

온열환경 근로자의 열피로지수 비교에 관한 연구

이 내 우 · 마 성 준 · 설 수 덕*
부경대학교 안전공학과 · 동아대학교 화학공학과*

1. 서론

여러 종류의 작업장은 생산공정상의 필요나 일기변화에 따라 온습조건에 많은 차이가 있으며, 인체에 불리한 열환경조건이 조성되는 경우가 있다. 일반적으로 열피로(heat stress)와 열장애(heat strain)는 근로자의 안전과 보건을 평가하는데 필요하며, 열피로는 열적영향을 발생시키는 원인을 말하고, 열장애는 열에 의해 발생하는 결과로서 생리적인 부하를 의미하게 된다. 신체내부에서 발생하는 열은 열피로의 한가지 형태이고, 따라서 이것을 측정하는 것은 아주 본질적인 사항이다. 따라서 신체에서 소비되는 총열량을 나타내는 신진대사열을 측정하는 것은 사업장에서 가장 필요한 것이라 할 수 있다. 신진대사열을 측정하는 방법에는 작업자의 산소소비량을 측정하는 방법과 WBGT(wet bulb globe temperature)지수를 이용하여 계산하는 방법이 있다. 그러나 산소의 소비량은 육체적인 부하보다 열폭로에 의한 영향이 적다. 그리고 WBGT방법은 전문지식이 필요없이도 고온의 열부하를 평가할 수 있는 잇점이 있으며, 자연습구온도(NWBGT), 흑구온도(GT) 및 공기온도와 같은 몇 개의 기본적인 요소로서 계산이 가능하고, 기준도표에 의해서 신진대사열을 계산하는 방법이다. WBGT지수방법은 온열환경에 있는 근로자들의 열환경을 나타내는 방법으로서, 국제적으로 공인된 OSHA, ACGIH, ISO, NIOSH 및 AIHA 등에서 추천하고 있는 방법이다.

본 연구에서는 우리나라의 온열환경의 작업조건에 관련된 작업환경측정규정과 ACGIH 규정을 비교하여, 관리의 미비점을 지적하고 우리나라기준의 개선방향을 제시하고자 한다. 그리고 작업장 근로자의 작업강도를 나타내는 신진대사열과 열피로지수를 계산하여 사업장의 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. 이 외에도 열피로지수의 계산법에는 여러가지가 있으나, 활용가능성과 신뢰도가 높은 Belding-Hatch 열피로지수법에 의한 계산결과도 비교하고자 한다.

2. 배경이론

2.1 건습구 도표

건습구 도표(psychrometric chart)는 WBGT를 결정하는데 필요한 건구온도, 습구온도, 상대습도, 증기압 및 로점 온도와의 상관관계를 그림으로 나타낸 것이다. 어떤 환경에서 두가지의 열적인 조건을 알면 다른 세 번째의 것은 표에서 찾을 수 있다.

2.2 열피로 지수

2.2.1 열적평형

열피로지수를 측정하는 중요한 기준은 열장애이고, 신체내부에서 일어나는 생리적 현상의 변화에 대한 상관성이 있다. 열피로에 대한 중요한 생리적 현상은 입내부온도, 귀내부온도, 식도내부온도와 내장의 온도증가 및 심장박동율과 땀의 발생율의 증가 등이다. 신체의 열생산과 체열방산의 평형상태 유지여부에 따라 근로자가 불쾌하거나 유쾌한 작업환경이 조성된다. 생체와 환경사이의 열교환은 기본적으로 다음과 같이 열역학적 관계식으로 이루어진다.

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

체열의 생산과 방산이 평형을 이룬 상태, 즉 생체열용량의 변화가 없는 상태에서는 생체내의 신진대사로 말미암아 생성된 열은 모두 방산되는 셈이고 $\Delta S = 0$ 이 된다.

2.2.2 신진대사열(Metabolic heat)의 계산

작업환경에서 기준도표를 이용하여 신진대사열을 측정하는 방법은 ACGIH에서 제시한 기준을 이용한다. 이것은 전형적인 업무형태에 따른 에너지소비량으로 도표화되어 있으며, 신체의 여러가지 부분에 대한 업무형태, 예를 들면, 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. 작업 및 휴식장소에 따라

WBGT의 값은 다르므로 신진대사열의 값은 시간가중평균값을 사용하여야 한다. 시간가중평균대사율(M_v, M)은 다음 식(2)와 같다.

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

2.2.3 열피로지수의 계산

실내외에서 열피로지수를 계산하기 위한 WBGT지수는 흑구온도, 건구온도와 자연습구온도(NBGT)로부터 다음 식(3)과 (4)와 같이 계산된다.

1) 실내에서 직사광선을 직접 받지않는 경우.

$$WBGT = 0.7 NWBT + 0.3 GT \quad \dots \dots \dots (3)$$

2) 실외에서 직사광선을 받는 경우

$$WBGT = 0.7 NWBT + 0.2 GT + 0.1 DB \quad \dots (4)$$

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

$$H S I = \frac{M+R+C}{E_{max}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

이상에서 열거한 여러가지 항목에 대한 계산방법은 다음과 같다.

1) 복사열

$$R = 11.3 k (RT - T_s) \quad \dots \dots \dots (6)$$

k 는 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 교정인자이다.

2) 복사온도 (°C)

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

3) 대류열 부하

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

4) 최대 땀증발열

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

3. 실험

3.1 건습구온도 측정

건구온도와 자연습구온도(NWBT)의 측정범위는 -5℃에서 +50℃이며 정밀도는 ±0.5℃로서 건구온도는 통상의 유리제 액상온도계를 사용하였고, NWBT에는 Assmann통풍건습계(Japan, SATO-7400)가 사용되었다.

3.2 흑구온도 측정

흑구온도계(Korea, DK-012)는 복사열을 측정하는 방법에 사용하고, 온도의 측정범위는 -5℃에서 +150℃이며 정밀도는 ±0.5℃이다. 이것은 직경이 15cm이고, 적외선 복사를 흡수할 수 있도록 천이 쌓여져 있다.

3.3 공기속도 측정

공기의 속도나 풍속을 측정하는데는 휴대용 풍속계(anemometer)(Japan, Lutron AM-4201)를 사용하였고, 필요한 장소와 시간에 따라 이동하여 측정하였다.

3.3 복사열 측정

복사열교환을 결정하는 것은 열환경을 정의하는 데 필요하고, NIOSH가 추천하는 흑구온도계의 정의에서 나타낸 방사율은 0.95이다. 그리고 공기온도(T_a), 구온도 (T_g) 및 공기속도 (V)로부터 다음식에 따라 평균복사온도를 평가한다.

$$T_r = T_g + (T_g V^{0.8}) (T_g + T_a) \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. 결 과 및 고 찰

4.1 관련규정의 비교

우리나라의 온열환경 작업조건에 관련된 작업환경측정규정과 ACGIH 규정을 서로 비교하였고 그 결과에 의하면 많은 차이를 볼 수 있다. 우리나라의 기준이 ACGIH 기준에 비해 미흡한 부분은 다음과 같은 부분이라 사료된다.

첫째, 온열환경에 대한 허용기준을 보면 근로자의 작업환경에 대한 적응도는 전혀 고려되지 않고 있다. 즉 초심자와 오랜 업무경력을 갖은 근로자와의 사이에는 온열에 대한 적응력이 같지 않을 것임이 분명한데 이에 대한 고려가 전혀 되어있지 않다.

둘째, 열피로지수 등을 계산함에 있어서 복사열에 대한 항목이 중요한 측정인자이다. 이때 에 작업자가 입고 있는 작업복의 종류에 대한 교정인자가 많은 차이를 갖고 있음에도 불구하고, 이에 대한 계산기준이나 지침도 설정되어 있지 않다.

셋째, 신진대사율(M_v , M)과 같은 생리적인 자료나 작업시간 등을 계산함에 있어서는 관련자료의 계산기준과 처리방법에 대한 지침이 설정되지 않아 통계자료에 대한 신뢰성확보가 대단히 어렵다.

넷째, 온열환경의 측정기기에 대한 정밀도의 한계가 명시되지 않았을 뿐만 아니라, 사용가능한 기기의 종류도 구체화되지 않아 계산결과에 많은 오차를 발생시킬 수 있는 소지가 있다.

4.2 신진대사열의 계산

신진대사열이란 체내에서 소비된 열량 전부를 의미하고, 작업장내에서 이것을 측정하는 것은 근로자의 산업안전보건관리라고 하는 측면에서 중요한 의미를 갖게 되므로, 기준도표법에 의해 계산하였고, 신진대사열의 부하구분은 ACGIH규정에 있는 표를 이용하였다. 세가지의 업무에 대한 신진대사열량은 120, 300 및 660 Kcal/hr 가 소비되고 있음을 알 수 있다.

4.3 열피로지수의 계산

4.3.1 Wet-bulb globe temperature index

선택된 세가지 작업장의 WBGT지수계산은 측정된 결과를 식(3)에 대입하여 계산하였다. 여기에는 시간간격 t_1, t_2, \dots, t_n 동안의 근로활동과 휴식시간 등에 따라 각각 다른 값을 나타낼 수 있고, 하루 전체의 시간가중평균 WBGT로 계산하였다.

4.3.2 Belding-Hatch지수

Belding-Hatch지수는 식(5) $H S I = \frac{M+R+C}{E_{max}}$ 에 대입하여 계산하기 위하여 배경이론에 있는 식을 이용하고, 외부의 풍속이 1m/sec일때 각각의 값을 계산하였다.

5. 결 론

WBGT지수를 이용한 온열환경 근로자의 열피로지수를 비교하기 위하여

이에 관련된 우리나라의 기준과 ACGIH의 기준을 비교하여 개선방향을 제시하고, 사업장의 종류에 따른 열피로지수를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 온열환경에 노출된 작업자의 작업환경관리가 국제기준에 비하여 대단히 미흡하므로 관련규정과 제도적인 보완이 시급한 것으로 사료됨
- 2) 사업장의 특성에 따라 작업자의 신진대사열량이 차이가 많으므로 근로자에 대한 근무형태 및 휴식시간의 결정, 영양관리 및 신체검사의 종류와 주기등의 검토와 근로자의 종합적인 관리에 활용될 것임
- 3) 열피로지수(HSI)는 업무형태에 따라 많은 차이를 나타낼 뿐만 아니라, 동일 작업장에서도 작업시간에 따라 더욱 큰 차이를 나타내기 때문에 업무개시나 종료시간 등을 결정하는 많은 검토가 필요할 것임.

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. ACGIH world wide, TLVs and BEIs, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, 1998.
7. A I H A, The occupational environment, It's evaluation and control, Thermal Standard and Measurement Techniques, 1997.
8. Gun, R. T., Studies of Heat Stress in Selected Occupation in South Australia. 1987.