

Thermal Comfort

3.1 Biological Machine

인간의 존재는 음식물을 연소시켜 부산물로 열을 발생시키는 ‘생물학적 기계’이다. 이 신진 대사의 과정은 개솔린을 연료로 하여 부산물로 열을 발생시키는 자동차와 비슷하다. 이 두 타입의 기계 모두 과열을 막기 위해서는 불필요한 열을 발산해야만 한다. Chapter2에서는 모든 열 흐름 구조를 최적 온도 유지를 위해 사용하였다.

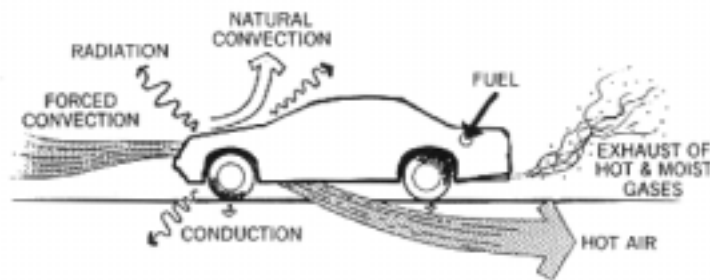


FIGURE 3.1a
Methods of dissipating waste heat from an automobile.

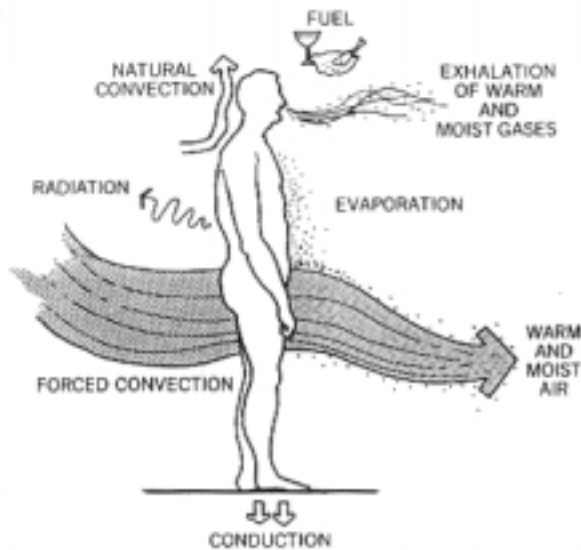


FIGURE 3.1b
Methods of dissipating waste heat from a biological machine.

모든 온혈동물, 특히 사람은 매우 일정한 온도를 필요로 한다. 우리 몸은 내부 온도를 98.6°F(37°C)로 유지하려고 하며 작은 차이도 심각한 스트레스를 유발한다. 단10°(섭씨 단

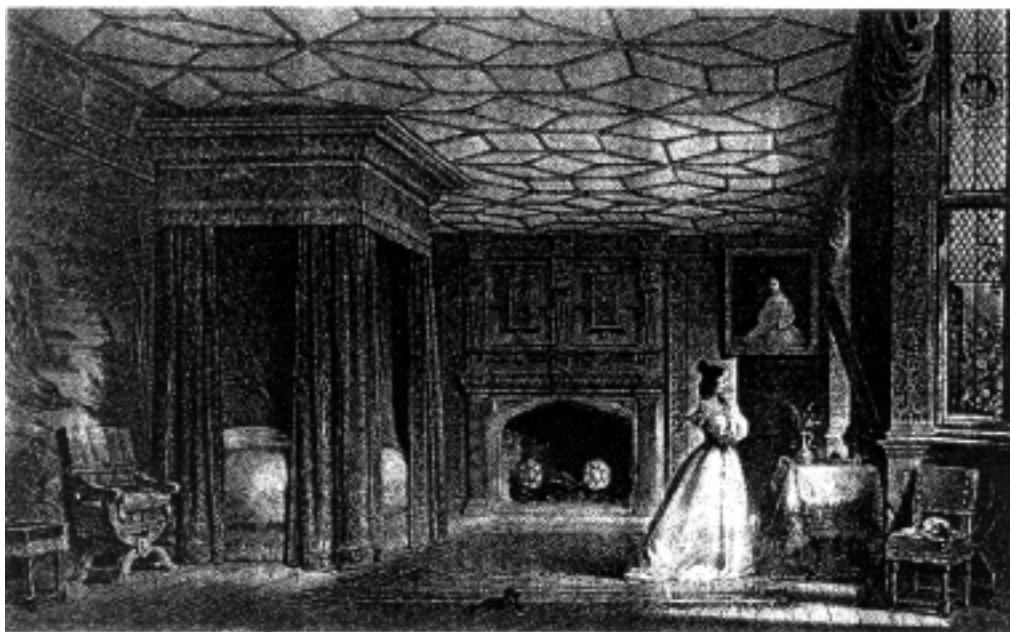
위일 때 5.56°)가 높거나 20°(섭씨 단위일 때 11.12°)가 낮더라도 사망할 수 있다. 우리의 몸은 발생하는 만큼의 열을 손실하여 98.6°F가 되도록 열평형을 보장하게 하는 몇 개의 열 흐름 조절 메커니즘을 가지고 있다.

얼마간의 열은 폐에서 따뜻한 수분을 증발시킴으로써 발산되지만 대부분의 열 흐름은 피부를 통해 이루어진다. 피부는 혈액 순환의 양을 통제함으로써 체내의 열 흐름을 조절한다. 여름에 열 손실 양을 늘리기 위해 혈액 양을 조절함으로써 피부는 달아오르게 되고 반면 겨울이 되면 표면에 적은 양만의 혈액이 순환하게 함으로써 피부는 절연체가 된다. 피부의 온도는 따라서 여름보다 겨울에 현저히 낮게 된다. 피부에 있는 땀샘 역시 증발작용으로 열 손실을 조절한다. 털 또한 중요한 열 손실 율을 조절하는 장치이다. 인간은 더 이상 모피를 가지고 있진 않지만 여전히 별도의 단열을 위해 털을 곤두세울 수 있는 근육을 가지고 있다. 소름이 돋을 때 그 오래된 메커니즘의 흔적을 찾을 수 있다.

3.2 Thermal Barriers

인간이 에텐동산에서 살 수 있다면 아마 우리의 몸의 메커니즘은 열 흐름의 통제가 쉬울 것이다. 그러나 실제로 신체는 계속되는 온도의 스트레스에 시달리고 있다. 피부 같은 얇은 보호막은 크게 변동하는 환경 속에서 일정한 온도를 유지하기 어려울 것이다. 따라서 안정된 온도를 이루기 위해서는 추가적인 보호막을 필요로 한다. 여분의 스킨 역할을 하는 ‘옷’의 경우에도 쾌적한 온도를 유지하기에 항상 충분한 것은 아니다. 건물은 옷을 입은 인간에게 좀더 온화한 환경을 제공한다. 외풍이 심한 이전시대의 건물들은 여전히 추가적으로 보호막을 필요로 하였다. 캐노피가 달린 침대가 그 해결책 중의 하나였다. 그러나 현대의 건물에서는 우리는 거의 에텐동산에 근접한 이상적인 온도상황의 재현에 근접해있다.

FIGURE 3.2a
The concept of multiple barriers is very appropriate for thermal comfort.
(From *Manions of England in Olden*,
film by Joseph Nash.)



진보하는 보호막의 개념은 필연적이고 또 계속될 전망이다. 예를 하나 들면, 과거에 알래스카의 수도를 ‘공기막 구조’로 에워싸자는 제안도 있었다. 그 때문에 건물 내부에서 온도에 의한 스트레스는 매우 감소할 듯 보였다. 막 구조는 경제적인 가격으로 꽤 넓은 영역을 둘러쌀 수 있기 때문에 매우 이상적이다. 그러나 캐나다 몬트리올의 Expo67에서 U.S. Pavillion은 같은 목적으로 다른 구조 시스템을 사용하였다. 그림 3.2b는 온도 면에서 섬세한 구조 안에서 국지기후를 만들어 냈던 지오테식 돔을 보여준다. 이 국지기후를 통제하기 위하여 흥미로운 통풍구와 그림자가 사용되었다.



FIGURE 3.2b
The geodesic dome of the U.S. Pavilion, Expo 67, Montreal protected the interior structures from sun, wind, and rain.

흔하지는 않지만 그래도 일반적으로 쓰이는 것은 1877년 이탈리아 밀라노에 있는 Galleria Vittorio Emanuele와 같은 프로젝트에 기원을 둔 둘러싸인 쇼펍몰의 보호된 거리이다. 1851년 런던의 대 박람회에서 지어진 Crystal Palace는 앞서 말한 갤러리와 엑스포에서의 파빌리온의 원형이다. Hyde Park 의 꽤 넓은 구역 770,000ft²에 그것은 확실히 새로운 국지기후를 만들어 내었다.



FIGURE 3.2c
The Galleria Vittorio Emanuele, Milan, Italy, 1877, Protected both the street and buildings.

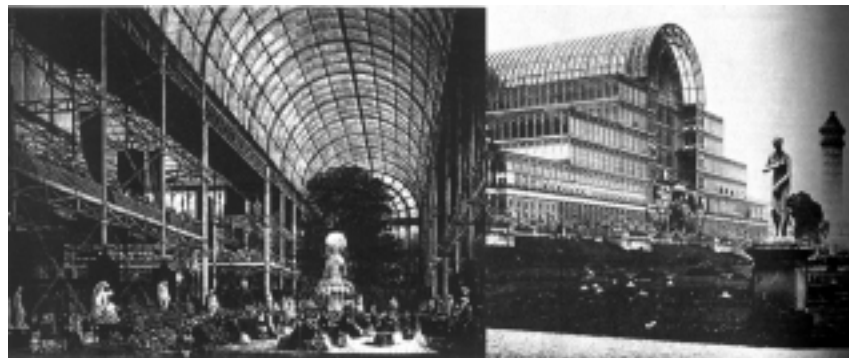






FIGURE 3.2d
The Crystal Palace for the great Exhibition of 1851 created a begin microclimate in a London park.

3.3 Metabolic Rate

온도의 평형을 유지하기 위하여 신체는 신진대사에 의해 생산된 양과 같은 양의 열을 발산해야만 한다. 이러한 열 생산은 부분적으로는 외부 기온과도 상관관계가 있지만 대부분은 신체활동과 상관이 있다. 매우 활동적인 사람은 누워있는 사람보다 6배 이상의 열을 생산한다. 표3.A는 열 생산과 다양한 활동 간의 상관관계를 보여준다. 좀더 명확한 이해를 돕기 위해 생산되는 열과 같은 가치를 100W의 램프로 환산하여 보여주고 있다.

TABLE 3.A
Body Heat Production as a Function of Activity

Activity	Heat Produced per Hour (btu/hour)	Heat Equivalent to (W)
 Sleeping	300	100
 Light work	600	200
 Walking	900	300
 Jogging	2400	800

3.4 Thermal Conditions of the Environment

쾌적한 열 환경을 만들기 위해서는 인체의 열 손실 메커니즘뿐만 아니라 열손실을 유발할 수 있는 네 가지 환경적 조건을 알아야 한다. 그 네 가지는 다음과 같다.

- ① air temperature(°F)(기온)
- ② relative humidity(RH%)(상대습도)
- ③ air velocity(feet/minute)(기류의 속도)
- ④ mean radiant temperature(MRT)(평균복사온도)

위의 모든 상태는 인체에 동시에 영향을 미치며 그 상호작용에 관하여 알아야 한다. 이러한 조건들이 인간이 살아가는데 열 손실 양에 어떻게 영향을 미치는지에 관하여 고찰해보자.

① 기온 : 기온은 대류에 의하여 공기 중에 열을 잃게 하는 양을 결정한다. 공기의 온도가 98.6°F(37°C)이상이 되면 열은 역으로 흐르게 되며 몸은 공기 중으로부터 열을 얻게 될 것이다. 쾌적한 온도 영역은 겨울의 68°F(20°C)에서 여름에는 78°F(25.6°C)로 확장된다.

② 상대 습도 : 수분의 증발은 공기 중에 습기를 유발하는 주된 기능이다. 예를 들어, 건조한 공기는 쉽게 피부로부터 수분을 흡수하고 그 결과로 신속한 증발은 인체를 효과적으로 식혀준다. 반면 상대습도가 100%에 도달하면 공기는 최대한의 수분을 포함하고 있으며 증발을 멈춤으로서 식게 된다. 쾌적한 상대습도는 연중 내내 20%이상이어야 하며 여름에는 60%이하, 겨울에는 80%이하이다.

③ 기류의 속도 : 공기의 흐름은 대류와 증발에 의한 열 손실의 양에 영향을 끼친다. 공기 흐름의 속도는 열손실에 대하여 상당히 뚜렷한 효과를 가지고 있는 것이다. 여름에는 그것이 장점이 될 수 있지만 겨울에는 불리하게 된다. 쾌적한 속도의 범위는 약20fpm~약60fpm

(feet/minute)이다. 약 60fpm~약200fpm에서의 공기의 움직임은 인지할 수 있는 정도이나 그 움직임의 성향에 따라 수용할 만 하다. 200fpm(2mph)이상의 속도는 약간 불쾌할 수 있고 혼란스러울 수 있다(예컨대, 종이가 주변으로 흩어진다든지). 기류의 속도가 쾌적함에 어떻게 영향을 끼치는지에 대한 더 상세한 해설은 표 8.A를 보면 알 수 있다.

TABLE 8.A
Air Velocities and Thermal Comfort

Air Velocity		Equivalent Temperature Reduction (°F) ^a	Effect on Comfort
fpm	Approx. mph		
10	0.1	0	Stagnant air slightly uncomfortable
40	0.5	2	Barely noticeable but comfortable
80	1	3.5	Noticeable and comfortable
160	2	5	Very noticeable but acceptable in certain high activity areas if air is warm
200	2.3	6	Upper limit for air conditioned spaces Good air velocity for natural ventilation in hot and dry climates
400	4.5	7	Good air velocity for natural ventilation in hot and humid climates
900	10	9	Considered a "gentle breeze" when felt outdoors

* The values in this column are number of degrees Fahrenheit that the temperature would have to drop to create the same cooling effect as the given air velocity.

추운 기온에는 일기예보에서 풍속냉각지수가 종종 언급된다. 왜냐하면 단지 기온만으로 표현할 때 보다는 그 지수들이 초위의 혹독함을 더 잘 표현해주고 있기 때문이다. 풍속냉각지수는 실제 기온과 풍속이 결합한 효과와 같은, 사람이 살아가는데 영향을 끼치는 정지된 공기의 온도와 같다.

미풍에 의한 공기의 움직임이 일반적으로 여름에 나타남에도 불구하고 그리 뜨겁거나 건조하지 않다. 공기의 온도가 98.6°F이상이면 피부는 증발에 의해 식게 되는 반면 공기는 피부를 데우게 된다. 더 높은 온도에서는 총 냉각효과가 떨어지게 된다.

④ **평균 복사 온도** : 평균 복사 온도(MRT)가 공기의 온도와 현저히 차이가 날 때에는 그 영향을 고려해야 한다. 예를 들어, 한 사람이 겨울에 남향의 창문 앞에 앉아 있게 되면 온도가 쾌적한 실내 온도인 75°F(23.9°C)임에도 불구하고 덥게 느낄 것이다. 이는 태양광선이 평균복사온도(MRT)를 쾌적하기에는 너무 높은 온도로 상승시켰기 때문이다. 그러나 해가 지자마자 방안의 온도가 여전히 75°F이더라도 실내의 사람은 춥게 느낄 것이다. 이 경우에는 차가워진 유리창이 평균복사온도(MRT)를 많이 떨어뜨린다. 평균적인 피부와 옷의 온도는 약 85°F(29.4°C)이고 그것은 환경에 의한 복사열 교환을 결정하는 기온임을 아는 것이 중요하다.

3.5 The Psychrometric Chart

몇몇 열 환경 조건들의 상호작용을 이해하기 위한 효과적인 방법은 습공기 선도를 이용하는 것이다(그림 3.5). 이 도표는 온도와 습도간의 다양한 조합의 가능성을 보여준다. 또한, 이 영역에서 가장 유용하고 널리 쓰이는 그래프이다.

수평축은 공기의 온도를 나타내고 세로축은 수분 함유량을 나타낸다. 그리고 곡선은 상대 습도를 표현한다. 이 도표는 확고한 한계를 가진 두개의 경계를 가지고 있다. 가장 아래쪽 선은 상대습도가 0%인 공기를 나타내고 있으며 가장 위쪽의 곡선은 상대습도가 100%임을 나타내고 있다. 이 상부의 경계는 공기가 따뜻해짐에 따라 더 많은 양의 수분을 함유할 수 있기 때문에 커브가 지게 된다. 이러한 이유로 상대습도의 개념이 중요하다. 공기 속에 얼마만큼의 수분이 함유되어 있는지는 알 수 있더라도 온도를 알지 못하면 얼마만큼의 수증기를 더 포함할 수 있는지 예측할 수 없다. 또한 공기의 온도나 습도를 바꾼다면 상대습도는 바뀌게 될 것이다.

3.6 Thermal Comfort

기온과 상대습도, 기류의 속도, 평균복사온도(MRT)의 일정한 조합은 대부분의 사람들이 쾌적한 온도를 느낄 수 있도록 할 것이다. 이 조합들이 습공기선도상에 나타나면 이들은 comfort zone(쾌적 영역)을 나타내게 된다(그림 3.6). 습공기 선도는 온도와 습도와만 관계가 있기 때문에 다른 두 가지 요소들(기류의 속도와 평균복사온도)은 고정되어 있어야 한다. 평균복사온도(MRT)는 공기의 온도와 비슷하다고 가정하며 공기의 움직임은 거의 없다고 가정한다.

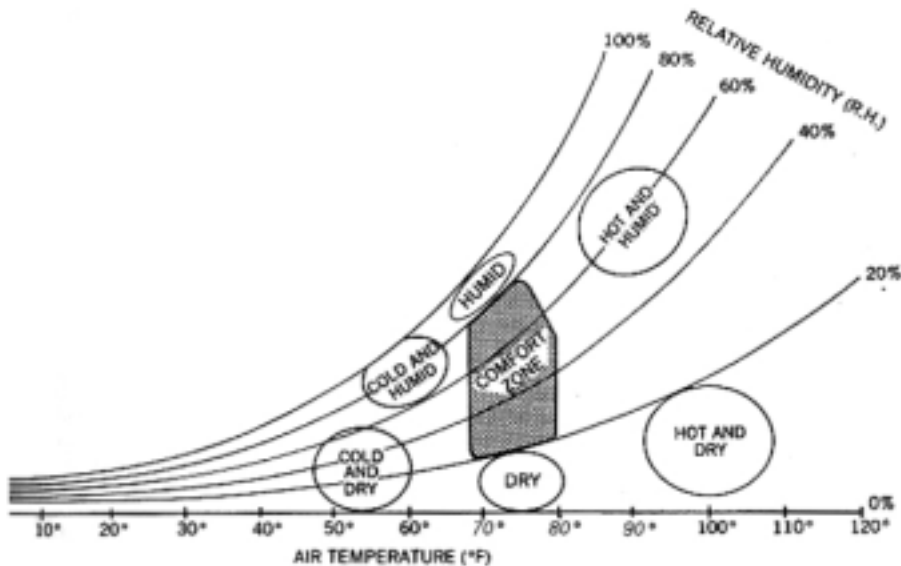


FIGURE 3.6
The comfort zone and various types of discomfort outside that zone are shown on the psychrometric chart.

그러나 그 두 가지 지표에서 알 수 있는 쾌적 영역이 반드시 절대적인 것만은 아니라는 것을 알아야 한다. 열 쾌적은 문화와 나이, 건강, 체중, 착의량과 또 가장 영향을 많이 끼치는 신체 활동에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문이다. ASHREA에서는 열 환경의 쾌적함을

‘열 환경에 대한 만족감이 나타나는 심리적인 상태’라고 정의 했다. 게다가 쾌적 영역은 우리 사회 대부분의 사람들이 쾌적하다고 정의내린 상태이기 때문에 건물의 온도 설계시의 목표점이 되고 있다.

그러나 가능하다면 추가적인 제어가 그 건물의 종사자들에 의해 가능하도록 하여 그들이 자신에게 적절한 상태를 만들 수 있도록 해야 한다. 이동 가능한 선풍기나 히터, 많은 수의 자동온도조절장치(써머스탯), 작동 가능한 창문 등이 사람들이 자신의 환경을 조절하기 위해 고안해낸 장치의 예이다. 기술적 장비 시스템들은 이제는 각각의 작업장에 개인적인 온도 조절을 할 수 있게 함으로서 영리적으로 쓰일 수 있게 되었다.

그림 3.6에 나타난 습공기 선도는 또한 쾌적 영역 밖 영역에서의 불쾌한 경험의 종류를 나타내고 있다. 이 불쾌감을 주는 영역들은 각각 다른 기후에 부합한다. 예를 들어 남서부는 뜨겁고 건조한 여름 기후를 가지는데 이러한 기후는 습공기선도상의 오른쪽 하단에 나타난다(그림3.6). 불행하게도, 연중 온도가 쾌적 영역에서 큰 비중을 차지하는 기후는 드물다.

다음에 나오는 논의에서는 몇몇 변수들이 바뀔 때 쾌적 영역이 어떻게 이동하게 되는지를 보여준다.

3.7 Shifting of the Comfort Zone

위에서 언급한 가정들을 임의로 변경하면 쾌적 영역은 습공기선도 상에서 이동할 것이다. 그림 3.7a에서는 쾌적 영역이 평균복사온도(MRT)의 증가에 따라 이동하고 있다. 복사에 의해 증가한 열을 상쇄시키기 위해서는 보다 차가운 공기를 필요로 한다. 또한 낮은 평균 복사온도(MRT)는 공기의 온도를 증가시킴으로서만 상쇄된다. 예를 들어 매우 큰 유리창이 있는 방은 유리창이 거의 없는 방에 비해서 겨울에는 상대적으로 따뜻하게 유지되어야하고 여름에는 더 시원하게 유지되어야만 한다. 큰 유리창이 있는 영역은 여름에 높은 평균복사온도(MRT)를, 겨울에는 낮은 평균복사온도(MRT)를 만든다. MRT가 매 3° 증감할 때 마다 공기의 온도는 반대방향으로 2°씩 조절되어야만 한다. 창문의 그림자나 단열재 등은 MRT에 큰 영향을 끼칠 수 있다.

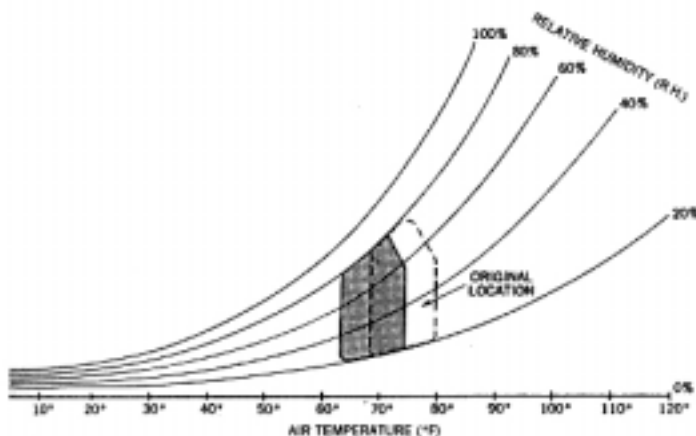


FIGURE 3.7a
If there is a high mean radiant temperature (MRT), the comfort zone shifts down to the left.

그림 3.7b에서는 기류 속도의 증가에 따라 쾌적 영역이 이동하고 있다. 공기 움직임에 따른 냉각효과는 온도의 증가에 의해 상쇄된다. 우리는 이러한 상관관계를 대부분 역으로 이

용하고 있다. 공기의 온도가 너무 높을 때는 그 높은 온도를 수용하면서 쾌적 영역을 확장할 수 있기 위하여 공기의 움직임을 이용한다.(다시 말해, 창문을 열거나 선풍기를 돌리는 등.) 8장에서 자연냉각을 위하여 공기의 흐름이 어떻게 사용 될 수 있는지에 대하여 설명할 것이다.

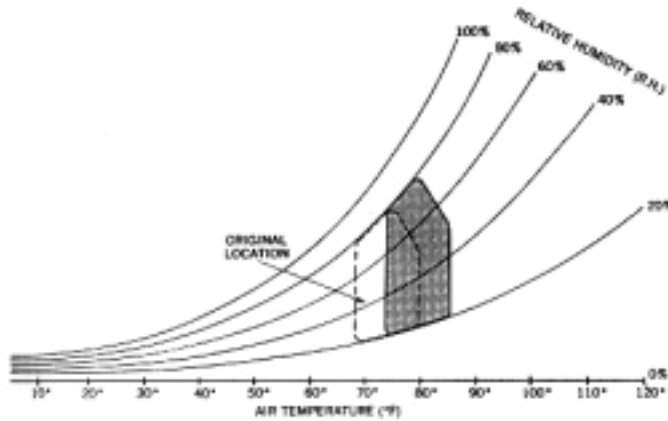


FIGURE 3.7b
If there is a high air velocity, the comfort zone shifts up to the right.

마지막으로 신체의 활동에 따른 쾌적 영역의 이동이 있다. 신체가 열 생산의 증가를 방산할 수 있기 위해서는 차가운 공기가 필요하다. 예를 들어, 체육관은 교실에 비해 현저히 낮은 온도로 유지되어야 한다. 결과적으로 쾌적 영역은 신체 활동이 증가함에 따라 왼쪽 하단으로 이동하게 된다(그림3.7c).

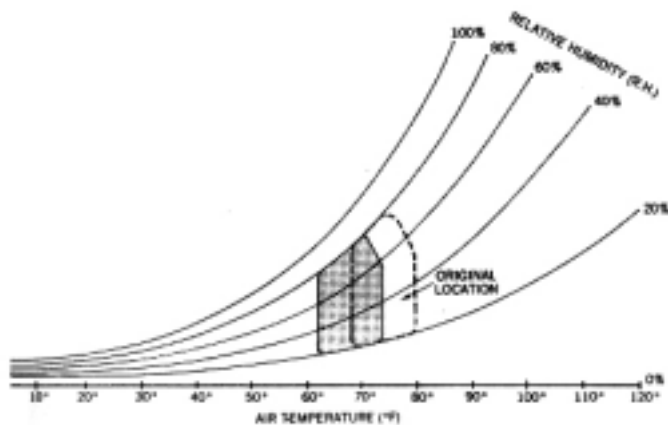


FIGURE 3.7c
If there is increased physical activity, the comfort zone shifts down to the left.

3.8 Clothing and Comfort

불행히도 건축가는 자신의 건물 재실자들의 의복까지 지정할 수는 없다. 종종 유행이나 지위, 복장의 관례 등은 열 쾌적과 부딪힌다. 매우 더운 여름에-현재까지도 일부에서는 여전히-여성은 검정 베일과 몸을 완전히 가릴 수 있는 긴 옷을 입어야만 한다. 우리 복장도 부적합한 경우가 많다. 한여름의 three piece 정장은 너무 덥고 한겨울의 미니스커트도 적절치 못하다. 옷 입는 스타일은 실외에서와 마찬가지로 실내에서도 계절에 적합해야 한다. 실내의 온도는 실외 온도가 바뀌는 정도에 따라 바뀌게 되기 때문이다. 만일 남성이 겨울에만

three piece 양복을 입고 여성이 여름에만 미니스커트를 입는다면 아마 수백만 통의 기름을 절약할 수 있을 것이다. 다음에 나오는 일화가 그 요점의 한 예이다. 1973년 석유판동이 시작될 때 카터 대통령은 공공건물에서 에너지 절감 온도를 유지하도록 명령했다. 그중 하나인 미국 국회의사당 역시 여름에 꽤 따뜻한 온도를 유지하도록 온도조절장치가 세팅되어 있었다. 그러나 의회 구성원들은 매우 더움에도 불구하고 여전히 좀 시원한 온도에서나 적합할 만한 전통적인 의복 코드를 유지하는 것에 투표했다.

옷의 단열 특성은 열 저항의 양을 측정하는 clo라는 단위로 쓰인다. 겨울에는 여러겹 사이에 공기층을 형성할 수 있거나 다공성의 짜임을 지닌 높은 clo값의 옷차림이 적절하다. 바람이 분다면 꽤 기밀성을 지니면서도 수증기가 투과할 수 있는 옷이 요구된다.

물론 여름에는 매우 낮은 clo값이 요구되는데 겨울보다 여름에 수증기 배출이 용이해야 하므로 수증기가 투과할 수 있는 옷감이 사용되어야 한다. 면은 그중에서도 양초심지와 같은 역할을 하여 피부에서 공기 중으로 수분을 이동시킨다. 울은 흡습 면에서는 면보다 못하지만 합성섬유보다는 낫다. 헐렁한 옷은 현열과 잠열 모두의 방출을 촉진시켜준다.

3.9 Strategies

이 책의 뒤에 나오는 많은 부분에서 건물의 쾌적 영역을 만들어 내는 여러 가지 개선안들이 논의 된다. 그림 3.9의 습공기 선도에 나온 해석은 이 방책들을 요약하여 보여주고 있다. 이 습공기 선도와 그림 3.6에 나오는 습공기 선도를 비교해 보면 여러 가지 방안들과 불쾌한 상태간의 상관관계를 명확히 알 수 있을 것이다.

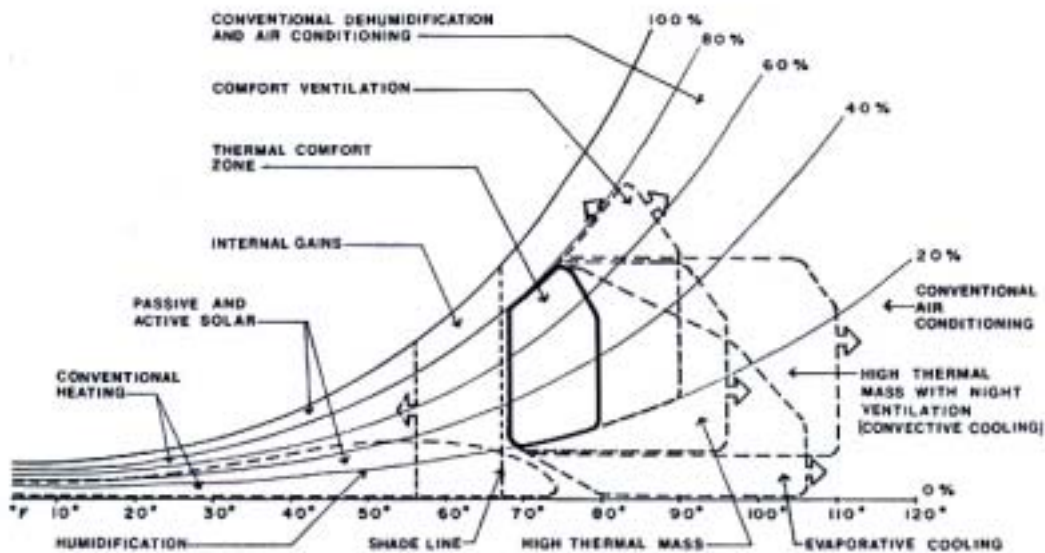


FIGURE 3.9
Summary of design strategies as a function of ambient conditions (climate). (From Psychrometric-Bioclimate Chart, copyright by Saruch Girooi and Murray Milne.)

예를 들어 증발에 의한 냉각(그림 3.9에 오른쪽 하단)이라는 방안은 hot and dry discomfort zone(그림 3.6에서의 오른쪽 하단)과 일치한다. 도표는 잠열이 약간의 서늘한 상

태에서도 충분히 건물을 데울 수 있을 만한 기계, 사람, 빛 등에서 그 원천을 획득하는 것을 보여주고 있다. 또한 기온이 shadeline에 맞게 하기 위해서는 창문으로 들어오는 태양빛을 막아야 한다. 도표에서 볼 수 있는 여러 영역들의 모든 경계와 마찬가지로 이 라인은 정확하게 고정된 것이 아닌 불분명한 경계이다.