

## 실내 온열 환경 평가 지표

### Evaluation Index of Indoor Thermal Environment

명 현 국  
H. K. Myong

KIST 열유체공학 연구실 선임연구원



- 1957년생
- 난류 및 연소공학을 전공하였으며, 전열 촉진 및 환경문제에 관심이 있다

#### 1. 서 론

현대인은 생활시간의 90% 가까이를 주택, 사무실, 지하공간(지하 상가, 지하철 구내 등)등의 실내 공간내에서 지내고 있다. 따라서, 인간의 생활, 휴식, 그외의 행동을 무리없이 행하기 위한 필요조건으로서 쾌적한 실내 환경이 요구되며, 이것을 실현시켜주는 것이 냉난방·공조설비이다.

일반적으로 실내환경은 온도, 습도, 기류, 복사온도 등의 온열환경과 탄산가스, 일산화탄소, 분진, 냄새, 질소 산화물, 공기중 미생물 등의 오염물질에 관련한 공기질(청정)환경으로 크게 구분할 수 있다. 종래에는 실내 공간을 단지 작업공간이라는 관점에서 주로 온·습도 및 청정도 등 규정된 일정치를 유지하는 데에만 관심을 기울이고, 개인차 등에 대한 배려가 거의 없이 획일적인 상태의 형성에 주안점을 두어왔으며, 또한 실내 환경 문제라고 하면 공기질(오염)에만 국한해서 생각하는 경향이 지배적이었다고 할 수 있었다. 그러나, 최근 빌딩의 급속한 인텔리전트화, OA(Office Automation) 기기의 보급확대 및 업무의 국제화등 고도 정보화의

진전과 함께, 인간 생활 환경의 질적인 향상에 따른 담배 연기에 대한 혐오성, 쾌적 및 건강지향성 등에 대한 요구 증대로 인해, 점차 실내(건물) 공간은 단지 작업공간만이라는 인식으로부터 사람이나 설비를 중시한 쾌적환경 조성으로 변화되어가고 있다. 예를들어, 온열환경에 관해서 보면, 종래에는 열부하 및 공기온도에 주안점을 두고 설계를 함으로서, 복잡한 벽면의 전열 계산에 인간을 등장시키는 일이 없었다. 그러나, 건물의 주체는 공기가 아닌 인간으로, 인간은 공기 온도만을 느끼고 있는 것이 아니고, 같은 비율로 주위 벽면의 온도(평균복사온도)도 느끼며, 이외에도 습도, 기류, 거주자의 활동량, 착의량등의 복합된 요인에 의해 보다 덥거나 춥게 느낀다. 따라서, 쾌적한 실내환경을 창조하기 위해서는 실내환경의 물리적 요인과 함께 인간이 가지고 있는 특성을 충분히 고려할 필요가 있다. 최근에는 쾌적한 실내 환경의 개념도 온도, 습도, 기류, 청정도 및 기타의 조건이 적정한 상태로되어, 개인 개인이 가장 기분 좋게 근무를 할 수 있고, 피로도 적으며, 또한 건강장해를 일으키지 않는 최저의 수준에 그치는 것이 아니라, 보다 인간의 감성을 중시하는 쾌

적한 상태를 유지하는 경우를 지칭하게 되었다.

또한, 가까운 장래에 도래할 고령화 사회에 대처하기 위해서도 쾌적성은 물론 건강성에 대한 고려가 대단히 중요하게 될 것이다. WHO(세계보건기구)에서는, 건강을 “육체적, 정신적, 사회적으로 안녕한 상태로, 단순히 질병 또는 일하러 갈 수 없는 것만을 의미하는 것이 아니다”라고 정의하고 있다. 이와 같은 사회적 환경 속에서 선진국을 중심으로 해서 전세계적으로 실내 환경의 질을 법적으로 규정 또는 규제하는 조치가 진행되고 있다. 한편, 실내 공기에 대한 우리나라의 환경 기준은 건축법(건설부) 및 공중위생 보건법(보사부)에 규정되어 있으나, 구미 선진국들의 기준에 비해서, 아직 매우 낮은 단계에 있으며, 또한 공기질(오염)에만 주로 국한해서 정해져 있고, 온도, 습도 및 기류 등의 온열환경에 대해서는 명확히 규정된 것이 없어, 온열환경에 대한 인식이 상당히 결여되어 있다고 할 수 있다. 예를 들어 온도에 관해서 보면, 17℃ 이상 28℃ 이하와 같이 매우 넓은 범위로 규정하고 있어, 결코 최적치를 나타낸 것이 아니고, 오히려 최저 기준을 나타낸 것임을 알 수 있다.

본 고에서는 이러한 상황을 고려해서, 실내 온열 환경에 국한하여 먼저 인간의 열적 쾌적성 및 쾌적한 온열환경에 영향을 미치는 인자와 평가지표에 관해 기술한 후, 구미 각국의 온열 환경기준과 지표에 대한 움직임에 관해서 기술한다. 또한, 가전, 공조 업체들에 의해 실용적으로 제안되어 사용되고 있는 쾌적성 평가 지표에 대해서도 언급한다.

## 2. 열적 쾌적성

최근 냉난방·공조 분야에서도 쾌적성, 어메니티(정신적 쾌적성), 인간성 등의 단어가 무리없이 눈에 띄고 있다. 실제로, 이 분야에서는 여름철에는 선풍기 및 에어컨, 겨울철에는 난로 및 난방기 등 여러 기기 및 공조장치를 사용해서, 실내의 온열환경을 쾌적한 상태로 하려는 노력을 경주해왔다. 그러나, 이 “쾌적성”이란 무엇을 인가를 명확히 정의하는 것은 대단히 어렵기

때문에, 현재까지 냉난방 설계자, 심리학자 및 위생학자 등 많은 사람들이 쾌적성에 대해 논하고 있으나, 관점 및 대상의 범위가 각기 다르기 때문에 통일적인 입장에서 해설·설명할 수가 없었다.

그러나, 최근 미국 공조학회(ASHRAE)에서는 실내 온열환경의 쾌적성에 관해서 “열적 쾌적성이란 그 온열환경에 만족을 나타내는 마음의 상태”로 정의하고 있으며, 여기서 “마음의 상태”란 실내 거주자의 심리 상태 또는 감각을 말하고 있고, “만족하는”이란 거주자의 적어도 80% 이상이 이 환경을 허용하는 것을 의미한다. 또한, 심리상태 또는 감각이란 ‘쾌-불쾌’의 쾌적 감각과 ‘덥다-춥다’의 냉온 감각을 말한다고 할 수 있다.

일반적으로 열적 쾌적감이란 소극적인 상태로 열적 불쾌감을 느끼지 않는 상태, 즉 덥지도 춥지도 않고 불쾌하지도 않은 상태를 말한다. 인간은 자극성에 의해 확실히 쾌적하게 느끼는 경우가 있으나, 이것은 쾌감이라고 부르며 소극적인 쾌적감과는 구별한다. 자극을 받아 기분이 좋은 것과 불쾌감을 느끼지 않는 것과는 의미가 다르므로, 열적 쾌적감과 쾌감의 차이를 명확히 해 두어야 한다. 방해되는 것이 아무것도 없으면 행동하기에는 대단히 좋으나, 자극이 있어 그것에 대해 쾌감을 느끼면 그 순간 의식은 그곳으로 가 버린다. 예를들어, 더울때 불어오는 냉풍은 인체에 자극을 주어 적극적인 쾌감을 가져오나, 자극이 계속되어도 기분 좋은 상태가 계속 유지될지는 알 수 없다. 또한, 쾌감을 항상 추구하는 것이 좋을지, 소극적인 쾌적이 좋은지에 경우에 따라 각기 다르나, 적어도 장시간 재실하는 실내에서는 기본적으로 소극적인 쾌적성이 필요할 것이다. 따라서, 쾌감만에 의존해 모든것을 처리하려고 생각하면 대단한 오류를 범하는 것이 된다.

## 3. 온열환경에 영향을 미치는 인자

인간의 감각을 고려해서 쾌적한 온열환경을 창조하기 위해서는, 먼저 인간의 온열 감각에 영향을 미치는 인자를 명확히 할 필요가 있다.

열적 쾌적성의 쾌적 감각과 냉온 감각은 인체와 실내환경과의 밀접한 상호작용에 따라 정해지므로 일반적으로 실내 온열 환경을 평가할 때에 관련되는 기본적인 조건으로 환경측의 물리적 인자와 인간측의 인적 인자를 모두 고려해야 한다. 환경측 물리 인자로는 온도, 습도, 기류, 복사·일사 등이 있으며, 인간측의 인적 인자로서는 연령, 성차이 등 이외에 그 때의 활동 상태, 의복조건, 환경에의 순응등이 있다. 이들중 표 1에 보인바와 같이 공기온도, 평균 복사온도, 기류 및 습도의 4가지 물리 인자와 의복(착의량) 및 활동량(대사량)의 2가지 인간측 인자가 열적 쾌적감에 크게 영향을 미치고 있다. 이하 이들 각각의 인자에 대해 간단히 기술한다.

(1) 공기온도

공기온도란 기온을 말한다. 그러나, 실내에서 상하, 수평의 온도분포가 있는 경우 공기온도를 어디에서 정의할 것인지는 대단히 어렵다. 통상의자에 앉아 있는 경우, 바닥면으로부터 60 cm 되는 곳을 인체 중심으로 하여, 실내 환경의 평가를 위해서 바닥면으로부터 10 cm, 60 cm, 110 cm 인 곳의 공기온도를 측정하는 경우가 많다.

(2) 평균 복사온도

평균 복사온도란 실제의 불균일한 복사장에 있어서 재실자가 주위환경과 복사 열교환을 행하는 것과 똑같은 양의 복사 열교환을 행하는 균일한 주위 온도를 의미하며, 이 개념은 그림 1에 보인바와 같다. 같은 공기온도라도 복사에 의해 천정이 햇볕 등으로 뜨거워져 있다면 덥게 느껴지고, 겨울의 차거운 창문 근처에서는 냉 복사에 의해 춥게 느껴진다. 또한, 평균 복사온도의 개념에는 인체와 주위와의 형태계수가 고려되어 있기 때문에, 인간이 실내의 어느 위치에 있는가에 따라 평균 복사온도는 달라진다. 따라서 이 온도는 종래 편의상 사용되고 있는 각 벽면, 천정 등의 면적평균 가중온도와는 다르며, 또한 형태계수도 인간은 구면체가 아니므로 방향에 따라 다르게 된다.

(3) 기 류

기류란 실내 기류를 말하며, 사무실 빌딩에 관해서는 건축법에 의해 기류는 일반적으로 0.5 m/s 이하가 되게 하도록 정해져 있다. 기류가

표 1 인체의 열적 쾌적감에 영향을 미치는 인자

물리인자	
• 공기온도	(ta)
• 평균복사온도	(tr)
• 기류	(v)
• 습도	(RH)
인적인자	
• 의복(착의량)	(clo)
• 활동량(대사량)	(met)

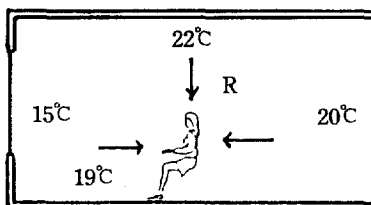
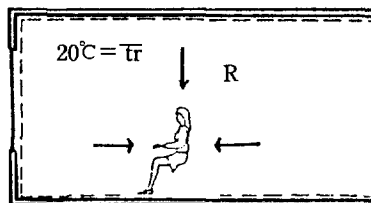


그림 1 평균 복사 온도의 개념

너무 강하면 6절에서 기술하는 바와 같이 드래프트 현상을 일으킨다. 또한, 더울 때는 같은 기온이라도 기류가 있으면 시원하게 느껴진다. 근년, 평균 기류외에 기류의 변동량도 인체의 열적 쾌적감에 영향을 주는 것이 알려졌다.

(4) 습 도

습도는 상대습도 또는 절대습도로 나타내어진다. 일반적으로 습도는 냉온감에 영향을 미침과 동시에, 저습도·고습도에서는 인체에 비열적 불쾌감을 준다. 즉, 낮은 습도에서는 정전기 문제가 발생하고, 높은 습도에서는 피부의 젖음을 증가에 따른 불쾌감을 유발한다.

(5) 활동량(대사량)

인체의 활동량은 메트(met)라는 단위로 나타낸다. 1 메트는 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에

표 2 작업 중별에 따른 대사량(met)

작업종별	대사율(met)	작업종별	대사율(met)
휴식		교사	1.6
수면	0.7	상점판매원	2.0
조용히 앉아 있다	1.0	사교춤	2.4~4.4
마음편히 서 있다	1.2	테니스, 싱글	3.6~4.6
보행		농구	5.0~7.6
속도 0.89 m/s	2.0	연구실 작업	1.4~1.8
1.34	2.6	공장	
1.79	3.8	가벼운 작업(전기공업)	2.0~2.4
가사		중작업(철강업)	3.5~4.5
청소	2.0~3.4	목수작업	
취사	1.6~2.0	기계톱	1.8~2.2
손세탁	2.0~3.6	손톱	4.0~4.8
장보기	1.4~1.8	단조공장	
사무작업		공기 햄머	3.0~3.4
타자	1.2~1.4	노 작업	5.0~7.0
일반사무 제도	1.1~1.3		

표 3 각종 의복의 열전연성(clo)

남 성			여 성		
의복의종류		clo	의복의종류		clo
내의	소매없는 것	0.06	내 의	브래지어, 팬티	0.05
	T셔츠	0.09		하프슬립	0.13
	브리프	0.05		홀슬립	0.19
	긴소매셔츠	0.35		긴소매셔츠	0.35
	긴속바지	0.35		긴속바지	0.35
와이셔츠	긴소매(얇은 것)	0.22	브라우스	얇은 것	0.20
	(두꺼운 것)	0.29		두꺼운 것	0.29
조끼	얇은 것	0.15	드레스	얇은 것	0.22
	두꺼운 것	0.29		두꺼운 것	0.70
바지	얇은 것	0.26	스커트	얇은 것	0.10
	두꺼운 것	0.32		두꺼운 것	0.22
스웨터	얇은 것	0.20	슬랙스	얇은 것	0.26
	두꺼운 것	0.37		두꺼운 것	0.44
겉옷	얇은 것	0.22	스웨터	얇은 것	0.17
	두꺼운 것	0.49		두꺼운 것	0.37
양말	짧은 것	0.04	스타킹	일반적인 것	0.01
	긴 것	0.10		팬티스타킹	0.01
구두	단화	0.04	구두	팜푸스	0.04
	부츠	0.08		부츠	0.08

앉아 안정을 취하고 있을 때의 대사량으로, 1 met=58.2 W/m<sup>2</sup>이다. 표 2에서 보는바와 같이 통상의 사무실 작업시에는 1.1~1.4 met의 활동량에 해당하며, 농구와 같은 격한 운동시에는 5.0~7.6 met의 활동량에 해당한다. 동양인의 체표면적은 약 1.6~1.7 m<sup>2</sup> 정도이므로 의자에 앉아 독서 등을 하고 있는 경우 한사람이 100~200 W의 열을 방출하고 있는 것이 된다. 일반적으로 대사량을 정확하게 측정하는 것은 기술적으로 상당한 숙련을 필요로 한다.

(6) 의복(착의량)

의복의 단열성(열절연성)은 크로(clo) 값이라는 단위로 나타낸다. 착의 상태의 단위 clo는 기온 21℃, 상대습도 50%, 기류 5 cm/s 이하의 실내에서 인체 표면으로부터의 방열량이 1 met의 활동량과 평형하는 착의 상태에서의 피부표면으로부터 착의 표면까지의 열저항 값으로, 보통의 열저항치로 환산하면 1 clo=0.155 m<sup>2</sup>℃/W로 된다. 예를들어, 겨울철의 두꺼운 트리피스 신사복이 약 1.0 clo 이고, 여름철 하복이 약 0.6 clo이다. 요사이는 하기와 동기의 의복차이가 적어져, 그결과 설정 냉난방 온도의 계절차이도 적어졌다. 크로값은 정확하게는 열적 마네킹(Thermal Mannequin)에 의해 측정하던지, 도표로부터 산출하는 방법이 있다. 참고로 표 3에 각종 의복의 크로값을 보인다.

4. 실내 온열환경 평가 지표

실내 온열 환경 평가 지표란, 앞절에서 기술한 온열환경에 영향을 미치는 인자들을 고려해서, 실내의 인체주위 온열환경이 인체에 미치는 온열감각에 가까운 평가가 얻어지도록 정리한 것으로 현재까지 약 20여가지의 지표가 제안되어 있으며, 이것들은 크게 아래와 같이 분류할 수가 있다.

- (1) 물리적 조건에 기초한 평가지표 (물리적)
- (2) 생리적 항목에 기초한 평가지표 (생리적)
- (3) 열평형에 기초한 평가지표 (열평형)
- (4) 주관에 따른 평가지표 (주관적)

특히, (4) 주관적 평가 지표는 “인간의 등은 감각에 기초한 지표(감각적)”와 “쾌-불쾌 판

단에 기초한 평가지표(심리적)”로 나누어진다.

물리적 평가지표에는 기온, 습도, 복사, 기류에 관한 지표 및 이들이 복합된 것으로 수증기 분압과 기온을 평가하는 습구 온도와 복사, 기온, 기류의 3인자를 종합적으로 평가하는 그로브 온도 및 환기의 냉각력을 평가하는 냉각력 등이 있다. 생리적 평가 지표로서는 기온, 복사, 습도, 기류, 활동량으로부터 4시간 후의 발한량을 예상하는 지표(P, SR)가 있다.

열평형에 기초한 지표로는 인체와 주위 온열환경 사이의 열교환 관계를 기술한 작용온도 및 표준 작용온도, 인체의 생리적인 발한에 따른 체온조절 기구도 고려한 열평형 모델에 기초하여 습도 평가를 포함하는 작용온도, 신유효온도 및 습도평가를 포함한 표준 작용온도, 신표준 유효온도(Standard new Effective Temperature, SET\*) 등이 있다.

주관적인 평가지표중에서 “등온감각”에 기초한 지표로서는 유효온도 (Effective Temperature, ET; 감각온도, 실감온도, 등감온도라고도 불리워진다), 신유효온도(Revised Effective Temperature, ET\*), 등온지표 등이 있다. 유효온도에서는 기온 T℃, 습도 100%, 무풍상태의 환경을 기준으로 하여, 다른 실내 상태에서 이것과 같은 온도 감각을 일으키는 환경을 같은 유효온도 T℃로 정의하고 있다. 등은 감각은 작업이나 의복 상태 등에 따라 달라지는 것도 일부 고려하고 있으나, 작업량이 큰 경우 등에는 문제가 있다. 또한, 저온에서는 습도의 평가가 크고, 고온에서는 작게되는 등의 결점이 지적되고 있다. 한편, “쾌-불쾌”에 기초한 지표로서는 기온과 습도를 조합하여 된 불쾌지수(Discomfort Index, DI)와 기온, 습도, 기류, 복사 및 작업량, 의복 조건을 고려한 평균예상신고(Predicted Mean Vote, PMV)가 있다. 이 중, 불쾌지수는 온도와 습도 이외의 조건을 고려하지 않고 불쾌를 다루었다는 점에 문제가 있다.

위의 온열환경 평가지표의 대부분은 1920년대부터 ASHRAE에서 수행된 인체의 쾌적감에 대한 연구결과로서 발표되었으며, 주로 물리인자에 치중해서 정해진 반면, 열평형에 기초한 신 표준 유효온도(SET\*)와 주관적인 쾌-불쾌

에 기초한 평균예상신고(PMV)는 전술한 인체의 온열감각에 영향을 끼치는 물리/인적 인자의 6 요소 (온도, 상대습도, 평균 복사온도, 기류속도, 착의량 및 작업량)를 전부 포함하는 함수로 표현된 온열환경 지표로서, 적용범위에 다소 제약은 있으나 실제의 온열환경을 상당히 적절히 평가할 수 있는 것으로 알려져, 현재 실내 온열환경의 쾌적성 평가 기준으로 널리 사용되고 있다.

4.1 신표준 유효온도(SET\*)

사무실에서 책상에 앉아 작업하고 있는 사람은 실내 온열환경의 6가지 인자에 의해 열적 자극을 받게 되는데, 여기서 자극이란 인체가 주위 환경과 열적으로 교환을 행하는 교환 열에너지량을 말한다. 신표준 유효온도(SET\*)의 정의는, “하복을 입은 상태에 해당하는 착의(0.6 clo)를 한 사람이 기류 0.1 m/s, 상대습도 50%인 표준적인 조건하에서 경험하는 기온(다만 벽온도는 기온과 같은 등온 환경 : Uniform Environment)과 동가인 열적 자극을 사람에게 주는 온열조건을 나타내는 지표”로, 이것은 온열환경에 있어서 사람의 체온조절시스템을 생리학 등에 의

해 얻어진 데이터에 기초해서 수학적으로 모델화해 산출하는 것으로 온도의 차원을 가지고 있다. 이 SET\*를 사용하면, 여러가지 조건의 실내환경을 가상 공기온도이기는 하나, 단일 변수에 의해 비교·평가할 수가 있으며, 또한 공기온도라는 우리에게 친숙한 물리량을 척도로서 사용하고 있기 때문에 실내 온열환경의 양상이 쉽게 이해될 수 있다. 표 4는 SET\*와 인체의 온열 감각, 생리현상, 건강상태 등과의 관계를 나타낸 것으로, 표에서 보는 바와 같이 온열감각의 범주 [아주 차다(Very Cold), 차다(Cold), 조금 춥다(Slightly Cool), 중간(Neutral), 조금 따뜻하다(Slightly Warm), 따뜻하다(Warm), 덥다(Hot), 아주 덥다(Very Hot)] 및 쾌, 불쾌감의 범주 [쾌적 (Comfortable/Pleasant), 조금 불쾌 (Slightly Uncomfortable), 불쾌(Uncomfortable), 아주 불쾌(Very Uncomfortable), 허용한도(Limited Tolerance)]로의 변환을 가능하게 하고 있다.

4.2 평균예상신고(Predicted Mean Vote, PMV)

일반적으로, 쾌적한 상태란 1가지만이 아니고

표 4 온열감각과 생리현상, 거남상태와의 관계

신표준 유효온도 SET*(°C)	온 열 감 각		생리현상	건강상태
	온냉감	쾌적성		
45	허용한도			
40	아주덥다	아주 불쾌	발한 및 혈류증가에 의한 스트레스 증가	열사병, 심장, 혈관의 곤란증가
35	덥다	불쾌		
30	따뜻하다	불쾌		맥박이 불안정
25	조금따뜻하다	중간 쾌적	발한 및 혈류변화에 의해 정상적으로 조정	정상
20	조금춥다			
15	춥다	조금불쾌	현열손실 증가로 착의의 증강 또는 체조를 권장	
10	차다	불쾌	수축의 혈관 수축 떨림	피부 및 점막건조에 따른 고충 증가
5	아주차다			근육통 및 말초순환 장애

6개 인자의 많은 조합에 의해서도 가능할 수 있으므로, 공기온도가 어느 값이 될때만 쾌적한 것이 아니고 더울때에는 기류를 이용하는 방법 등에 의해 쾌적환경을 실현할 수 있듯이, 쾌적한 실내 온열환경의 추천값을 공기온도만으로 나타내는 것으로는 충분하지 않다.

평균 예상신고(PMV)는 덴마크 공과대학의 Fanger 교수가 개발한 이론으로 온열환경의 6가지 인자에 의한 복합 효과를 평가하는 지표로, 1984년에 ISO(International Organization for Standardization)에 의해 ISO-7730 으로서 국제 규격화 되었다. 이 지표는 피험자 실험에 의해 구해진 온열적으로 쾌적한 상태에서의 평균 피부온도(사람의 온열 감각이 좋은 지표로 된다)와 산열량과의 관계 및 습성 방열량과 산열량과의 관계를 사용해서 기술된 쾌적 방정식에 따라 산출된다. 즉, PMV는 쾌적 방정식에 표 1에 보인 6개의 요소(실온, 상대습도, 평균 복사온도, 기류속도, 착의량, 작업량)를 대입시켰을 때의 산열량과 방열량의 불평형분(인체 열부하)과 사람의 온열 감각을 피험자 실험에 의해 관계지워 나타내는 지표이다. PMV값은 열적인 중립 상태를  $\pm 0$ 으로 하고  $-3 \sim +3$ 의 수치적으로 나타내며, 그림 2와 같이 온도감각의 범주 등급 [차다(Cold), 춥다(Cool), 조금 춥다(Slightly Cool), 중간(Neutral), 조금 따뜻하다(Slightly

Warm), 따뜻하다(Warm), 덥다(Hot)]과 관계지워져 있으므로, 매우 이해하기 쉽다. 계산식 중에는 반복 계산이 있기 때문에 수계산으로 푸는 것은 어려우나, 포켓용 계산기 정도의 계산기가 있으면 간단히 풀수 있으며, ISO-7730에는 Fortran 형식의 컴퓨터 프로그램도 실려 있다.

일반적으로, 이 쾌적 방정식의 적용범위는 그 성립값으로부터 소위 쾌적환경의 근방에 한정되어, 땀을 다량으로 흘리는 고온 다습한 환경이나, 추위로 떠는 저온 환경에는 적용할 수 없다. 그러나, 이 특징을 충분히 이해해서 통상의 사무실 환경 등에 적용하는 한은 인간의 감각과 잘 맞는 유용한 지표이다.

한편, PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)는 어느 환경에 놓여진 사람들의 불만족 비율을 나타내는 것으로, 몇 %의 사람이 온열적으로 불만을 느끼고 있는가를 나타낸다. PPD의 PMV와의 관계, 즉 온열감과 쾌적도의 관계는 약 1300명에 달하는 피험자 실험과 생리학적 측정에 의해 구해졌으며, 그림 2에 보인 바와 같이 된다.

ISO에서는 다음 절에 보여주는 바와 같이 PMV의 적용범위를 아래와 같이 정하고 있다 (ISO-7730).

$$-2 < PMV < +2$$

다만,  $0.8 < M(\text{작업량}) < 4(\text{emt}), 0 < lct(\text{착$

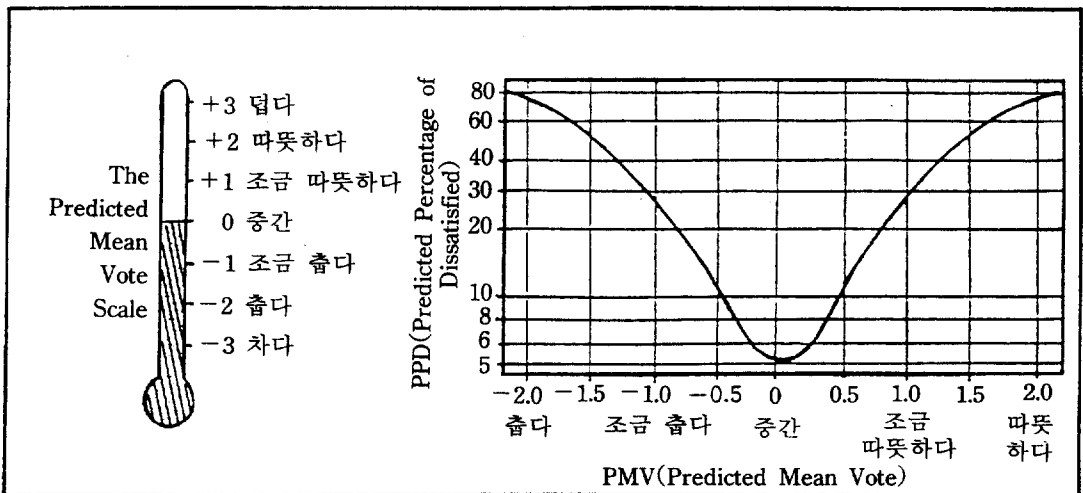


그림 2 PMV와 온열 감각과의 관계 및 PPD와 PMV의 관계

의량) < 2(clo), 10 < ta(공기온도) < 30 (°C)

10 < tr(평균 복사 온도) < 40(°C), 0 < v (기류속도) < 1(m/s)

0 < Pa(수증기압력) < 27(kPa)

참고로 ISO-7730에서는 PMV, PPD에 기초해 -0.5 < PMV < +0.5, 불만족율(PPD)10% 이하라는 추천값을 제시하고 있다.

PMV값은 냉온감을 나타내기에는 일반적인 표현이나, PMV값 그 자체로는 이해하기 어려운 때가 있다. 표 1에 보인 6개의 매개변수 중 몇개를 고정하면, 작용온도에 의해 쾌적범위를 표현하는 것이 가능하다. 그림 3에 하기와 동기를 상정한 작용온도와 PPD의 관계를 나타낸다. 하기를 상정한 0.5 clo, 1.2 met, 60% RH인 경우, 쾌적작용온도는 24.5°C로, -0.5 < PMV < +0.5, (PPD < 10%)의 범위는 작용온도로 23°C~26°C이다. 또한, 동기를 상정한 1.0 clo, 1.2 met, 40% RH인 경우에는, 쾌적작용온도는 22°C로, -0.5 < PMV < +0.5, (PPD < 10%)의 범위는 작용온도로 20°C~24°C이다. 하기와 동기의 쾌적온도가 다른 것은 착의량이 다르기 때문이다. 또한, 착의량이 적은 쪽이 환경의 변화가 인체에 미치는 영향이 크기 때문에 하기에 쾌적온도 폭이 좁게 된다.

남녀의 차에 대해서 보면, 여성은 일반적으로 남성보다 얇게 입기 때문에 쾌적온도에 차이가 있다. 이것이 남녀간의 쾌적온도 차이의 요인으로 여겨진다. 여하튼, 의복으로 쾌적온도를 조정하는 것은 대단히 유효한 방법이다.

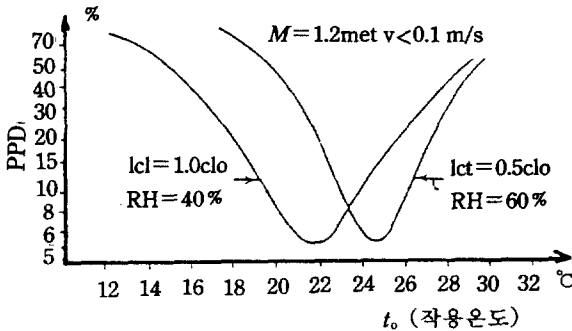


그림 3 하기와 동계의 사무실을 상정한 경우의 작용온도와 PPD의 관계

### 5. 구미에 있어서의 온열 환경 지표

본 절에서는 환경 지표중에서 현재 환경기준으로서 실제로 사용되고 있는 대표적인 것으로 미국의 ASHRAE 기준 및 유럽을 중심으로한 국제규격 ISO의 온열환경에 관한 지표의 개요를 기술한다.

#### 5.1 미국의 ASHRAE 기준

미국에 있어서 환경기준으로는 ASHRAE에서 작성된 ASHRAE Standard를 들 수 있으며, 현재 온열환경에 관해서는 ANSI/ASHRAE 55-1981 (Thermal Environmental Condition for Human Occupancy)에 정리되어 있다.

ASHRAE 기준에서는 적용범위를 고도 3000 m 이하의 기압하에서 15분 이상 있는 환경으로 하고, 건강한 인간이 쾌적함을 느끼는 열적환경에 관해서 기술하고 있다. 이하 (1) 표준적 착의, 경작업시, (2) 특수한 착의 경작업시, (3) 중작업시의 3경우에 대한 기준을 보인다. 단, ASHRAE 55-1981은 일부 개정될 예정이므로, 개정판(ASHRAE 55-1990R)의 내용에 관해서도 병기한다. 그림 4에 작용온도 및 80% 허용한계와 착의량의 관계를 보인다.

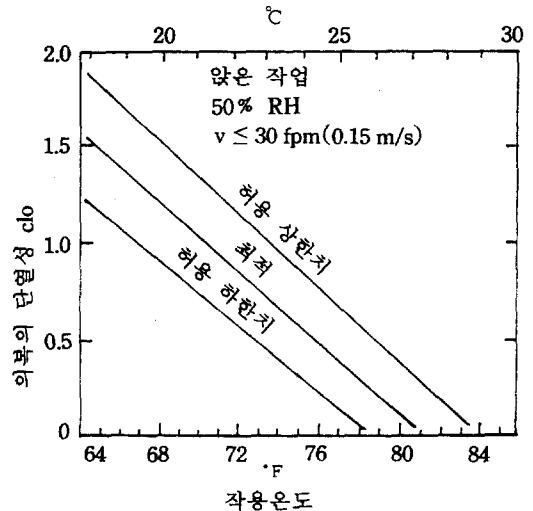


그림 4 경작업시(≤ 1.2met)에서의 최적 작용온도 및 80% 허용한계와 착의량의 관계



표 5 허용 작용온도\*(경작업시 ≤1.2met, 상대습도 50% 미풍 ≤0.15m/s)

계절	착의량	최저 작용 온도	80% 허용작용온도**
겨울	0.9 clo	21.7℃ (22.0℃)	20.0~23.6℃ (20.0~23.5℃)
여름	0.5 clo	24.4℃ (24.5℃)	22.8~26.1℃ (23.0~26.0℃)
	0.05 clo	27.2℃ (27.0℃)	26.0~29.0℃

\* 괄호안은 ASHRAE 55-1990R에서 제안된 기준값  
 \*\* ASHRAE 55-1990R에서는 90% 허용작용 온도의 값

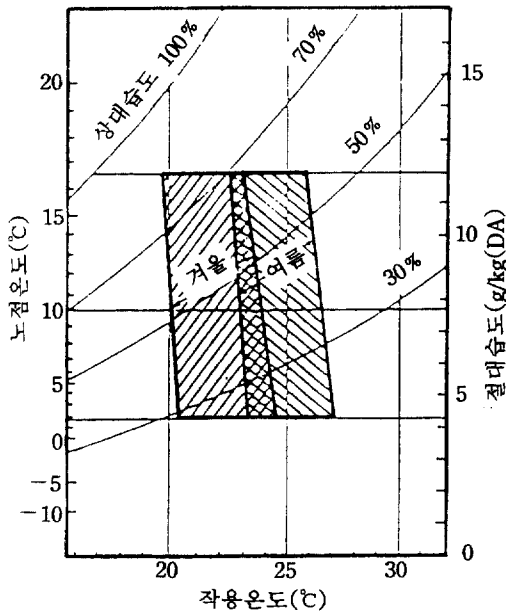


그림 5 ANSI/ASHRAE 쾌적선도(경작업, 작업강도 ≤ 1.2met)

(1) 표준적 착의, 경작업시

(가) 온도 : 착의량은 계절에 따라 변화하나, 표준적인 착의량으로서는 여름 0.35~0.6 clo, 겨울 0.8~1.2 clo, 중간기에는 0.6~0.8 clo 정도이다. 각 계절에서의 작용온도 및 허용영역을 표 5와 그림 5에 보인다.

(나) 습도 : 노점온도는 1.7~16.7℃ 이내로 한다. (ASHRAE 55-1990R에서는 상대습도 30~60%로 정함)

(다) 풍속 : 겨울철 및 여름철 평균풍속은 각각 0.15 m/s 및 0.25 m/s 이하로 한다. 단, 고온 영역에서는 풍속을 증가시킬 수 있다.

(라) 평균복사온도 : 평균 복사온도와 기온

이 다를 경우에는 작용온도가 쾌적영역에 들어 가도록 한다.

(마) 비정상 상태 : 기온의 주기변동은 진폭이 1.1℃를 초과할 경우 2.2℃/h 이하로 하고, 진폭이 1.1℃ 이하인 경우는 문제가 없다. 또, 기온의 드래프트 및 럼프 변동은 0.6℃/h 이하로 한다(단, 쾌적영역을 0.6℃이상, 1시간이상 초과하지 않는 경우, ASHRAE 55-1990R에서는 21~23.3℃에서 0.5℃/h 이하로 되어 있다)

(2) 특수한 착의, 경작업시

착의량이 전술한 범위를 넘을 경우, 착의량 0.1 clo 당 표 5의 온도를 0.6℃씩 저하시킬 수 있다. 단, 최저 작용온도는 18℃이하로는 하지 않는다.

(3) 중작업시

작업량 많은 경우 쾌적온도는 경작업시(1.2 met)에 비해 낮게 된다. 작업량, 착의량과 작용온도의 관계는 아래식으로부터 구해진다.

$$t_{\text{active}} = t_{\text{sedentary}} - 3(1 + \text{clo})(\text{met} - 1.2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

단, 위식에서 met는 1.2~3 met, 최저 허용 작용온도는 15℃로 한다.

5.2 국제규격 ISO

국제규격 ISO에서는 온열환경에 관해서 ISO-7730(Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for the Thermal Comfort)의 부칙에 기준이 아닌 추천치라는 형식으로 정리하고 있다.

ISO에서는 온열환경 지표로서 PMV 및 PPD를 채용하고 있으며, PPD < 10%, -0.5 < PMV < +0.5를 추천치로 하고 있다.

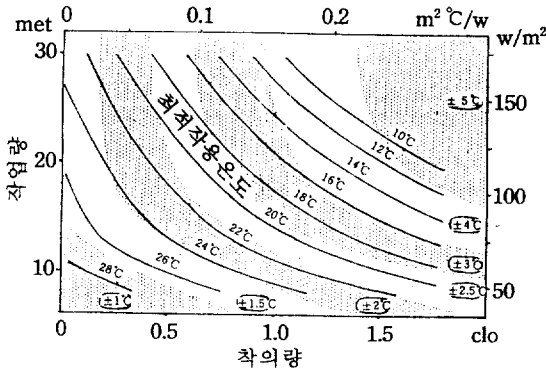


그림 6 작업량과 착의량의 함수로서의 최적 작용온도(그림 중의 ± 수치는 -0.5 ③PMV③+0.5로부터 구한 최적온도의 쾌적범위를 나타낸다.)

그림 6을 PMV=0으로부터 구한, 착의량, 작업량과 최적 작용온도의 관계를 보인다. 착의량은 계절에 따라 변화하나, 표준적인 착의량으로서는 여름 0.5 clo, 겨울 1.0 clo로 하고 있다. 허용 작용온도로는 동기 난방시에는 20~24℃, 하기 냉방시에는 23~26℃로 하고 있다. 또한, 겨울철 및 여름철 평균풍속은 각각 0.15 m/s 및 0.25 m/s 이하로 하고 있다.

6. 국부 불쾌감

앞절에서 기술한 신표준 유효온도(SET\*)나 평균 예상신고(PMV)는 인체가 추운지 더운지 느끼는 감각을 표현하는 것으로 열적 쾌적감의 필요조건이다. 따라서, 이들 값이 쾌적 범위에 있어도 아래와 같은 이유로 국부 냉온감에 따른 불쾌가 존재한다면 쾌적한 온열환경은 성립되지 않으며, 또한 사람이 열적 중립상태에 있다고 해도 국소적으로 더위 및 추위를 느끼는 부위가 있으면, 쾌적하다고는 말할 수 없다. ASHRAE와 ISO-7730에서는 각각 신표준 유효온도 및 PMV-PPD와 함께 국소 불쾌감의 주된 원인으로 불균일 복사, 드래프트, 상하 온도분포, 바닥(마루)온도의 4가지를 설정하여 이에 대한 지표도 제시하고 있다.

(1) 불균일 복사

복사의 불균일성은 미소면에 대한 복사온도의

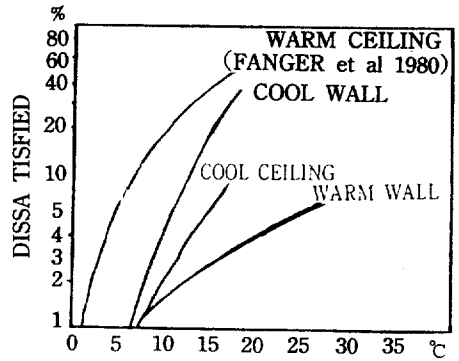


그림 7 불균일 복사와 불쾌율의 관계

벡터차로 나타낸다. 예를들어, 전신이 덥지도 춥지도 않은 상태라도 머리가 덥다면 불쾌감을 느낀다. 그림 7에 차가운 벽·창문 면에 대한 불균일 복사와 불쾌율의 관계를 보인다. ASHRAE와 ISO에서는 바닥으로부터 높이 0.6 m에서의 수평 방향 평균 복사 온도차로 10℃ 이내를 추천값으로 하고 있다. 실제로는 창을 2층으로 하든지 단열재를 확실하게 넣든지하면 기준을 지키는 것이 그다지 어렵지 않다.

같은 그림에 따뜻한 천정에 대한 불균일 복사와 불쾌율의 관계를 보인다. ASHRAE와 ISO에서는 바닥으로부터 높이 0.6 m에서의 수직 방향 평균 복사 온도차로 5℃ 이내를 추천하고 있다. 인체는 온복사에 관해서, 수평방향의 복사 불균일보다 상하 방향의 불균일에 대해 민감함을 그림 7로부터 알 수 있다. 냉복사 천정의 불균일 복사의 한계는 14℃ 이나, 실제로는 결로가 먼저 생겨 불균일 복사에 따른 불쾌감은 그다지 문제가 되지 않는다. 또한, 불균일 복사에 의한 불쾌감은 설계시에 단열강화 등에 의해 방지하도록 고려해야만 한다.

(2) 드래프트

하기에는 기류를 증가시킴으로서 시원한 감을 느낄 수 있으나, 공조공간 및 난방공간에서는 기류를 너무 증가시키면 드래프트라고하는 바람적하지 않은 국부 기류가 발생한다. 이 드래프트는 현재의 난방, 공조에 있어서 가장 해결하기 어려운 문제로 되어 있으며, 종래부터 실내 드래프트의 평가를 위해서 ADPI(Air Distribu-

tion Performance Index : 안정상태의 실내온도 기류분포)가 자주 사용되고 있다. 또한, 인간이 더운 상태에 있는 경우에는 그다지 드래프트를 느끼지 않는다. ASHRAE의 현행 기준에서는, 기온 26℃ 이상일 때 28℃까지의 범위에서 기류를 0.8 m/s 까지 증가시켜도 좋다고 하고 있다.

최근에는 공기온도, 평균 풍속만이 아니고, 기류의 변동량도 드래프트의 불쾌감에 영향을 주고 있는 것이 지적되고 있다. 그림 8은 이들 변수들에 따른 드래프트의 허용 한계를 보여주는 것으로, 이것은 불만족자율이 15%일때이다. 현재, ISO, NKB(Nordic Committee on Building regulation), ASHRAE 55-81, DIN1946에서의 개정작업에 이 그림이 채용될 것 같다.

(3) 실내 상하 온도분포

실내 상하 온도분포의 한계에 관해서 ISO에서는 앉은 상태에서의 발목(바닥위 10 cm)과 머리 (바닥위 110 cm)와의 온도차가 3℃ 이내가 될 것을 추천하고 있는데 반해, ASHRAE에서는

서있는 상태에서의 발목(바닥위 10 cm)과 머리 (바닥위 170 cm)와의 온도차가 3℃ 이내가 될 것을 추천하고 있다.

상하 온도분포를 작게하는 가장 효과적인 방법은 단열을 강화하는 것이다. 복유림과 같이 강력히 초단열을 행하면, 어떠한 난방 방식을 이용하더라도 실내에 투입되는 에너지량이 적게 되므로 그다지 온도분포가 생기지 않는다고 보고되어 있다. 그러나, 주택인 경우를 고려할 때, 우리나라 정도의 단열에서는 난방방식에 따라 실내 상하 온도분포가 상당히 다르다. 따라서, 현재 시판되고 있는 어떤 종류의 온풍난방기에서는 온도분포를 일정하게 하기 위해 방의 공기를 휘젓게 하는 것이 있는데, 이 경우 온도분포는 균일에 가까울지 모르나, 틀림없이 드래프트의 위험성이 발생할 것이다.

(4) 바닥온도

바닥표면온도 30℃에서는 약 100 W/m<sup>2</sup>의 방열량이 있다. ASHRAE와 ISO에서는 바닥온도에 관해서 각각 18℃ 및 19℃ 이상으로 추천하고 있으며, ISO에서는 별도로 바닥난방시스템의 설계시에는 피크부하를 위해 29℃로 하여도 좋다고 추천하고 있다. 또한, 바닥밀이 보일러실 등으로 계속적으로 따뜻할 때에는 26℃ 이하로 한다. 그러나, 이것들은 구두를 신고 생활하는 서양방식의 경우로, 우리나라, 일본, 중국의 일부에서와 같이 바닥에 직접 앉아 생활하는 주거양식에서는 바닥온도의 쾌적성에 차이가 있을 것으로 여겨지나, 이에 관한 데이터가 별로 없다.

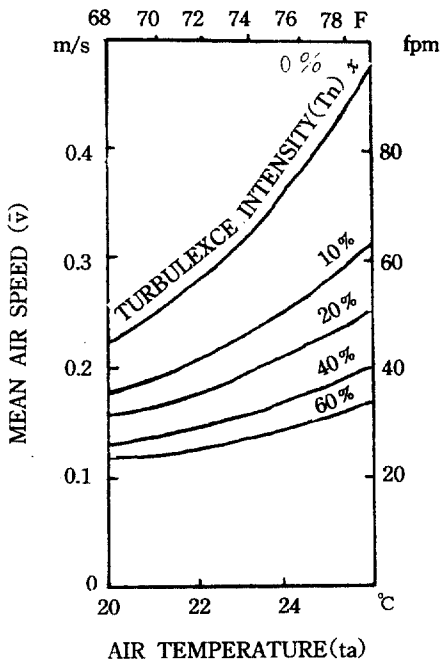


그림 8 드래프트의 허용한계 (15% 불만족자율)

7. 공조된 실내의 환경 평가

서론에서 언급하였듯이 도시에서 생활하고 있는 현대인들은 생활시간의 대부분을 밀폐 또는 반밀폐된 인공적인 공간속에서 지내고 있다. 따라서, 빌딩이나 주택등 인간이 거주하는 실내 공간에 냉난방, 공조설비를 채용해서 실내환경을 보다 건강적이고 쾌적한 것으로 하려는 노력을 경주하여 왔으며, 보다 쾌적한 실내 환경을 에너지를 절약시키면서 실현하기 위해서는 적절한 방법에 의해 실내 환경 평가를 행하여 그 결과를 기기설계에 반영할 필요가 있다. 4절에

기술한 온열환경 지표는 상하온도차 및 온도, 기류의 변동이 없는 균일환경 조건하에서의 평가지표이다. 그러나, 실제 실내에 있어서의 온열환경은 상하온도차가 존재하고 공조기의 취출 및 흡입구 근방이나 창문 등 실내의 각 위치에 있어서의 온도, 풍속 분포가 다르기 때문에 거주자가 느끼는 더위 및 추위도 달라진다. 따라서, 실내의 쾌적성을 높이기 위한 기기의 개발에 있어서는 6절에서 언급한 국부 불쾌감까지 설계에 적절히 반영시켜야 하는데, 이 실내 환경의 평가 방법은 아직 표준화(규격화)되어 있지 않고, 쾌적한 환경이 전체 실내를 차지하는 비율을 이용해서 평가하는 등 실용상의 문제로부터, 가전 및 공조 기기 업체를 중심으로 아래와 같은 분포를 고려한 실내 온열환경 평가 지표가 제안되어 실제로 사용되고 있다.

(1) ADPI(Air Distribution Performance Index : 안정상태의 실내온도 기류분포)

ADPI는 ASHRAE Standard로 되어 있는 지표로, 아래와 같은 유효 드래프트 온도(Effective Draft Temperature)를 온열환경 평가에 이용하고 있다.

$$\theta = (t_x - t_c) - 8x(v_x - 0.15)$$

여기서,  $\theta$  : 유효 드래프트 온도 (°C)

$t_x$  : 거주 영역의 한 측정점에서의 온도 (°C)

$t_c$  : 거주 영역의 설정 온도 (°C)

$v_x$  : 거주 영역의 한 측정점에서의 풍속 (m/s)

즉, ADPI는 거주 영역내 각 측정점에서의 유효 드래프트 온도를 산출하여, 이 온도가  $-1.7^{\circ}\text{C}$  보다 크고  $1.1^{\circ}\text{C}$  보다 작은 경우의 측정점 수의 합을 거주 영역내의 총 측정점 수로 나눈 퍼센트 비율로 정의되며, 모든 측정점의 풍속은  $0.35\text{ m/s}$  이하로 제한되어 있다.

(2) NTDA(Number of Temperature Distribution Area : 범위내 온열감도 수)

NTDA는 기온을 풍속의 영향으로 보정한 보정온도(측정점의 온도에서 풍속에 따른 온도 보정치를 뺀 것으로 정의됨)의 분포로 실내환경을 평가하는 것이다. 즉, NTDA는 거주영역내

각 측정점에서의 보정 온도를 산출하여, 보정 온도의 평균치를 뺀 온도가  $-1.0^{\circ}\text{C}$  보다 크고  $1.0^{\circ}\text{C}$  보다 작은 경우의 측정점 수의 합을 거주 영역내의 총 측정점 수로 나눈 퍼센트 비율로 정의된다.

(3) RCIS(Residential Comfort Index using SET\* : SET\*를 불균일장에 확장시킨 지표)

RCIS는 온열환경 평가 지표로서 기온과 풍속은 물론 복사 및 습도의 인자도 고려한 신표준 유효온도(SET\*)의 분포로 실내환경을 평가한다. 즉, RCIS는 거주 영역내 각 측정점에서의 SET\* 온도를 전체 측정점에서의 SET\* 평균치로 뺀 온도가  $-1.0^{\circ}\text{C}$  보다 크고  $1.0^{\circ}\text{C}$  보다 작은 경우의 측정점 수의 합을 거주 영역내의 총 측정점 수로 나눈 퍼센트 비율로 정의된다. 다만, 각 측정점에서의 풍속은 난방시 및 냉방시에 각각  $0.4(\text{m/s})$  및  $0.7(\text{m/s})$ 보다 작아야 한다.

(4) CDI(Comfortable Distribution Index : 쾌적분포지표)

CDI는 온열감각 시험결과에 기초해서, 그림 9와 같은 인체 모델을 상정해 실내 환경을 평가한다. 즉, CDI는 각 실내의 측정점에서 인체의 각 부위에 상당하는 부분의 기온과 풍속이 그림에 나타난 범위내에 있는 경우를 쾌적이라고 판단하여, 쾌적 판정수를 전체 판정수로 나눈 퍼센트 비율로 정의된다.

이상 기술한 4가지 쾌적분포 지표는 공조가 안정되어 있을 때에는 유효하나, 실제 공조의 경우 운전개시시에 설정온도에 도달할 때까지의 불쾌감, 써모스태트의 ON-OFF에 따른 실온 변동의 불쾌감이 있으며, 이러한 비안정시의 평가도 행할 필요가 있다. 이들 평가 지표로서는 아래의 2가지 지표가 제안되어 있다.

(5) AFPI(Air Fluctuation Performance Index : 주기변동 상태의 실내온도 변동분포 지표)

AFPI는 써모스태트의 ON-OFF에 따른 실온 변동을 평가하는 지표로, 변동하는 측정점에서의 기온의 최고치와 최저치로부터 변동폭을 산출하여, 거주영역 전체에 대한 변동폭의 누적도수 분포에 의해 평가한다.

(6) WUPI(Warm Up Performance Index : 시동상태 지표)

부 위	온도 풍속 측정 점 과 의 대 응	온도 조건	풍속 조건
전 신	온도풍속측정점 (mm) — 전체점 바닥으로부터 높이	평균값 19℃ 이상	—
두 부	1,600 1,400 1,200	평균값 23±2℃ 이내	최대값 0.4m/s 이하
상 반 신	1,000 800	평균값 18℃ 이상	—
하 반 신	600 400	평균값 18℃ 이상	—
족 부	200 50 바닥	최저값 15℃ 이상	—

그림 9 CDI의 쾌적 판정 조건

우리나라에서는 간헐 냉난방 방식이 주류이기 때문에, 시동후 신속하게 냉난방 효과가 얻어지는 것이 바람직하다. WUPI는 기기주변의 측정영역을 설정하여, 여기에서의 냉난방효과가 얼마나 신속하게 달성되어지는가를 평가하는데 이용되는 지표이다. WUPI는 운전개시로부터 평가시간 t에 달한 시점의 각 측정점의 기온을 측정하여 외기온도와의 차로부터 기온 상승도를 산출한 후, 이 기온 상승도가 기준 기온상승도(외기온도가 0℃일 경우 18℃)보다 큰 측정점수의 합을 총 측정점수로 나눈 퍼센트 비율로 정의한다.

### 8. 맺음말

실내 온열 환경에 국한하여 인간의 열적 쾌적성 및 쾌적한 온열환경에 영향을 미치는 인자와 평가지표에 관해 기술한 후, 외국의 온열환경기준과 지표에 대한 움직임에 관해서 살펴 보았다. 또한, 가전, 공조 업체들에 의해 실용적으로 제안되어 사용되고 있는 쾌적성 평가지표에 대해서도 언급하였다.

그러나, 이들 지표는 주로 건강한 청년남녀의 서양인을 피험자로하여 얻어진 데이터에 상당히 기초하고 있으므로, 민족, 생활 문화, 기후 등이 다른 우리나라의 실내 환경 평가에 그대로 적용된다고 볼 수는 없으며, 또한 이들 지표에서 고려되지 않은 인자도 많기 때문에 앞으로도 많은 연구과제가 남아 있다. 예를들어, 장애자의 온열환경에의 적응장애에 관한 데이터는 극히 적으며, 향후 점점 증가하는 고령자를 포함해 약자의 쾌적환경에 적응 능력의 차이에 대한 연구 및 각 개인의 특성에 부합되는 평가지표의 개발이 필요하다. 또한, 감각적으로 쾌적한 상태가 반드시 건강한 상태라고는 단정지을수 없으며, 인간의 심리적인 습관(익숙해짐)과 생리적인 습관에는 차이가 생길 가능성도 있어, 심리면과 생리면의 양면으로부터의 평가가 행하여져야 할 것이다. 더우기, 최적온도(열적 적응 특성)가 서로 다른 사람이 동거하는 경우에는 개인 공조가 필요하게 되고, 이 기술의 실용화가 중요하게 된다.

최근, 국내에서도 인텔리전트 빌딩의 출현과 함께 일부의 신설 빌딩에서는 신표준 유효 온도

및 PMV-PPD의 새로운 환경 지표를 이용해서 설계하려 하고 있으며, 냉온복사공조, 바닥 취출 공조 등 새로운 공조기술을 채용한 것이 출현하고 있다. 또한, 산림욕 공조, 향기 칩가, 개인 공조 등에 대한 관심도 높아져 이에 대한 연구도 조금씩 진행되고 있다. 이와 함께, 금후 건물의 밀폐화의 촉진, OA기기의 다용화 등 새로운 집무 환경의 발생과 함께, 사무실 근로자는 심신과 함께 여유있는 환경을 추구하게 되는 것은 필연적인 사실이며, 국내에서도 학계 및 협회를 중심으로 조속히 이 분야에 관심을 기울여야 할 것으로 생각된다.

끝으로, 본 고에서는 지면 관계상 실내 온열 환경에 대해서만 기술하였으나, 실내 환경 평가 지표에는 실내 공기질(LA.Q.)환경도 매우 중요하므로, 이에 대한 평가 지표에 관해서도 기회가 있으면 소개할 예정으로 있다.

### 참 고 문 헌

1. ASHRAE Handbook of Fundamentals. Chapter 8 Physiological Principles, Comfort and Health, ASHRAE (1985).
2. ISO-7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for the Thermal Comfort, ISO (1985).
3. ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-1981, Thermal Environmental Condition for Human Occupancy, ASHRAE (1981).
4. ASHRAE, ANSI/ASHRAE 55-1990R, Public Review Draft, Thermal Environmental Condition for Human Occupancy, ASHRAE (1989).
5. 상급편 "냉동 공조 기술", 한국냉동공조 기술협회 (1991).
6. 명현국, 실내 환경기준의 국내현황 및 국제적 동향, 공기청정기술, 5권, 1호, pp.14-40 (1992).
7. 다나베 신이치, 쾌적성의 평가수법, 일본 냉동학회지, 67권, 773호, pp.28-35 (1992).
8. 인간생활 과학기술 조사연구 보고서, Human-Friendly 편, (재) 일본 산업기술 진흥협회 및 인간생활 과학기술 연구추진 협의회 (1990).

1. ASHRAE Handbook of Fundamentals. Chapter 8 Physiological Principles, Comfort and Hea-