

Psychological and Physiological Responses of Occupants Caused by Types of Seat Air Conditioning

Boseong Kim* · Seung Hyun Kwak** · Sang Hyeok Seo** · Byung Chan Min**†

*Department of Philosophical Counseling and Psychology, Dong-Eui University

**Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

좌석시트 공조조건에 따른 착석자의 심리 및 생리적 반응

김보성* · 곽승현** · 서상혁** · 민병찬**†

*동의대학교 철학상담 · 심리학과

**한밭대학교 산업경영공학과

It is important to understand psychological and physiological responses of occupants who seated in a chair in order to shape a comfortable indoor official environment. So it is needed to find out optimal seated conditions. The purpose of this study was to explore optimal condition of seat air conditioning control based on psychological or subjective responses (perceived temperature and comfort sensation) and physiological responses (heartrate variability; HRV). To do this, experimental conditions were designed by the difference of indoor temperature and seat air conditioning temperature. In the experiment 1, seven experimental conditions were designed with one control condition which was not used seat air conditioning system, and six experimental conditions which the difference of indoor temperature and seat air conditioning temperature ($-1^{\circ}\text{C} \sim -6^{\circ}\text{C}$). In the experiment 2, four experimental conditions were designed with one control condition and three experimental conditions ($-3^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$). In addition, participants' psychological or subjective response was measured by CSV (comfort sensation vote) and PTS (perceived temperature sensitivity) as a psychological or subjective response, and heartrate variability was measured as a physiological response. As a result, in the experiment 1, it was reported that the optimal conditions of seat air conditioning control based on participants' psychological or subjective comfort were from -3°C to -5°C experimental conditions. In addition, in the experiment 2, it was reported that the optimal condition of seat air conditioning control based on participants' physiological comfort was -4°C experimental condition. These results suggested that seat air conditioning could affected to comfort sensation of occupants in an appropriate range, rather than unconditionally.

Keywords : Seat Air-Conditioning, Comfort, Subjective Response, Physiological Response

1. Introduction

현대 사회에서 사람들이 가장 많은 시간들을 소비하

는 공간은 실내 환경이라 할 수 있다[2]. 이러한 실내 환경에서 인간의 주된 활동은 책상과 의자를 중심으로 하는 좌식활동이 대다수를 차지하고 있다. 사무 공간에서 컴퓨터를 활용하여 문서를 작성하는 활동, 학습 공간에서 펜을 활용하여 중요한 정보들을 기록하는 활동, 주거 공간에서 TV를 시청하는 활동 등이 그 예라 할 수 있다. 그러나 좌식활동들의 공통적인 특성을 살펴보면 대다

Received 29 May 2015; Finally Revised 2 September 2015;

Accepted 2 September 2015

† Corresponding Author : bckim@hanbat.ac.kr

수가 사람들로 하여금 장시간 의자에 착석하도록 한다는 점이다. 이와 같이 사람들이 의자에 장시간 착석해 있다 보면 신체의 압력과 마찰 등으로 발열이 나타나게 되고, 이러한 발열 요소는 좌식활동을 하는 사람들에게 불쾌감을 유발시키는 원인으로 작용한다. 또한 이러한 형태의 불쾌감은 착석자들이 추구하고자 하는 활동에 있어 수행의 저하에도 영향을 미칠 수 있다[6].

좌식활동에 있어 수행 향상 및 쾌적감 유발 등의 긍정적 효과를 지향한다면, 착석자들로 하여금 의자에 착석해 있는 동안 유발될 수 있는 발열 요소를 제거하는 방안을 모색할 필요가 있다. 그러나 좌석시트와 신체 표면 간의 마찰 또는 압력을 완전히 제거할 수 있는 착석이 존재할 수 없기 때문에 발열 요소의 제거가 아닌 발열을 해소할 수 있는 방법을 탐색하는 것이 요구된다.

이에 가능한 방법이 바로 냉각이라 할 수 있다. 좌석의 표면을 냉각시켜 좌석과 착석자의 신체 표면 간에 발생할 수 있는 열을 냉각시키는 것이 그 예에 해당된다. 그러나 이러한 방식은 좌석에 시트를 입히는 과정에서 냉각 효율성이 떨어지는 문제점을 내포하고 있다. 이러한 점을 고려해 볼 때, 좌석시트와 착석자의 신체 표면 사이에 냉기를 제시하는 공조방법이 보다 효율적이라 할 수 있다.

그럼에도 의자 설계와 관련된 연구들은 주로 착석자의 신체적 사이즈, 체압 및 움직임 등을 반영한 설계에 초점을 두었을 뿐[8, 9, 14], 의자에 공조체계를 활용하여 그에 대한 착석자의 심리적 만족을 살펴본 연구는 거의 없는 실정이다. 한편 심리적 만족에 해당되는 ‘쾌’의 요소는 동등한 물리적 조건에 의해서도 개인차가 존재하는 주관적인 요소에 해당되기 때문에[3], 심리적 만족상태에 대한 객관적 형태로서 생리적 반응을 활용하고 있다[4, 5, 7, 10].

이에 따라 본 연구는 먼저 의자의 등받이 부분과 착석 부분을 통해 냉기공조가 가능하도록 공조체계와 연결된 의자를 구성하고, 이 의자를 활용하여 착석자들의 지각된 온도와 심리적 만족에 해당되는 쾌적감을 측정하였다. 또한 심리적 만족을 고려하여 이에 상응하는 생리적 반응으로 심박변이도(heart-rate variability; HRV)를 측정하여 공조체계가 갖추어진 의자설계에 있어 착석자의 주관적 및 객관적 만족정도를 탐색해보고자 하였다.

2. Experiment 1

실험 1은 등받이와 착석부분에 공조체계가 연결된 의자를 활용하여 실내 온도와 좌석시트 공조온도 차이에 따른 착석자들의 지각된 온도감 및 주관적 쾌적감을 살펴보고자 하였다.

2.1 Participants

H대학교 학생 28명(남학생 20명, 여학생 8명)이 실험에 참여하였다. 이들의 평균연령은 21.79(\pm 1.62)세였으며, 의복 착의량은 0.7 clo로 통제하였다[1]. 이는 ISO-7730(2005)의 Annex-C의 의류전형 조합에 기초한 것으로, 하의속옷(panties), 바지(trousers), 셔츠(shirts), 양말(socks) 및 신발(shoes)을 착용했을 때 의복들의 열 저항치를 의미한다. 또한 실험 참가자들의 활동량은 1.0met으로 설정하였다. 여기서 met는 인간이 섭취한 음식물이 대사될 때 일정시간 동안 분해되는 에너지의 양인 대사량을 나타내는 단위로 활동에 따라서 체내에서 발생하는 열 에너지에 의해서 환경에 대한 온열지각의 변화를 통제하기 위해서 사용되었다[3].

2.2 Experimental Environments

실험에 사용된 환경은 3.5×5.4×2.1m³의 인공 기후실로 공조 시스템이 갖추어져 있는 공간이었다. 이 환경은 창문이 없어 외부와의 열적 교류가 존재하지 않아 일정 온도환경을 지속적으로 유지할 수 있는 공간이었다[2]. 본 연구에서는 개인 공간이 아닌 다수의 사람들이 존재하는 공간을 모사하고자 여름철 실내 공조 적정온도로 알려져 있는 26℃에 다수의 사람들로 인해 상승되는 온도를 고려하여 약 28℃의 실내온도를 유지하도록 하였다.

또한 본 연구에 사용된 의자는 <Figure 1>과 같이 외부 공조시스템과 지름이 20cm인 플렉시블 호스로 연결하여 의자의 등받이 부분과 착석 부분에 냉기가 유입되도록 제작하였다.



<Figure 1> Experimental Chair

2.3 Experimental Stimulus

실험이 진행되는 동안 실험 참여자들에게 제시될 자극은 마이클 샌델 교수의 ‘정의란 무엇인가’ YouTube 영상을 15분 정도 편집하여 사용하였다. 이 영상을 사용한 이유

는 개인의 정서적 변화를 거의 일으키지 않으면서 환경에 대해 개인이 적응하는 데 소요되는 10분 정도의 시간을 충분히 확보하기 위함이었다.

실험자극에 대한 실험참가자들 정서적 반응상태에 대한 조작체크(manipulation check)를 위해서 실험 참가자들에게 실험자극에서 느껴지는 감정적 상태와 긴장 상태를 Likert 5점 척도로 체크하도록 하였다. 감정적 상태는 1점이 '매우 유쾌한 영상이었다'였으며, 5점이 '매우 불쾌한 영상이었다'로 구성되었다. 또한 긴장 상태는 1점이 '매우 긴장하게 만드는 영상이었다'였으며, 5점이 '매우 이완되게 만드는 영상이었다'로 구성되었다. 이에 대한 조작체크 결과, 감정적 상태는 $2.25(\pm 0.67)$ 이었으며, 긴장 상태는 $3.94(\pm 0.76)$ 인 것으로 나타났다. 이는 실험자극이 실험참가자들로 하여금 보통 수준의 쾌/불쾌 상태를 유발함과 동시에 약간의 이완 상태를 유발하는 것으로 나타났다.

2.4 Experimental Conditions

실험조건은 좌석시트에 공조가 이루어지지 않는 통제조건과 좌석시트 공조온도가 실내온도보다 $1^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ 낮은 6개의 공조조건으로 총 7개의 좌석시트 공조조건으로 구성하였다. 또한 각 좌석시트 공조조건에 실험참가자들을 무선 할당하여 피험자간 설계방식으로 실험조건을 구성하였다.

2.5 Experimental Procedures

실험참가자들은 28°C 로 유지되는 대기실에서 실험에 대한 설명 및 실험 참가 동의서를 작성하였다. 이후 본 실험에서는 본인에게 할당된 실험조건에 해당하는 좌석시트 공조가 시작되는 가운데 좌석시트에 앉아 적응 전 테스트로 현재 본인이 느끼는 주관적 쾌적감(comfort sensation vote; 이하 CSV), 현재 지각되는 실내온도(perceived temperature; 이하 PT)를 체크하도록 하였다. 이 때 CSV는 Likert 7점 척도로 구성되었으며, 1점(매우 쾌적하다)에서 7점(매우 쾌적하지 못하다)로 구성되었다[4, 7, 11, 13].

적응 전 테스트가 완료된 이후 통제조건을 제외한 모든 조건에서 좌석시트 공조가 이루어지는 가운데 실험자극을 약 15분 동안 제시하였다. 자극영상이 끝나면 바로 적응 전 테스트와 동일하게 CSV와 PT를 실험 참가자로 하여금 체크하도록 하였다.

2.6 Results and Discussion

먼저 좌석시트 공조 적응 전/후 조건과 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건에 따른 PT의 차이를 살펴보았다. 그 결과, 적응 전/후 조건과 실내온도와 좌석시트 공

조온도 차이 조건 간의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다[F(6, 21) = 1.53, p = .217]. 반면 적응 전/후의 주 효과는 통계적으로 유의미하였으며[F(1, 21) = 11.72, p = .003], 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건의 주 효과는 경향성을 보이는 것으로 나타났다[F(6, 21) = 2.09, p = .098].

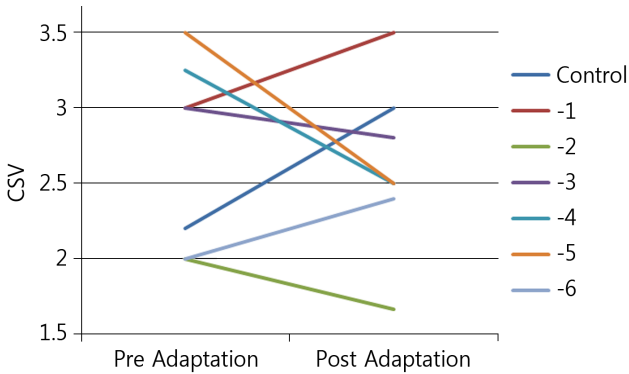
이러한 결과는 좌석시트 공조가 시작되는 시점에서는 약 23.98°C 로 실내 환경에 대한 지각온도를 보고한 반면, 환경에 적응된 이후 시점에서는 약 22.98°C 로 실내 환경에 대한 지각온도를 보고함으로써 좌석시트 공조를 실시한 이후 평균적으로 약 1°C 정도의 실내 환경에 대한 지각온도가 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 결국 여름철 다수의 사람들이 함께 존재할 수 있는 공간에서 개인별로 좌석시트에 공조를 실시하는 것은 각 개인에게 시원함을 유발시킬 수 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

또한 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건의 주 효과 경향성을 고려해 볼 때, 좌석시트 공조가 진행되지 않는 통제조건에서 약 24.35°C 의 실내 환경에 대한 지각온도를 보인 것에 비해 $-3\sim -5^{\circ}\text{C}$ 의 각 조건에서는 그 보다 낮은 23.5°C , 23°C , 23.63°C 로 지각하고, -6°C 조건에서는 무려 19.8°C 로 실내 환경에 대한 지각온도가 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 반면 $-1\sim -2^{\circ}\text{C}$ 조건에서는 오히려 통제조건보다 실내 환경에 대한 지각온도가 높은 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 좌석시트 공조를 통해 각 개인이 실내 환경이 시원해졌다고 느낄 수 있는 환경을 구성하려면 적어도 실내온도와 좌석시트 공조온도 간에 차이가 3°C 이상 필요할 수 있음을 시사하는 것으로 해석해 볼 수 있다. 그러나 단순히 실내 환경에 대한 지각온도가 감소했다고 해서 그 환경에 대해 재실자들이 쾌적하다고 느끼며 만족하는지의 여부는 별개의 개념이라 할 수 있다.

이에 따라 실내 환경에 대한 재실자들의 쾌적여부를 반영하는 CSV 측정치를 활용하여 적응 전/후 조건과 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건에 따른 CSV의 차이를 살펴보았다. 그 결과, 적응 전/후 조건과 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건 간의 상호작용 효과는 경향성을 보여주는 것으로 나타났다[F(6, 21) = 2.08, p = .099]. 반면 적응 전/후의 주효과[F(1, 21) = 0.20, p = .661]와 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건의 주효과는 모두 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다[F(6, 21) = 0.87, p = .535].

<Figure 2>에서 확인할 수 있듯이, 통제조건 및 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이가 -1°C 인 조건과 -6°C 인 조건에서는 실내 환경에 대한 적응 이후 시점으로 갈수록 쾌적감은 떨어지는 것을 알 수 있다. 반면 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이가 $-2^{\circ}\text{C}\sim -5^{\circ}\text{C}$ 인 조건에서는 실내

환경에 대한 적응 이후 시점으로 갈수록 쾌적감은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 좌석시트 공조가 지각되는 온도를 떨어트리는 효과는 가지고 있지만 무조건적으로 인간에게 쾌적함을 유발하는 방향으로 유도되지 않는 것으로 해석할 수 있다. 이는 결국 인간에게 있어 쾌적감을 유발할 수 있도록 유도하는 데에는 한계들이 존재함을 시사하는 결과라 할 수 있다.



<Figure 2> Results of CSV

이처럼 PT와 CSV를 토대로 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이의 적정범위를 고려해 보면, <Table 1>과 같이 실내온도에 비해 좌석시트 온도가 3℃ 낮은 조건에서 5℃ 낮은 조건에 이르기까지를 설정해 볼 수 있다.

그러나 주관적 만족과 생리적 만족의 결과가 항상 일치하는 것은 아니기 때문에 주관적 만족만을 살펴본 실험 1의 결과에 객관적인 측정치로서의 생리적 변화가 추가되어야 할 필요가 있다[4, 5, 7, 10].

<Table 1> Optimal Range Considering PT and CSV

Condition	PT (Compare to Control Condition)	CSV	Optimal Range
Control	-	-	-
-1	Up	Discomfort	
-2	Up	Comfort	
-3	Down	Comfort	Selected
-4	Down	Comfort	Selected
-5	Down	Comfort	Selected
-6	Down	Discomfort	

3. Experiment 2

실험 2는 실험 1에서 심리적 만족이 유발된 실내 온도와 좌석시트 공조온도 차이조건을 실험조건으로 구성하

여 이 실험 조건에서 착석자의 생리적 반응인 HRV를 살펴봄으로써 주관적 만족과 객관적 만족을 고려한 최적의 좌석시트 공조제어 조건을 살펴보고자 하였다.

3.1 Participants

실험 1에 참여하지 않은 H대학교 학생 32명(남학생 18명, 여학생 14명)이 실험에 참여하였다. 이들의 평균연령은 21.2(±1.6)세였으며, 의복 착의량과 활동량은 실험 1과 동일하게 통제하였다.

3.2 Experimental Environment, Stimulus and Apparatus

실험환경과 실험자극은 실험 1과 동일하게 구성하였으며, 착석자의 생리적 반응인 HRV를 측정하기 위해서 Biopac Systems Inc.(USA)에서 제작한 Biopacamp를 사용하였다[12]. 또한 생리 데이터의 입력 및 분석은 Chart 5를 활용하였다. HRV의 전극은 Lead I을 기준으로 오른쪽 팔목의 맥박이 뛰는 부분에 reference를 잡고 왼쪽 팔목의 맥박이 뛰는 부분에서 신호를 측정하였다[10].

3.3 Experimental Conditions

실험조건은 좌석시트에 공조가 이루어지지 않는 통제조건과 좌석시트 공조온도가 실내온도보다 3℃~5℃ 낮은 3개의 공조조건으로 총 4개의 좌석시트 공조조건으로 구성하였다. 이는 실험 1에서 적응 이전에 비해 적응 이후에 주관적으로 보다 쾌적하다고 응답한 조건들이었다. 또한 각 좌석시트 공조조건에 실험참가자들을 무선할당하여 피험자간 설계방식으로 실험조건을 구성하였다.

3.4 Experimental Procedures

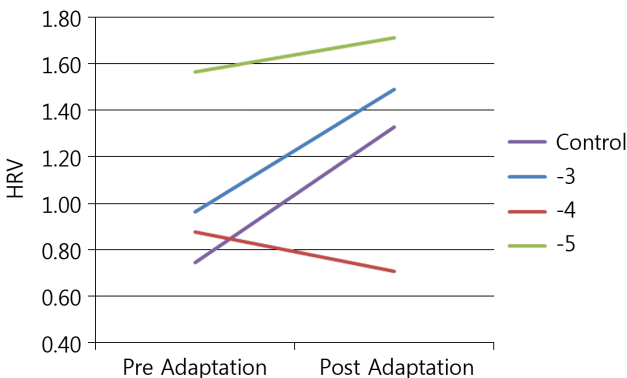
실험 1과 동일하게 실험참가자들은 28℃로 유지되는 대기실에서 실험에 대한 설명 및 실험 참가 동의서를 작성하였다. 이 후 실험실에서 본인에게 할당된 실험조건에 따라 좌석시트에 착석하도록 하고, HRV 측정을 위한 전극을 부착하였다. 전극 부착이 완료되면 본 실험에서 먼저 실험참가자들의 HRV 기저선 상태를 측정하였다. 이는 실험자극이 제시되기 전에 현재 환경에 대한 생리적 반응만을 살펴보는 구간(base 구간)으로 3분으로 구성되었다. 이후 실험자극을 제시하면서 기저선 구간만큼의 시간간격을 두어 좌석시트 공조 적용 전 HRV 반응을 측정하였다. 또한 실험자극이 완료되기 전 기저선 구간만큼의 시간간격동안 좌석시트 공조 적용 후 HRV 반응을 측정하였다.

3.5 Results and Discussion

좌석시트 공조 적용 전/후(2) 및 실내온도와 좌석시트 공조온도의 차이 조건(4)을 독립변수로 하고, HRV 반응을 종속변수로 하며, 기저선 HRV 반응을 공변인으로 하는 2×4 공변량 분석을 실시하였다. 그 결과, 공변인의 효과는 통계적으로 유의미하지 않았으며[F(1, 27) = 3.54, p = .071], 공조시트 적용 전/후의 주효과[F(1, 27) = 7.25, p = .012] 및 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건의 주효과[F(3, 27) = 4.43, p = .012]가 각각 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

세부적으로 살펴보면, 좌석시트 공조 적용 전(M = 1.04)에 비해 적용 후(M = 1.31)에 HRV 반응이 더 큰 것으로 나타났다. HRV 반응이 LF/HF의 비율이기 때문에 교감 신경계의 상대적 활성화를 반영하는 LF값이 부교감 신경계의 상대적 활성화를 반영하는 HF값에 비해 커지면 긴장 상태를 유발하는 것으로 해석하고 반대의 경우에는 이완 상태를 유발하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 이 결과는 좌석시트 공조 적용이 이루어짐에 따라 생리적인 긴장상태가 유발될 수 있음을 의미하는 것으로 해석할 수 있다.

그러나 실험자극이 일부 이완적 상태를 유도할 수 있는 영상이었음에도 불구하고 오히려 긴장상태로의 변화 결과에 도달했음은 좌석시트 공조가 생리적 각성에 영향을 미친 것으로 이해할 수 있다. 이에 따라 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이 조건에 따른 결과를 세부적으로 살펴보면, 통제조건(M = 1.04)에 비해 HRV 반응이 감소한 것은 -4℃ 차이 조건(M = 0.79)였으며, -3℃(M = 1.23)와 -5℃ 차이 조건(M = 1.64)에서의 HRV 반응은 통제조건에 비해 증가한 것으로 나타났다. 좌석시트 공조 적용 전/후와의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하지 않았으나[F(3, 27) = .89, n.s.], -4℃ 차이 조건에서만 적용 전(M = 0.88)에 비해 적용 후(M = 0.71)에 HRV 반응이 감소하는 것을 확인할 수 있었다(<Figure 3> 참조).



<Figure 3> Results of HRV Responses

이처럼 HRV를 토대로 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이의 적정범위를 고려해 보면, <Table 2>와 같이 실내온도에 비해 좌석시트의 온도가 4℃ 낮은 조건을 설정해 볼 수 있다.

<Table 2> Optimal Range Considering HRV

Condition	HRV	Optimal Range
Control	-	-
-3	Up	
-4	Down	Selected
-5	Up	

4. Conclusion

본 연구는 특수 설계된 좌석시트를 활용하여 개별 공조 실험을 통해 착석자의 주관적 만족도(지각된 온도와 쾌적감)와 생리적 만족도(HRV 반응)을 고려하여 개별 좌석시트 공조의 최적 제어방식을 탐색해보고자 하였다.

4.1 Psychological Responses

주관적 만족도를 중심으로 살펴본 실험 1에서는 실내온도와 좌석시트 공조온도의 차이 조건인 -3℃~-5℃ 조건(실내온도에 비해 좌석시트 공조온도가 3℃~5℃ 낮은 조건)에서 착석자의 만족도가 상승하는 결과가 나타났다.

세부적으로 검토해 보면, 좌석시트 공조를 실시하지 않은 통제조건에서 좌석시트 공조 적용 전에 비해 후에 만족도가 저하됨을 확인하였다. 이는 일반적으로 한 자리에 오랫동안 착석해 있으면 실내 온도가 변하지 않더라도 시간이 흐름에 따라 마찰 및 압력으로 인한 발열이 착석자의 만족도를 저하시키는 것으로 해석할 수 있는 부분이다.

또한 실내온도보다 좌석시트 공조온도가 1℃ 더 낮은 조건에서는 실제 좌석시트 공조가 진행되었음에도 불구하고 착석자들의 만족도의 변화는 통제조건과 동일하게 나타남을 확인하였다. 한편 실내온도보다 좌석시트 공조온도가 6℃인 조건에서도 좌석시트 공조가 진행되에도 불구하고 그 차이가 커짐에 따라 오히려 불만족감을 유발할 수 있음을 확인하였다. 이는 착석자들의 만족도 변화를 유도하기 위해서는 일정수준 이상의 온도 차가 존재하는 공조가 개별 좌석시트에 이루어져야 함과 더불어 공조온도 차이에 있어서도 적정범위가 존재해야 함을 시사하는 것이라 할 수 있다.

4.2 Physiological Responses

생리적 만족도를 중심으로 살펴본 실험 2에서는 실내 온도와 좌석시트 공조온도의 차이 조건이 -4°C 조건(실내온도에 비해 좌석시트 공조온도가 4°C 낮은 조건)에서 착석자의 만족도가 상승, 즉 긴장완화의 결과가 나타났다.

세부적으로 검토해보면, 실내온도와 좌석시트 공조온도의 차이가 -3°C 인 경우와 -5°C 인 경우에는 생리적 긴장완화를 유발하기보다 오히려 긴장을 유발하는 형태의 결과가 나타남을 확인하였다. 반면 실내온도와 좌석시트 공조온도 차이가 -4°C 인 조건에서만 생리적 긴장완화의 결과가 나타났다. 이는 착석자가 주관적으로 만족하는 수준($-3^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$)이 존재하더라도 이러한 결과가 생리적 반응을 기반으로 한 만족도에서의 결과와 일치하지 않음을 시사하는 것이다. 또한 착석자가 만족할 수 있는 좌석시트 공조조건은 주관적 만족과 생리적 만족을 모두 고려할 때 -4°C 조건이 적정할 것으로 판단할 수 있다.

Acknowledgement

This research was supported by the Pioneer Research Center Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (2011-0027994).

References

- [1] ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment : Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.
- [2] Kim, B., Exploring the relationship between indoor thermal environment factors and PMV index according to the air conditioning types. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 2014, Vol. 16, No. 4, pp. 1917-1924.
- [3] Kim, B. and Min, Y.K., The characteristics of physical environment factors according to comfortable environment classification based on the thermal comfort sensation. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 2013, Vol. 15, No. 6, pp. 3181-3190.
- [4] Kim, B. and Min, Y.K., Exploring the possibility of utilizing facial skin temperature for reflection of subjective thermal comfort sensation on the composition of learner-centered comfort learning environment. *Journal of Social Science (Institute of Social Science Chungnam National University)*, 2014, Vol. 25, No. 1, pp. 3-13.
- [5] Kim, B., Min, Y.K., Min, B.C., and Kim, J.H., The change of psychological and physiological emotional responses according to change of the index of predicted mean vote (PMV) due to air conditioning types. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 2011, Vol. 14, No. 4, pp. 645-652.
- [6] Kim, B., Min, Y.K., Min, B.C., and Kim, J.H., Effects of thermal environmental factors on behavioral responses of the selective attention mechanism. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 2011, Vol. 13, No. 5, pp. 2523-2533.
- [7] Kim, B., Min, Y.K., Shin, E., and Kim, J.H., The validation study of shaping comfortable environments based on the PMV index using facial skin temperature. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 2013, Vol. 16, No. 3, pp. 311-318.
- [8] Kim, J.Y., Yun, S.Y., Pyun, H.K., Cho, Y.J., and Kim, M.S., Design of ergonomic chair considering consumer's emotional preference and usability, and development of interface for designers. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 2000, Vol. 19, No. 1, pp. 23-36.
- [9] Kim, M.U., Byeon, S.J., Lee, G.E., Jeong, S.Y., Jo, J.Y., Choi, W.J., Choe, C.Y., Kim, K., Effects of position of the back of a chair to muscle activity during computer work. *Journal of Rehabilitation Science (Institute of Special Education and Rehabilitation Science, Taegu University)*, 2011, Vol. 29, No. 1, pp. 55-68.
- [10] Lee, Y.C., Lee, H.J., Hwang, E.J., Bae, J.W., Min, Y.K., and Kim, B., ANS and CNS responses according to thermal comfort based on the PMV. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 2013, Vol. 15, No. 1, pp. 349-358.
- [11] Lee Y.C., Min, Y.K., Min, B.C., and Kim, B., Changes of behavioral and physiological responses caused by color temperature. *Science of Emotion and Sensibility*, 2015, Vol. 18, No. 2, pp. 37-44.
- [12] Min, B.C., Min, Y.K., Kim, Y.S., Lee, B.S., Kim, Y.S., Min, S.Y., Kim, B., and Kang, J.K., Driving behavior characteristic analysis of an older driver on a driving simulator. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2009, Vol. 32, No. 1, pp. 67-71.

- [13] Min, Y.K., Jung, W.H., and Kim, B., The effect of indoor thermal comfort on visual search task performances in a personal learning environment. *Psychology and Behavioral Sciences*, 2014, Vol. 3, No. 6, pp. 185-191.
- [14] Park, J.H., Kim, S.H., Kim, M.U., Jung, H.B., and Shim, Y.S., *Evaluation of sitting postures and discomfort of VDT work by measuring seat pressure*. Proceedings of HCI 2012 Conference, 2012, Vol. 1, pp. 790-792.

ORCIDBoseong Kim | <http://orcid.org/0000-0002-1791-3637>Seung Hyun Kwak | <http://orcid.org/0000-0002-4592-654X>Sang Hyeok Seo | <http://orcid.org/0000-0002-9067-3975>Byung Chan Min | <http://orcid.org/0000-0001-6663-0871>