

자동차 공조용 증발기의 고성능화에 관한 연구

Study on Development of High Performance Evaporator for Automotive Air Conditioner

강 정 길*, 김 기 호*, 박 태 영*, 김 종 수**
 J. K. Kang, K. H. Kim, T. Y. Park, J. S. Kim

Key words : Evaporative Heat Transfer Coefficient(증발 열전달율), Average Quality(평균 건도), Turn Clearance Ratio(흐름목비), Superheated Area(과열 영역)

Abstract

The object of the present study is to develop a high performance evaporator for automotive air conditioner. The experiment has been conducted on evaporative heat transfer coefficient inside a plate type heat exchanger with a sharp 180-degree turn flow. The test plates have different formed surface, cross-ribbed channel and elliptical-ribbed channel. Also experimental study has been performed to determine optimal design in elliptical-ribbed plate heat exchanger with different turn clearance.

In addition to the above experiments, refrigerant behavior and surface temperature distribution in the plate heat exchanger were observed using color thermoviewer(infrared thermometer).

In this experiment, working fluid was used R-12 and test conditions were as follows : (1) saturation pressure of 2.116kg/cm², (2) mass fluxes of 40 to 70 kg/m²s, (3) heat fluxes of 4,500 to 7,300W/m², (4) inlet quality of 0.1 to 0.7.

The results indicated that the evaporative heat transfer coefficient of an elliptical-ribbed plate heat exchanger was higher than that of cross-ribbed plate heat exchanger. Also optimal turn clearance in an elliptical-ribbed plate heat exchanger was determined.

기 호 설 명

D : 냉매의 유로 수직 방향의 폭[mm]
 L : 유턴부(U-turn section)의 유로 흐름목[mm]
 L/D : 흐름목비(turn clearance ratio)[mm/mm]
 G : 질량 유량[kg/h]
 \dot{G} : 질량 유속[kg/m²s]
 h : 증발 열전달율[W/m²C]

q : 열유속[W/m²]
 T_{ave} : 증발기 표면 평균 온도[°C]
 T_s : 냉매 증발온도[°C]
 X_{mean} : 평균 건도[]
 ΔT : 온도차($T_{ave} - T_s$)[°C]

1. 서 론

최근 몇년 동안에 걸쳐 자동차의 보급이 급증하면서 차실내의 공간은 가정이나 사무실과 같은

* 한라공조(주) 기술연구소
 ** 부산수산대학교

공조공간의 연장으로 변화하고 있기때문에 최근의 자동차 에어컨에는 운전자와 승객에 의해 보다 더 강력하고 쾌적한 환경이 요구되고 있다. 그러나 자동차 공조장치의 기본적인 구성은 일반 공조장치와 동일하지만, 자동차의 주행에 따른 환경조건이 큰폭으로 변화하므로 이에 대응하여 운전자 및 승객에게 쾌적 환경을 제공하는 소형, 경량, 고성능의 공조 장치가 필요로 된다.

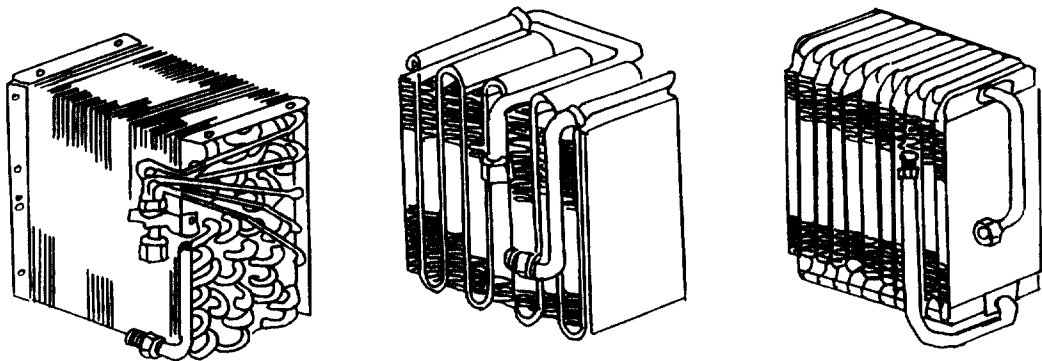
실제 태양에 직접 노출되어 주차되어 있는 자동차의 실내온도는 대략적으로 50~60℃ 정도로 매우 높기 때문에 빠른 시간내에 운전자 및 승객의 요구조건에 부응하기 위해서는 고성능의 공조시스템이 필요하다. 그러므로 이러한 요구를 충족시키기 위해 증발기, 응축기 및 압축기와 같은 주요기기의 성능이 균형적으로 개선되어야 한다. 특히, 이 요소기기들 중에서 공급공기를 냉각하는 증발기는 냉방능력에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 자동차 공조용 증발기의 고성능화(high efficient), 경량화(light)에의 요구가 매우 크며, 동시에 차실내에 설치되므로 인해 소형화(compact)의 요구도 더욱 고조되고 있다. 이러한 이유로 자동차 공조용 증발기에 대한 개선, 개량이 적극적으로 추진되어야 한다.¹⁾

현재 자동차 공조 장치에 주로 사용되고 있는 증발기의 형식은 Fig.1에서 보는 바와 같이 루우버를 가진 플레이트 환과 가는 원형 튜브를 끼워

조립한 핀/튜브형 증발기(fin and tube type evaporator), 압축 성형된 다수개의 소형 유로를 가진 편평 튜브와 루우버를 가진 콜게이트 환이 브레이징된 서펜틴형 증발기(serpentine type evaporator)와 임의 형상의 돌기를 압축 성형시킨 알루미늄 박판을 서로 겹쳐 형성되는 냉매 유로 플레이트와 루우버를 가진 콜게이트 환이 브레이징된 플레이트/환형 증발기(plate and fin type evaporator)가 주종을 이루고 있다. 이 중에서도 플레이트/환형의 증발기는 다른 형식의 열교환기에 비해 공기측, 냉매측 열전달율이 높고 단위 체적당 냉방능력이 클 뿐만아니라 대량 생산에 아주 유리하므로 가장 많이 사용되고 있다.²⁾

자동차 공조용 증발기는 공기와냉매의 열교환이 직교류형으로 이루어지므로 과열도 제어 방식을 채용하는 대부분의 냉동 시스템에서 과열 구역을 통과한 공기와 포화구역을 통과한 공기 사이에 큰 온도차가 발생한다. 이러한 피냉각 공기의 온도분포차는 공조 장치용 증발기의 결빙에 대한 제어성(frost control)을 나쁘게하고 이로 인해 열교환 효율이 저하됨과 동시에 증발기 출구공기의 온도분포의 불균일도가 증대되어 차실내의 쾌적도가 저하하는 문제를 야기시킨다.³⁾

본 연구에서는 이러한 문제점을 규명하고 소형, 고효율의 열교환기 개발을 위한 기초자료를 구하고자 기존 양산 플레이트 환형 증발기의 냉매흐름에 대한 조사 및 새로운 플레이트형 증발기의 증발



(a) fin and tube type

(b) serpentine type

(c) plate and fin type

Fig.1 Evaporators for automotive air conditioner

열전달 특성과 최적 흐름목비(turn clearance ratio)에 대한 실험적 연구를 실시했다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig.2는 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도로써 본 장치의 구성은 압축기, 응축기, 팽창밸브 및 축정부인 증발기로 이루어진 기본 냉동 사이클과 증발기에 공급되는 공기량을 조절하기 위한 풍동 장치로 구성되어 있다.

압축기에서 고온 고압으로 압축되어 나온 과열 증기 냉매(R-12)는 유분리기를 지나 응축기로 들어와 냉각팬에 의해 강제 냉각되어 액화한다. 이 액냉매는 수액기에서 수분 및 이물질이 제거된후 유량계를 통해 실험하고자 하는 유량으로 조절되고 그 외 액냉매는 바이패스(by-pass)배관을 통해 보조 증발기로 보내진다. 유량계를 통해 계량된 냉매는 T형 열전대와 부르돈관 압력계에 의해 온도와 압

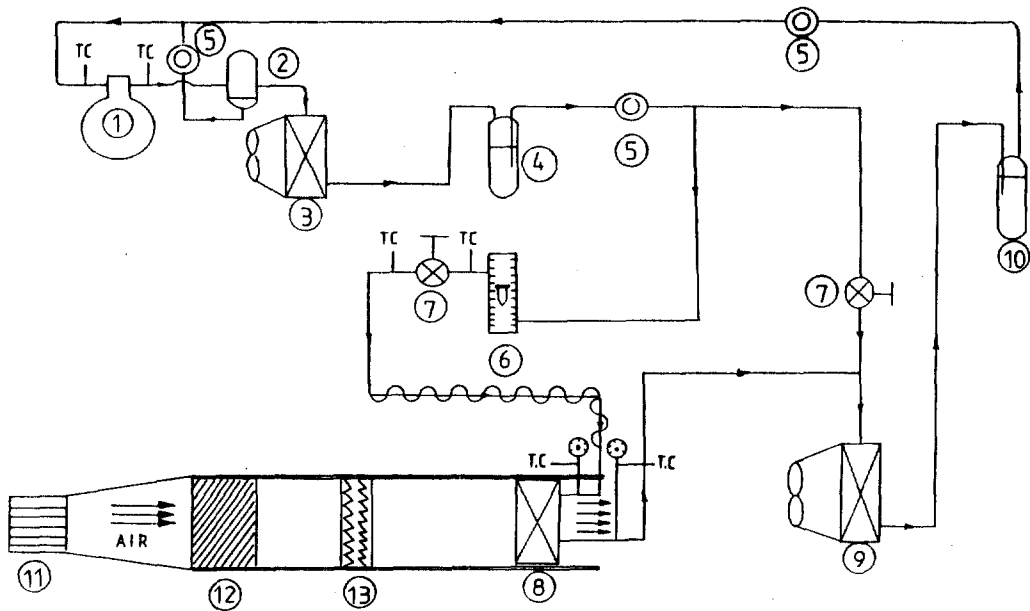
력이 측정되어 수동식 팽창 밸브를 통해 증발 압력까지 등엔탈피변화를 한다. 또한 축정부 직전에는 축정부의 입구 건도를 임의로 설정할수 있도록 전기 가열 방식의 예열기인 코일 히터가 설치되어 있으며, 축정부를 거쳐 나온 냉매는 바이패스된 냉매액과 합쳐져서 보조 증발기에서 완전한 과열 증기 상태가 되어 압축기로 재순환된다.

2.2 실험 방법

2.2.1 냉매 흐름에 대한 조사

현재 생산되고 있는 플레이트/휨형 증발기의 냉매 흐름을 조사하기 위해 Fig.3에 나타낸 17열의 플레이트를 5-6-6의 3구역으로 유로를 나눈 증발기를 Fig.2의 시험 샘플(⑧)로 설치하여 냉매질량 유량 22.3~26.7kg/m²s, 입구 공기풍속 3.74m/s의 조건으로 운전하면서 증발기의 출구측 표면 온도 분포를 방사 온도계(thermal view)에 의해 촬영하였다.

2.2.2 신형 증발기용 플레이트의 실험



① compressor ② oil separator ③ air cooled condenser ④ receiver/drier ⑤ sight glass ⑥ flow meter
⑦ expansion valve ⑧ test sample ⑨ sub-evaporator ⑩ accumulator ⑪ blower/motor ⑫ screen/filter ⑬ electric heater

Fig.2 Schematic view of experimental apparatus

신형 증발기용 플레이트의 열교환기는 기존의 플레이트와는 달리 냉매의 출입구 집합 탱크부가 한쪽에 설치되어 있고 냉매는 가운데 분리벽을 중심으로 180도 회전하여 흐르는 구조로 되어있다. 본 실험에 사용된 플레이트 A는 타원형의 돌기, 플레이트 B는 45도 경사진 긴 돌기를 성형시켜 만든 것으로 이러한 성형 돌기는 열전달 성능을 촉진함과 동시에 증발기의 내압 강도를 높이는 효과를 가지고 있다.⁴⁾

본 실험에서는 증발 열전달율을 조사하기 위해 플레이트의 외벽 온도를 측정할 수 있도록 Fig4에서 보는 바와 같이 $\phi 0.2\text{mm}$ 의 T형 열전대를 플

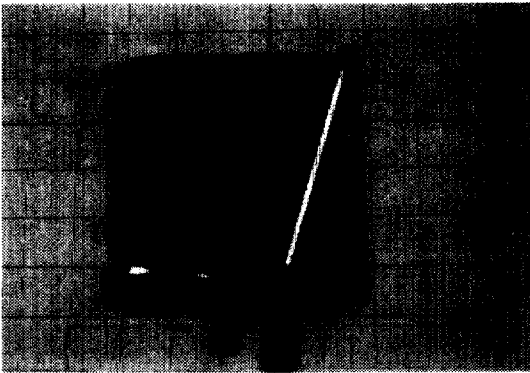


Fig.3 Photograph of current plate and fin type evaporator

레이트 전면에 유로 폭 방향으로 2-3개소, 유로축 방향으로 7-8개소와 뒷면의 동일한 위치에 25개소, 총 56개를 설치했다. Fig4의 ■표시는 플레이트 뒷면의 설치된 열전대, □표시는 전면에 설치된 위치를 나타낸다. 또한 사용된 열전대의 측정 오차는 예비 실험을 통해 약 0.1°C 이내인것을 확인했다. 각 온도의 측정은 설정 조건이 정상 상태에 도달한 후 3회 측정된 평균 온도를 그 대표값으로 했다.

측정부에 설치되는 시험용 플레이트 열교환기는 Fig5에서 보는 바와 같이 열전대의 리드선에 의해 생기는 열전달면과 플레이트형 히터간의 틈새를 제거하고 열전달면에 균일한 열유속을 공급하기 위해 열전도도가 큰 플레이트형 열교환기와 동일한 재질의 알루미늄 퍼티(aluminum putty)를 약 2mm 두께로 도포하였다. 또한 도포된 플레이트 위에는 1.7mm 두께의 플레이트형 실리콘 고무 히터(Watlow Model F040100C8)를 놓고 그 위에 석면(asbestos)과 백크라이트(bakelite)판을 사용하여 고정하였으며, 그 외부에 폴리우레탄폼으로 열손실이 없도록 충분히 단열을 실시했다.

본 실험에서는 플레이트형 열교환기의 입구 냉매 건도 0.1-0.7, 냉매의 질량 유속 $20\sim 70\text{kg/m}^2\text{s}$, 표면에서의 열유속 $4,500\sim 7,300\text{W/m}^2$ 의 범위에서 증발 열전달율, 표면의 온도 분포를 측정하였으며

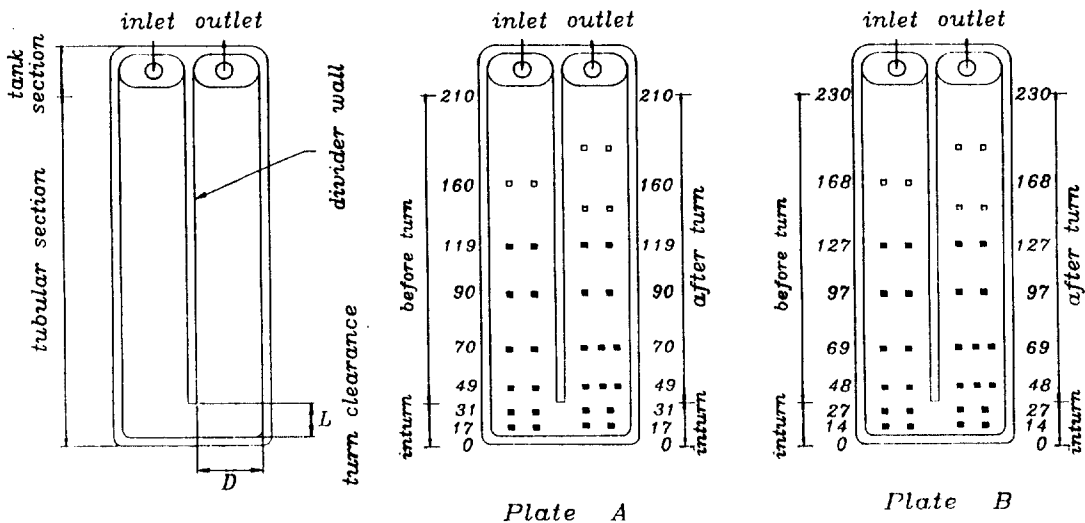


Fig.4 Detailed thermocouple placements on the test plate

이때의 증발 압력은 2.116kg/cm^2 , 작동 유체는 R-12를 사용하여 실시했다. 또한 동일 실험 조건에서 흐름목의 비(turn clearance ratio)에 따른 열전달율도 비교 검토하였다.

실험 조건에서 플레이트형 열교환기의 입구 건도는 플레이트형 열교환기의 직전에 설치된 코일형 예열기의 입력 전압을 이용하여 조절하며, 열유속은 플레이트형 실리콘 고무 히터의 입력 전압을 이용하여 조절하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 증발기의 냉매 흐름에 대한 조사

현재 생산되고 있는 증발기 내에서의 냉매 분포를 조사하고자 질량 유량 및 입구 공급 공기유속에 따른 증발기의 출구 표면온도를 측정된 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 공급공기의 유속이 일정한 상태에서 냉매의 질량 유량에 따른 표면 온도 분포의 영향을 조사한 결과 질량 유량이 낮은 $22.3\text{kg/m}^2\text{s}$ 의 경우에는 증발기 전반에 걸쳐 (a)와 같이 과열된 상태로 나타났다. 이는 공급 공기량에 비해 유입되는 냉매의 질량 유량이 적기 때문에 냉매는 모두 과열 증기 상태로 변해 증발기내에 액 부족 현상이 나타나기 때문으로 판단된다. 또한 냉매의 질량유량을 $24\text{kg/m}^2\text{s}$, $25\text{kg/m}^2\text{s}$, $26.7\text{kg/m}^2\text{s}$ 으로 점차적으로 증가시킬 경우 $22.3\text{kg/m}^2\text{s}$ 에서 발생했던 증발기 전반에 걸친 과열 현상은 (b), (c), (d)에서 보는 바와 같이 입구에서 출구측으로 이동한다.

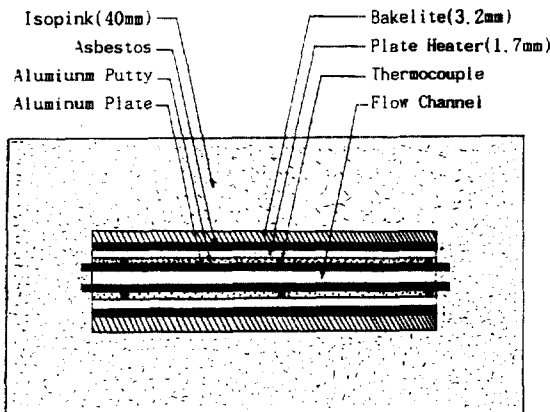
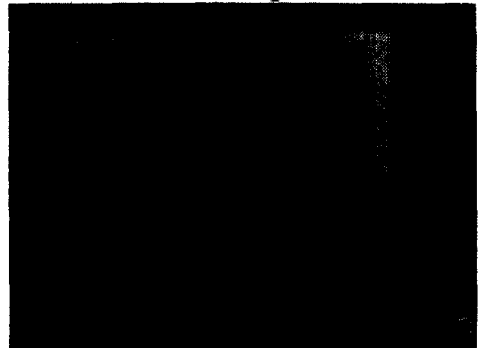


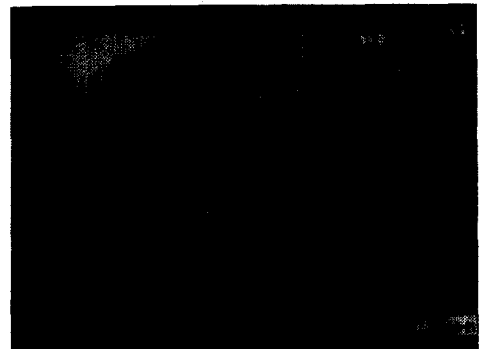
Fig.5 Cross sectional view of test section



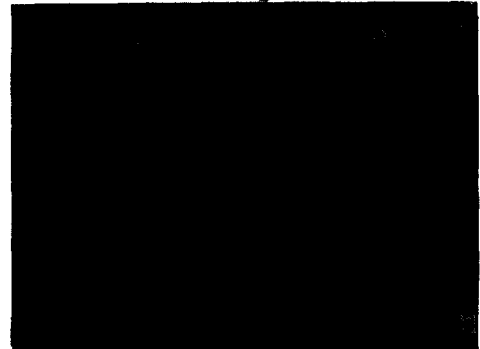
(a) $\dot{G}=22.3\text{kg/m}^2\text{s}$



(b) $\dot{G}=24\text{kg/m}^2\text{s}$



(c) $\dot{G}=25\text{kg/m}^2\text{s}$



(d) $\dot{G}=26.7\text{kg/m}^2\text{s}$

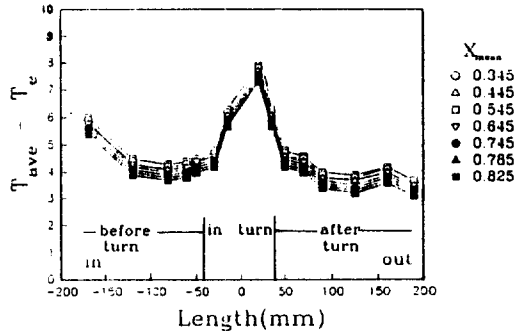
Fig.6 Photograph of surface temperature distribution on the current plate/fin evaporator

그러나, 일반적으로 증발기에서의 냉매의 증발현상은 출구측에서 과열된 영역이 나타나기 시작하지만 본 연구에서 사용된 증발기의 경우 냉매의 질량 유량이 증가함에도 불구하고 중간 부분에서 과열된 영역이 계속 존재함이 관찰되었다. 이러한 과열 영역의 발생은 냉매의 유로를 결정하는 방법의 문제로 인해 야기된 것으로 판단되며 이러한 과열영역을 통과한 공기는 증발기의 냉각 효율을 저해하는 요인이 된다. 그러므로 플레이트/원형 증발기에서 냉매의 흐름은 양쪽 탱크부에서 180도 회전하는 구조이므로 냉매 유로를 결정할 때 각 구역의 플레이트 유로의 수를 고려하여 과열영역이 증발기의 출구측으로 이동할 수 있게 해야할 것으로 사료된다.

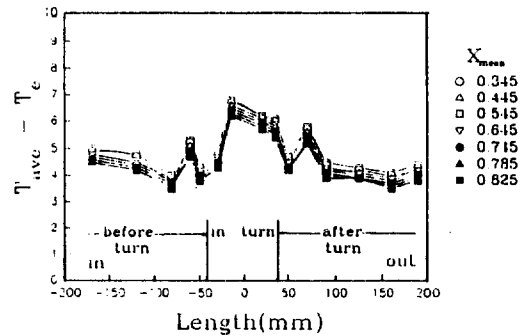
3.2 신형 증발기용 플레이트 열교환기

3.2.1 표면 온도 분포

본 실험에 사용된 플레이트의 상세 조건들은 Table 1에 나타내었다. 돌기의 형상이 각기 다른 플레이트 A와 B에 대해 질량 유속을 44.5kg/m²s로 맞추어, 평균 건도 변화에 따른 유로 축방향의 벽면 온도 분포를 조사했다. Fig.7과 Fig.8에서 온도차 ΔT 는 유로 폭방향으로 설치된 2-3개의 열전대로부터 기록된 벽면 온도의 평균값과 냉매의 증발 온도와의 차를 나타낸다. Fig.7은 흐름목의 비(turn clearance ratio)가 각기 다른 플레이트 A에서의 실험 결과를 나타낸다. 유로의 입출구 부근에서는 ΔT 가 큰 영역이 존재하지는 않으나 입구에서 유턴부(U-turn section)사이에서는 ΔT 가 비교적 완만하게 감소하고 있다. 또한 유턴부(U-turn section)에서는 ΔT 가 높게 나타나며, 유턴부(U-turn section) 직후부터 출구까지는 ΔT 가 점점 작아진다. 유턴부(U-turn section)에서 ΔT 가 높게 나타나는 원인으로서 는 액상 냉매의 치우침과 정체 부분이 존재하기



(a) L/D=0.7



(b) L/D=0.9

Fig.7 Wall superheat distribution of plate A

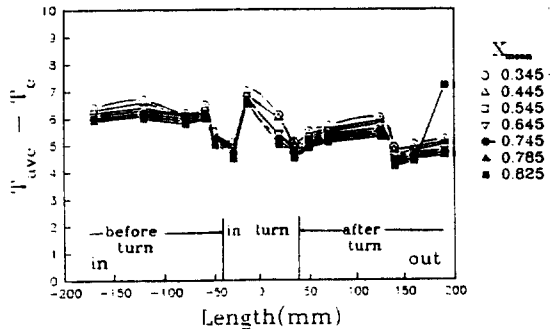


Fig.8 Wall superheat distribution of plate B (L/D=0.67)

Table 1 Specification of test plate

	Plate A	Plate B
overall size	210mm ^L ×87mm ^W	230mm ^L ×99mm ^W
ribbed shape	elliptical rib	angular rib
rib height	2.0mm	2.0mm
plate material	aluminum	aluminum

때문으로 생각되며, 그 이후에서도 건도가 증가함에 따라 냉매의 유속이 빨라져서 ΔT 가 작아진다고 생각된다. 또한 평균 건도가 커질수록 ΔT 는 작아지는 경향이 있다. $L/D=0.9$ 와 $L/D=0.7$ 의 결과를 비교했을 때, $L/D=0.9$ 인 플레이트가 다소 낮은 온도차를 보인다. Fig.8의 경우는 플레이트 B에 대한 실험 결과로서 이는 $L/D=0.9$ 인 플레이트 A와 유사한 경향을 나타낸다.

3.2.2 증발열전달 특성

플레이트 내벽면에 있어서 냉매의 증발열전달은 다음 관계식을 사용하여 계산하였다.

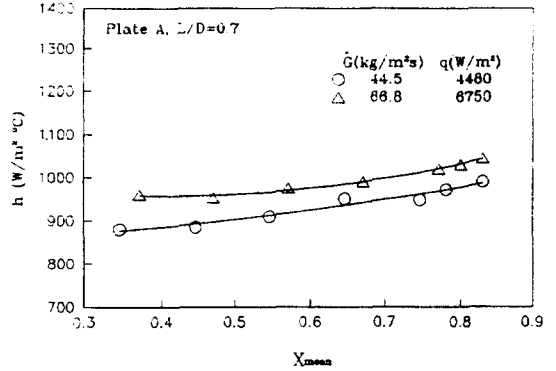
$$h = q / (T_{ave} - T_c)$$

여기서

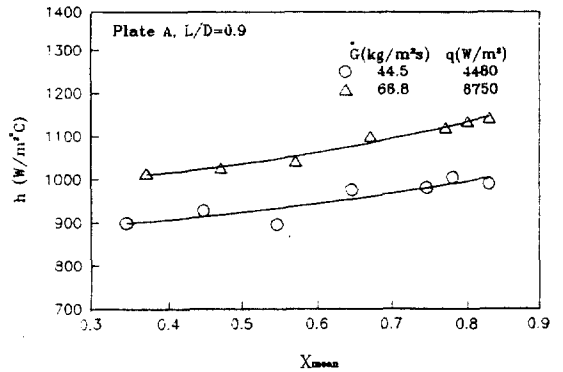
- h : 증발 열전달율 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- q : 열유속 (W/m^2)
- T_{ave} : 증발기 표면평균온도 ($^\circ C$)
- T_c : 냉매 증발온도 ($^\circ C$)

이다.

Fig.9와 Fig.10은 플레이트형 열교환기의 평균 건도와 질량 유속에 따른 평균 증발 열전달율의 특성을 나타내고 있다. 증발열전달율은 흐름목의 비(turn clearance ratio), 플레이트의 돌기 형상에 관계없이 질량 유속이 클수록, 건도가 높을수록 증가한다. 그러나, 일반적인 평할 원관에 비해 그 차이는 작다.⁵⁾ 이는 플레이트에 성형된 돌기의 영향으로 생각된다. 또한 플레이트 A와 플레이트 B의 성능 비교에서 질량 유속이 낮은 $44.4kg/m^2s$ 의 경우는 플레이트 A가 다소 높지만, 질량 유속이 높은 $66.8kg/m^2s$ 의 경우에는 플레이트 A의 $L/D=0.9$ 가 가장 높게 나타난다. 플레이트 A의 경우 흐름목의 비(turn clearance ratio)에 따른 열전달율의 비교에서 L/D 가 0.9인 경우가 0.7인 경우에 비해 평균 증발 열전달율이 질량 유속이 $66.8kg/m^2s$, $44.5kg/m^2s$ 일 때 각각 9.4%, 2.5% 상승된 것을 알 수 있다. 즉, 질량 유속이 작을 때는 흐름목의 비(turn clearance ratio)의 영향이 작지만, 질량 유속이 클수록 흐름목의 비(turn clearance ratio)가 평균 열전달율에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 또한 플레이트 B의 경우는 질량 유속에 따른 영향은 플레이트 A의 L/D 가 0.7인 경우와 비슷하게 그 영향은 다소 작다. 플레



(a) $L/D=0.7$



(b) $L/D=0.9$

Fig.9 Experimental heat transfer coefficient versus average quality at plate A

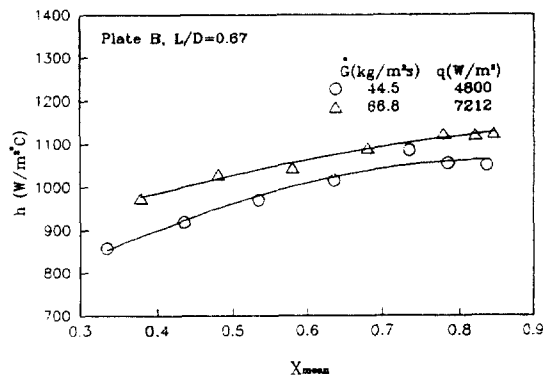


Fig.10 Experimental heat transfer coefficient versus average quality at plate B ($L/D=0.67$)

이트에 성형된 돌기의 영향은 플레이트 A의 경우는 평균 건도의 영향이 작지만 플레이트 B의 경우는 그 영향이 큰 편이다. 그러므로 증발기용 플레이트

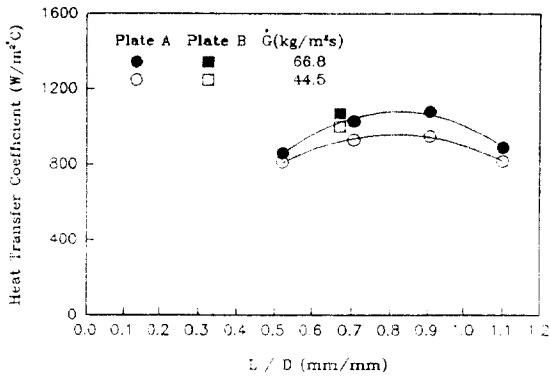


Fig.11 Effect of L/D on heat transfer coefficient at test plate

열교환기는 실제품의 건도를 고려하여 건도의 영향이 다소 낮은 플레이트 A와 같은 돌기의 성형이 우수할 것으로 판단된다.

3.2.3 흐름목의 비(turn clearance ratio)에 따른 열전달율의 특성

앞서 언급된 바와 같이 플레이트의 흐름목의 비(L/D)와 증발열전달율과의 관계는 매우 밀접하므로 동일한 플레이트 A에 대하여 L/D가 각각 0.53, 0.7, 0.9, 1.1일때의 평균 증발 열전달율을 조사했다. 그 결과 Fig.11에서 보는 바와 같이 L/D가 약 0.9 부근까지는 증발 열전달율이 증가함을 보였으나 L/D가 0.9이상으로 증가하면 오히려 감소함을 나타낸다. Ohara등의 연구에 따르면 플레이트 B와 같은 돌기를 성형한 플레이트에서는 L/D가 약 0.67 부근에서 가장 높은 열전달율을 나타내는 것으로 발표되어 있다.¹⁾ 그러므로 증발열전달율에 대한 흐름목의 비(turn clearance ratio)에 대한 영향은 플레이트의 돌기 형상에 따라 각기 고유의 값이 존재함을 알 수 있다.

4. 결 론

자동차 공조 장치용 증발기의 고성능화를 위한 플레이트 열교환기의 벽면 온도 분포, 증발 열전달율의 특성에 대한 실험적 연구를 통해 다음의 결론을 얻었다.

1) 기존 플레이트/원형 증발기의 경우 유로 배분 방법에 따라 과열 영역의 발생이 다르게 나타나므로 전체적인 냉방 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다.

2) 플레이트 열교환기의 유로 축방향 벽면 온도는 유턴부(U-turn section)에서 높게 나타난다. 이것은 흐름목의 비(L/D)의 크기에 따라 유턴부(U-turn section)의 냉매 유동 및 기액의 속도 분포가 증발 열전달율에 큰 영향을 미치기 때문이다.

3) 증발기용 플레이트형 열교환기의 경우, 평활 원관과는 달리 저건도 구역과 고건도 구역의 증발 열전달율 차이가 비교적 작으며 저건도 구역 및 고건도 구역의 전 영역에서 높은 열전달율을 나타낸다.

4) 타원형 돌기를 가진 플레이트 A형 열교환기의 최대 열전달율을 가지는 흐름목의 비(turn clearance ratio)는 0.9 부근으로 나타났으며, 돌기의 형상에 따라 플레이트의 최적 흐름목의 비(L/D)가 달라짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Ohara, T. and Takahashi, T., 1988, "High performance evaporator development", SAE technical paper series, 880047, pp.1-11.
2. Nakazawa, T., Tanabe, K., Ushikubo, K. and Hiraga, M., 1984, "Performance evaluation of serpentine evaporator for automotive air conditioning system", SAE technical paper series, 840384, pp.2-11.
3. Kurosawa, I. and Noguchi, L., 1987, "Development on a high efficiency drawn cup type evaporator core", SAE technical paper series, 870030, pp.1-5.
4. Xu, X. and Carey, V.P., 1987, "Heat transfer and two-phase flow boiling during convective boiling in a partially-heated cross-ribbed channel, Int.J. heat mass transfer, 30, pp.2385-2397.
5. 金鍾秀, 1989, "空調用蒸發器にわける管内流動と傳熱特性に關する研究", 早稻田大學博士學位論文, pp.85-104.