

개인공조의 최근 연구동향

The Recent Trend in Personal Comfort Control

개인공조에 대한 소개와 이와 관련된 최근의 연구 동향에 관하여 소개한다.

이 주 연

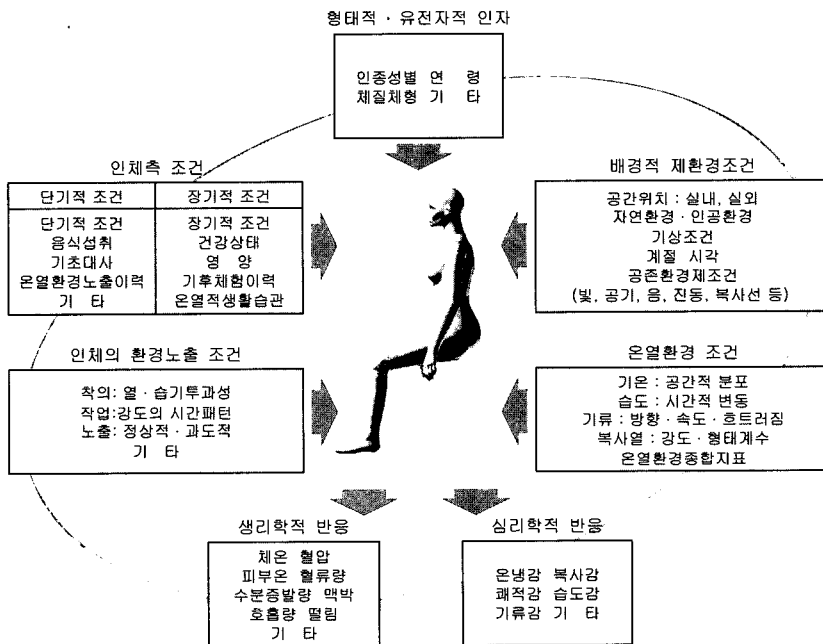
LG전자 Digital Appliance 연구소 (leejuyoun@lge.com)

서론

최근 개인의 특성을 고려한 공조환경에 관한 다양한 연구가 행해지고 있다. 특히, 작업시의 능률향상과 에너지 절약에 중점을 두고 있고, 국부냉각을 통해 열적 쾌적감을 유발 가능한지에 관한 연구가 일

부 기류실험을 통해서 실행되어졌다.

필자는 에어컨의 쾌적한 기류환경에 대해 연구하게 되면서 기류의 경우 국부적으로 인체에 쾌적감을 줄 수 있다는 연구결과를 얻게 되었으며 이를 계기로 “개인공조”에 많은 관심을 갖게 되었다. 한마디로 개인 공조란 무엇인가? 그야말로 개인의 온열적



[그림 1] 인체와 온열환경과의 관계



쾌적감을 극대화하기위한 공조이다. 물론 공간 공조적인 기존 관점에서 볼 때 환경에 대한 쾌적도는 상대적으로 낮게 평가될 수도 있지만, 개인공조는 에너지 절약 효과와 온열적으로 열악한 환경에서 더 빨리 쾌적감을 줄 수 있다는 큰 장점만으로도 최근에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 특집에서는 인체와 온열환경과의 관계를 간단하게 소개하는 것으로부터 시작하여 개인차, 개인공조에 관련된 최근의 연구동향을 서술하고자 한다.

개인공조의 필요성

인체와 온열환경과의 상호 관계는, 인체와 온열 환경과의 열 교환에 의한 열평형을 기본으로 한다. 이 인체와 열 평형에는 여러 가지 요소가 영향을 미치고, 이것이 복잡하게 조합되어 인체에 온열반응을 일으킨다. 즉 이러한 여러 가지 요소 중에는 인종, 성별, 연령, 체질 등 형태적, 유전자적 인자가 있고 이것은 다양한 인체측 배경인자(back ground)가 된다. 여기에 영양, 건강 상태 등(장기적 요소)과 음식물 섭취, 기후 이력 등(단기적 요소)이 복합된 영향을 미치고 그 때의 착의, 작용상태의 필터를 통해 온열환경의 자극이 인체에 어떠한 반응을 일으킬 수 있다고 생각되어 진다(그림 1에 인체와 온열환경과의 관계를 나타낸다).

이렇게 인체와 온열환경과의 관계는 상당히 다양한 인자들이 복합된 결과이므로 비록 ISO-7730

(International Organization for Standardization) 에서 온열쾌적의 여러 가지 기준치를 제정하고 있기는 하지만, 각 나라의 기후, 계절, 개개인의 체질 등의 상황 등에 따라 온열환경 평가는 달라질 수 밖에 없기 때문에, 최근에는 각 나라가 그 나라의 환경에 적합한 쾌적 온열환경 기준치를 ISO에 제안하려고 시도하고 있다. 즉 온열환경을 연구함에 있어서 개개인의 온열감, 그 지역의 기후의 특성을 고려하지 않으면 쾌적이라는 평가를 얻을 수 없기 때문이다. 참고로 표 1에 기존의 연구에서 권장되고 있는 쾌적범위를 나타내었다.

결국 개인의 온열환경 특성을 고려한 쾌적한 온열 환경 범위의 제안은, 개인마다의 선호하는 온도차를 파악하고, 개인차에 영향을 미치는 요인을 파악하여 개인차에 의한 냉난방조건을 도출하는 것이 그 목적이라 할 수 있다.

다시 말해서, 일반적인 공간공조에서는 어느 정도의 사람이 환경에 만족하도록 할 수는 있지만, 100% 모든 재실자에게 만족감을 느끼게 할 수 없는 이유는 바로 개인차 때문이다. 개인차의 요인은 이미 설명한 바 대로 신체적인 요인(유전적 요인, 장기적 인자, 단기적 인자), 배경환경요인, 인체환경요인을 들 수 있는데 이렇게 다른 환경조건을 가지고 있고, 다른 환경에서 성장해 왔기 때문에 각자가 온열환경에 대한 적응력이 다를 수 밖에 없다는 것이고 이것이 바로 개인공조를 추구하는 배경이 된다.

예를 들어, 여름철 쾌적온도 범위인 27℃의 환경을

<표 1> 기존의 연구에서 제안된 쾌적 범위

	조건		기온	상대습도	착의량	기타조건
ASHRAE	여름철		To 23~26℃	50%	0.5 clo	≤ 1.2 met, ≤ 0.15 m/s
	겨울철		To 20~23℃	50%	0.9 clo	≤ 1.2 met, ≤ 0.15 m/s
P.O.Fanger	여름철		To 23~26℃	40%	0.5 clo	≤ 1.2 met, ≤ 0.15 m/s
	겨울철		To 20~24℃	40%	1.0 clo	≤ 1.2 met, ≤ 0.15 m/s
주택열환경 평가 위원회	여름철	거실	일반	60~80%	0.2~0.5 clo	거실, 특별히 큰 복사열, 기류, 온도 분포는 없다.
			노인		0.2~0.5 clo	
	겨울철	침실	일반	30~50%	0.7~1.4 clo	거실, 특별히 큰 복사열, 기류, 온도 분포는 없다.
			노인		0.7~1.4 clo	
成瀬·南野 등	의자에 앉은 자세		25~27℃	40~60	0.4~0.6 clo	작업량 0.7~1.0 met
			23~25℃		0.8~1.0 clo	

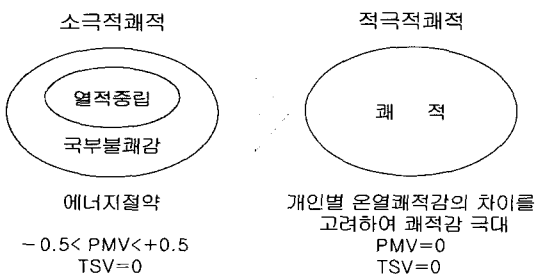
대부분의 재실자는 적당하게 쾌적하다고 생각하지만, 더위를 약간 타는 혹은 추위를 타는 다른 재실자는 그 환경이 덥다고 또는 춥다고 느낄 수 있다. 그래서 항상 에어컨의 경우에도 24℃ (한국인이 가장 많이 설정하는 온도)의 낮은 온도를 선택하는 일이 빈번하게 일어난다. 이것 또한 한국이라는 지역, 배경환경, 장단기 요인의 작용에 의해서 라고 설명할 수 있다. 한국인의 특성은 '아마도 빨리 시원해지는 것을 좋아하는' 이라고 단정 지어서 말하여도 될 것이다. 그렇다면 한국인들을 대상으로 한 공조기를 개발한다면 '쾌속 냉방' 기능 정도는 갖추고 있어야 할 것인데 이런 식의 접근이야말로 바로 (한국인의) 개인차를 고려한 기능구현이 아닐까 싶다.

재실자 개개인의 개인차를 극복하고, 실내 전체공간을 냉난방 해야만 하는 과도한 에너지 소모를 피하기 위하여 Personal cooling 구현은 매우 절실하다. 실제로 공간 공조시 어느 정도 쾌적온도범위를 설정한 뒤, 개인의 온열적 특성을 고려한다고 하여도 $-0.5 < PMV < 0.5$ 에서 PPD는 10% 이다. 공간공조로서는 모든 사람을 만족시키기는 힘들다는 것이다. [우리는 이것을 소극적 공조라 한다.]

재실자 모두를 만족시키는 방법은 무엇일까? 그것은 결국 자기가 좋아하는 환경을 스스로 만드는 것이다. 10%의 불만족도 없이 모든 재실자를 쾌적하게 해 주기 위한 적극적 공조의 수단으로서 바로 Personal cooling이 연구되어지고 있다. 이렇게 함으로써 개별 쾌적감을 극대화 시킬 수 있다.

다양한 개인 공조의 접근방법

개인공조의 구현 개념은 사실상 다양한데 기본 목



[그림 2] 소극적 쾌적과 적극적 쾌적

적에 따라서 몇 가지 분류가 가능하다.

극한 열환경 상황에서의 개인 보호 기구

극한 온열 환경 상황에서의 개인 보호 기구로서 용광로 작업자의 조끼, 더운 야외에서 비닐 하우스, 논 일 등을 하는 농부용 조끼, 혹은 사막의 전투 같은 곳에 활용되는 군인용 개인 장구 등이 그것이며 개인을 극한 온열 환경에서 보호하는 기능을 갖추고 있고 이미 사용되고 있다. 그림 3은 시판되고 있는 cooling vest를 나타낸다. 안쪽 포켓에 얼린 냉매를 이용하여 짧게는 2~3시간, 길게는 4~5시간까지 더위를 완화시킬 수 있다.

개인용 열환경 완화용 보조 기구

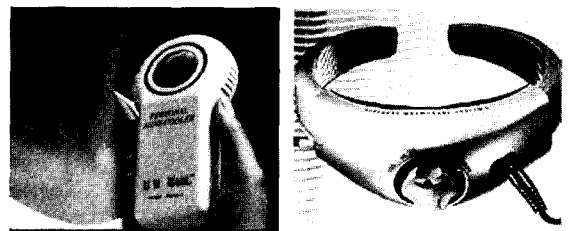
한편 인체에 있어서 냉각의 효과를 가장 많이 얻을 수 있는 부위는 체표면적의 10%밖에는 차지하지 않지만 머리, 목, 등 위쪽 부위이다.

안정시 약 30%, 운동중에는 약 20% 발산이 머리 부위에서 이루어 진다. 머리부위의 냉각이 인간에게 열적 쾌적감을 주는 이유는 인체의 열이 오르고 내림을 감지하는 인체내 '온도계' 격인 시상하부 (hypothalamus)가 머리에 가깝게 존재하기 때문이다.

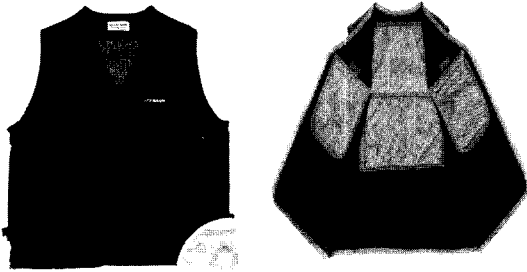
하지만, 머리부위 냉각이 몸통이나 다리부위의 온도를 단시간 내에 내리는 것은 아니다.

머리부위 냉각은 일단 열적 쾌적감을 높이는 데 주목적이 있고, 인체가 더위에 견디게 하는데 도움을 주는 것이다.

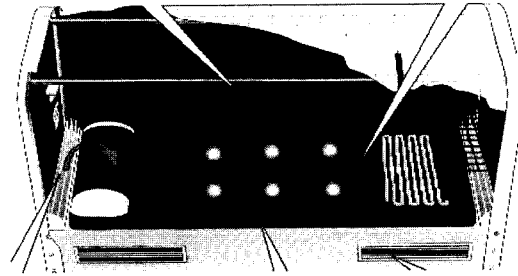
이를 이용하여 개인의 열환경 개선을 위한 보조 기구로서 일부 상품도 나와 있다. 국부 접촉 냉각을 이용하여 목 뒤에 대거나 하는 식으로 사용되어 지는



[그림 3] personal cooler



[그림 4] Cooling vest



[그림 5] Capsule Air Conditioner

것으로 목 부위를 냉각시켜 주는 personal cooler 그림 3 그리고 몸통부위를 냉각시켜 주는 냉각 조끼 그림 4를 들 수 있다.

쾌적수면/RELAX등 특수목적을 지향한 개인공조
DAIKIN사의 Capsule Air conditioner 그림 3 등은 국부냉각의 관점에 머물지 않고 개인공조의 관점을 확장한 쾌적수면/RELAX등 특수목적을 지향한 개인공조의 한 예라고 할 수 있다.

머리 부위에서는 시원한 기류를, 발 부위에는 바닥 난방의 효과를 이용해 두한족열(頭寒足熱)의 효과로 인체에 쾌적하고 효과적인 냉난방 기능을 동시에 가져온다.

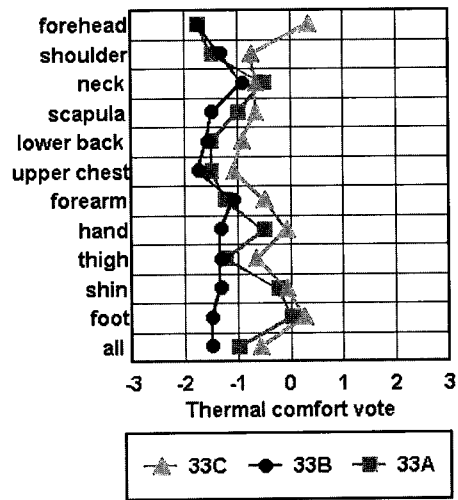
또, 추가로 아로마(Aroma) 등의 향 공조기능을 이용하여 Relax 의 기능을 높였다.

국부냉각 인체실험 결과

실제 personal cooler 그림 3과 cooling vest 그림 4 성능을 인체 실험을 통해 파악한 결과, 고온환경에서 더위를 조금 완화 시킬 수 있었고, 초기 쾌적감은 증가하나 장시간 쾌적감을 유지 시키지는 못한다는 실험결과를 가져왔다. 증발식 cooler 보다는 전도식 cooler가 더운 환경에서 더 효과적으로 나타났고 또, 생리적 반응보다 심리적인 반응에서 좀 더 쾌적감을 향상시키는 쪽의 결과를 나타내었다.

실험 결과를 그래프로 나타내었다(그림 6).

personal cooler와 냉각용 접착시트를 이용해 33℃의 환경에서 국부냉각이 인체의 생리적, 심리적 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 그림 6은 각 조건



[그림 6] Changes in the local thermal comfort with each condition

별 국부 쾌적감을 나타낸 것이다.

전신 쾌적감은 33℃의 환경에서, C(이마부위에 시트를 접착시킨 경우) < A(전도식 cooler) < B(증발식 cooler) 순서로 불쾌감이 높고, 33℃의 고온의 환경에서 국부적인 냉각으로 인해 각각 신체 부위마다 다른 쾌적감을 나타낸 것을 알 수 있다. 특히, 시트로 이마 부위를 냉각 [33C]시킨 경우 전체적으로 [-1: 약간 불쾌하다 ~ 0: 어느쪽도 아니다]의 범위를 나타냈고, 목 부위 냉각에 비해 신체 다른 부위가 조금 덜 불쾌하게 느끼게 함으로 인해 국부냉각이 신체 다른 부위에도 심리적으로 영향을 미침을 알 수 있었고, 목 부위 cooling 보다 이마 부위 cooling이 더 효과적인 것으로 나타났다.

위와는 다르게 국부냉각의 또 다른 방식인 Spot기류를 이용한 것으로 기류를 얼굴, 몸통 등에 직접 접촉시키는 것으로서 공장 등의 작업장에서 사용하거나 책상에 장착되는 등의 concept이 제안되고 있다. 과거 시장에서 큰 주목을 끌지는 못하였지만 한 때 Matsushita에서는 소형 에어컨을 부착한 책상을 개발하여 시판한 적이 있다.

또, 필자의 연구결과에 의하면 Spot 기류의 경우에는 일반적으로 심부를 따뜻하게 해도 말초부는 따뜻해 지지 않는 문제점이 있었고, 또, 말초부를 냉각시키면, 체온이 빨리 떨어지므로 말초부는 직접적으로, 계속적으로 냉각이 이루어지지 않게 해야 한다는 결론을 얻었다. 이 경우 기류의 토출 온도를 5도 정도 높게 조절 함으로써 그 문제 점을 어느 정도 해결할 수 있다는 가능성이 포착 되었다.

또, 신체 다른 부위에서 느끼는 따뜻함을 두부를 냉각시킴으로 인해 온열감 평가가 약간 완화 되었음을 알 수 있었다. 실험결과로 평균 피부온이 35℃ 정도까지는 Spot기류를 인체에 가함으로 인해 서열(暑熱) 환경을 완화 가능 하고, 어느 정도 쾌적감을 향상 시킬 수 있다는 결과를 얻었다(그림 7 실험 풍경).

개인차 연구 동향

진정한 의미의 개인공조는 바로 본격적으로 개인

차를 고려한 시스템이라고 생각되어진다.

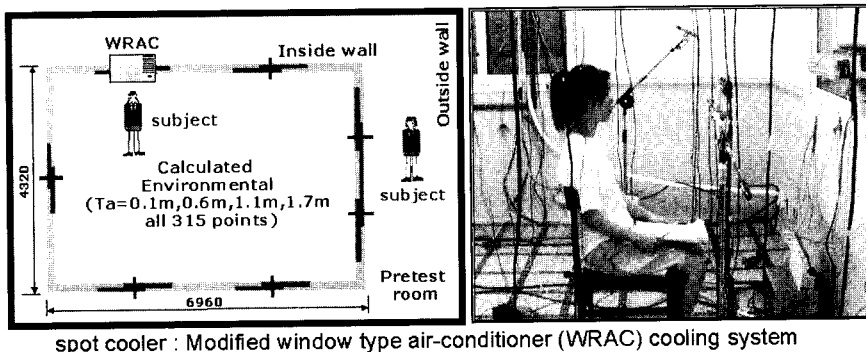
개인차에 관한 연구는 P.O. Fanger 와 D.A. McIntyre에 의해 연구되어 좋아하는 기온의 개인차와 직장온, 평균 피부온의 개인차가 파악되어졌다. 그러나, 좋아하는 기온일 때의 생리적, 심리적 반응에 대해서는 충분히 검토되지 않았고, 게다가 좋아하는 기온별 피험자의 특징의 파악까지는 언급되지 않았다.

개인차를 극복하여 개개인이 쾌적감을 느끼도록 하기위한 연구는 최근 나라여대 Sassa Naomi에 의해서 많이 이루어져 왔다.

개개인이 선호하는 온도의 차이에 관한 연구, 설정 온도에 따른 생리적·심리적 반응이 고온군, 중온군, 저온군¹⁾에 따라서 어떻게 달라지는 가를 먼저 군별로 피험자를 구분하여 비교, 분석하였다. 그 연구 결과를 간략히 소개하고자 한다.

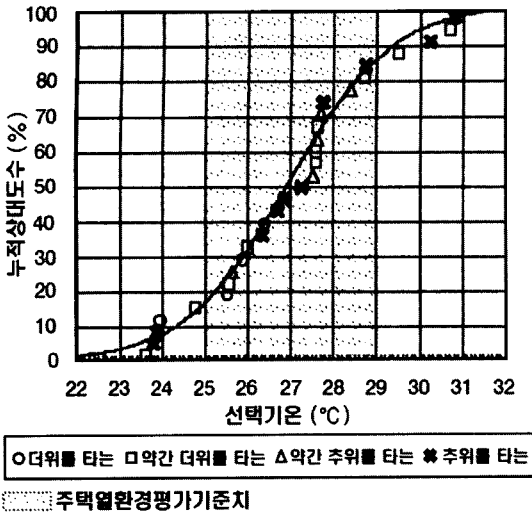
우리가 알고있는 쾌적범위는 앞서서도 서술한 바와 같이 모든 사람이 그 환경에서 쾌적하다고 느끼지 않는다. 이와 같이 좋아하는 기온이 개인에 따라 어느 정도 차이가 있는가를 파악하기 위해서, 가장 좋다고 느끼는 기온에 피험자 자신이 자유롭게 기온을 조절하는 <선택 기온 실험>을 행했다. 피험자는 의자에 앉은 자세로 안정을 취한 뒤, 120분간 기온을 조절했다.

그 결과, 개인에 의해 가장 좋다고 느끼는 기온(이후, 선택 기온이라고 칭함)은 거의 [약간 서늘하



[그림 7] Spot Cooler를 이용한 실험 풍경

1) 고온군 : 선택기온 실험에서 고온측의 온도를 설정한 피험자 집단을 고온군이라 칭함. 중온군 : 선택기온 실험에서 중간 온도측의 온도를 설정한 피험자 집단. 저온군 : 선택기온 실험에서 저온측의 온도를 선택한 피험자 집단



[그림 6] 개인에 따른 선택기온의 분포

다[어느 쪽도 아니다]라고 느낄 때가 있지만, 선택기온실험²⁾에 있어서 인체반응의 개인차실험에 있어서 좋아하는 기온차는 개인에 따라 약7.2℃의 차이(온도범위:23.6℃~30.8℃)가 나타났고, 전 피험자의 약 30%가 온열 환경의 권장 쾌적기온범위*이외의 기온으로 조절했다(그림 8 참고).

결국 우리가 알고 있는 쾌적범위는 70%의 사람만을 만족시킨다는 것이다. 이때 평균은 27±2℃였다. 여름철의 경우에는 개인차는 약6.9℃였고, 선택온도 범위는 20.7℃~27.6℃였다. 선택기온이 25℃인 피험자를 저온군, 25~29℃의 범위 내에 있는 피험자를 중온군, 29℃ 이상인 피험자를 고온군으로 하여 3군으로 나누면, 선택기온시의 온냉감은 3군³⁾ 모두 거의 같지만, 선택기온시의 평균 피부온은 저온군과 고온군에서 1.1℃의 차가 인정되고, 특히 말초부의 피부온에 차이가 크게 나타났다. 선택기온군별로 <지금 이대호가 가장 좋다>라고 느낄 때의 차이가 인정되었다.

이 실험에서 얻은 결과를 재 분석한 결과, 피험자들의 설문내용에서, 선택기온과 온열적 생활습관과의 관계 중 냉난방의 선호도, 착의량, 더위추위에 강한 정도, 식사량과 선택기온과의 관련이 있다고 나타났다.

또 하나, 체질, 체격의 영향도 크다는 것을 알게 되었다. 고온환경에서(35℃) 선택기온군에 따라 인체의 생리적 심리적 반응이 다르고, 저온군의 생리적 반응에는 발한량이 많고, 혈압의 저하, 심박수가 상승하고, 심리적으로도 다른 군보다 더고 불쾌하다고 나타났다.

고온군의 경우에는 피부온이 다른 군보다 상승하지 않고, 열을 방산하는 것이 아니라 수열하고 있었다.

선택기온실험에서 얻은 선택기온과 예측 선택온은, 주택의 온열환경의 실측치와 거의 비슷함으로 실용성 또한 인정되었다.

이처럼, 우리가 알고 있는 쾌적범위는 이 실험 결과에 의하면 일부 70%의 사람들만이 만족하므로 개인차는 고려되어야 한다.

결론

개인 공조란 그야말로 개인의 온열적 쾌적감을 극대화하기 위한 공조이다. 공간 공조를 기본 개념으로 한 기존 관점에서 설정한 쾌적범위로서는 실제로 상당수의 사람들은 온열적으로 불만족 상태에 놓이게 되므로 개인차는 반드시 고려되어야 한다고 생각된다. 이를 위해서 개인의 온열적 생활 습관, 체질등에 관한 연구가 더욱 활성화 될 필요가 있으며 이를 통하여 실제적인 구현 방법론과 함께 새로운 쾌적 조건등이 보완되고 새롭게 제안되어야 한다.

REFERENCES

1. ISO7730, 1984, "Moderate Thermal Environments"

2) 선택기온실험 : 먼저 피험자의 피부온을 일정 온도에서 일정 시간동안 안정시킨 후, 기온이 실험실내에서 자유롭게 조절이 되는 인공 기후실에 입실하여, 피험자가 좋아하는 온도를 선택하도록 하여 각 개인에 따른 어느 정도 좋아하는 온도에 따른 개인차가 어느 정도 인가를 파악하는 실험

2. 일본 온열환경의 권장 쾌적 온도 범위

3) 이후 선택기온군으로 칭한다

- Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Condition for Thermal Comfort
2. Igaku-Shoin, 1987, "Physiology of Biological Rhythm", Handbook of Physiological Science Vol.13.(1987)
 3. ASHRAE55-1981, "Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy", ASHRAE 1981
 4. Sassa Naomi (2001) 쾌적온열환경의 개인차에 관한 연구, 나라여자대학 박사학위 논문
 5. Hardy,J.D. and DuBois, E.F, 1938, "The Technic of Measuring Radiant & Convection", Journal of Nutrition, Vol,15, No. 5
 6. Hanada,Y., Mihira, M. and Ohhata,K., 1981 "Studies on the Thermal Resistance of Women's Underwear", Japan Res. Assn. Test. End-Uses.,Vol.22 No.10, pp 31-41
 7. Fanger,P.O,1970, " Thermal Comfort" , McGraw- Hill Book
 8. Igaku-Shoin, 1987, "Physiology of Energy Exchange and Thermo- regulation" , Handbook of Physiological Science Vol.22.
 9. Lee J.Y, Cheol-o Ahn, Dong-su Mun, Chang-seon Lee, Sim-won Chin and Kwan-shik Cho (2002): The Effects of Localized Cool Air Flow on Thermal Comfort in Muggy Condition , Indoor Air 2002, 9th International conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 4, pp1096-1100