

한국형 체감온도지수 개발연구(III) - 체감온도지수 개발을 위한 예비실험 -

박종길¹ · 정우식^{2,*} · 김병수³ · 윤숙희⁴ · 이종태⁵ · 남재철⁶ · 류상범⁷ · 김은별² · 박길운² · 송정희²

¹인제대학교 환경공학부, ²대기환경정보공학과, ³데이터정보학과, ⁴간호학과, ⁵예방의학과,
대기환경정보연구센터, 621-749 경남 김해시 어방동 607

⁶기상청 국제협력담당관실, ⁷수원기상대, 150-720 서울시 동작구 신대방동 460-18

A Study of the Development of a Korea Wind Chill Temperature Index (II) - A Preliminary Study of the Development of the Korea Wind Chill Temperature Index -

Jong-Kil Park¹, Woo-Sik Jung^{2,*}, Byung-Soo Kim³, Sook-Hee Yoon⁴, Jong-Tae Lee⁵,
Jae Cheol Nam⁶, Sang Boom Ryoo⁷, Eun-Byul Kim²,
Gil-Un Park², and Jeong-Hui Song²

¹School of Environmental Sciences Engineering, ²Department of Atmospheric Environment
Information Engineering, ³Department of Data Science, ⁴Department of Nursing,

⁵Department of Pre-Medicine, Atmospheric Environment Information Research Center,
Inje University, Gimhae 621-749, Korea

⁶Director for International Cooperation, ⁷Suwon weather station, Korea Meteorological Administration,
Seoul 156-720, Korea

Abstract: This paper aims to develop a Korea wind chill temperature index using an experimental method. For this, the researchers carried out a preliminary experiment in order to offer provisions necessary for the selection and safety of test participants, accuracy of experiment, and readiness for various situations that may occur during experiment. The researchers also investigated test subjects' safety and experiment conditions in which wind speed changes from calm condition into strong wind speed condition under the constant air temperature of 5°C. The results of this study are as follows. With regard to the variation of facial skin temperature such as forehead, cheek, nose, and chin, the skin temperature of cheek closely appears to depend on the change of air temperature and wind speed, exhibit a stable variation trend of skin temperature, and indicate the lowest temperature than any other facial parts. The skin temperature of women tends to be more sensitive than that of man and the skin temperature of human tends to decrease at weak wind speed under constant air temperature. It was also found that it is not necessary to take the influence of standard wind speed into consideration when a wind chill index is developed.

Keywords: Korea Wind Chill Temperature Index, Accuracy of experiments, Preliminary experiment, standard wind speed, experiment conditions

요 약: 실험을 통한 한국형 체감온도지수를 개발하기 위하여 실험을 수행할 경우 필요한 피험자의 선발과정, 실험의 정확도, 피험자의 안전 및 실험에서 발생하게 될 여러 가지 상황을 대비하기위해서 예비실험을 실시하였다. 예비실험에서는 저온에 의한 인체의 영향을 최소화하기 위해 영상 5°C에서 풍속을 무풍에서 강풍으로 변화시키면서 실험조건과 인체의 안전에 대해 살펴보았다. 그 결과, 안면부 부위별 피부온도변화의 경우 얼굴의 오른쪽 부위가 기온과 풍속변화에 가장 민감하여 안정적인 변화경향을 나타내었으며 모든 피험자가 얼굴의 오른쪽 부위에서 가장 낮은 온도를 보였다. 성

*Corresponding author: wsjung1@inje.ac.kr

Tel: 82-55-320-3932

Fax: 82-55-321-3252

별에 따른 차이에서는 여성이 남성보다 더 민감하게 반응하였으며, 약한 풍속에서 피부온도가 크게 변화함을 알 수 있었으며, 기준풍속에 따른 영향은 체감온도지수 개발시 고려하지 않는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

주요어: 한국형 체감온도지수, 실험의 정확도, 예비실험, 실험조건, 기준풍속

서 론

체감온도지수(Wind Chill Temperature Index, WCTI)는 겨울철의 한기와 바람에 노출된 피부에서 빼앗기는 열손실율을 추정하여 느끼는 추운 정도를 나타내는 지수로서 인체가 온도와 바람에 의해 느끼는 추위의 정도를 알기 쉽도록 정량화한 것이다.

이러한 체감온도에 대한 연구는 1945년 Siple과 Passel이 남극의 West Base에서 플라스틱 실린더를 이용한 실험을 통해 한랭기후에서 기온과 바람에 기인한 냉각효과를 이용한 최초의 체감온도지수를 제안함으로써 시작되었다. 그 후에도 Siple과 Passel 모델을 기초로 하여 Steadman(1971), Bluestein and Zecher(1999), Osczevski(2000) 등에 의해 최초 제안된 체감온도지수를 향상시키는 연구가 진행되었지만 정확한 체감온도를 계산할 수 있도록 모델 개선의 요구가 있어왔다. 이에 2001년 미국 국립기상국(National Weather Service, NWS)과 MSC(Meteorological Services of Canada)에서는 새로운 모델을 개발하기 위한 연구팀인 JAG/TI(Joint Action Group for Temperature Indices)를 구성, JAG/TI 모델을 개발하였다. 이전의 모델은 실린더나 열평형 이론을 토대로 도출되었지만 JAG/TI 모델은 사람을 대상으로 하는 실험에 의해 도출되어 보다 정확한 모델로 평가받고 있으며, 현재 우리나라에서도 이 모델을 이용하여 체감온도를 계산하고 있다.

그러나 JAG/TI 모델은 서양인(캐나다인)을 대상으로 실험하여 얻은 데이터를 분석하여 만든 모델이므로 개인 특성에 따라라도 체감정도가 다를 수 고려할 때, 이 모델을 한국인과 같은 동양인에 대해서 아무런 검정이 없이 적용하는 것은 그 실효성에 의문이 가므로 신체구조나 체감정도가 다른 동양인을 대상으로 실험을 통해 체감온도를 추정할 수 있는 한국형 체감온도지수를 개발하고자 한다. 이에 따라 국내에서 이루어진 체감온도 실험과 관련된 선행연구를 살펴보면, 성유진과 이순원(1997)은 추운 환경에서 노출된 인체 부위별 체온조절 반응에 대한 연구에서 이마가 다른 손, 목, 발 등에 비해 노출 후 피부온도

감소가 가장 작았으며 피부온도 인체 체온조절에 중요한 역할을 한다고 밝혔고, 금중수 외(1988)가 한국인을 대상으로 온열 쾌적성을 평가를 실시하였으며, 김동규와 정용현(2005)은 대류난방 시 실내 열환경에 관한 연구에서 풍속이 증가함에 따라 피부온도가 감소하여 쾌적감이 줄어들고 풍속에 따라서 쾌적 실내온도가 달라진다는 정보를 제공하고 있다. 이러한 연구들은 체감온도 보다는 사람이 느끼게 되는 쾌적감에 초점을 두거나 착복량에 따른 피부온도의 변화를 살펴보기 위한 실험으로서 JAG/TI 모델 개발 시 실시한 실험과는 차이가 있다.

이에 따라, 한국인에 맞는 한국형 체감온도지수를 개발하는 기초 작업으로서 한국의 젊은 남녀를 대상으로 직접 풍동시험실 내에서 기온과 풍속에 따른 피부온도의 변화실험이 필요하게 되었다. 그러나 앞서 선행연구를 살펴본 바와 같이 현재 국내에서는 체감온도지수 개발을 위한 실험이 실시된 적이 없으므로 실제 실험상황에서 일어날 일들에 대한 정보가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 한국형 체감온도지수 개발을 위한 예비실험으로서 인체에 영향이 없다고 판단되는 영상 5°C에서 풍속을 변화시켰을 때, 실험환경조건 및 각 sensor의 검증, 각 부위별로 피부온도 측정이 원활하게 이루어지는지, 실험 시에 어떠한 상황이 발생할 수 있는지를 사전에 파악하여 본 실험을 위한 계획 및 실험 시 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

연구방법

피험자 선발

피험자는 모집단의 대표성을 가져야 하므로 전문가의 자문 및 수차례의 논의를 통해서 한국인을 대표한다고 판단되는 가장 활동량이 많은 20대 남녀를 대상으로 결정하였다. 이에 따라 실험에 들어가기 3개월 전에 지원자 모집공고를 통해 18명의 대학생을 선발하고, 본 실험이 국내 최초로 실시되는 실험인 점을 고려하여 저온과 강풍으로 인한 피험자의 위험도를 줄이고자 다음과 같은 선발 과정을 거쳤다.

신체 건강한 성인 남녀를 선발하기 위하여 모집된

Table 1. Anthropometric data of the subjects

Male				Female			
Subjects	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Subjects	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)
M1	26	175	72	W1	21	170	67
M2	20	173	69	W2	23	161	60
M3	24	168	64	W3	21	168	64
M4	25	175	63	W4	19	159	59
M5	23	175	65	W5	20	161	55
M6	26	175	78				
M7	20	169	71				
Mean ± SD*	23.4 ± 2.57	172.9 ± 3.08	68.9 ± 5.34	Mean ± SD*	20.08 ± 1.48	163.8 ± 4.87	61.0 ± 4.64
Statistics of all subjects	Age (year)		Height (cm)		weight (kg)		
	22.3 ± 2.50		169.1 ± 5.96		66.6 ± 6.30		

*SD = Standard Deviation

피험자의 신장과 체중을 측정하고 인제대학교 백병원에서 종합검진과 설문조사를 실시하여 실험에 적합하다고 판단되는 12명(남성 7명, 여성 5명)을 최종 선발하였다.

선발된 피험자들에게는 본 연구의 성격, 목적, 실험참여 시간, 본인이 해야 할 일 그리고 본인의 건강과 관련하여 어떤 불편함이나 원하지 않는 결과를 초래할 수 있다는 사실에 대해 충분히 숙지하게 하였고, 문답 과정을 거쳤다. 그 후, '연구 참여 동의서'에 스스로 서명하도록 하였으며, 학생 실험실습 종합보험을 가입하여 사고시의 보상에 대비하였다. 또한 실험으로 인한 신체적 장애를 극복하기 위해 실험 3주 전부터는 금연하도록 하였고, 실험 1주전부터는 금주하여 신체에 부담을 주지 않도록 하였다.

실험에 참여한 피험자의 나이 및 신체적 특징을 살펴보면(Table 1), 남녀가 평균적으로 22.3세에 키는 169.1 cm, 몸무게는 66.6 kg으로 나타났다. 선발된 피험자들의 신장과 체중이 우리나라 20대를 대표할 수 있는지를 알아보기 위해 산업자원부(2005)에서 제공하는 '제5차 한국인 인체치수 조사 자료'를 이용하여 검증하였다. 자료에 의하면 20~24세의 평균 신장은 여자가 160.7 ± 4.94 cm, 남자가 173.8 ± 5.83 cm 이었고, 평균체중은 여자가 53.5 ± 7.12 kg, 남자가 69.5 ± 10.2 kg이었다. 본 실험에 참가한 남성과 여성의 신장, 남성의 체중은 범주에 포함되었으며, 여성의 체중은 약간 초과하는 것으로 나타났으나 75~90th percentile내 포함되어 대체로 한국의 20대 성인임을 만족하고 있었다.

JAG/TI 실험의 경우에도 12명(남성6, 여성6)의 자

원봉사자들이 실험에 참가하였는데 이들의 나이는 22~42세까지이며 평균 33세였다. 키와 몸무게로 산정되는 체질량지수(Body Mass Index, BMI)의 범위는 18.5~32.5이였으며 평균 25.2로 나타나 다소 비만이 었다(산자부, 2004). 이에 비해 본 연구실험에 참여한 지원자들은 19~26세까지로 젊은 층에 속하였으며, 평균 22.3세였다. BMI는 20.6~24.9 범위로 평균 22.9를 나타내 저체중은 아니나 비만으로 분류되지 않았으며 JAG/TI 실험 자원자에 비해 비만도가 작아 체표면적이 작게 나타났다.

풍동실험실 환경

체감온도지수 개발을 위한 실험은 일정온도를 유지한 상태에서 풍속에 따른 사람의 피부온도의 변화를 측정하고자 한 것으로 영상에서 영하까지 온도 조절이 가능하고 풍속은 0~25 m s⁻¹까지 조절이 가능하여야 한다. 이러한 실험조건을 고려한 풍동시험실의 제원은 Table 2와 같다. 풍동의 크기는 6 × 15 × 4 m로 모든 벽과 천정, 바닥은 단열처리 되어 벽면의 온도와 실내의 공기온도가 거의 같도록 유지된다. 온도 제어범위는 -40~60°C이고, 풍속은 약 140 km h⁻¹ (38.89 m s⁻¹)까지 조절이 가능하다(Table 2).

Table 2. Specifications of Environment laboratory

Items	Specification
Dimension	6(w) × 15(l) × 4(h)m and Spare Chamber
Control temperature	-40°C~+60°C
Relative Humidity	20%~90%
Maximum wind speed	140 km h ⁻¹ (about 38.89 m s ⁻¹)

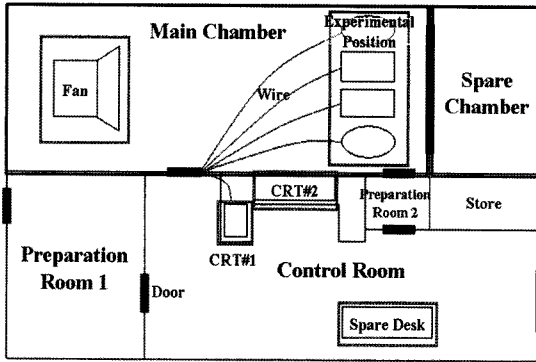


Fig. 1. Scheme of a wind tunnel.

풍동 내부는 Fig. 1에서 나타난 것과 같이 주 챔버 (main chamber)와 보조 챔버, 2개의 실험 준비실, 풍동제어실 그리고 창고로 구성되어 있다. 실제 실험이 실시된 주 챔버에서는 바람 발생기에서 생성되는 바람이 4명의 피험자에게 일정한 풍속으로 전달될 수 있도록 하기 위해 바람 발생기와 피험자 사이에 일정 거리를 유지하였다. 그리고 선행연구에 따라 운동량 정도에 따른 피부온도 변화를 함께 고려하기 위해 피험자가 위치하는 곳의 중앙에 2대의 트레드밀 (treadmill)을 설치하고 양옆으로 2명의 피험자가 설 수 있게 하였다. 실험에서 측정된 자료는 풍동제어실에 위치한 CRT#1에 연결되어 매 10초 간격으로 자료가 입력되게 하였으며, CRT#2에서는 풍동실험실내의 온도와 풍속을 조절하였다.

피부온도 센서

피험자의 안면 피부온도를 측정하는 센서는 Omega Engineering Inc.(www.omega.com)의 Self-Adhesive

Table 3. Specifications of Sensors

Specifications	Contents
Wire	30 AWG (0.010 dia), Teflon coated, 36" long
Pad/Adhesive Material Rating	-103 to 350°F (-75 to 177°C)
Pad Materials (Fig. 2-b)	Upper Pad: Fiberglass Cloth Lower Pad: High Performance Polyimide Film Adhesive Backing: Silicone Polymer
Dimension (Pad)	0.75" × 1.00" × 0.012"

Thermocouples(SA1 Series)의 T-Type(Copper Constantan) Thermocouple을 사용하였고, sensor에 대한 제원과 모양은 Table 3과 Fig. 2에 제시하였다.

센서는 피부에 잘 부착될 수 있도록 접착성 폴리머 재질을 사용하였으며 센서의 아래 위 패드는 고성능 폴리머 필름과 유리섬유 재질로 구성되어 있으며, 측정 범위는 소수점 둘째 자리이다.

실험과정 및 측정항목

실험은 2005년 5월 23일 경기도 화성에 위치한 교동안전공단 자동차성능시험연구소에 있는 풍동시험실에서 실시되었다. 예비실험은 본 실험을 실시하기 전에 실시하게 되는 사전 실험으로서 본 실험의 원활한 진행과 안전성을 높이는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 예비실험에서는 최종 선발된 12명의 피험자 중 무작위로 8명을 선정한 후 2개의 조를 편성하여 실험을 실시하였다(Table 4 참조).

국내에서 최초로 실시되는 실험이기 때문에 피험자의 안전을 고려하여 예비실험에서는 0°C 이하의 저온에 의한 피험자의 건강에 영향을 미치지 않도록 풍동시험실의 기온은 5°C로 유지하고 풍속만 변화시

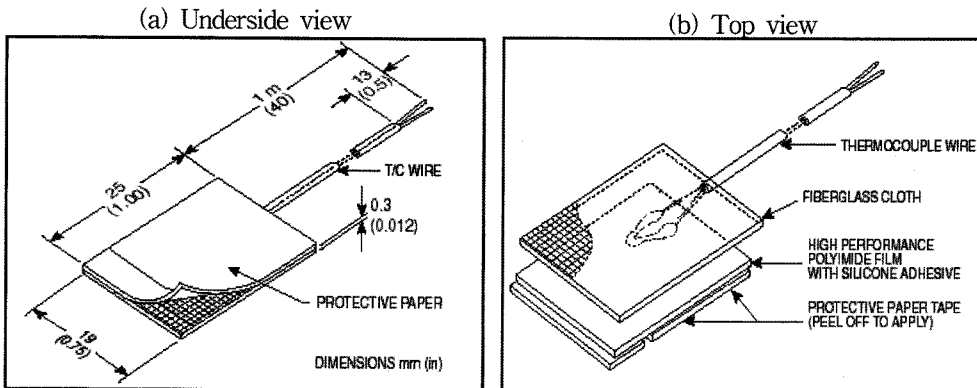


Fig. 2. Super- (a) and sub-structure (b) of SA1-T sensor.

Table 4. Organization of experimental objects

Team	Objects			
	1	2	3	4
A	W2	M1	M2	W1
B	M5	M3	M4	W3

주) M: man, W: woman

1번: treadmill 위에서 2 km h⁻¹의 속도로 운동하는 피험자
 2번: Tradmill 위에서 4.7 km h⁻¹의 속도로 운동하는 피험자
 3번, 4번: 운동을 하지 않고 가만히 서있는 피험자
 W1~W3 및 M1~M5: Table 3에 표기된 피험자

켰다. JAG/TI 모델의 실험에서는 풍속을 2, 6, 8 m s⁻¹로 하였지만 예비실험을 실시하기 전 실시한 사전 연구(박종길 외, 2007)에서 한반도내에서 발생하는 풍속을 알아본 결과 산간지역과 해안도시지역에서는 풍속이 8 m s⁻¹ 이상으로 나타나는 경우도 발생하였기 때문에 본 실험에서는 13 m s⁻¹의 조건을 추가하였다. 그리고 강한 풍속에 바로 노출되었을 때와 무풍에 노출되었을 때의 피부온도 변화의 차이가 어느 정도인지 알아보기 위해서 A조와 B조의 풍속 변화 단계를 다르게 설정하였다. A조는 바람에 순응하도록 풍속을 0, 2, 6, 8, 13 m s⁻¹로 증가시켰고, B조는 풍속을 6, 8, 13 m s⁻¹까지 증가시켰다가 0, 2 m s⁻¹의 순서로 바뀌가며 각 풍속단계별 30분간으로 하여 한 팀이 총 2시간 30분 동안 실험을 실시하였으며(Table 5), 피부온도는 10초 간격으로 측정되어 제어실내 data logger에 저장하였다.

겨울철 실외 활동 시에는 가만히 서 있는 경우도 있지만 주로 걸거나 움직이게 된다. 이때 풍속이 없더라도 사람이 걷게 됨으로서 기준풍속이 발생하게 되므로 각 조의 피험자들은 기준풍속의 유무에 따라서 피부온도 변화의 차이가 어떠한지를 알아보하고자 하였

는데, JAG/TI 모델실험에서는 기준풍속을 4.7 km h⁻¹ (1.33 m s⁻¹)로 정의하고 있어 본 예비실험에서도 동일한 실험조건을 적용하였다. 그러나 실제 피험자가 JAG/TI 실험에서 제시되는 조건으로 도보를 실시하였을 때 속도가 빨라서 피험자들이 자연스럽게 걷기에는 무리가 있다고 판단하여 피험자들의 일반적인 도보 속도를 고려하여 2 km h⁻¹의 조건을 추가하였다.

따라서 기준풍속에 따른 피험자의 피부온도 측정은 Table 4와 같이 위치에 따라서 각각 2 km h⁻¹(1번)와 4.7 km h⁻¹(2번)로 걷게 하고 나머지 2명(3,4번)은 가만히 서 있게 한 후 (Fig. 3) 실험을 진행하도록 하였다.

실험에 참가하는 피험자는 센서부착과 의복착용에서 개인차가 발생하는 것을 방지하기 위해서 다음과 같은 조건을 설정하였다. 피험자의 피부온도를 측정하기 위한 센서는 JAG/TI에서 실시한 실험과 동일하게 1인당 4개씩을 각각 이마, 코, 얼굴의 오른쪽 부위, 턱에 부착하였다(Fig. 4). 이때 측정되는 자료의 정확도 향상을 위해 피부의 이물질들을 제거함으로써 센서의 밀착력을 높였다. 영상 5°C에서 실시되는 실험이지만 풍속의 증가에 따른 피부온도 감소에 대한 사전 정보가 없기 때문에 각 피험자들은 방한복, 방한화 그리고 장갑을 착용하게 하여 피험자의 안전을 고려하였다. 이와 더불어 실험 전후로 혈압, 맥박, 체온을 측정하여 풍속 환경에 노출된 피험자들의 몸의 이상 유무를 관찰하여 만일의 사고에 대비하였다.

자료처리

풍동실험실에서 직접 측정된 데이터는 다음의 단계를 거쳐 검증을 실시하였다. 먼저 측정과정에서 각 조별 실험이 끝이 나면 데이터를 전송받아 시계열 분포도를 작성하여 개인의 특성을 고려하나 전체적인 온

Table 5. Mean wind speed and air temperature of preliminary experimental setting conditions

Team	Fixed Temp (°C)	Actual Temp (°C)	Setting wind speed		Actual wind speed (km h ⁻¹)	Exposure Time (min)
			m s ⁻¹	km h ⁻¹		
A	5	5.17±1.14	0	0	0.33±0.007	each 30
			2	7.2	8.06±0.75	
			6	21.6	23.01±1.35	
			8	28.8	29.99±0.83	
			13	46.8	46.98±0.79	
B	5	5.05±1.33	6	21.6	23.38±0.66	
			8	28.8	28.39±0.65	
			13	46.8	46.48±1.01	
			0	0	0.33±0.01	
			2	7.2	8.07±0.33	



Fig 3. Position of the experimental objects in the wind tunnel.

도범위를 벗어나는 것은 이상치로 보아 데이터를 삭제하였다. 두 번째로는 각 조의 풍속 단계별 경계치는 풍속이 급변하거나, 풍속의 분산 값이 주변 데이터에 비해 현저히 증가하는 경우로 하였으며 개인별 최종 피부온도가 상승하는 경우 그 이후의 데이터는 삭제하였는데, 이는 추위를 견딜 수 없는 경우 약간의 활동을 피험자에게 허락하였으므로 이로 인한 대사량 증가로 피부온도가 상승한 것으로 판단하였다.

마지막으로는 센서를 몸에 부착하여 풍동시험실에 들어간 후 센서를 data logger에 연결하여 모든 피험자가 동일 시점에서 데이터를 수집하기 전에 생기는 각 피험자의 데이터를 삭제하고, 각 조별 유효 데이터 수를 2/3 이상의 피험자가 실험에 참여하여 데이터가 산출되는 경우까지를 유효 데이터로 간주하고 정리하였다(Lasen, 1973).

이러한 방법으로 데이터를 검증한 결과 Table 6에 서와 같이 각 풍속대별로 수집된 전체 데이터수와 유효한 데이터수 그리고 유효데이터의 백분율을 나타내었다. 그 결과 각 풍속별 각조별 유효 데이터는 98.1~100% 범위이고, 전체적으로 98% 이상의 자료가 유효데이터로 검증되어 데이터의 분석에 사용하는 데는 이상이 없는 것으로 볼 수 있다.

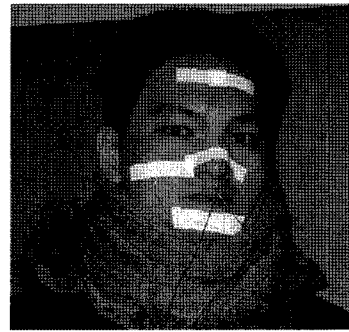


Fig 4. Position of skin temperature measurement.

실험결과

부위별 피부온도변화

시간에 따른 개인의 부위별 온도변화를 살펴보면 (Figs. 5, 6), A조와 B조에서 동일한 센서 부착 부위에 대한 변화 경향은 유사하게 나타났다. 전체적으로 JAG/TI에서 제시되는 것(Fig. 7)과 같이 풍속이 증가함에 따라 피부온도가 감소하는 경향을 뚜렷하게 나타내고 있지는 않았지만 얼굴의 오른쪽 부위에서의 온도변화가 가장 안정적이면서 JAG/TI의 변화 경향과 유사하게 나타났다. 이마와 턱에서는 개인차가 있었지만, 전체적으로 풍속이 강해짐에 따라 비슷한 감소 경향을 보이고 있다. 그러나 코에서는 개인에 따른 온도변화의 차이가 클 뿐만 아니라 풍속이 증가함에 따라 피부온도가 감소 또는 증가하는 경향을 찾아볼 수가 없었다.

이러한 결과는 개인차를 제거하기 위해 조별로 동일한 부위에 대한 피부온도 변화의 평균을 나타낸 그래프에서도 확인해 볼 수가 있다(Fig. 8). 또한 실험 조건을 설정할 때 갑작스럽게 강풍에 노출되었을 때의 피부온도 변화를 살펴보기 위해 초기 풍속을 6 m s^{-1} 로 설정한 B조에서 피부온도의 감소 경향이 뚜렷하게 나타났다. 부위별 피부온도는 이마가 다른 부위에 비해 가장 높게 나타났고 얼굴의 오른쪽 부위

Table 6. The effective data number and percentage of the observed skin temperature

Team	Temp (°C)	Wind Speed (m s ⁻¹)										Total	
		0 m/s		2 m/s		6 m/s		8 m/s		13 m/s			
		Freq	(%)	Freq	(%)	Freq	(%)	Freq	(%)	Freq	(%)	Freq	(%)
A	5	3033	98.2	2716	98.1	2487	98.4	2752	100.0	2832	100.0	13820	98.9
		/3088		/2768		/2528		/2752		/2832		/13968	
B		3097	99.8	2912	100.0	2832	100.0	3025	99.5	2720	100.0	14586	99.8
		/3104		/2912		/2832		/3040		/2720		/14608	

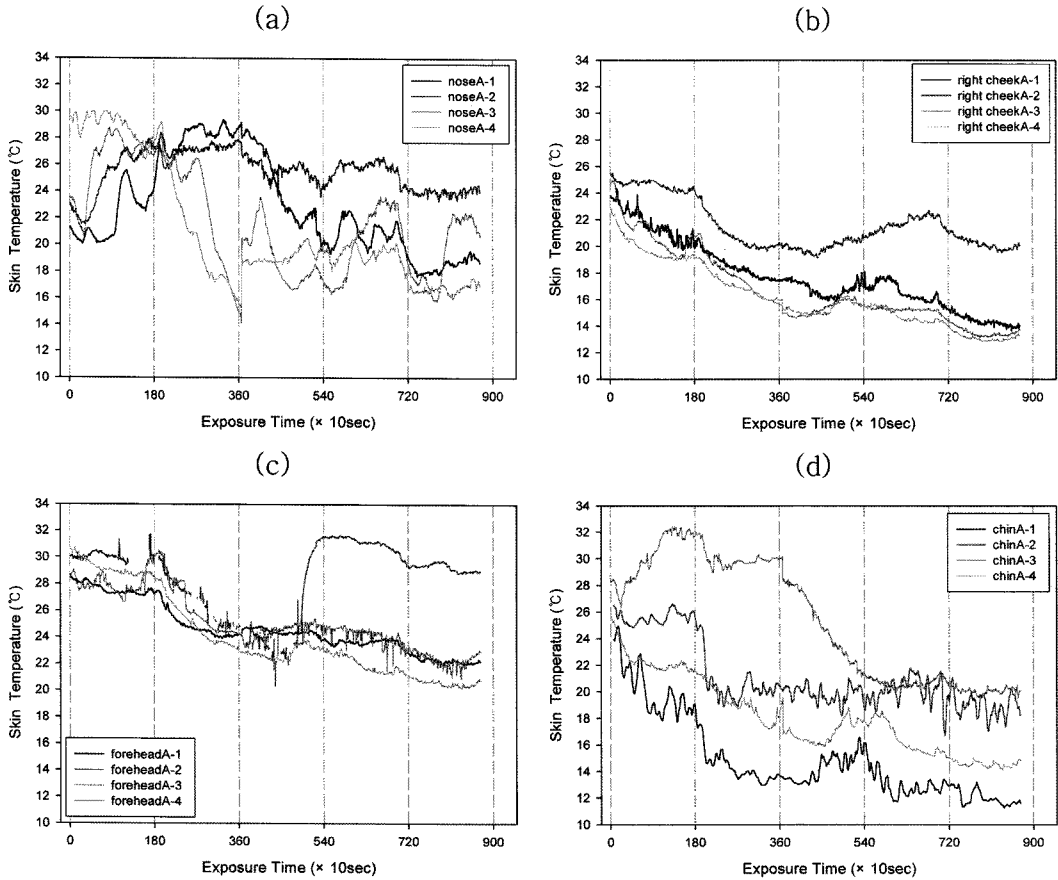


Fig. 5. The change of skin temperature at (a) nose, (b) right cheek, (c) forehead, and (d) chin with wind speed for A team.

가 가장 낮게 나타났다.

성별에 따른 피부온도변화

성별에 따른 피부온도변화의 특성을 알아보기 위하여 이마, 턱, 얼굴의 오른쪽 부위의 피부온도를 평균하여 안면 피부온도로 산정하여 분석을 실시하였다. 이때 앞의 분석결과 개인차가 크고 일정한 변화경향을 나타내지 않는 코의 측정 자료는 제외하였다. 그리고 성 차이를 제외한 다른 조건은 동일하게 유지하기 위해서 기준풍속을 고려하지 않고 실험에 참여한 피험자의 자료를 비교 분석하였다. 그 결과(Fig. 9와 Table 7) 풍속에 따른 남녀의 피부온도차는 풍속이 강해짐에 따라 A조는 평균 2.14°C, B조는 평균 2.04°C의 피부 온도 차이를 보였다.

따라서 풍속이 강해짐에 따라 여성이 남성보다 피부온도가 풍속에 따라 평균 약 2°C 정도 더 떨어지고, 같은 조건에서의 추위에 여성이 남성보다 더 민감하게

반응하고 낮은 피부온도를 가짐을 알 수 있었다.

풍속에 따라 피부온도의 감소정도도 차이가 있는데, 0~2 m s⁻¹에서 피부온도가 남성은 3.9°C, 여성은 6.7°C로 크게 감소하고, 6, 8, 13 m s⁻¹에서 남성은 2.8, 1.2, 0.4°C, 여성은 0.9, 2, 0.5°C가 감소하였다. 즉, 풍속에 따른 피부온도 감소는 0~2 m s⁻¹에서 가장 크게 감소하며, 6~13 m s⁻¹로 풍속이 증가함에 따라 떨어지는 피부온도는 점점 줄어들었다.

기준풍속에 따른 피부온도변화

사람이 걷는 경우에는 무풍의 상태에서도 발생하게 되는데 이를 JAG/TI 모델에서는 기준 풍속(1.33 m s⁻¹, 4.7 km h⁻¹)으로 정의 하고 있다. 이에 예비실험에서도 기준풍속이 발생할 때 피부온도 변화에 차이가 발생하는지를 알아보기와 피험자가 서 있을 경우와 트레드밀 위에서 2 km h⁻¹로 걷는 경우, 그리고 트레드밀 위에서 4.7 km h⁻¹로 걷는 경우로 나누어 실험을

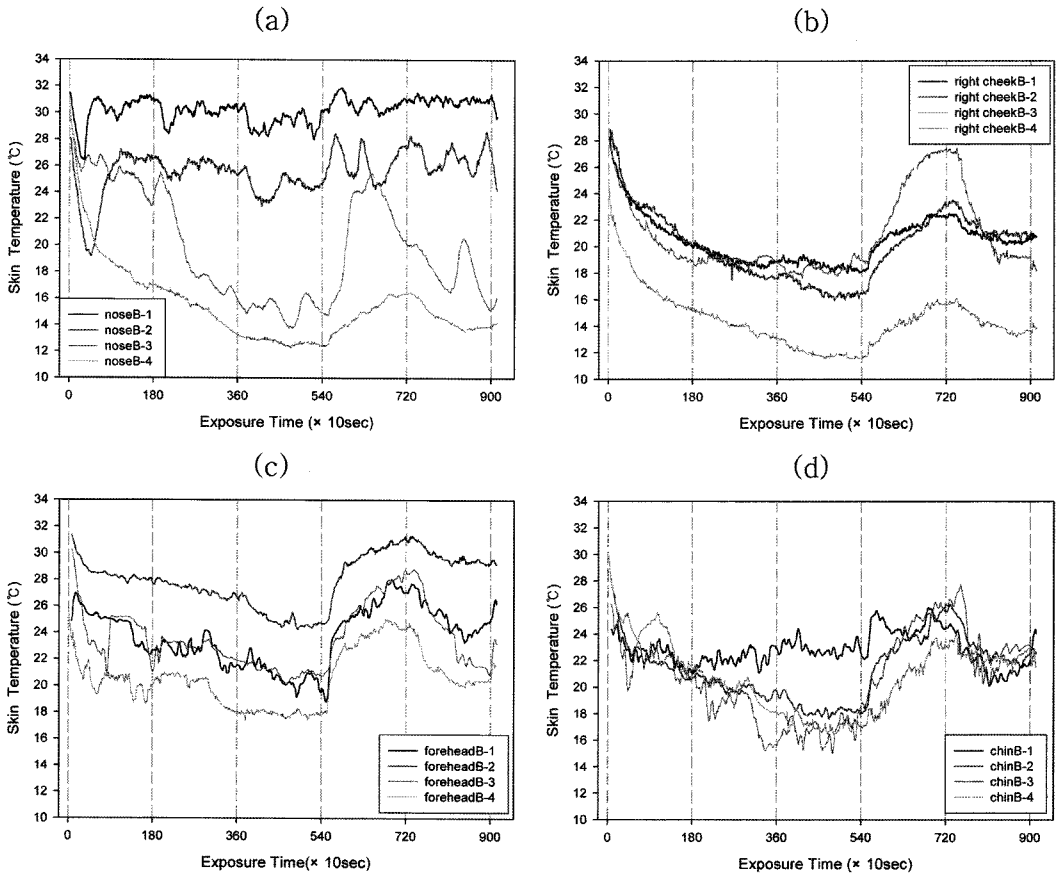


Fig. 6. The change of skin temperature at (a) nose, (b) right cheek, (c) forehead, and (d) chin with wind speed for B team.

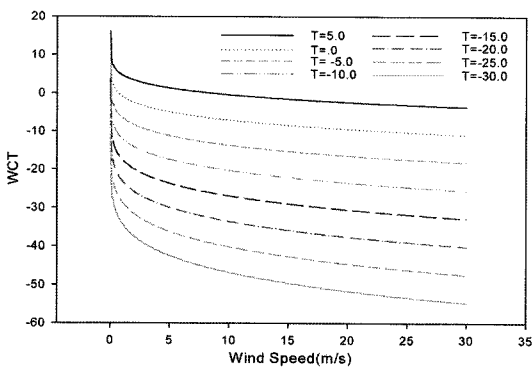


Fig. 7. Distribution of skin temperature change with air temperature and wind speed calculated by JAG/TTI model.

실시하였다. 이때 앞서 분석한 바와 같이 피부온도변화에 영향을 미친다고 판단되는 변수인 풍속, 시간, 성별 등을 통제하고 기준풍속의 정도에 따라 변하는 피부온도변화를 살펴보았다. 이때 자료는 앞서 분석

시 풍속에 민감하게 반응하고 피부온도변화가 가장 안정적인 경향을 나타내는 얼굴의 오른쪽 부위의 온도변화를 이용하였다. 그 결과(Fig. 10), 기준풍속이 발생하는 경우 기준풍속이 없는 경우에 비해 피부온도가 적게 내려감을 알 수 있었다. 이는 기준풍속이 발생할 경우 그렇지 않은 경우보다 피부온도 더 낮을 것이라는 초기의 예상과는 반대되는 결과이다. 이와 같은 결과가 나온 원인을 분석해 본 결과, 기준풍속을 만드는 과정에서 4.7 km h^{-1} 또는 2 km h^{-1} 의 속도로 걷는 운동을 실시함으로써 체내 열이 생산되어 결과적으로 기준풍속이 없는 경우에 비해 피부온도가 더 적게 감소된 것으로 판단된다. 또한 이러한 경향은 기준풍속이 강하게 나타나는 즉, 운동량이 더 많은 경우에 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

갑작스런 풍속 증가에 따른 피부온도변화

생활 속에서 우리는 추위에 갑자기 노출되는 경우가

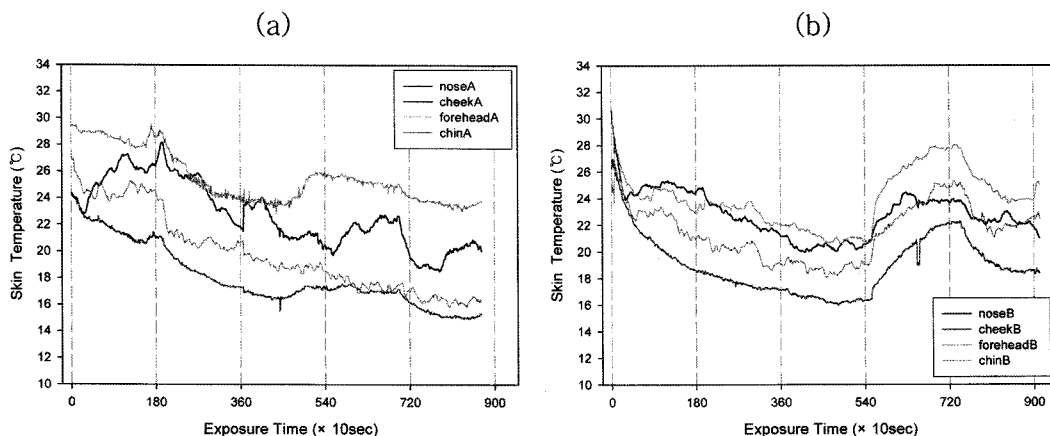


Fig. 8. The change of mean skin temperature at nose, right cheek, forehead, and chin of (a) A team, and (b) B team experiment object with wind speed.

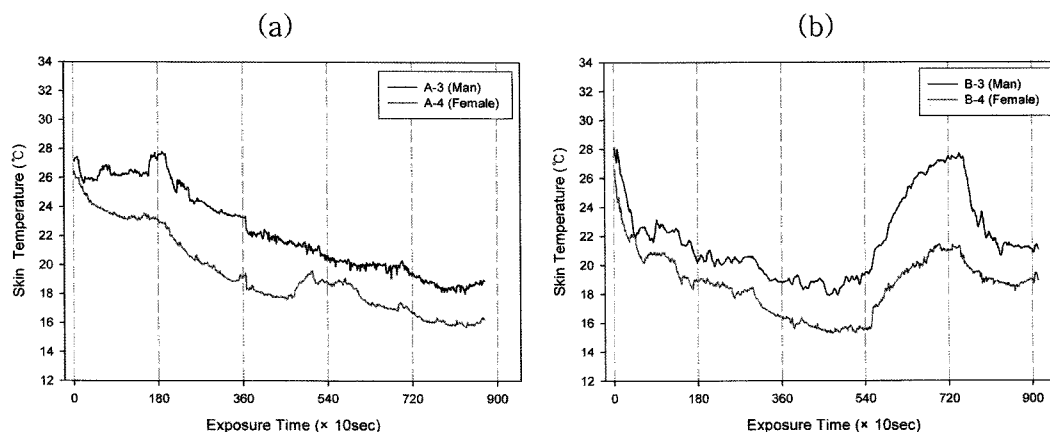


Fig. 9. The change of skin temperature for male female with wind speed each team (a) A team, (b) B team.

있다. 예를 들면 겨울철 난방이 잘되는 실내에 있다가 외출을 하는 경우 추위에 갑자기 노출된다. 이러한 경우를 고려하여 풍속을 서서히 변화 시켰을 경우(A)와 갑자기 추위에 노출되었을 경우(B)의 피부온도변화를 분석해보았다(Fig. 11). 이때, 갑작스런 풍속 증가에 따

른 피부온도변화만을 비교하기 위해서 기준풍속을 고려하지 않고 실험을 실시한 피험자들에 대하여 시간에 따른 피부온도변화 차를 구하여 나타내었다. Table 8에서 볼 수 있듯이 A조에 비해 B조가 풍속에 따라 피부온도가 남성은 평균 1.5°C, 여성은 평균 0.6°C 감소

Table 7. Skin temperature difference for male and female with wind speed under at 5°C condition

A				B			
Wind speed (m s ⁻¹)	Male (°C)	Female (°C)	ΔT (°C)	Wind speed (m s ⁻¹)	Male (°C)	Female (°C)	ΔT (°C)
0	0.4	3.9	3.5	6	8	7.7	-0.3
2	3.9	6.7	2.8	8	9.3	10.2	0.9
6	6.7	7.6	0.9	13	10.1	11.3	1.2
8	7.9	9.7	1.8	0	0.6	5.6	5.0
13	8.3	10.2	1.9	2	1.3	7.7	6.4
Average A (°C)		2.18		Average B (°C)		2.64	

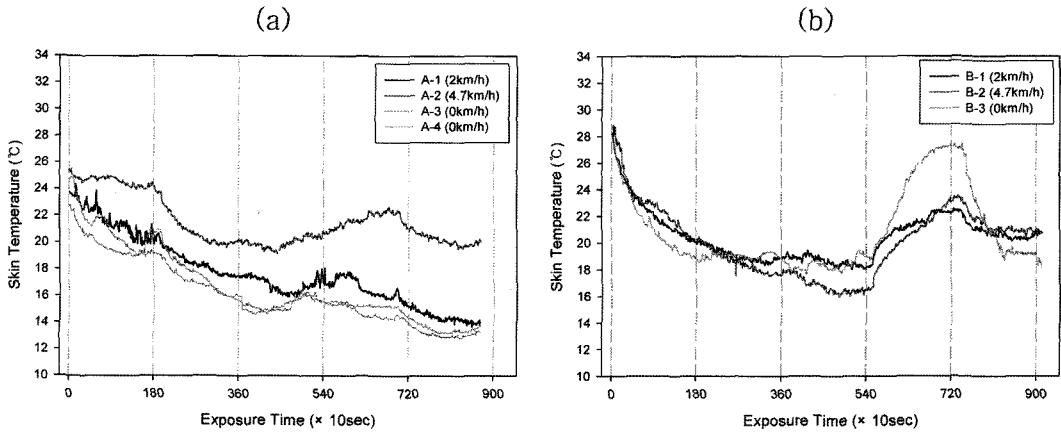


Fig. 10. The change of right cheek temperature with walking speed and wind speed for (a) male and female of A team, (b) male of B team under 5°C condition.

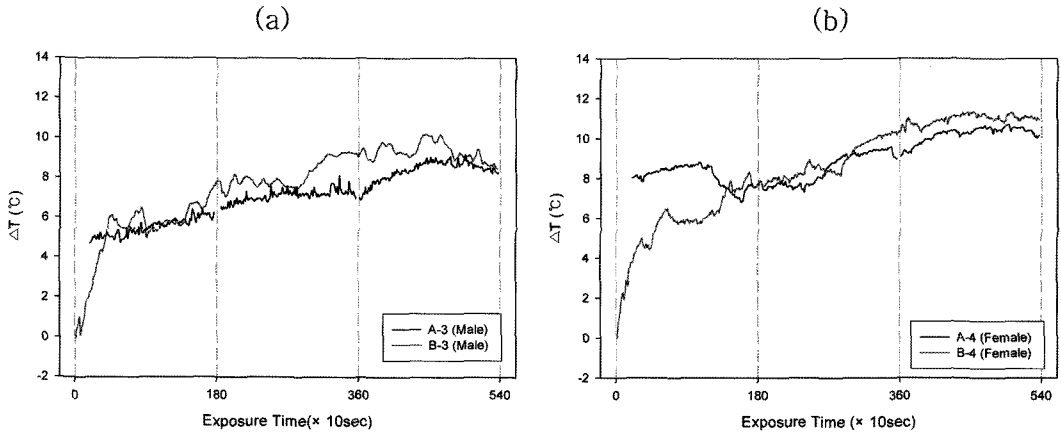


Fig. 11. The change of skin temperature for (a) male and (b) female when they exposed rapidly cold air conditions.

한다. 즉 갑자기 강한 풍속에 노출되었을 시에 급격하게 피부온도가 감소하며, 서서히 추위에 노출되었을 때보다 피부온도가 더 감소함을 알 수 있다.

실험 후 피험자들의 소감

예비실험 실시 후 피험자들의 실험 참가 소감을 들은 결과(Table 9), 6 m s⁻¹부터 추위를 느끼기 시작하였고, 13 m s⁻¹ 풍속에서부터 피험자들이 힘들어 하였다. 풍속이 강해지면서 사람의 피부온도가 크게 떨어지고, 실험이 영하에서 실시된다는 것을 감안한다면 13 m s⁻¹의 풍속에서의 실험은 재고하여야 할 것으로 생각되며, 온도가 더 내려갈 경우 풍속을 조절하여 실험하는 것이 피험자들의 안전과 건강을 고려할 수 있을 것이다.

결론 및 요약

한국형 체감온도지수 개발을 위한 예비실험 실시 결과, 안면부 부위별 피부온도변화를 살펴보면 코는 개인차가 크고 풍속에 따른 온도변화경향이 일정하지 않았으며, 이마와 턱 그리고 얼굴의 오른쪽 부위에서는 피부온도가 풍속이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 특히 얼굴의 오른쪽 부위에서 가장 안정적인 피부온도변화 경향을 보이고 모든 피험자가 얼굴의 오른쪽 부위에서 가장 낮은 온도를 보였다.

성별에 따른 차이를 살펴보면, 여성이 남성에 비해 피부온도변화가 컸으며, 풍속이 강해짐에 따라 여성이 남성보다 피부온도가 평균 약 2°C 정도 더 떨어지고, 같은 조건에서의 추위에 여성이 남성보다 더

Table 8. The change of skin temperature with wind speed under 5°C condition

Male				Female			
Wind speed (m s ⁻¹)	A (°C)	B (°C)	ΔT (°C)	Wind speed (m s ⁻¹)	A (°C)	B (°C)	ΔT(°C)
6	6.7	8	1.3	6	7.6	7.7	0.1
8	7.9	9.3	1.4	8	9.6	10.2	0.6
13	8.3	10.1	1.8	13	10.1	11.3	1.2

Table 9. Experimental object's impressions

Wind speed (m s ⁻¹)	A team	Wind speed (m s ⁻¹)	B team
0	아무런 느낌이 없거나, 조금 덥다는 느낌	6	처음엔 시원 했지만 금방 손, 귀, 발 등이 시려움
2	조금 싸늘하다는 느낌	8	손끝이 시리며 얼굴이 굳어오고, 신체 말단 부위가 시리며 콧물이남
6	추위를 느끼기 시작하면서, 손, 발목 등이 시려움	13	호흡이 불안정해지고, 얼굴 부위가 바람에 의해 밀려 얼굴 근육이 굳어지는 느낌이 들
8	눈뜨기가 힘들며 손끝, 발목 시려움	0	따뜻한 느낌, 갑자기 줄립 따뜻함을 느끼며 점차 더워짐
13	한기를 느끼며 신체 말단 부위가 시리고 저림	2	피험자 중 운동하지 않는 사람은 6 m s ⁻¹ 일 때 보다 추운 느낌이 들었고, 운동하는 사람은 운동열기와 바람으로 인해 시원함을 느낌
비고	남성과 여성의 차이가 났으며 대체로 여성이 남성보다 바람에 의한 체온 변화에 대한 느낌이 크다고 느낌		여성이 남성보다 더 민감하게 반응 (근육의 당김, 손끝 시림)하였으며 갑자기 풍속이 줄어들면서 전원 줄리는 느낌을 받음

민감하게 반응하며 낮은 피부온도를 가짐을 알 수 있었다.

실험에서 기준풍속을 고려하는 경우 기준풍속이 없는 경우에 비해서 피부온도가 더 감소할 것으로 예상하였지만 실제 기준풍속을 발생시키기 위해 운동을 함으로써 피부온도가 상승하였다. 뿐만 아니라 운동량에 따라 피부온도가 상승하는 정도에 대한 개인차가 크게 발생하여 기준풍속에 의한 피부온도 감소효과를 찾아볼 수 없었다.

갑자기 강한 풍속에 노출되었을 때는 서서히 추위에 노출되었을 때보다 급격하게 피부온도가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 풍속에 따른 피부온도 감소 정도는 0~2 m s⁻¹에서 가장 크고, 6~13 m s⁻¹로 풍속이 증가함에 따라 떨어지는 피부온도 감소정도는 점점 줄어든다. 피험자들의 실험 후 소감과 피부온도의 감소를 편집·분석해본 결과, 13 m s⁻¹ 풍속에서의 실험은 빙점이하 저온의 실험일 경우 인체에 많은 부담을 줄 것이라고 판단된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 본 실험을 실시할 때는 센서의 부착위치는 불안정한 코는 제외하고 가장 안정적인 양쪽 얼굴의 오른쪽 부위가 적합하다고 판

단된다. 또한 기준풍속 하에서 기온과 풍속에 따른 피부온도변화를 보기위해 treadmill 위에서 4.7 km h⁻¹와 2 km h⁻¹로 걷게 한 것은 4.7 km h⁻¹에서는 서양인은 보통 속도로 걷는 속도였으나 한국인 젊은이는 속보이상의 속도로 실험을 수행할 수 없었으며, 2 km h⁻¹로 걷는 경우에도 체내 대사량 증가로 피부온도가 증가하는 변화를 보여서 기준풍속에 의한 효과만을 고려하기 어려우므로 본 실험에서는 기온과 풍속의 영향만을 고려하기 위해 treadmill 위의 피험자도 그 옆의 피험자와 같이 가만히 서서 피부온도를 측정하는 것이 적합할 것이다. 그리고 13 m s⁻¹ 풍속에서의 실험은 빙점이하의 저온의 경우 인체에 많은 부담을 주어 위험하다고 판단되어 본 실험에서는 제외해야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 기상연구소 주요사업 “생명기상기술개발 연구”의 일환으로 수행되었으며, 실험에 도움을 주신 교통안전공단 자동차성능시험연구소 김희준 연구원님께 감사드립니다

참고문헌

- 김종수, 최광한, 김동규, 주익성, 김종열, 박희욱, 이구형, 최호선, 1998, 한국인의 온열쾌적감에 관한 연구(Part I: 겨울철 체감실험 결과). *Korean Journal of The Science of Emotion and Sensibility*, 1(1), 199-211.
- 김동규, 정용현, 2005, 대류난방시 실내열환경에 관한 연구-온도 및 기류속도에 대한 온열쾌적감-. *한국환경과학회지*, 14(2), 209-214.
- 김명옥, 1986, 한국에서의 체감온도의 특성과 분포. *경북대학교 교육대학원 지학교육전공 석사학위논문*, 34 p.
- 김혜정, 1988, 남한의 Windchill에 관한 연구. *이화여자대학교 석사학위논문*, 75 p.
- 박정환, 박래설, 한옥, 2002, 체감온도이론의 비교 연구. *한국지구환경과학회지*, 23(8), 676-682.
- 박종길, 윤숙희, 이종태, 김병수, 정우식, 2005, 생명기상기술패발연구-체감온도지수 검증·개선 연구. *한국기상학회*, 120 p.
- 박종길, 정우식, 김은별, 박길운, 2007, 한국형 체감온도지수 개발연구(I): 기존 체감온도지수 분포 및 민감도 분석. *한국지구과학회지*, 28(7), 879-891.
- 산업자원부, 2005, 제5차 한국인 인체치수 조사 자료; 직접 측정에 의한 인체치수 통계, 299 p.(<http://www.ats.go.kr/>)
- 성유진, 이순원, 1997, 추운환경에 노출된 부위에 따른 체온조절 반응에 대한 연구. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 21(6), 977-987.
- Bluestein, M. and Zecher, J., 1999, A new approach to an accurate wind chill factor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80 (9), 1893-1899.
- Larsen, R.L., 1973, An air quality data analysis system for interrelating effects, standards and needed source reductions. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 23, 933-940.
- Osczevski, R.J., 2000, Windward Cooling: An overlooked factor in the calculation of wind chill. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (12), 2975-2978.
- Siple, P. and Passel, C., 1945, Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89, 177-199.
- Steadman, R.G, 1971, Indices of wind chill of clothed persons. *Journal of Applied Meteorology*, 10, 674-683.

2007년 8월 30일 접수
2007년 10월 1일 수정원고 접수
2007년 11월 15일 채택