

친환경 냉매 R407C 냉방기의 냉방효율 향상방안 연구

A Study on Improving Cooling Efficiency of environment-friendly refrigerant R407C air conditioners

김경섭*[†], 박시영*, 최덕수*, 배명곤*, 지유선*Kyung Seob Kim[†], See Young Park*, Duk Soo Choi*, Myung Gon Bae*, Yu Son Ji*

Abstract This study was applied to the existing R22 Freon gas instead of the environmental-friendly refrigerant 407C to the 21,000kcal/h air conditioners used in Seoulmetro Line 4. CFCs to escape from a bad influence on a greenhouse gas, and was performed for the purpose of improving efficiency of cooling cycle. It was carried out, such as wind passes through the evaporator and condenser coils testing, compatibility with existing air condition system was designed so that there is no hindrance. The supplementary problems such as noise, leaks, and the condensed water be applied to the most efficient environment-friendly air conditioning was subjected cooling capacity design. Heat the 21,000kcal/h are absorbed in the cooling capacity of the evaporator which was the same per 1 unit through the design capacity, condensate and leakage of noise is remarkably improved effect could be obtained.

Keywords : Environment friendly refrigerants, Freon gas, Cooling cycle, Capacity design

초 록 본 연구는 서울메트로 4호선에 사용하는 21,000kcal/h 냉방기를 기존 R22 프레온가스 대신에 R407C 친환경 냉매로 적용하였고, 온실가스에 악영향을 주는 프레온가스에서 탈피하고 냉방사이클 효율향상을 목적으로 수행하였다. 증발기 및 응축기 코일 통과 풍속 시험 등을 실시하였으며, 기존 냉방기시스템과 호환성에는 아무런 지장이 없도록 설계하였다. 또한, 응축수 누수 및 소음 등의 문제점을 보완하여 가장 효율적인 친환경 냉방기를 적용하고자 냉방 용량설계를 실시하였다. 용량설계를 통해서 1Unit당 냉방능력인 증발기에서 흡수하는 열량인 21,000kcal/h는 동일하였으며, 응축수 누수 및 소음이 현저히 개선되는 효과를 얻을 수 있었다.

주요어 : 친환경 냉매, 프레온가스, 냉방사이클, 용량설계

1. 서 론

프레온가스를 사용하는 기존 냉방기는 온실가스에 막대한 영향을 초래하고 있다. IPCC 4차 보고서(2007)에서는 이산화탄소의 온난화지수가 1이라면 메탄은 21이나 된다고 보고하고 있다. 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) 제4차 평가보고서에는 대기 중 이산화탄소[1] 농도가 산업혁명 이전 280ppm에서 2005년 379ppm으로 증가하였고, 이산화탄소의 연간 배출량은 1970년부터 2004년까지 80%나 증가한 것으로 되어 있다. 또 이러한 상태가 지속되면 2030년 전 세계 이산화탄소 배출량은 2000년 대비

[†] 김경섭: 공학박사 (polraris7@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로 창동차량사업소

최고 110% 증가할 것으로 전망하고 있다. 이산화탄소는 전체 온실가스 배출량의 77%을 차지한다. 발전소에서 전기를 만들거나 공장에서 물건을 생산하기 위해 사용하는 석유와 석탄, 자동차와 비행기 및 건물 냉난방에 쓰이는 석유와 천연가스 같은 화석연료의 연소에 따라 대기 중에 이산화탄소 배출이 늘어난다. 또 탄소 흡수원 역할을 하는 열대우림과 다른 기후대의 산림이 빠른 속도로 파괴되기 때문에 이산화탄소 농도는 더욱 증가하고 있다. 우리나라는 2010년 세계 온실기체 배출량 7위를 차지한바 있으며, 온실기체 배출량을 줄이기 위해 2009년 2030년의 배출 전망치를 기준 대비 30% 감축한다는 중기 감축목표를 발표했다. 우리나라는 교토의정서에 의한 의무적인 감축국가가 아니지만, 녹색성장의 선두국가로서 자발적으로 감축 목표를 추진한 것이다. 국가 온실기체 감축목표 이행을 위하여 「저탄소 녹색성장법」이 제정되었으며, 또한 온실기체 배출권 거래제 도입을 위한 법안이 국회에서 의결되어 2015년부터 시행될 예정이다. 따라서 동일한 냉방능력을 갖는 친환경 냉매를 사용하여 부하 조건에 맞는 설계요량을 갖는 냉방기를 설계하고자 하였으며, 특히 저소음, 응축수 누수를 고려하여 설계하여 기존에 사용하던 성능을 월등히 초월할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 장치별 냉방용량(성능)계산[2,3]

2.1.1 냉방기 용량기준

친환경 냉방기의 1Unit당 냉방능력은 증발기에서 흡수하는 열량으로 21,000kcal/h이며, 이 냉방용량을 얻기 위해서는 용량과 직접 관련된 주요 부품인 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기의 각각의 성능이 21,000kcal/h 이상을 가져야 한다.

2.1.2 친환경 냉방기 냉방성능 검토

Table 1 Review of the environmental-friendly air conditioning performance.

연번	구성 기기	성능 사양기준 (Kcal)	용량 계산 결과		비고
1	압축기	21,000	압축기 용량 (10,700) 2EA 적용=>21,400 Kcal		브리스틀 왕복동식
2	응축기	24,000	응축능력	29,850 Kcal	20% 여유있음
			팬 풍량	120CMM	요구풍량 118CMM
			모터 축 동력	0.15Kw	요구동력 0.095Kw
3	증발기	21,000	냉방 능력	21,668 Kcal	3% 여유 있음
			팬 풍량	74CMM	요구풍량 71.5CMM
			모터 축 동력	0.2Kw	요구동력 0.18Kw
4	팽창 밸브	21,000	용량 3.5RT, 2EA 적용 => 21,170 Kcal		감온식

2.2 압축기성능 검토

Table 2 Compressor parts specifications

연번	구분	사양	비고
1	냉방용량(Kcal)	10,700	철도차량용
2	제조사	브리스톨	미국
3	형식	중형 왕복동식	
4	모델명	H73A423 DWA	
5	사용전압(60Hz)	380 V	
6	정격 입력 용량(W)	4,100	
7	EER/(COP)	3.0	
8	효율(%)	68	
9	중량(Kg)	33.6	
10	높이(mm)	379	
11	용적량(m³/h)	15.5	

Table 3 The capacity selection

연번	구분	엔탈피선도	성능 용량 (Kcal)
1	냉동효과 (qe : kcal/kg)	$i_a - i_e$	21,000
2	압축일의 열당량 (AW : kcal/kg)	$i_b - i_a$	3,440
3	응축기 방열량 (qc : kcal/kg)	$q_e + AW$	24,440

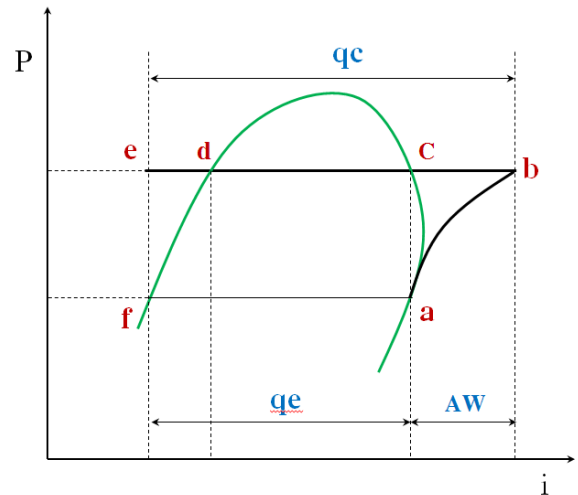


Fig.1 Moliere diagram of cooling cycle

2.3 응축기 응축성능 설계

응축기는 압축기에서 토출된 고온·고압의 기체 냉매의 열을 상온하의 공기로 방출시켜 응축 액화시켜 주는 기기이다. 압축기에서 압축되어 고온·고압으로 된 냉매 증기를 액화시키기 위해서는 응축 잠열 만큼의 열량을 냉매증기로부터 빼앗아야 한다. 응축기에서 응축되는 냉매증기가 냉각수나 공기를 통하여 빼앗기는 열량은 응축기 입구의 엔탈피와 응축기 출구 냉매액의 엔탈피 차이와 같다. 또한 이 열량은 냉매가 증발기에서 외부 공기로부터 흡수한 열량과 냉매증기가 압축기에서 받은 압축 일량을 합한 값이다.

2.3.1 응축기 설계요소

일반적으로 철도 및 전동차 에어컨시스템의 응축기 및 증발기 코일은 공랭식 핀 튜브(FIN & TUBE) 방식의 코일이 사용되고 있으며 전동차 차량의 수명과 유지보수성을 고려하여 내구성 향상 및 부식성 방지를 위해 AL.FIN에 표면 처리를 하고, 최대의 열전달 효율을 높이기 위해 INNER GROOVED(내부 홈이 가공된) 동관을 사용한다.

2.3.2 친환경 냉방기의 응축기 성능계산

1. AL. PIN & 코일: 재질 전열계수(PIPE 외경 0.00952m, AL,Cu 전열계수)
2. 응축온도: 54.4℃ 이하

- 3. 팬크기: 모터 및 팬 풍량
- 4. COIL 크기 및 수량: 전열면적에 따름
- 5. 응축능력: 응축부하 이상
증발기 용량의 통상 30%이상 용량 가산함(응축부하 - 증발기 용량 + 압축기 일량),
팬 모터 발열량, 대기온도, 냉매유동저항, 먼지 등 고려

Table 4 Condensing coil condenser capacity calculation

1. 전열면적(A/m ²)	열수	단수	유효길이	UNIT 당 수량	59.7m ²	동관 PIPE 외경:9.52mm
	4R	22S	0.96m	2		
2. 열관율 K (Kcal/m ² h°C) : 핀-튜브 코일 공랭식 응축기(에어로 핀). 통과 풍속 3m/s 기준 (K = 40 적용)					40	핀-튜브 코일식 평균 실험값
3. 대수평균온도차 (ΔTm)(°C)	응축 온도	외기 온도	ΔTd(Td1-Td2)	냉매 입출구 온도차	12.5	응축기 입구(54°.4C) 응축기 출구(47°C) 공기입구온도(35°C)
	54.4	35	12	7.4		
4. 응축능력(Kcal/h)	K x A x ΔTm (=40 x 59.7 x 12.5)				29,850	29,850/24,400 = 1.22(22% 여유)

2.3.3 응축기 열량계산

관내를 흘러가는 냉매를 냉각 시킬 때 제거해야 할 응축기 열량은(24,440 Kcal/h)과 같다

Q(열량) = G × C × Δt 이므로

Q : 유체에서 제거할 열량(kcal/h)

G : 유량(Kg/h) - 공기유량(공기비중 1.2 Kg/m³)

C : 유체의 비열(Kcal/°C) - 공기비열(0.24)

Δt : 온도차(t₂ - t₁) (°C) - 응축기 입출구 공기 온도차

$$\sqrt{24,440 = G \times 0.24 \times (47 - 35) \rightarrow G = 8.486(\text{Kg/h})}$$

$$\text{소요 공기풍량} = 8,486 / 1.2 = 7,072(\text{m}^3 / \text{h}) \Rightarrow 117.9\text{CMM}$$

상기 응축기 팬(효율 80%)의 풍량 선도에서 최소 40CMM 의 풍량을 가진 4 엽팬(φ400) 4 개를 사용 하므로 응축기 팬 풍량은 충분한 것이 판단된다.

2.4 모터 축동력 계산

$$\sqrt{\text{모터 1개당 소요 풍량 } Q = 36.8 \text{ CMM,}}$$

$$\sqrt{\text{응축 소요 공기 풍량 } 117.9(\text{CMM}) / (\text{축팬 효율} \times \text{팬수량})}$$

2.5 증발기 성능계산

응축기에서 액화된 냉매는 팽창밸브를 통과할 때 교축, 팽창되어 증발기로 들어가 증발기에서 냉매는 냉각되는 유체로부터 열을 빼앗아 증발한다.

$$\sqrt{\text{증발기 COIL 응축 능력 계산}(1\text{UNIT 냉방 기준} : 21,000\text{Kcal/h})}$$

Table 5 Motor shaft power calculation

연번	구분	계산식	소요 축동력	비 고
1	이론공기동력	이론 공기 동력 $L_a = \frac{Q \times \Delta t}{6120}$ (Kw)	0.063Kw	pt : 정압 응축기 팬 최대 정압 10.5 mmAq
2	축동력	$L_b = \frac{Q \times \Delta t}{6120 \times \eta}$ (Kw)	0.079Kw	Q : [m ³ /min] pt : [mmAq] η : 송풍기 효율(축류 팬: 80%)
3	실제사용동력	실제 사용동력 $L_k = L_b \times (1 + \alpha)$	0.095Kw	α : 25HP 이하 0.2 25 ~ 60HP 이하 0.15 60HP 이상 0.1

√ 설계사양 : 4 열 15 단, 유효 길이 1300mm, A1 PIN PITCH 2.5mm

√ 설계된 응축기 모터 동력(1EA) 0.15 Kw 는 충분한 것으로 판단된다.

Table 6 Evaporator coil condensate capacity calculation

전열면적(m ²) (A)	열수	단수	유효길이	UNIT 당 수량	32.1m ²	동관 PIPE 외경: 9.52mm
	4R	15S	1.3m	1		
열관율 K (Kcal/m ² h ⁰ C) - 핀-튜브 코일 공랭식 에어로핀 - 통과 풍속 4m/s 기준 (K=45 적용)					45	핀-튜브 코일식 평균실험값
대수평균 온도차 (ΔT_m , °C)	증발 온도	실내 온도	ΔT_d ($T_{d1} - T_{d2}$)	증발기통과 공기 입출구 온도차	15	증발기 입구의 공기온도: 28°C 증발기 출구의 공기온도: 12°C
	5	28	16	23		
냉방능력 (Kcal/h)	$K \times A \times \Delta T_m (= 45 \times 32.1 \times 15)$				21,668	

√ 설계된 증발 코일 전열면적과 냉방 성능은 21,000Kcal 를 만족함

2.6 증발기 팬 풍량 및 모터 축동력 계산(IUnit기준)

Table 7 The evaporator fan/motor specifications

연번	품명	설계 사양	성능 기준
1	FAN	편협 시로코 팬 Ø180, 4EA	풍량(냉각 능력): 팬 성능곡선
2	MOTOR	3 상 380V, 200W 4 극 4 EA	축동력: 팬 풍량에 따름

증발기를 통과하는 공기를 냉각 시킬 때 제거해야 할 열량은 21,000 Kcal/h 와 같다.

Q (열량) = $G \times C \times \Delta t$ 여기서 Q : 유체에서 제거할 열량(kcal/h)

G : 유량(Kg/h) - 공기유량(공기비중 1.2 Kg/m³)

C : 유체의 비열((Kcal/°C) - 공기비열(0.24)

Δt : 온도차($t_2 - t_1$) (°C) - 증발기 입출구 공기 온도차

$$\sqrt{21,000 = G \times 0.24 \times (28 - 11) \rightarrow G = 5,147(\text{Kg/h})}$$

따라서, 소요 공기풍량 = $5,147 / 1.2 = 4,290(\text{m}^3 / \text{h}) = 71.5 \text{ CMM}$

상기 적용 시로코 팬(SINGLE INLET $\varnothing 180$)의 풍량 성능 곡선을 통하여 1 개당 18.5 CMM 의 풍량을 가진 팬 4 개를 사용 하므로 증발기 팬 풍량은 충분함(총 74 CMM)

√ 모터 축 동력: 시로코 팬(SINGLE INLET $\varnothing 180$) 18.5 CMM

√ 풍량 요구동력: 0.2 Kw 임(풍량 시험치)

3. 결론

친환경 냉매인 R407C 를 사용하여 21,000 kcal/h 를 만족하도록 냉방 용량 설계를 실시하였다. 소요 공기풍량은 117.9CMM 으로서 응축기 팬(효율 80%)의 풍량 선도에서 최소 40CM 의 풍량을 가진 4 엽팬($\varnothing 400$) 4 개를 사용하므로 응축기 팬 풍량은 충분한 것이 판단된다. 또한 기존에 2 개를 사용하던 모터를 4 개로 소형화하여 소음에 취약했던 부분을 보강하였다. 증발기 개당의 실제사용 동력이 0.095Kw 으로 계산되었으나, 설계용량을 0.15 Kw 로 하여 동력전달에 지장이 없도록 설계함으로써 하절기 부하 집중 시에도 원활한 구동이 될 수 있도록 하였다.

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.