

## 저온 작업환경이 인간의 생리적 반응 및 작업 수행도에 미치는 영향

구학근† · 곽효연\*

(원고접수일 : 2007년 4월 26일, 심사완료일 : 2007년 7월 20일)

### An Effect of Cold Environment on Human's Physiological Responses and Task Performances

Hak-Keun Ku† · Hyo-Yean Kwak\*

**Abstract** : Some worker is occupationally exposed to cold and freezing environment. The cold stimuli in the working environment impose physiological and psychological loads on workers to decrease the task performance. The purpose of this study is to investigate the cold stimuli of cold and freezing stores widely used in Busan can make an effect on human's physiological responses and task performance, experimentally and analytically. In the experiment, 5 workers are selected as subjects, and then their skin temperatures of hand and ear, heart rates, blood pressure, and ring test performances in cold(3℃) and freezing(-22℃) stores were measured for 21 minutes and analyzed by using statistical method. It is observed that a physiological variation and the task performance are significantly influenced by an exposure time as well as a strength of cold stimuli. Also, it is suggested the exposure limiting times for the useful manual work and the performance predict model of the ring tasks. The result of this study will be useful for a fundamental data of which design the standard task time of manual tasks and solve the job placement problem of worker selection and placement in cold environment

**Key words** : Physiological responses(생리적 반응), Task performance(작업 수행도), Skin temperature(피부온도), Exposure limiting times(노출 허용시간), Performance predict(수행도 예측)

#### 기호설명

DF : 자유도  
E : 오차요인

EF : 실험요인  
FD : F-검정통계량  
MS : 제곱평균  
P : 유의수준

† 교신저자(동명대학교 환경설비공학과), E-mail: hgkur@tu.ac.kr, Tel: 051)620-3521

\* 수원과학대학 산업경영과

$R^2$  : 상관계수  
 SS : 제곱합  
 T : 합계  
 $x_{it}$  : 노출시간 [min]  
 $x_{st}$  : 피부온도 [°C]  
 y : Ring 점수  
 $y_{est}$  : 귀 피부온도 [°C]  
 $y_{hst}$  : 손 피부온도 [°C]

## 1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다인 지형적 특성과 최근의 수입 자유화 그리고 생활수준의 향상에 의해 식생활의 다양화, 식품보존과 품질보전, 선도유지, 원활한 수급과 경쟁력 증대 등 식문화 개선에 관한 국민적 요구수준의 증대로 의해 국내 냉장 및 냉동 보관산업이 늘어나고 있다<sup>[1]</sup>. 냉장 및 냉동 보관산업은 산업구조상 인체의 특성과 무관한 특수 작업환경들 중의 하나이다. 그러나 인간이 저온환경에 노출될 경우, 작업성능의 저하, 심혈관계의 변화, 에너지 대사과정의 변화 등 생리적 변화 이외에 동상, 저체온증, 참호족, 침수족과 같은 직업성 질환 및 직업병 유발하여 산업보건학적 문제로 대두되기도 한다<sup>[2)-(5)]</sup>.

저온 작업환경은 정신적 작업보다 육체적 작업의 수행에 영향을 끼친다. 육체적 작업의 수행에 끼치는 부정적인 영향을 미친다고 보고한 바 있으며<sup>[6)-(9)]</sup>, 이들 선행연구에서 손의 피부온도 저하가 작업 수행도에 치명적인 영향을 끼치며 큰 동작보다 기민한 동작이 요구되는 손가락이 추위에 가장 민감함을 지적하였다. Clark의 연구를 비롯한 여러 선행연구에서 수작업의 민첩성을 유지시킬 수 있는 손 피부온도의 최저한계는  $20.5 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 조사·보고되고 있다<sup>[10)-(12)]</sup>. 이들의 연구는 주로 방한 보호장구를 착용한 상태에서 저온과 작업성능 및 생리적 영향과의 관계를 조사하였다. 그런데 우리나라의 냉장·냉동산업은 종업원 수가 50인 이하인 중소기업이 약 70%를 차지하는 열악한 작업환경일 뿐만 아니라 많은 작업자들이 착용한 방한복과 방한장갑이 작업효율을 떨어뜨리거나 성가심

때문에 방한 보호장구를 갖추지 않은 상태에서 작업하는 경우가 자주 발생한다. 또한, 기후환경의 변화에 대한 인간의 체온조절반응은 경험한 환경조건에 따라 다르다. 그러므로 앞에서 언급한 연구 결과들을 우리나라의 작업상황에 적용하기에는 다소 무리가 있다.

한편, 국내 연구를 살펴보면 상온 또는 고온조건 하에서 작업자의 작업능률과 생리·심리적 부담을 완화시키기 위한 국소환기시설, 냉방장치 및 냉방복 제공 등 작업환경의 영향을 최소화하는 방안들이 실시되고 있다. 그러나 냉장·냉동 보관창고와 같은 저온 작업환경 조건하에서의 작업자에게는 작업 수행도를 저해하는 직접적인 영향인자의 감소대책과 작업조건 및 설비개선 노력이 상대적으로 부족한 실정이다<sup>[13)-(15)]</sup>.

따라서 본 연구에서는 현재 운영 중인 냉장( $3^\circ\text{C}$ ), 냉동( $-22^\circ\text{C}$ ) 보관창고를 대상으로 저온에서의 작업환경이 인체에 미치는 생리적 영향과 수행도의 변화를 실험을 통해 분석하였다. 작업성능과 창고유형 및 저온 노출시간의 관계, 작업성능과 생리적 반응척도와와의 관계, 생리적 반응척도와 작업성능에 기초한 저온 노출시간의 허용한계를 제시하고자 한다. 그리고 이것을 기초로 수행도 예측을 유도하여 열악한 저온 작업환경에서 평가의 기준과 표준 작업시간 설계의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

저온 작업환경은 산업보건측면에서 작업자의 안전성과 작업 수행도에 영향을 끼친다. 냉장·냉동 보관창고 작업자의 하역 직무형태 중 수작업이 주를 이루고 있으며, 특히, 손의 민첩성이 필요한 수작업의 수행도는 영향을 받는다. 그러므로 실제 냉장·냉동 보관창고에 입실하는 현장실험을 실시하여 그 영향력을 평가하고자 한다. 손의 민첩성을 평가할 수 있는 직업검사기법인 조정작업(ring test)을 대상 작업으로 선정하였고, 손·귀 피부온도, 심박수, 혈압 등 생리적 변화를 측정하였다.

손·귀 피부온도는 Temperature preamplifier (76426, U.S.A, Lafayette) 장비로, 심박수와 혈압은 각각 심박수 측정기(Polar-450693, U.S.A), 혈압계(US-743, JAPAN)로 측정하였다. Fig. 1은 본 실험의 장치도이다. 질병이 없는 건강한 남자 대학생 5명을 피실험자로 선정하였고 이들의 신체 특성은 Table 1과 같다.

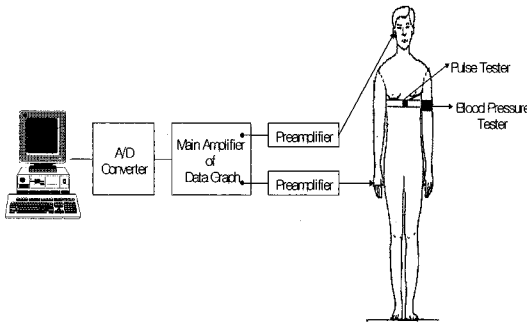


Fig. 1 Experiment design with data graph system

Table 1 Physical characteristics of subjects

Item Subject	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Chest circum- ference (cm)	Skinfold thickness(mm)	
					Upper arm	Infra- scapula
A	21	168	59	83.0	11.5	12.5
B	24	178	66	88.0	8.5	12.0
C	27	179	72	89.0	11.5	13.0
D	21	170	59	84.0	9.5	10.5
E	26	168	68	91.5	12.0	18.0

2.2 실험방법

예비실험을 실시하여 창고 입실시간을 피부온도의 향온성이 일어나는 최소한의 시간으로 21분으로 정의하였다. 그리고 작업수행 횟수 및 각 작업간의 간격을 정하였다. 예비실험을 4분 간격으로 실시한 결과 피로누적효과가 나타났다. 따라서 충분한 회복기간을 가지기 위해 조정작업은 9분 간격으로 3번을 반복하여 실험하였다. 창고 입실 시기는 하루 중 동일한 시간(10:00~13:00, 14:00~16:00)대이며 반복 작업 및 반복적인 저온노출에

의한 피로를 제거하기 위해 하루 한곳에서만 실험을 하며 실험한 다음날은 휴식을 취한 후 다시 실험을 실시하였다.

본 실험에서는 예비조절실(17℃)에서 측정부위에 센서를 부착한 후 30분간의 안정을 취하였다. 그리고 창고에 입실하기 직전에 손·귀 피부온도와 심박수 및 혈압을 측정후 1번의 조정작업을 행하였다. 창고에 입실 직후부터 손·귀 피부온도와 심박수는 1분 간격, 혈압은 2분 간격으로 측정하였다. 이때 혈압은 수축기 혈압과 확장기 혈압을 측정하였다. 그리고 조정작업은 앉은 자세에서 링(ring)과 핀(pin)의 거리가 30cm 유지되는 거리에서 제한된 시간 내에 가능한 많은 핀을 링에 꽂도록 하였다. 따라서 본 실험에서 독립변수는 창고 유형과 각 보관창고에 머무르는 시간이며 손·귀의 피부온도, 심박수, 혈압 등의 생리적 척도와 조정작업 수행도의 변화를 종속변수로 정하였다. 창고 유형, 노출시간에 따라 측정된 손·귀 피부온도, 심박수 및 확장기·수축기혈압 등 생리적 반응값을 분석하기 위하여 분산분석법(Analysis of variance: ANOVA)을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 생리적 변화

3.1.1 피부온도의 변화

피부온도의 감소 폭에 대한 개인차는 유의적이지 않았다. 냉장창고(3℃)와 냉동창고(-22℃)에서 노출시간의 경과에 따른 손·귀 피부온도의 변화는 Table 2와 Table 3 그리고 Fig. 2, Fig. 3에서 처럼 유의차가 있었다(냉장-손: P=0.000 귀: P=0.001, 냉동-손: P=0.018, 귀: P= 0.000).

냉장조건에서 손·귀 피부온도 변화 차이는 5℃~6℃를 나타내었지만 냉동조건에서는 12℃ 정도 하락하였다. 그리고 온도 하락이 서서히 일어나는 냉장조건과는 달리 냉동조건에서는 급격하게 저하하였다. 저온환경에 노출된 후 피부온도가 급격하게 변화하는 시점은 저온 노출한계가 된다.

따라서 저온에 노출되기 전(노출시간 0분)과 노출후의 노출시간에 따른 피부온도를 비교·분석하였다.

**Table 2 ANOVA of skin temperature for exposure in cold store**

Region	Source	DF	SS	MS	F	P
Hand	EF	21	632.31	30.11	3.29	0.000
	E	88	805.18	9.15		
	T	109				
Ear	EF	21	355.54	16.93	2.53	0.001
	E	88	589.31	6.70		
	T	109				

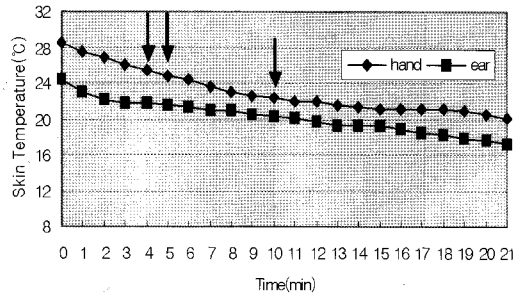
**Table 3 ANOVA of skin temperature for exposure times in freezing store**

Region	Source	DF	SS	MS	F	P
Hand	EF	21	640.93	30.50	1.93	0.018
	E	88	1387.93	15.77		
	T	109	2028.38			
Ear	EF	21	1267.12	60.34	8.97	0.000
	E	88	591.96	6.73		
	T	109	1859.07			

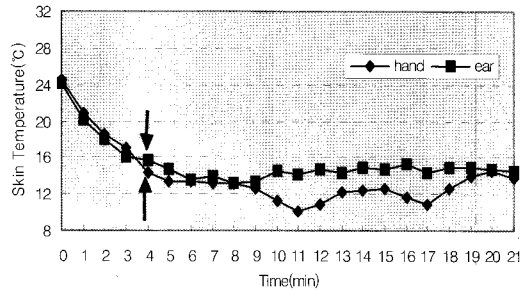
Fig. 2에 표시된 화살표가 나타낸 바와 같이 냉장조건에서 손 피부온도는 노출 후 4~5분 동안 급격한 변화가 발생하였고 이런 현상이 약 9분정도 지속되었다. 그러나 노출 후 10분이후부터, 귀 피부온도는 노출 후 6분부터 안정화되었다.

Fig. 3의 냉동조건에서 손·귀 피부온도는 모두 노출시간 약 5분 간격으로 불안정과 안정을 반복하였다.

즉, 노출 후 5분 동안 계속해서 피부온도는 변하지만 6분부터 약 10분까지는 안정적으로 유지되었다가 또 다시 온도가 변화되고 있다. 이러한 현상은 온도환경의 변화에 대한 인간의 체온조절계가 노출 초기에 급격하게 반응함을 뒷받침하고 있으며, 손 피부온도는 귀 피부온도보다 저온자극에 더 민감하다는 것을 알 수 있다.



**Fig. 2 Transitions of skin temperature in cold store**



**Fig. 3 Transitions of skin temperature in freezing store**

이러한 결과들에 의해 노출시간 증가에 따른 피부온도의 변화를 예측하는 냉장 보관창고에서의 식 (1)과 냉동 보관창고에서의 식 (2)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y_{h, st} = -0.36x_t + 26.84 \quad (R^2 = 0.901, P = 0.001) \tag{1}$$

$$y_{e, st} = -0.28x_t + 23.13 \quad (R^2 = 0.959, P = 0.001)$$

$$y_{h, st} = -0.327x_t + 17.41 \quad (R^2 = 0.587, P = 0.003) \tag{2}$$

$$y_{e, st} = -0.203x_t + 17.54 \quad (R^2 = 0.564, P = 0.011)$$

### 3.1.2 심박수의 변화

저온자극에 의한 체온 저하를 방지하기 위해 신체의 체온조절계는 교감신경계를 자극하여 피부혈관을 수축시킨다. 이에 보다 많은 혈액이 심부로 흐르게 되어 외부 온도와 신체 심부사이의 단열효과와 상승 및 혈압과 심박수가 증가한다.

Fig. 4에서 노출시간이 증가할수록 심박수는 증

가하였지만 유의차는 없었다. 그런데, 저온에 노출되기 전(노출시간 0분)과 각 노출시점간의 심박수의 차이를 비교한 결과에서 시점간 유의차가 확인되었다(냉장:  $P<0.05$ , 냉동:  $P<0.01$ ). 그리고 노출시점을 살펴보면, 냉장·냉동 보관창고에 입실한 직후 갑작스러운 온도변화에 의해 심박수가 유의적으로 증가하였다. 냉동조건에서 심박수의 변화폭이 가장 큰 시점은 약 7~8분 시점이었고 그 변화폭은 냉장조건에서 보다 훨씬 크게 나타났다. 냉장조건에서는 노출 후 약 10분, 13분, 17분 및 21분 시점에서 유의차가 두드러졌다. 그리고 노출시간이 증가할수록 심박수는 증가와 감소를 반복하는 불안정한 상태를 보여주었다.

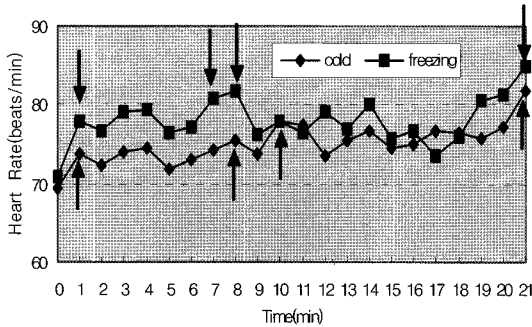


Fig. 4 Transitions of heart rate in cold and freezing stores

Table 4는 창고유형에 의한 심박수의 유의적인 차이를 분석한 결과이다. 냉장조건보다 냉동조건에서 심박수가 훨씬 증가하였으며 이것은 심박수를 증가시키는 교감신경이 냉장조건보다 냉동조건에서 그 활동이 증가하였기 때문이다.

Table 4 ANOVA of hearts rate in cold and freezing stores

Source	DF	SS	MS	F	P
EF	1	544.16	544.16	9.8730	0.0019
E	218	12015.34	55.12		
T	219	12559.50			

3.1.3 혈압의 변화

창고유형, 노출시간 등 두 실험요인이 혈압에

끼치는 영향을 분석하였다. 대체적으로 혈압의 변화 범위는 정상적인 범위(100~140mmHg/60~100mmHg)에 속하지만 기록의 변화가 심하였다.

Fig. 5와 Table 5에서는 노출시간이 지속됨에 따라 혈압이 상승하는 추세를 나타내지만 일시적으로 형성되는 한냉순응작용에 의해 국소적으로 피부 온도 또는 혈류의 상승이 일어나 정상온도에서와 동일한 생리적 반응을 보이기도 하였다.

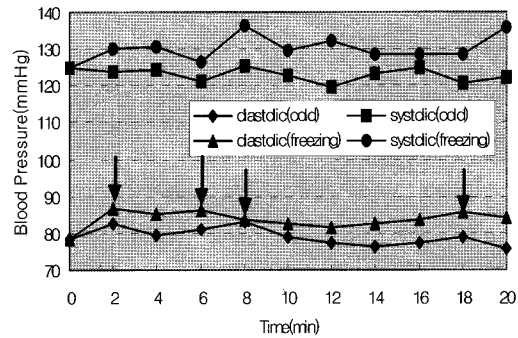


Fig. 5 Transitions of blood pressure in cold and freezing stores

Table 5 ANOVA of blood pressure for exposure times in cold and freezing stores

Region	Source	DF	SS	MS	F	P	
Cold	Systolic	EF	10	176.28	17.63	0.1010	0.9997
		E	44	7683.01	174.61		
		T	54	7859.29			
	Diastolic	EF	10	281.76	28.18	0.3671	0.9544
		E	44	3377.39	76.76		
		T	54	3659.15			
Freezing	Systolic	EF	10	652.99	65.30	0.4114	0.9338
		E	44	6984.28	158.73		
		T	54	7637.27	30.01	0.3754	0.9508
	Diastolic	EF	10	300.15	79.95		
		E	44	3517.82			
		T	54	3817.97			

저온에 노출되기 전(노출시간 0분)과 각 노출시점에서 측정된 혈압을 비교·분석한 결과, 냉장조건에서는 유의차가 나타나지 않았지만 불규칙적인 양상을 보이고 있다. 그리고 냉동조건에서는 노출 전·후의 수축기 혈압간에 유의차가 없었다.

그러나 확장기 혈압은 노출 후 2분, 6분, 8분, 18분에서 유의차를 나타내었다(P<0.05).

냉동조건에서 심박수와 혈압 등의 혈관계는 저온에 노출된 후 대략 6~7분이 경과한 후 영향을 받는 것으로 나타났다.

Table 6은 냉장 및 냉동조건에서의 혈압의 유의적인 결과를 나타낸 것이다. 냉동조건에서 확장기 혈압과 수축기 혈압은 냉장조건의 두 혈압보다 증가하였고 혈압의 변화폭도 크게 나타났다. 이것은 온도차에 의한 생리적 반응이 급격하게 변화되기 때문이다.

**Table 6 ANOVA of blood pressure in cold and freezing stores**

Region	Source	DF	SS	MS	F	P
Systolic	EF	1	1438.84	1438.84	9.95	0.0021
	E	107	15466.07	144.54		
	T	108	16904.91			
Diastolic	EF	1	606.57	606.57	8.71	0.0039
	E	107	7449.19	69.62		
	T	108	8055.76			

3.2 작업 수행도의 분석과 예측

3.2.1 작업 수행도의 분석

Table 7과 Table 8에서와 같이 창고유형과 노출시간에 따라 작업 수행도는 유의적이였다. 냉장 조건에서 평균 손 피부온도는 22.82℃로 노출 전과 비교하여 약 2℃차이가 발생하였다. 반면, 냉동 조건에서 평균 손 피부온도는 13.46℃로 창고에 입실하기 전의 온도와 비교하여 급격히 감소하였기 때문에 작업 수행도의 저하에 많은 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 각 창고에 입실하여 21분 동안 조정작업을 수행한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 6의 냉장 및 냉동조건에서는 공통적으로 저온에 노출된 후 최초 시행한 작업(노출시간 3분)능력 사이에서 가장 급격한 수행도 감소가 나타났으며, 노출시점 9분에서도 수행도가 떨어졌다. 과적으로 창고유형에 의한 작업 수행도의 변화 폭은 서로 다르지만 수행도의 변화가 발생하는 시점은 일치함을 알 수 있다.

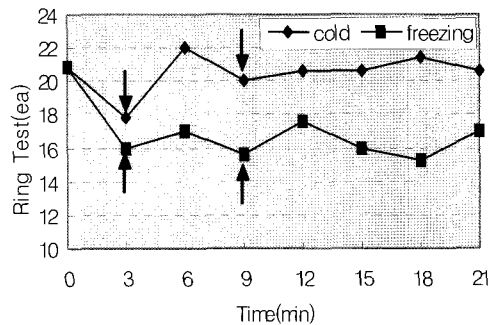
이러한 수행도 변화 시점과 3가지 생리적 반응값들의 변화시점을 동시에 비교해 보았다. 그 결과 손 피부온도의 변화시점과 가장 일치함을 알 수 있었으며 이것은 저온환경에서 수작업함의 수행도와 손 피부온도와의 밀접한 관련성을 뒷받침하고 있다.

**Table 7 ANOVA of ring test for exposure times**

Region	Source	DF	SS	MS	F	P
Cold	EF	7	53.58	7.65	2.18	0.0631
	E	32	112.40	3.51		
	T	39	165.98			
Freezing	EF	7	109.60	15.66	3.06	0.0140
	E	32	164.00	5.13		
	T	39	273.60			

**Table 8 ANOVA of ring test for cold and freezing store**

Source	DF	SS	MS	F	P
EF	1	270.11	270.11	47.52	0.0000
E	78	443.37	5.68		
T	79	713.49			



**Fig. 6 Variations of ring test for exposure times**

3.2.2 작업 수행도의 예측

5가지 생리적 반응 척도, 2가지 실험요인 그리고 작업 수행도인 조정점수간의 상관관계를 분석하고 작업 수행도를 예측하여, 조정점수와 나머지 요소와의 상관관계를 Table 9에 나타내었다. 이 결과에 의하면, 수행도 점수는 손·귀 피부온도와 창고 유형, 노출시간과 관계가 있다. 그리고 이 특정 변수들의 변화로부터 작업 수행도의 변화를 예측하기

위해 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 귀 피부온도는 작업 수행도를 예측하는 능력이 유의적이지 않기 때문에 이것을 제외한 분석을 다시 실시하였으나 냉장조건에서는 투입변수들로부터 작업 수행도를 유의적으로 예측할 수 없었다.

**Table 9 Correlation coefficients between the values of experiment factors and the ring test performance**

	Store type	Exposure time	Hand skin temperature	Ears skin temperature	Heart rate	Diastolic blood pressure	Systolic blood pressure
R <sup>2</sup>	.406	.686	.557	.312	-.066	-.064	-.189
P	.005	.000	.000	.005	.563	.573	.093

여기서, 냉동조건에서 손의 피부온도가 평균 13.46± 3.47℃ 내에서 유지될 때 21분 동안의 노출시간 증가에 의한 수행도 변화를 알 수 있는 예측식을 유도하면 식 (3)과 같다. 또한 조정작업의 능력은 노출시간이 경과함에 따라 손 피부온도의 저하에 의해서도 영향을 받았으며 그 영향의 정도를 다음의 식 (4)와 같이 추정할 수 있다.

$$y = -0.13x_t + 18.22 \quad (3)$$

(R<sup>2</sup> = 0.567, P = 0.038)

$$y = 0.3x_{st} + 13.0 \quad (4)$$

(R<sup>2</sup> = 0.693, P = 0.000)

이러한 결과들에 따르면, 냉동조건에서 작업 수행도는 저온자극에 노출되는 시간이 증가함으로써 그리고 손 피부온도의 저하에 따라 변화되므로 식 (3)과 식 (4)를 정리하여 다음 식 (5)와 같이 예측할 수 있다.

$$y = 0.3x_{st} - 0.03x_t + 13.7 \quad (5)$$

### 4. 결 론

저온 환경에서의 작업자의 안전과 작업효율 향상을 위한 기초 연구로서 냉장 및 냉동조건에서 작업

환경 노출에 따른 작업자의 수행도 변화와 생리적 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 냉장조건에서 평균 손 피부온도는 22.82℃로 노출 전과 비교하여 약 2℃차이가 발생하지만 냉동조건에서는 손 피부온도가 급격히 감소하여 평균 13.46℃이었다. 이것은 저온환경에 대한 주관적 평가지수 중 불쾌한 저온과 극심한 저온에 해당될 뿐만 아니라 위험 한계온도에도 포함된다. 이런 사실은 우리나라 냉장·냉동보관산업에 종사하는 근로자가 열악한 작업환경조건에 노출되어 있음을 입증하고 있다. 그러므로 앞으로 작업자의 작업 효율성 향상과 저온장애 예방을 위한 체계적인 관리 노력이 필요하다.

(2) 인체의 혈압과 심박수 등은 물리적 환경요인 이외에도 심리적이거나 정신적 스트레스 등의 요인에 민감하게 반응하는 경향이 있다. 그리고 혈압은 심박수의 영향을 받게 되며, 본 실험에서도 불규칙적인 변화양상이 심박수와 혈압의 측정에서 확인되었다. 따라서 두 생리적 반응 척도보다 상대적으로 안정된 형태를 보여주는 손 피부온도가 저온환경에 의한 작업자의 생리적 영향을 일관성 있게 평가할 수 있는 척도로 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

(3) 참고유형에 따라 허용노출 한계시간을 제시할 수 있다. 작업자는 냉장참고에 입실 후 10분, 냉동참고에서는 약 5분 동안 작업을 수행한 후 밖으로 나와 실온에서 정상체온으로 회복시켜야 한다. 여기서 제시한 허용 노출 한계시간은 본 연구에서 측정된 생리적 변화시점 및 수행도 변화시점과 일치하였다.

(4) 작업 수행도는 참고유형, 노출시간, 손 피부온도에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 이들의 영향력을 추정할 수 있는 작업 수행도의 예측모형은 식 (5)와 같이 제안하였다.

끝으로 본 연구에서의 노출 허용시간은 냉장·냉동 보관참고에서 저온 작업환경의 개선 및 작업시간의 설계기준으로 제공되며, 수행도 예측모형은 작업 성능과 생리적 반응 특성에 근거한 작업자의 선발, 배치에 대한 자료로도 활용성이 클 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 오후규, “냉동수산물 유통기간에 관한 사례 연구”, 대한설비공학회, 2006년도 냉동냉장설비 전문 특별강연회, pp. 3-17, 2006.
- [2] Kroemer, K., and Kroemer-Elbert, K. E., Ergonomics, Prentice Hall, pp. 255-263, 1994.
- [3] Hugo, P., Laura, P., and Houshang, S., “Musculoskeletal symptoms in cold exposed and non-cold exposed works”, Int. J. of Industrial Ergonomics, Vol. 34, No. 4, pp. 271-278, 2004.
- [4] 김규상, “물리적 인자에 의한 직업성 질환 I”, 월간산업보진, 11월, pp. 10-19, 2004.
- [5] Achim, E., Simone, G., Norbert, K., Semmer, C. B., and Hans, G., “Two urinary catecholamine measurement indices for applied stress research: Effects of time and temperature until freezing”, Human Factors, Vol. 45, No. 4, pp. 563-574, 2003.
- [6] 박경수, 인간공학, 영지문화사, pp. 576-577, 2007.
- [7] Lemouaria, M., Boumazab, M., and Mujtabac, I. M., “Thermal performances investigation of a wet cooling tower”, Applied thermal engineering, Vol. 27, No. 5, pp. 902-909, 2007.
- [8] Meese, G. B., Kor, R., Lewi, M. I., and Wyon, D. P., “A laboratory study of the effects of moderate thermal stress on the performance of factory workers”, Ergonomics, Vol. 27, No. 1, pp. 19-42, 1983.
- [9] Tanaka, M., Tochhara, T., and Yamazaki, S., “Thermal reaction and manual performance during cold exposure while wearing cold-protective clothing”, Ergonomics, Vol. 26, No. 2, pp. 141-149, 1983.
- [10] Brooke, S., and Ellis, H., Handbook of human performance, Academic press Ltd., pp. 203-211, 1992.
- [11] David, J. O., Ergonomics at work, John Wiely & Sons, Ltd., pp. 223-237, 1984.
- [12] Clark., D. H., and WojiechoWicz, R. A., “The effect of low environmental temperatures on ocal muscular fatigue parameters”, Am. Correct, Ther. J., pp. 32-35, 1978.
- [13] Enander, A., “Performance and sensory aspects of work in cold conditions : A review”, Ergonomics, Vol. 27, No. 4, pp. 365-378, 1984.
- [14] 윤명조, “국소환기 설계의 전산화에 관한 연구”, 한국산업위생학회지, Vol. 3, No. 2, pp. 213-226, 1993.
- [15] 정종만, 이영숙, “한냉혈관반응 측정에 관한 연구”, 대한인간공학회지, Vol. 15, No. 2, 1996.

## 저 자 소 개



## 구학근(具學根)

1983년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업, 1989년 부산수산대학교 냉동공학과 대학원 졸업(공학석사), 1994년 부산수산대학교 냉동공학과 대학원 졸업(공학박사), 현재 동명대학교 공과대학 환경설비공학과 교수



## 곽효연(郭孝連)

1991년 2월 동아대학교 산업공학과 졸업(공학사), 1993년 2월 동아대학교 대학원 산업공학과 졸업(석사), 1999년 2월 동아대학교 대학원 산업공학과 졸업(박사), 현재 수원과학대학 산업경영과 조교수