

## 다중회귀분석을 통한 PMV 모델의 단순화

문 용 준, 노 광 철\*, 오 명 도\*\*†

서울시립대학교 대학원 기계정보공학과, \*연세대학교 기계공학부, \*\*서울시립대학교 기계정보공학과

### Simplification of PMV through Multiple Regression Analysis

Yong-Jun Moon, Kwang-Chul Noh\*, Myung-Do Oh\*\*†

School of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

\*School of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

\*\*Department of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received August 21, 2007; revision received October 11, 2007)

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to present a simplified model of predicted mean vote (PMV) using multiple regression analysis. We performed the experiments and the numerical calculations in the lecture room during summer and winter to simplify PMV. And the multiple regression analysis on PMV was conducted to estimate the contribution of independent variables toward PMV. From the multiple regression analysis, we found that the effect of independent variables on PMV followed in order, clo value>air temperature>air velocity>mean radiant temperature>relative humidity. And the simplified PMV was proposed through a few assumptions and then was compared with original PMV. They had a good agreement with each other. Additionally, we compared the simplified PMV with EDT. We expected that the simplified PMV can be more useful than EDT to evaluate the thermal comfort in the place, where radiation is dominant. But the comfort range of the simplified PMV should be adjusted to predict the exact thermal comfort in the future.

**Key words:** Effective draft temperature(유효드래프트온도), Multiple regression analysis(다중회귀분석), Predicted mean vote(온열쾌적감)

#### 기 호 설 명

*PMV* : 온열쾌적감, 식 (1)

*EDT* : 유효드래프트온도 [°C]

*M* : 신체표면적당 신진대사량 [W/m<sup>2</sup>]

*W* : 외부로 행하는 일 [W/m<sup>2</sup>]

*P<sub>a</sub>* : 수증기분압 [W/m<sup>2</sup>]

*RH* : 상대습도 [%]

*t* : 온도 [°C]

*V* : 속도 [m/s]

*f* : 면적 비, *A<sub>cl</sub>/A<sub>D</sub>*

*h* : 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]

#### 하첨자

*a* : 공기

*r* : 복사

*c* : 실내 평균, 설정

*cl* : 의복

*conv* : 대류

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2210-2756; Fax: +82-2-2210-5575

E-mail address: mdoh@uos.ac.kr

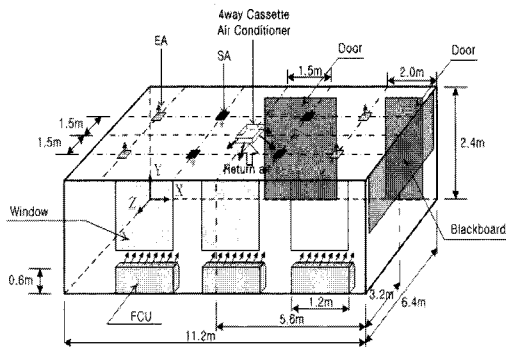


Fig. 1 Schematic design of the lecture room.

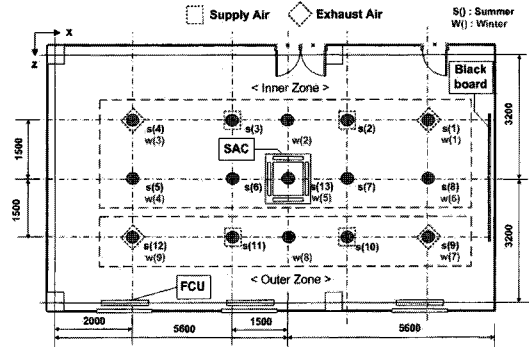


Fig. 2 Measuring points for experiments.

## 1. 서 론

사회가 발전되고 경제적으로 윤택하게 됨에 따라 인간은 보다 편안하고 쾌적한 실내 환경을 추구하고자 한다. 이는 현대인에게 일의 효율성을 증가시키고 나아가 인간의 건강을 유지하는데 매우 중요하므로 그 중요성이 더욱 강조되고 있다고 하겠다. 그동안 실내 환경과 인간의 쾌적감과 상관을 밝혀내려는 연구들을 통해 다양한 열쾌적성 평가지표들이 개발되었으며, 이를 통해 실내의 열적 쾌적성을 종합적으로 평가하여 건물 설계단계에서부터 반영하도록 고려되고 있다. 대표적인 열환경 평가지표로 국제적인 기준으로 인정받고 있는 예상온열감(predicted mean vote, 이하 PMV라고 칭함)은 주위 환경과 인체의 열평형을 기초로 제안된 물리적으로 타당한 지표이다. PMV는 인간의 온열감각을 형성하는 주요한 인자들(신진대사량, 의복 열저항치, 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 상대습도 등)을 포함하여 종합적인 지표로서의 활용도가 높지만 고려해야 할 사항이 많아 쉽게 적용하기 어려운 면이 있다. 최근의 PMV와 관련된 연구들은 주로 지표의 타당성과 적용성을 검토하고,<sup>(1)</sup> 보다 다양한 환경에서 PMV를 활용할 수 있도록 확장한 연구들이다.<sup>(2,3)</sup> 하지만 이는 PMV를 보다 쉽게 적용하기 보단 더욱 사용하기가 엄격해졌음을 의미한다. 반면에 가정을 통해 PMV를 단순화하고, 이를 이용해 새로운 유효온도(effective temperature)를 정의하여, PMV, ET\*(new effective temperature)와 비교한 연구도 있었다.<sup>(4)</sup> 하지만 이 과정을 통해 단순화된 PMV는 쾌적범위의 근방에서만 적용이

가능하며, PMV와 마찬가지로 사용하기 쉽지 않아 보인다. 그래서 다수의 사용자들은 실내 환경을 평가하는데 있어 보다 쉽게 적용이 가능한 다른 환경지표들을 혼용하여 사용해왔다. 하지만 다른 열환경지표들에 비해 사용빈도가 높고, 정확하며 유용한 PMV를 보다 쉽게 적용하기 위한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 PMV를 보다 쉽게 적용할 수 있는 간단한 지표로 활용하기 위해 PMV에 대한 통계적 접근방법을 검토하였다. 이를 위해 PMV에 미치는 주요 변수의 영향을 정량적으로 분석하기 위해, PMV와 구성변수의 관계를 다중회귀분석을 통해 추정하여 PMV에 대한 회귀식을 구하였으며, PMV 실험값과 비교하여 타당성을 검증하였다. 그리고 PMV에 미치는 영향이 큰 주요 변수로 구성되도록 PMV를 단순화하여, PMV와 간단하면서 유용한 또 다른 지표인 EDT(effective draft temperature, 이하 EDT라고 칭함)와 비교하여 보다 쉽게 적용할 수 있는 지표로의 가능성을 검토하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 예상온열감 (PMV)

PMV<sup>(5)</sup>는 인체와 주위환경간의 열적반응에 대한 인체의 열평형을 기초로 한 이론식과 1300여 명의 서구인을 대상으로 한 실험을 토대로 인간이 느끼는 열적감각을 정량적인 수치로 나타낸 것으로 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.0036M} + 0.28) \times [(M - W) \\
 & - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) \\
 & - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] \\
 & - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0.0014M \\
 & (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 \\
 & - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_{conv} (t_{cl} - t_a)]
 \end{aligned} \quad (1)$$

PMV는 ASHRAE의 온열감 7단계 척도를 기준으로 -3~3까지를 사용범위로 하고 있으며, -0.5~0.5상태의 값을 쾌적범위로 사용한다. 일반적으로 사무실 및 주거환경에 적용하는 경우에는 인간의 감각과 잘 맞아 열환경 평가에 많이 사용되고 있다.

### 2.2 유효드래프트온도(EDT)

EDT<sup>(6)</sup>는 건구온도와 공기의 속도에 의한 효과를 조합하여 제안한 실험식이다. 일반적으로 EDT는 재실영역에서의 국소기류와 온도분포가 EDT의 쾌적범위에 포함되는 비율을 나타내는 지표인 기류분포성능지표(air diffusion performance index)를 평가하는데 주로 이용된다. EDT는 다음 식(2)와 같이 구해지며, -1.7°C~1.1°C의 쾌적범위에서 앉은 자세로 일에 종사하는 사람들이 쾌적하다고 느낀다.

$$EDT = (t_a - t_c) - 8(V_a - 0.15) \quad (2)$$

## 3. 실험

### 3.1 측정 장소 및 측정 장비

본 연구는 시스템에어컨, 환코일유닛, 환기장치가 설치된 강의실을 대상으로 하였으며, 대상공

Table 1 Recommended range for PMV variables in ISO 7730

Category	Range
Metabolic rate [met]	1.2
Clothing [clo]	0.5~1.5
Air temperature [°C]	10~30
Mean radiant temperature [°C]	10~40
Air velocity [m/s]	0~1.0
Relative humidity [%]	30~70

간은 Fig. 1과 같다. 대상공간에서 PMV와 EDT를 측정하기 위해 사용된 측정장비는 INNOVA사의 Data logger 1221과 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 상대습도 등을 측정하는 센서로 구성되어 있다. 이 측정장비를 이용하면 PMV는 직접적으로 실측을 통해 구할 수 있으며, EDT는 이 장비를 통해 측정된 건구온도와 기류속도를 이용하여 계산하였다.

### 3.2 측정 방법

본 실험에서의 측정위치는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 측정위치는 여름에는 총 13지점, 겨울에는 총 9점에서 이루어졌으며, 전체적으로 측정점의 위치가 고르게 분포되도록 선정하였다. 그리고 대상공간을 평균복사온도의 영향을 고려하여 내부영역(inner zone)과 외부영역(outer zone)으로 구분하였다.

측정실험은 여름철과 겨울철로 나누어 실시하였으며, 하계실험은 2004년 9월, 동계실험은 2006년 11월과 12월에 수행되었다. 측정높이는 앉은 상태의 사람의 호흡선 높이인 1.1m로 동일하게 수행하였으며, 모든 측정점에서의 값은 각 측정위치에서의 온·습도가 안정된 이후에 샘플링된 값을 사용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 PMV 회귀분석

PMV를 구성하는 각 변수들은 식(1)에서와 같이 서로 밀접하게 연관되어 있어 각 변수의 상호작용에 의해 PMV값을 결정한다. 따라서 식(1)에서는 PMV에 미치는 각 변수의 영향을 명확하게 구분하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 PMV 변수들이 지표에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 수치적인 방법으로 PMV에 대한 다중회귀분석<sup>(7,8)</sup>을 수행하였다.

PMV를 종속변수로 하고, 독립변수들은 의복 열저항치, 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 상대습도로 하여 데이터 1,360,590개로 다중회귀분석을 하였다. 회귀분석을 위해 적용한 독립변수의 범위는 Table 1과 같으며, 각 변수의 사용범위는 ISO 7730에서 제시하는 PMV 사용에 대한

Table 2 Results of multiple regression analysis for parameter that effect on PMV

Dependent variable : PMV				
Variable	Coefficient	Error	t-Statistic	Prob> t
Intercept	-7.2338	1.8E-3	-3818.4	<0.0001
Air Temp.	0.1536	4.8E-5	3230.8	<0.0001
Mean Radiant Temp.	0.0939	3.2E-5	2917.9	<0.0001
Clo value	1.6438	9.1E-4	1805.2	<0.0001
Relative Humidity	0.005	2.0E-5	271.5	<0.0001
Air velocity	-1.1330	1.2E-3	-958.6	<0.0001
R-square	0.9446	Root-MSE(SD)		0.3358
Adj. R-square	0.9446	F statistic		4.6E6

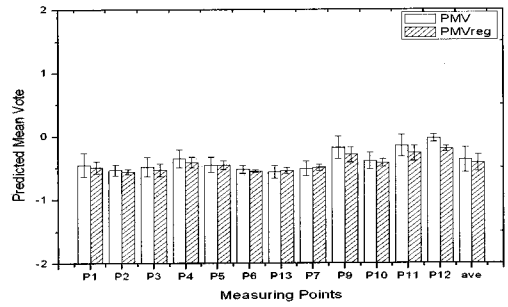
권장범위를 선택하였다. 여기서 재실자의 신진대사량은 일반적으로 앉아있는 상태로 일을 하는 상태에 해당하는 값인 1.2 met으로 고정하여 사용하였다. 이는 본 연구의 대상이 된 학교나 사무실과 같은 일반적인 실내환경에서 재실자들의 활동이 대부분 정좌 상태로 수행된다는 점과 그 활동량이 평균(정좌 상태)을 크게 벗어나지 않을 것을 감안하여 그에 준하는 값으로 설정한 것이다.

다중회귀분석을 한 결과는 Table 2와 같으며, 다음 식(3)과 같은 PMV에 대한 회귀식을 얻을 수 있다.

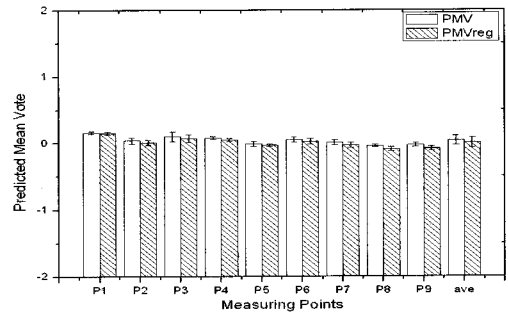
$$PMV_{reg} = 0.1536 T_a + 0.0939 T_r + 1.6438 Clo + 0.0055 RH - 1.133 V_a - 7.2339 \quad (3)$$

Table 2를 보면 결정계수( $R^2$ )와 조정된 결정계수(adjusted  $R^2$ )가 모두 0.9446으로 PMV 회귀식은 매우 높은 신뢰도를 가진 회귀분석결과라고 볼 수 있다. 그리고 전체적으로 잔차항들이 평균을 중심으로  $1\sigma$ (표준편차)내에 분포하는 것을 알 수 있으므로 회귀분석결과가 매우 유용함을 알 수 있다.

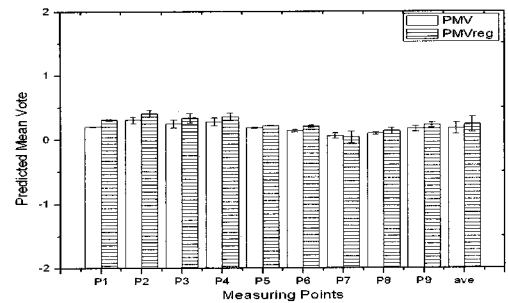
PMV에 대한 회귀식 (3)을 보면 PMV에 미치는 각 변수의 크기를 나타내는 계수의 값은 의복 열저항치 > 기류속도 > 건구온도 > 평균복사온도 > 상대습도의 순서로 크게 나타났지만, 각 변수의 범위와 크기를 고려해볼 때 의복 열저항치 > 건구



(a) Summer (Tr > Ta)



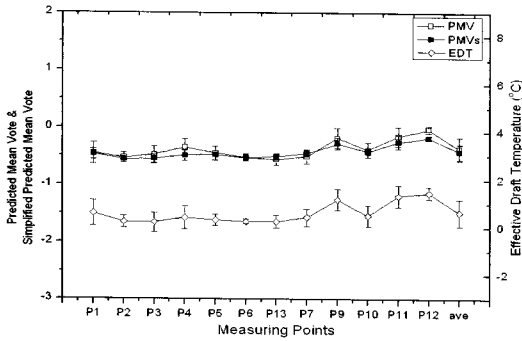
(b) Winter (Tr = Ta)



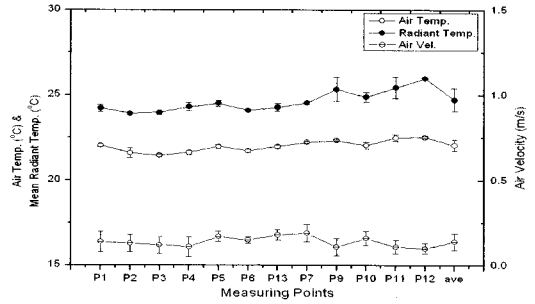
(c) Winter (Tr < Ta)

Fig. 3 Comparison of PMV and PMV regression in summer and winter.

온도 > 기류속도 > 평균복사온도 > 상대습도의 순서로 PMV에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 식(3)을 통해 PMV에 대한 각 변수의 계수인, 의복 열저항치, 건구온도, 평균복사온도, 상대습도는 PMV와 양의 상관관계를 가지며, 기류속도는 음의 상관관계에 있음을 확인할 수 있다. 또한 Table 2에서 각 변수들에 대한 t 검정량을 살펴보면, 대부분 t 검정량이 매우 높으며, 0이 될 확률이 모두 0.0001보다 작은 것으로 나타나 통계적으로 매우 유의성을 갖는 변수들임을 알 수

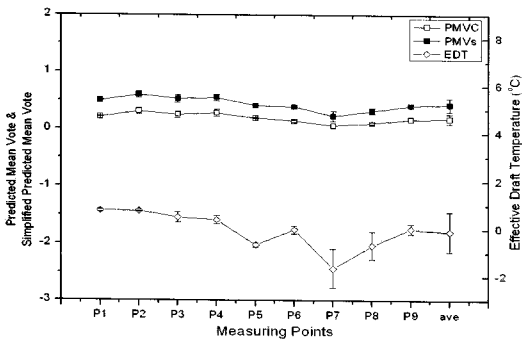


(a) PMVs, PMV and EDT

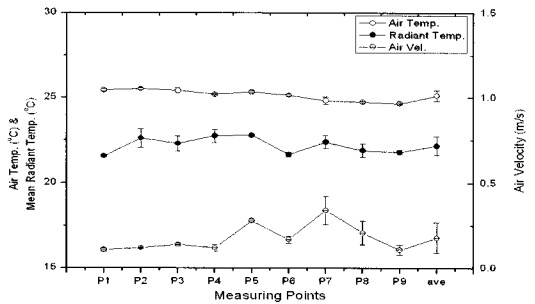


(b) Mean radiant temperature, Air temperature and Air Velocity

Fig. 4 Comparison of PMVs, PMV and EDT in summer.



(a) PMVs, PMV and EDT



(b) Mean radiant temperature, Air temperature and Air Velocity

Fig. 5 Comparison of PMVs, PMV and EDT in winter.

있다.

#### 4.2 PMV 회귀식의 타당성 검증

PMV 회귀식의 타당성을 검증하기 위해 실험 결과를 토대로 PMV 실험값과 비교하였다. 모든 실험날짜에 대해 PMV 실험값과 PMV 회귀식을 비교한 결과, 두 값의 차이는 평균적으로 최소 0.03에서 최대 0.09로 나타났으며 이를 통해 PMV와 회귀식의 유사함을 확인할 수 있었다. Fig. 3은 실험결과를 평균복사온도와 건구온도의 차이에 따라 구분하여 나타낸 것이다. 이는 전체적으로 PMV 실험값과 PMV 회귀식의 차이가 두 온도의 차이를 기준으로 두드러지게 나타났기 때문으로, 하계 실험결과에서는 대부분 평균복사온도가 건구온도에 비해 평균적으로 2°C정도 높게 나타난 반면, 동계 실험결과에서는 측정시간에 따라 오전에

는 비교적 평균복사온도가 실내 건구온도에 비해 크지 않았으며, 오후 늦은 시간에는 평균복사온도가 실내 건구온도보다 평균적으로 3°C정도 낮게 나타났다. 그리고 이에 따른 결과를 살펴보면, 평균적으로 평균복사온도가 건구온도와 유사한 경우(겨울)에는 PMV 실험값과 PMV 회귀식의 차이가 평균적으로 가장 작게 나타났다. 그리고 평균복사온도가 건구온도에 비해 큰 경우(여름)에는 PMV가 회귀식에 비해 크게 나타났으며, 반대로 평균복사온도가 건구온도에 비해 작은 경우(겨울)에는 PMV가 회귀식에 비해 작게 나타났다. 하지만 전체적으로 PMV 회귀식이 각 변수의 변화에 따른 PMV의 변화를 적절하게 반영하고 있음을 알 수 있다.

실험결과만 살펴본다면 PMV 실험값과 회귀식의 차이가 두 온도의 차이에 의한 결과와 관련이 크다고 생각되어지나, PMV 회귀식에서 기류속

Table 3 Comparison of PMVs, PMV<sub>reg</sub>, PMV and EDT with average value in summer and winter

Summer								
Measuring Point	Air velocity [m/s]	Air temp. [°C]	Mean radiant temp. [°C]	PMVs	PMV <sub>reg</sub>	PMV	EDT	
Inner zone	1	0.14	22.05	24.24	-0.47	-0.49	-0.45	0.60
	2	0.13	21.61	23.92	-0.56	-0.56	-0.53	0.24
	3	0.12	21.45	23.98	-0.55	-0.53	-0.48	0.22
	4	0.11	21.63	24.32	-0.49	-0.41	-0.35	0.42
	5	0.17	21.98	24.52	-0.48	-0.45	-0.45	0.32
	6	0.15	21.73	24.11	-0.53	-0.55	-0.52	0.26
	13	0.18	21.98	24.29	-0.51	-0.54	-0.56	0.26
Outer zone	7	0.19	22.23	24.55	-0.46	-0.49	-0.51	0.43
	9	0.11	22.35	25.35	-0.28	-0.29	-0.18	1.18
	10	0.16	22.05	24.90	-0.42	-0.42	-0.39	0.51
	11	0.11	22.50	25.45	-0.25	-0.27	-0.15	1.33
	12	0.10	22.54	25.99	-0.18	-0.20	-0.03	1.46
Total	0.14	22.06	24.75	-0.37	-0.42	-0.42	0.64	
Winter								
Measuring Point	Air velocity [m/s]	Air temp. [°C]	Mean radiant temp. [°C]	PMVs	PMV <sub>reg</sub>	PMV	EDT	
Inner zone	1	0.11	25.46	21.59	0.50	0.31	0.21	0.77
	2	0.12	25.53	22.63	0.60	0.41	0.31	0.77
	3	0.14	25.43	22.31	0.53	0.34	0.25	0.50
	4	0.12	25.20	22.76	0.55	0.37	0.28	0.40
	5	0.28	25.35	22.80	0.41	0.22	0.19	-0.65
	6	0.17	25.15	21.67	0.39	0.21	0.14	-0.01
Outer zone	7	0.34	24.84	22.41	0.23	0.04	0.06	-1.64
	8	0.21	24.76	21.91	0.32	0.14	0.10	-0.68
	9	0.11	24.67	21.82	0.41	0.23	0.17	0.02
Total	0.18	25.13	22.19	0.43	0.24	0.18	-0.10	

도, 의복 열저항치 등의 계수가 PMV에 미치는 영향이 크다는 점을 감안할 때 이 두 변수에 의한 영향을 배제할 수는 없다고 판단된다. 따라서 계절에 따른 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4.3 PMV 회귀식을 이용한 단순 PMV 모델

본 연구에서는 PMV를 보다 쉽게 적용하기 위해 회귀분석을 통해 구한 각 변수의 영향을 고려하여 PMV 회귀식을 중요 변수로 구성되도록 단순화하였다. 변수를 살펴보면 PMV에 미치는 영향이 가장 큰 의복 열저항치는, 물리적인 환경변

수가 아닌 재실자와 관련된 인자로 재실자가 착용한 의복에 따라 다르게 적용하는 값이다. 하지만 일반적으로 의복 열저항치는 계절에 따라 통상적으로 적용되는 일정한 값을 선택하거나, 모든 재실자의 의복에 대한 열저항치값을 평균하여 사용한다. 따라서 본 연구에서는 의복 열저항치에 대한 값을 실험과 동일하게 계절에 따라 각각 하계에는 0.6 *clo*, 동계에는 1.0 *clo*로 선정하였다. 그리고 Table 2에서 보는 바와 같이 상대습도의 계수는 다른 변수들에 비해 가장 작은 0.0055이고, *t* 검정량도 다른 변수들에 비해 작다. 따라서 상대적으로 다른 변수들에 비해 PMV에 미치는 영향이 미비하므로 그 영향을 고려하여, ISO에서

권고하는 상대습도의 범위(30%~70%)의 평균값인 50%로 고정하여 사용하였다. 따라서 PMV에 주요한 영향을 미치는 변수로 물리적 변수들인 건구온도, 평균복사온도, 기류속도를 선택하여 다음 식(4)와 같이 계절에 따른 단순화된 PMV식(이하  $PMV_s$ 라고 칭함)을 구하였다.

$$PMV_s = 0.1536 T_a + 0.0939 T_r - 1.133 V_a - \begin{cases} 5.9711 & (summer) \\ 5.3136 & (winter) \end{cases} \quad (4)$$

$PMV_s$ 의 타당성을 검증하기 위해 실험결과를 토대로  $PMV_{reg}$ , PMV, EDT와 비교하여 Fig. 4와 Fig. 5에 주요 변수와 함께 나타내었다. 그리고 Table 3에는 각 측정위치에 대해 주요 변수와 각 지표의 평균값을 수치로 나타내었다. 여기서 EDT를 비교대상으로 선택한 이유는 Noh 등의 연구<sup>(9,10)</sup>를 통해 PMV와 EDT의 관계에서 높은 연관성이 있는 것으로 조사되었고, EDT가 건구온도와 기류속도, 두 가지의 물리적 변수로만 구성되어 있다는 점에서 PMV를 단순화한  $PMV_s$ 의 타당성을 검증하는데 비교대상으로 유효하다고 판단되었기 때문이다. Fig. 4와 Fig. 5를 보면, 우선 각 변수의 변화에 따른 각 지표의 변화형태가 대부분 매우 유사하다는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 Noh 등의 연구<sup>(9,10)</sup>에서 조사되었던 PMV와 EDT의 연관성을 확인할 수 있다. 그리고 특히  $PMV_s$ 가 PMV와 더욱 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 PMV와 유사한 PMV 회귀식을 단순화한 결과에 따른 것으로 볼 수 있다. 하지만 계절에 따라 PMV 실험값과  $PMV_s$ 의 차이가 다소 두드러지는 것을 알 수 있다. 이는 PMV 실험값과 PMV 회귀식간의 잔차에서 기인한 것과 PMV 회귀식을  $PMV_s$ 로 단순화하는 과정에서 상대습도를 50%로 일정하게 고정한 것에 따른 결과로 판단된다. 실제로 Table 3을 보면 하계 실험결과에서는 PMV 실험값이 PMV 회귀식과는 거의 차이가 없고,  $PMV_s$ 와는 0.05정도의 차이를 보이는 반면, 동계 실험결과에서는 PMV가 PMV 회귀식과 0.06정도의 차이를 보였으나,  $PMV_s$ 와는 0.25정도의 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 하계실험의 경우 상대습도가 평균적으로 50%정도로 측정되었고, PMV 회귀식을  $PMV_s$ 로 단순화하는 과정에서 적용한 상대습도 50%가 적절하게 사용된 반면, Fig. 5의 동계 실험결과에

서는 상대습도가 평균적으로 16.5%로 다소 크게 벗어났기 때문이다. 또한 이는 ISO 7730에서 권장하는 PMV 변수의 적용범위인 30%~70%를 벗어난 경우이기도 하다. 따라서 평균 상대습도가 16.5%인 동계결과에서는 상대습도로 인해 적어도  $0.00553 \times (50 - 16.5) = 0.185$ 정도의 차이가 나타나게 되는 것을 알 수 있다. 하지만 PMV 회귀식에서  $PMV_s$ 로 단순화하는 과정에서 적용한 상대습도 50%는 ISO 7730에서 권장하는 상대습도 범위의 상한선과 하한선인 70%, 30%에서 최고 0.00553  $\times 20 = 0.111$ 정도의 차이를 보이므로, 이는 단순화 과정에 의해 추가적으로 발생하는 잔차로 볼 수 있다. 따라서  $PMV_s$ 의 채택범위는 PMV와는 다르게 적용될 필요가 있으며, 이는 재실자를 포함한 실험과 설문조사를 토대로 재조정되어야 할 것이다. 또한 비교결과를 통해 습도에 민감한 환경에서는 실제 PMV 지표보다 더 제안된 새로운 지표의 활용에 제한이 있을 것으로 판단된다.

앞서 살펴본 실험결과를 통해 각 변수의 변화에 따른 PMV,  $PMV_s$ 와 EDT의 변화가 유사하게 나타나 PMV와 EDT의 높은 연관성을 확인할 수 있었다. 하지만 EDT는 PMV와 달리 온도지표이다. 그리고 많은 사용자들이 실내 열쾌적성을 평가하는 과정에서 작용온도, 유효온도, EDT와 같은 온도지표를 자주 인용한다. 따라서 단순화된  $PMV_s$ 를 EDT 형태로 변화시켜 온도지표로서의 가능성을 검토하는 것도 의미가 있을 것으로 판단된다. 따라서 단순화된  $PMV_s$ 를 건구온도, 기류속도만을 고려하는 EDT와 비교하기 위해, 다음 식(5)와 같이  $PMV_s$ 에서 건구온도의 계수로 양변을 나누고 EDT 형태로 바꾸었다. 그리고 동일한 방법으로  $PMV_s^*$ 의 채택범위를 조정하여 함께 나타내었다. 여기서  $PMV_s^*$ 는  $PMV_s$ 를 건구온도의 계수로 나눈 값이다.

$$PMV_s^* = \begin{aligned} & T_a - 7.4(V_a - 0.15) + 0.6 T_r - \begin{cases} 39.98 & (summer) \\ 35.70 & (winter) \end{cases} \\ & - 3.26 \leq PMV_s^* \leq 3.26 \end{aligned} \quad (5)$$

식을 살펴보면  $PMV_s^*$ 와 EDT의 형태가 매우 유사함을 알 수 있다. 여기서 건구온도의 차원을 갖는 EDT식과 마찬가지로  $PMV_s^*$ 의 계수는 각 건구온도의 차원을 갖도록 조정되었음을 알

수 있다. 이는 무차원인  $PMV_s$ 를 건구온도의 계수로 나눈 결과에 따른 것으로, 평균복사온도의 계수 0.6은 [건구온도/평균복사온도]의 차원을 가지며, 기류속도의 계수 7.4는 [건구온도/기류속도]의 차원을 가지게 됨을 알 수 있다. 식을 비교해보면 EDT는 평균복사온도를 고려하지 않는 반면에,  $PMV_s^*$ 에서는 건구온도와 기류속도를 비롯해 평균복사온도가 고려됨을 알 수 있다. 따라서 PMV와 EDT의 연관성을 연구한 Noh 등의 연구<sup>(9,10)</sup> 결과에서 지적되었던 평균복사온도에 의한 EDT사용의 제한을  $PMV_s^*$ 를 통해 해결할 수 있을 것이라고 판단된다. 따라서 실내 환경을 평가하는 지표로 EDT를 대신해 새로운 EDT 형태의  $PMV_s^*$ 를 사용하는 방법도 검토해 볼 필요가 있다. 마찬가지로 이 경우에도 쾌적범위에 대한 재조정이 필요할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 PMV 지표를 단순화하여 PMV 지표의 단순 모델과 이를 응용한 새로운 EDT 형태의 모델을 제안하였다. 이 과정은 고정된 활동량(1.2 met), 계절에 따른 대표적인 의복 열저항치값(여름 : 0.6 clo, 겨울 : 1.0 clo)과 고정된 상대습도(50%)를 가정하여 수행되었으며, 제안된 새로운 지표들을 실험결과와 비교하여 보다 간편하고 적용가능한 지표로의 가능성을 검토하였다. 하지만 새로이 제안된 지표의 쾌적범위에 대한 재조정이 필수적이며, 다수의 실험을 통해 충분히 검토되어야 할 것으로 판단된다. 또한 실제 PMV 지표와 같이 보다 정확하고, 포괄적인 지표로의 활용은 새로운 지표를 정의하는 과정에서 적용한 가정들로 인해 제한적일 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 PMV에 미치는 각 변수의 영향을 정량적으로 평가하기 위해 다중회귀분석을 수행하였다. 그리고 추정된 PMV 회귀식을 PMV와 비교하여 타당성을 검증하였다. 또한 PMV에 미치는 영향이 큰 주요 변수로 구성된 단순 모델  $PMV_s$ 를 제안하고, PMV, EDT와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PMV에 대한 다중회귀분석을 통해 의복 열저항치 > 건구온도 > 기류속도 > 평균복사온도 > 상대습도의 순서로 PMV에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

(2) PMV 회귀식을 PMV 실험값과 비교한 결과 두 값의 차이는 최소 0.03에서 최대 0.09로 나타났다. 이를 통해 PMV와  $PMV_s$  회귀식이 매우 유사한 것으로 나타났다.

(3) 단순화된  $PMV_s$ 와 기존의 PMV를 측정결과를 통해 비교한 결과, 변수 변화에 따른 두 값의 변화가 유사한 경향성을 보였다.

(4) 추가적으로 단순화된 PMV를 EDT형태로 바꾼  $PMV_s^*$ 를 EDT실험값과 비교하여 평균복사온도를 고려하는 새로운 온도지표로의 가능성을 제시하였다.

(5)  $PMV_s$ 와  $PMV_s^*$ 의 적용과 쾌적범위는 다수의 실험과 재실자를 통한 설문조사를 통해 수정, 보완하여 재조정되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 서울시 산학연협력사업 지원과제(과제번호 : 20065126-212) - 미래도시의 웰빙을 위한 실내공기질 관리 기술개발-의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Fanger, P. O., 2002, Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates, Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 533-536.
2. Humphreys, M. A. and Nicol, J. F., 2002, The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments, Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 667-684.
3. Olsen, B. W. and Parsons, K. C., 2002, Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730, Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 537-548.
4. Sherman, M., 1985, A Simplified model of thermal comfort, Energy and Buildings, Vol. 8, pp. 37-50.
5. Fanger, P. O., 1970, Thermal comfort analysis and application in environmental engineering, danish technical press, Copenhagen, Denmark.



6. ASHRAE standard 113-1990, 1990, Method of testing for room air diffusion, ASHRAE, Atlanta, Georgia.
7. Kim. U.C. et al., 2000, Modern statistics, Youngchi, Seoul, pp.275-342.
8. Steven, C.C. and Raymond, P.C., 2004, numerical methods for engineers with software and programming applications, 4th ed., McGraw-Hill Korea, pp.425-459.
9. Noh, K.C. and Oh, M.D., 2005, Comparison of thermal comfort performance indices for cooling loads in the lecture room, Transactions of the KSME, Vol. 29, No. 7, pp.868-877.
10. Noh, K.C. and Oh, M.D., 2004, Experiments on the comparison of thermal comfort performance indices for cooling loads in the lecture room, proceedings of the SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp.259-264.