

KOSHA GUIDE

X - 10 - 2012

저온 접촉면에 대한 인체 반응의  
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 12100-1:2003 Safety of machinery-Basic concepts, general principles for design-Part 1: Basic terminology, methodology
- ISO 13732-1:2006 Ergonomics of the thermal environment-Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces-Part 1: Hot surfaces
- ISO 13732-3:2005 Ergonomics of the thermal environment-Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces-Part 3: Cold surfaces
- ISO 7726:2001 Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities
- ISO 11064-4:2004, Ergonomic design of control centres-Part 4: Layout and dimensions of workstation
- Holmér I., Geng Q. and Cold Surfaces Research Group (2000) Temperature Limit Values For Cold Touchable Surfaces-final report of EU Project SMT4-CT97-2149. Accepted by European Commission DG XII SM

○ 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

## 저온 접촉면에 대한 인체 반응의 리스크 평가 지침

### 1. 목 적

이 지침은 저온 표면의 인체 접촉에 대한 인간공학적 온도 한계치 데이터를 제공함으로써, 다양한 조건에서 작업자가 맨손으로 저온의 표면에 접촉했을 때 발생할 수 있는 상해나 부정적 효과의 리스크를 손쉽게 평가할 수 있게 하는 데 목적이 있다.

### 2. 적용범위

이 지침은 저온의 코팅되지 않은 고체 표면에 대한 맨손 접촉이 발생하는 작업장에 적용한다.

### 3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “접촉면”이라 함은 사람에 의해 접촉될 수 있는 물체의 표면을 말한다.

(나) “표면온도( $T_s$ )”라 함은 물체 표면의 온도를 섭씨(°C)로 나타낸 것을 말한다.

(다) “접촉온도( $T_c$ )”라 함은 손가락 피부와 접촉되는 표면 사이의 접점의 온도를 섭씨(°C)로 나타낸 것을 말한다.

(라) “접촉시간( $D$ )”이라 함은 피부가 표면과 접촉해 있는 동안의 시간을 초(s)로 나타낸 것을 말한다.

(마) “열관성(Thermal inertia)”이라 함은 소재의 밀도( $\rho$ ), 열전도도( $K$ ), 비열( $c$ )의 곱을 말한다.

(바) “접촉인자( $F_c$ )”라 함은 열관성에 제곱근을 취해 계산되는 계수를 말한다. (즉,  $F_c = \sqrt{\rho K c}$ )

- (사) “의도적 접촉”이라 함은 작업시 필요 등에 의해 작업자가 의도를 가지고 표면에 피부를 접촉하는 것을 말한다.
- (아) “비의도적 접촉”이라 함은 작업자가 사고 등에 의해 표면의 특성에 대해 인식하지 못한 상태에서 표면에 피부를 접촉하는 것을 말한다.
- (자) “열전대(Thermocouple)”라 함은 넓은 범위의 온도를 정확히 측정하기 위해 두 종류의 금속을 접합해 만든 장치를 말한다.
- (차) “보간법(Interpolation)”이라 함은 미지의 함수에 대해 어떤 간격을 가지는 2개 이상의 변수값에 대한 함수값이 알려져 있을 경우, 이를 이용해 그 사이의 임의의 값에 대한 함수값을 추정하는 것을 말한다.
- (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 지침의 데이터는 통증, 무감각, 동상의 위험이 있는 저온의 고체 표면이 존재하는 모든 현장에 적용 가능하다.
- 4.2 이 지침은 건강한 성인 남녀에 적용 가능하며, 손 뿐만 아니라 피부 전체에 일반적으로 적용 가능하다.
- 4.3 이 지침에 제시된 데이터의 범위를 확장하여 적용하고자 할 때에는 <부록 1>에 제시된 사항들을 고려한다.

#### 5. 리스크 평가 방법

저온의 표면에 접촉함으로써 인해 발생할 수 있는 상해와 부정적 효과의 리스크에 대한 평가는 다음의 5.1에서 5.7의 단계를 따른다.

##### 5.1 저온의 접촉면 파악

저온의 접촉면에 관한 모든 주요 정보들을 수집한다. 수집해야 할 정보들은 다음을 포함한다.

- (1) 접촉면의 접근 가능 정도
- (2) 표면온도의 대략적 예측 (0 °C 이상 또는 이하)
- (3) 접촉면의 재질과 표면 질감
- (4) 저온 표면에 대한 인체 접촉이 이루어지는 모든 작동 조건 (최악의 상황 포함)

## 5.2 작업 관찰 및 분석

작업장에서 요구되는 활동과 작업에 따라, 저온 표면에서의 접촉과 관련된 모든 필요한 정보를 수집한다. 이때, 가능한 모든 의도적인 접촉과 비의도적인 접촉에 주의를 기울여야 한다. 작업 관찰과 분석을 통해 다음의 사항들을 파악한다.

- (1) 접촉이 되거나 될 가능성이 있는 저온의 표면
- (2) 의도적인 또는 비의도적인 접촉
- (3) 의도적인 접촉이 일어나는 빈도
- (4) 비의도적인 접촉이 일어날 확률
- (5) 저온의 표면에 접촉해 있는 시간
- (6) 접촉 면적
- (7) 접촉의 힘

## 5.3 저온 접촉의 분류

접촉의 형태를 다음의 두가지 범주로 분류한다.

- (1) 손가락 접촉 : 짧은 시간(120 초 이내) 동안 접촉하며, 접촉 면적이 작은(손가락에 국한) 경우
- (2) 손으로 잡기 : 물체를 비교적 긴 시간(1200 초 이내) 동안 잡고 있는 경우

#### 5.4 표면온도의 측정

표면온도( $T_c$ )의 측정은 열전대(Thermocouple)를 이용해 물체의 실제 작동 상태에서 실시한다. 장비의 정확도는  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  사이 구간에서 오차  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하,  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하 구간에서  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하여야 한다.

다만, 표면의 온도를 직접 측정하기 어렵고, 물체가 장시간 동안 저온 상태에 있는 경우에는, 표면온도가 주위 환경의 온도와 같은 경우가 많으므로 표면온도 대신 주위 온도를 사용할 수 있다.

#### 5.5 접촉시간의 결정

피부의 저온 표면과의 접촉시간( $D$ )을 측정하거나 <표 1>의 값에 따라 예측한다.

&lt;표 1&gt; 접촉시간의 예

접촉시간	저온 표면에 대한 접촉의 예	
	의도적 접촉	비의도적 접촉
1 초 이내	-	저온의 표면에 접촉한 후 통증을 느껴 즉시 접촉 상태에서 벗어남
3 초 이내	스위치 작동, 버튼 누름, 또는 손끝으로 작은 부품을 치움	저온의 표면에 접촉한 후 늦게 반응함
10 초 이내	지속적 스위치 작동, 핸들이나 휠, 밸브의 약간의 조정, 손가락/손으로 부품을 치움	저온의 표면에 넘어지거나 떨어진 후 천천히 접촉상태에서 벗어남
100 초 이내	핸들이나 휠, 밸브, 볼트-너트 스크류 등을 손가락으로 잡고 작업	저온의 표면에 미끄러져 넘어진 사고 후 일어나지 못함
20 분 이상	수공구, 조작 장치, 핸들 등을 손으로 쥐고 작업	

## 5.6 접촉시 피부에 미치는 영향의 분류

다음 기준에 따라 영향의 종류를 구분한다.

- (1) 동상: 접촉온도가 0 °C 이하로 떨어져 접촉하는 피부 조직이 얼게 될 때 발생한다.
- (2) 무감각: 접촉온도가 약 7 °C 로 떨어져 접촉하는 피부의 감각 수용체가 차단될 때 발생한다.
- (3) 통증: 접촉온도가 약 15 °C 로 떨어져 피부에서 주관적인 통증이 느껴질 때 발생한다.

## 5.7 리스크 평가

다음의 6항에 제시된 표면온도와 접촉시간의 임계값을 활용해 최종적으로 리스크 수준을 평가한다. <그림 1>에서 <그림 4>까지 증상에 대한 재질의 종류, 온도, 접촉시간 간의 상관관계가 나타나 있다. 증상과 재질에 따라 해당 그림으로부터 임계값을 선택한

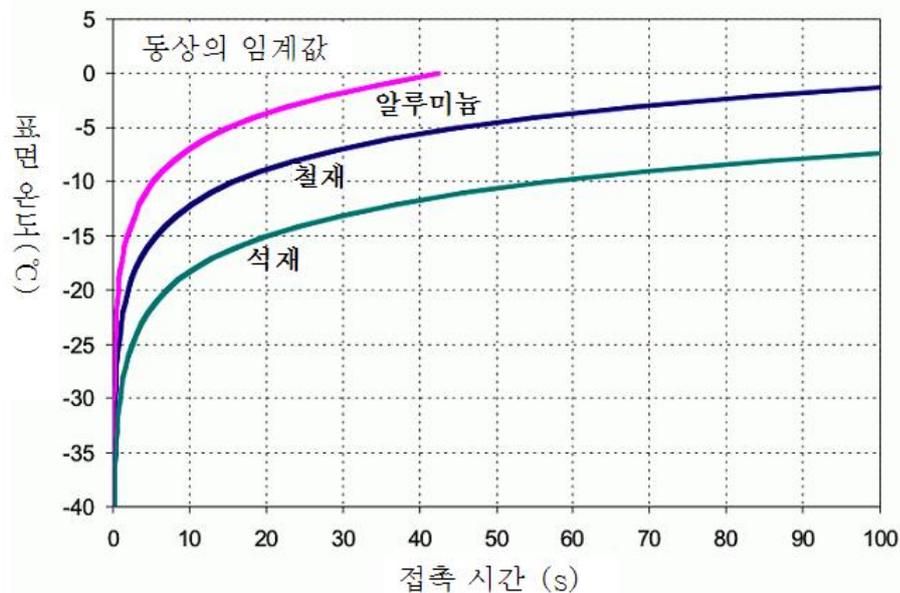
다.

## 6. 임계값

이 항은 인간공학적 데이터로부터 얻어진 표면온도( $T_s$ )의 냉각 임계값을 제공한다.

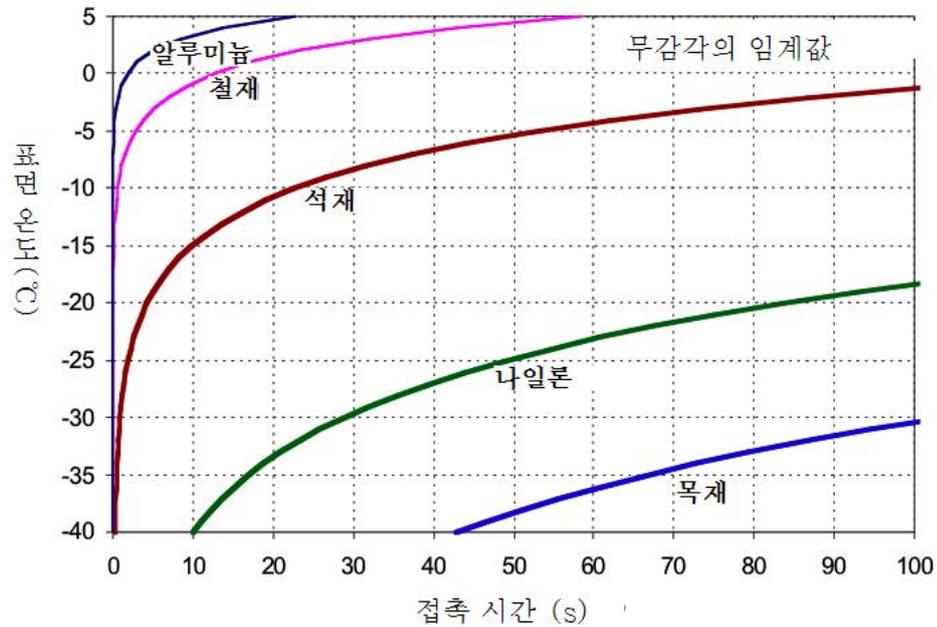
### 6.1 손가락 접촉

3가지 재료의 저온 표면에 대한 손가락 접촉시의 동상의 임계값이 <그림 1>에 나타나 있다. 각각의 재질을 나타내는 곡선의 아래에 있는 영역이 피부의 냉각에 의한 부정적 효과의 리스크가 있는 영역이다.



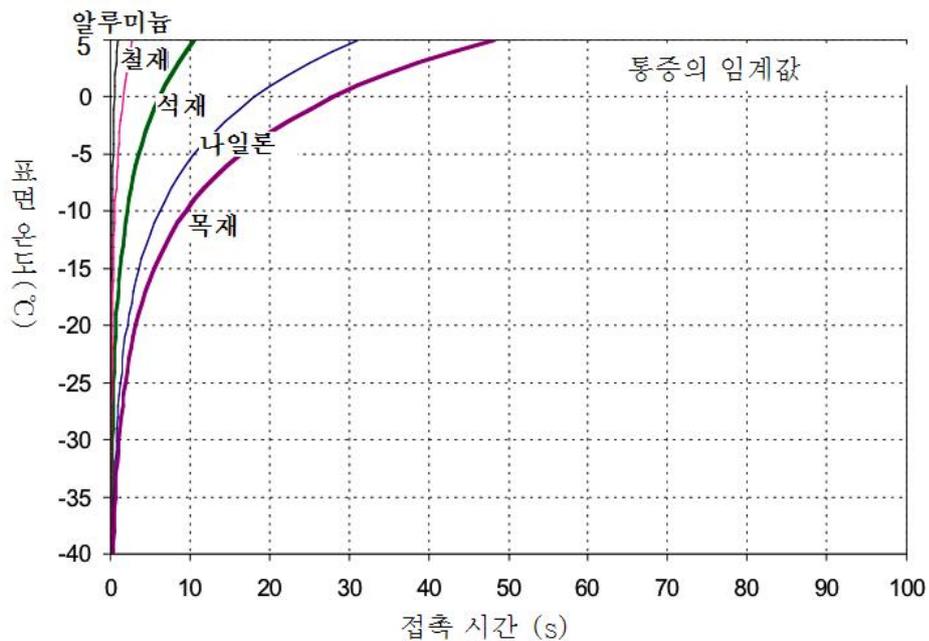
<그림 1> 접촉시간에 따른 동상 임계값 (손가락 접촉시)  
(Holmér 외(2000)에서 인용)

5가지 재료의 저온 표면에 대한 손가락 접촉시의 무감각 증상의 임계값이 <그림 2>에 나타나 있다.



<그림 2> 접촉시간에 따른 무감각 증상의 임계값 (손가락 접촉시)  
(Holmér 외(2000)에서 인용)

5가지 재료의 저온 표면에 대한 손가락 접촉시의 통증의 임계값이 <그림 3>에 나타나 있다.



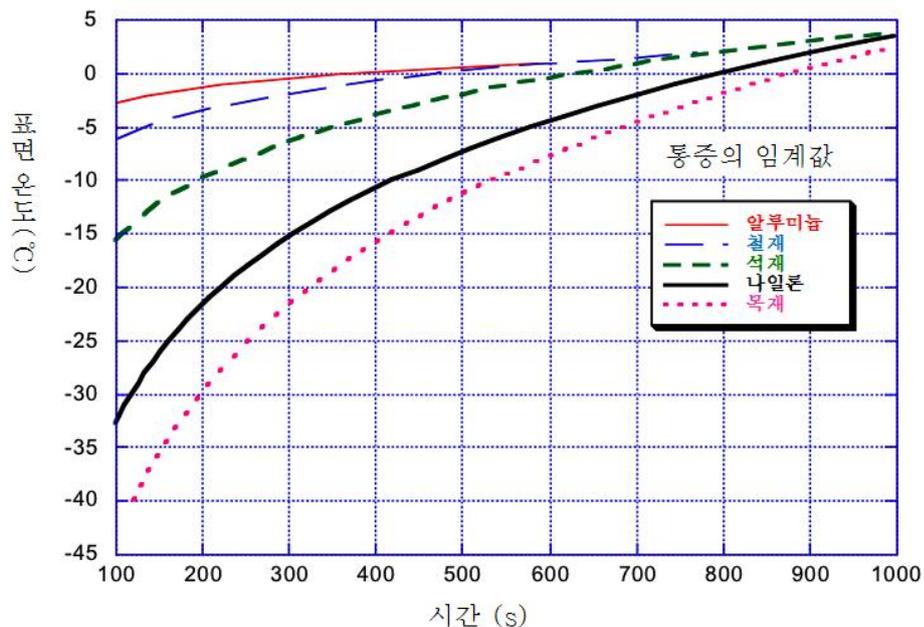
<그림 3> 접촉시간에 따른 통증의 임계값 (손가락 접촉시)  
(Holmér 외(2000)에서 인용)

## 6.2 손으로 잡기

작업자가 저온의 표면을 손으로 잡는 경우, 통증의 임계값은 다음과 같은 원인에 의해 단순히 접촉하는 경우에 비해 낮을 수 있다.

- (1) 반응 조절을 위한 잡는 자세의 변경 가능성
- (2) 접촉 대상 물체에 비해 잡는 막대의 크기와 질량이 작음
- (3) 손가락 접촉에 비해 접촉면이 큼
- (4) 손가락 접촉보다 혈액의 흐름이 덜 방해받음
- (5) 매우 낮은 기온에서 복사열이나 대류열 손실이 통증 감각에 영향을 미침

다양한 재질을 손으로 잡는 것에 대한 통증 임계값이 <그림 4>에 나타나 있다.



<그림 4> 5가지 재질을 손으로 잡는 시간에 따른 통증의 임계값 (Holmér 외, 2000에서 인용)

## 7. 리스크 수준 판정

리스크의 수준은 개인차가 심하기 때문에 이 지침에 제시된 임계값은 인구의 75 %에 대해 안전하다고 해석되어야 하며, 나머지 25 %의 인구에 대해 경미한 리스크가 존재할 수 있다. 따라서, 이 지침은 리스크를 감소시키기 위한 추가 조치나 한계치를 선택하거나 평가하는 데 있어 참고적으로만 사용되어야 한다.

### 7.1 임계값보다 높은 표면온도

측정된 표면온도가 해당 접촉시간에서의 임계값에 비해 높다면(10 °C 까지), 해당 증상의 리스크가 존재하지 않는다.

### 7.2 임계값보다 낮거나 같은 온도

측정된 표면온도가 해당 접촉시간에서의 임계값보다 낮거나 같다면, 피부의 통증, 무감각, 동상이 일어날 수 있는 리스크가 존재한다.

### 7.3 추가적 리스크 요인

다음과 같은 상황에서 리스크는 높아진다.

- (1) 측정된 표면온도가 냉각 임계값보다 현저히 낮을 때
- (2) 냉각 임계값보다 접촉시간이 길 수록
- (3) 접촉 상태를 빨리 벗어나기 힘들수록
- (4) 저온의 표면에 접근이 쉬울수록
- (5) 비의도적인 접촉의 가능성이 높을수록
- (6) 접촉이 더 자주 일어날수록

(7) 접촉 재질에 대한 사전 정보가 적을 때

## 8. 리스크를 최소화하기 위한 대책

리스크가 발견되면 리스크를 감소시키기 위한 대책이 마련되어야 한다. 저온 표면 접촉의 리스크를 최소화하기 위해 다음을 고려한다.

- (1) 상기 7항의 방법에 따른 리스크 평가 결과
- (2) 접촉이 필요한 작업의 빈도 (가끔, 자주, 매우 자주)
- (3) 접촉 면적의 표면 처리 가능성 (페인팅, 플라스틱 코팅 등)
- (4) 비의도적인 저온 표면 접촉의 방지

추가적인 방지 대책의 예는 <부록 2>를 참조한다.

## &lt;부록 1&gt;

**적용 범위의 확장**

본 지침에 제시된 데이터의 범위를 확장하여 적용하고자 할 때에는 다음을 고려해야 한다.

## (1) 작업자 특성

저온에 대한 반응 시간이 인구 특성에 따라 다르다는 점을 고려하여야 한다. 피부의 특성상 고령자는 일반적으로 젊은 사람에 비해 반응 시간이 길다.

## (2) 재질

본 지침에서 언급하지 않은 재질에 대해서는 가장 유사한 재질의 임계값을 사용하거나, 유사한 재질 2가지를 선택한 다음 보간법을 사용해 6항에 제시된 그래프로부터 유추한다. 유사한 재질을 선택할 때에는 <별표 1>의 재질의 열 특성에 대한 정보를 참조한다.

## (3) 코팅과 표면 질감

본 지침에 제시된 임계값들은 코팅이 되어 있지 않은 매끈한 표면에 대한 것이다. 코팅된 표면이나 거친 표면에서는 주어진 값들보다 임계값이 더 낮아질 수 있다. 따라서, 코팅이 되어 있거나 거친 표면에 접촉하는 경우, 주어진 임계값들을 그대로 적용 가능하여도 무방하나, 더 낮은 값들이 허용될 수 있다.

## (4) 액체 및 다른 물질

0 °C 이하의 액체(가솔린, 석유에테르, 질소 등)는 피부를 열게 하여 급격한 동상을 유발할 수 있으므로 피부에 접촉하게 해서는 안 된다.

<부록 2>

## 방지 대책

리스크 평가 결과를 고려하여 다음의 대책 중 1가지 이상을 선택할 수 있다.

(1) 공학적 대책

(가) 물체의 단열

예) 섬유 코팅, 코르크, 나무 등

(나) 표면 구조

예) 표면을 거칠게 만들거나 골이 지게 함

(다) 공구상자의 단열처리 또는 가열

예) 전열식 공구상자

(라) 작업 장소, 손잡이, 도구의 난방

예) 온풍기

(2) 관리적 대책

(가) 기술 문서화, 교육 및 훈련

(나) 기후 조건을 미리 고려한 작업 계획

(다) 개인적 증상에 따른 작업자 선별 (피부 창백, 통증, 무감각 등)

(라) 저온 물체에 대한 주의 표시 (시각적 및 청각적 신호)

(마) 저온의 접촉면에 대한 가드 설치 (방호벽, 스크린 등)

(3) 개인 보호 대책

(가) 개인용 보호구 착용 (충분한 의복 및 장갑)

(나) 이중 장갑 착용 (두꺼운 장갑에 의해 작업이 지장을 받을 때 안쪽에 얇은 장갑을 착용)

(다) 인간공학적인 작업복 디자인

예) 공구를 따뜻하게 보관해 주고 넣고 빼기도 편리한 겹옷 안쪽의 공구 주머니

## &lt;별표 1&gt;

## 주요 재질들의 열 특성

재질	열전도도 $K$ W / m K	비열 $c$ $10^3$ J / kg K	밀도 $\rho$ $10^3$ kg / m <sup>3</sup>	열관성 $10^6$ J <sup>2</sup> / s m <sup>4</sup> K <sup>2</sup>	접촉 인자 $F_c$ $10^3$ J / s <sup>0.5</sup> m <sup>2</sup> K
사람 피부	0.55	4.61	0.90	2.28	1.51
알루미늄	180	0.90	2.77	449	21.2
동	85.5	0.38	8.90	287	16.9
철	148	0.46	7.75	52.9	7.27
콘크리트	2.43	0.92	2.47	5.52	2.35
대리석	2.30	0.88	2.70	5.47	2.34
돌	2.07	0.75	2.80	4.35	2.08
유리	0.88	0.67	2.60	1.53	1.24
벽돌	0.63	0.84	1.70	0.90	0.95
나일론	0.34	1.48	1.20	0.61	0.78
나무	0.22	2.20	0.56	0.27	0.52

※ 재질 특성에 따라 값이 약간씩 차이가 있을 수 있음.