

# 한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구

## Part IV : 대류난방시 Draft가 온열쾌적감에 미치는 영향

김동규\*, 최호선\*\*\*, 이기섭\*\*\*, 김종수\*, 최광환\*, 배동석\*\*, 이구형\*\*\*

부경대학교 공과대학 냉동공조공학과\*

부경대학교 대학원 냉동공조공학과\*\*

LG전자\*\*\*

## Experimental Study on Thermal Comfort Sensation and Physiological Responses of Koreans in various Thermal Conditions

### Part. IV : Effects of Draft on Thermal Comfort in Convection Heating

Kim Dong-Gyu, Choi Ho-Seon, Lee Gi-Seop, Kum Jong-Soo,

Choi Kwang-Hwan, Bae Dong-Suck, Lee Koo-Hyoung,

Graduate School, Pukyong National University\*

Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University\*\*

LG Electronics Inc.\*\*\*

### 요약

난방·공조공간에서는 강한 기류가 Draft를 유발한다. Draft라 함은 인체가 기류(Air Movement)에 의해 원하지 않은·극부적인 냉각효과를 받는 것을 말한다(ASHRAE). 본 연구에서는 피험자의 체감실험을 통해 겨울철 대류난방시 실온 설정조건에 대한 기류속도의 허용범위를 찾고자 하였다. 피험자는 일정 유니폼을 착용하고 의자에 앉은 상태로 실온 18·21·24℃, 풍속 0.15·0.3·0.45m/s의 조건에서 기류감, 온냉감, 쾌적감을 신고하였다. 실험시 착의량은 남자 0.7, 여자 1.0 clo이었으며, 실온이 21℃일 때는 기류속도 0.15m/s까지, 실온이 24℃일 때는 기류속도 0.3m/s까지 허용범위에 포함되었다.

### 서론

온열환경의 요소에는 크게 온도, 습도, 기류, 복사, 착의량, 대사량의 6요소가 있다. 그 중에서 기류는 인체의 피부와 직접 접촉하는 경우가 많기 때문에 인간의 온냉감, 쾌적감에 미치는 영향이 크다. Draft는 기류의 영향을 나타낼 때 흔히 사용하는 용어이며, 이것은 환기나 공조가 되는 건물, 자동차, 기차, 비행기 등에서 재실자들의 불만을 유발하는 가장 일반적인 이유중의 하나다.

본 실험에서는 겨울철 대류난방시 기류로 인한 Draft의 정량적 파악과 실온설정조건에 따른 적정 기류속도를 도출하는데 그 목적이 있다.

### 본론

#### 실험장치

임의의 실온 및 기류속도를 조성할 수 있는 인공환경을 조작하여 실험을 실시하였다. 인공환경실험실은 주위벽과 천장, 바닥을 단열재로써 충분히 단열 하여 실내 벽면온도가 실온과 거의 같도록 하였으며 그 크기는 4.1m × 4.9m × 2.7m이다. 실내온도와 습도는 항온항습기를 사용하여 일정하게 유지하였으며, 실험실 내에 설치된 12대의 선풍기의 전압을 슬라이더스로 조절하여 원하는 기류속도를 얻었다. 그리고 기류를 평행하게 흐르게 하기 위해 선풍기 앞에 그릴을 설치하였으며, 기류를 안정시키기 위해 그릴 앞에 망사를 설치하였다. 그림 1에 실험실의 개략도를 나타내었다.

인공환경실내의 물리량 측정은 실내의 수직 공기온도 분포를 측정하기 위해 실 중앙의 바닥면을 기준으로 10cm, 60cm, 110cm, 170cm에 0.2mmφ T형 C-C연직

대를 두어 측정하였고, 글로브온도를 110cm지점에서 측정하였다. 습도는 같은 위치의 바닥면으로부터 60cm 지점에 BEAM 습도센서를 두어 측정하였다. 기류는 초음파풍속계(일본 KAISO, Model WA-390)를 이용하여 피험자의 위치에서 풍속을 측정하였다.

인체의 평균피부온도는 Burton의 3점법으로 가슴, 팔, 다리의 세 점의 피부온도로 계산하였으며 열전대와 습도센서 및 풍속계에서 측정된 데이터는 HYBRID RECORDER(YOKOGAWA, Model 3880)를 통해 PC에서 매 20초 간격으로 저장되도록 하였다. 그리고 열화상카메라(San-ei, Model TH1100)를 이용하여 안면부의 피부온도의 경시변화를 관찰하였다.

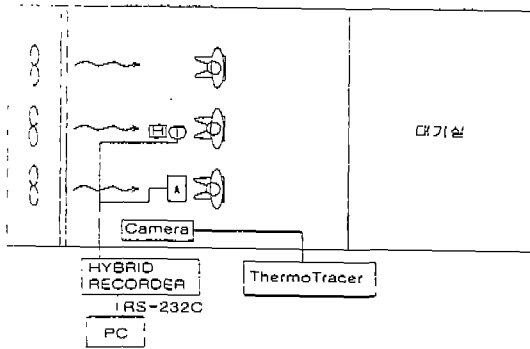


그림 1 실험실 개략도

피험자는 일정한 온도(18℃~20℃)로 유지되는 대기실에 30분간 대기하면서 충분한 안정을 취한 후 실험실에 입실하여 60분 동안 체재하였다. 입실 후 초기에 주관신고를 하고 10분 간격으로 총 7회 주관신고를 하도록 하였다.

실험조건을 표 2에 나타내었다. 실내온도는 겨울 난방시 조건을 고려하여 난방 최저 수준인 18℃와 21℃ 및 24℃를 선정하였고, 기류는 일반적으로 기류를 거의 느끼지 못하는 수준인 0.15m/s와 기류를 불쾌하게 느끼는 영역인 0.3, 0.45m/s를 실험조건으로 설정하였다. 피험자는 정해진 의복을 착용하였으며, 착의량은 일본의 Fukai 등이 채택한 의복중량으로 clo치를 계산하는 방법(花田・三平의 식)을 사용하였다. 그 결과 남자 0.7, 여자 1.0 clo로 계산되었다. 피험자의 clo치를 표 3에 나타내었다.

표 2 실험조건

실내온도 풍속	18 [℃]	21 [℃]	24 [℃]
0.15 [m/s]	○	○	○
0.3 [m/s]	○	○	○
0.45 [m/s]	○	○	○

실험방법

본 실험은 98년 4월 4일부터 98년 4월 13일까지 건축 환경설비연구실의 부속실험실인 온열환경실험실에서 실시하였다. 피험자는 청년 12명(남자 6명, 여자 6명)으로 하루에 4개조씩 9일 동안 실험을 실시하였다. 피험자의 신체적 특징을 표 1에 나타내었다.

표 1 피험자의 신체적 특징

성별	인원수 (명)	나이 (세)	신장 [cm]	체중 [kg]	체표면적 [m <sup>2</sup> ]	PI [kg <sup>0.725</sup> /m <sup>2</sup> ]
여자	6	22.4 ±1.13	161.1 ±2.91	52.4 ±7.13	1.53 ±1.02	2.29 ±0.08
남자	6	21.8 ±2.04	170.8 ±5.31	60.2 ±5.92	1.69 ±0.89	2.26 ±0.09

※ 체표면적 = 71.46 × 체중<sup>0.725</sup> × 신장<sup>0.725</sup>

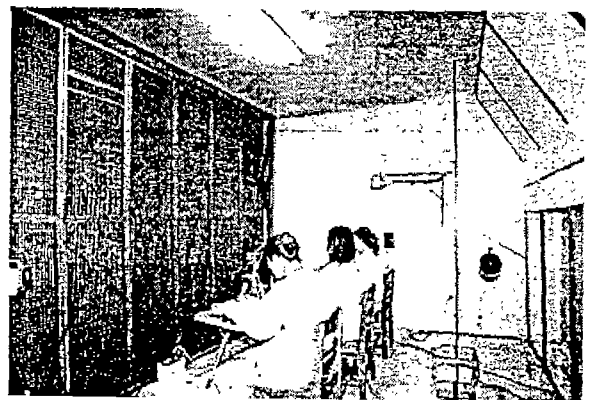


사진 1 실험장면

표 3 피험자 의복량

Male		Female	
Uniform	Weights (g)	Uniform	Weights (g)
undershirt	100	bra	35
panties	79	panties	21
socks	52	undershirt	54
training wear	900	socks	44
		training wear	850
Sum	1131	Sum	1004
Clo-value	0.70	Clo-value	1.0

의복량(남) = 0.000558 \* 전체의복중량[g] + 0.068

의복량(여) = 0.001030 \* 전체의복중량[g] - 0.0253

피험자는 사진 1에서와 같이 의자에 앉아서 독서 또는 대화를 하고 있으므로 대사량은 1.1 met로 가정하였다. 주관신고는 전신온냉감신고(Thermal Sensation Vote, TSV), 쾌불쾌감신고(Comfort Sensation Vote, CSV)를 작성하도록 하였으며 그 스케일을 표 4에 나타내었다.

표 4 주관신고 스케일

전신온냉감신고	
3	매우 덩다
2	덩다
1	약간 덩다
0	춥지도 덩지도 않다
-1	약간 춥다
-2	춥다
-3	매우 춥다
쾌불쾌감신고	
3	매우 불쾌하다
2	불쾌하다
1	약간 불쾌하다
0	쾌적하다

실험결과

실험에서 실제 구현된 평균풍속과 난류강도를 표 5에 나타내었다.

표 5 기류 설정조건

설정 기류속도 [m/s]	실제 평균풍속 [m/s]	풍속 표준편차	난류강도*
0.15	0.148	0.020	13.78
0.3	0.292	0.035	11.86
0.45	0.445	0.043	9.58

\* 난류강도 = 100 \* (표준편차/평균풍속)

그림 2에 각 실험조건별 피험자의 쾌불쾌감신고(CSV)를 나타내었다.(v15 : 풍속 0.15 m/s) 여기서 실내온도 21℃의 조건에서는 풍속이 0.15m/s와 0.3m/s일 때 쾌적영역에 속하며 실내온도가 24℃일 때는 세 가지 풍속에서 모두 쾌적함을 나타내고 있다. 그리고 실내온도가 18℃일 때는 풍속이 0.15m/s가 되어도 불쾌한 것으로 평가되었다. 이것은 실내온도가 저온일 경우 풍속의 허용범위가 작은 반면 실내온도가 올라갈수록 풍속의 허용범위가 증가함을 알 수 있다.

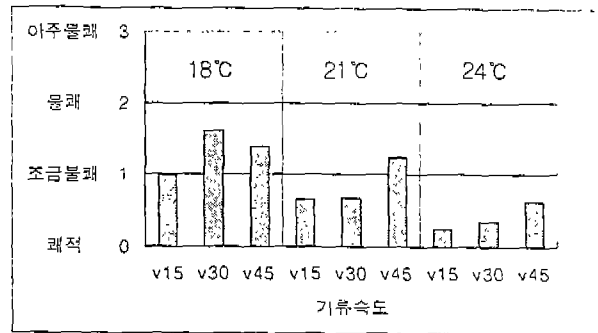


그림 2 각 조건별 쾌불쾌감신고

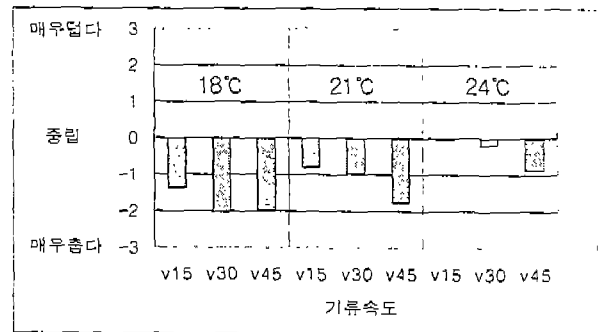


그림 3 각 조건별 전신온냉감신고

그림 3에 각 조건별 전신온냉감신고(TSV)를 나타내었다. 여기에서도 그림 2와 유사한 결과를 가지지만, 실내온도 21℃에서 기류속도가 0.3m/s이상의 경우 쾌불쾌감신고와는 달리 적용가능성이 떨어진다. 따라서 신체의 온냉감적 중립영역은 실내온도 21℃에서 기류속도 0.15m/s이고, 실내온도 24℃에서는 0.45m/s까지 포함됨을 알 수 있다. 여기에서도 실내온도가 저온일 경우 풍속의 허용범위가 작은 반면 실내온도가 올라갈수록 풍속의 허용범위가 증가함을 알 수 있다.

그림 2에서의 각 온도영역별 쾌불쾌감의 T건경결과

표 6에 나타내었으며, 그림 3의 각 온도영역별 전신온냉감은 모든 경우에서 통계적 의미가 있었다.

표 6 쾌불쾌감의 기류속도별 통계적 의미

실온 \ 풍속	0.15m/s vs 0.3m/s	0.15m/s vs 0.45m/s	0.3m/s vs 0.45m/s
18℃	*	*	*
21℃	~	*	*
24℃	~	*	*

1) ~ : Not significant      \* : significant(p<0.05)

그림 4에 각 풍속별 평균피부온도(MST)와 전신온냉감신고(TSV)와의 관계를 나타내었다. 피험자가 열적으로 중립을 느낄 때의 평균피부온도는 풍속이 0.15m/s와 0.3m/s인 경우에는 약 34.7℃가 되지만 풍속이 0.45m/s일 때는 평균피부온도가 35℃이상 되어야 함을 예측할 수 있다.

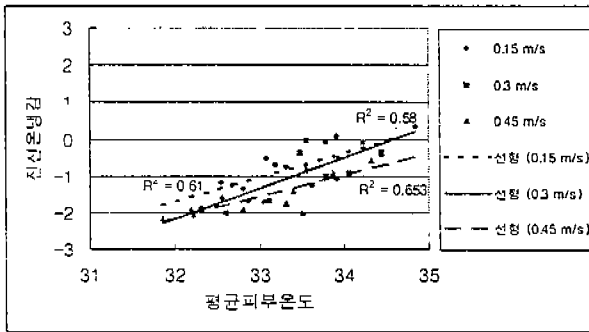


그림 4 평균피부온도와 전신온냉감신고와의 관계

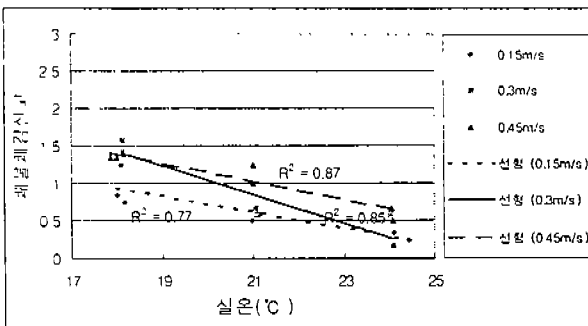


그림 5 실온 · 풍속별 쾌불쾌감신고

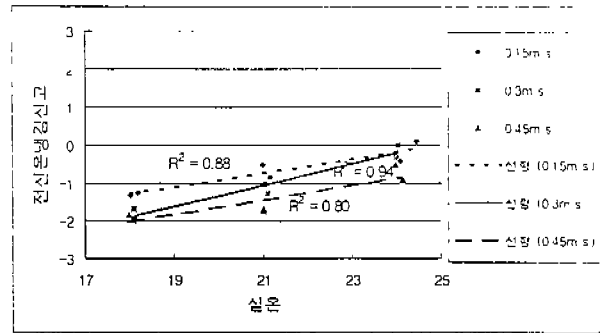


그림 6 실온 · 풍속별 전신온냉감신고

그림 5에 실온 · 풍속별 쾌불쾌감신고를 나타내었다. 여기서 풍속이 0.15m/s일 때는 실온이 21.8℃이상 되어야 쾌적영역(CSV ±0.5이내)에 포함되며, 풍속이 0.3m/s일 때는 실온이 22.7℃이상 되어야 쾌적영역에 포함됨을 알 수 있다. 그림 6은 실온 · 풍속별 전신온냉감신고를 나타내었다. 여기서는 온냉감적 중립영역(전신온냉감신고 -0.5~0.5)을 실온과 풍속별로 알 수 있다. 풍속이 0.15m/s일 때는 실온이 22.1℃이상 되어야 하며, 풍속이 0.3m/s일 때는 실온이 22.9℃이상 되어야 온냉감적 중립영역에 포함됨을 알 수 있다.

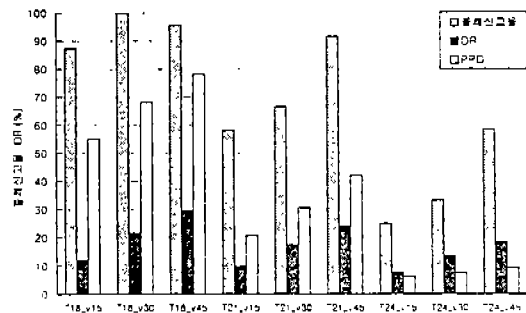


그림 7 불쾌신고율과 DR, PPD관계

그림 7는 피험자들이 주관신고한 값을 통해 구한 불쾌신고율과 ISO 7730에서 사용한 DR(Draft Rate), 그리고 PPD값을 비교한 것이다.

ISO에서는 Draft에 의한 예상불만족율(DR)을 다음 식으로 나타내었다.

$$DR = (34 - t_a) * (v_a - 0.05)^{0.62} * (37 * SD + 3.14)$$

DR : Draft Rating [%]

$t_a$  : 공기온도 [°C]

$v_a$  : 평균풍속 [m/s]

SD : 풍속의 표준편차 [m/s]

그리고 불쾌신고율은 피험자의 주관설문평가를 기초로 하여 구하였다. 즉,

$$\text{불쾌신고율} = (\text{불쾌신고수}(\text{scale } 1,2,3) / \text{총 신고수}) \times 100$$

여기서 불쾌신고율이 DR값보다 상당히 높게 나타나는데 이것은 DR값이 온냉감적 중립상태가 되는 착의량 기준으로 하였으므로, 착의량의 변화가 없었던 본 실험에서는 추운 것으로 인한 불쾌가 크게 작용하였기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 저온일 때 PPD값은 불쾌신고율과 유사하지만, 비교적 온도가 높은 영역에서는 DR값이 PPD값보다 불쾌신고율에 근접한다. 이것은 DR산출식이 기류의 난류강도, 평균풍속에 영향을 많이 받고, PPD산출식은 기류속도, 착의량의 변화에 민감하기 때문이다. 따라서 기존의 평가척도 외에, 동일 착의량에서 실온 및 기류속도, 난류강도의 영향을 평가하기 위해서는 적절한 기류 평가척도의 도출이 필요하다.

## 결론

실내온도가 18, 21, 24°C이고, 풍속이 0.15, 0.3, 0.45m/s인 조건에서, 재실자의 Draft에 관한 체감실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

### 1) 쾌적영역의 하한선

실온이 21°C일 때는 풍속이 0.15, 0.3m/s까지 포함된다. 그리고 실온이 24°C일 때는 풍속이 0.15, 0.3, 0.45m/s까지 포함된다.

풍속이 0.15m/s일 때는 실온이 21.8°C이상, 풍속이 0.3m/s일 때는 실온이 22.7°C이상이어야 한다. 실험 조건에서 실온이 24°C까지 있었으므로 위의 결과는 실온허용범위의 하한선이라 볼 수 있다. 그리고 풍속이 0.15m/s일 때는 실험조건에서 쾌적영역에 포함되는 풍속이 없었다.

### 2) 온냉감적 중립영역에서 본 실온의 하한선

실온이 21°C일 때는 풍속 0.15m/s, 실온이 24°C일 때는 풍속 0.15, 0.3m/s가 포함된다. 풍속별로 비교를 하면, 풍속이 0.15m/s일 때는 실온 22.1°C이상, 풍속이 0.3m/s일 때는 실온이 22.9°C이상 되어야 한다. 풍속이 0.45m/s일 때는 해당되는 조건이 없었다.

## 참고문헌

1. ASHRAE FUNDAMENTALS 1997 "Thermal Comfort"
2. 금종수, "한국인에 맞는 쾌적지표의 검증과 기준 data의 추출에 대한 최종보고서", 부산수산대학교 산업기술연구소, 1993
3. P. O. Fanger, "Thermal Comfort, Danish Technical Press", 1970
4. S. Tanabe, "Thermal Comfort Requirements in Japan", Ph.D. Waseda University, 1988
5. 深井 一夫, "標準新有效溫度(SET\*)と日本人の温熱感覺に關する實驗的研究", 空氣調和・衛生工學會論文集, No.48, 1992. 2, pp21-29
6. 금종수, "실내공조에 있어서 온열환경의 쾌적조건에 대한 연구방향 및 방법의 제시에 대한 최종보고서", 부산수산대학교 산업기술연구소, 1992
7. Fanger P.O. et.al. "Air Turbulance and Sensation of Draught", Energy and Buildings, 12(1988)21-39
8. 石垣秀生ら, "低風速時における人體の對流熱傳達率に關する實驗的研究", 日本建築學會大會學術講演概集 pp.863-864, 1989.10
10. 興水知ら, "室內等溫變動氣流の體感効果に關する研究", 日本空氣調和・衛生工學會學術講演概集 pp.1257-1260, 1990.10
11. 木村建一ら, "夏季の通風・室內氣流が體感に及ぼす影響に關する研究", 日本建築學會大會學術講演概集 pp.337-338, 1985-87