

냉동 컨테이너 적재부의 배관 형상에 따른 환기성능 실험

박일석[†] · 박상민* · 이동조* · 설신수*

Experimental analysis of ventilation performance varying with duct shapes inside reefer container hold

Park Il-Seouk, Park Sang-Min, Lee Dong-Jo and Seol Sin-Su

Key Words: Container(컨테이너), Ventilation(환기), Visualization(가시화)

Abstract

The analysis of ventilation performance varying with duct shapes in reefer container of scale-model has studied experimentally. Most container ships have ventilation system of which ducts extended to the bottom for the purpose of efficient exhausting of condensing heat from hold. However, the size of ducts is so over-long that it causes manufacturing troubles. In this study, for various types of duct, flow visualization using smoke and normalized temperature analysis are presented. Finally, the cooling performance are compared respectively.

기호설명

Re : Reynolds 수, [-]

Pr : Prandtl 수[-]

ΔT : 출구온도 - 입구온도 [°C]

θ : 부차원 온도 [-], $\frac{\text{적재부온도} - \text{입구온도}}{\Delta T}$

1. 서론

지난 30년 간 컨테이너선의 수요는 지속적인 증가 추세를 보여왔다. 최근 들어 LNG선, 잠수함 등의 고부가가치 선박에 대한 기술적 지원요구가 증가하고 있지만, 여전히 컨테이너선의 생산이 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 원자재 가격 상승 등과 맞물려, 원가 절감 방안이 꾸준히 모색되고 있다.

본 연구에서는 모형실험을 통하여 냉동컨테이너선의 환기 배관 형상에 따른 냉각성능을 평가하고자 한다. 환기 배관의 길이를 줄일 경우, 원자재 및 인건비 절감을 기대할 수 있으나 냉각성능 저하가 우려되고 있다. 따라서, 서로 다른 3종류의 환기 배관에 대한 냉각 성능 평가를 수행하여, 효과적이면서도 원가 절감에 기여할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

[†] 회원, 현대중공업 산업기술연구소

E-mail : einlucy@yahoo.co.kr

TEL : (052)230-6188 FAX : (052)230-9578

* 현대중공업 산업기술연구소

2. 실험 및 해석

2.1 실험

2.1.1 실험장치

Fig. 1는 본 실험을 위해 1/30 축척으로 제작된 실험장비 개략도이다. 서로 다른 3종류의 배관형상에 대한 환기 성능을 비교하기 위하여 각각의 배관을 탈부착이 가능하도록 제작하였으며, 각각의 형상은 Fig. 2와 같다.

실선에서 냉동 컨테이너의 컨테이너에서 방출되는 열을 모사하기 위하여 50Ω /m 열선을 사용하였으며, 실험과 모형과의 상사성을 계산한 후, 컨테이너 모형 1대당 4줄씩 부착하였다. 덕트의 내경을 특성 길이로 할 경우 실선의 $Re = 1 \times 10^6$ 이며, 본 모형실험의 $Re = 1.8 \times 10^4$ 이다. 이는 유동의 상사성을 인정할 수 있을 만큼 충분히 난류영역에 들어가므로 레이놀즈 수에 따른 유동 경향의 변화는 없다고 볼 수 있다.⁽¹⁾ 작동유체는 모두 공기이므로 Pr 수는 동일하다. 각 적재부의 온도를 측정하기 위하여 5mm 구리튜브 안에 열전대를 삽입하였다. 열전대는 각 적재부당 1포인트 씩 할당되며, 열선으로부터 방출되는 복사열에 의해 측정 오차가 발생하는 것을 막기 위하여 방향이 열선 반대편을 향하도록 하였다.⁽²⁾ 본 실험에서 사용된 열전대는 OMEGA 사의 K-type 이며, 예비실험 결과 동일한 온도에서 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 의 오차를 보였다.

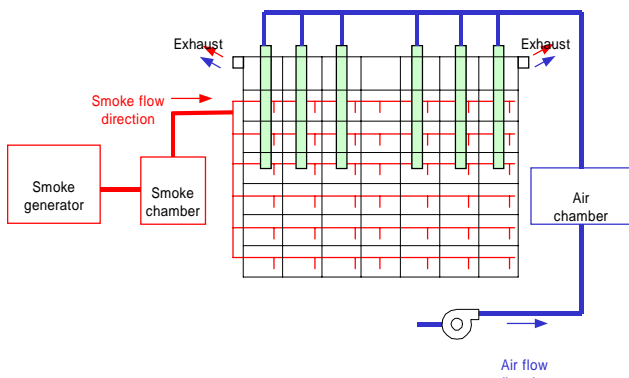
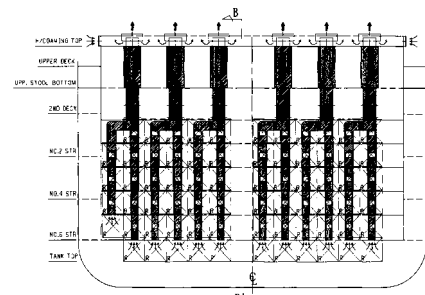


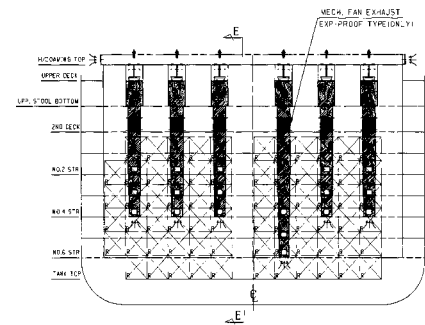
Fig. 1 Schematic diagram of a experimental apparatus in case of air-supply type (In air-suction type, air flows reversely)

스모크 발생기의 최대 용량은 10m³/min 이며, 가시화 실험시 균일한 압력으로 스모크를 공급하기 위하여 모형과 스모크 발생기 사이에 스모크 챔버를 설치하였다. 효과적인 가시화를 위하여 각각의 적재부마다 스모크 튜브를 설치하였으며, 공급되는 공기와 함께 스모크가 유입될 수 있도록 입구 쪽에도 스모크 공급 튜브를 추가하였다.

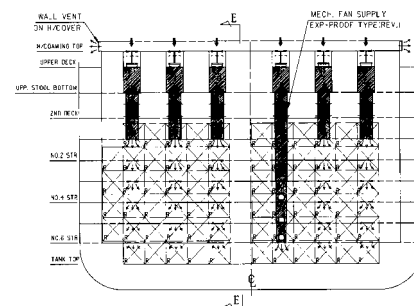
각각의 배관에 대하여 공기 흡입식 실험을 할 경우에는 최대 용량 12m³/min의 blower를 실험장치의 입구쪽에 설치하였고, 공기 배출식 실험을



Duct 1



Duct 2



Duct 3

Fig. 2 Schematic shapes of duct 1, 2, 3

할 경우에는 실험자가 스모크에 노출되지 않도록 출구에 튜브와 소용량 blower를 추가로 설치하였다. 모든 blower는 슬라이드스로 공급전력을 제어하였으며, 공기 유량은 pitot tube를 이용하여 실시간으로 측정하였다.

2.2 실험 방법 및 결과분석

2.2.1 온도 실험

공기유량을 2.5 m³/min으로 하고, 입출구의 온도차를 10℃, 열선의 대류 열전달 계수를 75W/m²K 라고 가정했을 경우 Table. 1과 같이 492.9 W의 전력을 공급해야 한다. 이는 열선의 대류 열전달 계수 예상값이 바뀔 경우 변할 수 있으므로, 초기에 실험 조건 설정 후, 입출구 온도차(Δ

Table. 1 Initial experimental conditions

Air flowrate	2.5	m ³ /min
	10	°C
	492.9	W
Heating wire	50	Ohm/m
Heating wire dia.	2.5	mm
Reefer container column,	12	column
Column	0.515	m
	75	W/m ² K
	70	°C
가	130	Volts
Column winding	4	counts
가	6	line

T)가 약 10℃로 유지되도록 공급전력을 다시 조정하였다. 온도 측정위치는 각각의 컨테이너 적재부 1대당 1포인트씩 49포인트, 열선온도 1포인트, 유입공기 온도 1포인트, 배출공기 온도 6포인트로 전체 57포인트이다. 온도측정 주기는

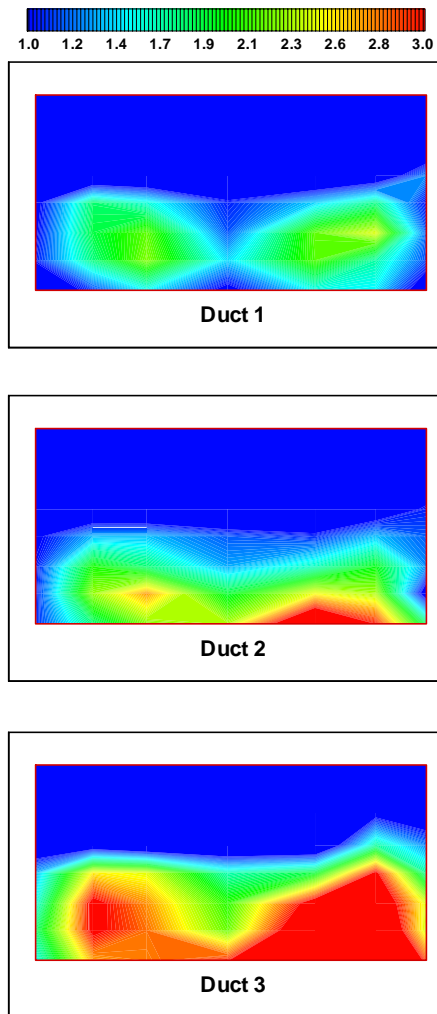


Fig. 3 Normalized temperature (θ) contour of air suction type for duct 1, duct 2, duct3

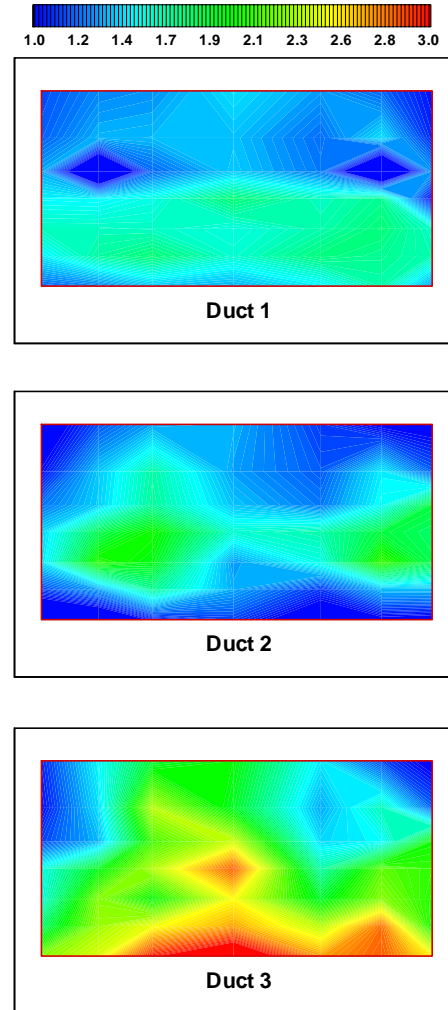


Fig. 4 Normalized temperature (θ) contour of air supply type for duct 1, duct 2, duct3

10Hz이며, Fluke 사의 Data Acquisition 장비를 사용하였다. 3종류의 배관에 대하여 각각 공기흡입식 방식과 공기 배출식 방식을 시험하였다. 각각의 경우에 대하여 2시간동안 측정하였으며, 완전히 수렴이 이루어진 1시간 이후의 결과를 분석하였다.

Fig. 3과 Fig. 4를 보면 이미 성능이 검증되어 있는 덕트 1의 경우 공기 흡입식과 공기 배출식 모두 안정된 온도 분포를 보이며, 덕트 2도 덕트 1와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 그러나 덕트 3의 경우 공기 흡입식과 공기 배출식 모두 하단 부분에서 온도상승이 있음을 알 수 있다. 특히 덕트 3의 공기 흡입식에서 가장 높은 온도 범위가 형성되었다.

2.2.1 가시화 실험

가시화 실험에서는 열선이 가열될 경우 응축된 스모크에 의해 연소가 이루어 질 수 있다. 또한, 본 실험은 열선 주변의 자연대류 효과보다는 강한 난류에 의한 강제대류 현상이 지배적이므로 열선을 가열하지 않아도 유동경향에는 큰 변화가 없다. 따라서 가시화 실험에서는 열선에 전력을 공급하지 않고 blower 만 작동하여 실험을 진행하였다.

가시화 영상을 가장 선명하게 얻기 위해서는 스모크 입자에 의해 산란되는 빛만을 얻어내어야 한다. 모형 실험 장비가 조명 반사가 심한 투명 아크릴로 되어 있기 때문에 정면에서 영상을 얻을 경우 아크릴에 의해 반사되는 조명 빛에 의해 효과적인 가시화를 할 수가 없다. 따라서 본 실험에서는 정면의 45도 지점에서 가시화를 시도하였으며, 조명을 카메라 후면에 설치하여 조명에 의한 영향을 완전히 배제하였다.

유동장이 완전히 정상상태에 도달한 후, 적정량의 스모크를 분사하여 캠코더로 동영상을 획득하였다.

Fig. 4는 각각의 덕트에 대하여 공기 흡입방식에 대한 실험장비 좌측면의 가시화 영상이다. 덕트 1, 2에 비해서 덕트 3 하단부의 붉은 원부근에 정체영역이 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 온도 실험으로부터 이미 예상된 결과이다. 공기 배출방식의 가시화 결과는 Fig. 5에서도 역시 덕트 3의 하단 일부에 정체영역이 나타나고 있다.

이 또한 온도 실험과 동일한 결과이다.

온도 실험과 가시화 실험 결과를 비교해 보면, 본 연구의 신뢰도가 상당히 높음을 짐작할 수 있으며, 정교하게 실험이 진행되었다고 판단할 수 있다.



Duct 1

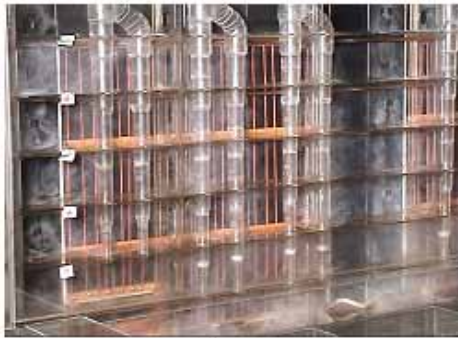


Duct 2



Duct 3

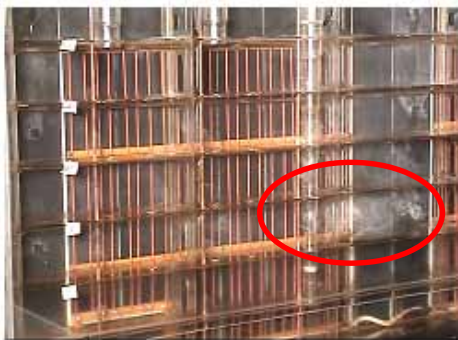
Fig. 4 Visualization images of air suction type for left sides of duct 1, duct 2, duct3



Duct 1



Duct 2



Duct 3

Fig. 5 Visualization images of air supply type for left sides of duct 1, duct 2, duct3

3. 결과분석

Table. 2는 각각의 경우에 대하여 무차원화 된 온도의 최대 값과 최소 값을 보여주고 있다. 이미 성능이 검증된 덕트 1을 기준으로 했을 때, 덕트 2는 덕트 1과 큰 차이를 보이고 있지 않다. 또한 최대 온도 값을 기준으로 봤을 때, 덕트 3의 공기 배출방식이 덕트 1의 공기 흡입방식보다

Table. 2 Max. and Min. values of normalized temperature (θ) for respective results

	type			
	Air-supply type		Air-suction type	
	min	max	min	max
Duct 1	0.49	1.89	0.32	3.32
Duct 2	0.56	2.18	0.27	3.92
Duct 3	0.84	3.39	0.29	6.59

약간 크게 나타나고 있으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 덕트 3의 공기 흡입방식은 최대 온도가 높게 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 3종류의 배관 형상에 따른 냉동 컨테이너선의 냉각 성능을 평가하기 위하여 1/30 축적 모형을 이용한 온도 측정 및 유동 가시화 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 덕트 1과 덕트 2의 냉각성능은 공기 배출방식과 공기 흡입방식 모두 비슷한 경향을 보였다.

(2) 덕트 3의 공기 배출방식도 덕트 1의 공기 흡입방식과 유사한 성능을 발휘하였으며, 덕트 3의 공기 흡입방식에서는 적재부 하단의 온도가 높게 형성되었다.

(3) 위의 (1), (2) 번 결과로부터 덕트 길이 축소에 의한 원가 절감이 가능함을 도출할 수 있다.

참고문헌

(1) Y.Zhou, R.A.Antonia, and W.K.Tsang, 1999, "The effect of the Reynolds number on the Reynolds stresses and vorticity in a turbulent far-wake," Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 18, pp. 291-298.
 (2) V.Dubovsky, G.Ziskind, S.Druckman, E.Moshka, Y.Weiss, and R.Letan, 2001, "Natural convection inside ventilated enclosure heated by downward-facing plate: experimental and numerical simulations", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 44, pp. 3155-3168.