

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(ρ), 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.

<표 1> 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

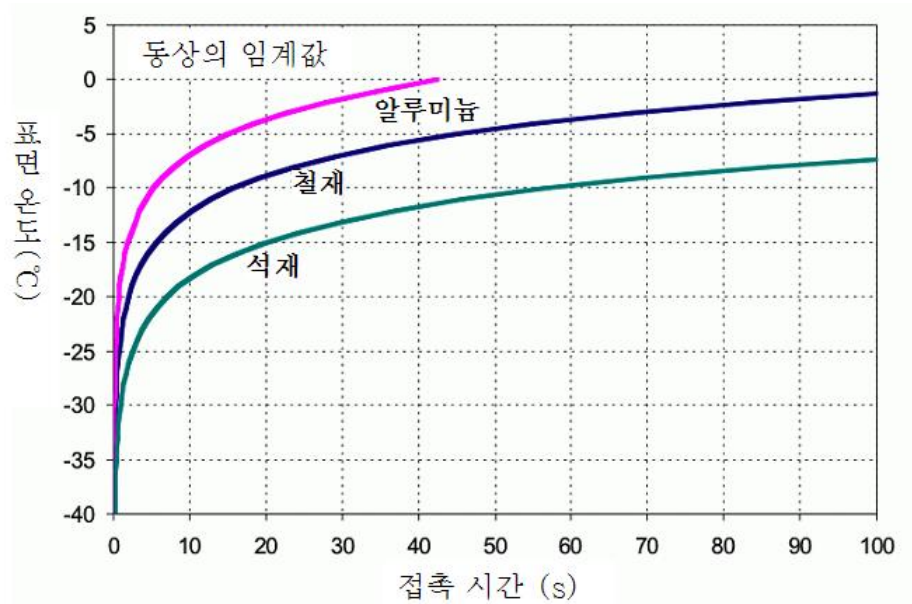
다.

6. 임계값

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

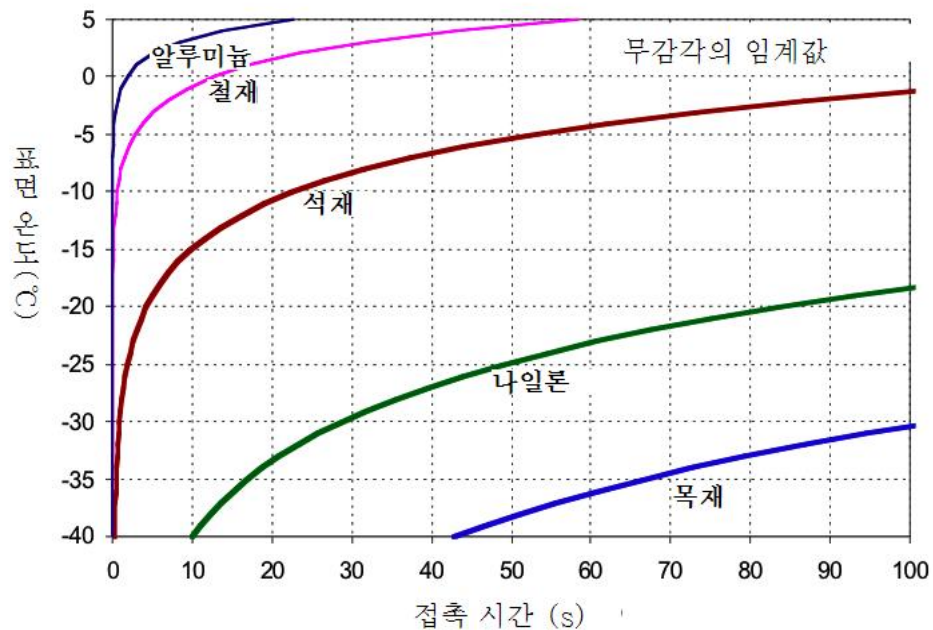
6.1 손가락 접촉

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.



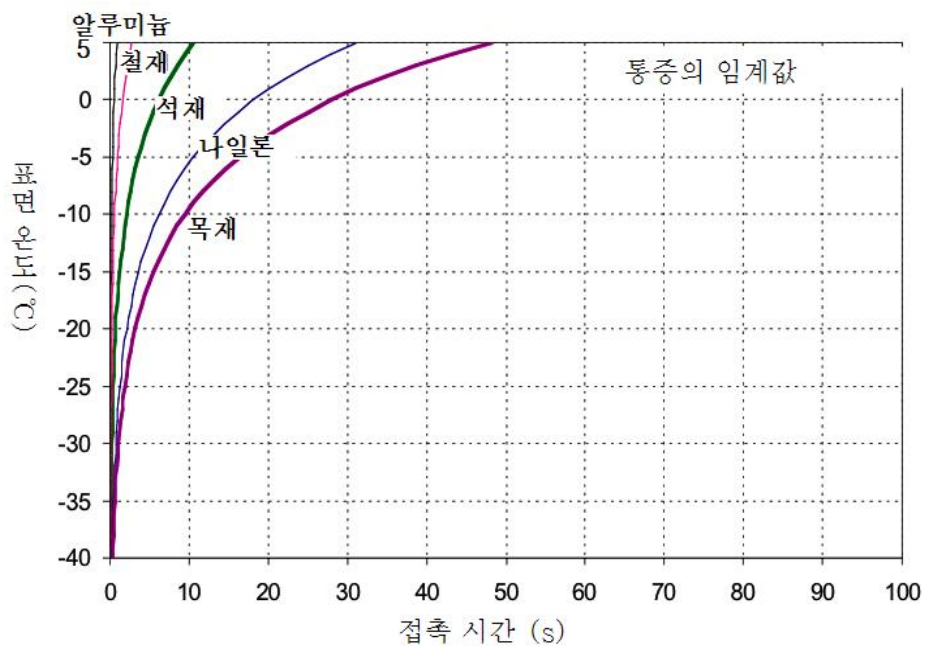
<그림 1> 접촉시간에 따른 동상 임계값 (손가락 접촉시)
(Holmér 외(2000)에서 인용)

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.



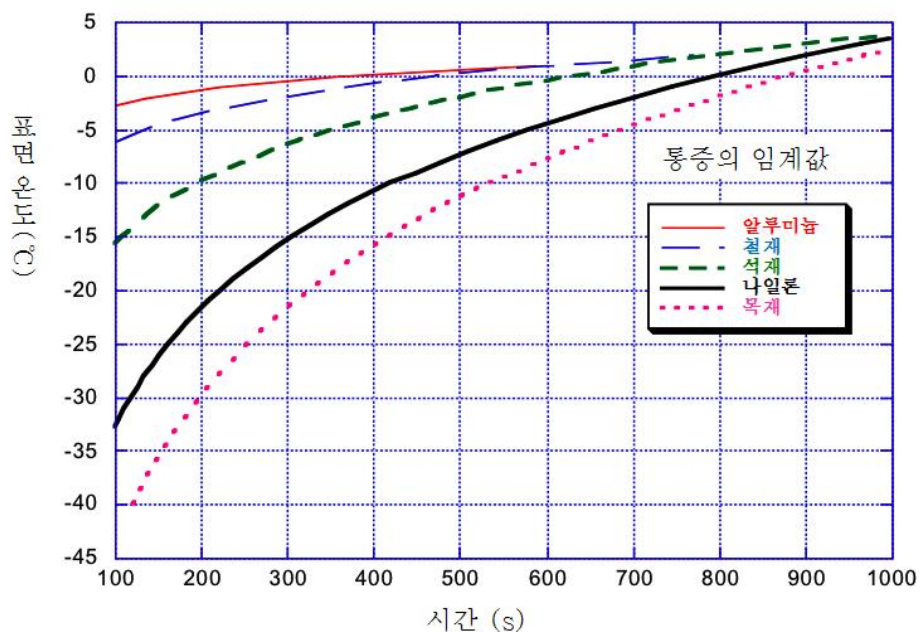
<그림 3> 접촉시간에 따른 통증의 임계값 (손가락 접촉시)
(Holmér 외(2000)에서 인용)

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.

<부록 1>

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 얼게 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

<별표 1>

주요 재질들의 열 특성

재질	열전도도 K W / m K	비열 c 10^3 J / kg K	밀도 ρ 10^3 kg / m ³	열관성 10^6 J ² / s m ⁴ K ²	접촉 인자 F_c 10^3 J / s ^{0.5} m ² 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.