

[논문] 태양에너지

Solar Energy

Vol. 20, No. 4, 2000

멀티에어컨의 연결 배관길이의 변화에 따른 운전특성 변화

박병덕, 하도용*, 정백영**, 고재윤**, 임장순***

상주대학교 자동차공학과

* LG 전자 DA연구소

** 인하대학교 대학원

*** 인하대학교 기계공학과

The Variation of Multi Air Conditioner Operation Characteristics with the Arrangements of Connection Pipe Lengths

B. D. Park, D. Y. Ha*, B. Y. Jeong**, J. Y. Koh**, C. S. Yim***

Department of Automotive Engineering, Sang-Ju University

* *D/A Research Center, LG Electronics*

** *Graduate School, In-ha University*

*** *Department of Mechanical Engineering, In-ha University*

Abstract

Multi A/C is consisted of one outdoor unit and several indoor units. When the Multi Air conditioner is installed, we have to be cautious of the length of pipe arrangements. When the pipe arrangement is installed with unbalance or too long, there can be cooling capacity losses and low EER. An experimental study was carried out about the operation characteristic of Multi Air conditioner varying the length of pipe arrangements.

If the pipe arrangement of the system is 15m, the cooling capacity and EER were decreased 0.8% and 1.3% respectively compared to the case when pipe arrangement is 5m. In case of 25m, the cooling capacity and EER were decreased 10.7% and 12.2% respectively compared to the case of 5m. When the length of pipe is not same each other, it is profitable to make the pipe length of highest capacity indoor unit shortest.

1. 서 론

대체에너지가 우리 나라에서 차지하고 있는 공급비중은 '98년 현재 총에너지 사용량의 1.03% (1,715천TOE)로 전년대비 약 21%가 증가했으나 아직도 선진국에 비해 공급 비중이 낮다. 최근 들어 유가의 폭등이 이어지고 있지만 국내 생활수준은 점차 향상됨에 따라 주거환경에 대한 냉난방의 관심이 높아지고 있어 대체에너지 보급 및 에너지 이용 합리화가 절실한 시점이다.

특히 냉방 부문에 있어 외국의 에어컨 시장 변천과정을 볼 때 국내에서도 가까운 장래에 가정용 에어컨은 주거공간의 필수품으로 1가구 당 한대에서 1실 당 1대 꼴로 보급될 것으로 예상된다. 특히 실외기 공간을 절감하면, 공조시스템 비용이 확보될 수 있을 정도로 평당 분양가가 높은 대도시 건물인 경우 실외기가 점유하는 기계실공간이 적고, 외관 및 설치 시공비용, 운전 효율 및 전원용량 분산화와 운전관리 등의 측면에서 기존의 중앙 집중식 공조시스템과 비교하여 우수한 멀티에어컨에 대한 관심이 최근 크게 증가하고 있다.

멀티에어컨은 한대의 실외기에 여러 대의 실내기가 접속되는 것으로 실내기와 실외기를 연결하는 배관의 길이가 매우 길어지거나 실내기마다 연결 배관의 길이가 다른 변형 장 배관 형태로 설치되기도 한다. 배관이 길어지게 되면, 배관에서 압력강하로 제품의 성능에 변화가 발생하게 되어 실내기 능력의 저하되며, 실내기 토출 공기

온도의 변화가 동반되며, 시스템 운전이 불가능하게 되는 경우도 발생하게 된다. 특히 실내기별로 설치위치에 따라 배관길이가 일정하지 않은 변형 배관길이를 갖게되는 경우는 실별 능력의 큰 차이를 나타내게 되어 시스템구성의 큰 불만족 요인이 되기도 한다.^{3),4),5)}

이러한 공조시스템에서 배관에 관한 연구는 단일 실내기를 갖는 경우에 관하여서는 많은 연구 결과들이 있으나, 변형배관시의 성능변화에 관련된 연구는 최근 일본의 공조기 관련 업체¹⁾에서 실외기의 능력대비 실내기 능력의 합이 100%인 경우와 150%인 경우에 한하여 총 배관길이의 증가에 따라 냉방능력 보정계수를 구하여서 기준이 되는 냉방능력의 값에 이 능력보정계수를 곱하여 임의의 배관길이일 때의 냉방능력 값을 구할 수 있도록 하고, 실내기 흡입공기의 습구온도와 실외기 흡입공기의 건구온도의 변화에 따른 능력보정계수를 구하는 것에 대한 간단한 연구결과가 있을 뿐이다. 이러한 멀티에어컨의 배관길이 증가 혹은 변형 배관을 갖는 멀티형 공조시스템의 문제를 해결하기 위한 기초 작업으로 본 연구에서는 멀티에어컨에서 배관길이의 변화에 따른 성능 및 운전특성의 변화를 파악하고, 배관 길이 변화에 대응할 수 있는 시스템 운전 알고리즘을 구성하기 위하여, 시스템 용량제어가 가능한 선형전동팽창밸브(LEV)를 채용한 압축기 한대에 3개의 실내기가 설치된 멀티에어컨을 구성하여, 다양한 배관길이 증가에 대한 실험을 수행하였고, 또, 현재까지의 연구결과가 발표된 바 없는, 배

관의 길이가 각각 서로 다른 변형 장 배관의 경우에 대하여 배관의 길이를 변형을 조합으로 변경하면서 성능변화와 Cycle특성 변화에 관하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

그림 1은 본 실험에 사용된 멀티에어컨의 Cycle Diagram이다. 압축기로부터 토출된 냉매는 Oil separator를 거쳐서 응축기를 통과하면서 응축된 후 Receiver를 거쳐서 냉매를 분배하는 분배기(Distribution unit)를 통과하게 된다. 분배 unit은 냉매의 압력을 떨어뜨리고 유량을 조절할 수 있는 LEV(선형팽창밸브)로 이루어져 있고, 각 실내기로 적절한 냉매를 보내는 역할을 한다. 각 실내기에서 증발되어 과열된 냉매는 다시 분배기에서 모이고 Accumulator를 통해 압축기로 다시 들어온다. 압축기 토출부와 압축기 입구사이에는 Hot gas Bypass Line으로 연결되어 있고 응축기 출구와 압축기 입구 사이에는 Liquid Bypass Line으로 연결되어 있다. 멀티에어컨은 실내기 여러 대의 용량 합에 맞추어 실외기 용량을 설계하므로 실내기가 1대만 운전될 경우에는 실내기 용량에 비해 압축기의 용량이 너무 크게 된다. 이러한 경우 Bypass를 사용하여 냉매를 바로

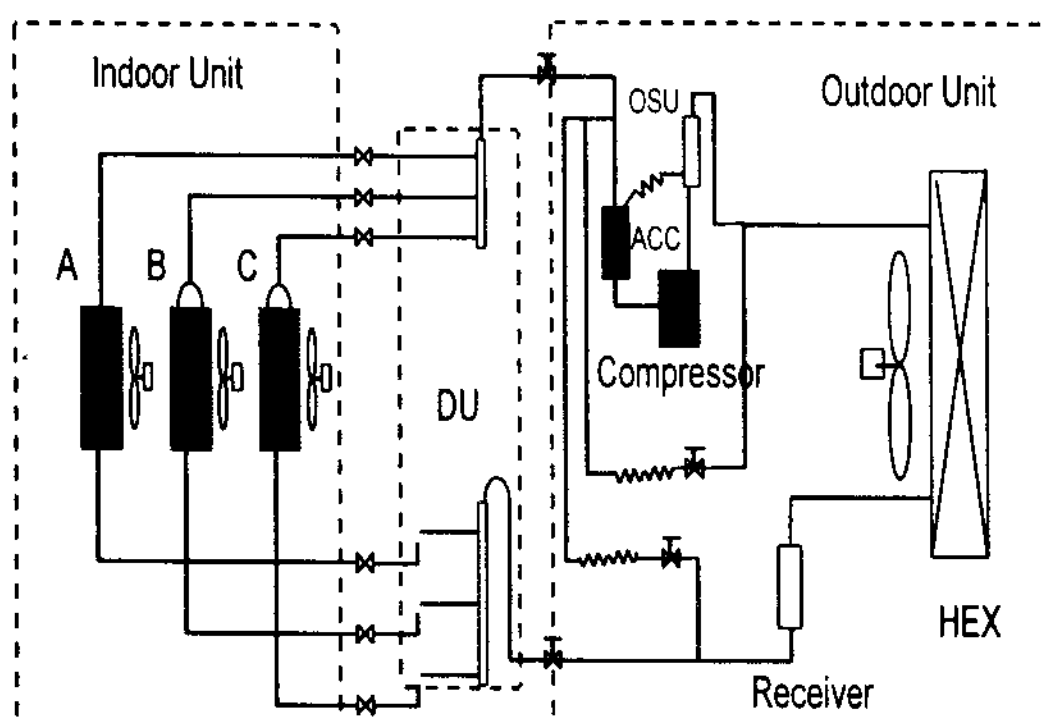


Fig. 1. Cycle diagram of test unit.

압축기 입구로 보내주어 용량을 조절하는 작용을 한다.

2.2 실험방법

2.2.1 균일 장배관실험

하나의 압축기에 각각 3개씩의 실내기가 연결된 Multi Aircon의 실외기와 실내기를, 하나의 실외기실에 3개의 실내기실이 동시에 운전될 수 있도록 구성된 멀티형 공조기를 성능시험용 Multi-Type Psychrometric Calorimetric Chamber에 설치하고 실외기와 각 실내기 사이의 배관 길이를 변경하면서 성능 및 Cycle 특성을 측정하는 실험을 수행하였다. 실내기는 용량이 같은 실내기(A) 2 set와 실내기A보다 용량이 큰 실내기(B) 1 set를 설치하였다. 배관의 길이는, 분배기에서 실내기 입구까지의 길이 L1과 실내기 출구에서 분배기까지의 길이 L2는 동일하며 2상의 냉매가 지나가는 배관 L1은 1/4"를 사용하였고 과열냉매가 지나가는 배관 L2는 3/8" 동관을 사용하였다. 상세 배관길이의 냉매용량은 표 1.과 같다. 실험을 수행한 온도조건은 표 2와 같다. 모든 운전조건에서 각 실내기의 증발온도의 평균값이 일

Table 1. Specification of pipe arrangement and charge (balanced).

A(1)	B	A(2)	총배관 길이	배관비	charge(g)
5	5	5	15	1:1:1	2900
10	10	10	30	1:1:1	3110
15	15	15	45	1:1:1	3425
25	25	25	75	1:1:1	4025

Table 2. Temperature condition.²⁾

	실내온도(°C)		실외온도(°C)	
	건구	습구	건구	습구
표준	27	19.5	35	24
저온	21	15	21	15
과부하	32	23	48	29

Table 3. Specification of pipe arrangement and charge (unbalanced).

A(1)	B	A(2)	총배관 길이	배관비	charge(g)
6	4	20	30	3:2:10	3110
4	20	6	30	2:10:3	3100
15	10	5	30	3:2:1	3110
15	5	10	30	3:1:2	3110
6	30	9	45	2:10:9	3425

정하도록 분배기에 설치되어 있는 주 팽창기구인 LEV(Linear Expansion Valve)의 개도를 자동 조절하도록 Program을 구성하여 실험하였다.

2.2.2 불균일 장배관실험

균일배관 실험과 동일한 방법으로 실내기를 설치하고 표준조건에서 총 배관길이에 대한 변형률을 2:3:10, 1:2:3, 2:3:10을 주어 각각의 경우에 냉방능력, cycle각부의 온도, 압력변화 등을 측정하였다. 상세 배관길이와 냉매봉입량은 위의 표 3과 같이 5가지의 경우에 대하여 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균일배관

연결배관의 길이가 멀티에어컨의 성능에 끼치는 영향을 보기 위해서, 그림 2에 배관길이의 변화에 따른 냉방능력과 EER의 비를 나타내었다. 5m배관인 경우의 실내기 냉방능력과 EER을 기준으로 하여 배관길이가 늘어났을 때는 5m일 때의 냉방능력과 EER에 대한 비를 나타낸다.

연결배관이 길어질수록 냉방능력과 EER은 감소하며 배관길이가 15m인 경우에는 5m인 경우와 비교하여 총 냉방능력은 0.8%, EER은 1.3% 감소하며, 배관길이가 25m인 경우에는 냉방능력과 EER이 각각 10.7%, 12.2% 감소하였다. 용량별 냉방능력의 감소를 비교해보면 동일한 배관길이에서는 용량이 큰 실내기B의 경우가 능력감소

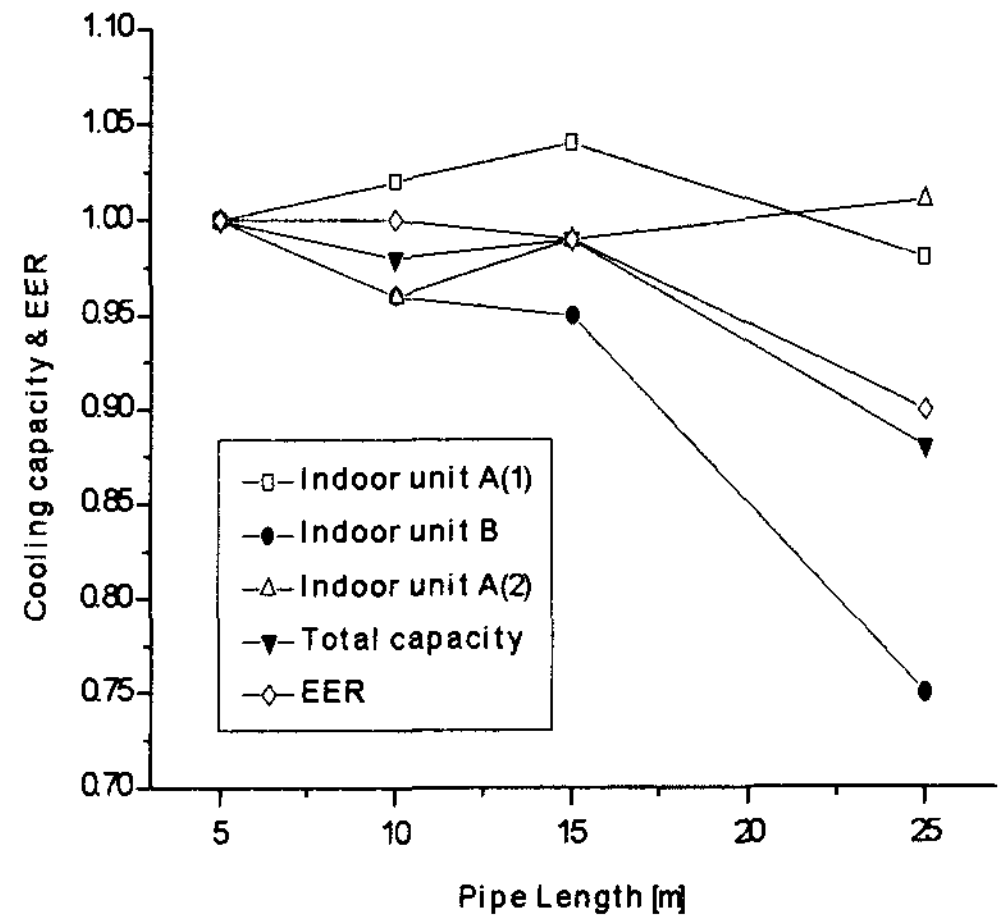


Fig. 2. Variations of Capacity and EER with the pipe lengths.

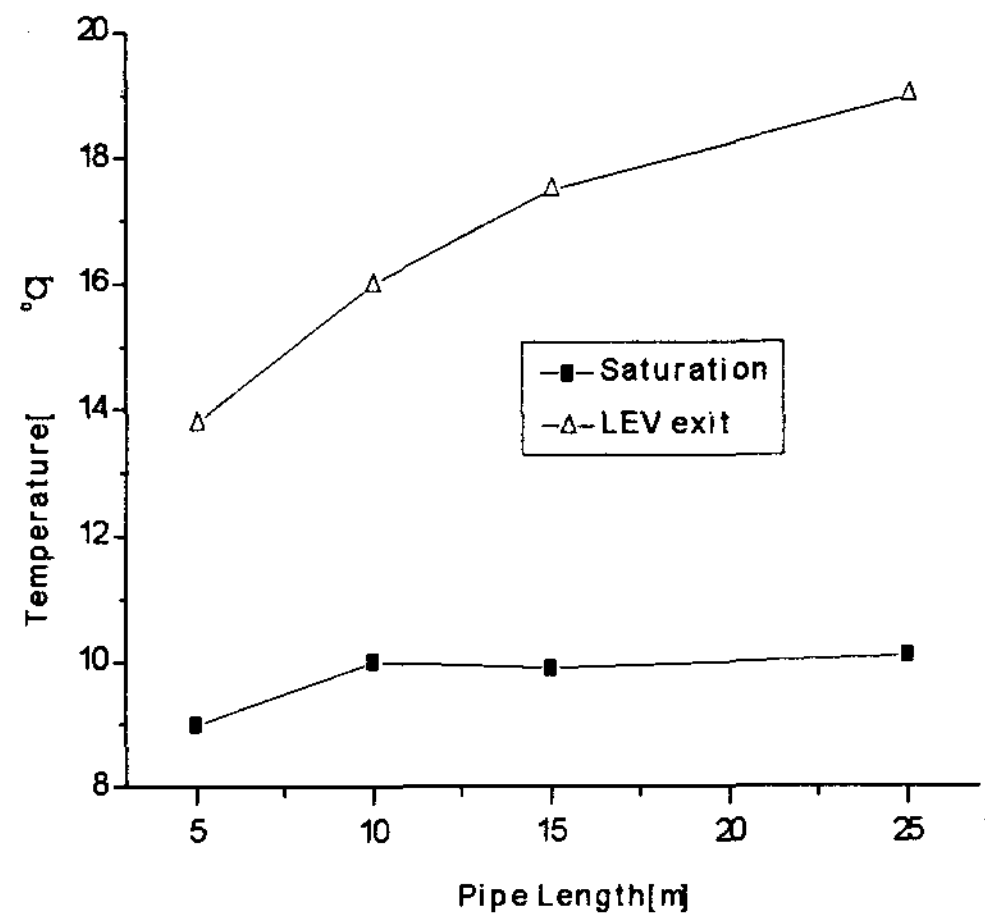


Fig. 3. Temperatures of LEV exit & evaporator saturation.

의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 실내기 용량이 큰 경우에 능력감소의 폭이 큰 이유는 실내기의 용량에 비례하여 배관을 지나는 냉매유량이 증가하기 때문이다. 즉 냉매유량이 많으므로 동일한 배관길이의 증가에 대하여 배관 내에서의 압력감소 역시 증가하기 때문이다.

배관길이의 증가에 따라 냉방능력이 감소하는 현상을 cycle의 각 상태점의 변화를 통해서 알아

보기 위하여 압축기 입출구 온도, 증발온도 등을 측정하였다. 배관길이의 변화에 따른 각 실내기의 증발온도 평균값과 각 LEV의 출구온도의 평균값을 그림 3에 나타내었다. 증발온도와 LEV출구온도는 T-Type Thermocouple을 이용하여 배관의 외벽온도를 측정한 값이다. 본 연구에서 사용한 멀티에어컨은 운전되는 실내기의 증발온도의 평균값이 일정하도록 LEV의 개도를 제어하므로, 그림 3에 나타난 바와 같이 증발온도의 평균값은 배관길이가 변하여도 일정한 값을 유지하고 있다. 한편 LEV 출구온도의 평균값은 배관길이가 길어질수록 높아진다. 이는 배관이 길어질수록 배관 내에서의 압력손실이 증가하므로, 증발온도를 일정하게 유지시키기 위해서는 LEV개도를 증가시켜 LEV 출구의 온도를 증가시켜야 하기 때문이다. LEV 개도변화에 의하여 증발온도는 일정하게 유지시키지만, 실내기와 실외기 사이의 연결배관 내에서의 압력감소로 인하여 압축기 입구의 압력은 배관이 길수록 낮아지게 된다. 압축기 입구와 출구의 압력변화를 그림 4에 나타내었다. 앞에서 설명한 바와 같이 압축기 입구압력은 연결배관이 길어질수록 낮아지며, 압축기 입, 출구 압력의 차이는 증가한다.

압축기의 소비전력은 입출구 압력차이에 비례하게 되며, 그림 2에서 볼 수 있듯이 입출구 압력차이의 증가는 EER을 감소시킨다. 또한 연결배관의 길이가 길어지면 에어컨의 성능은 감소하게 된다. 그러나 연결배관의 길이는 냉방표준 조건보다는 이상운전 조건인 과부하운전이나, 저온운전의 경우에 시스템에 더욱 심각한 영향을 끼치게 된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 배관이 길어질수록 압축기 입구압력은 낮아지고, 출구압력은 높아지게 되므로 LEV의 개도만을 제어하는 경우에는 과부하에서는 압축기 토출온도가 너무 높아지고, 저온조건에서는 압축기 입구온도가 영하로 낮아질 수 있다. 본 연구에서의 멀티에어컨은 이러한 이상조건에서 압축기 입구온도와 출구

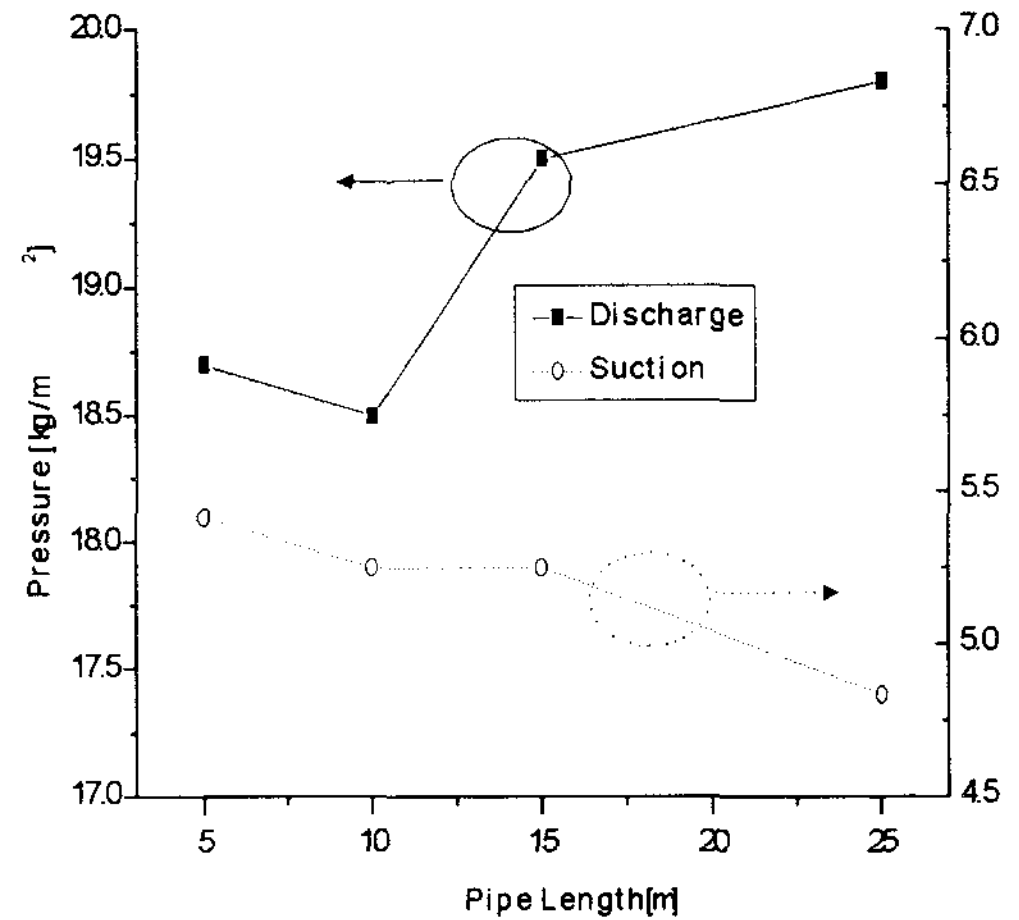


Fig. 4. Variations of discharge and suction pressure.

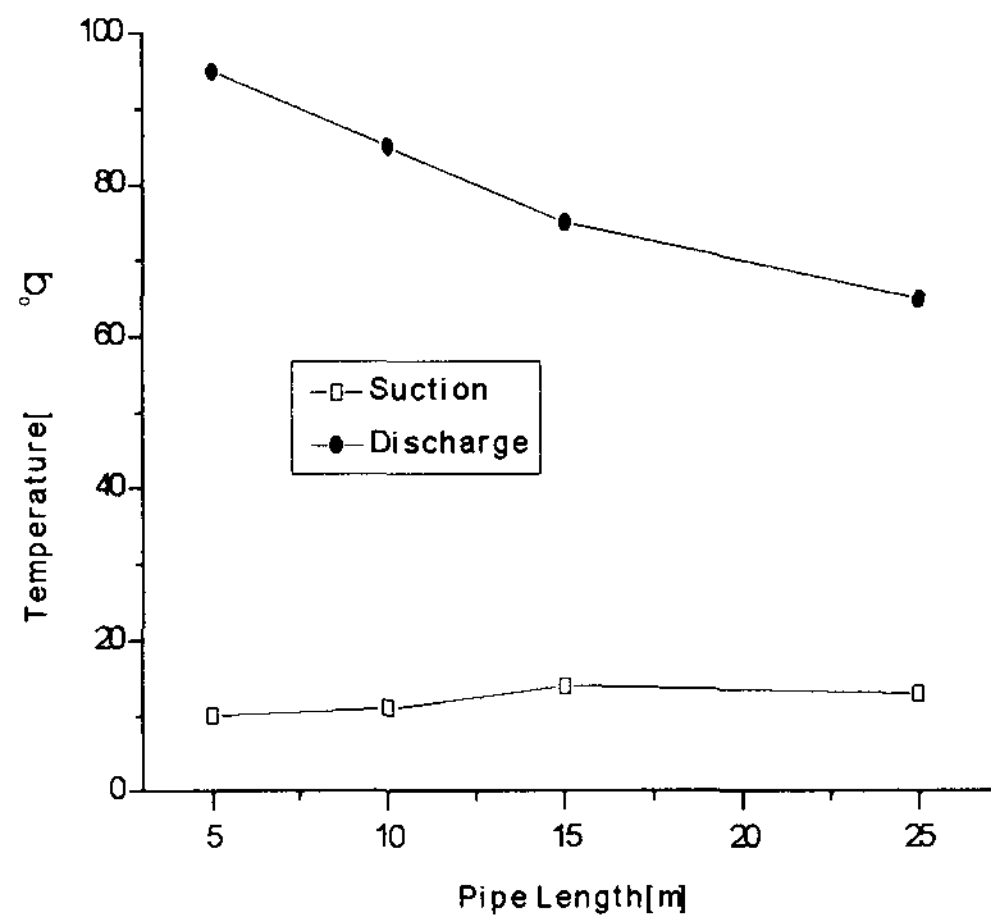


Fig. 5. Temperatures of Comp. discharge & suction in case of over load condition.

온도를 최대한 정상적으로 유지하기 위하여 냉매를 bypass시키는 algorithm을 채용하였다. 과부하조건에서 배관길이변화에 따른 압축기 입출구 온도를 그림 5에 나타내었다. 압축기 입출구 온도 역시 증발온도와 마찬가지로 Thermocouple을 이용하여 입출구 배관의 외벽온도를 측정한 값이다. 앞에서 설명한 바와 같이 10m 배관의 경우 5m 배관에 비하여 LEV 개도가 증가하므로,

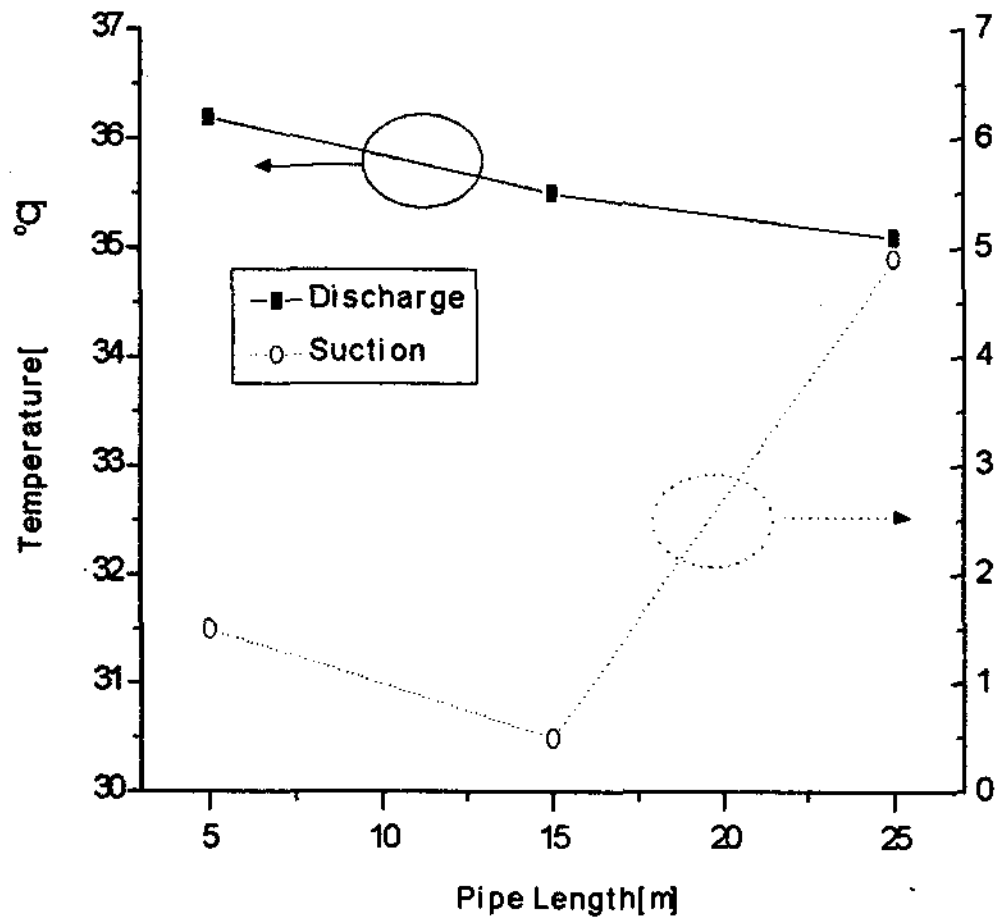


Fig. 6. Temperature variations of Comp. Discharge & suction in case of low temp.

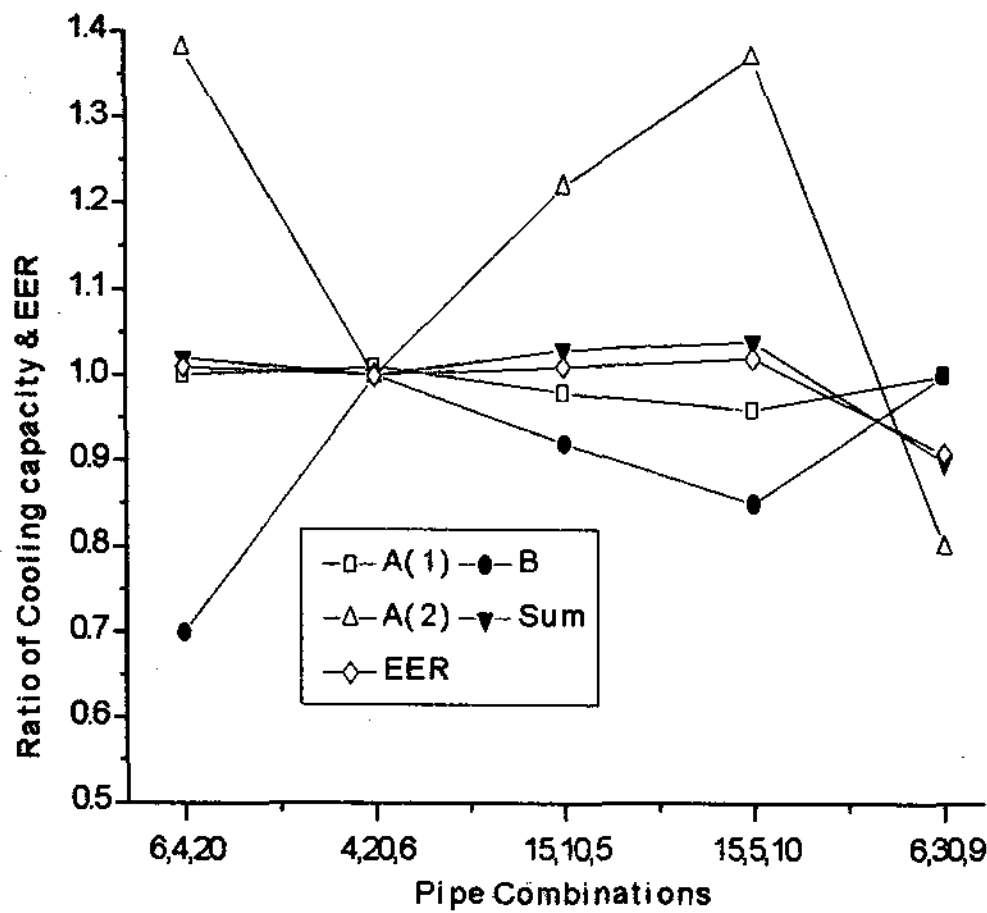


Fig. 7. Ratio of cooling capacity and EER in case of different pipe sizes.

압축기 입구온도는 상승하고 압축기 토출온도는 저하된다. 배관길이가 15m, 25m의 경우는 LEV 개도가 증가하고, 냉매의 총진량을 증가시켰음에도 불구하고 압축기 토출온도가 상승하여 Liquid bypass가 작동하였다. Liquid bypass의 영향으로 토출온도는 낮아지고, 입구온도는 높아졌다.

또 하나의 이상조건인 저온운전시의 압축기 입구와 출구의 온도를 그림 6에 나타내었다. 저온운

전 시에는 시스템의 작동압력이 낮아져서 압축기 입구온도가 매우 낮아지기 쉬우며 연결배관이 길어질수록 압력손실로 인하여 압축기 입구온도는 더욱 낮아지게 된다. 배관길이가 25m가 되는 경우에 압축기 입구온도가 다시 상승하는 이유는 압축기 입구온도가 영하로 낮아지는 것을 방지하기 위하여 Hot gas bypass회로가 작동을 하였기 때문이다.

증발온도를 일정하게 유지시키는 LEV의 작동 Algorithm 및 liquid와 hot gas bypass회로를 이용하면 연결배관의 길이가 표준배관인 5m의 5배까지 증가하여도 이상없이 운전을 할 수가 있었다.

3.2 불균일배관

배관의 길이가 각 실마다 다른 경우에는 각 실 내기로의 냉매의 균일한 분배가 어려워지게 된다. 각 실의 배관길이가 서로 다른 경우, 배관간의 길이비와 전체 길이가 시스템의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 그림 7에 배관조합에 따른 냉방능력과 EER의 비를 나타내었다. 배관조합이 4m, 20m, 6m인 경우의 냉방능력과 EER을 기준으로 하여 배관조합이 달라졌을 때는 4m, 20m, 6m 일 때의 냉방능력과 EER에 대한 비를 나타내었다. 가로축의 배관길이의 순서는 실내기A(1), 실내기B, 실내기(2)의 순서이다. 그림 7과 같이 전체 배관길이가 30m인 경우 배관의 최대:최소 길이비가 5:1인 경우와 3:1인 경우의 실험에서 배관간의 길이 차가 큰 경우가 냉매의 균일한 분배에 문제가 있기 때문에 냉방능력과 EER이 낮아진다. 같은 배관비율인 경우에는 용량이 큰 실내기B의 배관길이가 긴 경우에 실내기B의 능력의 심한 저하로 전체적으로 EER이 낮아진다. 실내기B의 경우 실내기A와 같은 직경의 배관을 사용하지만 냉매 유량이 크기 때문에 단위 길이당의 압력손실이 커서 배관길이의 변화에 제일 민감하게 반응하게 된다.

15, 5, 10m인 경우를 보면 실내기B의 배관이 짧아져서 실내기B의 능력이 크게 올라간다. 전체 배관길이가 45m인 경우(6, 30, 9m), 같은 배관길이 비율인 4, 20, 6m인 경우와 비교하면 실내기A에서는 적은 량의 능력저하가 있고 주로 실내기B의 능력이 떨어진다. 배관길이가 불균일한 경우에도 용량이 큰 실내기 쪽의 배관길이 증가를 피해야 함을 알 수 있다.

배관길이가 균일한 경우와 각 실마다의 배관길이가 다른 경우의 성능을 비교하기 위하여 그림 8에 배관길이와 배관조합에 따른 냉방능력과 EER을 나타내었다. 5m 균일배관인 경우를 기준으로 하여 배관길이가 다른 경우는 5m 배관의 냉방능력과 EER에 대한 비를 나타내었다. 불균일 배관의 경우 배관길이의 순서는 A(1), B, A(2)의 순서이다.

배관길이가 10m로 일정할 때와 6,4,20m인 때를 비교해보면 배관길이가 짧아진 실내기A(1)이나 실내기B는 10m배관일 때보다 냉방능력이 각각 3.4%, 5.5%정도의 증가를 보였으나 배관이 긴 실내기A(2)의 능력이 20%정도가 떨어져서 결과적으로 균일배관일 때보다 낮은 냉방능력 값을 보인다. 그러나 15, 5, 10m인 경우를 살펴보면 실

내기A(1), A(2)가 각각 0.5%, 1.6% 정도의 능력 감소가 있었지만 배관길이가 짧아진 실내기B의 경우 5.9%정도의 능력증가가 있어 결과적으로 균일배관일 때보다 더 높은 냉방능력 값을 얻었다. 배관이 불균일하게 설치되는 경우 그 정도가 크면 배관이 길어진 실내기의 성능저하가 심하여 전체적인 시스템성능이 떨어지지만 불균일 정도가 적은 경우에는 용량이 큰 실내기쪽의 배관을 짧게 하여 전체적인 성능저하를 막을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

멀티에어컨의 실외기와 실내기의 연결 배관의 길이를 균일하게 늘린 장배관실험과 배관의 길이를 서로 다르게 한 변형배관시의 성능 및 Cycle 특성 변화에 관한 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 증발온도를 일정하게 유지시키는 LEV작동 Algorithm과 Bypass회로를 사용하여 연결배관의 길이가 표준배관의 5배까지 증가하여도 정상 운전이 가능하였다. 본 연구에서 채용한 증발온도제어 알고리즘이 배관길이 변화에 대응할 수 있는 안정된 시스템 제어알고리즘이라는 것을 알 수 있었다.
2. 실별 배관길이가 15m 설치 조건인 경우 5m 설치조건인 경우와 비교하여 냉방능력 0.8%, EER 1.3% 감소하였다. 배관길이가 25m인 경우에는 5m인 경우와 비교하여 냉방능력 10.7%, EER 12.2% 감소하였다.
3. 배관간의 길이가 서로 다른 불균일 배관(변형 배관)의 경우 최대:최소 배관의 길이비가 3:1의 경우가 5:1의 경우보다 냉방능력과 EER이 높다. 최대:최소 비율이 같은 경우에도 용량이 큰 실내기의 배관길이가 긴 경우는 능력저하가 심하여 EER이 낮아진다.

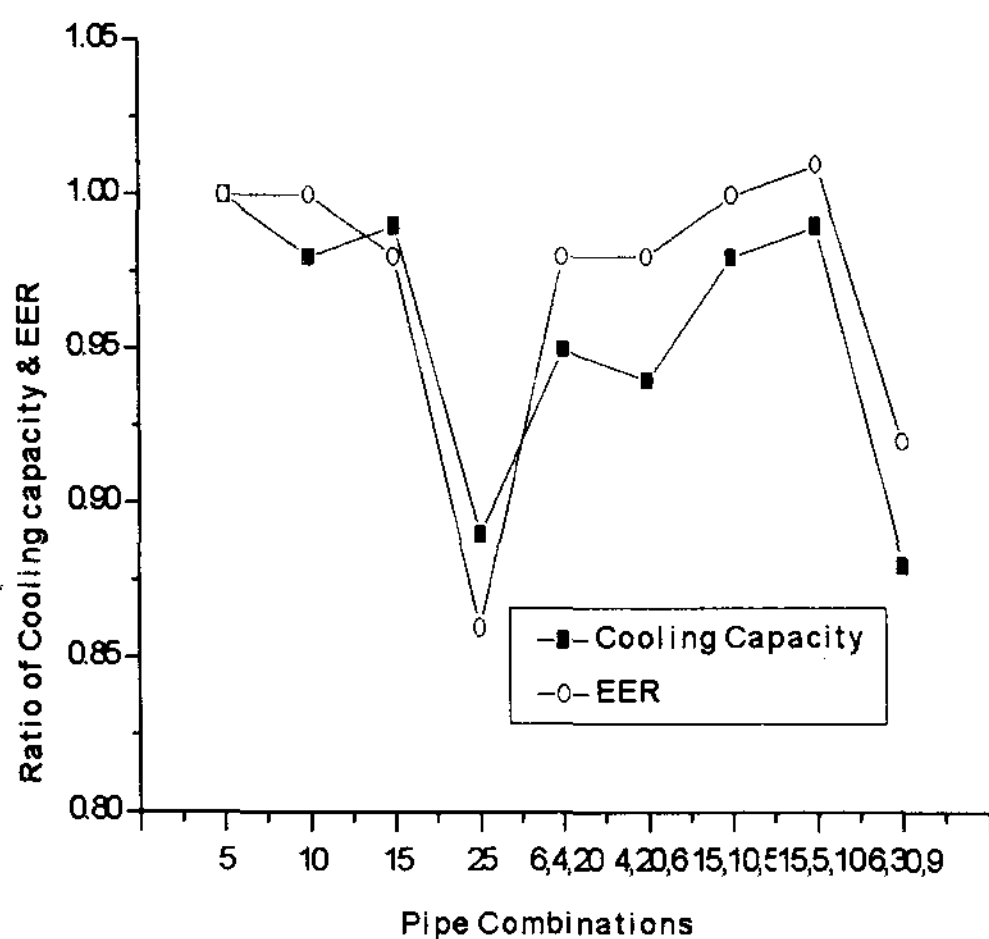


Fig. 8. Summaries of cooling capacity and EER.

4. 전체 배관길이의 합이 같은 경우의 균일배관과 불균일배관의 결과를 비교해보면 최대:최소 길이비가 5:1인 경우는 길이가 가장 긴 실내기의 냉방능력 저하가 심하여 전체적능력과 EER이 낮아지지만 최대:최소 길이비가 3:1인 경우 용량이 큰 실내기의 배관을 짧게 할 경우 다른 실내기의 능력저하는 적은 반면 용량이 큰 실내기의 능력상승이 커서 전체적으로 높은 냉방능력과 EER을 나타냈다.
5. 실제로 배관을 설치할 때 배관길이간의 비를 작게 하고 냉방능력이 큰 실내기의 배관을 짧게 설치하는 것이 유리함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 냉열핸드북, 박문당, 1995, pp.88~91.
2. KSC 9306 룸 에어컨디셔너, 국립기술 차세대 산업부, 1996, pp.28.
3. 平尾豊隆 外, 長配管高ヘッド, 空調システムの性能豫測と制御系設計, 三菱重工技報 V, 1991, pp.129~134.
4. 吉野昭男, R22 配管の容量表, 冷凍空調, Vol 30, No. 357, 1979, pp.357.
5. 吉野昭男, R12 配管の容量表, 冷凍空調, Vol 33, No. 389, 1982, pp.49~53.