



온열작업장의 작업환경 개선대책

慶北大學校 醫科大學 教授

醫學博士 金 斗 熙

1. 고열 발생원에 대한 대책

1) 대류에 의한 열흡수의 경감

대류에 의하여 체온이 높아지는 것을 막기 위하여는 1차적으로 방열(insulation)과 환기(ventilation)을 고려하여야 한다.

가) 방열(防熱, insulation)

가열체의 표면을 방열체(insulator)로 둘러싸며, 작업환경에서의 열의 대류와 복사열의 영향을 효과적으로 막아준다. 그러나, 이와 같은 방법이 적용될 수 있는 것은 고열작업의 성질에 따라 다르며, 가열체의 표면이 너무 뜨거울 때는 방열체의 두께가 문제되기 때문에 실용적이 못된다.

열탕관(熱湯罐), 열탕급수관(熱湯給水管)을 방열체로 잘 싸뿐 아니라, 관에서 수증기가 새어 나오지 않도록 관의 연결부나 valve를 잘 손질하는 것도 고온다습한 공장에서 잠재적인 열을 막는 직접적인 방법이 된다.

나) 일반환기(一般換氣, general ventilation)

고열작업장의 열의 제거하는 가장 보편적인 방법은 실내 공기를 환기시키는 것이다. 외부의 시원한 공기가 벽체의 개구부를 통하여 실내에 들어오게 하기도 하고, 천정을 통하여 시원한 바람이 중력(重力)에 의하여 들어오고, 더운 공기가 빠져 나가게 하는 천정환기 방법도 이용되고 있다.

가열체로부터 발산하는 열 가운데는 복사열에 의한 것이 큰 비중을 차지하지만, 이 복사열은 건물의 벽체, 그 밖의 고형물체에 흡수되어

2차적인 방열체의 역할을 하며, 마침내 이 열은 환기에 의하여 제거된다. 그러므로 실내의 일반 환기는 고온대책의 중요한 부분을 차지한다. 그러나, 시원한 공기가 실내로 들어올 수 있는 적절한 시설을 하지 않아서 개구부가 부족하고, 진입구의 위치가 좋지 않으면 건물안으로 들어오는 공기량이 너무 적어서 실내에 적절하게 분배되지 않는다.

대류는 가열체 주위에서 자연히 상방으로 일어난다. 일반환기가 이상적으로 이루어지게 하기 위하여는 복사열을 차단함과 동시에, 공기의 진입구를 될수록 바닥에 가깝게 낮추고, 밖에서 들어오는 시원한 바람이 실내 공기와 섞이거나, 방열체 또는 고열작업공정을 스쳐가기에 앞서서 작업자에게 불도록 한다.

그후, 공기의 온도가 높아지면 위로 올라가 천정의 환기통을 통하여 밖으로 나가게 된다. 이렇게 함으로써 다른 인공적인 냉방을 하지 않더라도 근로자들은 최대한 쾌감을 느낄 수 있는 경우가 많다.

다) 국소환기(局所換氣, local exhaust ventilation)와 작업장의 냉방(冷房, cooling)

고열을 그 발생원에서 막을 수 없고, 건물의 크기와 모양, 그리고 공기 공급의 제한등으로 고열작업장 내의 열을 전반적으로 허용한계 이하로 낮추기 어려운 경우에는 특정한 작업장 주위에만 국소환기를 하여 열을 덜어 준다.

국소냉방에는 열원이 복사열이나, 대류열이나

에 따라 두가지 방법이 있다.

(ㄱ) 열원이 주로 대류에 의한 것으로, 공기를 적당한 속도로 보내어 더운 공기와 대치시킨다. 밖의 공기가 시원하고, 공장내의 더운 공기와 섞이지 않는다면 특별히 냉각시킬 필요는 없다.

(ㄴ) 복사열이 많을 때에는 실제로 어느 정도의 냉방을 하여야 한다. 즉 밖으로 부터 송입되는 공기는 실내 공기와 대류를 이루게 하고, 근로자가 복사열의 영향을 받지 않을 정도로 낮은 온도라야 한다. 그러나, 실제로 작업장 전체를 기계적으로 냉방하기는 불가능하며, 격리된 작업감시장, 휴게실 등 비교적 좁은 장소에 적용되고 있다.

국소 냉방시의 기류속도는 대류에 의한 열의 흡수를 줄이고, 증발에 의한 체온방산을 증가하여, 체온을 유지할 수 있을 정도라야 한다. 공기온도가 피부온도 보다 높을때, 기류속도가 너무 빠르면 증발에 의한 체온방출 보다도 대류에 의하여 체내로 열이 흡수되는 수가 있다는 것을 명심하여야 한다. 산업장에서 널리 사용되고 있는 선풍기는 이러한 점에서 각별히 조심하여 사용하여야 한다.

가열로라든가 그 밖의 고열물체 위에는 복개(覆蓋, canopy hood)를 씌워서 자연적으로 또는 기계적으로 열의 대류에 의하여 옥외로 제거한다.

2) 복사열의 차단(遮斷, shielding)

실내 작업이나 옥외 작업을 할때, 복사열에 폭로되는 일이 많으나, 복사열에는 방향이 있기 때문에 이를 막는 것(遮熱)은 비교적 쉽다. 태양광선의 복사열은 250 Kcal/hr 이나, 흰옷을 입으면 복사 energy의 단파장 부분을 반사하여 태양의 복사열은 약 50%로 감소한다. 더구나 사람의 머리위에 높이 덮개를 하여 환기가 잘되게 하면 태양의 복사열은 거의 제거할 수 있다.

용광로, 가열로 또는 압연기(rolling mills) 등, 고열작업 공정에서 발생하는 복사열은 차열판(遮熱板, radiation shields)으로 막을 수

있다. 복사열을 차단함으로써 얻는 실질적인 효과는 표 1과 같다. 열차단판으로서 알루미늄 박판(foil), 또는 알루미늄 칠(paint)을 한 금속판이나 방열성이 낮은 판을 사용한다. 이들 반사형 차열판(reflecting shields)은 그 성능을 높이기 위하여 반사면에 기름, 먼지가 묻지 않도록 깨끗이 닦아야 한다. 한편 철판으로 된 흡수형 차열판(absorbing shields)을 사용하기도

표 1. 알루미늄 박판으로 복사열을 차단하였을 때의 복사열 감소
복사에 의한 열교환 (Btu/hr)

측정 장소	복사열을 차단할 경우	복사열을 차단하지 않을 경우	복사열 감소율(%)
D ₄	2.600	900	65
D ₆	2.240	775	65
D ₇	1.440	500	65
D ₁₀	2.450	1,010	59
D ₁₂	1.460	560	62
D ₁₅	1.850	775	58
D ₁₆	3.150	825	74
A ₁₁	3.525	1,275	64
A ₁₂	2.000	980	51
A ₁₄	2.620	820	69
A ₁₅	1.850	800	57

한다. 이러한 차열판은 복사열을 흡수하며, 대류에 의하여 공기중으로 열을 방출한다. 복사열이 강할 때에는 흡수형 차열판을 여러개 사용하여 차열판 사이의 공기층을 환기하든가 냉수로 식혀서 환경온도가 높아지는 것을 막는다. 발열체의 표면에 알루미늄 또는 흰색칠이라 할지라도 흑구체(black body)의 역할을 한다. 감시작업에서 시야(視野)가 방해되어서는 아니 될 때에는 적외선을 반사시키는 유리판을 사용하거나, 방열망(防熱網, chain linking)을 사용한다.

작업장에서 복사열은 균등하게 분포되어 있지 않고, 일정한 방향으로부터 집중적으로 영향을 받는다. 따라서 근로자가 복사열의 영향을 가장 많이 받는 방향에 차열판을 놓도록 한다. 그러기 위하여 때로는 복사열의 작용방향을 결정하기

위하여 작업장에 대하여 directional radiometer를 사용하여 복사열의 수평분포(그림 1)를 조사할 필요가 있다.

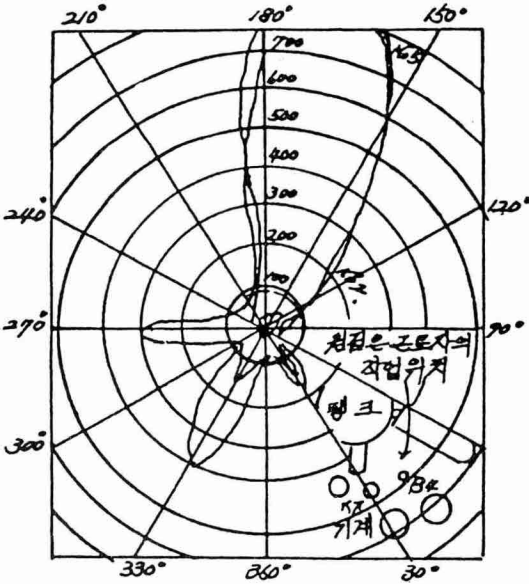


그림 1. 어느 유리공장 작업장에서의 복사열의 주변분포(Haines, 1950)

2. 냉방(冷房) 및 제습(除濕)

작업환경을 냉방하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 작업장을 시원하게 하기 위하여 첫째로 생각해 야 할 것은, 앞서 설명한 바와 같이, 열을 그 발생원에서 제거하는 것이고, 그 다음으로는 고열작업을 독립된 건물에서 하게 하거나, 같은 건물 안에서 할 때에는 발열체를 차단한다. 대규모적인 고열작업장에서는 작업장 전체를 냉방하는 것 보다 작업자가 시원하게 설수 있는 장소를 따로 마련하는 것이 보다 실용적이다.

1) 증발에 의한 냉각(evaporative cooling)

공기를 물 또는 물에 젖은 다공성(多孔性) 물질에 통과시킨다. 냉각기를 떠나는 공기조건은 그 장치의 성능, 실내의 공기온도와 기습, 그리고 냉각수의 온도에 달려 있다. 증발냉각기는

공기에 상당량의 습기를 첨가하는 것으로 생각하지만, 이러한 현상은 냉각기를 떠나는 분무수(噴霧水)의 온도가 실내의 기온 보다 낮고, 결로점(dew point)보다 높을 때에만 일어나고, 동시에 냉각된다. 냉각기를 떠나는 분무수의 온도가 실내 공기의 결로점과 같을때는 냉각(sensible cooling)만 일어나고, 결로점 보다 낮으면 냉각과 탈습이 동시에 일어난다.

2) 냉각코일(chilled coil system)

공기 보다도 훨씬 낮은 온도의 매체(媒體, medium)가 들어 있는 코일 사이로 공기를 통과시켜, 이를 냉각시키는 것으로 다음과 같은 방법이 있다.

가) 수냉(水冷, water cooled) 코일

가장 간단한 것으로, 냉수를 순환시킨 코일에 공기를 통과시켜 열과 습기를 제거하는 것이다. 일반적으로 코일 안을 순환하는 물의 온도는 11℃(52°F)이고, 코일을 통과한 물은 공업용수로 사용하지 않는 한 버린다.

나) 냉동(冷凍) 코일

액체 냉동체의 직접 기화 및 팽창시킴으로써 냉각하는 것이다. 소규모 공기조절기와 대규모 중앙냉방에 널리 사용되고 있다.

3) 제습(除濕, dehumidification)

공기 중의 습기를 제거하는 방법으로는 가)공기를 결로점 이하로 냉각하거나 나) 공기를 수분흡착제에 통과시킨다. 첫째 방법은 공기를 냉각코일에 통과시키면 된다. 둘째 방법은 염화칼슘의 고체 또는 액체염화 lithium, 취화 lithium, ethylene glycol 등 액체흡수제, silica gel, 활성탄과 같은 고체 흡착제를 사용하여 제습하는 것이다.

공기를 결로점 이하로 냉각하여 제습할 때는 공기온도가 내려가지만 흡착제를 통과하여 나오는 공기온도는 도리어 가열된다는 것을 잊어서는 아니된다.

3. 방서(防署) 및 방열(防熱)보호구의 착용

방열보호구를 착용하는 목적은 고열에 의한 생

리적인 부담을 덜어주고, 작업능률의 저하를 막기 위함이다.

방열보호구는 근로자들이 받는 고열의 영향을 효과적으로 막아줄 수 있는 성능을 갖추고 있어야 함은 말할 것도 없고, 공급된 보호구를 근로자들이 잘 이용하고, 또 사용한 후에는 손질을 잘해서 필요한 때에 언제라도 사용할 수 있도록 간수하여야 한다.

1) 보호구의 재료와 방열 작용

가) 열의 반사 (reflection of heat)

알루미늄과 같이 광택있는 금속판은 복사열의 99% 이상을 반사한다. 따라서 1차적인 온도상승은 감소하지만, 대류에 의하여 2차적으로 환경온도가 높아진다. 인체는 대류와 증발에 의하여 체온을 방산하고 있으므로 복사열을 막아주면 열평형은 낮게 유지된다. 그러나, 금속판의 표면이 더러워지거나 부식하면 반사율(reflectivity)이 떨어지고, 따라서 방열성능이 나빠진다.

나) 열용량 (thermal capacity)

방열보호구에 쓰는 섬유는 될수록 치밀하게 짜서, 열용량을 될수록 크게 하여, 열을 많이 흡수시킨다. 요즘에는 알루미늄이 섞인 섬유를 사용하여 수증기가 어느정도 확산할 수 있도록 만든 재료가 있다. 315~370°C (600~700°F) 이상의 높은 복사열에 폭로될 때는 반사면과 흡수층을 함께 이용하면 더욱 효과적이다.

다) 정적인 방열 (static insulation)

보호구에 흡수된 복사열은 흡수된 부위 (locus of absorption)에서 두 방향으로 전달되는데, 흡수되는 열량과 방사되는 열량의 분산비는 열의 전도저항에 달려 있다. 보호구의 재료는 될수록 열을 받는 쪽의 표면 가까이에서 열을 흡수하는 것을 택하도록 한다. 방열효과는 재료의 두께에 비례하므로 부피와 무게를 생각할때, 보호구로서의 방열효과에는 한계가 있다. 또한 공기의 열전도도는 의복의 온도가 1°C 높아지는데 따라 °C 때의 값의 0.28%가 증가한다. 이러한 점으로 볼때, 의복의 표면온도가 쉽게 100°C 이상으로 되

는 때에는 중대한 의의를 가진다.

라) 동적인 방열 (動的防熱, dynamic insulation)

보호구의 재료안에 단순히 공기를 함유하고 있을 뿐 아니라, 열을 받는 방향으로 공기를 보내면 열의 전도도가 현저하게 저하하여 더욱 효과적이다. 이와 같은 방열방법을 동적인 방열이라고 하며, 재료의 두께가 일정할 때에는 열저항은 이를 통해 나가는 공기량에 비례한다(그림 2). 이러한 점을 이용하면 보호구의 무게와 두께를 줄여 근로자들의 부담을 줄일 수 있다. 재료를 통과하는 공기량이 일정할 때에는 재료의 두께, 재료표면의 열 투과성 (penetrability) 및 방열성 (防熱性, emissivity)에 의하여 동적인 방열성 (dynamic insulation)이 좌우된다. 또한 통풍성을 균등히 하여 바람이 의복 표면에 따라 직각으로 흐르게 할 필요가 있다. 통풍성이 고르지 못하면 바람이 보호구의 표면에 평행하게 흐르게 되어, 동적인 방열효과를 얻지 못한다. 환경온도가 높아져서 보호구 안밖의 온도차가 커지면 열전도도가 증가한다.

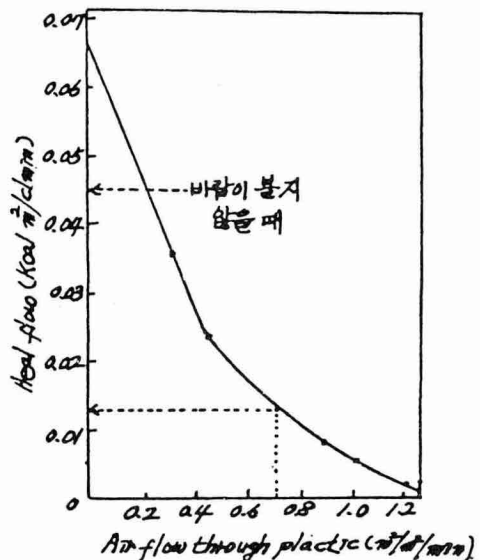


그림 2. 동적인 방열층에 의한 방열층의 열통과량의 감소

마) 복사열 차단 (radiant heat barrier)
공기는 가장 좋은 방열체이다. 그러나 공기층에서의 대류에 의하여 열을 받는 쪽에서 열이 전달된다. 공기층에서의 대류에 의하여 열을 받는 쪽에서 반대 쪽으로 열이 전달된다. 공기층의 두께가 0.7~1.0 cm이하이면 대류가 일어나지 않는다. 그러나 공기층의 양쪽 면의 온도차가 심하면 주로 복사열로서 전달된다. 어느 한쪽 면에 반사층을 만들어 공기층에서 복사에 의하여 열이 전달되는 것을 막는 것을 복사열 차단 (radiant heat barrier) 이라고 한다. 열차단이 효과적으로 이루어지게 하기 위하여 barrier 표면은 단단하고 오염이 되지 않도록 유의하여야 한다. 공냉식 또는 수냉식보호구의 공기 또는 물의 도관(導管, hose)이라든지, 열음 또는 액체공기를 사용하는 portable heat sink에 사용하면 이상적이다.

표 2. 복사열을 차단하는 수건의 효과
(카바이트로(爐)의 복사열 측정)

	차폐하기전	차폐할 때	차폐율	측정기
손수건한겹 (백색)	70.0	50.0	28.6	大山식복사계 (mw/cm ²)
"	40.0	20.0	50.0	"
손수건한겹 (백색)	72.5	24.0	66.8	"
"	31.5	6.5	79.5	충진관식조도계
수건한겹 (녹색)	71.0	28.5	59.8	大山식복사계
"	51.0	12.0	76.5	충진관식조도계
수건한겹	72.0	25.0	65.3	大山식복사계
금속망	74.0	33.5	54.8	"

2) 방열보호구의 종류와 효과
지금까지 여러 학자들에 의하여 발표된 각종 방열보호구의 효과를 들어 보면 다음과 같다.

가) 수건(手巾)

고열작업장에서는 얼굴에 오는 복사열을 막기 위하여 수건으로 얼굴을 가리는 일이 많은데, 三浦들이 조사한 것을 보면 <표 2>와 같다. 그러나 폭로시간이 길어지면 이러한 효과는 적어진다.

나) 방열면(防熱面)

복사열이 심한 작업장에서는 방열면과 방열복을 착용한다. 예로부터 석면이 섞인 방열복을 많이 사용하고 있다.

방열면에는 석면포로 두건(頭巾)을 만들고, 운모창(雲母窓)을 붙여 밖이 보이도록 한 것과 프라스틱으로 만든 것, 그리고 금속망으로 만든 것들이 있다(표 3).

다) 보통작업복(普通作業服)

적당한 작업복을 입으면 옷을 벗었을 때 보다 복사, 대류 및 증발에 의한 열교환을 약 40% 덜어준다. 작업복의 형태와 두께를 잘 생각하고, 작업복이 몸에 꼭 끼지 않게 넉넉하게 하고, 적당한 곳에 개구부를 만들면 피복내의 기류를 축

표 3. 금속망방열면(金屬網防熱面)의 효과(內田들)

가열도로부터의거리	복사열 (milliwatt/cm ²)			방지능률
	착용	불착용	차이	
1 m	430	282	187	34.4
2 m	197	180	67	34.0
3 m	125	87	38	30.4

진하여 증발 및 대류에 의한 열방산에 더욱 효과적이다.

복사열이 전혀 없거나 복사열이 18°C (32°F) 이하인 때에는 의복으로 인하여 열의 부담이 증가하므로 될수록 옷을 적게 입어야 한다.

또한 건조하고 기류가 심한 환경에서는 몸에 꼭 끼는 작업복을 입음으로써 증발에 의한 열방산을 저하시키는 일없이 대류에 의한 열흡수를 덜게 된다. 또한 복사 및 대류에 의한 열흡수를 더욱 줄이기 위하여는 피복의 두께를 고려할 것이며, 특히 겨울철에 옥외작업을 하는 경우에는 고온폭로와 한냉폭로가 교대로 이루어지므로 특히 중요시 된다. 이러한 경우에는 긴 내의를 입

어 보온하는 것이 유리하다. 또한 소방용 방화복도 두둑한 것이 좋다.

라) 알미늄 방열복

복사열의 영향을 많이 받는 경우에는 피복섬유에 알미늄을 증착(蒸着)시켜 짙 방열복을 입으면 보통 방열복 보다 가볍고 효과적이다(그림 3). 이러한 방열복의 복사열 차단은 60%로서 재래식 작업복의 40%에 비하여 20% 정도 더 효과가 있다고 한다. 습기가 많은 곳(Pwa=20 mmHg 이상)에서 오래동안 작업할 때, 알미늄 방열복을 입으면 증발에 의한 체열방출이 방해되므로 재래식인 작업복을 입는 것 보다 도리어 좋지 못하다. 강력한 복사열을 정면으로 받을 때에는 알미늄을 입힌 앞치마(aluminized apron)을 걸치는 것이 효과적이다.

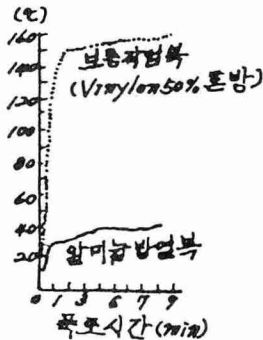


그림 3. 알미늄 방열보호구의 효과(戶田들)

마) 통풍식 또는 수냉식 보호구

공기나 물, 또는 공기와 물을 함께 보호구 밖으로 부터 공급하거나 heat sink 를 보호구 안에 넣어 공기나 물을 순환시켜, 전신 또는 신체 일부만을 보호하는 것이 고안되어 있다. 통풍식 방열복의 1 예를 들면, 재료는 불투과성인 것으로 되어 있고, 손목·발목 그밖에 특별히 만들어진 개공부(開孔部)를 통해서 바람이 새어나오도록 되어 있다. 이 보호구를 착용하면 환경 중의 습도의 영향을 받지 않으며, 복사열 및 대류에 의한 열의 영향만을 받는다. 이런 때에는 별도로 방열대를 강구해야 하며 간단하게 보호구의 외면에 냉수를 뿌려서 대류에 의한 열을

막을 수 있다. 그림 4에 고온에 순환되지 않은 남자가 이와같은 방열복을 입고, 기온이 82°C (180°F)인 환경에서 2시간 동안 쉽게 열평형을 유지할 수 있었다는 Crockford 들(1961)의 성적을 표시하였다. 이러한 최소한 32.2°C (90°F)의 마른 공기를 15ft/min씩 보호구 안으로 넣어 주어야 한다. 또한 Pipe 또는 duct 를 사용하여 국소적인 신체부위에만 통풍하는 수도 있다. 가장 어려운 문제는 땀수룩 소리가 나지 않게 하고, 머리의 움직임에 지장을 주지 않으면서 두부에 충분한 공기를 공급하는 것이다.

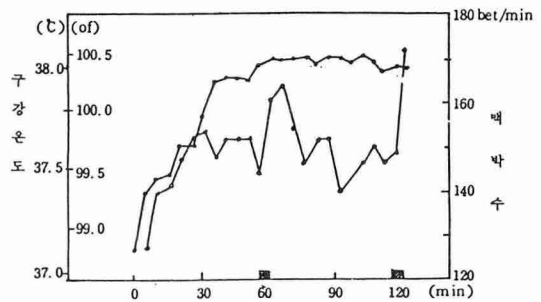


그림 4. 기온 82°C(180°F)인 환경에서 2시간 동안 통풍방서복을 입고 있는 성인남자의 맥박수(○)와 구강온도(●)(Crockford 들, 1961)

수냉식 보호구는 Burton & Collier (1964)에 의하여 고안된 것이며, 그 장점은 동력(動力)이 적게 들고, 부피가 적은 점이다. 그러나 water pipe 가 닿는 피부부위에 국한하여 적용되므로 대량의 열량을 제거할 때는 국소가 지나치게 냉각되어 피부혈관의 수축과 불쾌감을 초래한다. 이러한 보호구는 감시작업자와 같이 정적인 작업을 할 때에는 편리하고 효과적이다. 심한 육체노동을 하는 사람에서는 통풍식과 함께 사용하면 보호구 내의 온도이용을 촉진시키고, 땀을 증발시키는 작용을 함으로 효과적이다.

바) 여러가지 방열보호구를 함께 착용할 때의 효과

여러가지 방이보호구를 함께 착용하고 고열작업에 종사할 때, 작업지속시간과 생리적 반응으로 본 방열효과는 표 4 및 표 5와 같다.

표 4. 작업지속시간으로 본 여러가지 보호구와 효과

조업조건 : 후구온도 190~200℃, 작업량(추운 때 측정)
122 kcal/m²/hr, 212.4 kcal/hr

	폭로 시간	작업중단이유	최 고 맥 박 수	비 고
1. 표준작업복	1분45초	피부의 동통	114 beat/min	
2. 표준작업복 및 헬멧	7분30초	발의 불쾌감	165 "	전신 불쾌감, 10~20분의 휴식을 필요로 함. 4회폭로
3. 알미늄이 섞인 작업복, 헬멧	13분	규격에 맞지 않는 마스크가 막힘	165 "	위와 같음 3회폭로
4. 알미늄이 섞인 작업복, 헬멧 및 수냉식 속옷	20분		115~120 "	20분 작업, 5분 휴식의 작업을 6회 반복하는 동안 열평형을 유지. 열의 발생원, 취급물질에 따라 장갑, 헬멧을 바꿀 필요가 있음.

표 5. 생리적 반응에서 본 방서보호구의 효과

착 복 상 태	후구온도 (℃)	작업이 끝날때의 맥박수(beat/min)	작업중의 P ₄ SR	직장온도(°F)	
				작업초	작업후
1. 반바지와 셔츠	24	86	0.74	99.0	98.8
2. 알미늄이 섞인 의복과 헬멧	24	95	1.59	99.0	99.6
3. 작업복(탱크복)과 헬멧	190-200	165(7.5min)	13.12	99.6	101.3
4. 알미늄이 섞인 의복과 헬멧	190-200	165(13min)			
5. 알미늄이 섞인 보호구 헬멧 및 수냉식 보호구	170	110	2.35*		
6. 알미늄이 섞인 보호구 헬멧 및 수냉식 보호구	190	125	2.62	99.4	99.4

* 같은 작업을 3회반복

<참 고 문 헌>

- 온열환경과 그 대책 : 정 규철
- 산업보건학(수문사) : 조 규상
- 예방의학과 공중보건학(개축문화사)
- 공중보건학 개요 : 김 두희
- 공중위생학(醫學書院, 동경) : 和田