

# WBGT지수를 이용한 온열작업장 근로자의 열피로특성에 관한 연구

마성준 · 이내우<sup>†</sup> · 설수덕\* · 이진우\*\*

부경대학교 안전공학과 · \*동아대학교 화학공학과 · \*\*한국산업안전공단  
(1999. 9. 21. 접수 / 2000. 1. 24. 채택)

## A Study of Heat Stress Characteristics on Workers in Hot Workplace by WBGT Index

Sung-Jun Ma · Nae-Woo Lee<sup>†</sup> · Soo-Duk Seul\* · Jin-Woo Lee\*\*

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

<sup>†</sup>Department of Chemical Engineering, Dong-A University · \*\*Korea Occupational Safety & Health Agency

(Received September 21, 1999 / Accepted January 24, 2000)

**Abstract :** We have compared the regulations of hot environment workplaces between Korea and ACGIH, then pointed out some insufficiencies of Korean regulations for occupational hygiene and safety. And investigated the heat stress characteristics of laboratory, lathe and foundry working. The metabolic heat loads of those workplaces were obtained as 120, 300 및 660 kcal/hr based on WBGT index. WBGT index could be depended on weather condition, therefore useful for controlling working and rest times etc, but Belding-hatch index was represented by strength of working, definitely this would be convinient result for arranging countermeasures of workers in hot environments by estimating metabolic heat and signs of fatigue.

### 1. 서 론

여러 종류의 작업장은 생산공정상의 필요나 일기변화에 따라 온습조건에 많은 차이가 있으며, 불가피하게 인체에 불리한 열환경조건이 조성되는 경우가 많다. 일반적으로 열피로(heat stress)와 열장해(heat strain)는 근로자의 안전과 보건을 평가하는데 필요하며, 열피로는 열적영향을 발생시키는 원인을 말하고, 열장해는 열에 의해 발생하는 결과로서 생리적인 부하를 의미하게 된다. 열피로에 대한 허용기준은 작업자가 반복적으로 노출되어도 건강에 대한 영향이 없다고 판단되는 열에 의한 피로기준이다. 이 조건은 근로자가 모든 것에 잘 적응되어 있고 필요한 수분

과 염분은 주어진 작업조건에 효과적으로 보급되며, 신체내부의 온도가 38℃를 초과해서는 안 된다는 가정에 근거하고 있다. 그리고 생체와 환경사이의 열교환에 영향을 미치는 것은 기온, 기류, 습도 및 복사열 등의 요인이다<sup>1,2)</sup>.

신체내부에서 발생하는 열은 열피로의 한가지 형태이고, 따라서 이것을 측정하는 것은 아주 본질적인 사항이라 할 수 있다. 따라서 신체에서 소비되는 총열량을 나타내는 신진대사열을 측정하는 것은 사업장에서 가장 필요한 것이라 할 수 있다. 신진대사열을 측정하는 방법에는 작업자의 산소소비량을 측정하는 방법과 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist)에서 추천하고 있는 근로자들의 작업부하나 방법에 의해 신진대사열을 측정하는 방법이 있다. 이것은 기준도표에 의해서 신진대사열을 계산하

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
nwlee@pknu.ac.kr

는 방법이다. 외부에 일을 하거나 활동함으로써 발생하는 신진대사열은 신체의 열평형에서 대단히 중요한 부분이고 이 방법에 의한 신진대사열의 평가는 이 분야에 대한 실제적인 경험이 필요하다<sup>3,5)</sup>. 그러나 산소의 소비량은 육체적인 부하보다 열폭로에 의한 영향이 적다.

열피로지수를 측정하는 방법으로는 WBGT(wet bulb globe temperature)지수법이 간단하고 전문지식이 필요없어도 고온의 열부하를 평가할 수 있는 장점이 있으며, 자연습구온도(natural wet bulb temperature), 흑구온도(globe temperature) 및 공기온도와 같은 몇 가지의 기본적인 요소로서 계산이 가능하다.

WBGT지수방법은 온열환경에 있는 근로자들의 열환경의 적합성 여부를 나타내는 방법으로서, 국제적으로 공인된 OSHA(Occupational Safety and Health Administration), ACGIH, ISO(International Organization for Standardization), NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health) 및 AIHA(American Industrial Hygiene Association) 등에서 추천하고 있는 방법이다. 이 외에도 열피로지수의 계산법에는 땀의 발생률에 의한 예측법, 습구건구 지수법, 온도습도 지수법, 습도표 사용법, 상대적인 장애지수법 등 여러 가지가 발표되어 있으나, 신진대사열에 근거하여 계산하는 Belding-Hatch 열피로지수에 대한 결과도 비교하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 온열환경 작업조건에 관련된 작업환경측정 및 정도관리규정과 ACGIH규정을 서로 비교하여, 실제적인 관리의 미비점을 지적하고 우리나라기준의 개선방향을 제시하고자 한다.

특히 열피로지수는 여러 가지 기후조건에 근거한 WBGT지수와 작업장 근로자의 작업강도를 나타내는 신진대사열에 근거한 Belding-Hatch 열피로지수(heat stress index : HSI)를 계산하여 휴식시간 산정과 같은 작업방법이나 적정한 에너지 소비량 등을 산정하여 근로자의 안전 및 보건관리의 목적으로 사용하고자 한다. 이에 대한 대상작업장으로는 작업부하가 높지 않은 실험실 근무자, 중간이상의 부하를 요구하는 선반작업자 및 최대의 작업부하를 요구하는 주물공장의 근로자들을 대상으로 실험하였다.

## 2. 배경이론

### 2.1. 건습구 도표

건습구 도표( psychrometric chart)는 WBGT를 결정하는데 필요한 건구온도, 습구온도, 상대습도, 증기압 및 로점 온도와의 상관관계를 그림으로 나타낸 것으로서 본 연구에서는 이 도표를 활용하였다<sup>6)</sup>. 즉 어떤 환경에서 두가지의 열적인 조건을 알면 다른 세 번째의 것은 표에서 찾을 수 있다. 100% 상대습도란 것은 건구온도, 습구온도 및 로점 온도가 같다는 의미가 된다.

### 2.2. 열피로 지수

#### 2.2.1. 열적평형

열피로지수(heat stress index)를 측정하는 중요한 기준은 열장애(heat strain)이고, 신체내부에서 일어나는 생리적 현상의 변화에 대한 상관성이 있다. 열피로에 대한 중요한 생리적 현상은 입내부온도, 귀내부온도, 식도내부온도와 내장의 온도증가 및 심장박동율과 땀의 발생률의 증가 등이다.

환경적인 인자나 물리적인 인자 이외에 나이, 건강상태, 의복 및 풍토적응성 등이 열장애에 기여하는 중요한 인자이다. 열피로지수는 이러한 인자들을 한꺼번에 나타내고 있으며, 생리적인 현상의 각각에 대한 정확한 자료는 아직 제시되지 못하고 있다. 신체의 열생산과 체열방산의 평형상태 유지여부에 따라 근로자가 불쾌하거나 유쾌한 작업환경이 된다. 생체와 환경사이의 열교환은 기본적으로 다음과 같이 열역학적 관계식으로 이루어진다.

$$\Delta S = M - E \pm R \pm C \quad (1)$$

체열의 생산과 방산이 평형을 이룬 상태, 즉 생체열용량의 변화가 없는 상태에서는 생체내의 신진대사로 말미암아 생성된 열은 모두 방산되는 셈이고  $\Delta S=0$ 이 된다. 그리고 열의 손실이 생기면 증발열이 음의 값을 가지는 반면에, 열을 받으면 신진대사열은 양의 값이 될 것이다. 열교환에서 이들의 영향에 의해 다른 성분도 양이나 음의 값이 될 수 있다. 전도열은 대단히 적고 통상 무시될 수 있다.

과도한 고열환경에 장기간 폭로되면 정신신경

반응으로서 초조감의 증대, 권태감, 의욕저하, 불안증대, 집중력의 상실을 가져와서 생산능률의 감소와 제품의 품질저하를 야기시킨다.

**2.2.2. 신진대사열(Metabolic heat)의 계산**

작업환경에서 기준도표를 이용하여 신진대사열을 측정하는 방법은 ACGIH에서 제시한 Table 1에 나타낸 바와 같은 기준을 이용한다<sup>7)</sup>. 이것은 전형적인 업무형태에 따른 에너지소비량으로 도표화되어 있으며, 신체의 여러 가지 부분에 대한 업무형태, 즉 팔운동, 다리운동, 서서있거나 걷기 등에 따른 신진대사열을 도표화 해 놓았다. 그리고 신진대사열은 근로자의 실제적인 운동에 근거한 부분적인 대사열의 합으로서 나타낼 수 있다.

ISO에서는 기본적인 신진대사율의 값, 작업의 형태나 신체의 위치에 따른 신진대사율 및 업무형태에 따른 신진대사율과 작업속도에 따른 신진대사율의 합으로서 결정하도록 추천하고 있다. 기본적인 신진대사율은 나이, 몸무게, 키 등에 관련되고, 정상인에 대한 값은 44 watts/m<sup>2</sup>이다<sup>5)</sup>.

작업 및 휴식장소에 따라 WBGT의 값은 다르므로 신진대사열의 값은 시간가중평균값을 사용하여야 한다. 시간가중평균대사율(Av. M)은 다

음 식(2)와 같다.

$$Av. M = \frac{M_1 \times t_1 + M_2 \times t_2 + \dots + M_n \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (2)$$

**2.2.3. 열피로지수의 계산**

실내외에서 열피로의 정도를 계산하기 위한 WBGT지수는 흑구온도, 건구온도와 자연습구온도(NBGT : natural wet bulb globe temperature)로부터 다음 식(3)과 (4)와 같이 계산된다.

1) 실내에서 직사광선을 직접 받지않는 경우  
 $WBGT = 0.7 NWBT + 0.3 GT \quad (3)$

2) 실외에서 직사광선을 받는 경우  
 $WBGT = 0.7 NWBT + 0.2 GT + 0.1 DB \quad (4)$

그리고 Belding-Hatch에 의한 열피로지수는 다음 식(5)와 같이 계산될 수 있다.

$$HSI = \frac{M + R + C}{E_{max}} \quad (5)$$

이상에서 열거한 여러 가지 항목에 대한 계산 방법은 다음과 같다.

1) 복사열  
 $R = 11.3k(RT - Ts) \quad (6)$   
 k는 착용하고 있는 옷의 단열에 근거한 계수  
 $[k = 1 - 0.5(clo)]$

여기에서 1은 완전나체에 대한 값이고 0.7은 긴바지와 짜른 팔형태의 상위에 대한 값이며, 이것은 착용하고 있는 옷의 종류에 따라 서로 다른 고정인자(thermal insulation index)로서 보다 상세한 값은 Table 2와 같다.

**Table 1.** Guidelines for assessing workload<sup>7)</sup>  
 A. Body position and movement

	Kcal/min	Remark
Sitting	0.3	Average values of metabolic rate during different activities to be added basal metabolism of 1.0 Kcal/min
Standing	0.6	
Walking	2.0 - 3.0	
Walking up hill	add 0.8	per meter(yard) rise

B. Type of work

		Average Kcal/min	Range Kcal/min
Hand work	light	0.4	0.2 - 1.2
	heavy	0.9	
Work with one arm	light	1.0	0.7 - 2.5
	heavy	1.7	
Work with both arms	light	1.5	1.0 - 3.5
	heavy	2.5	
Work with body	light	3.5	2.5 - 15.0
	moderate	5.0	
	heavy	7.0	
	very heavy	9.0	

**Table 2.** Threshold limit value WBGT correction factors in °C for clothing<sup>7)</sup>

Clothing type	Clo. Value
Summer work uniform	0.6
Cotton coveralls	1.0
Winter work uniform	1.4
Water barrier, permeables	1.2

2) 복사온도 (°C )

$$RT = [(T_g + 273)^4 + 0.248(10^9)(T_g - T_a)(Gv)^{0.5}]^{0.25} - 273 \quad (7)$$

3) 대류열 부하

$$C = k(V)^{0.6}(T_a - T_s) \quad (8)$$

4) 최대 땀증발열

$$E_{max} = 2k(V)^{0.6}(42 - PPA) \quad (9)$$

$$[E - P \frac{T_a - T_w}{1555}] 0.75 \quad (10)$$

$$E : \exp \cdot (21.4 - \frac{5351}{T_w})$$

[  $T_w$  : wet bulb temperature (K) ]

$$P = 1014 - (\frac{H}{29}) \quad [ H : \text{altitude (m)} ]$$

3. 실험

열환경은 건구온도(공기온도), 습구온도, 자연 습구온도, 상대습도, 공기유속, 흑구온도, 복사온도 등과 같은 열적성분을 다음과 같이 측정함으로써 평가될 수 있다.

3.1. 건습구온도 측정

건구온도와 자연습구온도(NWBT)의 측정범위는 -5°C에서 +50°C이며 정밀도는 ±0.5°C로서 건구온도는 통상의 유리제 액상온도계를 사용하였고, NWBT에는 Assmann-통풍건습계(Psychrometer) (Japan, SATO-7400)가 사용되었다. 습구온도는 감지부에 젖은 천으로 싸여져 있고 공기의 강제 통풍이 되는 곳에 노출되어 있다. 직사광선은 피하고 NWBT에 피복된 천은 온도를 측정하기 전

에 증류수를 적시고 측정 2분전에 모터를 가동한 후 측정한다.

3.2. 흑구온도 측정

흑구온도계(Korea, DK-012)는 복사열을 측정하는 방법에 사용하고, 온도의 측정범위는 -5°C에서 +150°C이며 정밀도는 ±0.5°C이다. 이것은 직경이 15cm이고, 복사열을 흡수할 수 있도록 되어 있으며, 구리로 만든 공형태의 내부에 고정하여 1시간마다 측정하였다.

3.3. 공기속도 측정

대기의 풍속과 온도를 측정할 수 있도록 제작된 풍속계 (digital anemometer)(Japan, Lutron AM-4203)는 휴대용으로서, 필요한 장소와 시간에 따라 이동하여 측정할 수 있는 형태였다.

3.4. 복사열 측정

복사열(Tr)교환을 결정하는 것은 열환경을 정의하는데 필요하고, NIOSH가 추천하는 흑구온도계의 정의에서 나타낸 방사율은 0.95이다. 그리고 공기온도(  $T_a$  ), 구온도 (  $T_g$  ) 및 공기속도 (V)로부터 다음식에 따라 평균복사온도를 평가한다.

$$T_r = T_g + (T_g V^{0.8})(T_g + T_a) \quad (11)$$

4. 결과 및 고찰

4.1. 관련규정의 비교

우리나라의 온열환경 작업조건에 관련된 작업환경측정 및 정도관리규정<sup>4)</sup>과 미국의 ACGIH 규정<sup>6)</sup>을 서로 비교하기 위하여 Fig. 1와 Table 3을 나타내었다. Fig. 1에는 ACGIH에서 제시하고 있

Table 3. Comparison of Permissible Heat Exposure (°C) between Korea & ACGIH regulation, WBGT Criterion Values for Work Rates

Hourly Activity	Light			Moderate			Heavy		
	Korea	ACGIH		Korea	ACGIH		Korea	ACGIH	
		unacclimatized	acclimatized		unacclimatized	acclimatized		unacclimatized	acclimatized
100% work	30.0	27.0	30.0	26.7	25.0	28.0	25.0	22.5	26.5
75% work 25% rest	30.6	28.5	31.0	28.0	26.5	29.0	25.0	24.5	27.5
50% work 25% rest	31.4	30.0	32.0	29.4	28.0	30.0	27.9	26.0	28.5
25% work 75% rest	32.2	31.0	32.5	32.2	29.5	31.5	30.0	27.5	30.5

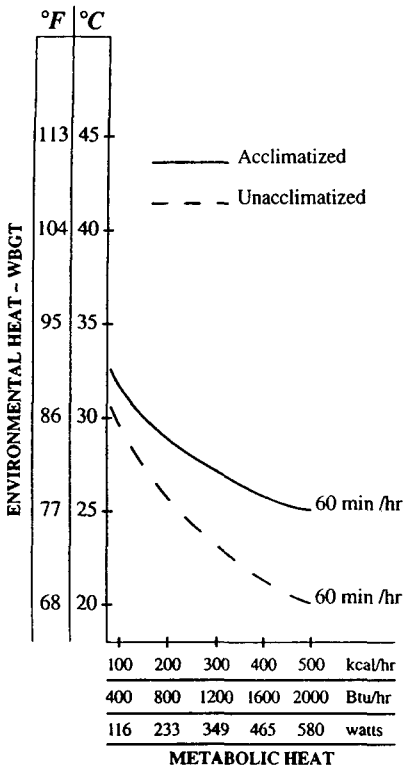


Fig. 1. Permissible heat exposure TLVs for heat acclimated and unacclimated workers

는 근로자의 업무적응도에 따른 WBGT지수와 신진대사열과의 상관성을 나타내고 있다. 이것은 신진대사열이 많이 소비되는 중노동일수록 적응도에 의한 차이가 많음을 보여주고 있다. 이와같이 ACGIH에서 적용하는 Fig. 1과 이와 관련된 ACGIH의 온열환경에 대한 노출기준과 우리나라의 기준을 구체적으로 비교하여 Table 3에 나타내었다. 따라서 우리나라의 기준은 온열환경에 대한 허용기준을 정할 때 근로자의 업무에 대한 적응도를 충분히 고려하여야 한다. 즉 초심자와 온열작업장에 대한 적응력이 있는 근로자와의 사이에는 열에 대한 적응력의 차이가 있음이 분명한데 이에 대한 고려가 되지 않고 있다. 구체적으로 말하면 우리나라의 규정은 ACGIH의 규정에서 정한 적응시의 경우와 적응하지 못하였을 경우에 대한 중간값을 취하고 있다.

#### 4.2. 신진대사열의 계산

신진대사열이란 체내에서 소비된 열량 전부를 의미하므로 작업장내에서 이것을 측정하는 것은

근로자의 안전보건관리라고 하는 측면에서 중요한 의미를 갖게 된다. 신진대사열량은 소비된 산소량에 의해 측정될 수도 있으나 이 방법은 예민한 방법이 되지 못하기 때문에 본 실험에서는 ISO와 ACGIH 등에서 추천하고 있는 WBGT지수를 이용한 기준도표법에 의해 계산을 시도하였다. 이에 대한 대상작업장으로는 크게 세가지로 분류하여 작업부하가 높지 않은 실험실 근무자, 중간이상의 부하를 요구하는 선반작업자 및 최대의 작업부하를 요구하는 주물공장의 근로자를 대상으로 실험하였다. 이 계산에 필요한 작업부하의 평가기준, 즉 신체의 위치와 운동에 대한 부분과 작업의 종류에 대한 신진대사열의 부하구분은 ACGIH규정에 있는 Table 1를 이용하였으며 그 계산 실례를 실험실근무자에 대하여 아래와 같이 나타내었다.

Standing along	0.6 Kcal/min
Hand work	0.4 Kcal/min
Basal metabolism	1.0 Kcal/min
<b>Total Kcal/min</b>	<b>2.0 Kcal/min (120 Kcal/hr)</b>

사업장의 종류에 따른 신진대사열의 계산결과는 다음 Table 4와 같다. 이와 같이 세가지의 대표적인 업무형태에 대한 신진대사열의 소비량을 계산한 결과 작업형태에 따라 신진대사열량은 120, 300 및 660 Kcal/hr 가 소비되고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 열피로지수(HSI)와 깊은 관계가 있다. 열피로지수를 계산하기 위하여는 식 (5)에 나타낸 바와 같이 신진대사열의 값이 기여

Table 4. Comparison of metabolic heat for three kinds of work (Unit : Kcal/min)

	Laboratory work		Lathe work		Foundry work	
	Body position & movement	standing along	0.6	walking	2.0	walking
Type of work	hand work	0.4	work with both arms	2.0	work with body	7.0
Basal metabolism	1.0		1.0		1.0	
Total	2.0		5.0		11.0	

되므로 신진대사열이 큰 업종은 다른 업종보다도 당연히 열피로지수가 높게 될 것임을 알 수 있다. 따라서 이러한 근로자들의 효율적인 관리를 위하여 근무형태 및 휴식시간의 결정, 필요한 영양분의 공급계획, 신체검사의 종류와 주기결정 및 신규근로자의 교육과 배치 등에 좋은 자료가 될 것임으로 이를 활용하면 많은 관리효과가 있을 것으로 예측된다.

### 4.3. 열피로지수의 계산

본 실험에서 선택한 세가지의 작업장에서 WBGT지수와 Belding-Hatch지수를 계산하여 비교한다. 실험대상 작업장은 직사광선을 직접받지 않는 실내작업장으로 정하여 WBGT지수는 식(3)을 이용하고, Belding-Hatch의 지수(HSI)는 식(5)의 계산에 필요한 항을 구하여 산출한다.

#### 4.3.1. Wet-bulb globe temperature index

선택된 세가지 사업장인 실험실, 선반공장 및 주물공장에서 WBGT지수 계산은 다음의 식(3)  $WBGT = 0.7 NWBT + 0.3 GT$ 에 대입하여 계산하였다. 각각의 작업장에 대한 열환경 측정결과와 이것으로부터 계산된 WBGT 이외에 여러 가지의 열적인자에 대한 값도 역시 Table 5, 6, 7에 나타내었다. 여기에는 여러 가지 시간간격  $t_1, t_2, \dots, t_n$  동안의 근로활동과 휴식시간 등에 따라 각각 다른 값을 나타낼 수 있고, 하루 전체의 시간가중평균(time weighted average) WBGT를 다음 식과 같이 계산하였다. 이 식에서  $WBGT_1, WBGT_2, \dots, WBGT_n$ 는  $t_1, t_2, \dots, t_n$  동안의 WBGT이다.

$$Av. WBGT = \frac{WBGT_1 \times t_1 + WBGT_2 \times t_2 + \dots + WBGT_n \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (12)$$

#### 4.3.2. Belding-Hatch 지수

Belding-Hatch지수는 식(5)  $HSI = \frac{M+R+C}{E_{max}}$

에 대입하여 계산하기 위해 외부의 풍속이 1m/sec 일 때 실험실내부 근로자의 작업환경에 대한 경우를 한 예로 하여 다음과 같이 계산하여 구하였다.

Ta : Air temperature	=	22 °C
Wet-bulb temperature	=	17 °C
Mean radiant temperature	=	54 °C

Air speed(in laboratory)	=	0.5 m/sec
Insulation value of clothing	=	0.6 clo.
Then water vapour pressure	=	12 mmHg
M : Metabolic heat	=	120 Kcal/hr
R : Radiative heat	=	29 Kcal/hr
C : Convective heat	=	-60 Kcal/hr
E <sub>max</sub>	=	277 Kcal/hr

1) 복사열에 대한 부하(R)는 식(6) :  $R = 11.3 k (RT - T_s)$ 에 대입하여 계산한다.

여기에서

(1) 착용하고 있는 옷에 의한 값 k (thermal insulation index) =  $1 - 0.5(clo)$ 에 0.9를 대입한다.

(2) 복사온도(RT)는 식(7)

$$RT = [ (T_g + 273)^4 + 0.248 (10^9) (T_g - T_a) (G_v)^{0.5} ]^{0.25} - 273$$

에 대입한다. 여기에서  $T_g$ 의 측정결과 32.9°C 이고, 흑구온도계 주변변의  $G_v$  (Air speed)는 1.0 m/sec로 하면 RT는 약 54°C이다.

(3) 피부의 온도( $T_s$ )는 특수한 경우를 제외하고는 대체로 35°C이므로 이를 대입한다.

2) 신진대사량 M은 위의 항4.2에서 얻어진 3가지의 결과중에서 120, 300 및 660 Kcal/hr를 각각 대입하였다.

3) 대류열(C)의 부하는 식(8)  $C = k (V)^{0.6} (T_a - T_s)$ 에 대입하여 계산한다.

여기에서 V는 작업자 근방에서 공기속도 (0.5 m/min : 30 m/hr)를 대입한다.

4) 최대 땀증발량( $E_{max}$ )는 식(9)  $E_{max} = 2 k (V)^{0.6} (42 - PPA)$ 에 대입하여 계산하고, 수증기 분압은 식(10)에 대입하여 계산하였다. 따라서 실험실에서 오후 14:30 시의 결과로부터 계산하면  $HSI = \frac{120 + 129 - 60}{277}$

$\times 100 = 68.2\%$ 가 되며, 이상과 같이 얻어진 모든 자료를 대입하여 계산한 결과를 Table 5, 6, 7에 나타내었다.

열피로의 정도를 예측하기 위해 HSI지수와 WBGT지수를 구하는 방법을 이용하였으나 이 두가지의 방법은 서로 다른 계산인자를 사용하기 때문에 서로의 상관성을 직접 비교하기는 어

럽다. 그러나 Table 5, 6, 7에 나타난 지수의 계산 결과를 보면 WBGT지수는 변화폭이 완만하나 HSI지수는 변화폭이 크다. 이것은 HSI지수계산에 사용되는 신진대사율, 복사율, 대류열 및 땀

증발률 등이 작은 온도차이에도 민감하기 때문인 것으로 사료된다. 이상의 결과들로부터 각각의 사업장에 대한 복사열, 열피로지수에 대한 비교결과를 항 4.4와 4.5에서 그림으로 비교하고 설명하였다.

Table 5. Variations in environmental measurement and heat stress indices in a laboratory - April

Time	09:30	10:30	11:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
Radiant Temp.(°C)	34.3	47.6	53.3	57.5	54.0	50.5	42.4	29.7
Dry bulb Temp.(°C)	18.0	18.5	20.0	21.0	22.0	22.0	20.5	21.5
Wet bulb Temp.(°C)	16.0	16.5	16.5	16.0	17.0	16.5	16.0	15.5
Relative humidity(%)	82	82	71	64	61	57	55	53
WBGT(°C)	19.5	21.4	23.4	24.8	25.3	24.9	22.6	22.3
GT(°C)	23.0	28.0	31.2	33.5	32.9	31.5	27.5	24.0
HSI (%)	13.7	48.2	64.1	75.0	68.2	59.6	36.6	7.3

Table 6. Variations in environmental measurement and heat stress indices in a lathe working factory - April

Time	09:30	10:30	11:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
Radiant Temp.(°C)	59.8	68.2	72.9	77.3	75.1	67.9	68.4	60.9
Dry bulb Temp.(°C)	16.0	19.0	21.0	21.0	21.0	22.0	18.0	17.5
Wet bulb Temp.(°C)	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	16.0	15.0	15.0
Relative humidity(%)	81	65	52	52	52	54	73	77
WBGT(°C)	20.5	24.3	26.7	27.3	27.0	27.0	23.4	22.0
GT(°C)	31.0	31.0	40.0	42.0	41.0	38.5	36.0	32.5
HSI (%)	132.9	157.6	166.6	176.7	171.7	161.8	156.5	140.1

Table 7. Variations in environmental measurement and heat stress indices in a foundry working factory - April

Time	09:30	10:30	11:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
Radiant Temp.(°C)	49.8	49.3	69.5	72.9	73.6	58.6	57.8	50.9
Dry bulb Temp.(°C)	19.5	20.5	21.0	22.5	23.5	24.0	23.0	22.5
Wet bulb Temp.(°C)	17.0	18.5	18.5	19.0	19.0	18.5	18.0	18.0
Relative humidity(%)	86	83	79	79	65	59	62	65
WBGT(°C)	22.5	23.4	26.3	28.1	29.1	27.6	26.6	25.4
GT(°C)	29.5	30.0	38.5	41.0	42.0	36.0	35.0	32.0
HSI (%)	261.7	276.7	332.5	344.5	338.4	292.2	283.5	267.9

#### 4.4. 복사열

Table 6, 7, 8에 나타난 각각의 복사온도와 식(6)에 나타난 복사열의 계산식을 이용하여 그 상관성을 나타낸 것이 Fig. 2이다. 이 계산에서 피부온도는 35°C를 대입하여 얻은 결과이다. 식(7)에서 후구온도와 건구온도의 차이가 적으면 복사열이 적어지기 때문에 기온에 따라 복사열의 강도는 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

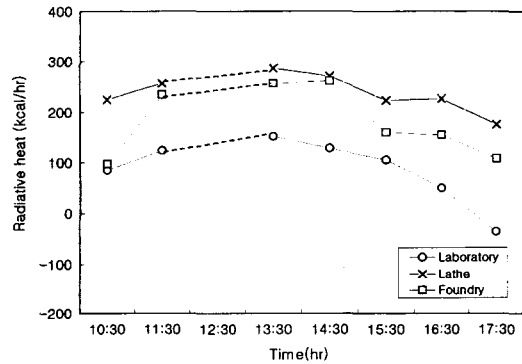


Fig. 2. Comparison of radiant heat load according to working times by 3 kinds work

#### 4.5. 열피로지수

열피로지수는 직사광선을 받지 않는 실내작업장에 대한 3가지의 근로조건에 대하여 WBGT지수와 Belding-Hatch의 HSI지수를 계산하여 Fig. 3, 4에서 업종별로 비교하였다. WBGT지수는 기후조건에 따라 많은 차이를 나타내므로 하루의 기온이 높은 오후시간이 가장 높다. 따라서 실제의 사업장에서 시간대별로 계산된 WBGT지수는 Fig. 1과 Table 3에 나타난 기준 등을 비교하여 실제적인 작업시간과 휴식시간 등의 조정에 활용할 수 있을 것으로 예측된다. 특히 업무에 적용되어 있지 않은 근로자에 대한 WBGT지수의 활용은 대단히 중요한 역할을 할 것으로 예측된다.

그러나 Belding-Hatch의 HSI지수는 복사열과 같은 기후조건뿐만 아니라 업무형태에 따른 땀의 발생량, 에너지소비량 등에 의해 계산되므로

신진대사량의 소비량차이가 다른 업종에 의해 많은 격차를 나타내고 있는데 이는 식(5)에 의해 계산하였다. 따라서 WBGT지수는 기후에 따른 작업환경조성의 변화를 예측하고, HSI지수는 업종에 따른 근로자의 피로도나 에너지요구량 등을 예측할 수 있으므로 신진대사량 계산의 기초 자료로 활용할 수 있다. 이상과 같은 열피로지수를 계산함에 있어서는 다음과 같은 조건들이 필수적으로 갖추어져야 한다.

첫째, 열피로지수 등을 계산함에 있어서 복사열에 대한 항목이 중요한 측정인자이다. 이때에 작업자가 입고 있는 작업복의 종류에 대한 교정인자(thermal insulation index)가 많은 차이를 갖고 있으므로 이에 대한 계산기준이나 지침이 설

정되어야 한다.

둘째, 신진대사율( $Av. M$ )과 같은 생리적인 자료나 작업시간 등을 계산함에 있어서 관련 자료의 시간가중평균과 같은 계산기준과 처리방법에 대한 지침이 설정되지 않아 통계자료에 대한 신뢰성 확보가 어렵기 때문에 이에 대한 보완이 필요하다.

셋째, 온열환경의 측정기기에 대한 정밀도의 한계가 명시되어야 할 뿐만 아니라, 사용가능한 기기의 종류도 구체화되어야 하며 계산결과에 많은 오차를 발생시킬 수 있는 소지가 있으므로 정밀도 확보가 요구된다.

### 5. 결론

온열환경 근로자의 열피로지수를 비교, 검토하고 이에 관련된 우리나라의 기준과 ACGIH 기준의 차이로부터 개선방향을 제시하고자 세가지 업종에 대한 열피로지수를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사업장의 신진대사열량은 실험실, 선반작업장, 주물공장에서 120, 300 및 660Kcal/hr로 많은 차이가 있으므로 근로자에 대한 근무형태이나 휴식시간의 결정, 영양관리 및 신체검사의 종류와 주기결정 등의 검토에 필요하고 근로자의 종합적인 관리에 활용될 것임.
- 2) WBGT지수와 HSI지수는 서로 다른 계산인자에 의존하므로 약간의 차이를 나타내고 있으나 작업시간조정이나 휴식시간의 책정 등에 활용할 수 있고, HSI지수는 업무에 따른 작업강도를 나타내는 지수이므로 근로자의 피로도와 소비열량 등을 예측하여 그에 대한 대응조치를 할 수 있다.
- 3) 우리나라는 온열환경에 노출된 근로자의 본질적인 작업환경관리를 위하여 기본적인 계산기준과 관리기준이 미흡함으로 이에 대한 제도적인 보완이 시급한 것으로 사료된다.

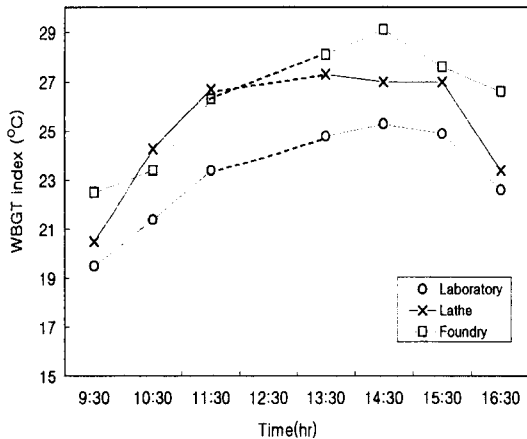


Fig. 3. Comparison of WBGT index according to working times by 3 kinds work

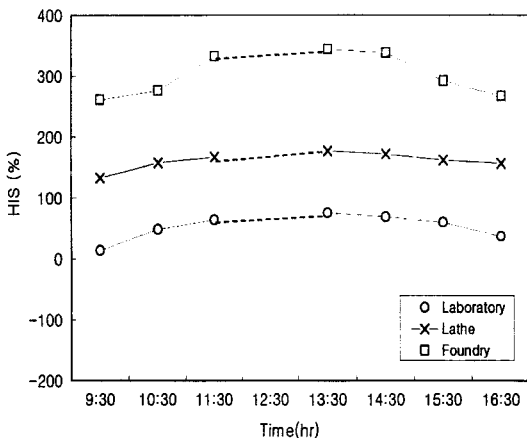


Fig. 4. Comparison of HSI according to working times by 3 kinds work

### NOMENCLEATURE

- $\Delta S$  : heat accumulation (kcal/hr)
- C : convective heat load function (kcal/hr)
- E : evaporative heat (kcal/hr)
- $E_{max}$  : maximum sweat evaporative capacity (kcal/hr)



R : radiant heat load (*kcal/hr*)  
M : metabolic cost of work (*kcal/hr*)  
WBGT : Wet bulb-globe temperature index  
NWBT : Natural wet-bulb temperature  
NBGT : Natural wet bulb temperature  
GT : Globe temperature  
DB : Dry bulb temperature  
k : thermal insulation index  
Ts : skin temperature (°C)  
RT : mean radiant temperature (°C)  
T<sub>g</sub>, GT : Globe temperature (°C)  
T<sub>a</sub> : Dry bulb temperature (°C)  
G<sub>v</sub> : Air speed next to black globe (m/sec)  
V : Air speed next to worker (m/min)  
42 : Vapour pressure of water at 35 °C and 100 % relative humidity  
PPA : Partial pressure of water vapour in air (mm Hg)

## 참고문헌

- 1) 김광종 외 6, 산업위생관리 개정증보판, 신광출판사. pp. 64~74, 1990.
- 2) 조규상, 산업보건학, 수문사, pp. 212~220, 1986.
- 3) 노동부. 한국산업안전공단, 사업장 보건관리실무, 한국산업안전공단, p. 98, 1998.
- 4) 한국산업안전공단, 작업환경측정방법(노동부고시 제 91-21호), p. 81, 1991.
- 5) ISO, International Standard ISO 7243, Second edition, Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT index, 1989.
- 6) AIHA, The occupational environment, It's evaluation and control, Thermal Standard and Measurement Techniques, 1997.
- 7) ACGIH world wide, TLVs and BEIs, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, 1998.
- 8) Gun, R. T., Studies of Heat Stress in Selected Occupation in South Australia. 1987.