

익수자 체온 저하에 미치는 팽창식 구명동의의 단열효과 수치 분석

김성찬* · 이경훈** · 황세윤*** · 이진성**** · † 이장현

*인하공업전문대학 조선해양과 교수, **선박안전기술공단 부장, ***인하대학교 산업과학기술연구소 연구원, ****인하대학교 대학원, † 인하대학교 조선해양공학과 교수

Thermal Insulation Effect of Inflatable Life Vest on the Drowned Individual estimated by Numerical Analysis

Kim Sung Chan* · Lee Kyung Hoon** · Hwang Se Yun*** · Lee Jin Sung**** · † Lee Jang Hyun

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha Technical College, Incheon, Korea

**Korea Ship Safety Technology Authority, Sejong, Korea

***Research Institute of Industrial Science and Technology, Inha University, Incheon, Korea

****Graduate school of Inha University, Incheon, Korea

† Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Incheon, Korea

요 약 : 해상 사고에 의한 익수자는 저체온증에 의한 사망 위험에 노출되어 있다. 구명 동의 등을 착용함으로써 부력은 유지할 수 있으나 해수의 낮은 온도에 의한 신체의 열손실은 짧은 시간 내에 체온을 하강시키고 그에 따른 저체온증 사망이 우려된다. 전통적인 구명 동의는 고체형 부력체를 사용하여 부력을 향상 시키고 있으나, 구명 동의에 공기를 채움으로써 부력 및 체온 보존 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 고체형 충전재를 이용한 기존의 비 팽창형 구명 동의와 공기를 채운 팽창형 구명 동의의 단열 성능을 비교하고, 각각의 방법이 체온 변화에 미치는 영향을 정성적으로 평가하고자 한다. 먼저 열저항 모델을 이용한 대략적인 단열 성능의 비교를 실시하고, 유한요소법을 이용하여 Pennes의 신체 열전달 해석을 수행하여 시간에 따른 체온 변화를 수치적으로 검토하였다.

핵심용어 : 해상 사고, 저체온증, 구명 동의, 열저항, 신체 열전달

Abstract : Exposure to cold sea water can be life-threatening to the drowned individual. Although appropriate life jacket can be usually be provided for the buoyance at the drowning accident, heat loss can make the drowned individual experience the hypothermia. Inflatable life jackets filled with inflatable air pocket can increase the thermal protection as well as the buoyancy force. Because it is important to know how the human body behaves unde the different life jacket, present study compares the thermal insulation capacity of solid type life jacket with that of inflatable life jacket. In order to represent the insulation capacity of life jacket, thermal resistance is estimated base on the assumption of steady-state. Also, a transient three-dimensional thermal distribution of the thigh is analyzed by using finite element method implementing the Pennes bioheat equation. The finite element model is a segmental, multi-layered representation of the body section which considers the heat conduction within tissue, bone, fat and local blood flow rate.

Key words : Drowned individual, Hypothermia, Life Jacket, Thermal Resistance, Bioheat equation

1. 서 론

해양 레저 활동 및 연근해 산업이 다양해짐에 따라 해상 및 내수면에서의 선박 충돌 및 익수 사고도 빈번하게 발생하고 있다. 해상 사고로 인하여 승선자가 구명 동의를 착용한 상태에서 익수하게 될 경우에도 빠른 해류의 이동뿐만 아니라 저온 해수로 인하여 체온이 하강함과 동시에 저체온 발생 위험이 커지게 된다. 이에 따라 특정한 온도 보다 더

낮은 저체온증으로 인한 생명의 위험이 따르기도 한다. 일반적으로 저체온증은 체온보다 차가운 물속에 인체가 잠겨 있고, 특히, 섭씨 21[°C]이하) 발생하고 중심체온이 35[°C]이하로 내려가면 심장, 뇌, 폐, 기타 생명에 중요한 장기의 기능이 저하되기 때문에 익수자가 견딜 수 있는 평균시간은 해수온도가 -1[°C] 이하일 때 15분 미만, 4[°C]에서는 90분, 10[°C] 미만에서는 3시간, 16[°C]에서는 6시간 정도로 알려져 있다(Kim, 2005).

† Corresponding author : 연희원, jh_lee@inha.ac.kr 032)860-7345

* 연희원, schankim@inhac.ac.kr 032)870-2171

** 연희원, khlee@kst.or.kr 044)330-2340

*** 연희원, seyun.hwang@gmail.com 032)860-7345

**** 연희원, Kasilee0807@gmail.com 032)860-8757

이러한 저체온증을 예방하기 위한 노력으로는 구멍 뚫목의 단열 성능 기준에 관한 연구(Kim, et al. 2014; Mak, et al. 2008)를 들 수 있다. Tikuisis, et al. (2000)도 입수자의 체온 변화를 위한 유한차분법 모델을 제시하여 정성적인 체온 예측이 가능함을 보였다. 또한 구멍 동의회 발열 장치를 추가하려는 노력 (Kim, 2005) 등을 찾아 볼 수 있다. 특히, Kim (2005)의 연구는 저체온증 현상을 지연시키기 위해 석회석의 수분 흡착에 따른 발열현상을 이용한 구멍 동의회 체온 보존 효과를 유한차분법으로 해석한 사례로 구멍 동의회에 의한 체온 변화에 대해 유의미한 결과를 제시하고 있다.

통상적인 구멍 동의회는 비팽창식으로 익수자의 부력을 확보하기 위하여 폴리우레탄 폼을 이용하고 있으나, 신체 밀착도가 떨어지고 해수가 접하는 신체 면과 넓어지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 공기 팽창식 구멍 동의회는 신체 면과의 거리가 좁은 밀착형으로써, 해수와 접하는 면을 줄임과 동시에 단열 성능을 가질 수 있을 것으로 예상된다. 본 논문은 비팽창식 구멍 동의회와 팽창식 구멍 동의회 체온 보존 성능을 비교함으로써 각 동의회 열적 특성을 비교하고 해수 입수 시에 체온 저감 효과를 비교하고자 한다.

2. 단열 성능 및 체온 변화 정식화

2.1 구멍 동의회 단열 성능

구멍 동의회 단열(Insulation) 성능은 재료의 열전도 계수 및 두께에 의하여 결정된다. 특히, 정상 상태(Steady State)에 도달한 열전달 시스템을 가정하고 열 저항(Thermal Resistance) 모델로 표현함으로써 단열 성능을 계산하는 것이 효율적이다. 열 저항은 열전도의 반대 값으로 단열 성능을 평가하는 것이다. 본 연구의 비교 대상인 구멍 동의회 열전달 모델은 다음과 같은 두 가지 경우로 나누어 고려할 수 있다.

- 비팽창식 동의회(Type A): 구멍 동의회와 신체 사이에 해수가 유입됨으로써 대류 열손실에 의해 신체의 열손실이 발생
- 공기 팽창식 동의회(Type B): 팽창된 동의회가 신체와 밀착함으로써 대류에 의한 열손실이 유발되는 모델

앞서 언급한 바와 같이 정상 상태에 놓인 다층의 열전달 특성은 통상 전기 저항의 개념을 이용하여 Fig. 1로 표현함으로써 단열 성능의 정도를 우선 파악할 수 있다.

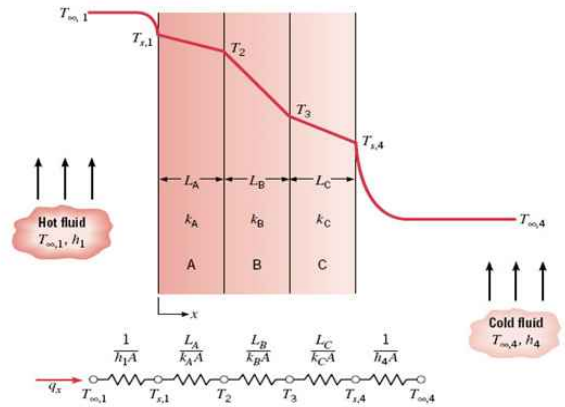


Fig. 1 Thermal Resistance model for multi-layer

열전도 (heat conduction) 매체인 A, B, C 세 적층의 양단에서의 대류가 있는 경우의 열 저항, R_{tot} [W/K] 및 단위 면적에서 열 저항, R''_{tot} [W/m²K]은 식(1) 및 식(2)으로 표현할 수 있다.

$$R_{tot} = \Sigma R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_1} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_2} \right) \quad (1)$$

$$R''_{tot} = \Sigma R''_t = \left(\frac{1}{h_1} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_2} \right) \quad (2)$$

여기서, h_i , k_i 와 L_i 는 각각 대류 열전달 계수 [W/m²K], 열전도 계수 [W/mK] 와 두께를 의미한다. A는 단면적을 의미한다. 열손실의 정도는 열유속(Heat flux) q'' [W/m²]와 열전달율 (Heat flow rate) q [W]의 값으로 대별되며, 식(3)에 의하여 계산할 수 있다.

$$q'' = \frac{q}{A} = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R''_{tot}} \quad (3)$$

(1) 신체 비 밀착형(비 팽창식)의 열저항

비 밀착형 동의회는 신체가 해수와 직접 접촉된다고 가정하면 Fig. 2와 같이 열 저항 모델로 치환 가능하며, 단위 열 저항값은 식(4)와 같이 표현 가능하다.

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h} + \frac{L_s}{k_s} \right) \quad (4)$$

여기서 h 는 해수의 대류 계수[W/m²K]이며, L_s 는 신체 피부조직(skin) 두께이고, k_s 는 신체 피부조직의 열전도계수 [W/mK] 이다.

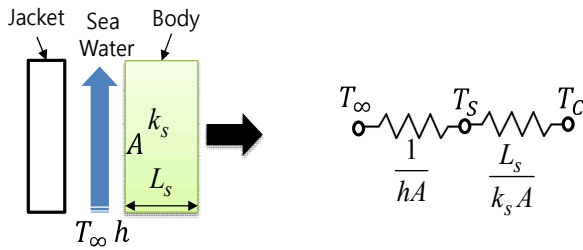


Fig. 2 Thermal resistance model of non-inflatable jacket

(2) 신체 밀착형(팽창식)의 열저항

다음 Fig. 3과 같이 단순화 시키면 열 저항값은 식(5)와 같이 표현 가능하다.

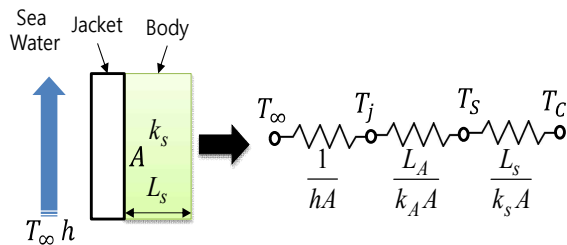


Fig. 3 Thermal resistance model of inflatable jacket

$$R_{tot} = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_s}{k_s} \right) \quad (5)$$

여기서 h 는 해수의 대류 계수 [W/m^2K]이며, L_A 는 구멍 조개의 두께이고, k_A 는 구멍 동이의 열전도계수 [W/mK]이다.

(3) 팽창형과 비 팽창형의 단열성능 비교

팽창형(밀착형)과 비 팽창형의 열저항 값을 비교하면 Table 1과 같다. 계산에 사용된 물성치는 Table 2에 정리하였다. 단열 성능은 공기 팽창식이 비 팽창형에 비해 약 9.99배 우수함을 보였다. 그러나 이 값은 신체가 구멍 동이가 완벽하게 밀착되는 이상적인 상황을 가정하여 추정된 단열 성능 값이다. 실제로 공기 팽창식 동이가 완벽하게 신체에 밀착된다고 보기는 어려우므로 단열 성능의 상대적 차이는 각각의 구멍 동이에 대한 엄밀한 단열 성능을 비교하기보다는 상대적인 열저항값을 비교를 통하여 공기층 보존에 의한 단열효과의 정도를 파악함에 있다. 그럼에도 불구하고, 신체로부터 해수의 접촉을 차단할 경우 단열 성능이 우수함을 추정할 수 있는 유의미한 값이라고 판단된다.

Table 1 Comparison of thermal resistance

Type of Jacket	Thermal Resistance	Ratio
No Inflatable (Non-Contact)	0.2081	100%
Inflatable (Contact)	2.0576	989%

Table 2 Parameters of thermal resistance

Parameters	Unit	Value
Convection coefficient	W/m^2K	5.000
Conductivity of Air	W/mK	0.050
Thickness of Jacket	m	0.030
Thickness of Skin	m	0.024
Conductivity of Skin	W/mK	0.370

2.2 체온 변화의 정식화

앞 절에서는 각 유형별 단열 성능의 정도를 비교하였으며, 본 절에서는 신체 온도 변화의 정도를 파악하고자 한다. 인체 온도는 각 개인의 연령, 성별, 체중, 신진 대사 상태 등 다양한 조건에 따라 결정되므로 정확하게 정량적인 변화를 추정하기는 어렵다. 체온은 주변 환경에 따른 복사 열유속, 주변 공기 또는 해수에 의한 대류 열유속, 피부 조직 내부의 혈관에 의한 대류 열유속, 그리고 호흡기를 통한 증발 열, 신체 내부 장기의 신진 대사에 의한 열전달 등 복잡한 과정을 통하여 결정된다.

Pennes(1948)는 호흡에 의한 체온 저감 및 복사 열전달에 의한 체온 저하는 상대적으로 적다는 가정을 두고, 주로 피부 조직의 체온을 예측하기 위하여 Bioheat 방정식을 제안하였다. Bioheat 방정식은 인체의 신진대사 효과와 혈관대류 효과를 고려한 체내 열전달 현상을 대표하는 식으로 주로 피부 및 근육 조직의 온도 계산에 사용되고 있으며, 식(6)과 같이 내부 열 생성을 가진 열확산 방정식으로 표현된다.

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q}_m + \dot{q}_p \quad (6)$$

여기서, T , ρ , c_p 와 k 는 피부 및 근육 조직 (Tissue)의 온도, 밀도, 정압 비열(Specific heat)과 열전도 계수를 의미한다. \dot{q}_m 과 \dot{q}_p 각각 신진대사에 의한 단위 체적당 발열 (Metabolic heat generation rate) 및 동맥 혈류(Artery Perfusion)에 의한 단위 체적당 발열을 의미하며, 단위는 W/m^3 를 가진다. Fig. 4은 피하 조직 내의 신진대사 및 동맥 혈류에 의한 열전달 현상을 표현한 것이다. \dot{q}_p 는 특히 동맥

혈류에 의하여 발생하는 내부 발열로 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{q}_b = \rho_b c_b w (T_a - T) \quad (5)$$

여기서, ρ_b , c_b 와 w 는 혈액 밀도, 혈액의 정압 비열, 동맥의 혈류비 (Perfusion rate, kg/m^3sec)을 의미한다. T_a 는 동맥의 온도를 의미한다.

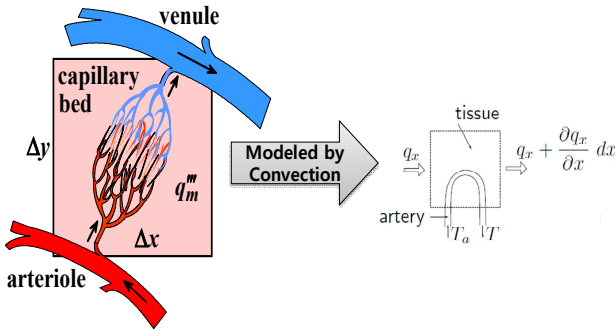


Fig. 4 Schematic heat flow mechanism of blood and tissue

신체의 각 부위를 원통형으로 가정하면 다음과 같은 형태로 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \rho(r)c_p(r) \frac{\partial T(r, \phi, z, t)}{\partial t} \quad (6) \\ & = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ & + \dot{q}_m(r) + \rho_b c_b w_b(r) (T_a - T) \end{aligned}$$

익수자의 체온 저하는 주로 해수에 의한 대류 열 유속이 가장 큰 값을 차지하므로 본 연구에서는 \dot{q}_m 은 고려하지 않았다. \dot{q}_p 만을 고려하더라도 신체 온도 변화를 정성적으로 판단할 수 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단하였다.

3. 체온 변화 시뮬레이션

앞선 언급한 바와 같이 본 연구의 열전달 해석 목적은 밀착식, 비 밀착형 동의를 착용에 따른 열 유속 비교를 통하여 체온 보존 효과를 비교하고, 대류 열전달 및 열 유속을 비교함으로써 열 손실 정도를 비교함에 있다. Xu et al. (2005)는 multi-segment model을 이용하여 신체를 머리, 가슴, 팔, 다리, 손, 발로 나누어 체온 변화를 예측하는 수치 모델을 구성하였으며, 각 신체 부위는 중심(core), 근육, 지방, 그리고 피부로 구성하여 열전도체로 모델링하였다. 이를 통해 신진 대사율의 시간 변화를 수치적으로 파악하였다. Xu et al. (2011)은 SCTM

(Six-Cylinder Thermoregulatory Model)을 이용하여 대략적인 체온 변화를 근거로 생존시간을 예측할 수 있는 소프트웨어를 제시하였으나 이론적 근거는 설명되어 있지 않다. Yildirim & Ozerdem (2008) 도 역시 신체를 좀 더 분할하여 종아리, 허벅지, 손 등을 추가하여 체온 변화를 해석하였으나, 신체 내부 장기 등의 모델 등은 구현하지는 못하였다. 이는 신체 내부 장기의 복잡성과 신진 대사율을 정확하게 반영할 수 있는 자료가 충분하지 않은데 기인한다고 볼 수 있다. 신체의 복부는 심장, 폐, 위장, 간과 복잡한 혈관 등이 있기 때문에 3차원 형상 및 각 장기의 재료 특성을 엄밀하게 반영하여 해석하는 것이 불가능할 뿐만 아니라 정확성도 보장할 수 없다. 본 연구는 우선 피부 및 근육과 뼈만을 고려하여 체온의 정상적인 변화 유형을 살펴 보았다. 체온 변화 비교는 대퇴부만을 대상으로 온도 변화와 열 유속 (Heat flux)을 비교함으로써 상대적인 열저항 효과를 비교하고자 한다.

특히, 신체 피부 조직은 내부 장기, 근육, 피부, 혈관, 뼈 등 매우 복잡한 구조로 구성되어 있다. Fig. 5는 사지의 대략적인 피부 구조이며, 피부조직(skin), 피하지방(Fat), 근육(Muscle), 그리고 뼈 조직으로 구성되었다고 가정하였다. Fig. 6은 대퇴부(Thigh)의 단면 형상을 보인 것이다. Table 3은 신체의 일반적인 기하학적 치수를 정리한 것이며 본 연구에서는 대퇴부 직경은 12 cm로 가정하였다. 대퇴부 형상 및 상세한 신체부위의 치수는 기존 논문을 참조하여 Table 4와 같이 가정하였으며, 해석 모델의 치수는 Fig. 6과 Fig. 7에 도시하였다.

해석은 범용 유한요소해석 코드인 ANSYS를 사용하였다. 8-node 6면체 요소이며, 시간 증분은 내연적(implicit) 방법인 Crank-Nicolson Method를 이용하였다. ANSYS는 식(6)에 제시된 열확산 방정식에 변분법(Variational method) 및 선형 보간 함수를 이용하여 유한요소정식화를 수행한다. 해수와 접한 부분에서의 해류에 의한 대류 열전달 계수, 혈관과 피부/근육 조직에서의 대류 열전달조건을 고려하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 두 경우에 대한 유한요소 모델을 보인 것이다.

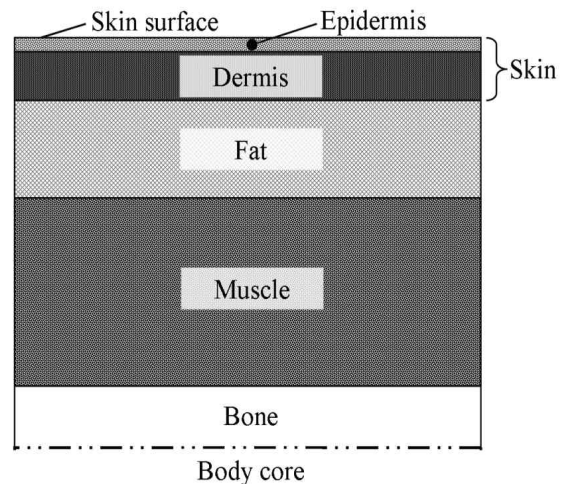


Fig. 5 Typical layers of skin and bones

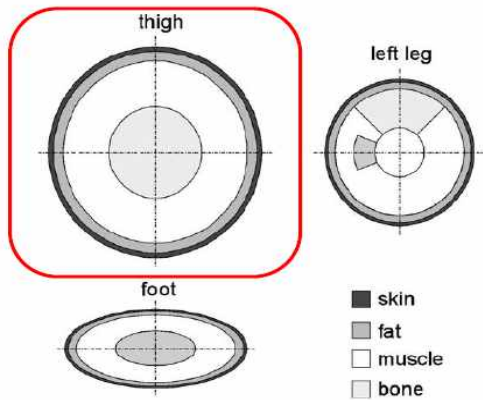


Fig. 6 Typical configuration of thigh

Table 3 Dimensions of human body(Yildirim & Ozerdem, 2008).

Element	Present model				
	V/cm ³	A _s /cm ²	L/cm	2a/cm	2b/cm
Head	3542	1135	20	13.1	17.3
Neck	850	294	8	12.8	10.5
Trunk	34,758	5985	60	35.7	20.7
Arm	1766	831	31	8.1	9.0
Forearm	988	601	28	7.9	5.7
Hand	500	450	19	10.9	3.1
Thigh	5224	1701	44	11.9	12.7
Leg	2317	1080	40	8.3	8.9
Foot	980	630	26	10.2	4.7

Table 4 Dimensions of thigh

Component of thigh	Dimension(mm)
Skin	3
Fat	10
Muscle	27
Bone Radius	20mm

1시간 뒤의 신체 온도분포를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타냈다. 비 팽창형 동의 착용은 1시간 후 내부 온도가 약 26°C가 되었고, 팽창형 동의는 34°C가 됨을 보였다. 이는 정량적인 정확성보다는 정성적인 비교로 활용함이 타당하지만, 좀 더 의미 있는 값은 열 유속 (heat flux)으로 판단된다. 열 유속 변화는 Fig. 12와 Fig. 13에 보였다. 신체 피부에서 Heat flux (열 유속)을 비교하면 비 밀착형 동의에서는 105 W/m²이며, 밀착형 동의에서는 18.7 W/m²이 되었다.

Heat flux의 시간에 따른 변화를 Fig. 14에서 비교하였다. 비 밀착형 동의(Type A)는 시간에 따라 heat flux값이 약간씩 줄어들지만 지속적으로 큰 값의 열 변화가 있으며, 밀착형 동의(Type B)에서는 상대적으로 작은 양의 heat flux가 유출됨을 볼 수 있다. 초기에는 Type A에서 유출 열량이 Type B보다 약 7배 크고 1시간 경과 후에는 약 5배 크음을 알 수 있으나, 신체와 해수의 접촉에 따른 체온하강이 매우 크다는 점은 유의하게 나타났다.

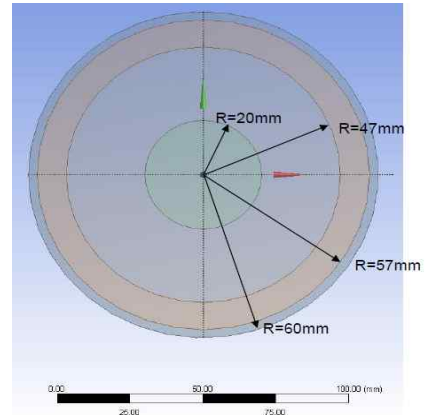


Fig. 7 Geometry model of thigh

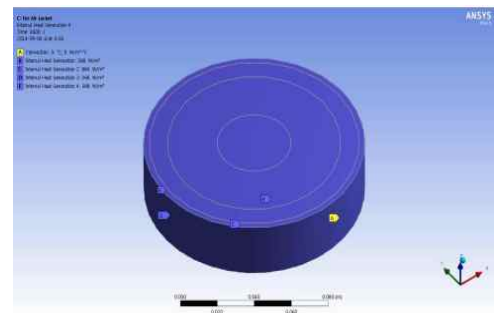


Fig. 8 Boundary conditions and layers of non-inflatable type jacket

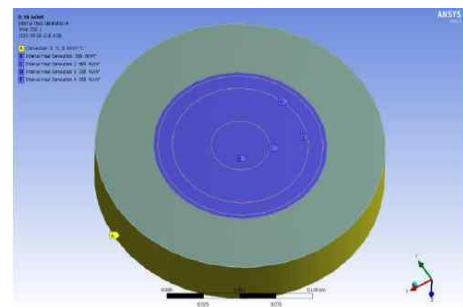


Fig. 9 Boundary conditions and layers of inflatable type jacket

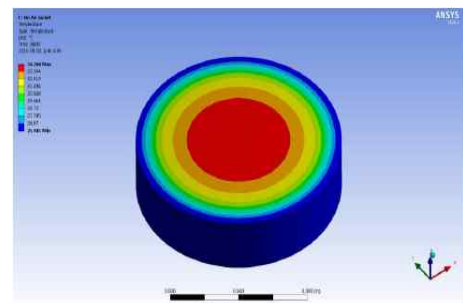


Fig. 10 Temperature distribution of thigh after one hour (26°C) (Non-inflatable, Non-contact type)

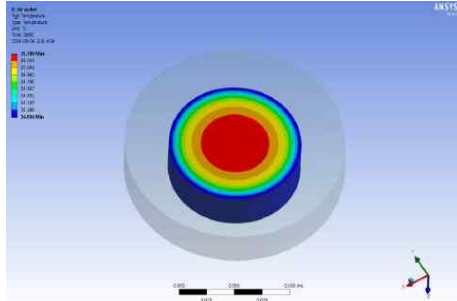


Fig. 11 Temperature distribution of thigh after one hour (34°C) (Inflatable, Air jacket type)

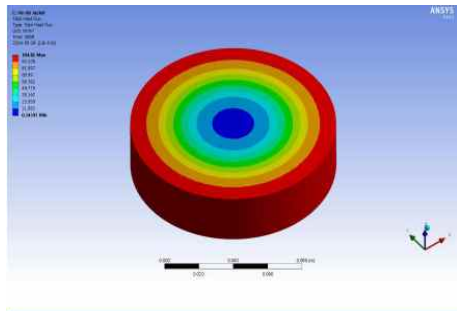


Fig. 12 Heat flux distribution (non-inflatable, non-contact type)

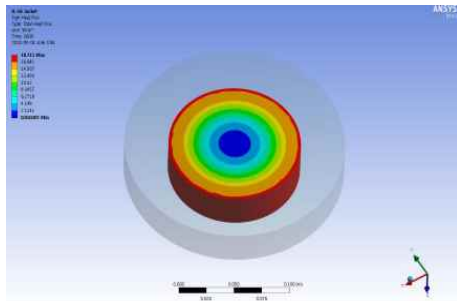


Fig. 13 Heat flux distribution (inflatable, contact type)

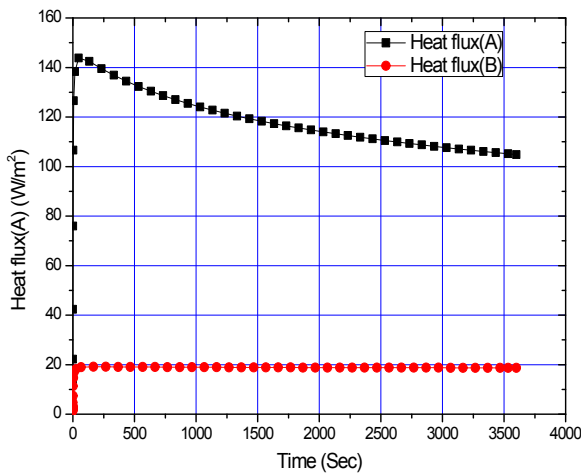


Fig. 14 History of heat flux

시간에 따른 피부의 온도변화를 Fig. 15에서 나타냈다. Type A에서는 피부에서의 온도가 지속적으로 크게 떨어지고 있고, Type B에서는 약간의 변화가 있고 1시간 후에는 1도 정도 떨어지고 있음을 보여주고 있다. 이는 구멍 동의의 신체 밀착 정도가 채운 유지에 가장 중요한 역할을 함을 의미한다고 여겨진다. 따라서 단열 성능도 중요하지만, 신체로부터 손실되는 해수에 의한 대류 열손실을 줄이는 것이 가장 효과적임을 반증한다고 할 수 있다.

Type A 동의에서 공기층 두께에 따른 피부에서의 온도변화를 Fig. 16에 정리하였다. 피부에서의 온도는 1시간 경과 후의 온도이며, 공기층이 50mm 미만에서의 온도 변화량이 50mm 이상에서의 온도 변화량 보다 큰 것을 확인 할 수 있으며, 50mm 이상에서는 공기층의 두께가 온도변화에 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 50mm가 두께를 결정하기 위한 적정 공기층임을 확인 할 수 있다. Type A 동의에서 공기층 두께에 따른 Heat flux 변화량을 Fig. 17에 정리하였다. 역시 Heat flux는 공기층의 두께가 50mm일 때 변화량이 가장 작아지며 이를 통해 적정한 공기층의 두께는 50mm 정도 될 것임을 알 수 있다.

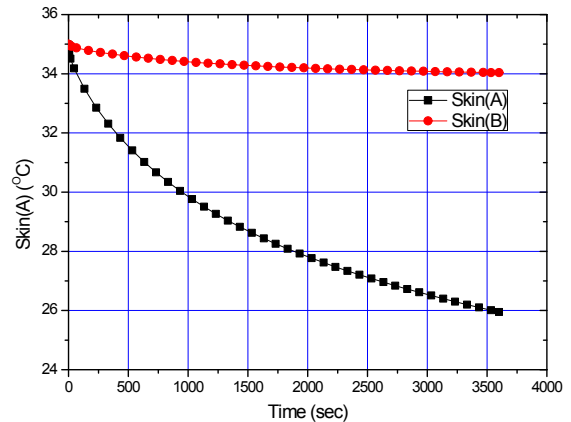


Fig. 15 History of temperature at skin

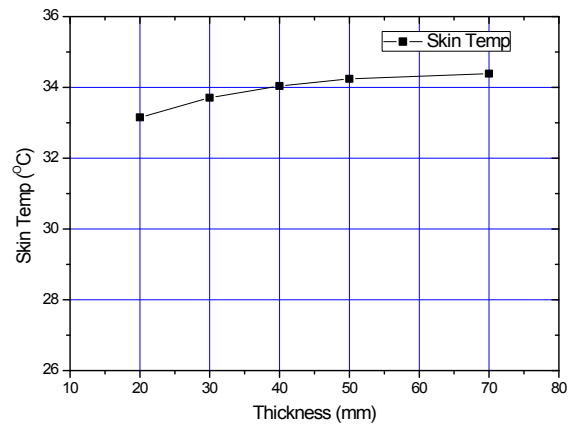


Fig. 16 Effectiveness of air thickness on the skin temperature

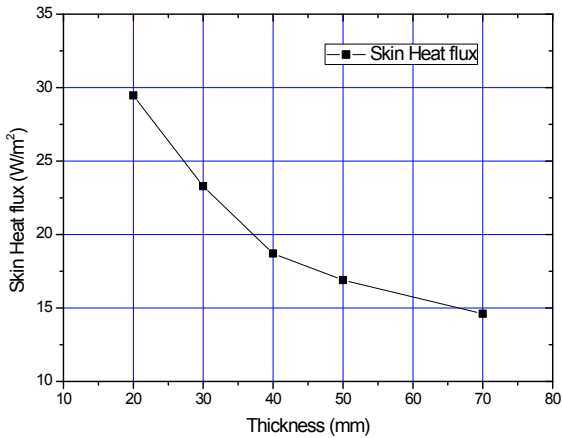


Fig. 17 Effectiveness of heat flux on the skin

본 해석은 팽창형 동의를 신체에 밀착됨으로써 신체 열손실을 최소화할 수 있다는 이상적인 가정을 이용하였기 때문에, 신체가 해수에 직접 접촉될 경우보다 매우 적은 열손실을 보인 것은 당연한 귀결일 수 있다. 그러나 팽창형 동의를 단열에 의한 열손실 방지 효과 보다는 해수의 접촉 차단이 가장 중요한 단열 효과를 보인다는 것을 파악할 수 있었다. 또한 팽창형 동의를의 최적 두께는 약 40~50mm 정도가 적절함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 팽창식 구멍 동의를 개발함에 있어서 단열 효과의 정성적인 경향을 파악하기 위하여 실시하였다. 이를 위하여 비 팽창식 동의를 신체와 해수의 접촉을 막지 못한다는 가정과, 팽창식 동의를 신체와 해수의 접촉을 차단한다는 이상적인 가정을 통해 신체 온도 변화를 분석하였다. 해석을 통하여 동의를의 단열 성능 보다는 해수와 접촉 차단이 효과가 훨씬 크다는 점과 동의를의 적절한 두께 선정 기준을 정리하였다. 그러나 신체 온도 변화에 있어서 정량적인 정확성 보다는 정성적인 변화 위주로 해석한 점은 추후 보완이 필요하며, 실제 동의를의 착용 상태 및 간극을 고려한 열손실에 대한 해석도 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 수산실용화기술개발사업의 지원으로 수행된 '저체온증 예방을 위한 기능성 구멍조끼 개발(과제 번호 : 20130288)'연구의 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

[1] Kim, M. J.(2008), "Numerical Analysis on Body Temperature Change with Heating Life Vest", Journal

of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 14, No. 3, pp. 241-245.
 [2] Kim, K. W., Jang C. M., Park, J. O., and Lee, H. J. (2014), "A Study on the Development of Inflatable Life Raft Performance Criteria for Small Fishing Vessels", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 5, pp. 558-563.
 [3] Mak, L., Kuczora, A., DuCharme, M. B., Boone, J., Brown, R., Farnworth, B., and MacKinnon, S.(2008), "Assessment of Thermal Protection of Life rafts in Passenger Vessel Abandonment Situations", Proceedings of ASME 2008 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers. pp. 389-398.
 [4] Pennes, H.H. (1948), "Analysis of tissue and arterial blood temperatures in resting human forearm", Journal of Applied Physiology, Vol. 1, pp. 93-122.
 [5] Tikuisis, P., Jacobs, I., Moroz, D., Vallerand, A.L., and Martineau, L.(2000), "Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water", Journal of Applied Physiology, Vol. 89, No.4, pp. 1403 - 1411.
 [6] Xu, X., Tikuisis, P., Gonzalez, R., and Giesbrecht, G. (2005), "Thermoregulatory model for prediction of long-term cold exposure", Computers in Biology and Medicine, Vol. 35, No. 4, pp. 287 - 298.
 [7] Xu, X., Turner, C. A. and Santee, W. R. (2011), "Survival time prediction in marine environments", Journal of Thermal Biology, Vol. 36, No. 6, pp. 340 - 345.
 [8] Yildirim, E. D., and Ozerdem, B. (2008), "A numerical simulation study for the human passive thermal system", Energy and Buildings, Vol. 40, No. 7, pp. 1117 - 1123.

Received 19 June 2015
 Revised 25 August 2015
 Accepted 27 August 2015