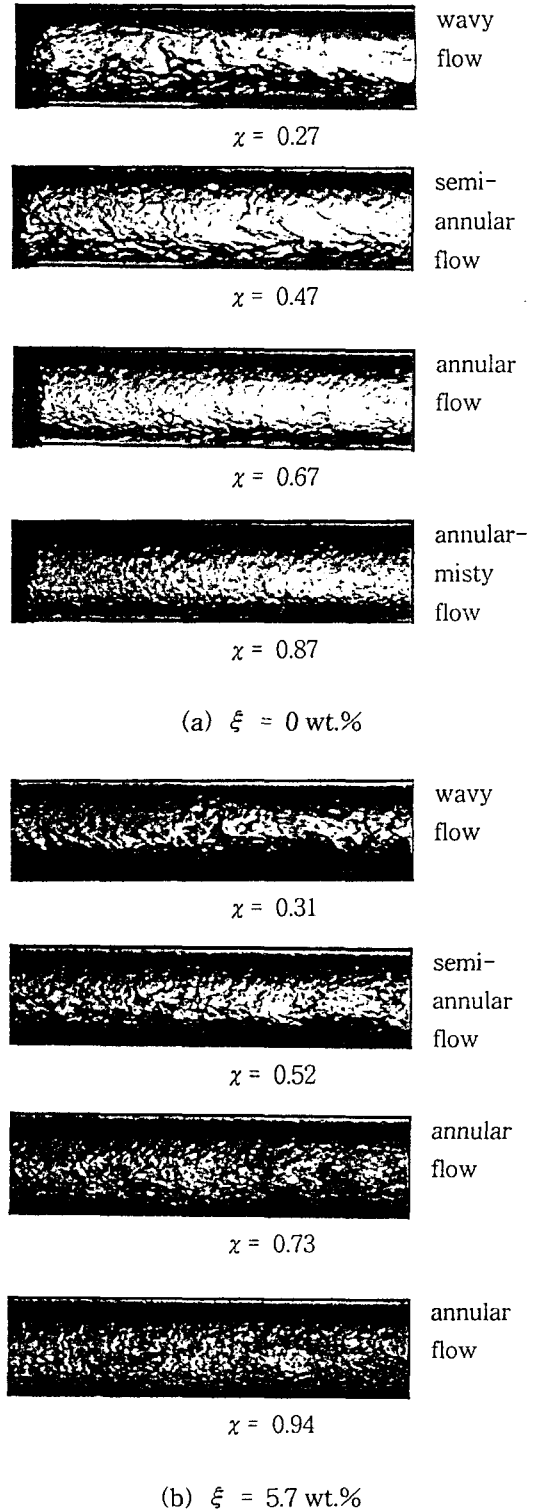


그림 4 R-290/유 혼합물의 유동 양식 사진

이 큰 영향을 미치지 못하고, 유농도가 비교적 높은 범위에서 유에 의한 유동 저항이 비로소 뚜렷하게 나타나는 것으로 생각되었다.

그림 6은 유 혼입시 건도 증가에 따른 증발 열전달 계수를 나타낸 것이다. 유농도 3.3 wt.% 정도까지는 순수 냉매와 비슷한 경향으로 나타났으나, 5.7 wt.%에서는 열전달 계수가 높게 나타났다. 이것은 오일 포밍에 의해 발생된 작은 기포에 의해 액과 벽면사이에서 열교환이 활발히 일어나고, 유막에 의해 환상류의 영역이 저건도 영역에서부터 지속되었기 때문이라고 생각되었다.

그림 7은 건도 증가에 따른 순수 냉매에 대한 냉매-유 혼합물의 열전달 계수/압력 손실의 비를 나타낸 것이다. 유농도가 1.3, 3.3, 5.7 wt.%일 때 전반적으로 순수 냉매보다 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 유농도 5.7 wt.%일 때 3.3 wt.%보다 성능이 낮게 나타났다.

따라서, 유농도가 3.3 wt.% 전후일 때 열교환 성능이 가장 좋은 것다고 볼 수 있으며, 유농도가 6 wt.% 이상일 때에는 순수 냉매보다 열교환 성능이 낮아질 것으로 예측되었다. 건도 0.3 부근에서 성능 지수가 급격히 감소하는 것을 알 수 있는데, 이것은 파상류에서 환상류로의 천이 과정에서 증기의 속도 증가로 인하여 액에 의해 관로가 막히는 현상이 현저하게 나타나는데, 이때 열전달 계수의 증가에 비해 압력 손실의 증가가 더 크게 나타났기 때문이라고 생각된다. 실선부 와 파선 및 점선부는 각각 초기 유농도 1.3, 3.3, 5.7 wt.% 일 때의 시험부 내에서의 건도 증가에 따른 국소 유농도 변화를 나타낸 것으로서, 건도 0.7을 지나면서 냉매의 증발로 인한 국소 유농도의 급격한 상승으로 인해 열전달율의 증가폭은 감소하게 되고, 압력 손실의 증가폭은 증가하여 열전달 성능은 저하하게 된다.

마이크로 흰 증발관내 냉매 R-290의 열전달 특성에 미치는 냉동유의 영향에 대한 실험 결과로부터, 유동 양식은 파상-환상류, 환상류로 천이되었으며, 유혼입시 오일 포밍에 의한 소기포가 관찰되었다. 또, 유 농도 증가에 따라 증발 열전달 계수와 압력 손실은 증가하였으며, 유농도 5.7 wt.%일 때 급격하게 증가하였다. 그리고, 열교환

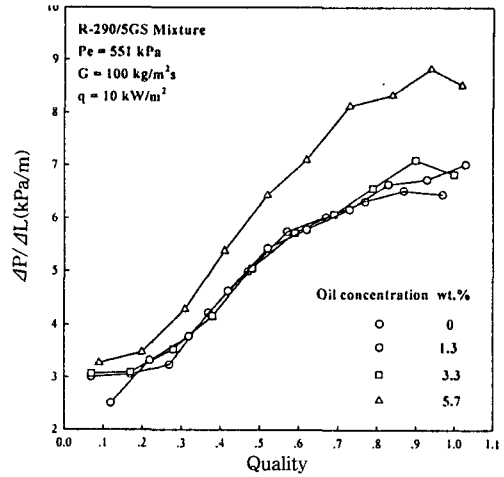


그림 5 건도 변화에 따른 R290의 국소 압력 손실

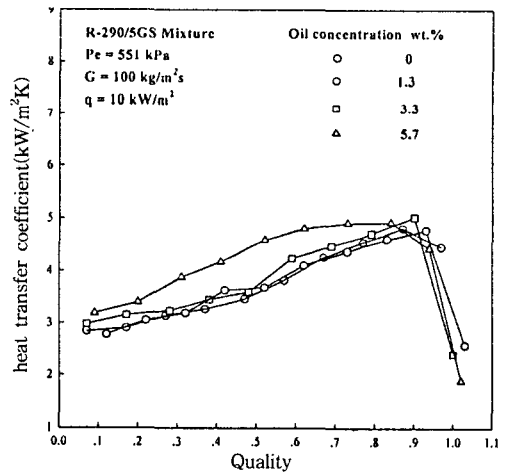


그림 6 건도 변화에 따른 R290/유 혼합물의 국소 열전달 계수

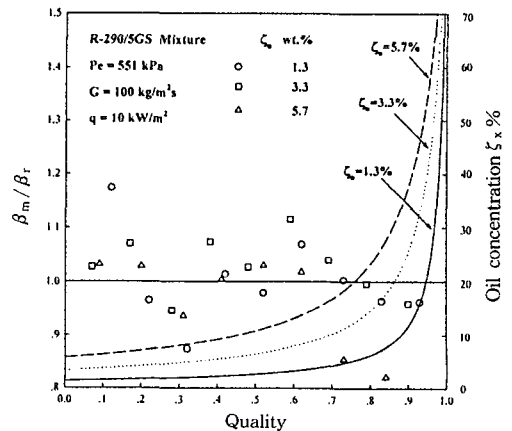


그림 7 건도 변화에 따른  $\beta_m/\beta_r$ 비

기의 성능은 유농도 3.3 wt.% 부근에서 가장 좋다고 볼 수 있으며, 6 wt.% 이상일 때에는 순수 냉매에 비해 성능이 낮을 것으로 예측되었으며, 천이 영역( $\chi=0.3$ )에서는 열전달 성능이 현저히 낮게 나타났다.

#### 4. 맺음말

이상과 같이, 탄화 수소 냉매를 이용한 국내의 증발 열전달 특성 연구에 대해 살펴보았다. 위에서 예로 든 연구의 모든 경우에서, 탄화수소계 냉매의 증발 열전달 계수가 기존의 CFC-12와 HCFC-22에 비해 평균적으로 높음을 확인할 수 있었다.

증발관내 냉매 R-290의 열전달 특성에 미치는 냉동유의 영향에 대한 실험 결과로부터, 유농도 0~6 wt.% 범위 내에서는, 유농도 증가에 따라 증발 열전달 계수, 압력 손실 모두 증가하였다. 열교환기의 성능은 유농도 3.3 wt.% 부근에서 가장 좋다고 볼 수 있으며, 6 wt.% 이상일 때에는 순수냉매보다 성능이 저하된다는 것을 알 수 있다.

따라서, 이들 탄화수소 냉매가 기존 시스템에 대체될 때 성능에 의한 문제점은 없을 것으로 판단된다. 그러나, 서구 유럽의 탄화수소 냉매 적용 시에 많이 언급되어온 이들 냉매들의 가연성에 대한 연구, 대비책 등에 대해 국내의 경우에는 많이 미흡한 실정에 있으므로, 앞으로도 보다 많은 연구가 필요하다. 또한, 관련 학계와 산업체 뿐만 아니라, 국가 차원에서도 에너지 절약 및 환경 보호 대책의 일환으로 본 연구에 대한 보다 적극적인 지원이 필요한 시점이라 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 김만희, 박윤서, "신냉매 적용 냉동공조기기 개발 동향," 1996, 공기조화·냉동공학 제25권, 제6호, pp. 489~505.
2. H. Kruse, 1996, "Current Status of Natural Working Fluids in Refrigeration, A/C, and Heat Pump Systems," IIF-IIR-Commissions B1, B2, E1 and E2-Aarhus (Denmark), pp. 49~64.
3. Jorn Stene, 1996, "IEA Annex22-Compression Systems with Natural Working Fluids Status and Outlook for the Project", IIF-IIR-Commissions B1, B2, E1 and E2-Aarhus(Denmark), pp. 65~74.
4. I. Wierzba, G. A. Karim, H. Cheng, 1988, "The flammability of rich gaseous fuel mixtures including those containing propane in air," J. of Hazardous Materials, Vol. 20, pp. 302~312.
5. I. Wierzba, G. A. Karim, H. Cheng, 1989, "The flammability of fuel mixtures in air containing propane and butane," Trans of the ASME, Vol. 111, pp. 100~103.
6. Iz Harun, Tekin Yilmaz, Yalcin Tanes, 1996, "Experimental Results of the Safety Tests on Domestic Refrigerators for Refrigerant R600a," IIF-IIR-Commissions B1, B2, E1 and E2-Aarhus(Denmark), pp. 321~328.
7. James R. W., J. F. Missenden, 1992, "The Use of Propane in Domestic Refrigerants", Int. J. of Refrigeration, Vol. 15, No. 2, pp. 95~10.
8. R. S. Agarwal, 1996, "Isobutane as Refrigerant for Domestic Refrigeration in Developing countries," IIF-IIR-Commissions B1, B2, E1 and E2-Aarhus (Denmark), pp. 75~86.
9. Kim M. S., W. J. Mulroy, D. A. Didion, 1993, "An experimental evaluation of the flammability and performance potentials of two azeotropic refrigerant mixtures," The 6th International Symposium on Transport Phenomena in Thermal Engineering, pp. 153~158.
10. Olivier Pelletier, Bjorn Palm, 1996, "Performance of Plate Heat Exchangers and Compressor in a Heat Pump using Propane", IIF-IIR-Commissions B1, B2,



- E1 and E2-Aarhus(Denmark), pp. 497~506.
11. 장영수, 김민수, 노승탁, 1997, “탄화수소 냉매를 사용한 냉방 시스템의 성능 및 열전달 특성,” 대한기계학회논문집(B), 제21권, 제5호, pp. 713~723.
  12. Kim J. S., W. H. Lee, C. M. Park, Y. B. Im, 1999, “Evaporating Heat Transfer Characteristics of Hydrocarbon Refrigerants inside Horizontal Micro-Fin Tubes,” Report of High-Performance Heat Exchanger Research Division, AFERC, POSTECH, pp. 79~93.
  13. 안영태, 임용빈, 박철민, 김종수, 1999, “마이크로 핀 증발관내 냉매 R-290의 열전달 특성에 미치는 냉동유의 영향,” 공기조화 냉동공학회 '99하계학술발표회 논문집, pp. 8~13.