

밀폐공간 구조 요구자를 위한 더미 표준화 개발 방안

최서연* · 이동호** · 김형준***

*송원대학교 재활보건관리학과 · **인천대학교 소방방재연구센터

***한국건설생활환경시험연구원 방재기술평가센터

Plan for the Development of a Standardized Dummy for Persons in Need of Rescue in a Confined Space

Seo-Yeon Choi* · Dong-Ho Rie** · Hyung-Jun Kim***

*Dept. of Rehabilitation Health Management, Songwon University

**Fire Disaster Prevention Research Center of Incheon National University

***Korea Conformity Laboratories Hazard Mitigation Evaluation Technology Center

Abstract

This study was conducted to develop a dummy in an environment similar to the human body, to prepare a standard for evaluation and to present the process of the production in order to evaluate the performance of the robot that can detect the persons needing rescue in a confined space, who are difficult for fire-fighting officials to rescue in case of fire and disaster.

As a result, a standard for evaluation was developed and standardized into four parts 'Normal,' 'Risk Stage 1,' 'Risk Stage 2' and 'Risk Stage 3' based on the number of breath cycles, carbon dioxide concentration, core temperature and criteria for hearing to recognize the voice. In addition, in order to produce a dummy, fever, breathing capacity and voice output function were compared and analyzed. This study has significance that it built up basic data of the method of producing the actual dummy, by presenting characteristics and controlling methods using the waterproof insulation heating coil for the function, solenoid valve for the consecutive output of breathing capacity and USB program sound board for voice output.

Keywords: Confined space, Person needing rescue, Dummy, Standardization, Scene of a fire, Development

1. 서론

화재 발생은 주거를 비롯한 건물 화재 뿐만 아니라 차량, 철도·선박·항공기 등 발생장소가 광범위해지고 발생 경로 및 유형, 위험성 등이 매우 다양해지고 있다. 이에

따라 화재현장에 투입되고 진압, 구조 등의 업무를 담당하는 소방공무원의 위험은 더욱 커지고 있으며, 인명 구조에 어려움을 겪고 있다.

이에 국가에서는 인명을 탐색하고 효율적으로 구조 로봇을 개발하였으나 아직까지 로봇이 현장에 투입되지 못하고 있어

† 연구는 국민안전처 소방안전 및 119 구조·구급기술연구개발사업("NEMA-차세대-2014-58")의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

† Corresponding Author : Dong-Ho Rie, Fire Disaster Prevention Research Center of Incheon National University.

Received October 20, 2016; Revision Received November 30, 2016; Accepted December 16, 2016.

활용성에 문제가 있는 것으로 파악되고 있다.

또한 인명 구조 로봇의 성능을 확인할 수 있는 평가 기준이 제시되어 있지 못하기 때문에 실제 로봇에 대한 성능 평가 항목과 기준이 제시되어야 하며, 극한 상황에서 구조를 요하는 요구조자와 구조를 담당하는 소방공무원의 안전 확보를 위한 활용 방안이 구체적으로 제시되어야 한다.

인명구조 로봇을 평가 방법으로 사용되는 더미(Dummy)는 인체의 기능적인 부분이 반영되어야 하며, 인체의 극한 상황에 대한 표현을 정확하게 인식하고 구조자에게 전달될 수 있는 시스템이 구축되어야 한다.

대부분의 더미는 자동차 사고 및 충격 등을 평가와 흉부 특성, 인체관절 등 인체 기반의 특성 평가를 위한 방법으로 주로 연구되어 왔다. 인명구조와 관련하여 일본에서는 2000년대 초 구조 장비를 평가할 수 있는 더미에 대한 연구 결과를 발표한 바 있으며, 개발된 더미는 인간 모형을 기반으로 원격 측정 센서의 부착, 무선카메라 장착, 위험 상황을 알릴 수 있는 음성 출력, 이산화탄소가 장착되어 있다.

최근 인체에서 자연적으로 발생하는 생체정보를 여러 가지 형태의 센서를 이용하여 측정하고 분석하며 다양한 정보를 제공하는 기술은 유비쿼터스 헬스케어의 성능이 발전함에 따라 실제 로봇의 성능을 평가하고 활용할 수 있는 더미의 개발이 필요하며, 이를 평가할 수 있는 기준 개발이 요구된다.

이에 본 연구에서는 밀폐공간의 요구조자를 탐색할 수 있는 로봇의 성능을 평가할 수 있는 더미를 개발하고 이를 현장에서 활용할 수 있는 평가 방안을 제시하고자 한다. 이를 통하여 화재 및 재난 시 소방공무원 등 구조가 어려운 상황에서 로봇이 쉽게 요구조자를 파악할 수 있는 로봇의 성능 개발의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

2. 연구 방법 및 절차

2.1 연구방법

밀폐공간요구조자 더미개발 과정은 사람의 인체와 가장 가깝고, 화재 현장을 반영하는 특징이 우선적으로 고려되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 첫째, 한국인의 인체 유형에 대하여 조사하고 화재 현장에 반응하는 신체의 특성 표본을 구축하기 위하여 체온, 호흡, 음성 출력(청력)의 기준을 제시하였으며, 둘째, 각 신체 반응에 따른 장비의 개발 방안을 제시하였다.

한국인 인체 유형은 ‘한국인 인체치수조사’ 결과를 기반으로 하였으며, 체온, 호흡 등의 기준은 국민건강

강보험의 ‘건강 in’의 자료와 음성출력 기준의 청력은 산업안전보건법의 소음 기준을 적용하였다.

2.2 연구절차

밀폐공간요구조자의 탐색 로봇의 성능 평가를 위한 더미 개발의 절차는 크게 2단계로 분류된다. 첫째, 밀폐공간요구조자의 상황에 대한 인식 정도를 평가하기 위하여 인체에 대한 크기, 발열, 호흡, 청력에 대한 각각의 평가 방법을 연구한다. 둘째, 더미의 기능에 대한 종합적인 평가 방법을 단계별로 제시한다.

3. 결 과

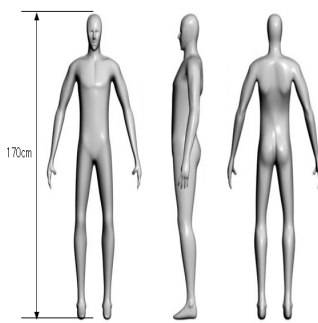
3.1 밀폐공간요구조자 더미의 기준 개발

한국인 인체측정정보를 활용한 성인 남성과 여성의 더미 기준은 20세 이상 39세 이하를 기준으로 Table 1과 남성의 경우 평균 몸무게는 70.0kg, 키는 1724mm, 가슴둘레는 977mm로 나타났고, 여자의 경우 평균 몸무게는 55.3kg, 키는 1598mm, 가슴둘레는 858mm로 나타났다. 밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 신체 기준 표준화는 성을 구분하지 않고 개발하며 <Table 2>와 같이 키는 1700mm, 인간의 기본 골격을 구성하여 사람의 피부와 유사하게 구성하였다.

<Table 1> Korean Body Average(Age: 20-30 basis)

Gen-der	Age	Weight (kg)	Stature (mm)	Bust girth (mm)
Male	20-24	67.7	1734	956
	25-29	70.0	1732	975
	30-34	71.3	1720	990
	35-39	71.4	1708	990
	Total	70.0	1724	977
Fe-male	20-24	54.4	1607	846
	25-29	54.2	1599	876
	30-34	56.0	1596	863
	35-39	56.7	1592	879
	Total	55.3	1598	858

<Table 2> Standardized Dummy for Persons in Need of Rescue in a Confined Space

Division	Dummy standard	
Gender	Unisex	
Weight (kg)	20±2	
Stature (mm)	1700±20	
Bust girth (mm)	95±5	

3.2 밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 체온 표준화

인체는 여러 곳에서 온도에 대한 감각을 느끼게 되는데 온도에 대한 감각은 추위와 더위라는 두 종류로 크게 나뉘고 온도-감각 센서를 통해 그 정보를 이용하게 된다. 감각체는 전기생리적 활동성을 통해 확인하게 구분이 되어서는 즉, 각각의 감각체들은 그 활동성을 발현하는 온도범위가 서로 다르기 때문에 온도영역별로 각기 다른 반응을 보이게 된다. 온도감각체가 최대한의 반응을 일으키는 온도영역은 추위의 경우 25~30℃이며, 더위의 경우는 약 40℃로 최대반응의 영역이 사람으로 하여금 온도를 최대한 민감하게 느끼게 하는 것과는 일치하지 않는다. 이는 일정한 온도에 대한 온도감각은, 적응이라는 특성도 존재하지만, 또한 연속반응(continum)이라는 특징을 소유하고 있기 때문에 온도감각체가 각기 최대의 긴장성활동을 수반하는 범위가 존재하기는 하지만, 인체의 주요 피부온도범위는 30~40℃에서는 이들의 긴장성활동이 상당부분 중첩되고 동적반응의 정도는 적응온도에 따라 다르며 온도변화의 폭과 율에 의존한다. 더미제작을 위한 체온 설정은 열선을 이용한 온도 제어 보드를 사용하여 사람과 유사한 체온을 유지하는 것이 중요하며, 인체 체온 범위는 일반적인 사람의 정상 체온의 경우 36.5℃(35.8~37.2℃), 피부의 온도는 33.9℃로 정상 체온인 36.5℃ 보다는 더 낮다. 사람의 정상 체온이 35℃ 이하로 떨어지거나 42℃를 넘으면 생명이 위급상태로 평가된다.

밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 체온 표준화는 Table 3과 같이 36~37.5℃ 정상 37.5℃ 이상으로 39℃기 넘는 경우 위험, 35℃ 이하의 경우 위험으로 평가한다.

<Table 3> Body temperature (heat) standard

Central body temperature (°C)	Symptoms and Signs	Action plan	Evaluation
40≤	Spasm and stiffness	42℃≤ Life threat	Danger
		Serious failure, Body organ damage, Mortality rate 50 to 90%	
39≤	Dehydration		Normal
37.5	Normal		
36	Feeling cold		
35	Body tremor		Danger
34	Abnormal behavior	Hypothermia below 35 °C	
33	Muscle stiffness		
32	Stop shaking	Emergency Hospital Transportation	
31	Conscious disability		
30	Unconsciousness		Danger
29	Pulse and respiratory depression		
28	Cardiopulmonary arrest		

3.3 밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 호흡 표준화

운동이나 정서적 흥분 등으로 증가하며, 수면 중에는 감소하고 호흡수도 어린이일수록 증가하고, 나이가 증가함에 따라 감소한다. 밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 체온 표준화는 호흡수를 기준으로 하며, 성인은 12~20회/분, 65세 이상 노인 10~16회/분, 어린이 30~40회/분으로 이 영역을 벗어나 부분은 비정상적인 영역으로 평가한다. 이산화탄소 분포도는 <Table 4>, <Table 5>와 같이 인체 내 3%를 넘어서면 비정상 영역으로 평가한다.

<Table 4> Breathing standards

Division	Number of breaths (minutes)	Evaluation
adult	12-20	Normal
Over 65 years old	10-16	
child	30-40	

<Table 5> Carbon dioxide standard in human body

Density (%)	Symptom	Evaluation
3	Increased respiratory rate, warm feeling of face	≤3% normal
4	hyperpnea, headache, dizziness, facial flushing, whim, blood pressure rise	
5	Nausea, fever, vasodilation, nausea, vomiting	
6	Unconsciousness	
8	Lung congestion, difficulty breathing	
10	Loss of consciousness within minutes	
20	Breathing, pulse, concentration loss	
30	Loss of consciousness with little breathing, risk of death in a short time	
50	Coma, death	

3.4 밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 발성 인식(청력)표준화

인간의 귀는 0-120 dB(A)까지 상당히 다양한 크기의 소리를 들을 수 있는데, 이는 아주 작은 소리에서부터 통증을 느낄 정도의 소리까지 다양하며, 정상인의 와우각(cochlea)은 대략 20~20,000Hz까지의 주파수 범위를 지각하고 인간의 언어를 자각하기 위해서 가장 중요한 영역은 500~3,000 Hz 범위이다. 밀폐공간요구조자 더미 개발을 위한 체온 청력 표준화는 <Table 6>과 같이 더미의 청력의 인식 영역은 140dB 이상 고음(통각 역치), 60~80dB 정상, 60dB 이하 저음 영역으로 나누어 평가한다.

<Table 6> Hearing(voice output) standard

dB	Examples of everyday life	Evaluation
0	A very faint sound	bass
30	Whispers, quiet library	
40	Bass conversation	
50~60	Everyday conversation	normal
60~80	Normal conversation	
120	Shock noise	Treble
140	Pain threshold	

3.5 밀폐공간요구조자 로봇 성능 평가를 위한 더미 기준

밀폐공간 요구조자 탐색 로봇의 성능 평가를 위한 더미의 기준은 Table 7과 같이 총 7단계로 분류되며 평가는 ‘정상’, ‘위험1단계’, ‘위험2단계’, ‘위험3단계’의 4단계로 구분된다.

4. 결론

본 연구는 최근 대형화, 다양화 되고 있는 화재 및 재난 상황에서 구조자가 접근하기 어려운 여러 상황 속에서 요구조자를 구조를 위한 로봇의 성능 평가를 위한 더미의 기준을 제시와 더미 개발을 위한 조건을 연구하였다.

본 연구 결과 호흡수, 이산화탄소농도, 중심체온, 음성을 인식할 수 있는 청력기준을 중심으로 ‘정상’, ‘위험 1단계’, ‘위험 2단계’, ‘위험 3단계’의 4부분으로 평가 기준을 제시하였다.

또한 밀폐공간요구조자 탐색 로봇의 성능 평가를 위하여 한국인의 신체 유형과 발열, 호흡, 음성출력 인식 탐색의 청력 개발을 위한 제작 모형을 제시하여 활용 가능한 더미 제작 연구의 기초 자료를 제공하였다는데 그 의의가 있다.

밀폐공간요구조자 탐색 로봇의 성능 평가를 위한 더미는 첫째, 한국인의 신체 유형을 기반으로 제작되어야 하며, 성능 제어 프로그램을 기준으로 발열에 있어서 전기저항이 적고 균일한 발열, 최적화된 발열 상태를 단시간에 제시할 수 있어야 한다. 호흡은 연속유량 공급 및 휴대용이 가능하도록 더미에 삽입하는 구조가 되어야 하며, 호흡 발성은 청력 기준에 부합하도록 개발되어야 한다.

<Table 7> Standard for robot assessment piles for people who need rescue in a confined space

Level		Number of breaths	CO2(%)	Central body temperature(°C)	dB	Symptoms and Signs	Evaluation
S		0-5	30-50	42≤	0	42°C≤ life threatening	Danger Level 3
A	adult	≤8 or 30≤	10-20	40-41.5	1-10	Serious disability, Organ damage, mortality rate 50-90%	Danger Level 2
	Over 65 years old	≤6 or 20≤					
	child	≤10 or 50≤					
B	adult	≤10 or 30≤	4-9	38-39.5	30-40	dehydration	Danger Level 1
	Over 65 years old	≤8 or 18≤					
	child	≤20 or 40≤					
C	adult	12-20	Less than 3%	36.5-37.5	More than 50	normal	Normal
	Over 65 years old	10-16					
	child	30-40					
B	adult	≤10 or 25≤	4-9	33.5-36	30-40	Cold, body trembling, abnormal behavior	Danger Level 1
	Over 65 years old	≤8 or 18≤					
	child	≤20 or 40≤					
A	adult	≤8 or 30≤	10-20	30.5-33	10-20	Muscle stiffness, trembling stop, mental and physical impairment, conscious disability	Danger Level 2
	Over 65 years old	≤6 or 20≤					
	child	≤10 or 50≤					
S		0-5	30-50	27.5-30	0	Unconsciousness, pulse and respiratory depression, cardiopulmonary arrest	Danger Level 3

5. References

- [1] Gwonyoung, Kim(2012). "A study on the fire safety management of high rise buildings : rapid on-site in conjunction with the building official approaches" Kwangwoon University
- [2] Jaehak Gu(2008). "Development of Packed Bed Lung Model for the Deposition Studies of Fire Smoke" . 『Transactions of Korean Institute of Fire Science & Engineering』 22(2):121-128
- [3] Van Rooij, L., Bhalla, K., Meissner, M., Ivarsson, J., Crandall, J., Longhitano, D., & Kikuchi, Y.(2003). "Pedestrian crash reconstruction using multi-body modeling with geometrically detailed, validated vehicle models and advanced pedestrian injury criteria" , 『In Proceedings of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles』 , 19-2.
- [4] Matsui, Yasuhiro, Adam Wittek, and Atsuhiko Konosu(2002) "Comparison of pedestrian subsystem safety tests using impactors and full-scale dummy tests" . 『SAE Technical Paper』
- [5] Intaek Lee, Chirag S. Shah, Suraush Khambati, Brock Watson, Nishant Balwan, Zaifei Zhou, Fuchun Zhu, Shiva Shaetty(2014). "Latest models status of the Harmonized HIII 50th and THOR-M crash test dummies for New safety assessment crash test configuration" , 『Korean Society of Automotive Engineers Workshop』 ,49-65.
- [6] Sojeong Sim, Siu Kim(2012). "The Analysis of neck injury criteria on BioRIDII in rear-end collision" , 『Korean Society of Automotive Engineers Symposium』 , 1048-1052.
- [7] Minyong Lee(2007). "The development of human shape dummy for the comfort assessment of passenger car seat having posture monitoring system" , Kangwon University
- [8] Yohan Park, , Daun Choi, Junho Cheon, Gyeonghan Yoon, Bujung Yong(2010). "The Study for Thorax Characteristic Analysis Using by the Rib Loadcell" 『Korean Society for Precision Engineers Meeting and Spring Conference』 ,1367-1368
- [9] Sijung Kim, Taeyong Kook(1998). "Motion Control of 3D Human Character Using Motion Database" , 『Korea Multimedia Society Meeting and Spring Conference』 , 262-267
- [10] Yongtae Kim(2008). "A Study on the Development of the Human Body Model for Electric Shock Mechanism Incarnation" Seoul National University of Science and Technology
- [11] F. Konietzny, H. Hensel(1977). "The dynamic response of warm units in human skin nerves" 『Pflügers Archiv January』 , 370(1):111-114.
- [12] Masutani, Y., Osuka, K., Kurisu, M., Doi, T., Kaneda, T., Zheng, X. Z., & Azuma, T.(2003). "Development of a standard robotic dummy for the purpose of evaluating rescue equipment and skill" , 『In Intelligent Robots and Systems』 , 4:3404-3409.
- [13] Bongse Son, Seokhwan Oh, Yeoprae Kim(2012), "A Study on Measures to Achieve Performance and Safety of Air Respirators for Fire Fighters" , 『Korean Institute of Fire Science & Engineering』 26(4):77-81.
- [14] <http://sizekorea.kats.go.kr/>
- [15] <http://hi.nhis.or.kr/main.do>

저자 소개

최서연



단국대학교 공업화학과(공학사),
고려대학교 대학원 보건학 석사,
인하대학교 대학원 산업공학과 박사,
인하대학교 대학원 의학과 박사 취득.

현재 송원대학교 재활보건관리학과
조교수로 재직.

관심분야 : 산업보건, 인간공학

김형준



영남대학교 건축공학과 졸(공학사),
경북대학교 건축공학과 석사,
도쿄대학교 건축공학과 연구생 과정,
도쿄대학교 건축공학과 박사 취득.

현재 한국건설생활환경시험연구원
방재기술평가센터 선임연구원

관심분야: 소방특수장비, 화재안전표준화

이동호



인하대학교 기계공학 석사졸업,
일본 동경농공대학 기계시스템
공학박사. 현재는 인천대학교 안전
공학과의 교수. 소방방재연구센터
터장

관심분야 기계시스템 및 소방 분야