

해군 수상함 국산화개발 천 덕트의 요구성능 검증연구

정영인*, 최상민, 정현섭, 심민섭
국방기술품질원

A Verification Study on the Demand Performance of Fabric Duct for Localization Development of Naval Vessel

Young In Jung*, Sang Min Choi, Hyun Sub Jung, Min Sub Sim
Defense Agency for Quality and Technology

요약 덕트는 FCU에서 생산된 냉난방 공기를 각 함 내 격실로 수송하기 위한 통로로 이용되는 통풍관을 의미한다. 덕트는 일반적으로 금속재질로 제작되고 있으나, 최근 함정에서는 금속 덕트의 단점을 보완하기 위하여 전투지휘실, 조타실, 음탐기, 조종실 등 주요 격실에 대하여 소음감소효과가 뛰어나고 격실 내에 공기를 골고루 전달할 수 있는 장점을 가진 천 덕트가 대체재로 사용되고 있다. 그러나 함정용 천 덕트는 성능요구조건이 엄격하여 국내에서 생산하지 못하고 있으며 해외에서 전량 수입하고 있는 실정이다. 이 연구에서는 천 덕트는 국산화를 통해 경제적 효과를 창출하기 위하여 국내 업체에서 개발한 천 덕트에 대하여 주요성능 요구조건을 검증하여 보았다. 소음감쇄성능에 대한 자체 검증이 완료된 국산화 천 덕트에 대하여 현재 건조중인 함정에 적용 가능여부를 확인하기 위해 공기투과성능과 방화성능 시험을 수행하여 구매요구사항서에 제시된 성능요구조건 충족여부를 검증하여 보았다. 시험결과 국산화 개발된 천 덕트는 공기 투과성능 요구조건과 방화성능 요구조건을 모두 만족하여 건조함정에 적용하기 위한 주요 성능조건을 충족하는 것으로 확인되었다.

Abstract Metal ducts for transporting air conditioning and heating inside ships have recently been replaced by cloth ducts that have the advantage of delivering air evenly to the compartments, with excellent noise reduction in major compartments, such as combat command rooms, steering rooms, and sound detector cabins. Since the performance requirements of fabric ducts for vessels are strict, and the entire length of the ducts was imported from Korea, the government wants to create economic effects through localization of fabric ducts. Air permeability and fire prevention performance tests verified the applicability to naval vessels of fabric ducts developed by Hyundai Heavy Industries and HiDact, and performance requirements presented in the POS were verified. As a result of the tests, the fabric ducts met the requirements for air permeability and fireproof performance.

Keywords : Fabric Duct, Air Permeability, Fire Proof, Smoke Growth Rate(SMOGRA)m Fire Growth Rate(FIGRA)

1. 서론

대한민국 해군에서 운용중인 모든 함정에는 냉난방과 환기를 위하여 HVAC(Heating, Ventilating, Air

Conditioning) 시스템이 탑재되어 있다. 하절기에는 냉수제조기에서 생성된 냉수는 함 내 주요구역에 배치되어 있는 FCU(Fan Coil Unit)로 전달되어 열교환을 통해 공기를 냉각하고, 동절기에는 FCU 내부에 있는 Heating

*Corresponding Author : Young In Jung(Defense Agency for Quality and Technology)

email: jungyi@dtaq.re.kr

Received July 1, 2020

Accepted August 7, 2020

Revised July 29, 2020

Published August 31, 2020

Coil로 공기를 가열하여 Fan을 통해 각 격실로 공기를 전달한다. 냉난방된 공기는 함 내에 거미줄처럼 연결된 덕트(Duct, 통풍관)를 통하여 전달되며 각 격실의 디퓨저(Diffuser, 토출구)를 통해 실내로 토출된다. 덕트는 주로 알루미늄이나 스틸로 제작되며 원통형, 사각통형으로 제작되어 각 덕트 피스는 볼트와 너트, 가스켓(Gasket)으로 체결되며 많은 수의 덕트가 설치되기 때문에 총 중량이 크다. 대한민국 해군 전투함은 함의 크기에 비하여 매우 많은 장비가 탑재되기 때문에 경하배수량 통제가 매우 중요하다. 이를 위해 스틸에 비하여 가벼운 알루미늄 덕트를 사용하는 경우가 있으나 가격이 비싸고 열전달계수가 높아 냉난방 공기를 전송하면서 손실되는 에너지가 커지게 되는 단점이 있기 때문에 스틸과 알루미늄 덕트를 조합하여 사용하고 있다. 그러나 금속 덕트는 중량문제 외에 몇 가지 단점을 가지고 있는데 첫째로 격실 끝단에 설치된 디퓨저를 통하여 냉난방 공기를 토출하게 되어 디퓨저 주변에서만 냉난방이 이루어지기 때문에 사각지대가 발생하기 쉽다. 둘째로 여름철 냉방 시 차가워진 덕트에 고온다습한 외부공기가 덕트 표면에 응축되어 응축수가 발생하게 되고, 응축수는 격실 내로 낙하하여 함 내 가구나 전자 장비를 오염시킨다. 셋째로 FCU에서 Fan에 의한 진동과 고체소음, 덕트 내부 와류에 의하여 발생한 공기소음이 덕트를 따라 격실로 고스란히 전달된다. 소음을 저감하기 위하여 격실로 연결되는 덕트에 소음기(Silencer)를 설치하고 있으나 중량과 비용이 크게 증가하게 된다.



Fig. 1. Fabric Duct

위와 같은 금속 덕트의 단점을 보완하기 위하여 민간 분야에서는 천 덕트(Fabric Duct)를 이미 활발히 사용하고 있으며 상선이나 사무실뿐만 아니라 실험실, 헬스장, 수영장, 대형마트, 영화관, 산업공장 등 모든 분야에 적용되고 있다. 현재 국내에서 건조중인 수상함에서도 이러한 변화를 받아들여 주요격실에는 천 덕트를 이용하고 있으며 특히 소음통제가 중요한 전투지휘실, 조타실, 음탐기 조종실, 의무실, 사관회의실, 통신실 등에 설치되고 있다. 천 덕트는 덕트 내부와 덕트 외부의 압력 차이에 의해 덕트 전체에서 공기가 격실 내부로 골고루 토출되기 때문에 냉난방 사각지대가 발생되지 않는다. 특히 천 덕트는 무게가 매우 가볍기 때문에 중량통제에 유리하며, 탈부착이 간편하여 세탁과 관리가 용이하다. 천 덕트는 고체소음이 전달되지 않으며, 와류로 인한 공기소음을 흡수 감소시켜주기 때문에 주요격실의 소음감소에 있어 매우 유리하다. 다만 그동안 천 재질은 화염에 취약하여 화재가 덕트를 따라 인근 격실로 전파될 수도 있었으며, 응축수로 인하여 천 덕트에 곰팡이가 번식할 수 있다는 단점이 있었다. 그러나 이러한 문제점들은 화염에 강한 난연성 재질인 듀폰(DUPONT)사의 Nomex 섬유를 사용하여 화재확산에 대한 우려가 해소되었으며, 섬유재질에 통기성을 확보하여 결로 현상을 감소시키고 안티박테리아 코팅으로 곰팡이가 번식하지 않도록 개선되었다.

함정용 천 덕트는 공기투과성과 소음감소성능, 난연성, 내구성, 유독가스과 응축수 방지 등 까다로운 요구조건을 만족해야하기 때문에 국내에서 함정용 천 덕트를 생산하는 업체가 전무하고 비싼 비용으로 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그래서 2017년부터 함정 건조업체에서는 함정용 천 덕트를 국산화를 진행하였고 2가지 type의 원단을 개발하여 강도시험, 소음시험 등을 통해 성능요구조건을 충족여부를 확인하였고 현재 천 덕트 정압프로그램 공동개발 중이다. 본 연구에서는 국산화 개발되고 있는 천 덕트에 대하여 공기투과성 시험과 내화성 시험을 수행하여 현재 건조되고 있는 수상함정에서 제시하는 천 덕트 요구성능 충족여부를 검증하여 보았고, 현재 사용되고 있는 Euro-Air사의 천 덕트와 성능비교를 통해 국산화 천 덕트의 적용 가능성을 가늠해 보았다.

2. 본론

Fig. 2와 Fig. 3.에서와 같이 해군 함정에 사용되는 천 덕트는 크게 Transfer와 Air-Shower 형태가 있

며, FCU에서 전달되는 냉난방 공기를 Transfer 천 덕트를 통해 각 격실로 이동하여 반원통형의 Air-Shower에서 토출된다. ○○○함의 "천덕트 구매요구사항서"에 명시된 성능 요구조건은 Table 1.과 같다. 주요 성능으로는 공기투과성, 내화성, 소음감소성이 있으며 본 연구에서는 가장 중요한 성능중 하나인 천 덕트의 공기투과성과 내화성을 검증하였다.

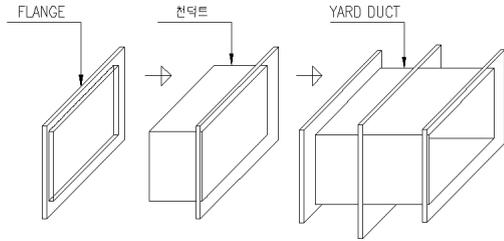


Fig. 2. Air-Shower type Fabric duct

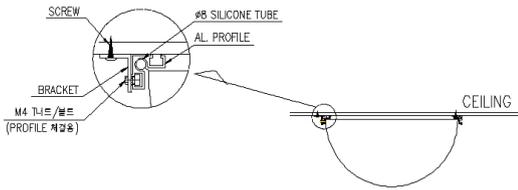


Fig. 3. Transfer type Fabric duct

Table 1. Fabric duct specification requirements

Specification		Requirement
Wight (g/m^2)		Under 350
Thickness (mm)		02. ~ 0.8
Tensile Strength (N)		over 80
Air Permeability ($m^3/m^2/h$)	Transfer	30 ~ 70
	Air Shower	100 ~ 700
Materials		Fire Proof (EN-13501 B-s1-d0)
Usage Temperature		-28.9 °C ~ 50 °C

Table 2. Study Process



천 덕트는 Transfer용과 Air-shower용으로 각각 제작되었으며 공기투과성능을 만족하기 위하여 각기 다른 재질이 사용되는데 Fig. 4.에서와 같이 Transfer용 섬유는 Air-Shower용 재질에 비해 조직이 더 조밀한 것을 확인할 수 있다.

시험에서는 Air-Shower용 섬유를 #1, Transfer용 섬유는 #2로 각각 설정하였으며 FCU에서 생성하는 정압조건인 125 Pa에서 20 cm^2 의 면적에 대하여 진행하였다. 또 비교적 높은 정압에서의 공기투과성 변화추이를 확인하기 위하여 300 Pa의 압력에서 추가시험을 수행하였다.

시험결과, 정압 125 Pa에서 #1 섬유(Air-Shower용 섬유)의 공기투과성은 654.1 $m^3/m^2/h$ 로 측정되었고 #2 섬유(Transfer용 섬유)의 공기투과성능 39.7 $m^3/m^2/h$ 로 측정되어 국산화 개발된 천 덕트는 구매요구사항서에 명시된 공기투과성능 요구조건을 만족하는 것으로 확인되었다. 정압 300 Pa 조건에서의 공기투과성 시험결과 #1 섬유에서 1,138.8 $m^3/m^2/h$, #2 섬유에서 39.7 $m^3/m^2/h$ 로 측정되었다. 천 덕트의 내화성능 검증을 위하여 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에 의뢰하여 Fig. 5.와 같이 BSEN 13823의 Single Burning Item(SBI)에 따라 화재시험을 수행하였다.



Fig. 4. Air-Shower, transfer fabric duct

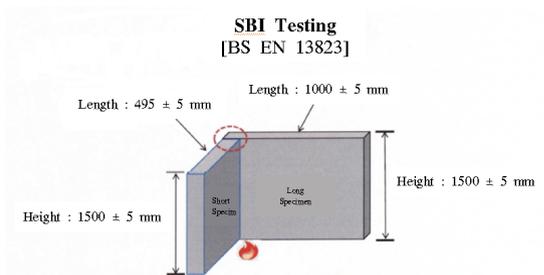


Fig. 5. BS EN 13823 SBI testing configuration

Table 3. Air permeability test result

Static Pressure	#1 Air-Shower ($m^3/m^2/h$)	#2 Transfer ($m^3/m^2/h$)
125 Pa	654.1	39.7
300 Pa	1,130.8	98.1

Table 4. Classification according to european standard EN 13501-1

Definition	Construction Products	
Non-combustible materials	A1 A2-(s1~s3)-(d0~d2)	
Combustible materials - very limited contribution to fire	B-(s1~s3)-(d0~d2)	
Combustible materials - limited contribution to fire	C-(s1~s3)-(d0~d2)	
Combustible materials - medium contribution to fire	D-(s1~s3)-(d0~d2)	
Combustible materials - highly contribution to fire	E	E-d2
Combustible materials - easily flammable	F	

Table 5. Smoke emission and flame Classification

Definition		Level definition
Smoke emission during combustion	s	1 Quantity / Speed of emission absent or weak
		2 Quantity / Speed of emission average intensity
		3 Quantity / Speed of emission high intensity
Production of flaming droplets/particles during combustion	d	0 No dripping
		1 Slow dripping
		2 High dripping

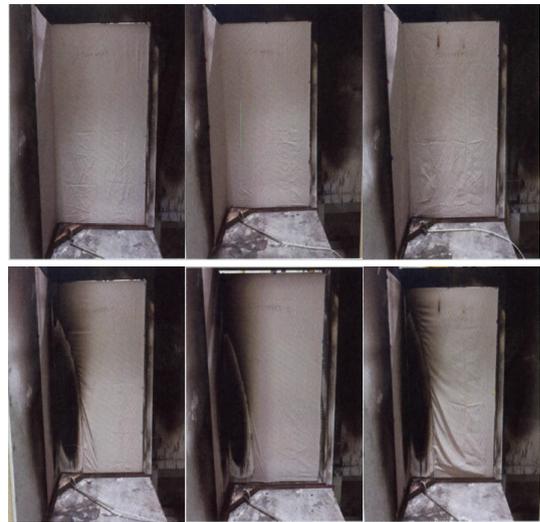


Fig. 6. Before and after combustion testing(Front)

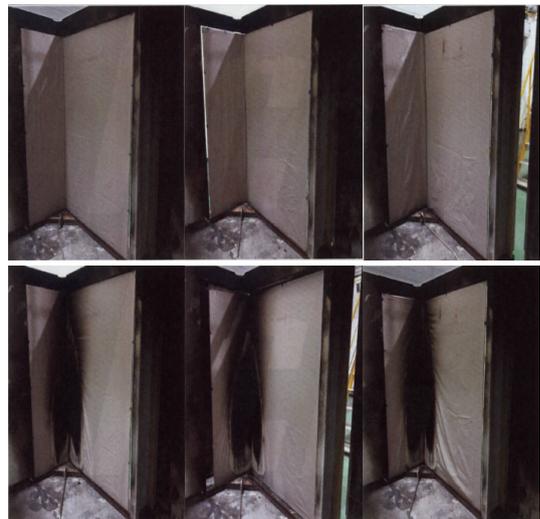


Fig. 7. Before and after combustion testing(Corner)

Table 6. SBI Classification criteria

Test Method	Test condition
Specimen Pretreatment Condition	Temperature : 23 ± 5 °C, Relative humidity : 50 ± 5 %
Test Room condition	Temperature : $22.1 \sim 22.7$ °C, Relative humidity : $48 \sim 49$ %
Burner	Propane gas (647 ± 10 mg/s)
Exhaust system flowrate	$0.50 \sim 0.65$ (m^2/s)
Heating time	1,740 seconds
speciment	Short wing(W×H) : 0.495×1.5 m, Long wing(W×H) : $1 \text{ m} \times 1.5$ m, Thickness 0.5 mm (3 EA)
Measurement Data	FIGRA(0.2MJ), THR(600s), SMOGRA, TSP(600s), LFS, DFP



Fig. 8. Before and after combustion testing(Rear)

구매요구사항서에서 요구되는 천 덕트의 내화성능요구조건 EN13501-1의 B-S1-d0는 EN 13823 SBI 시험을 통하여 검증가능하다. Table 4.와 Table 5.에서와 같이 천 덕트는 화염에 의하여 불이 쉽게 붙지 않는 난연성 재질이어야 하며, 연기와 불티가 발생되지 않아야 한다. 본 연구에서는 격실 내부에 직접적으로 설치되는 Air Shower type 천 덕트에 대하여 내화시험을 수행하였으며, Fig. 5와 같이 시험시편을 제작하고 모서리에 단일화염을 가하여 결과를 확인하였다.

Fig. 6, 7, 8.과 같이 시험은 3번에 걸쳐 수행하였으며, 계측된 데이터는 평균값으로 산출하였다. 사진에서와 같이 화염에 노출된 천 덕트의 전면은 검은 그을음이 발생되었으나 후면에는 화염에 의한 손상이 발생되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 시험을 통하여 Table 7.과 같이 FIGRA(Fire growth rate), THR(Total heat release), SMOGRA(Smoke growth rate), TSP(Total smoke production), LSF(Lateral flame spread) 발생유무, FDP(Flaming droplet/particles) 발생유무를 측정하여 수치화하였으며, 충족여부를 확인하여 보았다. Table 8.의 등급분류기준에 따라 내화성능 요구조건 각 3번의 SBI 실험 결과에서 FIRGA(0.2MJ)는 0 W/s로 나타났으며, LFS는 발생하지 않았고 THR(600s)는 7.5 MJ이하로 측정되어 화염요구기준 B를 만족하였다. 또 각 3번의 시험에서 SMOGRA는 $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 미만으로 측정되어 요구조건을 충족하였으며 TSP(600s)는 50 m^2 미만을 충족하여 연기발생 요구기준 S1을 만족하였다. 마지막으로 FDP가 발생되지 않음으로써 불티발생 요구기준 d0를

충족하여 구매요구사항서의 내화성능 요구조건(EN-13501 B-s1-d0)을 만족하였다.

국산화 개발 천 덕트의 공기투과성과 내화성능은 현재 대한민국 해군 함정에 설치되어 있는 수입제품 (Euro-Air 사의 천 덕트)과 비교하여 동등이상의 성능을 가지는 것으로 판단된다.

Table 7. SBI test result

Test category	Unit	Result		
		1st	2nd	3rd
FIGRA(0.2MJ)	W/s	0.0	0.0	0.0
FIGRA(0.4MJ)	W/s	0.0	0.0	0.0
THR(600s)	MJ	0.7	0.6	0.3
SMOGRA	m^2/s^2	0.8	0.0	2.1
TSP(600s)	m^2	13.6	14.6	36.6
Lateral Flame Spread(LFS)	-	×	×	×
Flaming droplets/particles(FDP) (flaming≤10s)	-	×	×	×
Flaming droplets/particles(FDP) (flaming>10s)	-	×	×	×

Table 8. SBI Classification criteria

Class	Criteria	
B	Fire	FIGRA(0.2MJ) ≤ 120 W/s LFS < Edge of the long wing specimen THR(600s) ≤ 7.5 MJ
S1	Smoke	SMOGRA ≤ $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ TSP(600s) ≤ 50 m^2
d0	Droplet	No flaming droplets/particles

Table 9. Comparison between Euro-Air and HHI/HIDUCT Fabric duct

Specification	Euro-Air	HHI, HIDUCT
Fire Proof (EN-13501)	B-s1-d0	B-s1-d0
Air Permeability ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$)	Transfer : 50 Air-Shower : 700	Transfer : 50 Air-Shower : 600

3. 결론

본 연구에서는 함정 건조 업체에서 국산화 개발한 천 덕트에 대하여 함정 적용가능여부를 확인하여 위하여 공기 투과시험과 내화성능 시험을 수행하였다. 천 덕트는 공기 수송을 위한 Transfer형과 격실에 냉난방 공기를

토출하기 위한 Air-Shower형에 대하여 공기투 과성능을 수행한 결과, Transfer형은 $39.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, Air-Shower형은 $654.1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ 로 측정되어 구매요구사항서에 명시된 요구조건을 충족하는 것을 확인하였다.

합정 내 화재상황에 대비하여 천덕트의 내화성능 요구조건 충족여부를 확인하기 위해 BS EN 13823 SBI 시험을 수행하였다. 시험을 통해 FIGRA와 SMOGRA, LSF, FDP를 측정하였으며, 측정결과 방화성능 요구조건 B-s1-d0을 충족하는 것을 확인하였다.

공기투과성능과 내화성능 검증을 통하여 천 덕트의 주요한 성능요구조건 충족여부를 검증하였으며 국산화 개발된 천 덕트의 합정 적용 가능여부를 확인하였다. 국산화 개발 천 덕트는 추후 건조예정인 수상함정에 적용 가능할 것으로 생각되며, 향후 건조 예정인 대한민국 해군 수상함정에 점진적으로 사용되어 비용절감과 유지보수 향상에 기여할 것으로 예상된다.

References

- [1] Hyundai Heavy Industry, Ulsan Batch-II, POS for Fabric Duct, *Defense Aquisition Program Administration Republic of Korea*, 2020.
- [2] Hyundai Heavy Industry, Ulsan-Class Batch-II technical review proposal:Development progress of fabric duct local manufacturing, Republic of Korea, 2020.
- [3] Korea Industrial standards commission, "KS K ISO 9237:1995 - Determination of the Permeability of fabrics to air.", Republic of Korea, 2017.
- [4] B. H. Lee, S. H. Jin, H. W. Kim, Y. J. Kwon, "An Experimental Study on the Fire Risk Assessment of Windows by Material.", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol 19, No.4, pp.19~27, 2019(Aug)
DOI : <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.4.19>
- [5] S. Deeming, K. Hughes, BS EN 13823:2010+A1:2014: Reaction Fire Tests for Building Products - Building Products Excluding Flooring Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item, Exova Warringtonfire, United Kingdom, Issue No.1, 2017.
- [6] European Standard, "EN 13501-1: Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests", EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007.
- [7] Dong Hee Kwak, Sang Gu Lee, Jun Su Lee, Seung Jun Koo, Ho Jun Lee and Byeong Soo Lee, " Investigation to reduce HVAC Duct noise using fabric material" , Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, Issue 10, pp.16-17, 2014.

정 영 인(Young In Jung)

[정회원]



- 2013년 8월 : 경북대학교 기계공학부(공학사)
- 2015년 8월 : 과학기술연합대학원대학교 항공우주시스템공학과(공학석사)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

공기역학, HVAC, 복합소재, RAM

최 상 민(Sang-Min Choi)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경북대학교 금속신소재공학과 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

캐비테이션, 내마모성, 소음·진동

정 현 섭(Hyeon Seob Jeong)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

수중음향, 도료

심 민 섭(Min-Seop Sim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 (공학사)
- 2014년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학부 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

신호처리, 수중음향