

한국형 체감온도지수 개발연구(I) - 기존 체감온도지수 분포 및 민감도 분석 -

박종길¹ · 정우식^{2,*} · 김은별² · 박길운²

¹인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터, 621-749 경남 김해시 어방동 607

²인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터, 621-749 경남 김해시 어방동 607

A Study of the Development of a Korea Wind Chill Temperature Index (I) - Focusing on the Distribution of Existing Wind Chill Temperature Index and Sensitivity Analysis of Model -

Jong-Kil Park¹, Woo-Sik Jung^{2,*}, Eun-Byul Kim², and Gil-Un Park²

¹School of Environmental Sciences Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea

²Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea

Abstract: This study aimed to provide a fundamental basis for the development and promotion of a Korea windchill temperature index model in the field of human biometeorology. For this, a sensitivity model currently being used by KMA (Korea Meteorological Administration) was analyzed. The results of the analysis showed that the Korean peninsula could be divided into the urban area, the coastal/island area, the inland area, and the mountain area. The average temperature was highest in the coastal/island area, while it was lowest in the mountain regions. The lowest temperature in the urban and coastal/island areas was 20 degrees below zero and that in the inland and mountain regions were 30 degrees below zero. As for wind speed, both average and maximum wind speed were highest in the coastal/island area. The distribution of temperature and wind speed in winter was similar to that of the entire period. The results of the JAG/TI and Missenard model sensitivity showed that temperature tends to have more influence on sensitivity than any other factors. In sub-zero temperature, however, the influence of wind speed tends to increase.

Keywords: Wind chill temperature, Wind chill temperature index, Korean peninsula, JAG/TI model, Missenard model, Human biometeorology

요약: 이 연구는 한국형 체감온도지수를 개발·보급하기 위한 생명기상분야 기초연구로서 현재 기상청에서 사용하고 있는 체감온도 모델의 민감도 분석을 수행하였다. 분석 결과 한반도는 도심지역, 해안도서지역, 내륙지역, 산간지역으로 구분되었다. 평균기온의 경우, 해안도서지역에서 가장 높았으며, 산간지역에서 가장 낮게 나타났다. 그러나 최저기온은 도심지역과 해안도서지역에서 영하 20°C이고, 내륙지역과 산간지역에서 영하 30°C로 나타났다. 풍속의 경우, 평균 풍속과 최대 풍속이 모두 해안도서지역에서 강하게 나타났다. 그리고 동계의 지역별 기온과 풍속의 분포는 전 기간의 분포와 비슷한 경향을 보였다. JAG/TI와 Missenard 모델의 민감도 분석 결과, 기온이 체감온도에 더 큰 영향을 미친다. 그러나 영하의 온도에서는 풍속의 영향이 증가한다.

주요어: 체감온도, 체감온도지수, 한반도, JAG/TI 모델, Missenard 모델, 생명기상

*Corresponding author: wsjung1@inje.ac.kr

Tel: 82-55-320-3932

Fax: 82-55-321-3252

서 론

아시아 대륙 동부권에 속해있는 우리나라는 몬순의 영향으로 겨울에는 낮은 온도와 강한 풍속으로 특징지어진다. 이러한 기상조건으로 인해 겨울철 야외활동을 하는 군인이나 직장인들은 추위를 느끼게 되고 이와 관련된 많은 위험(동상, 저체온증 등)에 노출된다(박종길 외, 2005). 그러나 기온과 풍속을 비롯한 일조시간이나 일사량, 그리고 상대습도와 같은 기상요소뿐만 아니라, 연령, 신체조건, 건강상태, 성별, 피부상태, 심리적 요소 등에 따라 겨울에 느끼는 추위의 정도가 다르게 나타난다. 이에 따라 기상청에서는 생명기상 및 보건 의료 기상연구의 일환으로 강한 바람과 한기에 인체가 노출되었을 때 피부를 통해 빼앗긴 열에 의해 사람이 느끼는 추운 정도를 나타내는 온도 지수인 체감온도지수(Wind Chill Temperature Index, WCTI)를 2002년 10월 1일부터 제공하고 있다. 현재 기상청에서 사용하고 있는 체감온도지수는 2001년 8월 캐나다 토론토에서 열린 Joint Action Group for Temperature Indices(JAG/TI) 회의에서 발표되어 현재 미국과 캐나다 등 북아메리카 국가들을 중심으로 가장 최근에 널리 사용되고 있다.

체감온도(Wind Chill Temperature)에 대한 국내 선행연구로는 전경은(1971)이 Siple-Passel(1945) 공식에 우리나라 기후자료를 적용하여 남한 기후의 지역적 유형을 분석하였고, 김명옥(1986)이 Missenard의 체감온도지수를 사용하여 한반도의 체감온도 특성, 분포 및 기온과의 차이를 조사하고 각 지역의 체감온도의 극치 및 경년변화를 살펴본 바 있으며 김해정(1988)은 Siple-Passel 공식과 Steadman(1971) 공식을 사용하여 한반도의 체감온도 지역적 특성과 분포에 관한 연구가 있다. 또한 최근에 김수현 외(2003)가 기상청에서 제공하고 있는 생활 기상지수를 과거의 기후자료를 이용하여 한반도의 생활환경을 평가하는 일환으로 체감온도지수를 살펴본 바 있지만 동계의 특정 지역을 대상으로 하여 보다 세밀한 추가 연구의 필요성이 있다.

현재 사용되고 있는 체감온도지수는 서양인의 평균적 신체특징자료를 바탕으로 개발된 것이므로 신체의 물리적 특성(키, 몸무게, 체질량지수 등)이 서양인과 큰 차이를 보이는 한국인을 포함한 동양인에게도 동일하게 적용할 수 있는지에 대한 과학적이고 객관적인 연구가 전문한 실정으므로 이에 대한 새로운 연

구가 시도되어야 할 것이다.

따라서 이 연구에서는 현재 기상청에서 생명기상예보의 일환으로 제공하고 있는 체감온도지수가 우리나라에서 지역적으로 어떤 특성과 분포를 보이는지에 대해서 살펴보고자 군집 분석을 통해서 지역을 구분하고 그 지역 기후에 영향을 주고 있는 각종 기상요소가 지역별로 어떠한 범주에 속하고 있는지 알아본다. 이와 더불어 현재까지 제시되고 있는 체감온도지수 모델의 민감도 분석을 통해 각 모델에 따른 체감온도 결정 요소를 살펴본다. 이상의 분석결과를 이용하여 향후 반드시 이루어져야 할 한국형 체감온도지수(Korea Wind Chill Temperature Index, KWCTI)의 기본 자료를 제공하고자 한다.

자료 및 분석방법

자료

지역구분을 위한 기상자료는 기상청에서 제공하는 지상관측자료와 자동기상관측(AWS)자료를 사용하였고 그 중에서 관측기간이 10년(1995~2004년)이 되지 않는 지점의 자료는 제외시켜 분석에는 정규기상관측 지점 73개와 AWS지점 236개를 사용하여 총 309개의 지점을 분석하였다. 분석에 이용한 기상요소 중 기온, 습도 자료는 3시간 간격, 풍속은 1시간 간격 그리고 강수량은 1일 총강수량자료를 사용하였다. 이때 각 자료는 결측치와 이상치를 제거한 후 Larsen(1973)의 통계적 유효 자료 선정법에 의해 선정된 자료를 이용하였다. 연구기간동안 선정된 유효자료의 수는 75.33~100%의 범위를 나타내어 Larsen의 최소 자료수를 만족하고 있으므로 통계적 분석에 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

군집분석

군집분석은 주어진 자료 중에서 유사한 것들을 몇몇의 집단으로 그룹화 하여, 각 집단의 성격을 파악함으로써 데이터 전체의 구조에 대한 이해를 돕고자 하는 분석방법이다. 대용량 데이터에서 개개의 관측치를 요약하는 것보다는 전체를 유사한 관측치들의 군집(cluster)으로 구분하여 복잡한 전체보다는 그를 잘 대표하는 군집들을 관찰함으로써 전체 데이터에 대한 의미 있는 정보를 얻어낼 수 있을 것이다.

이 연구에서 지역구분을 위해 사용된 방법은 여러 군집방법 중에 대용량 데이터를 빠르게 처리할 수

있으며, 그 알고리즘도 비교적 간단한 방법인 K-평균 군집방법을 기본으로 하고 있는 SAS Enterprise-Miner4.4의 Clustering node를 이용하여 지역구분을 수행하였는데 분석에 사용된 입력변수는 Table 1에 제시하였다.

체감온도지수

JAG/TI 모델: 한반도 체감온도의 분포 특성과 기존의 체감온도지수의 민감도를 살펴보기 위하여 사용된 JAG/TI 모델은 NWS(National Weather Service)와 MSC(Meteorological Service of Canada)에서 지금까지의 체감이론을 토대로 새로운 최적의 모델을 개발하기 위한 연구팀인 JAG/TI(Joint Action Group for Temperature Indices)를 구성하여 개발한 것으로 2001년 10월 1일부터 공식적으로 사용하게 되었다. 또한 현재 우리나라 기상청에서는 이 JAG/TI 모델을 그대로 도입하여 겨울철 체감온도를 계산하여 생활기상예보에 활용하고 있다.

JAG/TI 모델은 캐나다인 자원봉사자 12명(남 6, 여 6)의 풍동실험 데이터를 분석하여 개발되었다. 이 실험에서 피험자들은 태양복사가 없는 조건에서 안면 부위의 코, 이마, 뺨, 귀의 피부온도를 측정하기 위한 센서를 부착하였고, 직장온도계를 이용하여 심부온도를 측정하였으며, 뺨과 이마의 열유량을 추가로 측정하였다. 이때 기온과 풍속을 변화시켰을 때의 피부온도와 열손실량을 측정·분석하여 얻은 체감온도지수는 식(1)과 같다(Nelson et al., 2002).

$$T_w = 13.127 + 0.6215T - 13.947V^{0.16} + 0.486TV^{0.16} \quad (1)$$

여기서 T_w 는 체감온도(°C), V 는 풍속($m s^{-1}$), T 는 기온(°C)이다.

이때 풍속은 고도 10 m에서의 풍속에 2/3을 곱하여 사람의 평균 얼굴높이 1.5 m에서의 풍속으로 환산하고 있으며 기준풍속은 측정을 통하여 사람이 서로

교차할 때의 풍속 $1.3 m s^{-1}$ (3 mph)로 설정하고 있다.

Missernad 모델: 기존 체감온도지수의 민감도 분석을 위해서 사용된 Missenard 모델은 1957년 Missenard에 의해 제시된 것으로서 식(2)와 같이 나타낸다.

$$T_w = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014H + \frac{1}{1.76 + 1.4V^{0.75}}} - 0.29T \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (2)$$

여기서 T_w 는 체감온도(°C), T 는 기온(°C), H 는 상대습도(%), V 는 풍속($m s^{-1}$)이다.

군집에 의한 지역구분 결과

최근 10년간(1995-2004)의 월평균기온, 월최고기온, 월최저기온, 월평균풍속, 월최대풍속, 월총강수량 그리고 관측지점의 해발고도를 입력변수(Table 1)로 하여 군집분석을 수행한 결과 4개의 군집으로 나누어졌으며, 각 관측소별 군집을 Fig. 1에 나타내었다.

각 관측소별 군집의 분포를 살펴보면, 군집 1에 속하는 지점은 주로 내륙에 위치하고 있으므로 내륙지역으로 구분하였고, 군집 2에 속하는 지점은 내륙에 위치하고 있으나 해발고도가 높은 특징을 가지고 있어 산간지역으로 구분하였다. 그리고 군집 3과 4에 속하는 지점은 모두 해안이나 도서지역에 위치하고 있고 군집간의 중심거리가 가까우므로 두 군집을 하나로 생각하여 해안도서지역으로 구분하였다.

한편, 서울과 부산은 각각 군집 1과 3으로 구분되었으나 한반도 전체인구의 약 28 %가 집중되어 있는 대도시로 다른 군집과의 차이를 살펴보기 위하여 도심지역으로 추가 구분하였고 내륙지역, 산간지역, 해안도서지역의 3개 군집을 포함하여 최종적으로 4개 지역으로 구분하였다.

Table 1. Input data used by cluster analysis

	Parameters	Explanation	Note	Number
t1-t120	T_{ave}	Monthly mean temperature		120
t121-t240	T_{max}	Monthly maximum temperature		120
t241-t360	T_{min}	Monthly minimum temperature		120
t361-t480	V_{ave}	Monthly mean wind speed		120
t481-t600	V_{max}	Monthly maximum wind speed		120
t601-t720	P_{total}	Monthly total precipitation		120
t721	Height	Height of observation field above mean sea level		1
t723	Point	Number of site	ID	1

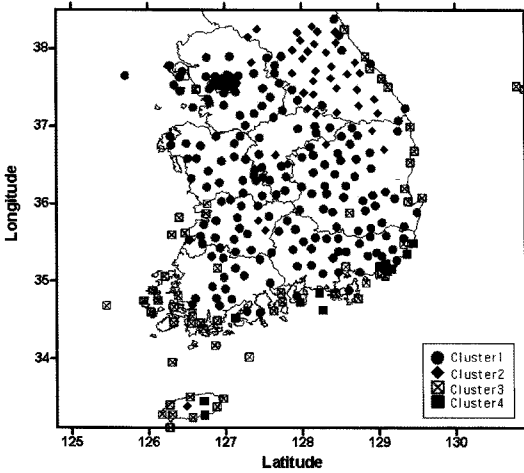


Fig. 1. Regional classification by the cluster analysis (cluster 1: an urban area, cluster 2: an inland area, cluster 3: a mountain area, cluster 4: a coastal/island area).

각 지역의 기상요소 중 체감온도지수와 관련이 있는 기온과 풍속별 실험 조건 범위는 Table 2에 나타내었다. Table 2 (a)는 전체기간의 평균기온과 최고기온, 최저기온, 평균풍속, 그리고 최대풍속을 나타낸 것으로, 평균기온은 해안도서지역에서 가장 높고 다음으로 도심지역, 내륙지역, 산간지역의 순으로 나타나고 있다. 각 지역 간의 온도차를 볼 때 해안도서, 도심, 내륙지역의 경우는 그 차이가 1°C 정도로 나타나고 있지만 산간지역의 경우는 다른 지역에 비해 2.8~4.8°C 정도의 차이를 보이며 다른 지역에 비해 현저히 낮은 기온을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이

는 산간지역 관측지점의 해발고도가 높기 때문인 것으로 판단되며 해안도서지역의 기온이 다른 지역에 비해 높은 것은 지역적으로 대부분 남부지방에 분포하고 있고, 해양의 영향을 받고 있기 때문으로 판단된다. 최고기온의 경우도 해안도서지역에서 가장 높게 나타나고 있다. 최저기온은 도심지역과 해안도서지역이 높게 나타나고 내륙지역과 산간지역이 낮은 값을 나타내고 있는데 이들의 차이가 약 10°C 정도로 나타나고 있어 평균기온이나 최고기온에 비해 지역적 차이가 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

평균풍속은 해안도서지역과 도심지역이 약 3 m s^{-1} 로 비교적 강하게 나타나고 내륙지역과 산간지역은 1.5 m s^{-1} 로 약하게 나타나고 있다. 최대풍속의 경우는 해안도서지역과 산간지역이 40 m s^{-1} 이상의 강한 풍속을 보였지만 이는 하계기간의 태풍의 영향에 의한 것일 수도 있어 체감온도지수를 고려할 때는 동계기간의 값을 보는 것이 더 적합할 것이라 판단된다.

이에 따라 동계(겨울)의 기온과 풍속을 살펴보면 (Table 2 (b)), 평균기온의 경우 전체기간의 평균기온과 비교해볼 때 지역 간 차이는 비슷하지만 전체적으로 11°C 정도 낮게 나타나고 있다. 평균풍속 또한 전체기간의 평균풍속과 비슷한 경향을 보이고 있으나 최대풍속은 해안도서지역과 내륙지역이 전체기간의 최대풍속과 유사한 결과를 보이고 있다. 하지만 도심지역과 산간지역의 경우 전체기간의 최대풍속에 비해 그 값이 현저히 약한 것을 알 수 있었고 풍속이 강할 것이라 예상했었던 산간지역이 내륙이나 해안지역에 비해 풍속이 강하지 않음을 알 수 있다.

Table 2. The range of air temperature and wind speed at each station for (a) all seasons and (b) winter season

(a) all seasons

Classified area	Temperature (°C)			Wind speed (m s ⁻¹)	
	Average	Max	Min	Average	Max
An urban area	13.89	35.70	-18.20	2.90	22.60
An inland area	12.65	39.60	-29.20	1.50	32.00
A mountain area	9.84	37.60	-32.60	1.40	55.50
A coastal/island area	14.67	39.70	-19.40	3.11	43.30

(b) winter season

Classified area	Temperature (°C)			Wind speed (m s ⁻¹)	
	Average	Max	Min	Average	Max
An urban area	2.55	18.50	-18.20	3.01	14.50
An inland area	0.17	24.10	-29.20	1.61	32.00
A mountain area	-3.26	19.60	-32.60	1.49	27.20
A coastal/island area	4.44	22.60	-19.40	3.51	30.00

Table 3. The representative station of each area

Classified area	A representative station (the number of station)	
An urban area	Seoul (108)	Busan (159)
An inland area	Suwon (119)	Daejeon (133)
A mountain area	Daegwallyeong (100)	Taebaek (216)
A coastal/island area	Tongyeong (162)	Wando (170)

이들 네 지역의 전반적인 기온과 풍속의 특성을 통해 한반도의 극한적 기후를 찾아내어 체감온도지수 개선을 위한 실험의 조건을 선정하고자 하였다. 그러나 기온의 측면에서 본다면 산간지역이 다른 지역에 비해 낮아 가장 최악의 조건으로 보이지만 풍속이 약하였고, 해안도서지역의 경우에는 풍속은 강하지만 기온이 다른 지역에 비해 높게 나타나서 각 군집이 모두 포함된 통계적인 값을 통해서만 실험조건을 선정하기에는 무리가 있다고 판단되어 각 지역에서도 그 지역을 잘 대표할 수 있는 지점의 기온이나 풍속의 분포경향을 추가적으로 분석하여 실험조건을 선정하였다. 각 지역의 대표지점 선정은 군집분석 시 군집 내에서 중심거리가 가깝고 비교적 지명도가 있거나 인구가 많이 거주하고 있는 지점을 중심으로 선정하였다(Table 3).

지역별 체감온도지수의 분포특성

1995년부터 2004년까지의 전국 309개 지점의 월평균기온과 월평균풍속, 월최저기온과 월최대풍속에 따른 체감온도의 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 일반적으로 선행연구(김수현 외, 2003)에서는 월평균기온과 월평균풍속만을 이용하여 전국의 체감온도 분포도를 작성하고 있으나 본 연구에서는 극한의 상황이 되는 곳까지를 고려하여 그 범위 내의 체감온도 지수에 대한 검증이 이루어져야 하므로 월최저기온과 월최대풍속을 사용하여 극한 상황의 체감온도 분포도도 함께 비교하였다.

12월에서 2월까지 동계 체감온도 분포를 살펴보면 (Fig. 2) 평균적인 상황의 경우 제주도과 일부 해안도서지역에서는 체감온도가 영상(>0°C)의 범위를 보이고 있지만 내륙지역으로 갈수록 체감온도는 감소하고 있으며 일부 산간지역에서 영하 10°C의 값을 나타내는 반면 극한 상황에서는 전국적으로 영하의 체감온도 분포를 보이고 있다. 또한 체감온도가 가장 낮게

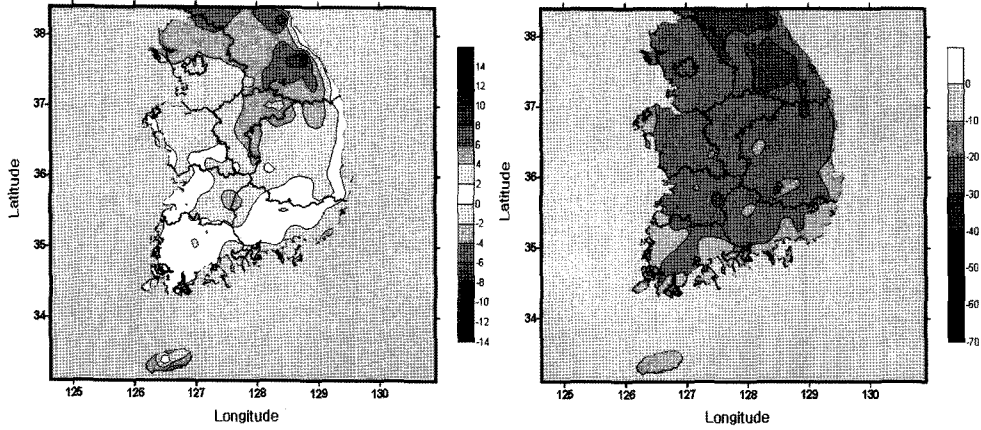
나타나고 있는 1월의 경우에도 평균적인 상황일 때 일부 해안도서지역에서만 영상의 체감온도 분포를 나타내고 내륙지역과 산간지역에서는 체감온도가 낮아지는 분포 경향을 보이고 있어 이는 선행 연구와 비교할 때 그 분포 경향이 완전히 일치하지는 않았지만 전체적인 유형은 비슷함을 알 수 있다.

과거 30년간 27개 지점의 기후자료를 이용한 선행 연구(김수현 외, 2003)와 비교해 보면 내륙지역이나 해안지역의 경우는 본 연구에서의 결과가 1°C 정도 높게 나타나지만 산간지역에서는 약 10°C 정도 낮게 나타난다. 이는 선행연구에서 사용한 자료가 지상에서 관측된 자료이기 때문에 산간지역과 같이 지상 관측시설이 없는 AWS의 자료 특성이 반영되지 못해 발생한 차이로 판단된다. 또한 평균적인 상황과 극한 상황인 경우의 체감온도가 최고 30°C 정도 까지도 차이가 난다는 것은, 체감온도를 고려할 때 평균적 상황만을 생각하지만 인체에 미치는 최악의 영향을 미치는 극한 상황을 고려하여 전체적인 분포와 특성을 살펴보는 것이 바람직하다는 것을 의미하는 것이라 할 수 있다.

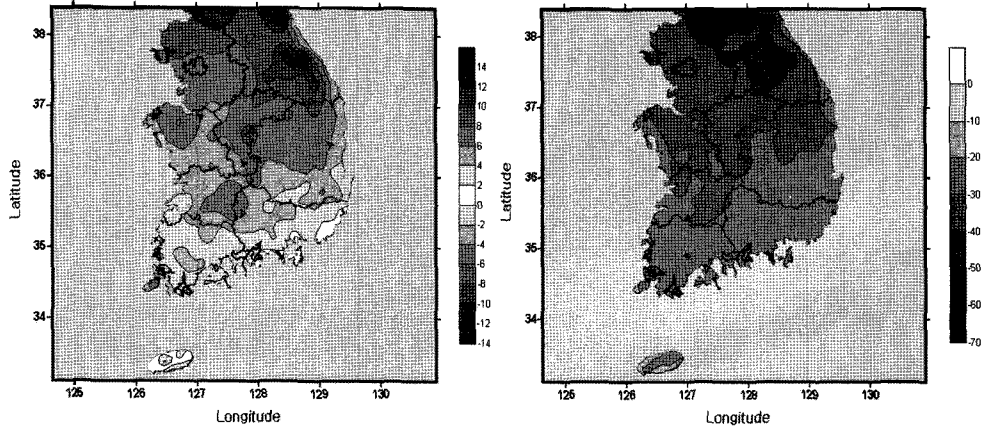
다음은 체감온도의 발생빈도와 강도를 살펴보기 위하여 1995년부터 2004년까지 10년 동안 각 지역 대표지점의 체감온도를 5°C 간격의 범주별 발생빈도를 Fig. 3에 나타내었다. 기상청에서 체감온도를 제공하는 10월에서 이듬해 4월까지 7개월의 체감온도 빈도를 살펴본 결과(Fig. 3 참조) 동계기간에 해당되는 12월에서 이듬해 2월까지의 체감온도가 낮게 나타나고 동계기간 중에서도 특히 1월에 체감온도의 값이 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 전 지역적으로 가장 높은 빈도를 나타내는 체감온도의 범주는 영하 5°C에서 0°C였으며, 평균 50%정도의 빈도를 나타내었다.

동계기간 중 지역별 체감온도 분포 특성을 살펴보기 위해 보호 장구 없이 장기간 노출될 때 저체온증에 빠질 위험이 발생하는 영하 10°C와 실제 극도의 추위를 느끼게 되는 영하 20°C의 발생빈도를 살펴본 결과(Table 4), 도심지역에 해당하는 서울과 부산지역의 경우에는 영하 10°C 이하인 경우가 각 7.12%와 1.01%로 나타나고 영하 20°C 이하인 경우는 서울지점에서만 0.32%로 나타났다. 내륙지역의 경우는 수원 이 영하 10°C 이하인 경우가 4.82%이고 대전이 2.71% 그리고 영하 20°C 이하인 경우가 각 0.14%와 0.03%로 나타나 도심지역인 서울 지점에 비해서는

(a) December, average case(Left) and worst case(Right)



(b) January, average case(Left) and worst case(Right)



(c) February, average case(Left) and worst case(Right)

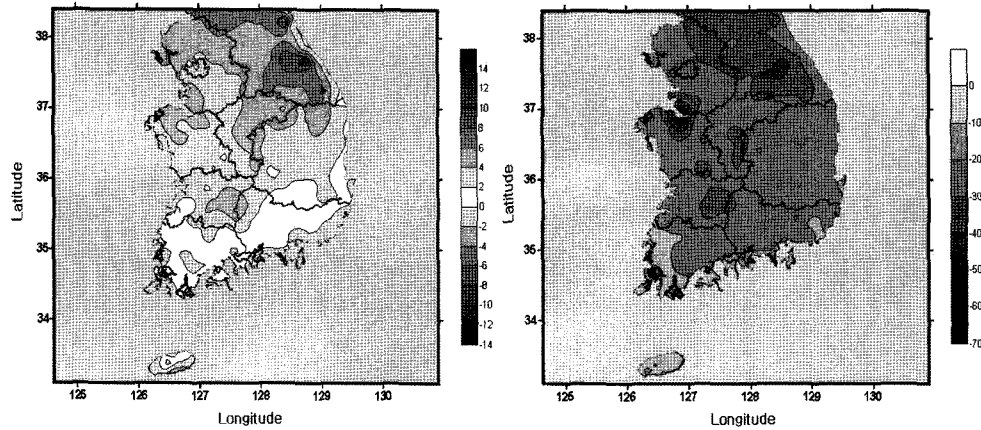
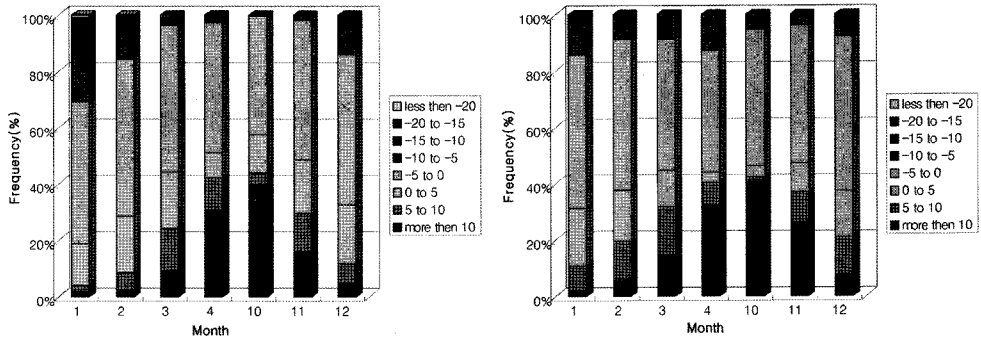
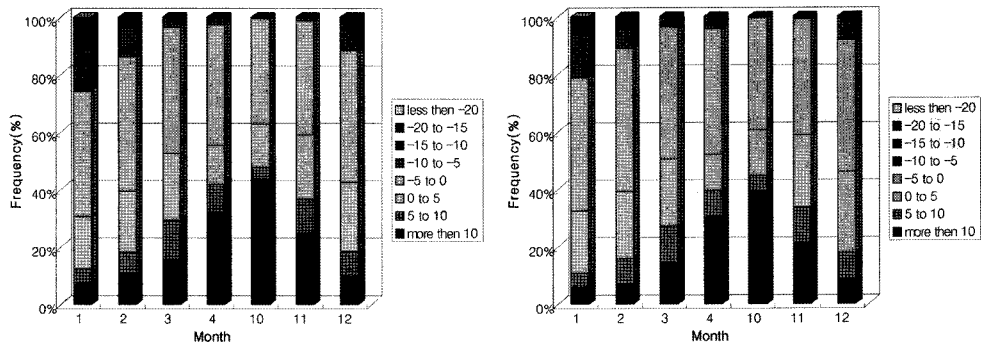


Fig. 2. The distribution of wind chill temperature during the winter season over South Korea.

(a) an urban area - Seoul, Busan



(b) an inland area - Suwon, Daejeon



(c) a mountain area - Daegwallyeong, Taebaek

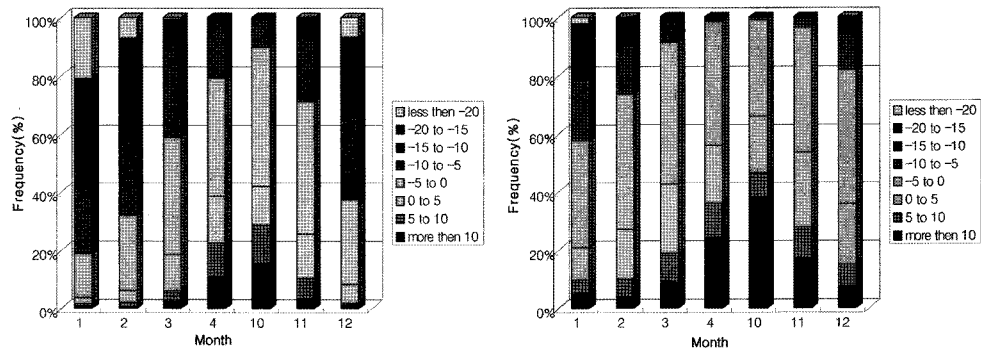


Fig. 3. The occurrence frequency distribution of wind chill temperature by a section at (a) Seoul and Busan, (b) Suwon, Deajeon, (c) Daegwallyeong and Taebaek and (d) Tongyeong and Wando.

비교적 낮은 수치였으나 부산보다는 낮은 체감온도 범주의 빈도가 높은 것을 알 수 있다. 해안도서지역의 경우에는 통영과 완도 두 지점 모두에서 영하 20°C 이하의 체감온도는 나타나지 않았으며 영하 10°C 이하인 경우도 각 0.85%와 1.01%가 나타나서, 앞서 살펴본 도심지역과 내륙지역에 비해 낮은 체감온도의 발생 비율이 낮음을 알 수 있다. 반면의 산간

지역의 경우 대관령 지점은 영하 10°C 이하인 경우가 43.34%이고 영하 20°C 이하인 경우도 11.51%로 나타나서, 앞서 분석한 지역들에 비해 낮은 온도에서 체감온도의 빈도가 크게 나타남을 알 수 있으며 태백 지점의 경우는 대관령 지점에 비해 체감온도가 전체적으로 높은 경향을 보이지만 영하 10°C 이하에서의 발생비율이 12.07%, 영하 20°C 이하가 0.79%로 역시

(d) a coastal/island area - Tongyeong, Wando

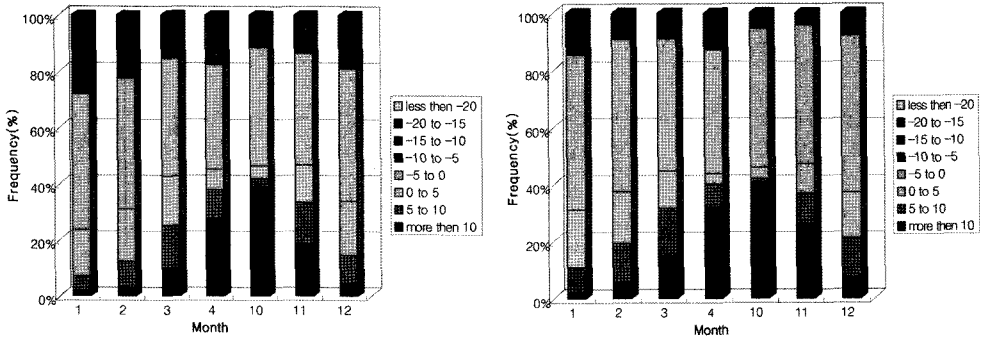


Fig. 3. (Continued).

Table 4. Occurrence frequency of wind chill temperature (%)

		Occurrence Frequency of Wind chill Temperature (%)	
		Under -10°C	Under -20°C
An urban area	Seoul	7.12	0.32
	Busan	1.01	0.00
An inland area	Suwon	4.82	0.14
	Daejeon	2.71	0.03
A mountain area	Daegwallyeong	43.34	11.51
	Taebaek	12.07	0.79
A coastal/island area	Tongyeong	0.85	0.00
	Wando	1.01	0.00

다른 3개의 지역보다는 높게 나타나 산간지역에서 낮은 체감온도의 빈도수가 높음을 알 수 있다.

태백 지점과 대관령 지점, 완도 지점과 대관령 지점의 각 범주별 체감온도 빈도를 비교해보면 기온과 풍속 가운데 어느 것이 체감온도에 더 큰 영향을 미치는지 파악할 수 있다. 이들 두지점간의 체감온도를 분석해 본 결과, 기온은 유사하고 풍속이 약 6 ms⁻¹ 정도 약한 태백 지점이 대관령 지점에 비해 인체에 영향을 줄 수 있을 정도의 낮은 체감온도 빈도가 약 3.5배 낮게 나타나고 있으며, 풍속은 유사하지만 기온이 10°C 정도 높았던 완도 지점의 경우 낮은 체감온도의 빈도가 약 42.5배 정도 높게 나타남을 확인할 수 있다. 이것으로 볼 때 기온과 더불어 큰 영향을

미치지만 그 영향 정도는 영상의 기온에서 보다는 영하의 기온에서 크게 작용하여 특히 영하 5°C 혹은 영하 10°C 이하에서는 풍속의 작은 증가도 체감온도의 감소에 큰 영향을 미칠 수 있어 실제 실험 시에는 기온이 높을 때에는 각 풍속범위 사이의 차이를 크게 두어 살펴보는 것이 타당하다는 것을 알 수 있다.

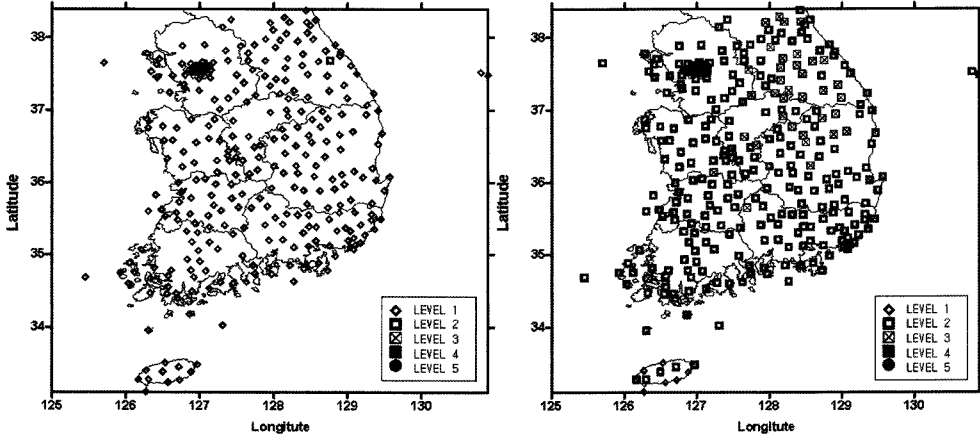
현재 기상청에서 사용하고 있는 체감온도식을 이용하여 309개 관측지점의 동계 체감온도지수 분포도를 Fig. 4에 나타내었다. 이 분포도는 실제 체감온도지수를 이용하여 체감온도의 분포도를 나타낸 것이 아니라 체감온도에 따른 단계구분에서 각 지역이 어떤 단계에 포함되는지를 나타낸 것으로 월별 평균 기온과 풍속을 사용한 일반적인 상황과 최저기온과 최고 풍속을 사용하여 나타낸 극한의 상황 두 가지로 구분된다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 월별로 체감온도지수의 단계(Table 5)에 따른 분포를 살펴보면 12월의 평균 상황은 전국적으로 추위를 느끼는 불편함이 증가하는 1단계 체감온도지수(10°C~-10°C)가 분포하고 있지만 최악의 상황에서는 1단계 체감온도지수는 일부 해안 도서지역에서만 나타나고 대부분의 지역은 보호 장구가 없이 장기간 노출되면 저체온에 빠질 위험이 있는 2단계 체감온도지수(-10°C~-25°C)를 보이고 있다. 또한 여전히 산간지역에서는 3단계의 체감온도지수(-25°C~-45°C)를 보이고 있으므로 12월에는 한반도의 일부 해안/도서를 제외한 모든 지역에서 -10°C~

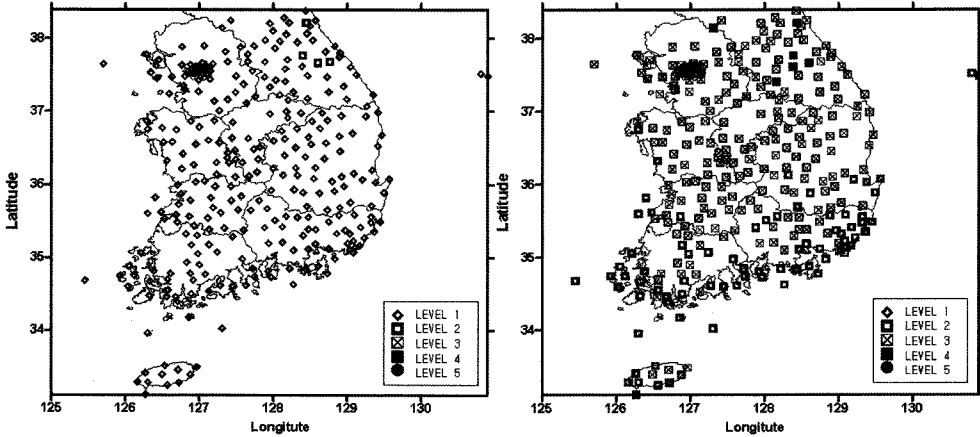
Table 5. A level according wind chill temperature

Level	low (1)	normal (2)	cold (3)	caution (4)	danger (5)
Wind chill temperature	10~ -10°C	-10~ -25°C	-25~ -45°C	-45~ -59°C	Under -60°C

(a) December, average case(left) and worst case(right)



(b) January, average case(left) and worst case(right)



(c) February, average case(left) and worst case(right)

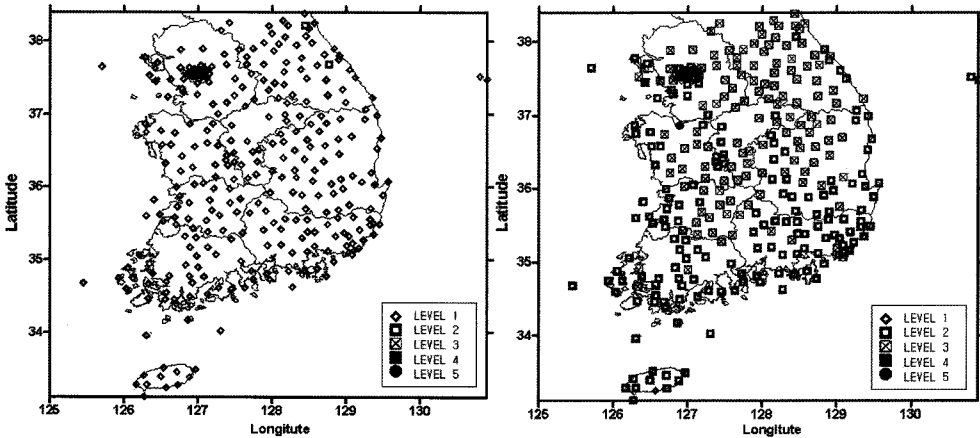


Fig. 4. The rank distribution of wind chill temperature during the winter season in Korea.

-25°C의 체감온도지수를 나타내고 있음을 알 수 있다. 1월의 평균상황 또한 전국적으로 1단계 체감온도 지수가 분포되어 있으나 최악의 상황에서는 일부해안 지역까지 2단계 체감온도지수가 분포하고 나머지 지역은 대부분 3단계 체감온도지수가 분포하고 있다. 일부 산간 지역에서는 노출된 피부가 몇 분 내에 동상에 걸리게 되고 야외활동 시 저체온 위험이 큰 4 단계 체감온도지수(-45°C~-59°C)가 나타나기도 하므로 해안도시나 산간지역에 근무하고 있는 군인이나 작업자의 경우 보호 장구 착용은 물론 야외에서의 근무시간 조절이 반드시 필요함을 알 수 있다. 2월의 평균 상황 또한 전국적으로 1단계 체감온도지수가 고르게 분포되어있고 최악의 상황도 1월의 분포와 비슷하나 일부 산간지역에서 나타났던 4단계 체감온도지수는 나타나지 않았다.

이상의 결과를 볼 때 우리나라는 동계에 주로 1, 2, 3단계에 해당하는 체감온도가 발생하며, 4, 5단계는 거의 나타나지 않는다. 따라서, 현재 기상청에서 5단계로 제공 중인 체감온도에 따른 증상과 대처요령은 초기 1, 2, 3단계를 더욱 구체적으로 세분화하고, 새롭게 개발되는 한국형 체감온도지수 또한 1, 2, 3 단계에 해당되는 구간에 대한 분석이 세밀하게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

체감지수모델의 민감도 분석

현재 기상청에서 사용하고 있는 체감온도지수가 온도에 따른 풍속의 변화에 얼마나 민감하게 반응하는지, 각 풍속에 따른 기온의 변화에 따라 체감온도지수가 어떻게 달라지는지를 분석하고 이와 더불어 각 요소 가운데 어느 요소가 더 중요한 변수로 작용하는지를 살펴보았다.

JAG/TI 모델

JAG/TI 모델의 경우 풍속별 각 기온 구간(영하 30°C에서 영상 5°C까지 5°C 간격으로 설정)에 대해 Fig. 5(a)와 같이 체감온도 변화경향이 비슷하게 나타났다. 그러나 영상 5°C에서는 풍속이 0 m/s에서 25 m/s로 증가할 때, 기온이 20°C 정도 감소하는 것에 비해 영하 25°C에서는 45°C 정도가 감소하는 결과를 보여, 기온이 낮을수록 기온 감소율이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 풍속의 경우는 풍속이 0 m/s 일 때는 기온이 영상 5°C에서 영하 25°C로 감소할

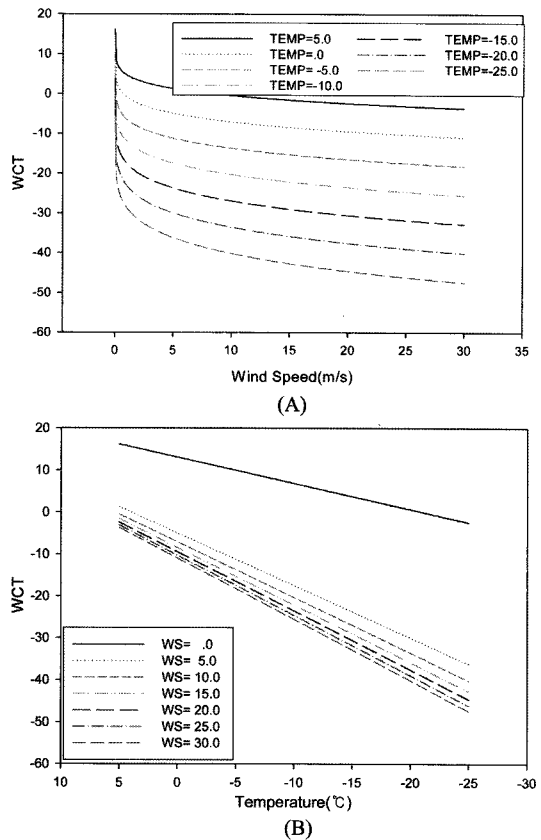


Fig. 5. JAG/TI model test for the wind chill temperature change (a) with wind speed under the constant air temperature and (b) with temperature under the constant wind speed.

때 체감온도는 20°C 정도 감소하고 있고, 5 m/s 일 38°C 정도 감소하여 풍속이 5 m/s 증가함에 따라 체감온도가 2배 정도 급격하게 감소하였다. 그러나 30 m/s에서는 체감온도가 45°C 정도 감소하여 5 m/s에 비해서 풍속은 6배 증가하였지만 체감온도의 감소율은 오히려 낮은 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 통해서 낮은 풍속에서는 기온에 따라 체감온도가 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 일정한 풍속 하에 기온이 변화함에 따라 체감온도의 변화를 나타낸 Fig. 5(b)의 결과에서도 나타나고 있다. 특히 풍속이 0 m/s일 때와 5 m/s일 때는 체감온도가 상당히 큰 차이를 나타내고 있으며 5~30 m/s 구간에서는 풍속에 따른 체감온도의 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 이는 풍속이 증가함에 따라 체감온도는 더욱 낮게 나타나지만 기온이 아주 낮은 저온일 경우보다 0°C에 가까운 기온에서 체감온도가 더

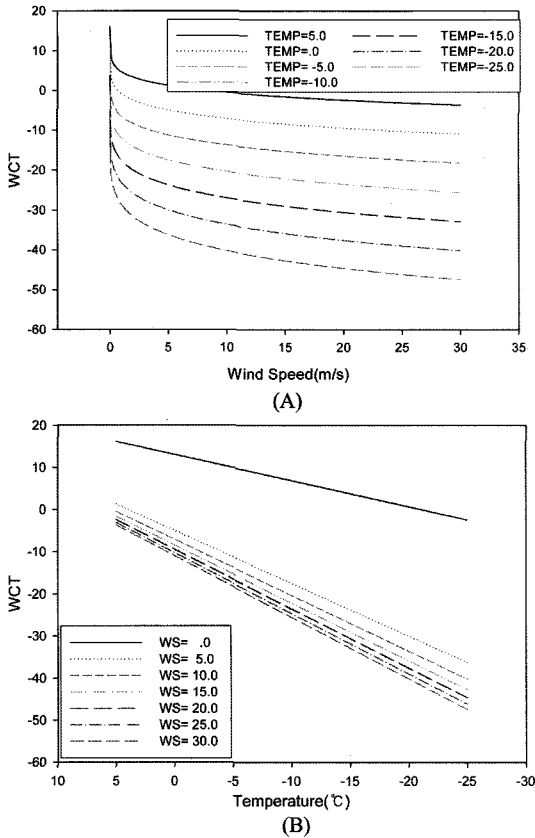


Fig. 6. Missenard model test for the wind chill temperature change (a) with wind speed under the constant air temperature and (b) with temperature under the constant wind speed.

낮게 나타나서 추위에 익숙하지 않은 상태에서 더 추운 느낌을 갖는 것으로 사료된다.

따라서 현 JAG/TI 모델의 경우 체감온도는 바람보다는 기온이 더 민감하게 작용하고 있음을 알 수 있으며, 특히 저온에서 풍속이 증가할 경우 체감온도가 급격히 떨어져 추위에 익숙하지 않은 경우가 저온이 지속되어 익숙해진 경우보다 더욱 춥게 느끼게 된다고 판단된다.

Missenard 모델

Missenard 모델의 경우도 JAG/TI 모델과 같이 각 기온별(영하 25.0°C에서 영상 5°C까지 5°C 간격으로 설정) 풍속을 변화시킨 결과 각 기온에 따른 체감온도 변화경향이 유사하다고 판단된다. 그리고 영상 5°C에서는 풍속이 0 m/s에서 25 m/s로 증가할 때, 기온이 20°C 정도 감소하는 것에 비해 영하 25°C에

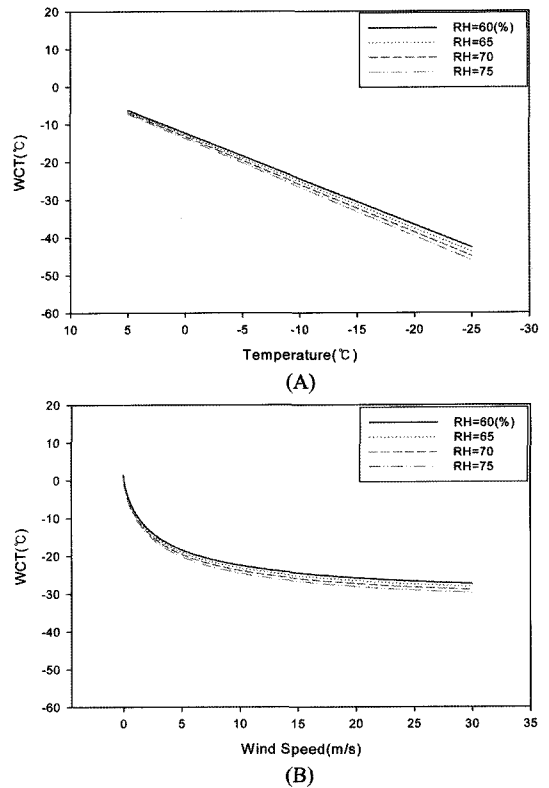


Fig. 7. Missenard model test for the wind chill temperature change with relative humidity and (a) air temperature under 5 m/s of wind speed and (b) with wind speed under -5 Celsius degree of air temperature.

서는 45°C 정도가 감소하는 결과를 보여, JAG/TI 모델과 같이 기온이 낮아수록 기온 감소율이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 풍속의 경우는 풍속이 0 m/s 일 때는 기온이 영상 5°C에서 영하 25°C로 감소할 때 체감온도는 20°C 정도 감소하고 있고, 5 m/s 일 35°C 정도 감소하였다. 그러나 30 m/s에서는 체감온도가 43°C 정도 감소하고 있어 역시 JAG/TI 모델의 결과에서와 같이 풍속이 증가함에 따라서 체감온도의 감소율은 오히려 낮은 것을 알 수 있었다. 그러나 전체적으로 Missenard 모델의 체감온도가 JAG/TI 모델에서의 체감온도에 비해 최고 10°C까지 체감온도를 낮게 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 그리고 JAG/TI 모델이 Missenard 모델에 비해서 5 m/s 이하의 저 풍속구간에서 급격한 기온변화를 보이고 있음을 알 수 있었다. 체감온도에 영향을 주는 기상 요소로는 기온과 일사량, 바람과 습도를 들 수 있는데, 특히 낮은 기온에서는 정상상태에서 땀을 흘리는

경우가 거의 없어 증발에 의한 열 손실이 거의 이루어지지 않으므로 습도를 고려하지 않으며 JAG/TI 모델에서도 습도 항을 고려하지 않았다. 하지만 저온이 아닌 영상의 온도의 경우 증발에 의한 열 손실을 고려하여야 하므로 Missenard 모델에서는 체감온도를 결정하는 변수로 기온과 풍속 그리고 습도를 사용하고 있다. 따라서 이번에는 습도 변수가 체감온도에 어떤 영향을 미치는 지에 대해서 알아보았다. 우선 상대습도를 60, 65, 70, 75%의 4가지로 설정하고 일정 풍속(5 m s^{-1})하에 기온을 변화시킨 결과를 Fig. 2.7(a)에 나타내었는데, 각 습도변화에 따른 체감온도의 변화는 유사한 경향을 보였으며 기온이 낮을수록 변화율은 다소 커졌고 습도변화에 따른 체감온도의 변화는 거의 찾아볼 수가 없었다. 기온을 고정(-5°C)하고 풍속을 변화시켰을 경우 $0\sim 5(\text{m s}^{-1})$ 에서 상당한 차이를 보였는데, 각 상대습도에 따른 체감온도의 차이는 60%와 75% 일 때 최고 4.3°C 밖에 되지 않아 상대습도가 체감온도에 미치는 영향이 다른 요소에 비해 상당히 적은 것을 알 수 있다(Fig. 7(b) 참조).

두 모델의 결과를 비교하였을 때는 Missenard 모델이 JAG/TI 모델에 비해 과대평가되는 것으로 나타났고 그 차이 값은 최대 15°C 정도였으며 풍속보다는 기온이 체감온도에 더 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 또한 저온의 경우 증발에 의한 열 손실은 그 영향이 미약하며 각 풍속과 기온에 따른 습도의 변화가 체감온도에 미치는 영향은 그다지 크게 영향을 주지 않으므로 실제 풍동에서 저온상태에서 풍속에 따른 피부온도나 체감온도의 변화를 조사할 경우 습도는 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

요약 및 결론

한반도의 기후특성과 체감온도 지수 모델의 민감도를 살펴보기 위하여 1995년부터 2004년까지 최근 10년간의 월평균기온, 월최대풍속, 월최저기온, 월평균 풍속, 월 최대 풍속, 월 총 강수량 그리고 관측지점의 해발고도를 입력변수로 하여 군집분석을 실시한 결과 3개 군집으로 나눌 수 있었으며, 서울과 부산과 같은 대도시의 특성을 살펴보기 위해 3개 군집인 내륙지역, 산간지역, 해안도서지역에 도심지역을 추가한 4개 지역으로 나눌 수 있었다.

군집분석에 의해 구분되어진 내륙지역과 산간지역, 해안도서지역 그리고 도심지역 모두 기온은 하계가

높고 동계가 낮아지는 중위도 지역의 전형적인 분포를 잘 나타내고 있으나 도심지역은 하계에는 도심의 영향으로 다소 높은 기온을 나타내었으나, 내륙지역은 그 효과가 강하지 못하여 도심지역에 비해 낮게 나타났다. 산간지역의 경우 기온이 가장 낮게 나타났으며, 해안도서지역의 경우 최저기온이 다른 지역에 비해 다소 높게 나타나 지역의 특성을 잘 반영하고 있다. 풍속의 경우 특정계절에 태풍과 같은 영향을 제외하면 연중 고르게 분포하나, 산간지역과 해안도서지역의 경우 동계에 풍속이 강하게 나타났다.

현재 기상청에서 사용하고 있는 체감온도지수를 이용한 전국적 분포는 1월이 가장 높은 4단계까지 나타났으며 대개 1~3단계 등급으로 나타나서 보호 장구 없이 외기에 노출될 경우 단기간에 저체온증에 이를 가능성이 높으며 산간지역 및 해안도서 지역의 경우가 많았다.

풍속은 체감온도에 기온과 더불어 큰 영향을 미치지만 그 영향 정도는 영상의 기온일 때 보다는 영하의 온도대에서 증가하게 되고 특히 기온이 영하 5°C 혹은 영하 10°C 이하에서는 풍속의 미세한 증가가 체감온도의 감소에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 실제 실험 시에는 기온이 높을 때에는 낮은 때에 비해 각 풍속범위 사이의 차이를 크게 두어 살펴보는 것이 타당할 것으로 판단된다.

모델의 민감도 분석결과, Missenard 모델이 JAG/TI 모델에 비해 과대평가되는 것으로 나타났고 그 차이 값은 최대 15°C 정도였으며 바람보다는 기온이 체감온도에 더 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 또한 저온의 경우 증발에 의한 열 손실은 그 영향이 미약하며 각 풍속과 기온에 따른 습도의 변화가 체감온도에 미치는 영향은 그다지 크게 영향을 주지 않으므로 실제 풍동에서 저온상태에서 풍속에 따른 피부온도나 체감온도의 변화를 조사할 경우 습도는 고려하지 않아도 좋을 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 기상연구소 주요사업 “생명기상기술개발 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

김명옥, 1986, 韓國에서의 體感溫度의 特性과 分布. 경북대

- 학교 석사학위 청구논문.
- 김혜정, 1988, 南韓의 윈드칠(Windchill)에 관한 연구. 이화여자대학교 대학원 석사학위 청구논문.
- 김수현, 최준태, 손승희, 조영순, 2003, 생활기후 분포 특성. 한국기상학회보, 13(1), 488-499.
- 박종길, 윤숙희, 이종태, 김병수, 정우식, 2005, 생명기상기술통계연구-체감온도지수 검증·개선 연구. 한국기상학회, 8 p.
- 전경은, 1971, Windchill에 의한 남한 기후의 분석. 한국기상학회지, 7(1), 33-40.
- 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.
- Missenard, A., 1957, In search of man. Hawthorn Books Inc., New York, USA, 157-221.
- Nelson, C.A., M., Phetteplace, G., Schwerdt, R., Maarouf, A., Osczevski, R., Bluestein, M., Shaykewich, J., Smarsh, D., Derby, J.C., Oettey, R.C., Verger, M., Quayle, R.G., Santee, W.R., Olenic, E., Lupo, A.R., and Browne, K., 2002, Review of the federal interagency process used to select the new windchill temperature (WCT) index. Proceedings of the 18th Conference on Interactive Information Processing System (IIPS), American Meteorological Society, Orlando, Florida, USA, Preprints.
- Siple, P.A. and Passel, C.F., 1945, Measurement of dry atmospheric cooling in subfreezing temperature. Proceeding of the American Philosophical Society, 89 (1), 177-199.
- Steadman, R.G., 1971, Indices of wind chill of clothed persons. Journal of Applied Meteorology, 10, 674-683.

2007년 8월 6일 접수
2007년 8월 24일 수정원고 접수
2007년 11월 22일 채택