

KOSHA GUIDE

X - 9 - 2012

온열 작업 환경에서의 불편감 예방을
위한 리스크 평가 지침

2012. 6.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 사단법인 한국안전학회 리스크관리 연구위원회

충주대학교 안전공학과 박정철

○ 개정자 : 산업안전보건연구원 안전연구실

○ 제·개정 경과

- 2010년 9월 위험관리분야 제정위원회 심의(제정)

- 2012년 4월 리스크관리분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 등 반영)

○ 관련규격 및 자료

- ISO 13731:2001 Ergonomics of the thermal environment - Vocabulary and symbols

- ISO 15265:2004 Ergonomics of the thermal environment - Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions

- KS A 5556:2006 열환경의 인간공학-피복조합의 단열과 증발저항의 추정

- KS A 5557:2006 저온 환경의 평가-필요 피복 단열의 결정

- KS A ISO 7243:2005 고온 환경-WBGT 지수에 의한 작업자의 열 스트레스 추정

- KS A ISO 7730:2005 적온 환경-예상 평균 온열감(PMV) 및 예상 불만족률(PPD) 지수의 결정과 열 쾌적조건의 규정

- KS A ISO 7933:2005 열환경의 인간 공학-필요 발한율의 계산을 이용한 열 스트레스의 분석적 결정과 해석

- KS A ISO 8996:2005 열환경의 인간공학-대사율의 결정

○ 관련법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제3편 제6장

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건 기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 6월 20일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

온열 작업 환경에서의 불편감 예방을 위한 리스크 평가 지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제3편 제6장 온도·습도에 의한 건강장해의 예방 규정에 따라 특정 기후 조건에서의 작업시 발생할 수 있는 스트레스 및 불편감 예방을 위한 리스크 평가 방법을 제공하는 것에 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 고열, 한랭, 다습 등 온열 작업 환경에 노출된 사업장에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “온열 작업 환경(Thermal working condition)”이라 함은 고열, 한랭, 다습 등 외부 조건과 작업복, 작업 부하 등의 작업 조건에 의해 결정되는 기후 관련 작업 환경을 말한다.

(나) “대기 온도(T_a)”이라 함은 작업장의 공기의 온도를 말한다.

(다) “상대 습도(Relative humidity, RH)”이라 함은 현재 공기가 포함하고 있는 수증기량과 그 온도에서 공기가 최대로 포함할 수 있는 수증기량(포화수증기량)의 비를 백분율로 나타낸 것을 말한다.

(라) “흑구 온도(T_g)”라 함은 복사열이 체감에 미치는 영향을 평가하기 위해 흑구 온도계를 사용하여 측정한 온도를 말한다.

- (마) “공기 속도(v_a)”이라 함은 작업장의 공기가 흐르는 속도를 말한다.
- (바) “대사율 (M)”이라 함은 근육 부하의 에너지 소비를 측정하는 지수로 화학 에너지가 역학 열에너지로 변화하는 대사 작용의 지수를 말한다. 기타 구체적인 내용은 KS A ISO 8996:2005를 참조한다.
- (사) “ I_{cl} (기초 피복 단열)”이라 함은 정적이고, 바람이 없는 표준화된 조건 하에서의 피부로부터 피복 표면까지의 단열을 의미하며, 단위는 $m^2\text{C}/W$ 이다. 기타 구체적인 내용은 KS A 5556:2006을 참조한다.
- (아) “ I_{clr} (합성 피복 단열)”이라 함은 주어진 조건 하에서 의복에 의해 제공되는 실제 단열을 의미하며, 단위는 $m^2\text{C}/W$ 이다. 기타 구체적인 내용은 KS A 5557:2006을 참조한다.
- (자) “필요 피복 단열(Required clothing insulation, IREQ)”이라 함은 허용될 만한 신체 및 피부 온도에서 열평형 상태로 신체를 유지하기 위하여 요구되는 합성 피복 단열을 말한다. 기타 구체적인 내용은 KS A 5557:2006을 참조한다.
- (차) “예상 평균 온열감(Predicted mean vote, PMV)”이라 함은 어떤 대규모 집단의 사람들이 다음의 7점 척도를 사용해 열 감각을 평가한 수치의 평균에 대한 예상 지수이다. 기타 구체적인 내용은 KS A ISO 7730:2005를 참조한다.
- +3 : 더운
 +2 : 따뜻한
 +1 : 약간 따뜻한
 0 : 중간의
 -1 : 약간 서늘한
 -2 : 서늘한
 -3 : 추운
- (차) “예상 불만족율(Predicted percentage of dissatisfied, PPD)”이라 함은 전체 응답자 중 7점 척도에서 +2 이상이나 -2 이하의 응답을 하는, 너무 덥거나 춥다고 느끼는 사람들의 백분율에 대한 예상치를 말한다. 7점 척도 등 기타 구체적인 내용은 KS

A ISO 7730:2005를 참조한다.

(카) “습구 흑구 온도(Wet bulb globe temperature, WBGT)”이라 함은 통상의 습구 온도(T_{mw})와 흑구 온도(T_g), 그리고 상황에 따라서는 대기 온도(건구 온도, T_a)를 결합한 온도로서 다음과 같이 계산된다. 기타 구체적인 내용은 KS A ISO 7243:2005를 참조한다.

$$\textcircled{1} \text{ 태양열이 없는 건물의 내외 WBGT} = 0.7 T_{mw} + 0.3 T_g$$

$$\textcircled{2} \text{ 태양열이 있는 건물의 외부 WBGT} = 0.7 T_{mw} + 0.2 T_g + 0.1 T_a$$

(타) “예상 열긴장(Predicted heat strain, PHS)”이라 함은 스트레스 기준과 신체적 긴장 기준을 이용한 열에 대한 신체의 긴장의 예상 지수를 말한다. 기타 구체적인 내용은 KS A ISO 7933을 참조한다.

(파) “허용 노출 시간(Duration limit of exposure, DLE)”이라 함은 특정한 고온 또는 저온 환경에서 노출이 허용되는 최대의 시간을 말한다. 기타 구체적인 내용은 KS A ISO 7933:2005, KS A 5557:2006을 참조한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 KOSHA GUIDE X-1-2011(리스크 관리의 용어 정의에 관한 지침)에서 정하는 바에 의한다.

4. 일반 사항

4.1 이 지침은 온열 작업 환경으로 인한 문제를 예방하고 해결하는 방법에 초점을 두고 있으므로, 스트레스나 불편감의 리스크는 이러한 목적에 부합하는 범위 내에서 기술된다.

4.2 이 지침은 평균적인 작업자를 가정하므로, 리스크 평가의 각 단계를 마칠 때마다 단기적 및 장기적인 의학적 관찰을 통해 개인차에 대한 고려가 필요하다.

5. 리스크 평가 방법

본 지침은 세 개의 단계로 구성된 전략을 제공함으로써 작업환경에 대한 이해를 높이고 관련 리스크에 대한 최적의 예방 및 해결 방안을 도출할 수 있게 한다.

(1) 관찰 (단계 1)

관찰은 사업자 측의 관찰자에 의해 수행되는 것으로, 관찰자는 인간공학적 훈련을 받은 적이 없어도 무방하나, 작업 조건에 대한 완전한 지식을 가지고 있어야 한다.

(2) 일반적 분석 (단계 2)

일반적 분석은 온열 환경의 인간공학에 대한 훈련을 받은 전문가의 도움을 받아 이전 단계를 수행한 사람이 수행한다. 이 단계는 단계 1에서 파악된 특수한 환경조건에서의 작업을 다루며, 일반적인 측정을 필요로 한다.

(3) 전문적 분석 (단계 3)

전문적 분석은 고도의 전문성을 갖춘 전문가의 추가적 도움을 받아 이전 단계를 수행한 사람이 수행한다. 이 단계는 매우 복잡한 온열 작업 환경을 다루며, 정교하고 전문적인 측정을 필요로 한다.

각 단계에 대한 상세한 설명은 다음의 6항, 7항, 8항을 참조한다.

6. 관찰 (단계 1)

6.1 목적

이 단계의 목적은 다음과 같다.

- (1) 작업 조건, 기후 조건, 고온 및 저온 유발 요인 등을 포함한 작업 환경에 대한 정보 수집

(2) 리스크를 예방하거나 해결하기 위해 즉각 적용할 수 있는 기술적 방안 정의

(3) 다음 단계의 보다 상세한 분석이 필요한지 판단

6.2 절차

6.2.1 온도 문제를 유발할 가능성이 있는 작업 조건을 기술한다. (예: “겨울 아침의 작업장 A” 또는 “계절에 관계없이 오븐을 청소할 때”)

6.2.2 해당 상황을 <별표 1>에 예시된 것과 같은 스케일을 활용해 평가한다. 절차의 주안점이 점수 자체에 있는 것이 아니라 점수의 이유를 분석하고 이를 어떻게 개선할 것인지 찾아내는 데 있다는 것에 주의한다.

6.2.3 관찰 결과를 <표 1>과 유사한 양식에 기록한다.

<표 1> 현재 상황에 대한 점수표의 예 (ISO 15265:2004에서 인용)

변수	-3	-2	-1	0	1	2	3
대기 온도							
습도							
복사열							
공기 흐름							
신체적 작업 부하							
의복							
작업자 의견							

6.2.4 작업 상황이 열악하다면 (점수가 -1에서 1점 범위 밖) 그 원인을 파악하고 문제의 중요도를 기술한다.

6.2.5 -1에서 1점 범위 밖의 변수에 대해 예방 대책이 마련되어야 한다. 업무 절차가 온도를 엄격하게 규정하고 있지 않다면, <부록 1>에 제공된 예방 대책의 예를 참조해 상황을 개선시킬 수 있는 방법을 찾는다.

6.2.6 필요하다면 단기적 대책을 택할지 결정한다. 단기적 대책이란, 차갑거나 뜨거운 음료,

회복 시간, 직무 관리, 의복 등의 일시적 대책을 말한다. 단기적 대책의 사용은 문제의 해결을 위해 다음 단계의 분석이 필요하다는 것을 의미한다.

6.2.7 상황이 예상대로 개선될 경우에 점수가 어떻게 변할 것인지 5.2.2에서 사용한 스케일에 따라 예측한다. 예측이 어렵거나 예측의 신뢰도가 떨어진다고 판단된다면, 이는 다음 단계의 분석이 필요하다는 것을 의미한다. 결과를 5.2.3에 사용한 양식에 기록한다.

6.2.8 리스크를 정량화하거나 문제를 해결하기 위해 보다 상세한 분석이 필요한지 결정한다. 이를 위해, 미래의 예상되는 상황에 대해 -1에서 1 범위 밖에 있는 점수의 개수를 고려한다.

7. 일반적 분석 (단계 2)

7.1 목적

이 단계의 목적은 다음과 같다.

- (1) 온열 작업 환경으로 인한 불편감의 리스크나 제약 조건을 기후 변수의 최저치와 최고치의 함수로서 정량화
- (2) 최적의 직무 관리 방법(스케줄, 직무 순환 등) 결정
- (3) 전문적 분석 단계의 필요성 파악
- (4) 필요시, 관찰 단계에서 파악된 예방 대책에 소요되는 비용에 대한 근거 제공

7.2 절차

7.2.1 작업장에서 일어나는 일련의 작업 활동들을 분석한다.

- (1) 작업 활동에 대한 설명
- (2) 평균 및 최대 작업시간

(3) 작업 상황의 주기

(4) 노출된 작업자 수

(5) 정확하게 정량화해야 할 요소

(가) 대기 온도 : 비정상적인 증가나 감소가 있는 경우

(나) 습도 : 외부와 다른 경우

(다) 복사열 : 태양에 노출되었거나 매우 뜨겁거나 차가운 표면에 노출된 경우

(라) 공기 흐름 : 공기가 부족한 경우

(마) 작업 부하 : 부하가 높거나 알 수 없는 경우

(바) 의복 특성 : 특수한 의복이 필요한 경우

파악한 정보를 <표 2>와 유사한 형태로 기록한다.

<표 2> 작업 분석 결과 기록 양식의 예 (ISO 15265:2004에서 인용)

작업	시간		노출된 작업자 수	측정 필요 항목
	평균	최대		

7.2.2 작업 상황을 평가한다.

(1) 이 주기 동안 기후와 작업 조건에 관계된 대표적인 날

(2) 실외 기후 조건: 온도, 습도, 태양광, 강우 등

(3) 대표일 중 평균치와 최대치의 측정 또는 예측

(4) 관련 표준에 따른 다음의 지수 계산

(가) 필요 피복 단열(IREQ)

(나) 예상 평균 온열감(PMV)과 예상 불만족율(PPD)

(다) 습구 흑구 온도(WBGT)

(라) 예상 열긴장(PHS)과 허용 노출 시간(DLE)

과악한 정보를 <표 3>과 유사한 형태로 기록한다.

<표 3> 각 작업에 대한 작업 조건 평가 결과 기록 양식의 예
(ISO 15265:2004에서 인용)

변수	작업	
	평균	최대
T_a (대기 온도) RH (상대 습도) T_g (흑구 온도) v_a (공기 속도) M (대사율) I_{cl} (피복 단열)		
필요 피복 단열(IREQ) 예상 평균 온열감(PMV) 예상 불만족율(PPD) 습구 흑구 온도(WBGT) 예상 열긴장(PHS)/허용 노출 시간(DLE)		

7.2.3 적절한 분류 기준을 이용해 현재 상황의 리스크를 평가한다. <표 4>는 리스크 분류 기준의 예이다.

<표 4> 리스크 분류 기준 예시 (ISO 15265:2004에서 인용)

분류	기준
(추위로 인해) 즉각적으로 활동의 제약을 느낌	DLE < 30 min
(추위로 인해) 단시간 노출 시 활동의 제약을 느낌	$I_{cl} < IREQ_{min}$ 이고, DLE < 120 min
(추위로 인한) 장시간 노출 시 활동의 제약을 느낌	PMV < -2 이고, $IREQ_{min} \leq I_{cl} \leq IREQ_{neutral}$
(추위로 인한) 불쾌함	$-2 \leq PMV < -0.5$
쾌적함	$-0.5 \leq PMV \leq 0.5$
(더위로 인한) 불쾌함	$0.5 < PMV \leq 2$
(더위로 인한) 장시간 노출 시 활동의 제약을 느낌	DLE < 480 min
(더위로 인한) 단시간 노출 시 활동의 제약을 느낌	DLE < 120 min
(더위로 인한) 즉각적으로 활동의 제약을 느낌	DLE < 30 min

<표 4>에서 마지막 세 가지 분류의 경우에는 다음 정보를 도출한다.

(1) 1일 8시간 동안의 평균 수분 상실 예측치

(2) 신체 내부 온도의 증가 리스크 예측치

7.2.4 각 작업의 평균과 최대 시간을 허용 노출 시간(DLE)과 비교하여 해당 작업 조건이 수용 가능한지 판단한다.

7.2.5 각 변수에 대해 최적의 직무 관리 방법(스케줄, 직무 순환 등)과 예방/해결 기법을 정의한다.

7.2.6 예방/해결 대책 적용한 이후의 잔존 리스크를 결정한다. 각 작업의 실제 작업 시간을 허용 노출 시간(DLE)의 예측치와 비교하여 작업 조건이 수용 가능할 것인지 판단한다.

7.2.7 다음 단계의 전문적 분석이 필요한지 판단한다.

7.2.8 단기적인 방지 대책을 정의한다.

7.2.9 단기적인 의학적 관찰 요구사항을 정의한다.

7.2.10 장기적인 의학적 관찰 요구사항을 정의한다.

일반적 분석 단계의 결과는 <표 5>와 유사한 형태로 기록될 수 있다.

〈표 5〉 각 작업 활동에 대한 리스크 평가 및 대책 기록 양식의 예
(ISO 15265:2004에서 인용)

평가	작업 활동 1	작업 활동 2
리스크 (1) 리스크 분류 (2) 고온 스트레스가 있는 경우: (가) 발한율 (나) 1일 수분 상실 (다) 허용 노출 시간(DLE)		
수용 가능 여부		
예방/해결 대책		
잔존 리스크 (1) 리스크 분류 (2) 수용 가능 여부		
전문적 분석의 필요성		
단기적 대책		
의학적 관찰		

8. 전문적 분석 (단계 3)

8.1 목적

이 단계의 목적은 다음과 같다.

- (1) 전문적 측정을 통해 작업 환경에서 고온이나 저온을 유발하는 요인과 온열 현상들에 대한 이해를 높임
- (2) 작업자들의 전반적 노출 정도를 파악하고 작업 활동과 기후 변수에 대한 보다 정밀한 분석을 통해 전문적 예방/해결 대책을 강구

8.2 절차

8.2.1 상세히 분석할 조건과 대표일을 결정한다.

8.2.2 현재 상황에 대한 리스크를 평가한다.

8.2.3 일련의 작업 활동들에 대해 지속 시간, 대기 온도, 습도, 복사열, 공기 속도, 대사율, 피복 단열 등의 데이터를 평균적 조건과 극단적 조건에 대해 수집한다.

8.2.4 각 작업 활동 별 리스크와 전반적 리스크를 다음의 지표들을 사용해 평가한다.

(1) 추운 조건에 대한 필요 피복 단열(IREQ)

(2) 쾌적하거나 불쾌한 상황에 대한 예상 평균 온열감(PMV) 및 예상 불만족율(PPD)

(3) 온열 제약이 있는 조건에 대한 예상 열긴장(PHS)

8.2.5 예방/해결 대책을 수립한다.

8.2.6 각 변수 또는 전체 변수에 변화를 가져올 수 있는 개선 방법을 찾거나 관리적 개선 방법을 찾는다.

8.2.7 필요시, 각각의 고온 또는 저온 유발 요인에 대해 상세하고 전문적인 분석을 수행한다.

8.2.8 예방/해결 대책 실행 이후의 잔존 리스크를 평가한다.

8.2.9 개인 보호 대책을 결정한다.

8.2.10 장기적인 의학적 관찰의 필요성을 결정한다.

<부록 1>

예방 대책의 예

(1) 대기 온도

(가) 고온이나 저온의 원인이 되는 물체를 가장자리에 배치한다.

(나) 고온이나 저온 공기를 발생시키는 원인을 제거한다.

(다) 고온 표면을 단열시킨다.

(라) 고온이나 저온의 공기를 차단하고 국소적으로 배기시킨다.

(마) 외풍 없이 환기를 시킨다.

(바) 상황에 따라 단열이 잘 되거나 잘 되지 않는 의복을 착용한다.

(2) 습도

(가) 증기와 물의 유출을 없앤다.

(나) 표면에서 증발이 일어나는 물체를 밀폐시킨다.

(다) 방수가 되면서 증기를 투과시키는 의복을 착용한다.

(3) 복사열

(가) 복사가 일어나는 표면을 줄인다.

(나) 반사 스크린을 사용한다.

(다) 복사가 일어나는 표면을 단열 처리한다.

(라) 복사가 일어나는 표면에서 멀리 떨어진 곳에서 작업이 이루어지게 한다.

(마) 복사열을 반사시키는 특수 의복을 착용한다.

(4) 공기 흐름

(가) 외풍을 줄이거나 없앤다.

(나) 스크린을 사용해 외풍을 부분적으로 차단한다.

(다) 공기 흐름으로부터 떨어진 곳에서 작업이 이루어지게 한다.

(5) 신체적 작업 부하

(가) 작업시 신체 움직임과 이동을 줄인다.

(나) 작업 속도를 느리게 한다.

(다) 힘을 적게 쓰게 하고, 기계 장치의 도움을 받도록 한다.

(라) 작업 자세를 개선한다.

(6) 의복

(가) 의복의 디자인을 개선한다.

(나) 더 가볍고 작업 조건에 적합한 소재를 사용한다

<별표 1>

관찰에 사용되는 스케일의 예 (ISO 15265:2004에서 인용)

특성	점수	조건
대기 온도	-3	0 ℃ 미만
	-2	0 ℃ 이상 10 ℃ 미만
	-1	10 ℃ 이상 18 ℃ 미만
	0	18 ℃ 이상 25 ℃ 미만
	1	25 ℃ 이상 32 ℃ 미만
	2	32 ℃ 이상 40 ℃ 미만
	3	40 ℃ 이상
습도	-1	2-3 시간이 지나면 목과 눈이 마름
	0	보통
	1	피부에 습기가 느껴짐
	2	피부가 완전히 젖음
복사열	-1	2-3 분 뒤 얼굴이 차가워짐
	0	복사열이 느껴지지 않음
	1	2-3 분 뒤 얼굴이 따뜻해짐
	2	2 분 이상이 지나면 얼굴이 뜨거워져 참기 힘들
	3	즉각적인 타는 듯한 느낌
공기 흐름	-2	차갑고 강한 공기 흐름
	-1	차갑고 약한 공기 흐름
	0	공기 흐름 없음
	1	따뜻하고 약한 공기 흐름
	2	따뜻하고 강한 공기 흐름
신체적 작업 부하	0	사무작업: 쉽고, 근육의 사용이 적음. 정상적 속도로 간헐적 움직임.
	1	팔이나 다리를 사용하는 중등도의 작업: 무거운 기계의 사용, 지속적 보행
	2	팔과 몸통을 사용하는 힘든 작업: 무거운 물체의 취급, 삼질, 톱질, 빠른 보행 또는 무거운 짐을 진 상태의 보행
	3	빠른 속도의 힘든 작업: 계단이나 사다리 오르기
의복	0	가볍고 유연한 작업에 방해되지 않는 의복
	1	길고 무겁고 작업에 약간 방해되는 의복
	2	투박하고 무거운, 복사열, 습기, 저온 등을 위한 특수 복장,
	3	장갑, 후드, 신발 등이 포함된 특수 덧옷
작업자 의견	-3	전신이 춥게 느껴져 덜덜 떨림
	-2	신체 일부가 매우 춥게 느껴짐. 전반적으로 추움.
	-1	신체 일부가 약간 서늘함
	0	쾌적함
	1	약간 땀이 나고 더움. 목이 마름
	2	땀이 많이 남. 매우 목이 마름. 작업 속도가 영향 받음.
	3	땀이 과도하게 남. 매우 힘이 듦. 특수 의복.