초저온 액화가스 기화기의 열 교환성능 비교에 관한 연구

김 필 환, 김 철 표, 정 효 민*, 정 한 식*†, 이 용 훈**
경상대학교 대학원 정밀기계공학과, *경상대학교 기계항공공학부, **Kanazawa Universty

Study on the Comparison of Heat Exchange Performance of Liquefied Gas Vaporizer at Super Low Temperature

Pil-Hwan Kim, Chul-Pyo Kim, Hyo-Min Jeong*, Han-Shik Chung*†, Yong-Hun Lee**
Graduate School of Department of Mechanical Engineering, Gyoungsang National University, 650-160, Korea
**Department of Mechanical Engineering, Gyoungsang National University, 650-160, Korea*
***Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, 920-1192, Japan*

(Received April 1, 2008; revision received September 4, 2008)

ABSTRACT: Air-heating vaporizer usually is used to regasify LNG at satellite areas because of the small demand of natural gas there. The common type of air heating vaporizer which exists in the market is the longitudinally finned type with 8 fins, 55 mm fin length and 2 mm fin thickness. To contribute in developing an efficient air-heating vaporizer, experiment on finned type air-heating vaporizer using 8 fins, 50 mm(fin length) with 2 mm(fin thickness) which exist in the market and 4 fins, 75 mm(fin length) with 2 mm(fin thickness), which is proposed, were conducted. Then, both types of vaporizers are compared. The experiments were conducted in one hour by varying the ambient condition and the length of the vaporizer. The ambient air was controlled so that it has the same temperature, humidity and air velocity with air condition in every season available and the length was varied 4000 mm, 6000 mm and 8000 mm for each type of vaporizer. Additional experiment with longer duration, i.e. In this experiment, the main aspects in analyzing the characteristics of the air heating vaporizer the inlet-outlet enthalpy difference and the outlet temperature of the working fluid. LN_2 is used to substitute LNG because of safety reason. The results show that the characteristics of the finned type 4fin75le vaporizer are comparable to finned type 8fin50le vaporizer.

Key words: Fin(핀), LN_2(액화질소), Liquified gas(액화가스), Super low temperature(초저온), Vaporizer(기화기)

기 호 설 명

F	: 기화기 핀 [Fin]
h	: 엔탈피량 [kJ/*kg*]
le	: 핀의 높이 [mm]
Q	: 열전달률 [W]
T	: 온도 [K]
Δt	: 출구와 입구의 온도 차이 [K]
V	: 기화기 [Vaporizer]
r	: 기화기 tube의 반경 [mm]
i	: tube의 반경 내부
in	: 기화기 입구
L	: 기화기의 길이

† Corresponding author
Tel.: +82-55-640-3185; fax: +82-55-640-3188
E-mail address: hschung@gnu.ac.kr

N : 개수
t : 두께
o : tube 반경 외부
out : 기화기 출구

1. 서 론

기화기는 액체를 기체로 변화시키는 장치로서, 현재 산업적으로 널리 사용되고 있는 산소(O_2), 질소(N2), 이산화탄소(CO_2), 아르곤(Ar), 헬륨(He) 천연가스(NG) 등의 액화가스를 사용목적에 따라 기화시킬 때 반드시 필요한 장치[1]이며, 현재, 국내에서 사용되는 대부분의 기화기는 정형화된 기술축적이 부족하고, 겨울철의 해수 또는 대기온도가 하강할 때 성능이 떨어지는 문제점으로 인하여 초저온 액화가스 기화기는 전량 수입에 의존하고 있는 실정[2-3]이다.

따라서 우리나라 실정에 적합한 국산화된 초저온 액화가스 기화기의 개발이 필요하며, 핵심 기술인 기화기의 전열성능 향상 및 결빙방지에 대한 기술개발이 요구 되고 있다. 이를 위해서는 초저온의 액화가스에 대한 열 및 유동 특성 등의 다양한 연구가 수행되어야 하며, 문제점으로 지적되고 있는 초저온 액화가스의 기화 및 기화기의 결빙 등 여러 가지 물리적 현상[4-6]에 대한 규명 및 자료의 데이터베이스화도 이루어져야 한다. 본 연구에서 적용된 기화기 모델은 선행연구에서 Kong[7]과 Yi[8]및 Lee[9] 등이 CFD를 이용한 수치해석 및 실험을 통하여 LNG용 대기식 기화기의 열-유동 특성을 연구하여 기화기 핀의 두께가 2 mm, 핀의 개수는 반경 방향 90°간격으로 4개, 배열 특성에 대한 실험 결과를 근거로 하여 4fin 75le, 8fin50le 가장 최적 형상이라고 제시한 모델을 사용하였다. Lee[9]의 연구에서 수치해석을 통하여 핀의 높이가 55 mm 이상이 되면 핀이 영향이 극히 작아지고 있는 결과 값과 실제적으로 동일 조건에서 핀 두께의 증가는 핀 둘레 면적의 변화에 크게 영향을 주지 않는 결과 값을 Fig. 1에 나타내었다.

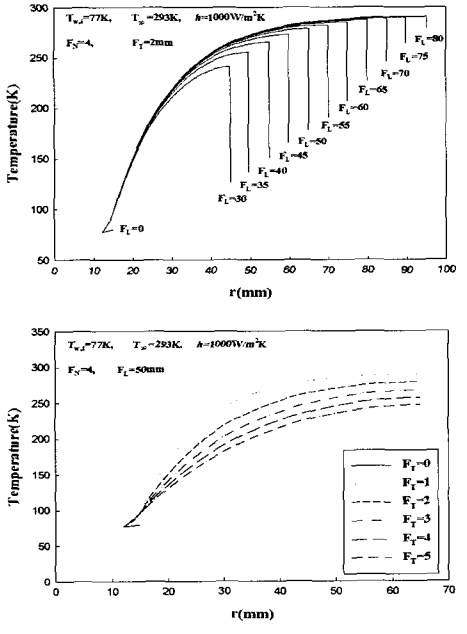


Fig. 1 Temperature distributions of fin center radius according to increase of fin length and fin thickness.

본 연구에서는 선행연구결과로 나타난 기화기의 핀의 높이 및 두께보다는 변수를 핀의 개수, 기화기의 총 길이에 대하여 실험을 진행하였다. 기화가스를 산업 또는 가정에 이용하기 위해서는 공급 액화가스유량에 대한 기화성능평가가 있어야 된다고 판단되어 환경별(계절별)조건에 대한 실험을 통하여 최적의 기화기의 설계자료 도출, 차후 적용하고자 하는 LNG 위성기지내의 기화기에 대한 열전달과 초저온의 작동 유체에 대한 열 특성 측면에 대한 고찰을 통해 초저온 분야의 기술축척 및 액화가스 기화기 개발을 위한 최적설계 자료를 도출하는데 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 2는 기화기 실험장치의 실제 구성도를 나타낸다. 온도, 습도, 풍속은 덕트를 통하여 순환하는 폐회로 형식이며 제어계를 통하여 실험이 진행되는 동안 룸 내부를 항상 일정하게 유지할 수 있도록 하였으며, 유량을 측정하기 위해 시작부터 종료까지 액화질소(LN2)탱크의 무게 변화를 측정할 수 있는 저울을 사용하여 실험을 진행하였다. 데이터를 얻기 위해 관 내부와 핀의 끝단, 관 표면의 변화된 온도를 측정하기 위해서 K-type과 T-type의 열전대를 각각 설치하여 1시간 동안 실

Table 1 Specification of the vaporizer model

	Array (N × N)	V_L (mm)	r_i (mm)	r_o (mm)	F_L (mm)	F_T (mm)	F_N (mm)
4fin75le	2 × 2	1000 × 4	12	15	75	2	4
	2 × 3	1000 × 6					
	2 × 4	1000 × 8					
8fin50le	2 × 2	1000 × 4	12	15	50	2	8
	2 × 3	1000 × 6					
	2 × 4	1000 × 8					

험을 진행하며 PC및 Data Logger를 이용하여 6초마다 Data를 취득하였다.

본 실험에 적용된 기화기의 모델 종류는 2가지로서 4fin75le type, 8fin50le type으로 분류되며, 기화기의 각 모델의 길이를 4000 mm, 6000 mm 및 8000 mm에 대하여 설계 및 제작하였다. Fig. 3은 기화기 모델의 기본적인 1 module에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 각 기본 module의 연결은 U-type 형태의 관으로 연결되며, 기화기 모델의 재료는 모두 알루미늄으로서 A6063S의 재료를 사용하여 만들어졌다. 기화기 모델의 분류와 형상적 치수는 Table 1에 요약하였다.

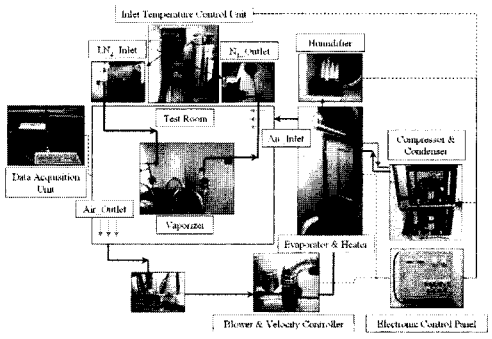
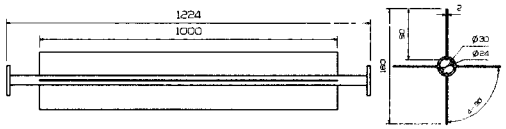
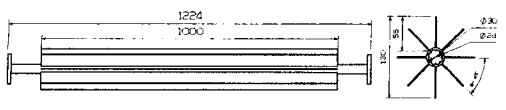


Fig. 2 Experimental set up of vaporizer system.



(a) 4fin75le type model



(b) 8fin50le type model

Fig. 3 Basic module of each vaporizer.

2.2 실험 방법

실험은 기화기 모델에 대하여 길이를 변수로 하여 위성기지에서 주로 사용하는 LNG의 특성과 비슷한 특성을 가지는 작동유체로서 악취 및 독성 등의 위험성이 적은 액화질소를 실험에 적용하였다. 각 모델의 길이(V_L) 별 실험에서 먼저 테스트 룸의 온도 및 습도, 풍속 등을 설정하고 실험 장치에 전원을 가해 가동 시키면 시간이 경과하면서 자동으로 테스트 룸의 설정된 조건에 맞게 항온항습 장치가 작동함으로써 최적 상태가 이루어지게 된다. 하지만 모든 제어가 센서에 의한 기계적 작동에 의해 test room의 환경조건을 맞추기 때문에 응답속도에 따라 오차가 있을 수 있다. 본 실험에서 사용된 환경조건(계절별 조건)은 웹 사이트 기상청의 연평균 기후 값을 참고로 하여 2005년 7월부터 2006년 7월까지 통영지방의 기후를 설정하였다. 통영지방의 연 평균 기후인 온도, 습도, 풍속을 각 계절별로 Table 2에 나타내었다.

실험을 하는 동안의 계절별 조건을 항상 일정하게 유지 하기위해 ±0.5 K 범위에서 온도를 보정하

Table 2 Experimental condition of vaporizer system for each season conditions in Tongyoung city by Korea meteorological adminstration

	T_a(K)	V_a(m/s)	H_a(%)
spring	285	2.5	65
summer	303	2.0	80
autumn	289	2.5	70
winter	273	3.0	55

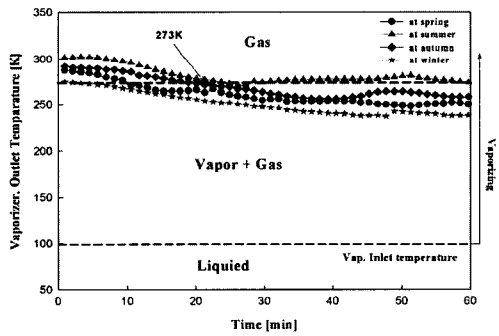
여 사용하였고 유입되는 풍속은 실험 시작 시 풍속계를 이용하여 일정하게 유입되도록 구성하여 실험을 진행하였다. 습도는 초음파 습도계를 사용하여 ±3%의 범위에서 보정하여 실험을 진행하는 동안 최적의 조건이 되도록 하였다. 압력은 절대압력 2 kg/㎠을 유지하여 실험하는 동안의 유량을 측정하기 위해서 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

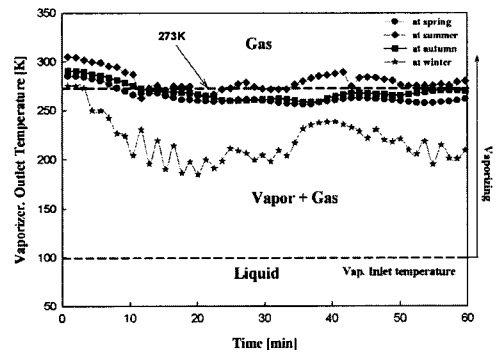
3.1 실험결과

본 실험을 통한 열 교환 성능 예측을 위하여 각 계절별 조건에 대한 입구 측과 출구 측의 온 도 분포를 각 기화기 모델의 길이별로 Fig. 4부터 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 4는 V_L = 4000 mm일 때의 기화기의 모델의 계절별 조건에 따른 기화기의 출구 측 온도 분포를 나타낸 것으로 실험을 진행하는 동안의 유입되는 액화질소의 온도는 거의 동일하게 유입 되었다 이것은 공급되는 유량이 모든 실험에서 일정하였다고 할 수 있다. Fig. 4의 (a)는 4fin75le의 기화기를 나타낸 것이다. 봄, 가을, 겨울철의 출구단의 가스온도는 약 200~245 K로서 기상과 액상이 공존함을 나타내고 있다 하지만 비교적 높은 온도 조건인 여름철은 실험을 진행하는 동안 273 K 이상의 온도가 나타남을 알 수 있었다. Fig. 4의 (b)는 8fin50le 기화기 4000 mm인 경우에 대한 계절별 조건 변화에 따른 출구 측의 온도분포로서 4fin75le의 형상과 비슷한 분포를 보여주고 있지만 겨울철 실험의 경우압력의 변동으로 인하여 유입되는 유량이 조금씩 다르게 나타난 현상으로 볼 수 있다. Fig. 4의 (a)를 제외한 두 모델의 경우 여름철은 기화 출구단의 온도가 273 K 이상으로서 100%의 가스를 토출하고 있지만 상대적으로 온도가 낮은 조건인 봄, 가을, 겨울조건에서는 액

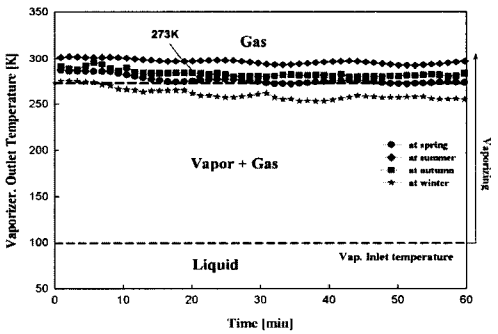


(a) 4fin75le

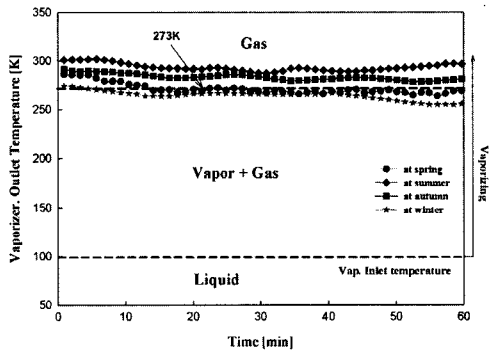


(b) 8fin50le

Fig. 4 Comparison of temperature difference distributions between inlet and outlet of each season with V_L = 4000 mm.



(a) 4fin75le



(b) 8fin50le

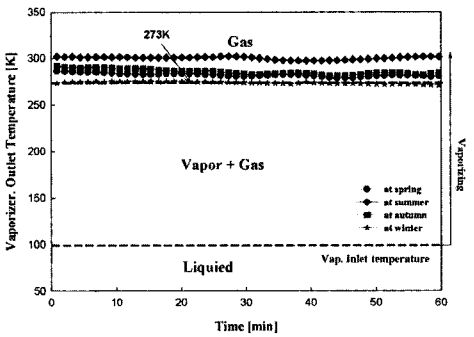
Fig. 5 Comparison of temperature difference distributions between inlet and outlet of each season with V_L = 6000 mm.

상 및 기상의 유동이 반복됨을 보여 주고 있다. 4000 mm일 때는 실험 시작 후부터 온도가 하강하는 것을 볼 수 있고 상대적으로 기화기의 길이가 짧기 때문으로 판단되어 진다 또한 4000 mm의 경우 모두 기화기의 모든 모듈에서 서리가 착상하고 있음을 볼 수 있었다.

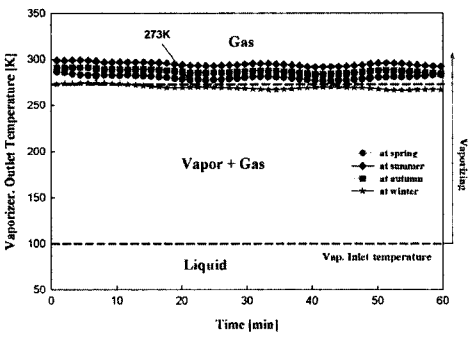
Fig. 5는 V_L = 6000 mm일 때 모델별 기화기의 계절별 조건에 대한 기화기 출구 측 온도 분포를 나타내고 있다. 실험을 하는 동안 기화기의 입구에서 두 번째 기화기 2000 mm 지점까지는 액상의 작동유체가 흐른다 하지만 약 15분이 지나면서는 계속하여 온도가 하강하는 것을 볼 수 있다. 액화가스의 증발이 일어나므로 일정한 온도를 유지하지만 기화기 관 길이변화에 따라 압력차이가 일어날 수 있으므로 열 교환에 의한 온도차보다도 압력차에 의한 온도차가 발생할 수 있다. 만약 액상에서 온도가 상승하게 되면 열 교환에 의한 것이며 온도가 감소한다면 압력의 감소영향으로 나타난 결과이다. 최종 출구단의 기화가스 온도는 210~220 K로서 4000 mm 모델보다 높은 가스온도를 보였다.

(a)는 4fin75le의 6000 mm일 때의 출구 측 온도분포를 나타낸 것이다 봄, 여름, 가을 조건에서는 100%의 기체 상태로 변화하였으며 가스의 불규칙한 온도분포의 변위는 4000 mm보다 둔화된 것으로 나타난다. 최종 출구의 가스온도는 봄, 여름 및 가을 조건에서 273 K 이상으로서 상온을 상회하는 것을 볼 수 있다. 하지만 겨울철에는 낮은 온도의 영향으로 인하여 온도 분포의 변위가 나타나는 것을 볼 수 있다. (b)는 6000 mm일 때의 8fin50le 기화기에 관한 온도분포를 나타낸 것이다. 4fin75le 기화기와 비슷한 분포를 나타내지만 4fin75le와는 달리 봄철에는 100%의 가스가 토출되지 않음을 알 수 있었다. 기상의 불규칙적인 온도 증감의 변위는 기화지점으로부터 멀어질수록 작지는 것을 볼 수 있다. 기화기 출구 가스의 온도는 약 270~280 K의 분포를 보이고 있다. 6000 mm의 경우 핀이 없는 경우에는 전체적으로 기상과 액상이 공존하고 있지만 핀이 존재하는 경우는 핀에 의한 전열면적 증가로 대기와 핀과의 열 교환이 잘 이루어져 기화기 내부의 작동유체의 온도가 상승하여 겨울철조건 외에는 거의 상온에 도달함을 알 수 있다.

Fig. 6은 V_L = 8000 mm인 경우 기화기의 계절별 조건에 대한 기화기 출구 측 온도 분포를 나타낸 것이다. 8000 mm일 때의 4fin75le와 8fin50le 기화기 모델은 출구 측 내부 작동유체 온도분포를 나타낸 것으로서 역시 두 번째 부터 기화기 관 내부에서 기상으로 흐름을 알 수 있다 전체적인 온도분포의 경향은 6000 mm의 기화기와 비슷하지만 최종 출구 가스온도 분포를 보면 약 280 K 이상의 온도분포를 보이고 있다. 4fin75le의 기화기에서도 봄, 여름 및 가을 조건에서는 100%의 기체 상태로 토출됨을 알 수 있었다. 또한 가스의 불규칙한 온도분포의 변위는 4000 mm와 6000 mm 보다 둔화된 것으로 나타난다. 최종 출구의 가스온도는 봄, 여름 및 가을 조건에서는 273 K 이상으로서 상온을 상회하는 것을 볼 수 있다. 8fin50le 기화기에서도 4fin75le 기화기와 비슷한 분포를 나타내지만 상대적으로 온도가 낮은 조건인 봄철에는 100%의 가스가 토출되지 않음을 알 수 있었다.



(a) 4fin75le



(b) 8fin50le

Fig. 6 Comparison of temperature difference distributions between inlet and outlet of each season with V_L = 8000 mm.

3.2 열교환 성능 비교

3.2.1 열교환 성능 이론

열 교환성능을 비교하기 위하여 열전달 속도를 비교하는 것이 보편적인 판단 기준이 된다. 열전달 속도는 초저온의 작동유체인 LN_2의 입구 측과 출구 측의 엔탈피(h[kJ/kg]) 변화량에 의하여 나타낼 수 있다. 뉴턴의 냉각 법칙에서 평균 열전달 대류 계수가 대류 열전달 속도에 비례한다는 것을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$Q = hA_{os}(T_{\infty} - T_{m,os}) \quad (1)$$

여기서, $T_{m,os} < T_{\infty}$, 그리고 기화기 입구 측에서 출구 측으로 유동 하는 작동 유체가 완전히 밀폐되어 있다. 이는 에너지 균형에 대하여 기화기 입구 및 출구의 온도의 차이로써 대류 열전달 속도를 결정하는데 적용할 수 있다. 만약 유량이 일정하고 위치에너지 변화율이 아주 미세하게 일어난다고 가정하면 기화기 내부의 일에 대한 C_p의 변화는 변하지 않는다고 할 수 있다. 에너지 변화율에 대한 균형 방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$Q = \dot{m}Cp(T_{m,out} - T_{m,in}) \quad (2)$$

위의 식(1)과 식(2)로부터 다음과 같은 식(3)을 얻을 수 있다.

$$\dot{m}Cp(T_{m,out} - T_{m,in}) = h_0A_{os}(T_{\infty} - T_{os}) \quad (3)$$

식(3)은 질량 유량이 일정하고 대기의 온도 증가 또는 test room의 온도는 기화기 출구단의 온도에 영향을 줄 수 있는 열전달 율을 증가시키게 되는 것이다. 즉, test room의 온도 변화는 기화기 입구 및 출구 온도의 차이에 비례한다고 할 수 있다. 본 연구에 적용된 엔탈피는 실험을 통하여 얻은 실제 값을 NIST[10](National Institute of Standards and Technology) 열 유동계산 프로그램을 이용하여 물리적 계산을 진행하여 얻을 수 있었다.

3.2.2 열교환 성능 비교

본 실험에서 기화기로 유입되는 작동유체는 액상 또는 포화액상으로 존재한다고 할 수 있다. 그래서 기화기의 성능 평가를 위해 작동유체가 포화

Table 3 Δh_{max} and Δh_{act} of the vaporizers

		in-outlet enthalpy difference[kJ/kg]			
		spring	summer	autumn	winter
Maximum		195.2	214.0	200.4	182.7
4fin75le	4000 mm	168.2	187.4	174.7	154.7
	6000 mm	185.2	205.7	190.2	169.5
	8000 mm	193.4	211.4	195.2	182.2
8fin50le	4000 mm	171.8	187.8	176.5	130.0
	6000 mm	180.2	202.5	192.9	174.3
	8000 mm	191.1	207.4	197.6	179.9

Table 4 Performance of vaporizers based on Δh

		Performance [%]			
		spring	summer	autumn	winter
4fin75le	4000 mm	86.2	87.6	87.2	84.7
	6000 mm	94.9	96.1	94.9	92.8
	8000 mm	99.1	98.8	97.4	99.7
8fin50le	4000 mm	88.0	87.8	88.1	71.2
	6000 mm	92.3	94.9	96.3	95.4
	8000 mm	97.9	96.9	98.6	98.5

액상에 존재한다고 가정하면 온도의 정보만으로 압력과 엔탈피 값이 정해진다. 그리고 기화기 출구는 실험을 통해 100%의 가스로 유출됨을 알고 있기 때문에 압력과 온도의 정보를 취득하면 그 지점에서의 엔탈피 값을 알 수 있다. 실질적으로 기화기 유입 작동유체의 압력은 온도에 따라 각각 다르다. 기화기 내부의 유량 또한 압력의 변동에 의하여 변화하게 된다. 실제로 질소가스에 대한 압력 0.1~0.3 MPa 범위 내의 압력변화에 대한 엔탈피의 변화 값은 미소하기 때문에 무시하여도 된다고 판단된다.

또한, 각 기화기 모델에 대한 기화과정에서의 엔탈피 변화량을 알면 기화 성능을 도출할 수 있다. 각 조건에 대한 기화기의 실험 결과에서 Δh는 열교환 성능을 표현하는 것으로서 적용한 식(4)는 다음과 같다.

$$Performance = \frac{\Delta h_{act}}{\Delta h_{\max}} \times 100\% \quad (4)$$

여기서, Δh_{act}는 실험을 통하여 계산된 실제의 엔탈피의 변화량을 나타낸 것이며, Δh_{max}는 출구 온도가 대기의 온도에도달하는 경우에 기화기의 입구 측과 출구 측의 엔탈피 차이를 나타낸 것이다. 8fin50le의 기화기는 4fin75le의 기화기와 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 계산에 의하여 구해진 실제 엔탈피 값을 Table 3에 나타내었으며 열 교환 성능을 비교하기위한 값을 Table 4에 나타내었다. 또한 실험을 통하여 구한 무차원수인 Reynolds 수 및 기화기 tube내의 Nusselt 수를 Table 5과 Table 6에 나타내었고, 그 관계식은 아래 식(5), 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_e = \frac{\rho u D_h}{\mu} \quad (5)$$

$$N_u = \frac{h D_h}{k} \quad (6)$$

또한 실험을 통하여 얻어진 기화기 내부 및 외부 대류열전달계수를 통하여 기화기의 열전달률을 계산하였으며, 그 계산 값을 Table 7에 나타내었다. 실험값을 계산으로 살펴본 결과 핀의 존재 유·무, 기화기의 길이, 핀의 길이, 전열량, 총 열전달계수, 공기 측의 열전달 계수 등이 기화기의 열교환 및 열전달에 얼마나 큰 영향을 미치는지 알 수 있었다. 하지만 핀의 개수에 대한 영향

Table 5 Reynolds number of the vaporizers for every length and season condition

		Reynolds number [1.0 × 104]			
		spring	summer	autumn	winter
4fin75le	4000 mm	2.98	2.79	2.92	3.07
	6000 mm	2.92	2.81	2.93	3.13
	8000 mm	2.79	2.72	2.80	2.86
8fin50le	4000 mm	3.01	2.87	2.99	3.68
	6000 mm	2.99	2.79	2.84	3.18
	8000 mm	2.93	2.80	2.79	2.92

Table 6 Nusselt number of the vaporizers for every length and season condition

		Nusselt number			
		spring	summer	autumn	winter
4fin75le	4000 mm	75.1	71.4	73.8	76.8
	6000 mm	73.3	71.1	73.4	77.2
	8000 mm	70.5	69.2	70.8	71.9
8fin50le	4000 mm	75.6	73.0	75.2	88.3
	6000 mm	74.6	70.7	71.8	78.1
	8000 mm	73.2	70.7	70.6	73

Table 7 Heat transfer late of the vaporizers for every length and season condition

		Heat transfer late [W]			
		spring	summer	autumn	winter
4fin75le	4000 mm	1102.3	1248.4	1152.0	1020.4
	6000 mm	1242.8	1393.0	1299.0	1176.1
	8000 mm	1261.0	1402.3	1289.0	1193.6
8fin50le	4000 mm	1151.1	1250.0	1192.0	852.3
	6000 mm	1245.9	1352.6	1286.1	1250.3
	8000 mm	1306.6	1403.0	1304.0	1192.2

은 상대적으로 작았음을 알 수 있었다.

3.2.3 핀의 유용도

Fig. 7은 각 기화기 모델의 길이에 따른 열교환율을 나타낸 것이다. 여기서 열교환율(ε)은 실험의 액화질소 공급유량이 상온 293 K까지 도달할 때의 최대 흡수열량과 실험에서의 얻어진 실제 흡수열량의 비를 나타낸다. 이 그래프에서도 기화기 길이 4000 mm와 8000 mm에서 4fin75le가 8fin50le보다 열교환율이 더 크게 나타남을 볼 수 있다. 8fin50le의 기화기의 경우 전열면적이 4fin75le보다 크지만 실제적으로 작동유체 기화과정에 발생되는 서리착상 및 핀 사이의 열적 간섭에 의해 핀의 유용성이 4fin75le보다 높게 나타나지 않는 것으로 판단되며, 8fin50le의 경우 핀의 길이를 더 길게 한다면 4fin75le보다 열전달 효과가 더 크게 나타날 것으로 생각되어지나 다른 측면에서 생각해보면 유용가치가 떨어진다고 사료된다.

Table 8은 핀의 유용도를 나타낸 것이며, 핀에 대한 유용도를 Fig. 8에 그래프로 나타내었다.

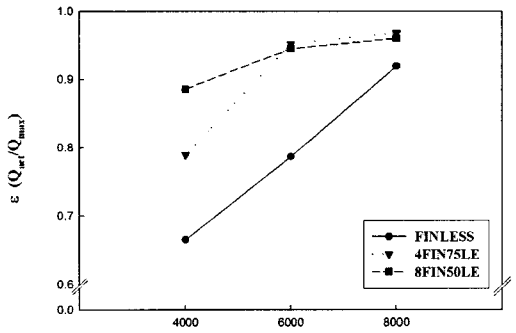


Fig. 7 Heat exchange effectiveness of each vaporizer models according to length variation.

Table 8 Fin effectiveness on vaporizer

Models / VL	4fin75le	8fin50le
4000 mm	1.544	1.280
6000 mm	1.301	1.297
8000 mm	1.115	1.210

유용도는 동일 기화기 길이에서 Finless가 흡수하는 열량과 핀이 존재하는 4fin75le와 8fin50le의 흡수열량 비를 의미한다.

Fig. 8은 핀의 유용도를 나타낸 결과로서 4000 mm의 경우 4fin75le의 기화기 모델이 8fin50le의 모델 보다 유용도가 높게 나옴을 볼 수 있다 이것은 액화질소의 공급유량이 흡수열량보다 더 높기 때문에 유용도가 높게 나온 것이다. 역시 8000 mm의 경우에는 8fin50le의 기화기의 액화질소 공급유량이 더 많으므로 유용도가 4fin75le보다 높게 나타났다. 하지만 6000 mm의 동일 기화기 길이에서 액화질소의 공급유량이 동일한 경우에는 4fin75le의 유용도가 더 높게 나타남으로 4fin75le의 기화기의 핀의 효과가 8fin50le의 기화기 보다

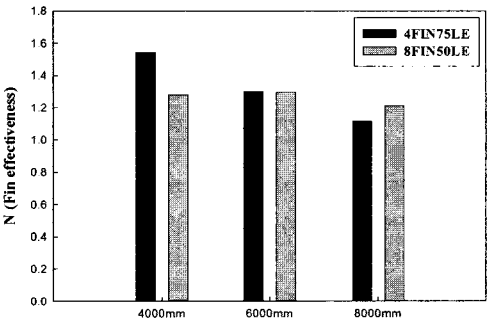


Fig. 8 Fin effectiveness on 4fin75le and 8fin 50le vaporizer at same vaporizer length.

더 높음을 알 수 있다. 일반적으로 핀의 유용도는 기화기의 길이가 무한이 길어질 때 감소하게 되어 결국에는 기화기의 핀으로서의 유용성이 없어지거나, 특별한 경우 핀이 열전달에 방해요인으로 작용하여 Finless보다 유용성이 떨어지게 되는 경우도 있다.

4. 실험결과에 대한 불확실성 검토

측정 및 실험에는 여러 가지 형태의 오차가 최종결과에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 절에서는 미국기계학회(ASME) 성능시험규정[11]에 의한 계측의 불확실성 해석을 진행하였다. 실험측정 대상으로 기화기의 기화성능이 외기조건에 대하여 기화기의 온도차가 커서 이것이 최종적으로 기화기의 출구 측의 온도에 영향을 미치므로 이를 검토대상으로 한다. 측정변수(기화기 각 단면의 온도)로부터 도출한 최종결과(기화기 성능)의 불확실성을 구하기 위하여 관여하는 독립변수의 평균치 T_i에 의하여 결과 T_{out}이 변화한다고 가정하였고 이는 식(7)로서 나타낼 수 있다.

$$T_{out} = f(\overline{T_1}, \overline{T_2}, \cdots \overline{T_j}) \quad (7)$$

결과의 불확실성은 포괄도(Coverage limit)에 따라서 임의로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 95%의 포괄도의 식(8)을 이용하여 나타내었다. 여기서 B_r, S_r 및 $t(t=2.228)$의 값을 각각 결정하였다.

$$U_{rRSS} = [B_r^2 + (tS_r)^2]^{1/2}(95\% \text{ Converage limit}) \quad (8)$$

측정회수를 5회로 하여 각 온도에 대한 정밀도를 $T_i \pm 5K$로 하였다. 기화기 출구 측이 가장 변동성이 높고, 실험결과를 검토한 결과의 오차를 5 K로 하였다. 여기서 $S_{\overline{T_i}}$는 측정변수 T_i의 평균값의 정밀도이며 $B_{\overline{T_i}}$는 측정변수의 정확도이며 그 값들은 $S_{\overline{T_i}} = 0.1225$, $B_{\overline{T_i}} = 5$ K로 하였다. 이상의 방법으로 불확실성을 해석한 결과를 Table 9에 나타내었다.

본 해석 대상은 오차가 가장 큰 겨울철에 대한 오차로서 최대 오차는 8.4%이었다. 이것은 가장 큰 오차로서 다른 모델의 경우에는 이 이하의 오차를 가진다고 할 수 있다.

5. 결 론

초저온 액화가스 기화기의 특성실험을 통하여 열 교환성능을 확인한 결과는 다음과 같다.

1) 열 교환성능은 각 각의 계절별 조건과 기화기의 길이 변화에 따라 열 교환성능도 차이가 남을 알 수 있었다.

2) 입구 측으로 유입되는 온도가 173 K(±2 K) 일정하였을 때, 기화기 열 교환 성능은 계절별 조건과 기화기의 길이 변화에 따라 길이가 4000 mm일 때 8fin50le의 경우 87.6%, 6000 mm일 때 4fin75le의 경우 90%, 8000 mm일 때는 핀을 가지는 두 경우 모두 95% 이상의 성능을 보였다.

3) 불확실성 예측을 통하여 겨울철의 경우 8.4%의 오차가 발생함을 알 수 있었다. 하지만 이는 오차의 범위가 가장 크게 나타나는 조건으로서 봄, 여름, 가을의 경우에는 8.4% 이하로 됨을 알 수 있다.

4) 기화기의 핀에 대한 유용도는 기화기 길이증가와 함께 감소함을 알 수 있었으며, 동일 길이

Table 9 Result of measurement uncertainty by ASME

Model	Length	T_{out}	B_r	S_r	$U_{r\,RSS}$	%
4fin75le type (winter)	4000 mm	250	20.9	0.511	20.9	8.4
	6000 mm	257	16.1	0.465	16.1	6.2
	8000 mm	273	13.8	0.342	13.8	5.0
Model	Length	T_{out}	B_r	S_r	$U_{r\,RSS}$	%
8fin50le type (winter)	4000 mm	253	18.7	0.457	18.7	7.3
	6000 mm	261	13.1	0.322	13.1	5.0
	8000 mm	270	8.5	0.209	8.5	3.1

에서의 액화질소의 공급유량이 동일한 경우 4fin 75le가 8fin50le보다 더 높은 핀의 유용도를 나타냄을 알 수 있었으며, 핀의 높이가 핀의 개수보다는 기화기의 열 교환성능에 미치는 영향이 상대적으로 많음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업 경상대학교 2단계 BK사업의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Yoon, J. I., 2001, Trends of research and development of LNG cold, Journal of the KSPSE, Vol. 5, No. 4, pp. 5-10.
2. Kim, N. J., Kim, C. B., Yun S. M. and Han, S. T., 1994, A study on boiling characteristics of direct contact LNG evaporator, SAREK, Winter Conference, pp. 380-385.
3. Park, J. S. and Chang, H. M., 1997, LNG analysis and design of LNG open rack vaporizer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 189-197.
4. Lee, G. S., Chang, Y. S. and Ro, S. T., 1995, Thermodynamic analysis of the extraction process and the cold energy utilization of LNG, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 120-131.
5. Kim, Y. S., Cho, C. H., Kim, Hyo, Lee, J. H. and Mok, Y. I., 1994, A study on the calculation of basic thermodynamic properties of LNG/NG, Energy Eng. J, Vol. 3, No. 2, pp. 256-264.
6. Choi, K. I. and Chung, H. M., 2000, Analysis of a cryogenic Nitrogen-Ambient air heat exchanger including frost formation, SAREK, Vol. 12, No. 9, pp. 825-834.
7. Kong, T. W., 2006, Study on the air vaporizer for liquefied gas with super low temperature, A Doctor's Thesis, Department of Mechanical and Precision Engineering Graduate School, Gyeonsang National University.
8. Lee, S. C., Kong, T. W., Yi, C. S., Jeong, H. M. and Chung, H. S., 2006, Optimum design of vaporizer fin with liquefied natural gas by Numerical Analysis, KSME Int. J, Vol. 20, No. 4, pp. 546-553.
9. Lee, S. C., 2006, Study on the air vaporizer for liquefied gas with super low temperature, A Doctor's Thesis, Department of Mechanical and Precision Engineering Graduate School, Gyeonsang National University.
10. NIST on-line Thermo-physical Properties of Fluid System(http://webbook.nist.gov).
11. ANSI/ASME 1985, Measurement Uncertainty, ASME performance test codes supplement on instruments and apparatus, Part I.