도시철도 차량용 냉각장치의 최적설계에 관한 실험적 연구

An Experimental study on the optimal design of urban rail vehicles refrigeration unit

박시영*, 최덕수*, 배명곤*, 김택주*, 심재규*, 김경섭*†

See-Young. Park*, Duk-Soo. Choi*, Myung-Gon. Bae*, Taeg-Joo. Kim*, Jae-Gyu. Shim*, Kyung-Seob. Kim*†

Abstract The heat exchangers of urban rail vehicle air conditioners are air-cooled of Fin-Tube Structure. Therefore, designed by forced ventilation and induced draft fan type as the medium with heat source of air and refrigerant. The cooling capacity of the air conditioners is largely influenced by the heat pass rates and the heat transfer area of the heat exchanger. In order to improve the heat transfer, it is important to increase the velocity of the cooling air by applying a high efficiency fan. In this study, in order to have an efficient and effective design with improved heat transfer structure was changing the structure of the evaporator and the condenser fan of the conventional air conditioners manufactured SMSC 4 line and was analyzed by performing the test velocity. Presents a scheme for noise reduction, etc., designed and applied the optimum air conditioners based on this.

Keywords **:** Fin-Tube Structure, forced draft, induced draft type, heat pass rates

초 록 도시철도 차량용 냉방기의 열교환기는 Fin-Tube 구조의 공랭식 교환기이다. 따라서 공기와 냉매의 열원을 매개체로 팬을 이용한 강제 통풍 및 유도 통풍 타입으로 설계된다. 냉방기의 냉방능력은 열교환기의 열통과율과 전열면적에 의해 크게 좌우된다. 전열 향상을 위해서는 효율이 좋은 팬을 적용하여 냉각 공기의 풍속을 향상 시키는 것이 중요하다. 본 연구에서는 효율적이고 전열효과가 향상된 구조로 설계하기 위하여 기존 제작된 SMSC 4호선 냉방기의 증발기 및 응축기 팬의 구조를 변경하였으며, 풍속시험을 실시하여 분석하였다. 소음 저감을 위한 방안 등을 제시하고 이를 바탕으로 최적의 냉방기를 설계 및 적용하고자 한다.

주요어 : Fin-Tube구조, 강제통풍, 유도통풍타입, 열통과율

1. 서 론

염화불화탄소는 몬트리올 의정서(1989)에서 채택된 규제대상물질로 일명 프레온 가스로 잘 알려진 안정화된 액체 또는 기체이다. 이 물질은 냉방기 냉매, 분무제, 소화제 등에 쓰인다. SMSC 4호선 친환경 냉방기는 기존에 적용된 냉매인 R22(프레온 가스)대신 친환경 대체 냉매인 R407C를 사용하는 냉방기로써 주요 시스템을 변경하면서도 방방효율을 우수하게 하도록 설계를 변경하였다. 기존 SMSC 4호선 냉방기 운용 시스템과의 호환성을 유지하면서도 냉방기의 증발기 및 응축기 코일 통과 풍속 시험을 신규 냉방기와 대비 실시하여 한정된

† 교신저자: 서울메트로 창동차량사업소, 공학박사(polraris7@seoulmetro.co.kr)
* 서울메트로 창동차량사업소

공간 내에서 가장 효율적인 방안으로 부품 설계를 하고 응축수 누수 및 소음 등의 기존 문제점들을 보완 설계하였다. 제한된 크기와 구조에서 전열 향상을 위해서는 효율이 좋은 팬을 적용하여 냉각 공기의 풍속을 향상 시키는 것이다. 따라서 기존 제작된 SMSC 4호선 냉방기의 증발기 및 응축기 팬의 구조를 변경하여 보다 효율적이고 전열 효과가 향상된 구조로 설계 한다. 이에 따라 기존 냉방기의 코일 구조에서 각각의 팬을 사용하여 풍속을 측정 비교하고 또한 공기의 유동을 좋게 하기 위한 유동 가이드의 설치 및 소음 저감을 위한 방안 등을 제시하여 이를 바탕으로 최적의 냉방기를 설계 하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 냉방 열량식

철도차량용 냉방기의 열교환기는 Fin - TUBE 구조의 공랭식 교환기이다. 따라서 공기와 냉매를 열매체로 팬을 이용한 강제 통풍 및 유도 통풍 타입으로 설계 및 제조된다. 냉방기의 냉방능력은 열교환기의 열통과율 과 전열면적에 의해 크게 좌우되며 이때 냉매와 유체(공기)가 접촉하면서 용도에 따라 열 교환이 이루어진다. 즉, 증발기에서는 공기가 냉각되고 응축기에서는 냉매가 냉각된다. 흘러가는 유체(공기)를 냉각 시킬 때 제거해야 할 열량은 다음과 같이 표시 된다.

$$Q = G \times C \times \triangle t$$

Q : 유체에서 제거해야 할 열량(kcal/h)
G : 유량(kg/h)
△t : 온도차(t2-t1)(℃)

유체 측에서 전열을 좋게 하려면 대표적으로 다음과 같은 조건을 만들면 된다.
1) 유속을 증가 시키고 난류로 할 것
2) 점도가 낮고, 관경이 작을 것
냉방기의 전열성은 유속과 관경에 의해서 좌우되기 때문에 설계 시 반드시 반영해야 한다.

2.2 한반도 대기온난화 가속

Fig 1 과 Fig 2 와 같이 기상청 기후변화센터는 2014 년 6 월 27 일, 지난 2013 년 한반도 대기의 주요 온실가스 농도를 분석한 결과를 발표했다. 염화불화탄소는 몬트리올 의정서(1989)에서 채택된 규제대상물질로 일명 프레온 가스로 잘 알려진 안정화된 액체 또는 기체이다. CFC-11 과 CFC-113 의 지난해 연평균 농도는 전년보다 7.2 ppt (3.04%), 1 ppt (1.35%)씩 감소했다. 특히 CFC-11 은 1999 년 관측 이래 지속적으로 감소했다. 공기 중 체류시간이 상대적으로 긴 CFC-12 는 연평균 농도가 514 ppt 로 1.5 ppt(0.29%)로 감소했다. CFC-12 는 2004 년부터 감소 추세이다. 이는 친환경 냉매의 등장 이후 지속적 감소세를 나타낸다.

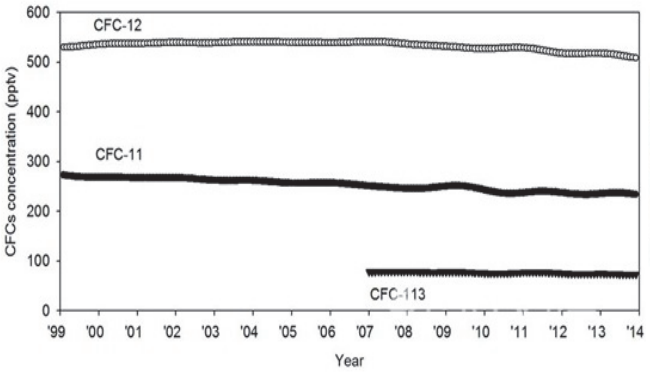


Fig 1 Chlorofluorocarbons (CFC-11,12,113)[1]

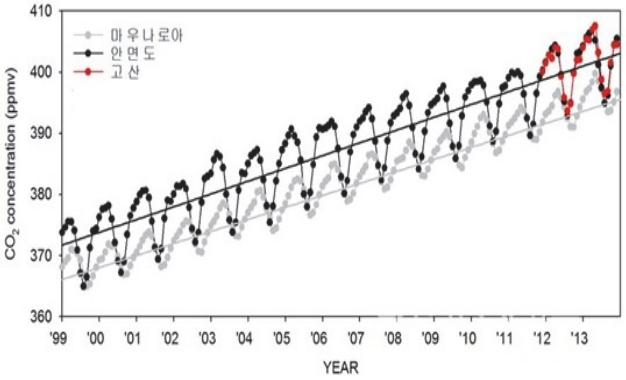


Fig 2 Carbon dioxide[1]

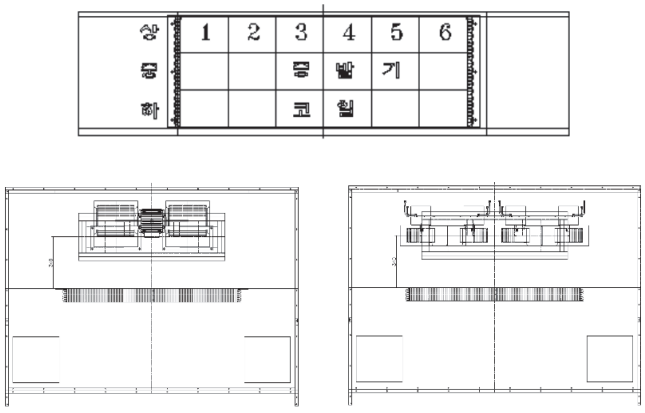
그라나 대표적인 기후변화 유발물질인 이산화탄소(CO2)는 지구평균과 유사한 연 2.1 ppm(0.5%)씩 꾸준히 상승 중으로 나타났다. 그 밖에 메탄, 아산화질소, 육불화황 등도 상승세로 관측됐다. 이는 화석연료의 사용은 지속적으로 증가되고 있는 것을 알 수 있다.

2.3 냉방기 설계

2.3.1 증발기 FAN 구조에 따른 풍속시험

증발기 FAN 및 모터 사양에 따른 코일 전면 풍속[2] 비교를 위해 Fig 3과 같이 풍속계 측정 위치를 표시하였으며, FAN-Coil간 이격 거리는 340mm의 간격을 두었다. Fig 4에서 기존 냉방기와 신규 냉방기간 모터 사양을 나타내었으며, 기존 모터는 양쪽으로 불어내는 양흡 다익팬인 반면 신규는 다익 송풍기가 앞으로 향한 다수의 날개에 의해 공기를 불어내는 팬 형식으로 한쪽 부분만 사용하므로 편협 시로코 팬을 사용하였다.

2.3.2 각 측정위치에서 풍속시험 결과

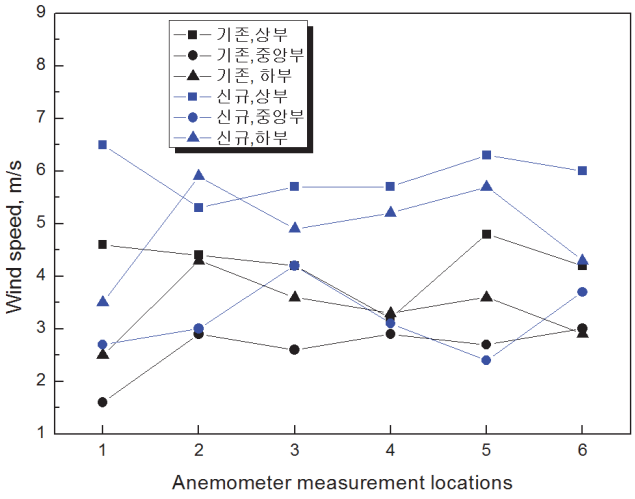


a)Existing air condition b) New air condition

Fig 3 Anemometer measurement locations

구분	팬	모터	비고
기존	전동기 직결 양축 양흡 다익팬	0.95KW (AC380V,4극) 1EA	
신규	전동기 직결 편협 시로코 팬	0.2KW (AC380V,4극) 4EA	

Fig 4 Motor Specifications Compare



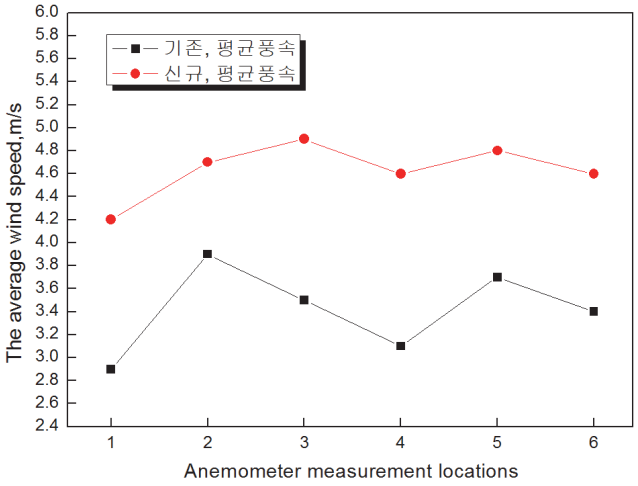
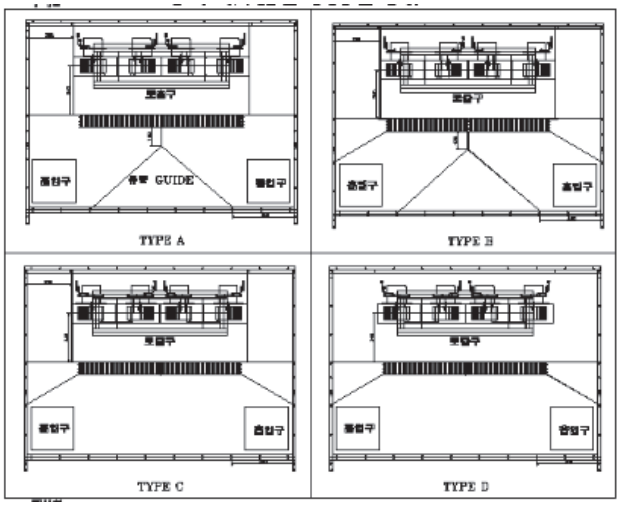


Fig 5 Wind velocity at each measurement position Fig 6 The average wind speed in each measurement position

측정위치를 6등분하고 상부, 중앙부, 하부로 나누어 풍속실험을 수행하였고, 주파수 변환기(50hz)를 사용하여 풍속 및 소음을 측정하였다. Fig 5와 Fig 6에서 나타낸 것과 같이 기존 냉방기는 측정위치 1부분 상부에서 최고풍속인 4.6m/s가 측정되었고, 신규냉방기는 측정위치 1부분 상부에서 6.5m/s로 측정되었다. 최저풍속은 기종 냉방기가 측정위치 3위치 중앙부에서 2.6m/s로 측정되었고, 신규 냉방기는 측정위치 5에서 2.4m/s로 측정되었다. Fig 6은 각 측정위치에서 평균풍속을 나타낸 것인데 기존 냉방기의 평균풍속은 3.4m/s로 측정되었으며, 신규 냉방기의 평균풍속은 4.6m/s로 측정되어 신규 냉방기에서 평균풍속은 약 70% 우수한 결과가 측정되었다.

2.3.3 수직형과 경사형 증발기의 풍속시험 결과

기존 냉방기에 설치된 상부커버를 장착한 수직형 증발기와 경사형 증발기의 풍속실험을 실시하여 각각을 측정하였다. Fig 7은 상부커버를 장착한 기곤의 수직형 증발기를 유형별로



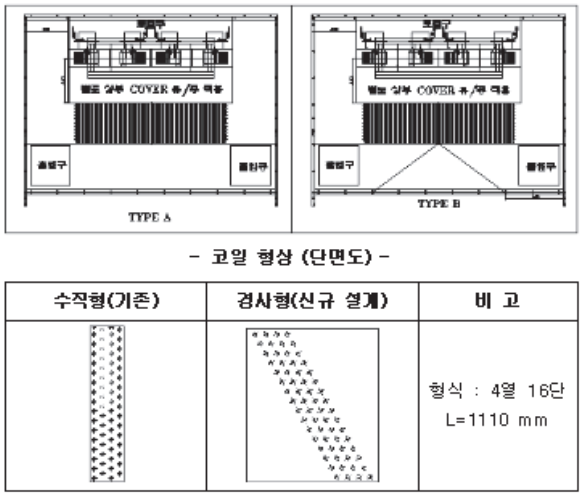


Fig 7 Vertical wind speed evaporator experiment Fig 8 Inclined evaporator velocity experiments

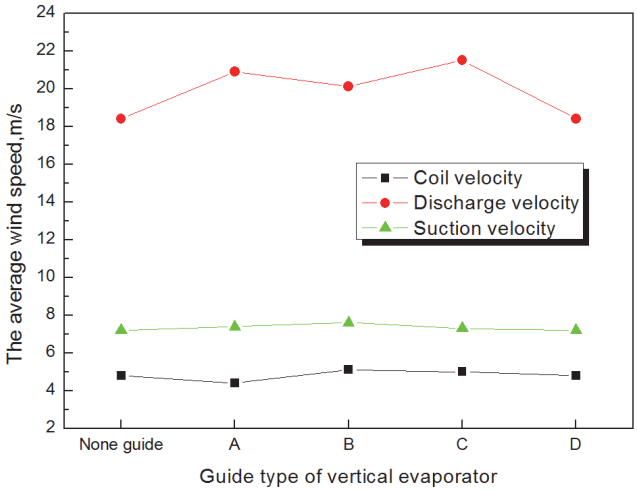


Fig 9 Vertical evaporator of top cover mounting

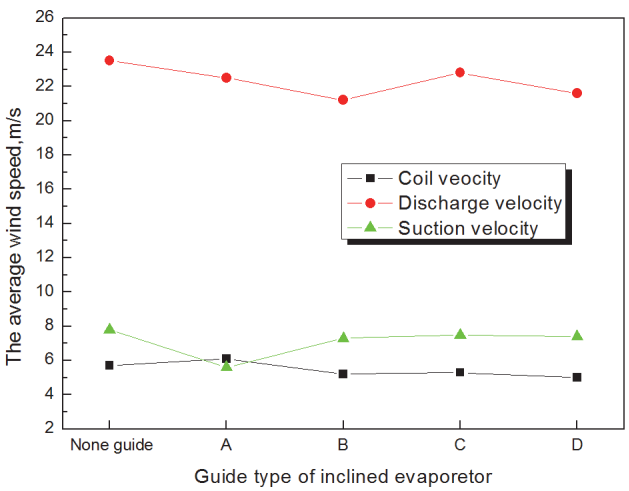


Fig 10 Inclined evaporator

A,B,C,D 로 구분한 것이며, Fig 8은 증발기 팬 상부에 별도 커버를 장착한 경사형 증발기와 커버를 미장착한 경사형 증발기를 나타내었다. 풍속실험을 수행한 결과 Fig 9에서 Guide C가 코일부 5.1m/s, 토출부 20.1m/s, 흡입부 7.6m/s 모두에서 풍속이 가장 우수하게 관찰되었으며, 가장 낮게 측정된 Guide가 없는 것보다 흡입구 및 토출구 모두에서 약 9.4% 우수한 풍속을 나타내었다. Fig 10은 경사형 증발기의 풍속실험 결과를 나타낸 것으로서, A와 B는 증발기팬 상부커버가 장착되지 않은 경사형 증발기를 나타내었고, C와 D는 상부커버가 장착된 경사형 증발기를 나타낸 것이다. 상부커버가 미장착된 Guide A에서 코일부 6.1m/s, 토출부 22.3m/s, 흡입부 7.6m/s로 가장 우수한 풍속이 관찰되었다.

2.3.4 경사형 코일 적용 모터 주파수 별 풍속 비교(최적Type A 적용)

풍속실험 결과 가장 우수하게 관찰된 상부커버를 장착하지 않은 경사형 증발기 Guide A로 모터 주파수 별 풍속을 비교 측정하였다. 풍속의 측정위치는 입구단면에서 100mm 의 거리를

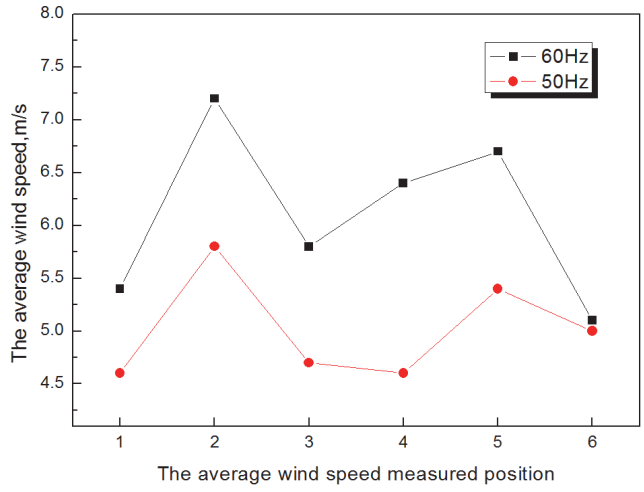


Fig 11 Compare wind speed according to the motor frequency

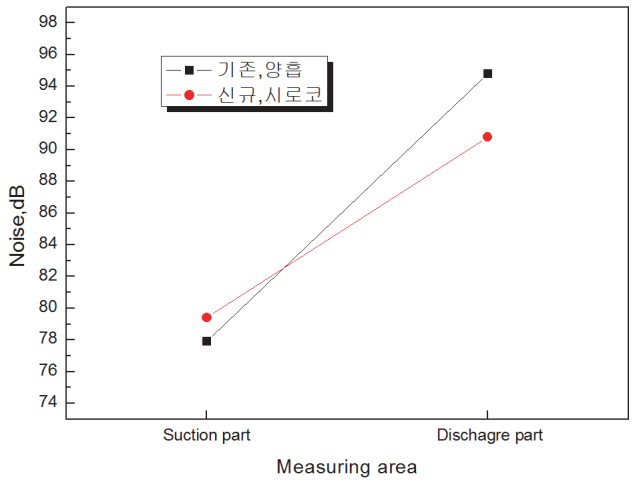


Fig 12 Measuring noise with frequency

두고 측정하였는데, Fig 11에서 측정된 결과로 볼 때 주파수에 따른 풍속변화가 일정하게 변화되는 것을 알 수 있다. 소음도 역시 주파수가 50Hz에서 흡입구는 비슷하였으나, 토출구에서는 약화되는 것을 관찰할 수 있다. 따라서, 풍속에 따른 소음저감을 위해 주파수[4]는 50Hz를 적용하여 설계하는 것이 소음의 차단효과 면에서 유리한 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구는 기존 제작된 SMSC 4호선 냉방기의 증발기 및 응축기 팬의 구조를 변경하여 보다 효율적이고 전열 효과가 향상된 구조로 설계하기 위하여 풍속실험을 통하여 기존 냉방기의 코일 구조에서 각각의 팬을 사용하여 풍속을 측정 비교하고 또한 공기의 유동을 좋게 하기 위한 유동 가이드의 설치 및 소음 저감을 위한 방안 등을 제시하여 이를 바탕으로 최적의 냉방기를 설계 하고자 하였다.

1) 신규 설계 시 편협 시로코팬을 적용하는 것이 유리하다. 기존 양흡 팬보다 시로코 팬의 풍속이 우수하게 관찰되었다.
2) 신규 설계 시 경사형 증발기 코일을 적용하는 것이 유리하다. 경사형의 경우 풍량 Guide type A로 설치 시 풍속이 우수하게 관찰되었다.
3) 실험을 통하여 주파수 변환에 따른 풍속 비교를 볼 때, 풍속을 높여 냉방성능을 우수하게 하는 것도 중요하지만, 주파수와 소음발생은 긴밀한 관계가 있기 때문에 소음원을 효율적으로 차단하면서 냉방효과를 크게 얻을 수 있는 풍속을 설정하여 설계하는 것이 매우 중요한 요건이다.

참고문헌

[1] National Weather Service Climate Change Center (2014)”2013 Analysis of the main greenhouse gas concentrations in the atmosphere of the Korean Peninsula”

[2] J.J. Lee(2001) Air Flow Characteristics of Evaporator in RV Air Conditioner, Chonnam National University, Master of Engineering thesis, pp. 24-27.

[3] Y.S. Choi (2007) Experimental study on heat transfer characteristics of HVAC finned tube heat exchanger, Korea Institute of Science and Technology University, Master of Engineering thesis, pp. 42, 45, 50.

[4] S.M. Lee, C.H. Park, W.S. Lee, (2005) A Study for the Design of the Air-Conditioning Duct of Korean High Speed, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 484.