

자동차 운전석의 온열환경 쾌적성 평가를 위한 지표개발

Development of the Index to Estimate Thermal Comfort in the Driving Room of Motorcar

최 성 주, 박 근 상

Sung-Joo Choi, Keun-Sang Park

건국대학교 산업공학과

Abstract

The purpose of this study is to develop a numerical model based on experimental data to estimate the thermal comfort in the driving room of a motorcar. For the experiments, three air temperature level of 21, 23, 25°C are set to measure variables such as average skin temperature, R-R interval, the comfort sensation, and the performance level. By performing statistical analysis with the results obtained, it is observed that two physiological factors - average skin temperature and R-R interval have significant relation with the thermal comfort in the driving room. Thus, those two factors are included as parameters in the proposed model to estimate the thermal comfort.

1. 서론

온열환경 쾌적성 평가에 관한 연구는 주로 일반 거주 및 실내 공간을 대상으로 이루어져 왔으며, ISO에서도 PMV(Predicted Mean Vote)와 P4SR(Predicted 4hours Sweating Rate)등을 일반 거주 및 실내공간의 온열환경 쾌적성을 평가하는 표준안으로 채택하고 있다[4]. 기존의 온열환경 쾌적성 평가 방법들 가운데 PMV를 제외한 다른 평가방법들은 대체로 평가과정 및 결과의

수리적 모델제시가 어렵고, 끊임없이 변화하는 재실자의 개인적 인자에 대한 고려가 미흡한 실정이다. 또한 생리적 변동을 바탕으로 온열환경의 쾌적성을 단일 생리적 모수만을 바탕으로 평가하기 때문에 정동반응 등 심리적 원인에 의한 영향을 배제하기 어렵다. 그 위에, 자동차 실내와 같이 온열환경의 특성이 일반 실내 사무 및 거주 환경과 다르고[2][6], 작업자의 작업행위가 지속적으로 이루어지며, 작업공간이 국한된 경우, 온열환경 제어의 자동화와 운전자의 상태변화에 대한

즉각적인 대응이 필요하게 된다. 따라서 기존의 평가방법들과 같이 환경모수를 위주로 획일적인 쾌적역을 제시하거나 개인적 변동의 반영이 미흡한 지표로는 자동차 실내의 온열환경 쾌적성을 정확히 평가하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 R-R간격과 평균 피부온의 복수 생리적 인자를 모수로 하여 지속적으로 변화하는 운전자의 상태를 온열환경 쾌적성 평가에 즉각적으로 반영할 수 있는 수리적 모델의 개발을 목적으로 한다.

2. 실험방법

피험자로서 체표면적이 비슷하고 호흡 및 순환기, 감각계통에 이상이 없는 성인 남자 6명을 선발하였다. 피험자들은 모두 실험전 1시간 이전에 식사를 마치도록 하여 식사 및 소화에 따른 대사량의 변동을 최소화하였다.

실험은 실제 자동차 안에, 앉아서 작업할 경우의 적정 온도 가운데 예비실험 결과 피험자들이 가장 선호하는 것으로 나타난 23℃를 중심으로 인간지각한계 온도인 2℃를 상·하로 설정, 21℃, 23℃, 25℃ 세가지 조건을 설정하여 각 조건에 있어 각각 6회씩 총 18회 실시하였다.

실험시간은 안정시간 10분, 작업시간 50분으로 총 60분이었으며, 실험은 자동차 에어컨 사용이 가장 활발한 8월 초에서 9월 초에 이루어졌으며, 실험시간에 따른 복사온과 생리적인 변동요인을 배제하기 위해 동일 시간대와 동일조건에 설정하였다.

피험자들은 각각의 설정온도에서 운전석에 앉아 노트북 컴퓨터를 이용하여 워드작업을 실시하도록 하여, 수행도를 측정하였다.

측정항목으로는 생리적 인자로서 R-R 간격과 Hardy-Dubois법에 의한 피부온을 실험 시간 중

연속 측정하였고, 주관적 인자로 Fanger에 의해 고안된 쾌적감 평가 4점법([표 1])을 사용하여 10분 간격으로 측정하였다.

[표 1] 쾌적감 평가 스케일

평점	0	-1	-2	-3
내용	쾌적함	조금 불쾌	불쾌	매우 불쾌

환경인자로서 기류와 공기온도, 복사온도, 상대습도를 위치에 따른 불균일도를 줄이기 위해 피험자 눈높이 좌우와 하지 정중앙의 총 3점에 대해 10분 간격으로 측정하였다[3].

실험결과 얻어진 자료는 각 설정온도별 분산분석을 실시하였으며, R-R간격과 평균 피부온에 의한 쾌적감 평가 모델은 정준판별분석에 의하여 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

[표 2]는 실험 중 측정된 환경인자의 설정온도별 평균값을 나타낸 것이다.

[표 2] 실험 중의 환경인자의 설정온도별 평균값

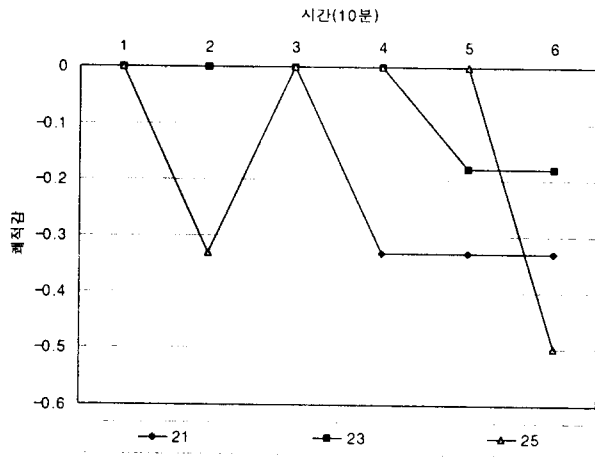
측정인자	설 정 온 도		
	21℃	23℃	25℃
공기온도 (℃)	20.98 ±0.01	22.96 ±0.03	25.01 ±0.04
복사온도 (℃)	39.88 ±3.54	41.94 ±6.47	42.6 ±3.17
상대습도 (%)	40 ±0.00	41.06 ±1.34	40.87 ±1.18
기류속도 (m/s)	0.13 ±0.01	0.15 ±0.18	0.07 ±0.04

($\bar{x} \pm SD$)

각 설정 온도에서 복사온도는 대체로 설정온도에 비례하여 점차 높아지는 것으로 나타났다. 상대습도와 기류속도는 각 설정온도 간에 유의한 차는 없는 것으로 나타났다.

3.1 쾌적감

[그림 1]은 각 설정온도에 대하여 피험자가 느끼는 쾌적감dml 시간의 경과에 따른 변동을 나타낸 것이다. 쾌적감에 대한 피험자들의 반응은 분산분석 결과 각 설정 온도간에 통계적 유의차는 없는 것으로 나타났다.



[그림 1] 각 설정온도별 쾌적감의 경시적 변화(n=6)

평균 쾌적감의 경시적 변화를 살펴보면, 설정온도 23°C를 제외하고는 모두 매우 불규칙하게 변하는 것을 볼 수 있다. 이것은 설정온도 23°C에서는 피험자가 비교적 안정적인 쾌적감을 느끼고 있는 반면, 21°C와 25°C에서는 쾌적감이 안정되어 있지 못한 것을 나타낸다. 또한 [표 3]에서 나타난 바와 같이, 평균 쾌적감 값은 세 개의 설정온도 모두 쾌적한 상태의 값인 '0'에 가까운 값을 나타내고 있으나, 다른 설정온도에 비해 23°C에서 피험자들이 보다 쾌

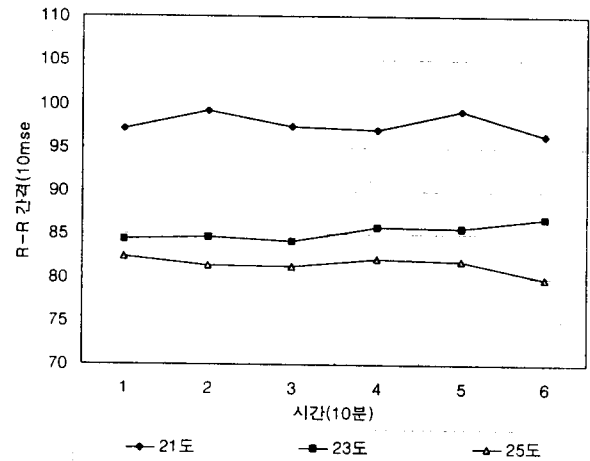
적하게 느끼고 있는 것을 알 수 있다.

[표 3] 각 설정온도별 평균 쾌적감(n=6)

	21°C	23°C	25°C
쾌적감 평균	-0.1667	-0.0556	-0.1389

3.2 R-R 간격

[그림 2]는 각 설정온도별 피험자의 R-R간격을 시간경과에 따라 나타낸 것이다. 개관해 보면, R-R간격의 시간경과에 따른 변동은 각 설정온도에서 큰 증감없이 일정한 수준에서의 변동을 보이고 있다.



[그림 2] 각 설정온도별 R-R간격의 경시적 변화(n=6)

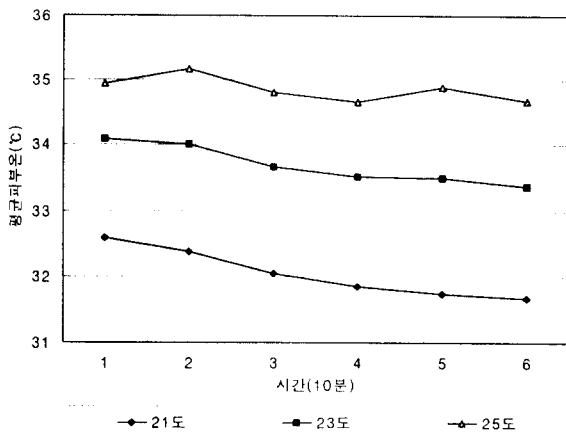
그러나, 각 설정온도 간의 변화를 개관해보면 23°C와 25°C의 경우에는 R-R간격이 800~900msec 전후의 변동을 보이고 있는데 반해 21°C의 경우에는 960~1000msec의 수준에서 변동을 보였으며, 분산분석 결과 각 설정온도 간에 통계적으로 유의한 차를 나타냈다($F=39.28, p<0.01$).

[표 4] 각 설정온도별 R-R 간격(n=6)

	21℃	23℃	25℃
R-R 평균(msec)	976.767	852.537	841.115

[표 4]는 소 작업시간 중의 설정온도별 평균 R-R 간격을 나타낸 것으로 각 설정온도의 R-R간격 모두 일반적으로 제시되고 있는 쾌적상태의 R-R간격 값과는 다소 차이가 있다. R-R간격의 경우, 다른 생리적 반응값에 비해 자율신경계 중추의 흥분상태에 의한 영향을 크게 받아 작업부하 등, 환경적 조건 외의 작업적 요인에 따라 쉽게 변화할 수 있다. 따라서 각 설정온도에서의 R-R간격은 실험에서 제시한 작업 부하로 말미암아 다소 빠르게 나타난 것으로 사료되며, 이러한 점을 고려했을 때 설정온도 23℃가 다른 설정온도에 비해 기존의 연구결과에서 나타내고 있는 안정시의 쾌적온도 환경하에서의 R-R간격인 900msec[8]에 가까운 값을 보여주고 있으며, 이것은 시간경과에 따른 R-R간격에도 긍정적으로 작용하여 안정적인 변동을 보이고 있는 것으로 사료된다.

3.3 평균 피부온



[그림 3] 각 설정온도별 피험자의 평균피부온의 경시적 변화(n=6)

[그림 3]은 피험자의 평균 피부온을 각 설정온도별로 평균값을 산출하여 시간경과에 따른 변화를 나타낸 것이다.

평균 피부온을 이용한 온열환경 쾌적성 평가방법은 온열환경에 대한 피험자의 쾌적감을 정량적으로 표현하는 방법 중 가장 정확한 것으로 알려져 있어, 평균 피부온의 쾌적한계(33.2~34.4℃)내 상존은 열환경에 있어 쾌적함 평가에 중요한 영향을 미친다. 각 설정온도별 피험자의 평균 피부온의 시간경과에 따른 변동을 개관해 보면, 21℃의 경우에는 31.7~32.7℃, 25℃의 경우에는 34.7~35.3℃내에서의 변동을 나타내고 있으며, 23℃의 경우에는 33.4~34.2℃내에서 변동을 나타내어 평균 피부온의 쾌적한계내에 있는 것으로 나타났다[1]. 또한, 평균 피부온 역시 R-R간격과 마찬가지로 각 설정온도 간에 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났다($F=283.85, p<0.01$).

[표 5] 소작업중의 설정온도별 평균 피부온(n=6)

	21℃	23℃	25℃
평균 피부온(℃)	32.04	33.69	34.85

[표 5]는 소 작업시간 중의 설정온도별 평균피부온을 나타낸 것으로 설정온도 21℃는 '약간 시원'한 열적 감각 내에 있으며, 설정온도 25℃는 '약간 따뜻한' 열적 감각 상태를 나타내고 있다.

3.4 쾌적감 평가 모델

본 실험을 통하여 각각의 설정온도에서 일어난 R-R간격과 평균피부온의 자료들을 표준화하여 정준판별분석을 실시하였다. R-R간격과 평균피부온은 피험자간의 유의차가 없는 것으로 나타났으며, 모델의 정도(精度)를 높이기 위해 실험 데이터들을 표준화 하여 [표 6]과 같은 통계처리 결과가 얻어졌다.

[표 6] 쾌적감에 대한 R-R간격과 평균 피부온의 정준판별계수

인자	표준정준계수
R-R간격	-1.1764
평균 피부온	0.9101

이같은 결과를 토대로, 다음과 같은 정준판별함수를 얻을 수 있었다.

$$\text{판별점수} = -1.1764x_1 + 0.9101x_2$$

(단, x_1 : R-R 간격, x_2 : 평균 피부온)

또한, 이에 따른 쾌적감별 판별점수의 평균을 살펴보면 [표 7]과 같다.

[표 7] 쾌적감별 판별점수의 평균

쾌적감	판별점수
쾌적	0.1359
불쾌	-2.3111

이 정준판별함수에 의한 쾌적감 예측 모델은 일반적으로 제시되고 있는 R-R간격의 쾌적구간과 평균 피부온의 저온대, 즉 R-R간격값이 크고 평균피부온값이 낮을 경우에는 대체로 정확하였으나, R-R간격값이 쾌적한계보다 낮고(약 850msec이하), 평균피부온이 쾌적한계보다 높을 때에는 판정결과가 부정확하게 나타났다. 따라서, 이 모델의 적합한 R-R간격과 평균피부온값의 범위는 R-R간격의 경우 800~900 msec, 평균피부온은 32.2~33.4℃로 이 범위 내에서 유효하다.

4. 결론

이상의 연구결과 본 실험에서는 설정온도 23℃가

R-R간격, 평균피부온 그리고 쾌적감 평가 등 모든 측정항목에서 21℃와 25℃의 설정온도에 비해 온열환경 쾌적감에 있어 상대적으로 쾌적한 상태인 것으로 나타났으며, 쾌적감을 제외한 모든 측정항목에서 분산분석 결과 각 설정온도별 유의차가 인정되었다. 쾌적감에서 각 설정온도간에 유의차가 인정되지 못한 것은 각 설정온도간의 간격이 2℃로 인감이 감각적으로 구별해 낼 수 있는 인지감각한계 온도였으며, 쾌적감 평가 척도가 4점 스케일 밖에 되지 않아, 적은 온도 구간폭에서의 검출력이 다소 낮은 것에 기인한 것으로 사료된다.

또한 자동차 실내의 온열환경 쾌적성 평가를 위한 수리적 모델을 개발하기 위하여 R-R간격과 평균피부온, 두 개의 생리적 인자에 대한 정준판별분석을 실시하여 다음과 같은 평가 모델과 지표가 얻어졌다.

1) 판별함수

$$\text{판별점수} = -1.1764x_1 + 0.9101x_2$$

(단, x_1 : R-R 간격, x_2 : 평균 피부온)

2) 판별점수

쾌적감	판별점수
쾌적	0.1359
불쾌	-2.3111

3) 적용범위는 R-R간격의 경우 800~900msec, 평균피부온은 33.2~34.4℃이며, 이에 따른 공기온도는 약 21~25℃이다.

이상과 같이 본 연구에서 제안한 R-R간격과 평균피부온을 모수로한 수리적 온열환경 쾌적성 평가 모델은, PMV와 같이 일반 사무 및 거주공간을 대상으로 개발된 지표에 비해 복사열등 환경인자에 의한 제약이 상대적으로 작아, 자동차 실내의 온열환경 특성을 적절히 반영할 수 있으며, 자율신경계

의 생리적 반응을 모수로 하고 있는 점에서 운전자 개개인의 개별성과 변동성을 보다 용이하게 평가지 표에 반영할 수 있으며, 수리적 모델이라는 점에서 온열환경 자동제어 시스템의 기본 로직으로 사용가능하다는 것이 판명되었다.

본 연구에서 제안한 모델이 보다 높은 신뢰도와 보다 넓은 적용 범위를 얻기 위해서는, 다양한 피험자 층과 환경·생리적 인자에 대한 고려가 확충되는 연구가 후행되어야 할 것으로 사료된다.

ASHRAE Trans, Vol.84, Part 1, No.2475, 1978.

[8] Yae Hasebe, Masami Iriki, Kazuko Takahasi, Usefulness of R-R interval and its variability in evaluation of thermal comfort, International Journal Biometeorol, 1995, 38: pp. 116-121.

참 고 문 헌

[1] A .Cordier et al, Predicting Local Thermal Sensation in a building, 1991 Solar World

[2] B.H.Muller, Influence and assessment of heat radiation, Ergonomics, 1995, Vol. 38, No.1, pp.128-137.

[3] C.P.Yaglou, Thermometry (Chapter 2), Hafner Publishing co. 1968, pp.70-77.

[4] G.Eissing, Climate assessment indices, Ergonomics, 1995, Vol.38, No.1, 1995, pp.47-57.

[5] Hardy. J.D & Dubois E.F, Basal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperatures of 22 to 35°C, Nutrition 1938, 15:477.

[6] Ingvar Holmer, Hakan Nilsson et al, Thermal Aspects of Vehicle Comfort, Applied Human Science, Vol 14:4, 1995, pp.159-165.

[7] McIntyler, Three approach of comfort,