



글라스울을 단열재로 활용한 멀티코어튜브의 단열 성능 분석 및 실험에 관한 연구

이태호 · 김명준*

한국폴리텍대학(조교수) · *군산대학교(교수)

A Study on the Analysis and Experiment of Insulation Performance of Multi Core Tubes Using Glass Wool as Insulation Material

Tae-Ho LEE · Myeong-Jun KIM*

Korea Polytechnic Colleges(assistant professor) · *Kunsan National University(professor)

Abstract

This study is to investigate the temperature characteristic of insulated multi-core tube to use a glass wool as an insulator on the multi-core tube used for efficient use of limited space and an essential part of high pressure hydraulic control line. Testing and modeling has been conducted to the manufactured insulated multi-core tube to investigate the inside temperature characteristic of the insulated multi-core tube related to the outside air temperature, supplied with hydraulic fluid temperature and hydraulic fluid flow rate. As a result of the study area, when hydraulic fluid flow rate is 3.28(ℓ /min), hydraulic fluid outlet temperature has been received the lowest effect of supplied temperature and outside air temperature of hydraulic fluid.

Key words : Multi core tube, Glass wool, Heat transfer, Insulation material, MCT

I. 서론

멀티코어튜브(Multi Core Tube, MCT)는 다수의 금속제 튜브를 조합하여 케이블의 형태로 제조한 것으로 선박이나 해양플랜트, 건축물 등에 액체나 기체, 전기 등의 이송수단으로 사용되는 각종관을 한 번에 묶어 효율적으로 시공, 유지·관리하기 위한 부품이다. 최근 지구 온난화와 다양한 환경적인 문제로 인한 북극해 빙하의 감소로 선박의 극지방항해 가능성이 증가하는 추세이고 이러한 극지 연구는 세계열강 및 다국적 기업들의 주도하에 더욱 활발히 진행되고 있다(Kim et al., 2014). 따라서 국제해사기구(International Maritime

Organization, IMO)는 이러한 실정에 맞춰 ‘북극해역을 항해하는 선박을 위한 지침’을 채택하여 더욱 강제화 된 Polar Code 등을 개발함과 동시에 극지용 항행 선박 건조 및 극지용 해양 플랜트의 건조 수요가 본격적으로 증가될 것으로 예상되고 있다(Kang et al., 2011). 이러한 전망에 따라 해외 수요 시장에서 단열 멀티코어튜브에 대한 관심이 확대되고 있으며, 고압용 유·공압 제어라인의 선박 및 해양 플랜트 분야에서 협소한 공간의 효율적인 활용을 위해 필수 부품으로 사용되고 있는 스테인레스 강 멀티코어튜브 시장도 저가의 중국 제품이 유통되면서 시장에서의 경쟁이 더욱 극심해지고 있는 상황이다.

* Corresponding author : 063-469-1849, mjkim@kunsan.ac.kr

극한의 환경조건을 견뎌낼 수 있는 선박, 해양 플랜트 기자재(소재, 부품 등)의 대부분 외국산이 장악하고 있는 것이 현실이며, 세계 3대 조선 강국이라 자처하는 우리나라의 기술력은 걸음마 단계에 머무르고 있다. 세계 경제의 장기 불황 및 최근 조선 산업 침체의 여파로 신규 시장 개척 및 고기능성 제품 개발의 필요성과 함께 최근의 극지 개발 수요와 맞물리면서 극한 환경에서도 단열이 가능한 멀티코어튜브의 개발이 요구되는 시점이다.

극지를 운항하는 선박 및 해양 플랜트는 -30°C 에 달하는 저온 환경 조건에 노출되어 있으므로, 외부공기에 접하거나 순환되어야 하는 곳에서 사용되고 있는 기자재들은 저온에 대한 방한 기능을 갖추고 있어야 한다. 이를 위해 일반적인 환경에서 적용되는 기자재 보다 단열성 및 저온 특성이 우수하거나 별도 열원등에 의한 보온이 필수적이다. 특히 멀티코어튜브 내부를 흐르는 작동유가 극지 환경의 저온 사용 한계보다 낮은 온도에서 사용되는 경우 유압 계통 및 전체 시스템에 문제가 발생하므로 이를 방지하기 위해 멀티코어튜브에 단열재를 사용하여 보온하거나, 스티밍 라인 및 전기 히팅코일 등의 부가적인 장비를 설치하는 경우도 있다. 국내에서도 선박 및 해양 플랜트용 MCT를 생산하여 판매하고 있지만 선박 및 해양 플랜트용으로 특화된 단열 튜브, Steam-traced bundles 및 Electrical heat-traced 제품의 생산 및 판매는 거의 이루어지고 있지 않으며, 이에 대한 연구도 찾아보기 힘들다(Kim et al., 2014). 최근 선박에 설치되는 멀티코어튜브에 관한 연구로서 화재 안전 측면에서 멀티코어튜브의 연소 확대 경로를 제공하기 때문에 이를 저지하기 위한 연구는 일부 진행되었다(Park et al. 2015). 또한 통상적으로 사용되는 관의 재료는 내식성이 높고 가공성이 우수한 스테인레스 강을 많이 사용하고 있으나, 이 튜브의 내구성 및 효율 향상을 목적으로 멀티코어튜브에 매크로에멀전(Macroemulsion)에 의한 고기능성 피막이 도금

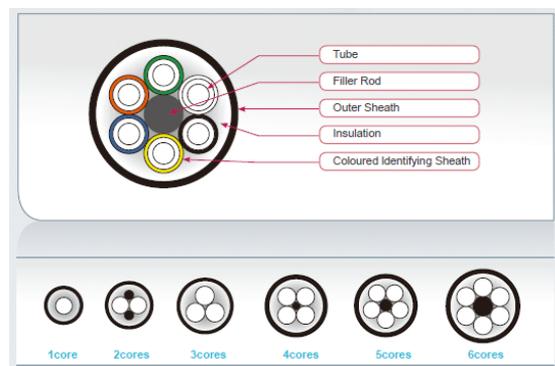
된 선박용 MCT 개발에 대한 연구도 진행되었다(Kim, 2009).

본 연구에서는 단열재로 글라스울(Glass wool)을 사용한 단열 멀티코어튜브의 단열 성능 파악을 위한 실험 설비를 구축하였다. 이후 제작된 단열 멀티코어튜브에 대하여 외기 온도, 유압유 공급 온도, 유압유 공급 유량에 따른 단열 멀티코어튜브 내부를 유동하는 유압유의 온도 특성에 관하여 실험을 수행하였다.

II. 멀티코어튜브 정의 및 제조

1. 멀티코어튜브(MCT)의 정의

선박 및 해양 플랜트 분야에서 협소한 공간의 효율적 활용 및 고압용 유·공압 제어라인에서 필수 부품으로 멀티코어튜브가 사용되고 있으며, 현재 유압라인에 사용되고 있는 작동유는 석유계 작동유, 합성 작동유 및 수성형 작동유 등으로 다양하게 분류되어 있다. 이러한 작동유의 저온 사용 한계는 작동유의 특성에 따라서 $-30^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 이다(Chun, 2004).



[Fig. 1] Schematic diagram of the form and cross section of multi core tube

멀티코어튜브는 다수의 금속제 튜브를 조합하여 케이블 형태로 제조한 것으로 각종 관을 한번에 묶어 효율적으로 시공, 유지·관리하기 위한 장치이다. 이 멀티코어튜브가 산업계에서 각광을

받고 있는 주된 이유는 라인 설치비용 및 작업속도가 기존 방식에 비해 월등히 우수하며, 기계적 마모 및 손상에 강한 특성을 가지고 있으므로 유지 및 보수에 소요되는 비용을 절감할 수 있기 때문이다. 또한 여러 라인을 묶어서 하나의 튜브를 통한 설치가 가능하므로 공간을 효율적으로 활용하고 이로 인해 시공 원가의 상당부분을 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 이러한 멀티코어 튜브는 유체 압력을 이용하여 각종 배관 라인에 연결된 밸브를 원격으로 조정하는 VRC(Valve Remote Control) Line System과 여러 선박 기기의 압력 감지 라인(Pressure Sensing Line)에 주로 사용되며, 각종 탱크 내 액면 높이 측정 및 흡수선 높이 측정용도 등 사용범위가 매우 다양하다. [Fig. 1]은 MCT의 제조 및 형태를 나타낸 것이다 (Daechen industrial, 2014).

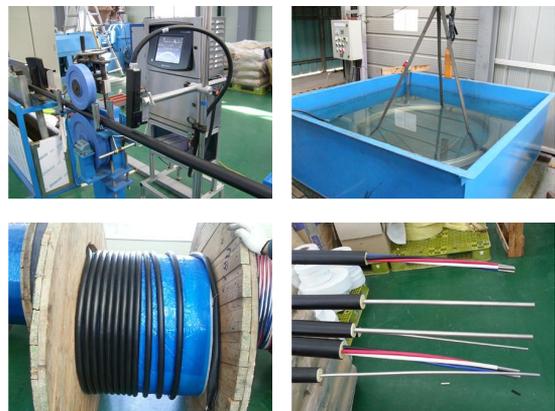
2. 단열 멀티코어튜브(MCT)의 제조

멀티코어튜브의 기술은 독일에서 처음 개발되었으며, 현재는 한국과 중국을 비롯한 아시아 국가들 또한 그 기술을 개발하여 제품화 하고 있다. [Fig. 2(a)-(b)]는 이 멀티코어튜브에 단열재를 입힌 제조공정을 개략적으로 나타낸 것으로, 개별 관을 만드는 공정에서부터 다수의 관을 함께 꼬아서 결박시키는 공정, 전체 관의 주변을 코팅하는 공정, 단열재로 글라스울을 사용하여 멀티코어튜브 외부를 보호하는 공정, 폴리염화비닐(Polyvinyl chloride, PVC) 소재로 피막을 입히는 공정, 최종 압력검사 및 누설시험을 시험한 후 완성된 제품을 감아서 보관하는 공정 등 십 수개의 공정을 거쳐 완제품이 출고된다(Kim, 2009). 단열 MCT 제조과정에서 단열재로 사용된 글라스울(Glass wool)은 뛰어난 흡음 성능과 고온에서의 내구성 및 난연성이 우수하여 본 연구에 사용될 단열재로 적합하였다(Kim et al., 2013).

또한 관내 개별 튜브 식별 및 추가 보호를 위해 모두 다른 색으로 구별된 내피로 피복되어 있



[Fig. 2(a)] Photo of the process of multi core tube Continued wrapping glass wool and tapping process



[Fig. 2(b)] Photo of the process of multi core tube Continued Outer sheath coating and hydraulic inspection and final condition

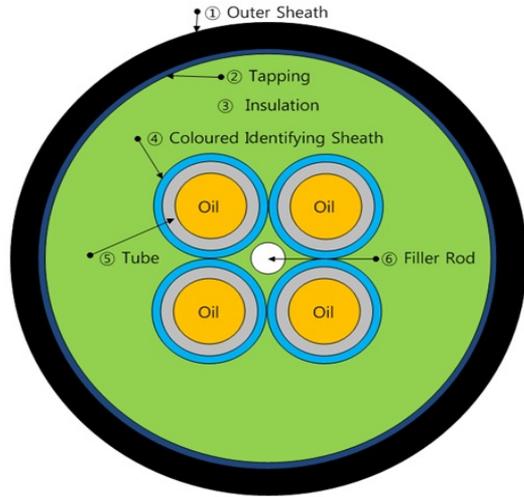
는 특징이 있으며, 용도에 맞는 사용 관리를 위해 튜브 재질, 사이즈, 식별 번호, 길이 등의 정보가 외피 표면의 1미터 간격으로 표기되었다. 내부 관의 개수는 1-Core에서부터 최대 10-Core까지 상황과 용도에 따라 자유로운 생산이 가능하고, 관내를 흐르는 유체의 성분과 이동 경로 또한 각각 자유롭게 설계가 가능하다. 생산된 단열 멀티코어튜브는 목재 원형 드럼에 감겨 출고되며, 원형 드럼으로부터 풀기, 직선 작업, 설치, 절단 등의 사용과정은 전기케이블과 거의 흡사하다. 이 작업에 필요한 관련 공구 기기들은 모두 일정

규격으로 단일화하여 전 세계 어디서라도 동일 물성치를 나타내고 있다. 규격으로 적용이 가능하므로 사용자의 편의성을 충분히 고려한 제품이라 할 수 있다.

Ⅲ. 실험 장치 및 실험 방법

1. 실험 장치

[Fig. 3]은 실험을 위해 제작된 단열 멀티코어 튜브의 단면도이다. 관의 수는 4-Core로 구성되어 있으며 내부 코일은 제조 특성상 직관이 아닌 750mm 간격으로 360° 회전하는 Twisted tube 형태로 유지되어 있다. 또한 기존 MCT의 형태와 달리 외부 PVC피막과 관 사이에 글라스울 소재를 단열재로 사용하여 단열 효과를 높이고자 하였다. <Table 1과 2>는 온도 특성을 파악하기 위해 사용된 단열 MCT 각 재료부의 고체 물성치 (Material property)와 관 내부를 흐르는 유압유의



[Fig. 3] Schematic diagram of insulated multi core tube section

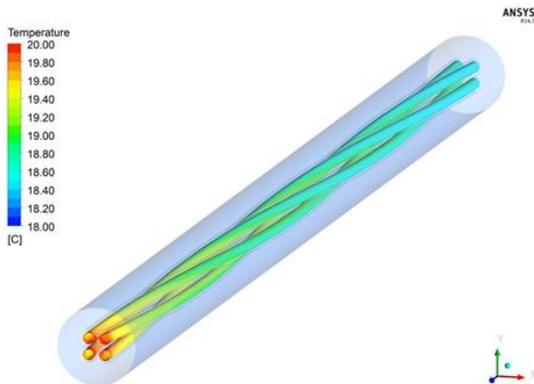
<Table 1> Properties of hydraulic oil material

Hydraulic Oil Brand	Density (kg/m ³)	Cp (Specific Heat) (J/kg·k)	Thermal Conductivity (W/m·K)	Viscosity (kg/m·s)
Shell Tellus Oil 46	870	1880	0.145	0.80

<Table 2> Properties of Insulated multi core tube solid material

	Section	Material	Thickness (mm)	Outside Diameter (mm)	Density (kg/m ³)	Cp (Specific Heat) (J/kg·K)	Thermal Conductivity (W/m·K)
①	Outer Sheath	PVC	3	45.5	1470	840	0.1
②	Tapping	Non-woven	0.75	39.5	80	1300	0.06
③	Insulation	Glass wool	10	38	24	700	0.038
④	Coloured Identifying Sheath	PVC	0.5	9	1470	0.184	0.1
⑤	tube	SUS316	1	8	8238	468	13.4
⑥	Filler Rod	PVC	-	3	1470	840	0.1

실험 장치는 크게 유압유를 저장하는 오일 탱크, 유압유를 오일 탱크에서 단열 MCT로 공급, 순환하기 위한 기어펌프, 4-Core로 구성된 단열 MCT, MCT의 외기 온도 조절을 위한 냉동 챔버 (Refrigerator chamber), 단열 MCT의 각 부위 온도를 측정하기 위한 열전대(Thermocouple), 측정된 온도를 기록하기 위한 데이터 수집 장치(Data Logger)와 컴퓨터로 구성되어 있다. 데이터 수집 장치 소프트웨어는 YOKOKAWA MX100 Standard를 사용하였고 실험 과정 도중 상시 모니터링을 통해 변화량을 관찰하였다(Korea Yokogawa, 2003). [Fig. 4]는 단열 MCT의 내부 코일 배치 상태와 전체 형상을 보여주고 있다. 내부형상은 수치 해석용 틀을 이용해 묘사한 것으로 실제 실험에서 사용한 MCT 형상(Geometry)과 동일하다.



[Fig. 4] The sample of CFD simulation of MCT

[Fig. 5]는 본 연구에서 사용한 실험 장치의 개략도를 나타내고 있다. 개략도는 단열 MCT의 외기온도, 유압유의 공급 온도 및 유량에 따른 단열 MCT 관내 유압유의 온도 특성을 파악하기 위한 장치이다.

2. 실험 방법

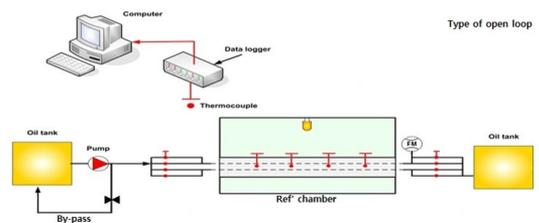
본 실험에서는 관내를 흐르는 유압유 온도가 외기의 영향과 유량에 따른 변화를 살펴보기 위

하여 외기 온도를 -10°C , -30°C , -50°C 의 3가지 온도에 따른 실험을 수행하였다. 여기서 외기온도는 냉동 챔버 내부의 온도를 의미하며, 유압유의 공급온도는 실험 공간의 공기 조화기를 가동하여 30°C 구간으로 최대한 일정하게 유지하였다.

유압유의 공급 유량은 설치된 펌프의 성능 범위 이내에서 3가지 유량으로 설정하여 최소 0.29 l/min , 1.01 l/min , 3.28 l/min 으로 진행하였다. 외기에 노출된 단열 MCT의 길이는 0.75미터이다. 이는 제작 공정시 750mm 간격으로 360° 반복 회전하는 Twisted tube 형태로 제작되어짐을 고려하였다.

열전대를 이용하여 오일 탱크로부터 펌프를 지나 실험 장치에 설치되어 있는 단열 MCT의 입구부, 냉동 챔버 내부, 외기 온도에 노출된 이후 흘러나오는 MCT 4-Core의 출구부 유압유의 온도 등을 데이터 로거를 통해 컴퓨터에 기록하였으며, 초기 설정된 유압유의 순환 시점으로부터 10분 간격으로 일정하게 기록하였다.

또한 본 실험에서는 오일 탱크에 유압유 공급 온도를 일정하게 유지할 수 있는 별도의 냉각가열 시스템이 설치되지 않았으므로 냉동 챔버 내부를 통과하여 온도 변화가 발생된 유압유는 오일 탱크의 공급 온도와 섞이지 않도록 개방 순환 방식(Opened-loop)으로 실시하였다.



[Fig. 5] Schematic diagram of apparatus

실험은 총 100일에 걸쳐 수행하였으며, 일일 실험시간은 냉동 챔버 내부 온도가 실험온도까지 도달하는데 걸리는 운전 딜레이 시간과 대기온도를 고려하여 09시부터 18시까지 9시간에 걸쳐 실험

험을 수행하였다. 본 연구와 같은 유체의 열전달 특성에 관한 실험은 외기에 따른 순간 온도변화의 반응이 매우 민감하기 때문에 데이터 세이브에 주의가 필요하며, 일관성을 위하여 동일 조건에서 3회 실험을 실시하여 절사 평균값(Trimmed mean)을 데이터로 확보하였다. <Table 3>은 본 연구에서 수행한 실험조건을 보여주고 있다.

<Table 3> Properties of Insulated multi core tube solid material

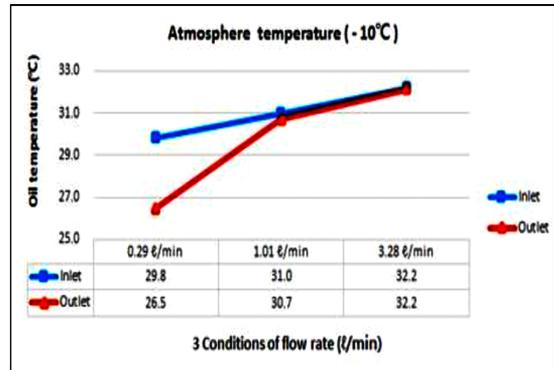
Experiment Condition	Set Value		
	1	2	3
Outdoor temperature (°C)	-50	-30	-10
Hydraulic oil inlet temperature (°C)	30		
Hydraulic oil flow rate (/min)	0.29	1.01	3.28
Length of MCT(m)	0.75		
Estimation data	Mean temperature and temperature profile of insulated multi core tube in stable condition (°C)		

IV. 실험 결과 및 고찰

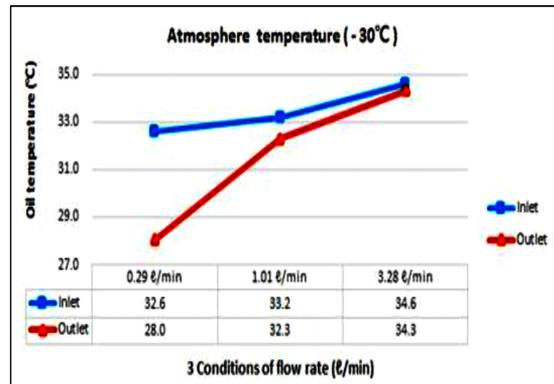
1. 외기 온도에 따른 영향

본 실험은 외기 온도가 각각 -10°C, -30°C, -50°C일 때 단열 MCT 내부를 흐르는 유압유의 유량은 0.29 l/min, 1.01 l/min, 3.28 l/min 로 설정하고 평균 온도 및 온도 분포를 측정된 실제 실험 데이터이다. 유압유의 출구 온도는 4-Core 타입의 단열 MCT 특성상 출구측에 4채널 방식을 각각의 관에 온도를 측정하여 합산한 평균값이며 온도차는 이 평균값과 공급 온도간의 변화량이다. [Fig. 6(a-c)]로부터 알 수 있듯이 외기 온도가 -10°C, -30°C, -50°C으로 낮아짐에 따라 유압유의 온도가 영향을 많이 받음을 알 수 있다. 외기 온

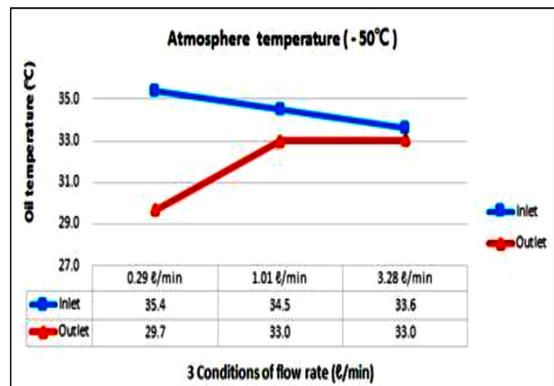
도가 낮을수록 MCT 내를 유동하는 고온의 오일로부터 외기로의 열이동에 해당하는 열유속이 증가하기 때문이다.



[Fig. 6(a)] Experiment results of oil temperature



[Fig. 6(b)] Experiment results of oil temperature



[Fig. 6(c)] Experiment results of oil temperature

또한 유량이 증가할수록 외기 온도에 따른 유압유의 온도 변화가 낮음을 알 수 있다. 이는 유량이 증가할수록 MCT내부를 유동하는 오일의 유속이 빠르다는 것을 의미하므로, 주어진 실험 사이 내를 이동하는데 소요되는 시간인 정체 시간이 짧아져 충분한 열교환을 충족시킬 수 없기 때문이다. 본 연구의 실험 조건 내에서 유량이 0.29 l/min 이고 외기 온도가 -50℃ 일 때 유압유의 공급 온도와 온도차는 5.75℃로 가장 크게 나타났으며, 유량이 3.28 l/min 이고 외기 온도가 -10℃ 조건일 때 온도차는 0.05℃로 가장 적음을 알 수 있었다. 앞서 기술한 바와 같이 본 실험장비는 오일 탱크에 유압유 공급온도를 일정하게 유지할 수 있는 별도의 냉각·가열 시스템이 설치되지 않았으므로 실험 공간의 공기조화기를 가동하여 유압유의 공급 온도를 최대한 30℃와 가깝게 유지하였으나 실제 실험 공급 온도의 오차 범위는 29.8~35.4℃ 이내이며 이 온도변화 값은 순환 펌프의 발열 등에 따른 여러 요인에 의해 좌우된다.

2. 이론 해석 및 유효 열전도 계수

본 실험을 통하여 얻은 교환 열량 q 을 이용해 이론적 해석을 통한 비교 검토를 실시하였다. 온도가 T_1 인 단열 MCT 표면으로부터 온도가 T_2 인 다른 표면(가장 바깥을 구성하는 PVC)으로 열이 전달되는 2차원 계에 있어서 단위 길이당 열전달량은 오직 온도차 $T_1 - T_2 = \Delta T$, 열전도율 k , 그리고 해석을 위한 계의 형상비에 의존한다. 이 비는 계의 형태에 의존하므로 형상 계수(Shape factor)라고 정의한다. 따라서 열전달율은 다음과 같이 식(1)로 쓸 수 있다.

$$q = kS\Delta T(T_1 - T_2) \dots\dots\dots (1)$$

이 형상계수 S 는 몇 가지 형태에 대한 값이 존재하는데 그 중 축이 표면하 z 깊이에 묻힌 길이 L 인 수평 원통, 원통과 등은 표면 사이의 열전도

율이 k 인 균질 매질을 통한 전도의 계와 본 실험 조건이 동일한 조건으로 가정하였다(Anthony F. 1992). 따라서 냉동 챔버와 MCT의 깊이는 z 와 같은 외기 온도에 대한 관내 열손실을 구하기 위해서 형상계수 S 를 구하면, 식(2)로 유도할 수 있고

$$S = \frac{2\pi L}{\cosh^{-1}(2z/D)} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 L 은 MCT의 길이, z 는 외기로부터의 깊이, D 는 관의 직경이다. 본 실험조건을 계상하면 형상계수 S 는 다음 식(3)과 같다.

$$S = \frac{2\pi(0.75)}{\cosh^{-1}(2 \cdot 0.5/0.008)} = 0.853 \dots\dots\dots (3)$$

또한 일반적인 단유동 파이프의 등온 조건에서 유용성은 식(4)로 정의한다.

$$\epsilon = 1 - e^{-Ntu} \dots\dots\dots (4)$$

유용성을 계산하기 위해서는 Ntu 값을 구해야 한다. Ntu 는 식(5)로 유도되고 k_{eff} 는 단열재 등을 포함한 모든 고체 벽의 유효 열전도 계수, S 는 형상계수, $mass$ 는 질량유량, C_p 는 관내를 흐르는 유압유의 비열이다(Frank K. et al. 2002).

$$Ntu = \frac{k_{eff} \cdot S}{mass \cdot C_p} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 유압유가 외기 온도에 노출되는 단열재 열전도율을 알기 위하여 열전도 계수를 구해야 한다. 유압유와 외기 온도 사이에 단열재를 모두 포함한 재료는 총 5가지이다.

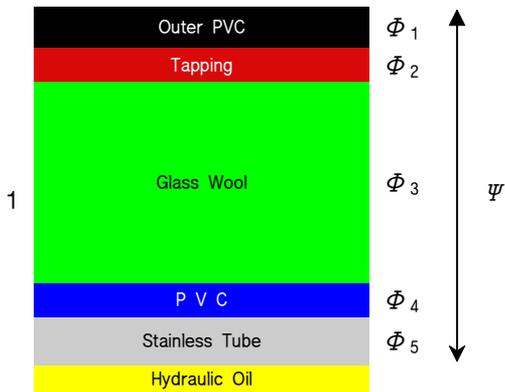
$$k_{eff} = \frac{1}{\frac{1-\psi}{\lambda_1} + \frac{\phi}{\lambda_2} + \frac{\psi-\phi}{\lambda_3}} \dots\dots\dots (6)$$

유압유와 각 재료의 물성치는 <Table 1>을 참조하여 대입하고 본 실험에 사용된 4-core 단열 MCT를 이론 해석에 용이할 수 있도록 총 파이프 면적비를 1-core형태로 가정하였다. [Fig. 7]과 같이 단열 재료부의 형상을 단면도와 같이 단순화 시켜 Maxwell 상관식에 의해 유효 열전도 계수를 식(6)을 통하여 정의하고, 여기서 ψ 는 두

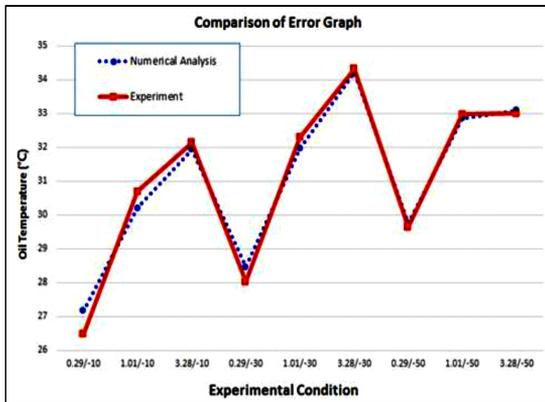
계, λ 는 열전도율, Φ 는 면적비이다(Anthony F. 1992). 이에 해당하는 값을 구하면 단열재의 총 열전도율은 약 $k_{eff} = 0.647 W/mK$ 가 된다.

$$T_o = T_i - \epsilon \cdot (T_i - T_{surface}) \dots\dots\dots (7)$$

따라서 유효 열전도 계수와 각 조건의 외기 온도에 따른 유압유의 온도차를 식(7)을 통해 이론 해석을 할 수 있으며 이를 실제 실험과 비교하여 [Fig. 8]의 오차 그래프로 나타내었다.



[Fig. 7] The simplified cross section diagram of insulated multi core tube



[Fig. 8] Comparison of experimental and numerical analysis

본 연구에서 수행한 실제 실험데이터와 이론 해석과의 비교를 통해 살펴 본 온도차는 최대 0.6℃ 내외로 비교적 근접하게 나타났음을 알 수

있었다. 따라서 원통형으로 구성된 단열 MCT에 대해서도 Maxwell의 상관을 이용하여 유효 열전도 계수를 구하여 이론적인 해석을 수행할 수 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 단열 MCT에 대한 실험과 이론 해석을 통하여 외기 온도, 유압유 공급 온도, 유압유 공급 유량에 따른 단열 MCT 내부의 열전달 특성에 관하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 실험범위 내에서 외기 온도가 각각 -10℃, -30℃, -50℃일 때 최소 공급 유량인 0.29 l/min 인 경우 공급 온도와 약 5℃ 내외로 외기 온도의 영향을 받음을 알 수 있고, 반면 최대 공급유량인 3.28 l/min 일 때 공급온도와 약 0.5℃ 내외로 영향이 가장 적음을 알 수 있다. 이러한 결과는 주위 온도와 단열 MCT 내부를 흐르는 유체와의 온도가 크게 차이되면 열유속이 증가하기 때문이고, 또한 유체의 유량이 작으면 유속이 느려지기 때문에 열전달에 필요한 충분히 시간이 있어 열교환량이 많아지기 때문이다.

(2) 외기 온도가 일정한 경우 유압유 공급 유량이 높을수록 유압유 출구와의 온도차가 적음을 알 수 있고, 이는 낮은 외기 온도로부터 노출되는 체류 시간이 유량의 증가로 인해 짧아졌기 때문이다.

(3) 본 실험 조건을 토대로 실시한 이론 및 유효 열전도 계수의 해석을 통해 얻어진 값을 이용하여 데이터를 정리하면 실험과의 오차는 1℃ 미만으로 형성되었다. 따라서 이론 해석을 통해 얻어진 유효 열전도 계수값은 충분한 타당성을 가지고 있다고 할 수 있다.

(4) 본 연구의 실험 장치는 대용량의 항온조가 구축되지 않은 관계로 30℃의 동일한 실험 조건에서 오일의 공급 온도는 다양한 요인으로 인해 약 5℃의 일부 오차가 발생될 수 있었다. 따라서

향후 이러한 오차 범위를 줄일 수 있도록 대용량의 항온조를 구축하여 실험 및 모델링을 실시할 예정이다.

References

- Anthony F. Mills(1992). HEAT TRANSFER, IRWIN.
- Chon JS(2004). Selection Procedure and Classification of Hydraulic Oils, Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, 1(2), 1~8.
- Daechun industrial Co, LTD(2104). Total Tube Solutions Catalog, Daechun.
- Frank K and Mark B(2002). Principles of Heat Transfer, Cytec Media, 6th Edition.
- Kang JS, Kang HG and Kim DH(2011). Tested assessment conditions and procedures for Winterization of telecommunication equipment for polar vessels, Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK, Mokpo. 55~63
- Kim YH(2009). Development of a ship's multi-core tube with high-functional film plated by macroemulsion, Fishery Census, Korea Maritime and Ocean University.
- Kim SY, Kang MH, Yoon JI, Kim MI, Lee DY, Lee KH and Kim JS(2013). Development of Eco-friendly Substitute for Ship asbestos/Glassoul Insulation, Final Report of Small and Medium Business Administration's Industrial Technology Development Project.
- Kim MJ and Park SG(2017). Development of Thermal Insulation multi core tube for extreme region with Glass wool, Final Report on Industrial-Academic Cooperation at Kunsan National University.
- Korea Yokogawa Co. Ltd(2003). MX100 Catalog, Yokogawa Electric Corporation.
- Park SK, Lee TH and Kim MJ(2015). A Study on the Heat Transfer Characteristic of Insulated Multi Core Tube, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 39(6), 604~608.

-
- Received : 03 April, 2019
 - Revised : 09 May, 2019
 - Accepted : 16 May, 2019