



## 자연냉매인 CO<sub>2</sub>를 이용한 냉동탑차 냉장시스템과 핵심부품개발에 관한 연구

†정세진 · 박성신 · 민호기 · 조가영

(주)삼진야드 기업부설연구소

(2018년 12월 20일 접수, 2019년 1월 15일 수정, 2019년 1월 16일 채택)

## A Study of Development of Re-refrigerated Truck Small Scale Cooling System and Key-Part using Natural Refrigerants.

†Se Jin Jeong · Seong Sin Park · Ho Ki Min · Ga Yeong Jo

124, Sinhosandan 1-ro, Gangseo-gu, Busan, Republic of Korea

(Received December 20, 2018; Revised January 15, 2019; Accepted January 16, 2019)

### 요 약

본 연구에서는 친환경적 냉매로 주목받고 있는 이산화탄소 자연 냉매를 이용하여 1톤 크기의 냉동 탑차에 들어가는 냉방 시스템을 개발하고, COP를 올리기 위해 열교환기 및 Unit cooler를 설계하였다. 또한 LNG의 기존 CNG 5톤 냉동탑차를 LNG 차량으로 개조하여 냉방시스템의 효율을 높임과 동시에 CNG 대비 안전성을 확보하였다. 결과적으로 1톤 및 5톤 크기에서 자연 냉매를 사용한 친환경적인 냉동탑차를 개발하였다.

**Abstract** - In this study, we developed a cooling system for 1 ton size refrigeration vehicle using carbon dioxide natural refrigerant among hydrocarbon type refrigerant which is attracting attention as environment friendly refrigerant, and designed a heat exchanger and a unit cooler to raise COP. In addition, existing CNG 5 ton refrigerated trucks were converted into LNG vehicles to increase the efficiency of the cooling system and ensure safety against CNG. As a result, environmentally friendly refrigerated trucks using natural refrigerants of 1 ton and 5 ton sizes were developed.

**Key words** : LNG, re-refrigerated truck, COP, natural refrigerants, CO<sub>2</sub>

### 1. 서 론

몬트리올 의정서 및 교토의정서에 의거하여 오존층 파괴물질의 사용규제, 온실가스 배출억제 등 국제환경규제가 규정되었다. 이와 같은 국제적인 협약에 의한 오존층 파괴물질의 사용규제가 기존의 냉동공조기기 부문에서 사용되고 있는 프레온 계열의 냉매류를 근시일 내에 더 이상 사용할 수 없도록 함에 따라, 대체냉매를 이용한 새로운 냉동공조기기의 개발이 지속적인 발전의 관건이 되고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해서 세계 각국이

독자적 노력은 물론 국제적 협력체제로 연구개발을 하고 있으며, 특히 선진국에서는 이러한 노력성과가 없는 국가나 제품에 대한 통상압력을 가할 예정에 있는 실정이다. 냉동공조기기 부분의 시장규모가 국내 전체의 산업분야에서도 중요한 비중을 차지하고 있는 것을 감안할 때, 국제환경규제에 대응한 독자적인 기술 개발 및 국제협력 체계의 구축은 매우 시급하며 중요한 일이다.[1,2]

현재 대표적인 환경 친화적인 냉매로 탄화수소(HC)계열의 냉매들이 많이 연구 검토되고 있는데, 이러한 냉매들은 이미 자연계에 널리 존재하는 물질로 값싸고 쉽게 구할 수 있으며 회수 및 재생을 할 필요가 없는 장점이 있다. 그러나 현재 검토 중인 많은 탄화수소계 냉매들은 가연성이 있어서 폭

†Corresponding author:sjjeong@samjinyard.com  
Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

발의 위험이 있으며, 암모니아와 같은 경우는 독성과 가연성 때문에 별도의 안전장치가 필요하다. 이에 반하여 이산화탄소는 지구 온난화에 미치는 영향이 매우 작으며, 비가연성의 환경 친화적인 냉매로 냉동기유 및 기기재료와 호환성이 좋으며, 안전성이 뛰어나고, 독성이 없어 대체냉매로 주목받고 있다.[3,4,5] 따라서 본 과제는 자연 냉매를 사용하는 최적 설계를 위해 전열 성능 및 장치의 성능을 규명하고자 하며 이를 위해 압축기, 가스쿨러, 증발기, 팽창 밸브 등으로 구성되는 기본적인 장치를 분석하고 제작하여 그 성능을 확인한다.

## II. 설계

### 2.1 CO<sub>2</sub> 자연냉매 특성 분석

CO<sub>2</sub> 냉매는 열역학적 특성상 열 교환 손실 및 팽창손실이 기존냉매에 비하여 큰 것으로 알려져 있다. 또한 초임계 사이클의 특성상 시스템의 용량 제어를 위하여 고압단의 온도와 압력을 동시에 제어하여야 한다.

### 2.2 CO<sub>2</sub>자연냉매 사용 요소부품 설계

이소부탄/CO<sub>2</sub>냉매용 열교환기 요소기기를 아래 그림과 같이 설계하였으며 성능 평가를 실시하였다. 자연냉매를 사용한 Unit cooler를 개발하였으며 이를 위해 이소부탄/CO<sub>2</sub>적용 설계압력 및 설계온도에 적합한 재질 및 구조 선정하여 유닛쿨러의 코일의 배관경, 핀간격 등을 설계하였다.

### 2.3 CO<sub>2</sub>자연냉매 냉방시스템 1톤 탑차 시제품

본 연구를 위해 자연냉매(CO<sub>2</sub>)가 적용된 냉동사이클을 개발하고 개발한 요소 부품을 사용하여 1차

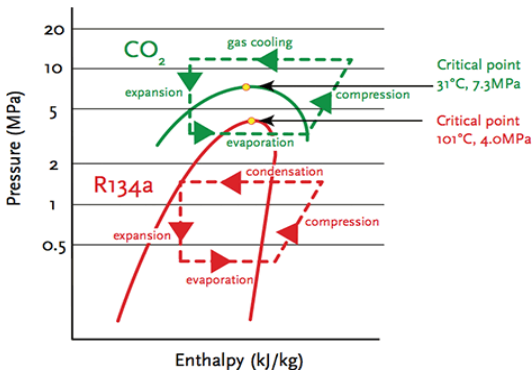


Fig. 1. Comparison of CO<sub>2</sub> and Freon Refrigerant (R-134a) Cycles.

냉동탑차의 적용시 실제 COP를 측정하였다. COP를 측정하고 검증하기 위해 각각 Bitzer 웹소프트웨어를 사용하였다. 자연냉매를 사용한 1톤 냉장탑차의 시스템 개략도는 Fig. 3과 같다.

### 2.4 LNG용 5톤 냉동탑차의 개조

LNG냉열을 활용하기 위하여 LNG냉열기화기 열교환기는 LNG와 고온고압의 CO<sub>2</sub>가스가 열교환함으로써 열교환 효율뿐만 아니라 냉동기의 효율을 향상시키고자하였다.

이를 통해 자연냉매를 사용하는 5톤급의 LNG 냉동탑차의 시제품 제작을 완료 하였으며, 친환경적인 냉매사용과 동시에 자동차의 효율 또한 올려 고효율/저공해에 기여할 수 있는지 확인하고자 하였다.

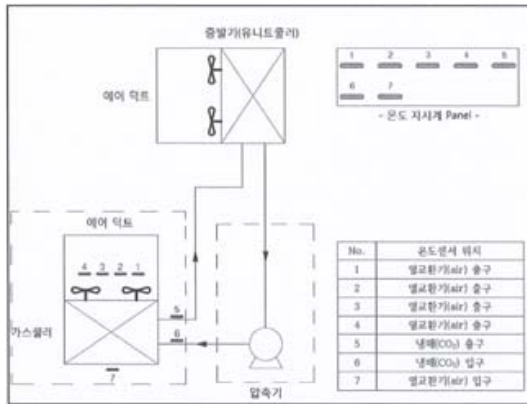


Fig. 2. Schematic diagram for Heat Exchanger and Unit Cooler using CO<sub>2</sub>.

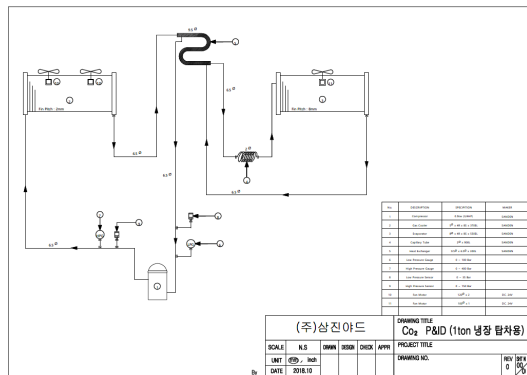


Fig. 3. System for 1 ton Refrigerated Top Car with Natural Refrigerant.

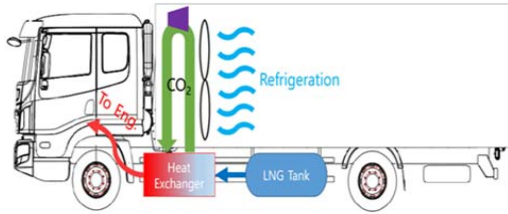


Fig. 4. LNG Cold & Heat Utilization.

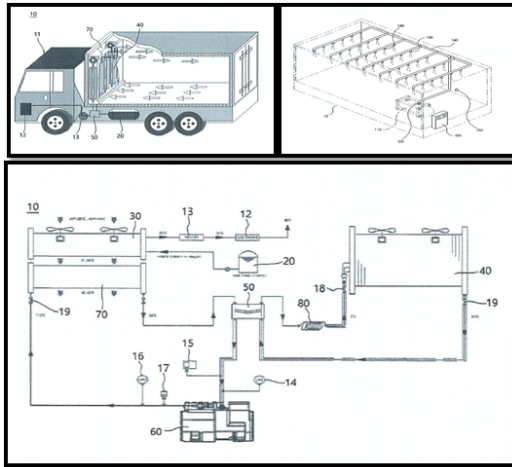


Fig. 5. Schematic diagram of a frozen top car using LNG cold heat.

### III. 결 과

#### 3.1 CO<sub>2</sub>자연냉매 사용 요소 부품 결과

Table 1과 같이 설계된 열교환기와 Table 2와 같이 설계된 Unit cooler의 성능을 측정하기 위해 총 5번의 측정을 시행하였으며 실험 결과는 Table 3과 같다. 냉매 입구온도는 평균 88.64℃와 냉매 출구온도는 평균 21.62℃로 효율을 계산하면 열교환기는  $67.02/88.64 * 100 = 75.61\%$ 이다. Unit Cooler의 경우 냉매 출구 온도는  $-3.10\text{℃}$ 이고 냉매 출구 온도는  $-16.11\text{℃}$ 로 계산하면  $(-16.11 - (-3.10)) / -16.11 * 100 = 80.76\%$ 이다.

측정결과 열교환기의 효율은 75.61%를 달성하였으며, Unit Cooler의 효율은 80.76%를 달성하였다. Fig.6과 같이 Gas Cooler 열교환기는 핀&튜브 형식으로 제작되었으며, Unit Cooler 도면은 Fig.7과 같다.

Table 1. CO<sub>2</sub> Gas Cooler Heat Exchanger Calculation

구분	Unit	Specification
형식	PL 030	바닥설치형
열량	kcal/h	14,000
열량	RT	4.20
공기 입구 온도	℃	35
공기 출구 온도	℃	48
냉매 입구 온도	℃	95
냉매 출구 온도	℃	45
RT당 풍량	CMM/RT	
총 풍량	CMM	62
순환 횟수	N/min	
열통과율	kcal/m <sup>2</sup> h℃	38
대수평균온도차	℃	26.60
전열 면적	m <sup>2</sup>	34.00
핀 피치	mm	2.5
열 * 단 피치	mm	44*40
코일 사양		5/” .8Rx93x900EL
정압	mmAq	5
송풍기		Propller.350 ϕ2 set
모터		0.2kw x 4p x 2set
전원		3 ϕ x 220 / 380V x 60Hz
배관-냉매	입구[inch]	1 1/8
	출구[inch]	1 1/8

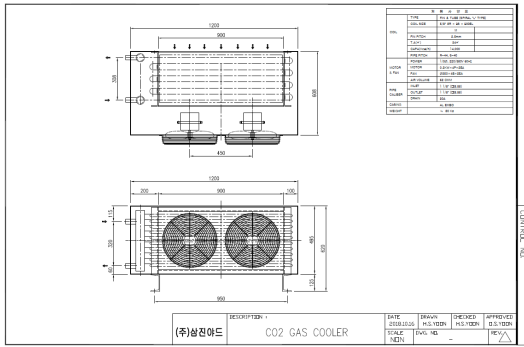


Fig. 6. Heat Exchanger Drawings for CO<sub>2</sub> Natural Refrigerant.

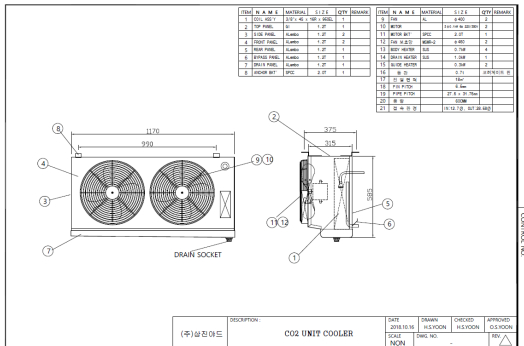


Fig. 7. Unit Cooler Drawings Using CO<sub>2</sub> Natural Refrigerant.



Fig. 8. Experiment of Heat Exchanger Using CO<sub>2</sub> Natural Refrigerant.



Fig. 9. Unit Cooler Experiment with CO<sub>2</sub> Natural Refrigerant.

Table 2. CO<sub>2</sub> Unit cooler Calculation

구분	Unit	Specification
형식	SE050	천정형
고내 온도	℃	-20
열량	kcal/h	5,000
열량	RT	1.51
입구 온도	℃	-20
출구 온도	℃	-23
증발 온도	℃	-30
RT당 풍량	CMM/RT	
총 풍량	CMM	60
순환 횟수	N/min	
열통과율	kcal/m <sup>2</sup> h℃	30
대수평균온도차	℃	8.41
전열 면적		19.82
핀 피치	mm	6.5
열 * 단 피치	mm	27.5 * 31.75
코일 사양	m <sup>2</sup>	3/8" . 4Rx16 3x900EL
정압	mmAq	5
송풍기		Proppler.400 φ2 set
모터		0.1kw x 6p x 2set
전원		3 φ x 220 / 380V x 60Hz
제상방법	Fan	0.3 kw x 2 set
	Body	0.7 kw x 4 set
	Drain	1 kw x 1 set
배관-냉매	입구[inch]	1/2
	출구[inch]	1 1/8
배관	드레인	25A

**Table 3.** CO<sub>2</sub> Gas Cooler Heat Exchanger Measurement Results

열교환기(air) 출구 온도[°C]				냉매(CO <sub>2</sub> ) 출구	냉매(CO <sub>2</sub> ) 입구	열교환기(air) 입구
센서1	센서2	센서3	센서4	센서5	센서6	센서7
30.28	28.90	27.48	25.80	21.80	91.00	19.83
30.17	28.83	27.40	25.70	21.80	89.67	19.98
30.07	28.77	27.35	25.67	21.80	88.33	19.88
29.98	28.63	27.25	25.58	21.80	87.50	19.78
29.75	28.50	27.15	25.48	21.72	86.67	19.77

**Table 4.** Unit Cooler Measurement Results

열교환기(air) 출구 온도[°C]				냉매(CO <sub>2</sub> ) 출구	냉매(CO <sub>2</sub> ) 입구	열교환기(air) 입구
센서1	센서2	센서3	센서4	센서5	센서6	센서7
-15.43	-15.32	-16.55	-16.70	-17.83	2.50	-15.33
-14.88	-14.75	-15.95	-16.15	-16.98	-1.67	-15.10
-14.22	-14.02	-15.22	-15.42	-16.00	-4.50	-14.68
-13.57	-13.40	-14.58	-14.77	-15.17	-5.83	-14.20
-13.12	-12.95	-14.08	-14.28	-14.58	-6.00	-13.83

**3.2 1톤 탑차 시스템 결과**

먼저 냉동 탑차의 냉각 열량을 계산하였으며, 냉동 시스템의 크기는 높이 1.6m, 측면부 너비 2.8m, 그리고 후면 너비 1.8m로 설정 하였으며, 두께는 0.055m로 설정하였다. 벽체를 통한 부하를 계산하기 위하여 단열재는 우레탄판넬로 열전도도는 0.018kcal/

**Table 5.** Cooling Load Calculation

침입열량									
	면적 [m <sup>2</sup> ]	fi[kcal/m <sup>2</sup> /h°C]	fo[kcal/m <sup>2</sup> /h°C]	열전도도 [kcal/mh°C]	k[kcal/m <sup>2</sup> /h°C]	외부 설계 온도 [°C]	내부 설계 온도 [°C]	보정 온도 차 [°C]	부하 [kcal/h]
서쪽 외벽	5.04	20	7.5	0.018	0.309	34.5	-5	4.5	68.5
동쪽 외벽	5.04	20	7.5	0.018	0.309	34.5	-5	4.5	68.5
남쪽 외벽	2.88	20	7.5	0.018	0.309	33	-5	3	36.5
북쪽 외벽	2.88	20	7.5	0.018	0.309	30	-5	0	31.1
천장	4.48	20	9.5	0.018	0.311	41	-5	11	79.5
바닥	4.48	20	9.5	0.018	0.311	30	-5	0	48.8
외부열량									
	발열량 [kcal/h]	운영 시간	부피[m <sup>3</sup> ]	작업 인수	부하 [kcal/h]				
환기열량	24[kcal/m <sup>3</sup> ]	1.3회/h	8.064		252				
작업인 열발생량	205[kcal/h명]	3/24	-	1명	25.63				
송풍기	34.658	16/24			23.12				
전등	34.658	3/24			4.334				
물품냉각열량					3083.5				

mh<sup>2</sup>이며 외부 설계 온도의 경우 측면 34.5°C, 전면부 33°C, 후면부 30°C, 천장 41°C, 바닥 30°C도로 각각 설정하였다. 내부 설계온도는 -5°C이다. 그 외 계산 설정 값은 Table5와 같다. 총 냉각 열량은 3721.48kcal/h로 1.1209RT의냉동부하를 기준으로 시스템을 설계하였다.

Fig. 2와 같이 실제 시제품의 경우 기존에 저압부, 고압부로 분리된 압축기를 사용하던 것에서 110Bar 2단 일체형 압축기 모듈화와 자연냉매(CO<sub>2</sub>)의 사용



Fig. 10. CO<sub>2</sub> natural refrigerant cooling tower vehicle and prototype.

Table 6. Cooling system COP measurement result

Cooling capacity[kW]	Electrical power[kW]	COP
1.5	0.39	3.8
1.4	0.38	3.6
1.4	0.4	3.6
1.4	0.4	3.6
1.4	0.4	3.6

을 위해 제어로직 개발을 통해 냉매를 컨트롤 하였으며 기존 자연냉매 사용시 COP1.8이던 것을 최종적으로 COP 2.30을 달성하였다. 측정값은 Table 6과 같다.

내부 열교환기의 성능을 파악하기 위해 이젝터의 구조 및 원리와 기본 사이클을 분석하였다. 이젝터는 Motive부, Suction부, Discharge부로 구성되어 Motive부로 유입되는 고압의 냉매를 Motive 노즐로 통과시켜 압력을 감소시키고 Suction부로부터 저압, 저속의 냉매 흡입 후 이젝터 내부에서 혼합시킨다. 혼합된 냉매는 Discharge부로 토출되며 압력 회복 현상이 발생한다. 이젝터를 사용하는 경우 기액분리기로 향하는 냉매의 유량을 감소시키고 이로 인해 냉방 용량을 감소시킨다. 기존의



Fig. 11. High pressure piping for 120 bar.

사이클에 비해 저압부가 높아 압축일 감소 및 증발기 내 엔탈피차를 증가시키고 시스템의 COP를 증가시켰음을 확인하였다.

자연냉매(CO<sub>2</sub>)의 경우 초월임계 이산화탄소 사이클의 특성상, 고압(~120bar), 고온(~150℃)에 견뎌야 하는데 이를 위해 열전달계수가 높은 동관을 이용하였다. 고압을 위하여 110Bar에 사용하기 위한 배관에 적합한 배관을 채택하였으며 이는 천연가스 고압배관 시험규정인 ECE-R-110을 만족시키고, 미국 DOT 운송차량 규정을 만족시킨다.

### 3.3 5톤 탑차 시스템 결과

기존의 5톤 냉동탑차 디젤차량을 LNG로 개조하여 기존 대비 높은 주행거리를 달성하였으며, 기존 경우 차량 대비 약 30%의 연료비를 저감시켰다. 또한 연료저장압력이 CNG의 1/13으로 높은 안정성 또한 확보하였다.

LNG냉열을 이용하여 급속 냉동이 가능하도록 함으로써 Table7과 같이 에너지 효율을 1.3~2배 향상시킬 수 있도록 하였으며 차량의 정지 및 운휴 상태에서도 냉동효과가 발생되도록 설계하였다.



**Table 7.** COP measurement results when applying LNG

냉동운전조건(-5)도 - LNG 냉열 미적용				
외기 온도	응축 온도	4마력 압축기 사용시 냉각용량/냉동능력 (COP)	5마력 압축기 사용시 냉각용량/냉동능력 (COP)	
45℃	55℃	3.27kw/(0.61)	5.74kw/(0.92)	
40℃	50℃	4.94kw/(0.92)	6.65kw/(1.10)	
35℃	45℃	6.95kw/(1.29)	7.45kw/(1.32)	
30℃	40℃	8.36kw/(1.61)	8.36kw/(1.61)	
25℃	35℃	9.39kw/(2.01)	9.39kw/(2.01)	
20℃	30℃	10.68kw/(2.61)	10.68kw/(2.61)	
냉방운전조건(-5℃)+LNG냉열 적용(-20℃)				
외기 온도	응축 온도	4마력 압축기 사용시 냉각용량/(COP)	5마력 압축기 사용시 냉각용량/(COP)	
45℃	25℃	12.45kw/(3.04)	12.45kw/(3.04)	
40℃	20℃	13.63kw/(3.33)	13.63kw/(3.33)	
35℃	15℃	14.62kw/(3.57)	14.62kw/(3.57)	
30℃	10℃	15.52kw/(3.79)	15.52kw/(3.79)	
25℃	5℃	16.35kw/(3.99)	16.35kw/(3.99)	
20℃	0℃	17.14kw/(4.19)	17.14kw/(4.19)	
냉동운전조건(-5℃)+LNG냉열 적용(-10℃)				
외기 온도	응축 온도	4마력 압축기 사용시 냉각용량/(COP)	5마력 압축기 사용시 냉각용량/(COP)	
45℃	35℃	9.39kw/(2.01)	9.39kw/(2.01)	
40℃	30℃	10.68kw/(2.61)	10.68kw/(2.61)	
35℃	25℃	12.45kw/(3.04)	12.45kw/(3.04)	
30℃	20℃	13.63kw/(3.33)	13.63kw/(3.33)	
25℃	15℃	14.62kw/(3.57)	14.62kw/(3.57)	
20℃	10℃	15.52kw/(3.79)	15.52kw/(3.79)	



**Fig. 12.** Renovation of LNG vehicle of existing diesel 5ton refrigerated truck.

#### IV. 결 과

1) 본 연구를 통해 자연 냉매를 이용한 냉동탑차의 냉방 시스템을 설계하였으며 COP 3.60의 성능을 가진다.

2) 본 연구를 통해 LNG냉열을 이용한 냉동탑차의 냉동시스템과 냉동탑차의 폐열 활용 시스템을 특허출원하였다.

3) 본 연구를 통해 전에 없던 LNG 냉열 활용 기술을 개발하였다.

4) 냉동 탑차에 자연냉매인 CO<sub>2</sub>를 적용함으로써 110bar의 CO<sub>2</sub>냉매 열교환기를 개발하였으며, CO<sub>2</sub> 압축기 일체와 기존에 국산 냉동탑차에 적용되었던 HFC R-134a을 CO<sub>2</sub>로 바꾸고 LNG 냉열을 적용함으로써 보다 친환경적인 냉동탑차를 개발하였다.

#### 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 자연냉매 활용 항만장비, 냉동탑차 소형 냉방 시스템 및 핵심부품 개발사업을 받아 연구되었습니다. (2017002430002)

## REFERENCES

- [1] Didion, D. A. and Bivens, D. B., 1990, "Role of Refrigerant Mixtures as Alternatives to CFCs", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 13, pp. 163-75, (1990)
- [2] Neks. P., Rekstad, H., Zakeri, G.R. and Schiefloe, P.A., 1998, "CO<sub>2</sub>-heat pump water heater: characteristics, system design and experimental results. *Int. J. Refrigeration*, Vol. 21, No. 3, pp. 172-179, (1998)
- [3] Lorentzen G., 1994, "Revival of carbon dioxide as a refrigerant". *Int. J. Refrigeration*, Vol. 17, No. 5, pp. 292-301, (1994)
- [4] Hashimoto, K., Saikawa, M., and Iwatsubo, T., 2000, "Experimental study about heat transfer coefficient of CO<sub>2</sub> on supercritical condition", *第37回日本熱シソボヅウム講演論文集*, pp. 401-02, (2000)
- [5] Pettersen, J., Rieberer, R., and Leister, A., 2000, "Heat transfer and pressure drop characteristics of supercritical carbon dioxide in micro-channel tubes under cooling", *Preliminary Proceedings of the 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue*, July 25-28, pp. 99-06, (2000)