

工學碩士 學位論文

空氣清淨器的 吹出氣流에 따른 DRAFT 評價

指導教授 琴 鐘 秀



2004年 2月

釜慶大學校 大學院

冷凍空調工學科

金 在 一

김재일의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 12월

주 심 공학박사 윤 정 인

위 원 공학박사 최 광 환

위 원 공학박사 금 중 수



目 次

ABSTRACT	i
List of Tables	iii
List of figures	iv
I. 서론	1
II. 본론	2
1. 기초이론	2
1.1 온열쾌적감(Thermal comfort)	2
1.2 쾌적 범위(Comfort zone)	3
1.3 인체와 주변환경과의 열 교환	5
1.4 국부불쾌감	7
1.5 온열환경 평가지표	10
2. 실측에 의한 기류환경평가	16
2.1 실험장치의 구성	16
2.2 대상시료	17
2.3 토출기류	18
2.4 공간기류분포	21
3. 수치시물레이션	23
3.1 실내 열환경 예측 프로그램의 개요	23

3.2 수치계산의 기초 이론	23
3.3 주요계산 조건	28
3.4 상부토출형	29
3.5 전방토출형	30
4. 체감실험	32
4.1 실험의 개요	32
4.2 실험장치의 구성	32
4.3 실험방법	33
4.4 실험결과 및 고찰	36
Ⅲ. 결론	44
참고문헌	46
감사의 글	49

List of Tables

Chart 1 PMV scale	12
Chart 2 Experimental equipment	16
Chart 3 Standard of subject	18
Chart 4 $k-\epsilon$ Model variable number	28
Chart 5 Experimental equipment	32

List of figures

Fig. 1 Concept of thermal comfort	3
Fig. 2 Heat exchange of body and environment	6
Fig. 3 Discomfort as local radiation	8
Fig. 4 Discomfort as air flow	9
Fig. 5 Limit of temperature in up and down	10
Fig. 6 Concept of PMV	11
Fig. 7 PPD as PMV	13
Fig. 8 Concept of SET*	14
Fig. 9 Framework of experimental equipment	16
Fig. 10 Whole view of experiment	17
Fig. 11 Subject of study	18
Fig. 12 lattice devide of distributor	19
Fig. 13 Vector of distibution folw	19
Fig. 14 Change of air velocity in main direction	20
Fig. 15 Measurement point in air flow	21
Fig. 16 Distribution of EDT as air flow	22
Fig. 17 Calculation model	29
Fig. 18 Indoor air flow distribution of upper distribution type	30
Fig. 19 Indoor air flow distribution of front distribution type	31
Fig. 20 Framework of experimental equipment	33

Fig. 21 Clo of subject	34
Fig. 22 Flow chart of experiment	35
Fig. 23 Index of questionnaire evaluation	36
Fig. 24 TSV	37
Fig. 25 CSV	37
Fig. 26 Air flow sensation vote	37
Fig. 27 Air velocity sensation vote	38
Fig. 28 LTSV(22℃)	39
Fig. 29 LTSV(24℃)	39
Fig. 30 LTSV(neck)	40
Fig. 31 LTSV(shoulder)	40
Fig. 32 Change of temperature on skin	41
Fig. 33 MST	42
Fig. 34 EEG as temperature	43
Fig. 35 EEG as air velocity	43

Draft Evaluation as distribution of air cleaner

Jae-Il Kim

Department of refrigeration-aircondition engineering,

Graduated school,

Pukyong national university

Abstract

A modern person is living in space of indoor mostly which is a dwelling house or office building, space of underground. So, cleanness of indoor air quality is important to keep one's health or increase efficiency of business.

Therefor, cleanness of indoor air quality that uses an air-cleaner is indispensable for modern person.

But, because setting location of air-cleaner or a characteristic of distribution air-cleaner is inappropriate, people can be sensible of local discomfort(draft) frequently by the air-cleaner.

Meanwhile, Fanger, Gagge and Tanabe get at the root of relation that is comfort sensation and thermal sensation for developing air-conditioning system or air-conditioning equipment, and they bring forth indoor condition that makes comfort artificiality.

Moreover, a number of researchers give air to comfort sensation and thermal sensation but they can not apply to local discomfort of air-cleaner. And research on local discomfort as distribution of air-cleaner is stuck for actually.

Therefor, purpose of this study is evaluation of thermal and air current which is through simulation and mersurment of air current in operating air-cleaner, and it takes a triangular position of standard on indoor environment that is thermal sensation through subjective experiment.

I. 서론

현대인은 대부분의 시간을 실내에서 생활하고 있기 때문에 쾌적한 실내환경을 유지해야 하는 것은 당연한 것이며, 여러 가지 환경요인 중에서 공장의 매연과 자동차 매연의 제거 및 곰팡이·포자류 등 알레르기를 유발하기 쉬운 물질의 제거, 재실자의 활동에 의한 분진의 제거를 위한 실내공기환경의 제어 기술은 상당한 수준의 성장을 이루었다. 그리고, 국내 시장 규모도 상당히 확대되고 있는 추세이다. 또한, 우리나라는 3, 4, 5월에 중국에서 불어오는 황사에 의한 공기오염요소를 포함하고 있기 때문에 공기정화기 시장은 현재보다 확대될 것으로 판단된다.

그러나, 공기정화기의 가동에 의한 공기질의 향상은 충분히 기대되나, 공기정화기 기류에 의한 열환경의 악화에 대한 연구는 충분히 수행되어 있지 않은 것이 현실이다. 따라서, 본 연구는 공기정화기의 토출기류에 대한 수치시뮬레이션과, 피체험자를 대상으로 전신온냉감, 국부온냉감, 생리신호를 수집하는 체감실험에 의한 평가를 통해 공기정화기 가동에 의해 발생하는 기류가 인체온열환경에 미치는 영향을 파악함으로써, 공기환경의 개선과 함께 열환경의 악화를 유발하지 않는 공기정화기 제어기준을 정립하고자 한다.

II. 본론

1. 기초이론

1.1 온열쾌적감(Thermal comfort)

인간은 열적으로 쾌적한 환경을 만들기 위해 노력을 해 왔으며, 이와 같은 노력은 오늘날까지 건축에 반영이 되어 왔다. 따라서 열적으로 쾌적한 환경을 창출하고자 하는 노력은 건축계획의 단계에서 가장 중요하게 고려해야 할 요소 중의 하나가 되었다. 그러나 정확하게 온열쾌적감이 무엇인가라는 것에 답하기는 어려운 데, ISO-7730 및 ASHRAE St. 55-81에는 다음과 같이 “온열쾌적감”에 관하여 정의되어 있다.

“That condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”: ISO-7730

“Thermal comfort is defined as that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”: ASHRAE St.55-81

온열쾌적감의 개념인 “열 환경에 대하여 만족을 표시하는 마음의 상태”라는 것에 대해서는 대부분의 사람들이 이해를 하지만, 개념을 물리적인 변수로 변환하여 나타내기에는 어려운 점이 있다. 이는 심리적 쾌적 상태를 나타내야 하기 때문이다. Fig. 1의 실내외 사람은 서로 다른 온열환경 상태에 있지만, 열적으로는 쾌적한 상태에 있는데, 이와 같은 사실로

부터 온열쾌적감은 예를 들면 온도와 같은 하나의 요소로 정해지는 것이 아니라 여러 가지 온열요소의 문제라는 사실이다. 실제로 온열쾌적감을 평가하는 지표(PMV, SET*)에서 고려하는 온열요소는 공기온도, 방사온도, 기류, 습도, 착의량, 대사량 등 6가지를 고려한다. 즉 착의량과 대사량은 인간 측의 요소이며, 나머지 4요소는 환경조건이다. 또한 공기의 청정도, 조명, 소음 등의 기타 요소도 온열쾌적감을 평가 할 때 함께 고려되어야 할 요소로서 더 많은 연구를 필요로 한다.

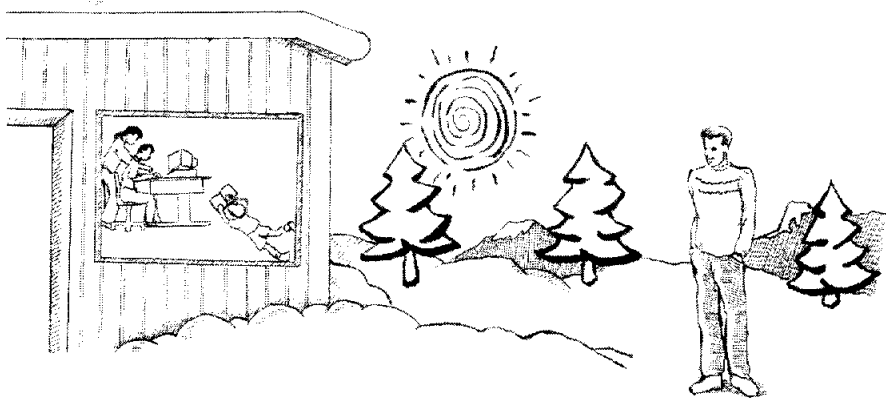


Fig. 1 Concept of thermal comfort

1.2 쾌적 범위(Comfort zone)

실내온열환경 설계는 거주자의 인간 측 온열요소(작업활동 및 착의)를 고려한 상태에서 환경 측의 온열요소(온도, 습도, 기류, 방사)를 조절하는 것이다. 환경 측 온열요소의 조정 수단으로서는 공기조화설비, 통풍, 건물 자체의 환경조절능력의 촉진 등을 들 수 있다. 그러므로 거주자에게 쾌적한 온열환경을 제공하기 위해서는 기온을 중심으로 온열환경요소를 예측

하는 것이 중요하다.

“쾌적”이라는 것은 “불쾌”를 느끼지 않으며 열스트레스가 없는 상태라고 말 할 수 있으며, 생리 및 물리학적으로 고려하면 인체 열 평형 방정식에서 열 부하가 없는 상태를 말한다. 인체 열 평형을 이용한 쾌적 방정식을 풀면 인간 측 2요소와 환경 측 4요소의 총 6가지 온열요소의 조합으로 쾌적 조건이 구해진다. 그러나 대부분의 사람이 쾌적하다고 생각하는 조건에서도 “추워서 불쾌”하다고 말하는 사람으로부터 “더워서 불쾌”를 호소하는 사람이 있는 것은 모든 사람이 만족할 수 있는 쾌적 조건은 존재하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 생리기능, 선호도, 체질 등 개인차가 존재하기 때문이다. 결국, 쾌적 방정식에서 얻어진 이상적인 온열환경조건에서도 불만족을 호소하는 사람은 존재하는데, 예를 들면 $PMV = 0$ 일 때 불만족율(PPD)은 최소가 되지만, 이때 PPD는 0%가 아니라 5%이다. SET*의 경우에도 최소 불만족율은 약 7%이다.

인간은 쾌적 조건으로부터 다소 이탈되거나 다소의 열 스트레스가 있어도 그것에 대처할 수 있는 능력도 가지고 있으며, 의복의 증감에 의해서도 열 평형을 유지하는 것이 가능하다. 그러므로 쾌적 조건은 하나의 점으로서가 아니라 어떤 불만족율을 설정해서 폭을 가지는 범위(쾌적 범위)로서 취급하는 것이 타당하다고 할 수 있으며, ISO에서는 $-0.5 < PMV < +0.5$ 일 때 $PPD = 10\%$ 가 되는 범위를 쾌적 범위로 하고 있다. SET*의 경우 불만족율 10%에 해당하는 쾌적 범위는 SET* 23.2 ~ 24.5℃의 범위에 해당하지만, ASHRAE에서는 불만족율 20%이하의 상태 즉 만족율 80%에 해당되는 범위를 쾌적범위로 정의하고 있다.

1.3 인체와 주변환경과의 열 교환

인간은 작업활동에 따라 체내에서 열을 생산함과 동시에 열을 환경으로 방산 하게 되는데, 인체로부터 환경으로의 열 방산은 피부표면·의복 및 호흡을 통해 이루어지게 된다. 인체에서 열 생산과 열 방산의 평형에 따라 덥다·춥다 혹은 쾌불쾌의 온열감각이 발생한다. 이와 같이 환경과 인체 사이의 열 평형은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L = M - Q - Q'$$

여기서,

M : 작업활동에 의한 인체 열 생산량 [W/m^2]

Q : 피부면·의복을 통해 인체로부터 환경으로의 열 방산량 [W/m^2]

Q' : 호흡에 의해 인체로부터 환경으로의 열 방산량 [W/m^2]

L : 인체의 열 부하량 [W/m^2]

이와 같은 열량은 인체의 단위체표면적당의 양(W/m^2)으로 나타나게 되는데, 미국인 및 유럽인(DuBois, 1916)에 대한 체표면적 측정식과 일본인(Takahira, 1981)에 대한 체표면적 측정식은 아래와 같다.

$$A_D = 0.202 \cdot m^{0.425} \cdot H^{0.725} \text{ (유럽인)}$$

$$A_D = 0.204 \cdot m^{0.425} \cdot H^{0.725} \text{ (일본인)}$$

여기서,

A_D : 체표면적 [m^2]

m : 중량 [kg]

H : 신장 [m]

본 연구에서는 미국이나 유럽인에 비해 일본인에 대한 체표면적 측정식이 한국인에게 타당할 것으로 판단되어, 수정된 Takahira(高比良)의 식을 사용하였다.

$$A_D = 72.46 \cdot m^{0.425} \cdot H^{0.725}$$

여기서, A_D : 체표면적[cm²]

H : 신장 [cm]

피부 면으로부터의 주위 환경으로 열 방산량은 대류열방산(C), 방사열방산(R), 증발열방산(E)으로 나누어지며 Fig. 2에 개념을 나타내었다.

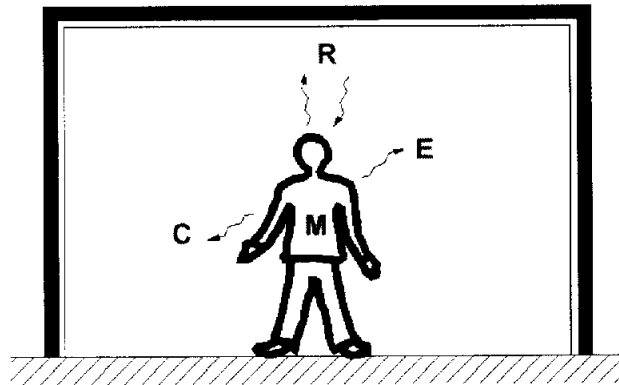


Fig. 2 Heat exchange of body and environment

대류열 방산은 인체주변의 공기 움직임에 따라 열 교환이 이루어지고, 방사열 방산은 인체표면과 주위의 벽·바닥·천장·창·가구 등의 물체 표면과의 사이에서 전자파의 형태로서 열 교환된다. 대류와 방사를 포함하여 현열손실이며, 증발열 방산은 피부면으로부터 수분 증발에 의한 잠열손실이다. 잠열손실은 체온조절기능에 의한 인체 특유의 열 방산이며,

무덥고 습한 기후에서는 특히 중요한 역할을 담당하게 된다. 호흡에 의한 열 방산량은 대류와 증발로 나누어지며, 전체 방산량 중에서 약 10%정도이지만, 기온이 높아짐에 따라 그 역할은 줄어든다. 열부하량(L)이 $L>0$ 이 될수록 인체내의 축열량은 증가하여 무더움으로 인한 불쾌감을 느끼게 된다. 역으로 $L<0$ 이 되면 인체로부터 방산이 촉진되어 서늘함으로 인한 불쾌감을 느끼게 된다. L이 0에 가까울수록 쾌적하게 된다. 의복은 사람과 환경 사이의 열 교환에 있어서 열 저항의 역할을 하지만, 실제 의류단품 혹은 복장 전체에 동일한 열 저항을 가지며, 머리에서 발등까지 균등하게 전신을 싸고 있는 가상의 의류를 의미한다.

1.4 국부불쾌감

전신온냉감이 중립에 있다하더라도 주로 불균일복사, 드래프트(draft), 불균일한 상하온도분포, 불균일한 바닥온도 등과 같은 원인으로, 국부 온냉감에 의한 불쾌가 존재하면 쾌적한 상태로 되지 않는다. 이러한 불쾌감은 전신온냉감이 중립에 가깝다는 전제조건하에서 정의된다.

(1) 불균일 복사

복사의 불균일성은 미소면 복사온도의 벡터자를 이용하여 나타낸다. Fig. 3은 불균일 복사에 대한 불만족자율의 관계를 나타낸 것이다. 따뜻한 벽면과 차가운 천장에 대해서는 불쾌감이 적다. ASHRAE 55-92 및 ISO-7730에서는 따뜻한 천장에 대한 불균일한계는 5°C 이내, 차가운 창 및 벽면에 대한 불균일성의 한계는 10°C 이내로 한다. 불균일 복사량에

의한 불쾌감을 막기 위해서는 특히 개구부의 단열계획이 중요하다.

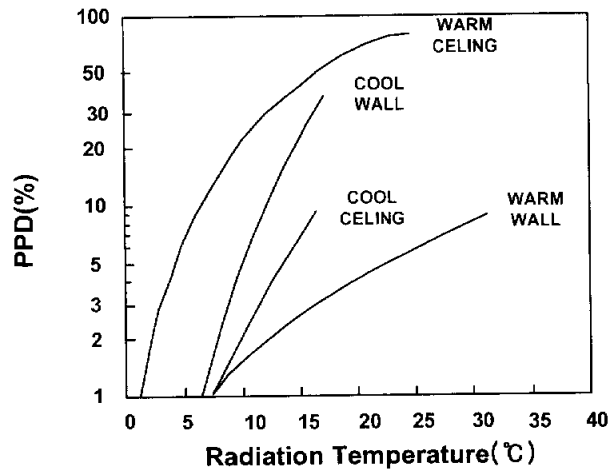


Fig. 3 Discomfort as local radiation

(2) 드래프트(draft)

난방·공조·환기 공간에서는 기류속도가 너무 증가하면 드래프트가 발생한다. 드래프트란 ‘바람직하지 못한 국부기류’로 정의된다. 최근, 공기온도와 평균풍속만이 아니라, 난기류의 드래프트가 불쾌감에 영향을 주는 점이 지적되고 있다. Fig. 4는 불만족자율 15%를 기준으로 실온, 풍속, 난류강도를 함수로 한 경우 드래프트에 의한 불만족자율을 나타낸 것이다. 인체는 신진대사에 의해 계속적으로 열을 생산하고 생산된 열은 주위로 소모된다. 그러나 생산된 열량보다 소비된 열량이 많으면 추위를 느끼게 되는 것이다.

이와 같이 소비되는 열량이 많아져서 추위를 느끼게 되는 현상을 COLD DRAFT(또는 DRAFT)라고 하며 다음의 원인이 드래프트 현상을

촉진시킨다. 그러므로 드래프트는 인체주위의 공기온도가 낮을 때, 기류 속도가 클 때, 습도가 낮을 때, 주위 벽면의 온도가 낮을 때, 겨울에 창문에서의 극간풍이 많을 때, 난류강도가 클 때 많이 발생하게 된다.

따라서 드래프트를 최소화 하기 위해서는 실내 온도분포를 균일하게 하고 기류의 풍속을 어느 제한 값 내에 있도록 해야 한다.

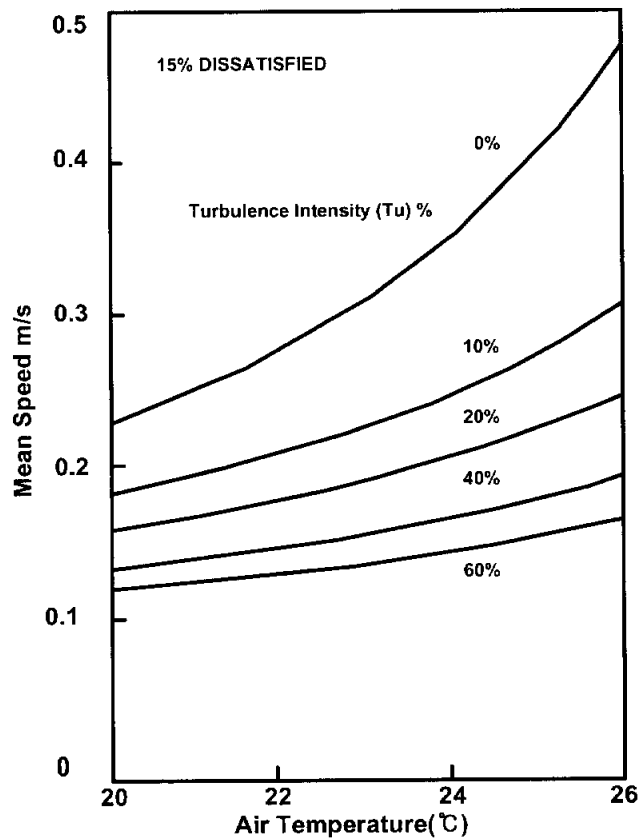


Fig. 4 Discomfort as air flow

(3) 실내 상하온도차

실내 상하온도차에 의한 불만족자율을 Fig. 5에 나타내었다. ISO-7730에서는 상하온도차의 한계에 관해서 복숭아 뼈 부분(바닥(0.1m)과 머리

(바닥 1.1m) 사이의 온도차를 3℃ 이내로 억제하도록 권장한다. 실제 환경 하에서는 상하온도차가 발생하는 경우 발 부위의 기류속도가 증가하여 이러한 허용범위를 만족하더라도 불쾌감을 느낄 수가 있으므로 주의해야된다.

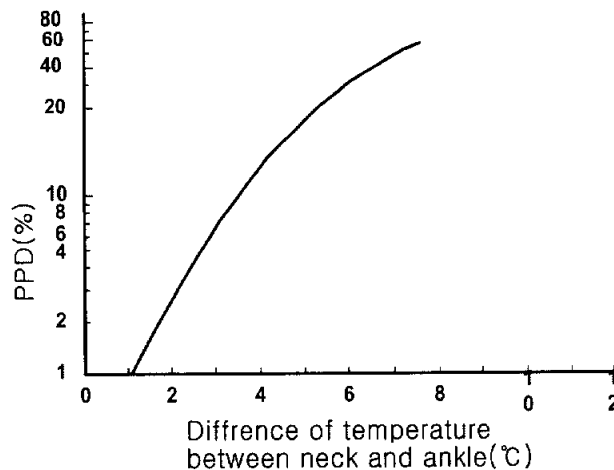


Fig. 5 Limit of temperature in up and down

1.5 온열환경 평가지표

(1) PMV 와 PPD

온열환경 6요소의 복합효과를 평가하기 위해 Fanger(1970)는 피험자를 사용한 실험과 인체 열 평형식을 결합하여, 온열감각을 정량화 된 수치로 나타내는 PMV(Predicted Mean Vote)를 예측하는 식을 제안하였다. PMV이론은 Fig. 6의 개념도에서 보는 것처럼 온열환경의 6요소를 대입하면 그 조건에서 따뜻하거나 혹은 춥다고 느끼는 것을 수치로 정량화한 것으로 인체의 열부하에 근거하여 산출된다.

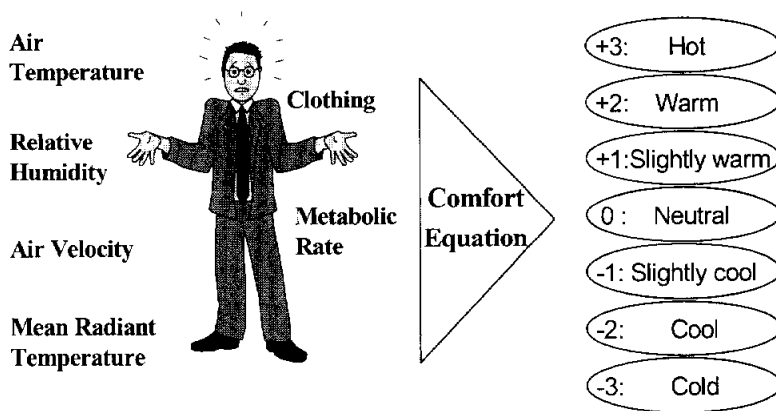


Fig. 6 Concept of PMV

인체의 열 부하란 열적 중립 상태에서 가상의 편차를 열량으로 나타낸 것이다. 실제 인체는 생리학적으로 피부온도와 증발열 손실량을 조정하여 열 평형을 유지하므로 인체의 열 평형식으로부터 인체의 열 부하가 산출된다. Fanger는 인체의 열부하 L 이 변화하면 온냉감 신고 Y 가 변화한다고 생각하여 인체열부하와 온냉감 신고치의 관계를 나타내는 미분방정식을 작성하였다. 여기서 온냉감 신고치가 중립($Y = 0$)일 때 열부하(L)는 0이라는 초기조건을 대입하여 구해진 Y 를 PMV라고 하였다.

$$\frac{\delta Y}{\delta L} = 0.303e^{-0.036M} + 0.028$$

$$\begin{aligned} PMV &= (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \\ &\quad (M - W - E_{sk} - E_{res} - C_{res} - R - C) \\ &= (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \\ &\quad \times [(M - W) \\ &\quad - 3.05 \times 10^{-3}(5733 - 6.99(M - W) - P_a) \\ &\quad - 0.42((M - W) - 58.15) \dots \dots \dots E_{sk} \\ &\quad - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) \dots \dots \dots E_{res} \\ &\quad - 0.0014M(34 - t_a) \dots \dots \dots C_{res} \\ &\quad - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \dots \dots \dots R \\ &\quad - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)] \dots \dots \dots C \end{aligned}$$

Chart 1 PMV scale

PMV	English	Korean
+3	hot	덥다
+2	warm	따뜻하다
+1	slightly warm	약간 따뜻하다
0	neutral	중립
-1	slightly cool	약간 서늘하다
-2	cool	서늘하다
-3	cold	춥다

Chart 1은 PMV 척도를 영어 및 한국어로서 표현한 것으로 본 연구에서 설문지에 사용된 표현이다. 실험을 통해 피험자가 전신온냉감 및 쾌불쾌감을 표현을 하기에 타당성이 있을 것으로 판단된다.

PMV는 재실자 다수의 평균적인 온냉감을 표시한 것이라는 사실을 유의해야 하는데, PMV = 0가 되는 환경조건에서도 온열적으로 만족을 나타내지 않는 사람이 있다. Fanger는 피험자 실험을 통해 온냉감 -1, 0, +1 이외의 값을 신고한 사람의 비율을 불만족율(PPD)로 하여 PMV와 관련된 식을 유도했으며, PMV값에 따른 재실자의 PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)를 아래의 식으로 계산하였다.

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)]$$

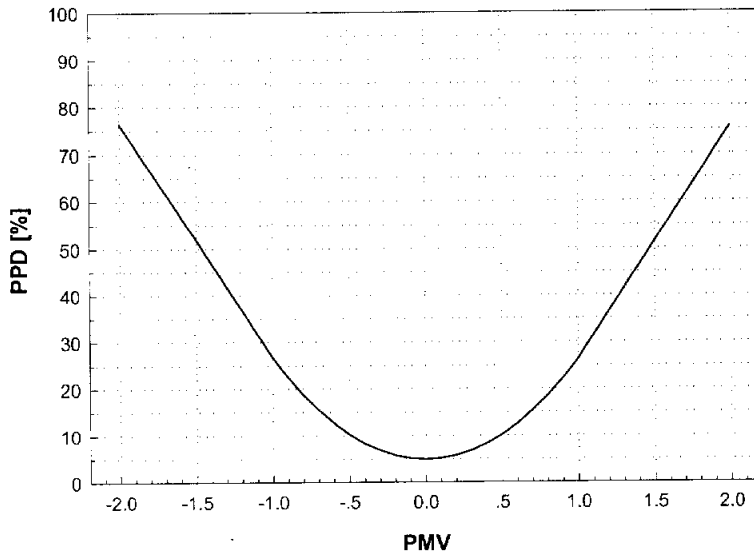


Fig. 7 PPD as PMV

ISO-7730에서는 Fig. 7에서 나타난 것처럼 PMV, PPD의 값으로서 $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$, $\text{PPD} < 10\%$ 를 권장하고 있지만, $\text{PMV} = 0$ 에서도 5%의 불만족자가 있음을 예측할 수 있다. PMV는 다른 온열지표와 달리 직접 감각량을 표시하기 쉬우며, 또한 PPD에 의해 불만족율도 간단하게 예측할 수 있기 때문에 광범위하게 사용되는 온열환경지표이다.

(2) 표준신유효온도 (Standard Effective Temperature, SET*)

Gagge등에 의해 1971년에 발표된 이론에 근거한 체감온도가 ET^* 이며, 온열환경의 주 요인인 공기온도, 방사온도, 기류, 습도, 착의량, 대사량의 6요소를 변수로서 포함한다. 그리고 인체의 젖음율을 산출하기 위해 인체를 심부(core)부와 외피부(shell)로 분할한 생리학적 제어모델(2 node model)을 사용하여 계산하는 수가 많다. ET^* 는 임의 착의량, 대사량에

대해 정의되며, 표준신유효온도(SET*)는 미국공조학회(ASHRAE)에서 표준적 체감온도로 채용되어져 있다. SET*는 다음과 같은 과정을 거쳐 유도되게 된다.

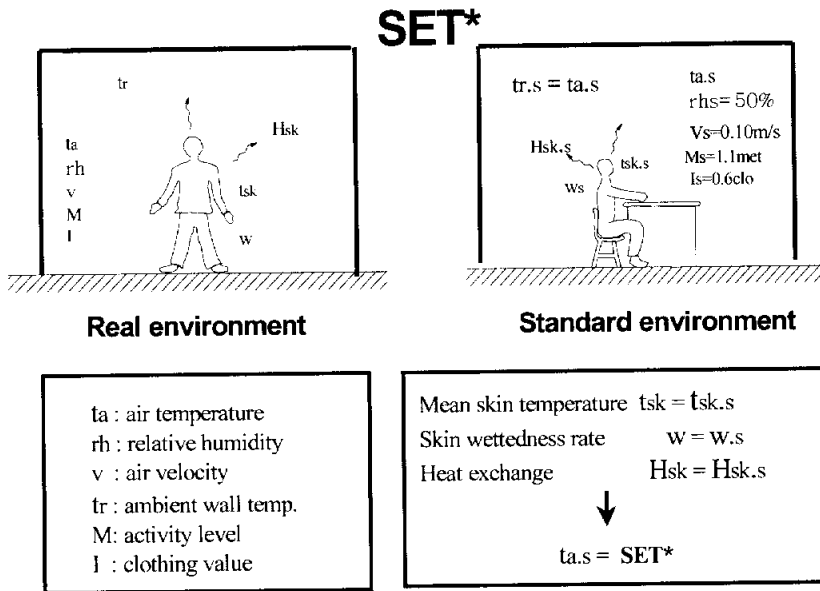


Fig. 8 Concept of SET*

기온(t_a), 평균방사온도(t_r), 상대습도(rh), 풍속(v)의 실제환경에서 어떤 대사량(M)과 착의량(I)을 가진 사람이 피부표면으로부터 열 방산(Q)을 하여 평균피부온도($\bar{t}_{sk}$), 피부젖은면적을(w)의 상태로 되었다고 하자. 다음 이 사람을 $t_{a.s}$, $t_{r.s}$, rhs , vs , Ms , Is 등의 제량(諸量)이 규정된 표준환경으로 이동·체재할 때 온열감각·열 교환량이 실제환경과 동일하게 유지되는 기온($t_{a.s}$)을 체감온도지표로 정의하는 것이 일반적인 방법이다. 표준환경은 주위 벽면온도가 기온과 동일한 등온환경 즉 $t_{r.s} = t_{a.s}$ 로 하는 것이 보통이다. 표준환경의 상대습도를 50%로 해서

실제환경의 조건 중에서 기온과 습도만이 표준환경과 다른 경우 표준환경의 기온($t_{a,s}$)을 신유효온도(ET^*)라 부른다. 즉 $rh_s=50\%$ $v_s=v$ $M_s=M$, $I_s=I$ 일때 $ET^*=t_{a,s}$ 이며, 온열감각·열교환량이 실제환경과 같다고 말하는 것은 표준환경의 평균피부온도($\bar{t}_{sk,s}$), 피부젖은 면적율(w_s), 및 인체(피부표면)와 환경의 열교환량(Q)이 실제환경의 제량과 동일한 것을 의미한다. 따라서 생리·물리학적으로는 $Q_s=Q$ $\bar{t}_{sk,s}=t_{sk}$ $w_s=w$ 와 같은 상태인 것이다. ASHRAE에서는 공조되고 있는 일반적인 사무실을 온열환경의 전형적인 대상으로 하여 $rh_s=50\%$ $v_s=0.1-0.15m/st$ $t_{r,s}=t_{a,s}$ $M_s=1.1met$ $I_s=0.6clh$ 의 상태가 ASHRAE의 표준환경이라고 말한다. 실제 대상 환경의 기온, 평균방사온도, 상대습도, 풍속, 대사량, 착의량을 임의의 변량으로 한 경우의 ASHRAE 표준환경의 기온을 표준신유효온도(SET^*)라고 부른다. 결국 표준신유효온도는 임의의 온열환경을 ASHRAE 표준환경의 기온으로 변경하여 평가하는 체감온도라고 할 수 있다.

또한 발한(發汗)에 의한 증발열손실을 고려하고 있으므로 쾌적범위를 포함한 더운 환경, 추운 환경의 평가에도 적용할 수 있다. 쾌적에 가까운 범위에서는 SET^* 와 PMV 의 사이에는 큰 차이가 없지만 발한을 동반하는 더운 환경의 평가에는 SET^* 의 쪽이 뛰어나다. ET^* 및 SET^* 는 Gagge에 의해 제안 발표되어 ASHRAE에서 표준적 체감온도로서 채용되었으며 현재 PMV 와 더불어 널리 사용되고 있는 온열환경지표이다.

2. 실측에 의한 기류환경평가

2.1 실험장치의 구성

2003년 3월부터 본 실험 대상시료를 활용한 실측을 수행하였다. 그리고, 실험은 공기청정기가 사용되는 평형을 고려하여 10평의 실험실을 활용하여 실내에 기류 저항이 되는 물체를 제거한 상태에서 수행하였다.

Fig. 9는 실험장치의 구성을 나타낸 것이다.

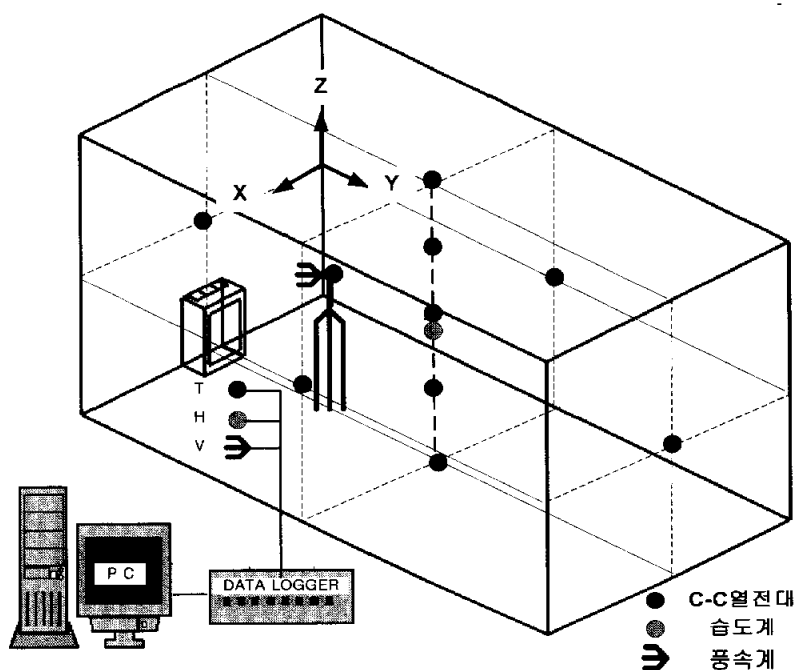


Fig. 9 Framework of experimental equipment

Chart 2 Experimental equipment

Use	Name	Model
Measurement of Air velocity	anemometer	WA-390
Measurement of temperature	Thermocouple	0.3mm T-Type
Measurement of Humidity	Hygrometer	
Collection of data	Data logger	NetDAQ 1450A
Save of data	Personal Computer	

Chart 2는 실험에서 활용된 장비들을 나타낸 것이다. 전체 실험 대상실의 온도를 파악하기 위하여 실의 중심을 기점으로 좌·우, 상·하 대칭과 중심의 5점에서 상·중·하 위치의 온도를 측정하였으며, 각 벽면의 복사 및 온도에 의한 대류발생 여부를 판단하기 위하여 각 벽면의 가운데 지점에서 온도를 측정하였다.

그림 10은 기초 데이터를 확보하기 위한 실험실내 공기청정기의 설치 장면과 풍속측정 상황을 나타낸 것이다.

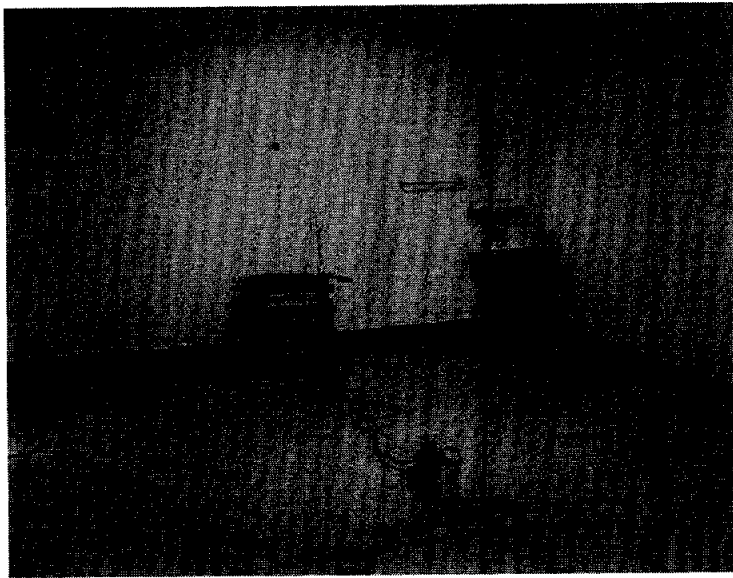
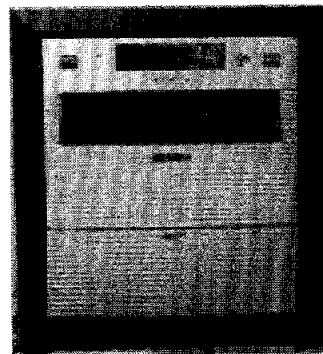
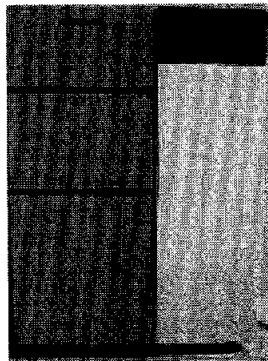


Fig. 10 Whole view of experiment

2.2 대상시료

본 연구에 사용된 공기청정기는 상부 취출형과 정면 취출형을 대상으로 하였다. 그림 11와 표 3은 각각 본 연구의 대상이 되는 시료의 모습과 사양을 나타낸 것이다.



(a) Upper distribution type

(b) Front distribution type

Fig. 11 Subject of study

Chart 3 Standard of subject

토출방향	정면토출형	상부토출형
흡입방식	하부흡입	전면라인형 흡입
Size	500*540*565	445*300*630
Type	12평	12평
Mode	터보, 강, 중, 미, 황사, 탈취, 취침	터보, 강, 중, 미, 황사, 탈취, 취침

2.3 토출기류

토출구의 풍속측정은 시뮬레이션의 기초데이터로서 활용하며 실제 기류의 영향을 세밀하게 파악하기 위하여 토출구를 6등분하여 측정하였다. Fig. 12는 정면토출형 공기청정기의 토출구가 분할된 모습을 나타내었다.

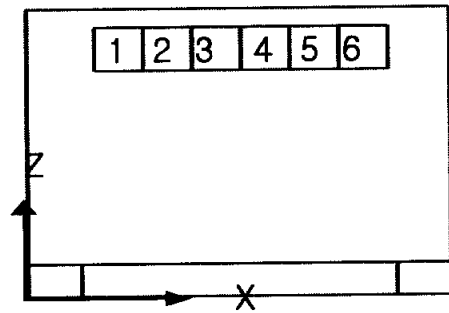
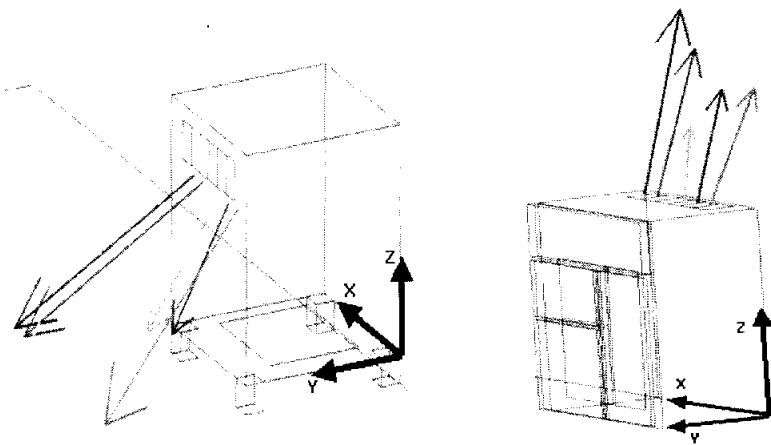


Fig. 12 lattice device of distributor

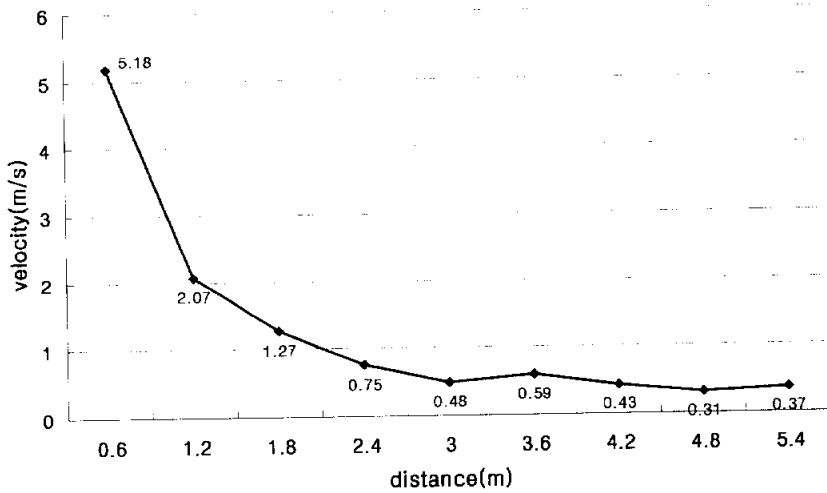


(a) Upper distribution type

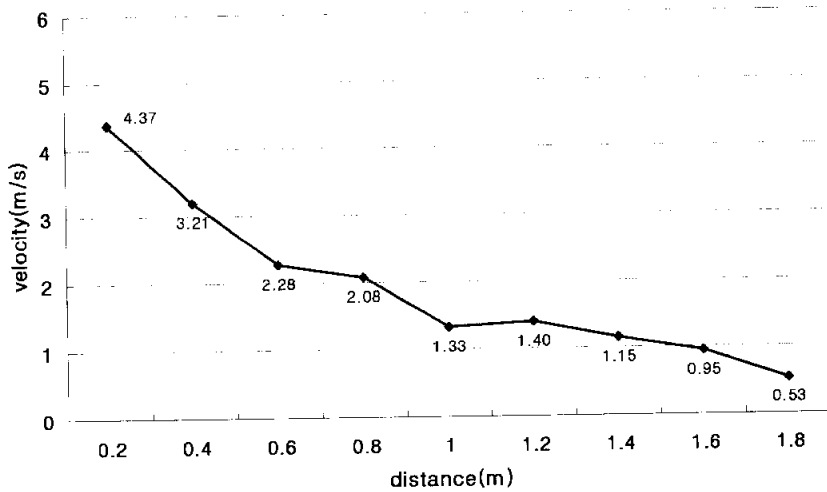
(b) Front distribution type

Fig. 13 Vector of distribution folw

Fig. 13은 각 모델의 토출기류벡터를 나타낸 것이다. 두 가지 모델 모두 내부구조 및 형상에 의해서 기류의 방향이 토출면과 수직방향이 아니며, 전방토출형의 경우에는 아래쪽으로 10° 전방에서 우측으로 15° 기울어진 상태이며, 상부토출형의 경우에는 후방으로 5° 우측으로 10° 기울어진 상태임을 알았다.



(a) Front distribution type



(b) Upper distribution type

Fig. 14 Change of air velocity in main direction

또한, 주 기류방향으로 풍속의 변화를 파악하기 위하여 주류 방향을 따라 30cm 간격으로 풍속을 측정했다. Fig. 14는 각 모델의 주기류방향에서의 풍속을 나타낸 것이다. 상부 토출형의 경우 주기류방향이 위쪽을 향

하고 있으므로 1.8m 높이까지 측정하여 0.53m/s로 나타났으며, 전방 토출형의 경우에는 주기류방향이 전방으로 5.4m에서 0.37m/s로 나타났다. 0.37m/s는 일반적인 무감기류인 0.25m/s보다 크므로 토출구에서 터보모드의 운전을 하고 있는 경우 5.4m의 거리에서도 기류에 의한 불쾌감을 느낄 수 있는 가능성이 있음을 나타내는 것이다.

2.4 공간기류분포

Fig. 15은 공간기류의 측정점을 나타낸 것이다. 각 측정점에서의 온도와 기류속도를 측정하여 유효드래프트를 파악함으로써 실내열환경분포를 예측하였다.

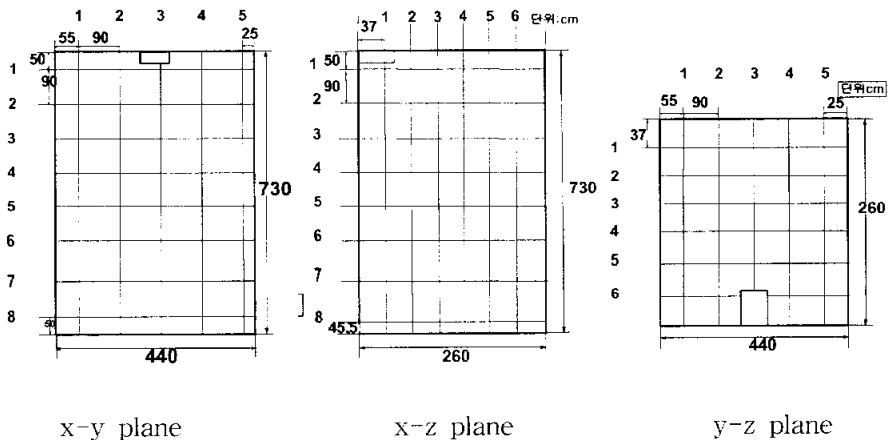
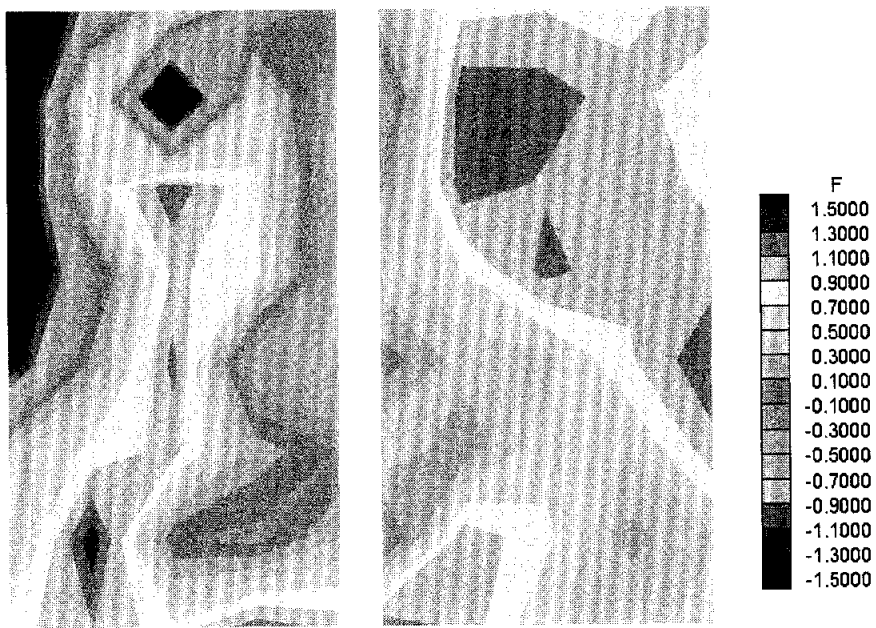


Fig. 15 Measurement point in air flow

Fig. 16은 1.1m높이에서 측정된 데이터를 활용하여 두 모델의 기류에

의해 조성되는 유효드래프트의 분포를 나타낸 것이다. 상부토출형의 경우에는 기류에 의해서 열환경이 악화되는 영역이 나타나지 않으나, 전방토출형의 경우에는 주기류가 아래로 향해 있기는 하지만 벽면에 부딪힌 기류가 상승하면서 기류속도에 의한 드래프트발생이 예상된다.



(a) Upper distribution type (b) Front distribution type

Fig. 16 Distribution of EDT as air flow

3. 수치시뮬레이션

3.1 실내 열환경 예측 프로그램의 개요

계산에 활용된 프로그램은 일본 Cradle사의 “STREAM”으로 현재 일본에서 실내 열환경 예측을 위한 유체계산에 대해서 주로 활용되고 있는 프로그램이다.

프로그램의 특징은 유한체적법을 이용하여 삼차원 열유체를 해석하는 프로그램으로 1984년 4월부터 판매를 개시하여 실내공간유동과 기기내부 흐름 등 여러 분야에서 활용되고 있으며, 압축성과 비압축성 유체에 대해서 계산이 가능한 것이다. 기타 프로그램에서 계산하는 방법은 다음과 같다.

- ◎ discrete 수법
- ◎ 격자 형성법
- ◎ 삼각기둥 요소
- ◎ 회전 좌표계
- ◎ 일부 상세 격자의 적용
- ◎ 해적합 격자
- ◎ 물체 데이터의 오버레이 기능
- ◎ matrices의 해법

3.2 수치계산의 기초 이론

실내의 기류장을 대상으로 하는 해석에서는 속도가 최대가 될 경우라도 수[m/s]이며, 온도는 실온 0~40[℃] 정도를 상정하게 된다. 압력의 영

향을 무시할 수 있는 비 압축성 흐름으로 예상하는 것이 일반적이며, 온도에 의한 밀도 변화는 부력항만 고려한 Boussinesq 근사를 적용한 것이 가능하다. 또 실내는 벽면 부근을 제외하고 난류로 예상하여 해석하는 것이 당연하다.

난류를 취급하는 경우에는 시간평균 속도성분과 변동성분을 이용하고 순시값을 이하와 같이 나타낼 수 있다. (시간 평균 성분을 $\overline{u_i}$, $\overline{p}$, $\overline{\phi}$ 로, 그 변동 성분은 u'_i , p' , ϕ' 순시치를 u_i , p , ϕ 로 나타낸다.)

$$u_i = \overline{u_i} + u'_i$$

$$p = \overline{p} + p'$$

$$\phi = \overline{\phi} + \phi'$$

이것은 비압축성 연속의 식 Navier-Stokes 운동방정식, 스칼라량 수송 방정식에 대입하여, Tensor 표시에 의하여 다음의 식이 된다.

(연속의 식)

$$\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0$$

(Navier-Stokes 운동 방정식)

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \overline{u_j u_i})}{\partial x_j} = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} - \rho \overline{u'_i u'_j}) + F_i$$

(스칼라량의 수송 방정식)

$$\frac{\partial (\rho \overline{\phi})}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \overline{u_j \phi})}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_j} (-D_j^\phi - \overline{u'_i \phi'}) + S_\phi$$

여기서, ρ 는 유체밀도, F_i 는 i 방향의 부력 외 체적력이다. 그리고,

S는 스칼라량 ϕ 의 생성항, τ_{ij} 는 운동량의 i 방향성분의 점성력이고,

D_j^ϕ 은 ϕ 의 j 방향확산플럭스성분이다. 분자점성계수를 μ 로하고, ϕ 의

확산 계수를 Γ^ϕ 로 하여 다음식으로 나타내었다.

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right)$$

$$D_j^\phi = -T^\phi \frac{\partial \overline{\phi}}{\partial x_j}$$

기초식에서는 $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ (레이놀즈 응력), $-\rho \overline{u'_j \phi}$ (난류플럭스) 등의 난류성분을 포함하고 있고, 닫힌 형식은 아니다. 따라서, 이러한 항을 모델화 하여 닫힌 형태로 할 필요가 있고, 그것을 가능하게 한 것이 난류모델이다.

Boussinesq는 레이놀즈응력이 분자점성에 의한 응력과 같이 속도 경사에 비례한다고 가정하고, 다음 식의 과점성 모델을 도입하였다.

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$$

또한, 스칼라량의 난류flux에 관해서는,

$$-\rho \overline{u'_j \phi} = \Gamma_t^\phi \frac{\partial \overline{\phi}}{\partial x_j}$$

시간 평균치의 구배와 관련시키고, 나타내는 것이 가능하다고 가정하고 있다. 여기에서 μ_t 는 과점성(난류점성)계수, k는 난류 에너지($=1/2 \overline{u'_i u'_i}$), Γ_t^ϕ 는 스칼라량 ϕ 의 난류확산계수이다. 열이나 물질의 이동에 대표된 스칼라 양의 수송과 운동량 수송과의 analogy로부터, 이하의

관계식이 성립된다.

$$T_t^\phi = \frac{\mu_t}{\sigma_t^\phi}$$

μ_t / σ_t^ϕ 는 열수송에 있어 난류 프란틀수라고 불리고 물질수송에 있어 난류 슈미트수라고 불린다. 현상이 다르지만 거의 일정하다고 간주할 수 있는 것이 경험적으로 알려져 있다.

이상과 같은 과점성의 개념을 도입한 것에 의해, 방정식은 닫힌 것이 된다. 그러나 μ_t 를 어떻게 표현하는지가 초점이 된다.

Prantl은 μ_t 를 분자 점성과의 analogy로부터 난류의 특성치로서 혼합 거리로 l 을 도입했다.

$$\mu_t = \rho l V_t$$

여기에서 V_t 는 난류의 대표 속도(Turbulence velocity)로 있고, 2차원 경계층류에 적용한 경우 $V_t = l |\partial \overline{u_1} / \partial x_2|$, $-\rho \overline{u'_1 u'_2} = \mu_t (\partial \overline{u_1} / \partial x_2)$ 표현할 수 있는 것으로

$$\mu_t = \rho l^2 \left| \frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_2} \right|$$

로 되고 결국 혼합거리 l 을 어떻게 표현하는지가 문제가 된다. 그 후 Prantl 과 Kolmogorov는 V_t 가 난류 에너지 k 의 제곱근에 비례한다고 하여

$$\mu_t = \rho N \sqrt{k}$$

로서 정식화를 했다. 그러나 이 식은 l 을 대수학식으로부터 산출한 l

방정식 모델이기 때문에 대수학 모델의 제약을 극복할 수 없고 1방정식 모델로부터 2방정식 모델(k, ϵ)로 이행하게 된다.

난류 에너지 소산율 ϵ 은 다음 식으로 정의된다. (C_D 는 실험 정수)

$$\epsilon = C_D \frac{k^{1.5}}{l}$$

난류 에너지 k , 난류 에너지 소산율 ϵ 을 수송 방정식에 이용한 모델을 $k-\epsilon$ 모델이라고 부르고 실용적으로 폭넓게 사용되고 있다. 또 μ_t 는 다음 식으로 나타난다.

$$\mu_t = C_D \frac{\rho k^2}{\epsilon}$$

본 해석에 있어도 $k-\epsilon$ 가 방정식 모델을 이용한 것이다 다음에 기초식에 대입 한 식을 다음에 나타낸다.

(연속의 식)

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

(운동량 수송 방정식)

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + F_i \right\}$$

(스칼라양 ϕ 의 수송 방정식)

$$\frac{\partial (\rho \phi)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\Gamma + \Gamma_t) \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right\} + S_\phi$$

(k 의 수송 방정식)

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G + B - \rho \epsilon$$

(ϵ 의 수송 방정식)

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j \epsilon)}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_\epsilon}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G + B) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

여기에서 p 는 난류압력 $\bar{p} + 2/3\rho \bar{u}_i u_i$ 로 다시 정의하고있다. 또 G, B 는 각자 난류에너지 k 의 생성항, 부력항이며 다음식으로 나타낸다.

$$G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$$

$$B = g\beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_j}$$

이상의 식에 나타났던 $C_D, C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\epsilon$ 모두 $k-\epsilon$ 방정식 모델의 경험정수이며, Launder, Spalding에 의하고 추천되고 있는 값을 이용했다.

Chart 4 $k-\epsilon$ Model variable number

C_D	C_1	C_2	σ_ϵ	σ_k	σ_t
1.44	1.92	0.09	1.0	1.3	0.7

3.3 주요계산 조건

계산의 대상이 되는 공간은 실험실의 실제데이터를 대상으로 하였다.
계산모델은 Fig. 17에 나타내었다.

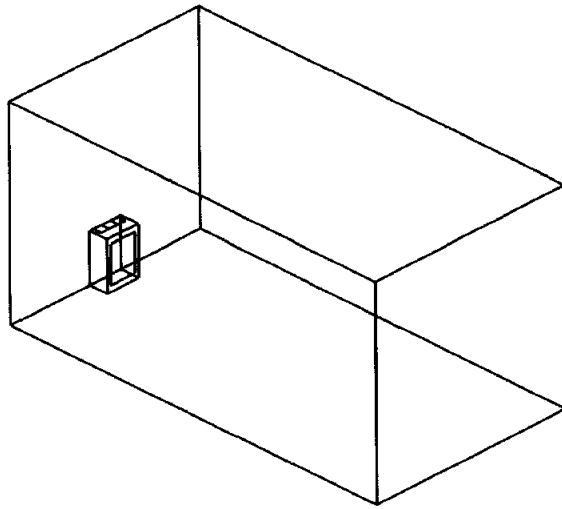


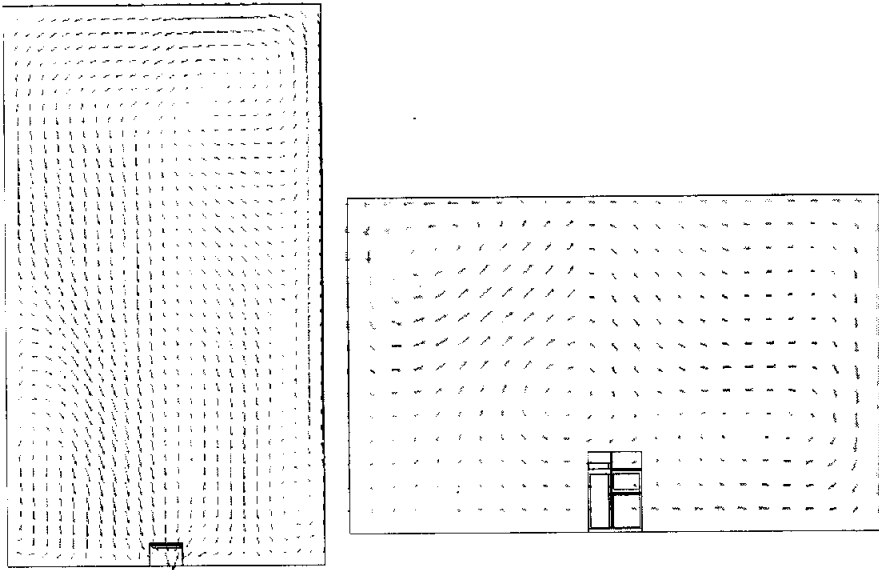
Fig. 17 Calculation model

주요 계산 계산조건은 다음과 같다.

- ◎ 표준k- ϵ 난류 모델
- ◎ 계산 시간 20min
- ◎ 타임스텝 간격 1sec
- ◎ 수습 판정 기류0.1%, 온도0.01℃의 오차

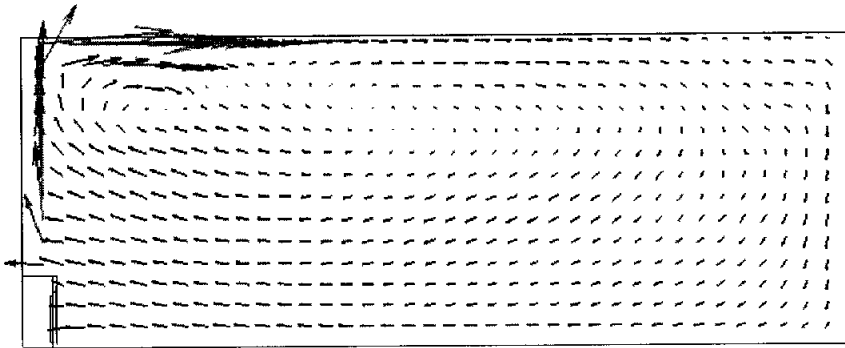
3.4 상부토출형

계산의 기초데이터는 실측실험에서 얻어진 데이터를 활용하였다. Fig. 18은 상부토출형을 대상으로 한 수치시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다. 상부토출형의 경우 토출기류방향인 상부에서는 빠른 기류속도를 보이나 재실공간에 해당하는 영역에서는 드래프트를 느낄 정도의 기류속도가 나타나지 않음을 알 수 있다.



(a) x-y plane

(b) y-z plane

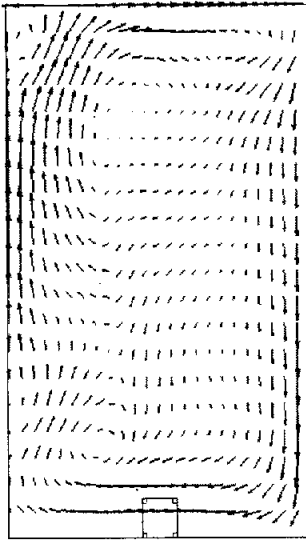


(c) x-z plane

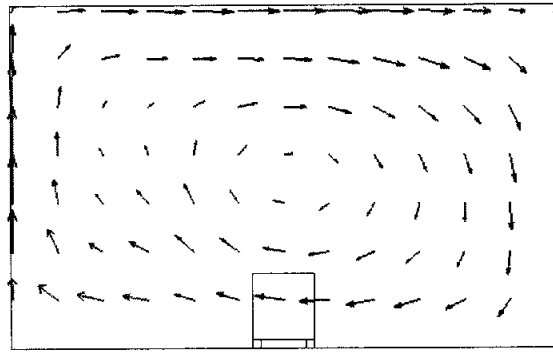
Fig. 18 Indoor air flow distribution of upper distribution type

3.5 전방토출형

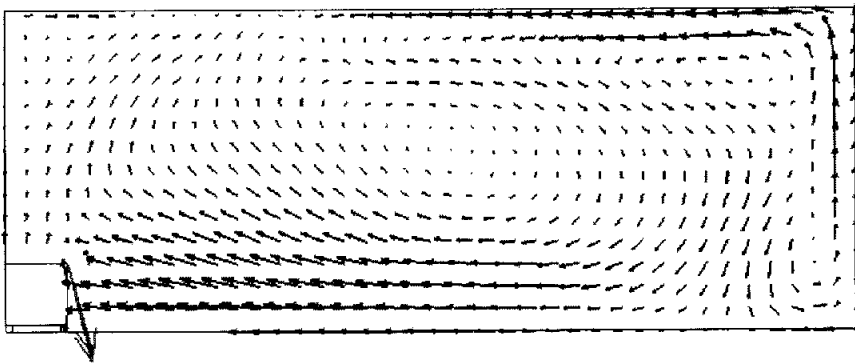
Fig. 19는 전방토출형을 대상으로 한 수치시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다. 전방토출형의 재실공간에 해당하는 대부분의 영역에서 드래프트를 느낄 수 있는 기류분포를 나타내는 것을 알 수 있다.



(a) x-y plane



(b) y-z plane



(c) x-z plane

Fig. 19 Indoor air flow distribution of front distribution type

4. 체감실험

4.1 실험의 개요

본 실험은 2003년 11월 4일부터 2주간 국립부경대학교 공과대학 냉동 공조공학과 건축환경설비연구실에 위치한 향온향습실에서 수행되었다.

이전의 실측과 시뮬레이션에 근거하여 상부토출형의 경우에는 드래프트가 예상되는 영역이 거의 없으므로 기류환경을 크게 악화시키지 않을 것으로 판단되어 체감실험의 대상에서 제외하였으며 전방토출형을 대상으로 수행하였다.

4.2 실험장치의 구성

전체장치는 향온향습실내 공기청정기를 설치한 전방 3m에서 피체험자를 위치시킨 후 데이터를 수집하는 방법으로 수행하였으며 사용된 장비의 내역은 Chart 5와 같다.

Chart 5 Experimental equipment

Use	Model	Maker
Collection data	MV-230	Yokogawa
EEG	LXE1104-BS232	LAXTHA
infrared rays Photo	500DX	INFRARED
Measurement of Air velocity	테프론 T-Type	Korea
Measurement of Radiation Temp.	글로브온도계	Korea
Save data	Personal Computer	Korea
Maintenance of Environment	SCA-5AT	Shin sung ENG

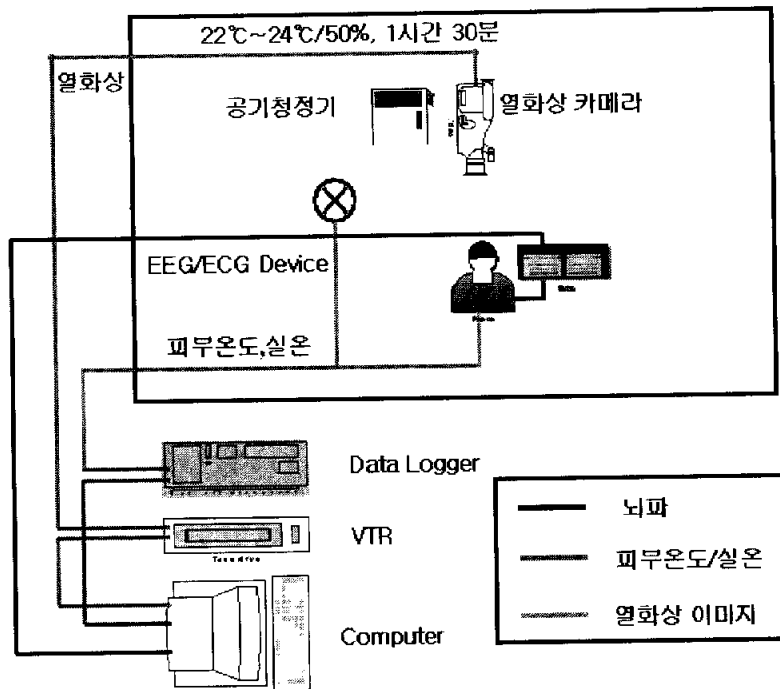


Fig. 20 Framework of experimental equipment

Fig. 20은 체감실험을 위한 장치의 구성을 나타낸 것이다. 피험자의 정면에 적외선카메라를 설치하여 인체 각부위의 체온변화를 촬영하였으며, 피험자의 뇌파(EEG)와 신체 각 부분의 온도를 측정하였다. 그리고 실의 물리량을 측정하기 위해 실의 상·중·하의 온도와 방사온도를 측정하였다.

측정된 모든 데이터는 항온항습실 외측에 설치되어있는 데이터로거로 수집하여 PC에 저장하였다.

4.3 실험방법

항온·항습실의 조건은 대표적인 난방조건인 22℃ 50%와 24℃ 50%를

구현하여 온도에 의한 드래프트 발생강도를 평가하였고, 공기청정기의 풍속은 4단계의 터보·강·약·미 모드 중 가장 빠른 터보 모드(피험자 위치에서 약 1.25m/s)와 중간단계인 약 모드(피험자 위치에서 약 1.25m/s)를 선택하여 풍속에 의한 드래프트 발생여부를 평가하였다. 피험자의 조건은 중간기 및 동계의 복장(상하의 운동복, 속옷: 0.8 clo)을 하였으며, 생활패턴은 좌식 생활을 구현하기 위해 등받이 의자를 바닥에 놓고 앉게 하였다. Fig. 21은 피체험자의 착의량을 나타낸 것이다.

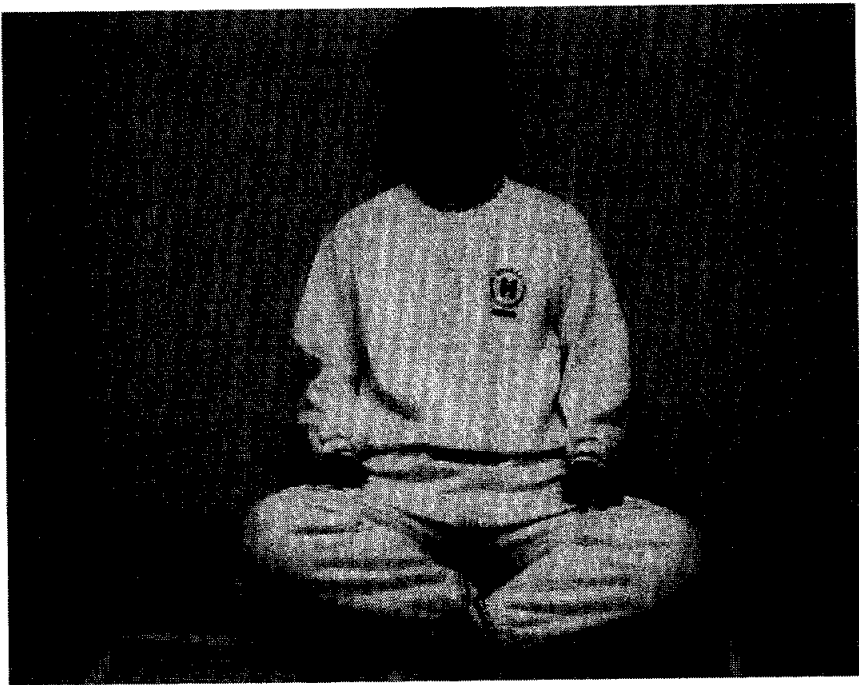


Fig. 21 Clo of subject

실험은 Fig. 22에 나타난 바와 같이 공기청정기 가동전과 가동후의 두 단계에 구분하여 1시간 30분간 시행되었다.

첫 번째 단계로써 향온·향습실을 임의 온·습도 및 기류조건을 조성한 후 피험자를 입실시키고 공기청정기 미가동 상태에서 10분 간격으로 주관적인 설문평가 및 EEG, 열화상 데이터를 획득하였으며 실험 전구간에 걸쳐 피험자의 피부온도 및 실내 물리량을 획득하였다.

두 번째 단계로써 온·습도 및 기류조건을 변동없이 공기청정기를 가동(터보/중)하여 10분 간격으로 주관적인 설문평가 및 EEG, 열화상 데이터를 획득하였으며 실험 전구간에 걸쳐 피험자의 피부온도 및 실내 물리량을 획득하였다.

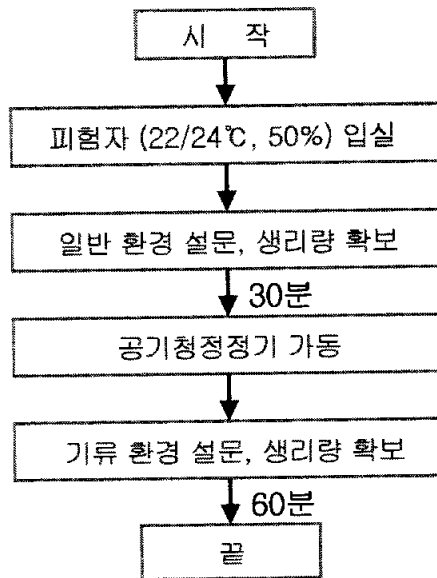


Fig. 22 Flow chart of experiment

Fig. 23은 본 실험에서 사용된 주관적 설문평가의 설문 항목인 온·냉감, 쾌적감, 기류감에 대한 설문응답지를 나타낸다.

온 냉 감						
-3	-2	-1	0	1	2	3
춥다	서늘하다	약간 서늘하다	어느쪽이라 말할수없다	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다

쾌 적 감						
-3	-2	-1	0	1	2	3
대단히 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	어느쪽이라 말할수없다	약간 쾌적하다	쾌적하다	대단히 쾌적하다

기 류 감						
-3	-2	-1	0	1	2	3
매우 약하다	약하다	조금 약하다	보통	조금 세다	세다	대단히 세다

기 류 평 가						
-3	-2	-1	0	1	2	3
매우 불만족	불만족	약간 불만족	어느쪽이라 말할수없다	약간 만족	만족	매우 만족

Fig. 23 Index of questionnaire evaluation

4.4 실험결과 및 고찰

(1) 주관적 설문

Fig. 24, 25, 26, 27은 각각 온냉감신고, 쾌적감신고, 기류감, 기류평가를 나타낸 것이다. 공기청정기가 가동된 30분 이후부터 TSV, CSV, 기류평가가 모두가 “불쾌” 또는 “춥다”의 방향으로 나타내는 추세를 보였다.

TSV, CSV, 기류평가는 22강풍>24강풍>22약풍>24약풍 순으로 하강추세를 나타냈다. 동일 온도일 때 풍속이 클수록 설문응답의 변화폭이 크게 나타났고, 동일 풍속일 때 온도가 낮을 수록 설문응답의 변화폭이 크게 나타났다.

기류감은 22강풍>24강풍>22약풍>24약풍 순으로 “기류가 세다”의 응답을 나타냈으며, 동일 풍속에서도 온도가 낮을 수록 피험자는 기류속도가 강한 것으로 느낌을 알 수 있었다.

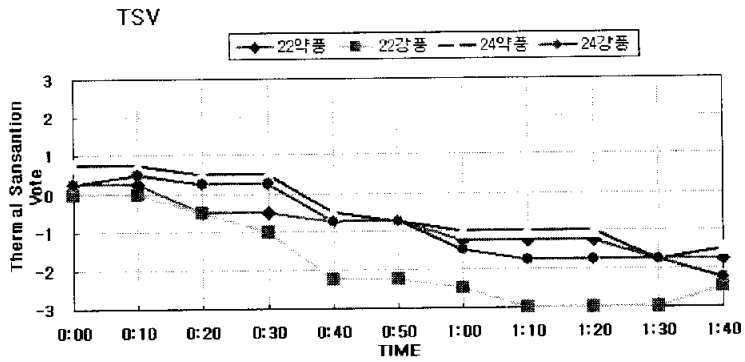


Fig. 24 TSV

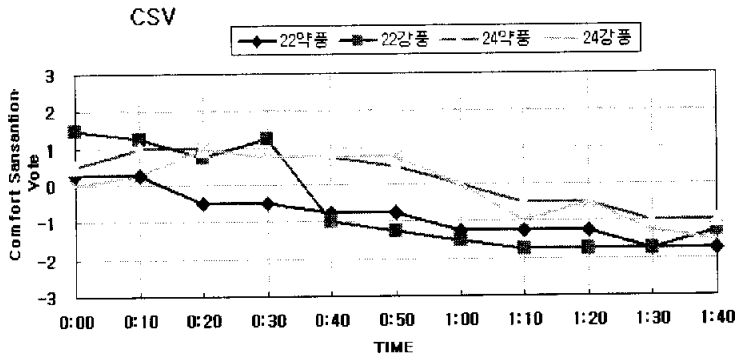


Fig. 25 CSV

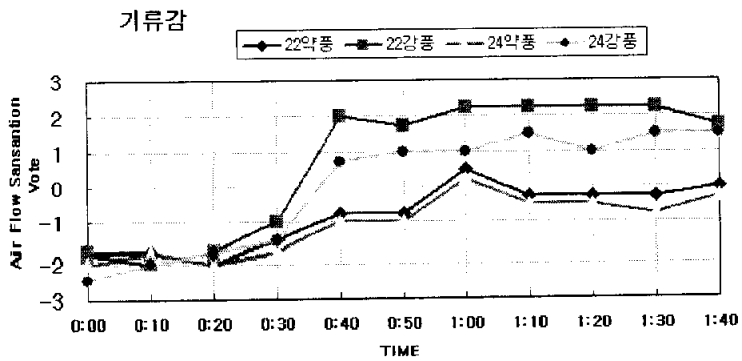


Fig. 26 Air flow sensation vote

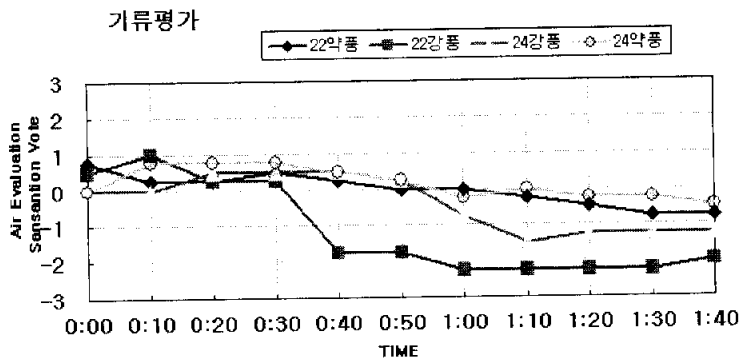


Fig. 27 Air velocity sensation vote

(2) 국부온냉감 평가 및 MST

Fig. 28과 29에 본 연구에서 측정된 두 가지 실험케이스 24터보와 22터보에 대한 국부온냉감신고 결과를 나타내었다. 국부온냉감신고는 공기청정기가 가동되기 이전이 30분까지 큰 변화가 나타나지 않으며, 공기청정기가 가동되는 30분 이후부터 실험이 진행될수록 점차 “춥다”의 방향으로 이동하기 시작하는 것을 확인하였다.

Fig. 30과 31은 의복으로 덮여있지 않으며, 국부온냉감신고를 대표할 수 있는 인체의 두 말초 부위인 목과 어깨에 대한 결과이다. 국부온냉감신고에 대한 설문응답을 분석한 결과 피체험자 위치에서 온도 24℃ 기류속도 1.25m/s의 경우와 22℃ 0.23 m/s의 응답내용이 비슷한 변화를 보이므로 기류속도가 온도편차에 대해서 약 2℃에 상응하는 것으로 판단된다.

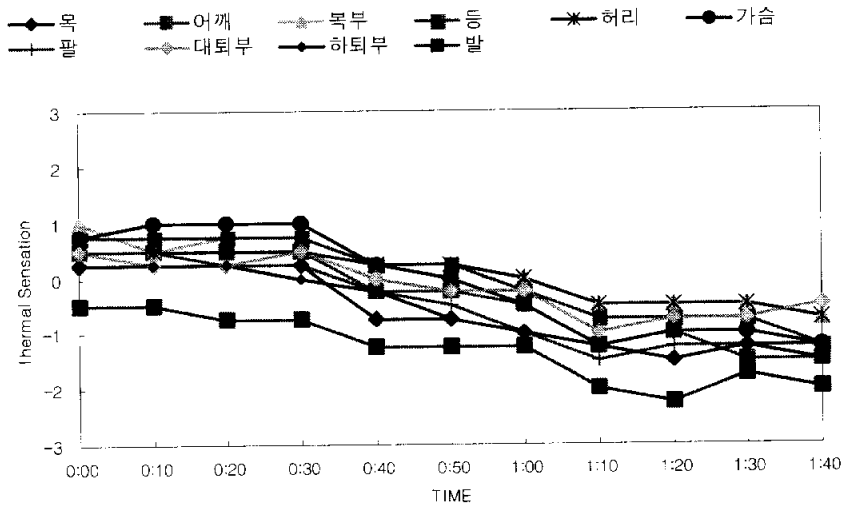


Fig. 28 LTSV(22°C)

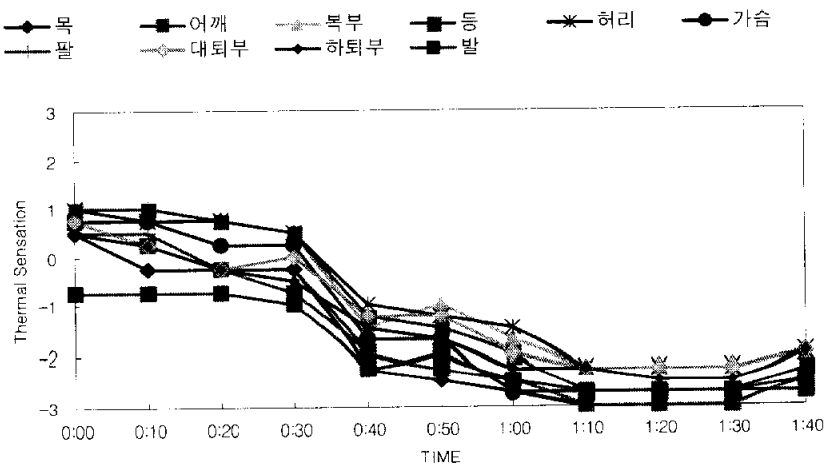


Fig. 29 LTSV(24°C)

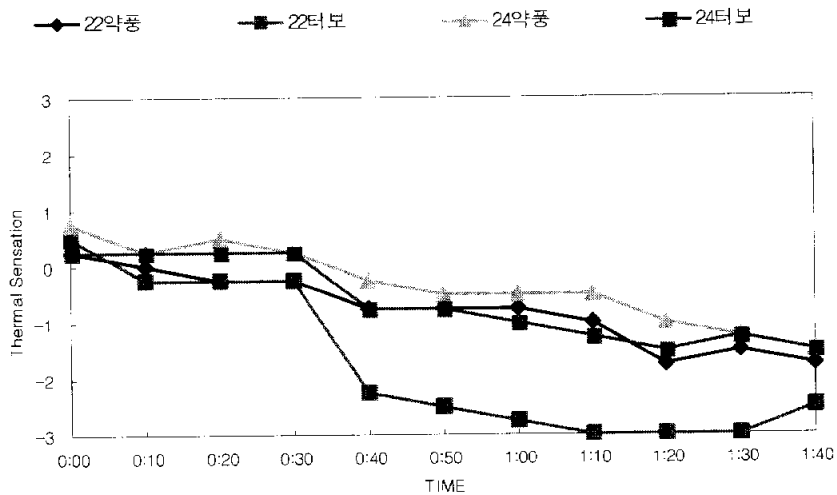


Fig. 30 LTSV(neck)

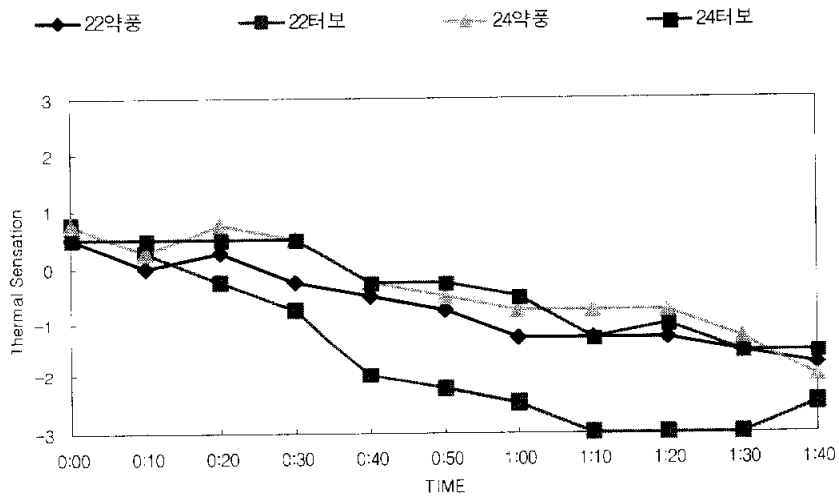


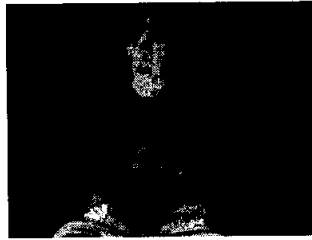
Fig. 31 LTSV(shoulder)

(3) 열화상

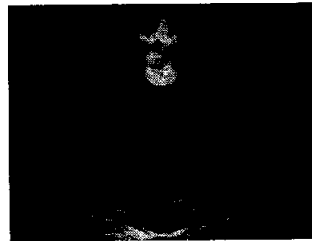
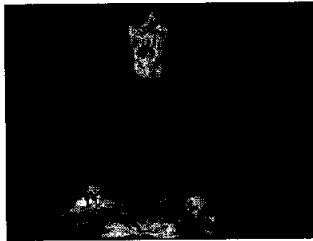
Fig. 32는 공기청정기가 가동전과 공기청정기 가동 1시간 이후의 열화상 사진을 나타낸 것이다. 공기청정기 가동 전에 비해 가동 후의 말초부위 피부온도가 상당히 하강하였음을 알 수 있다.

Before

After



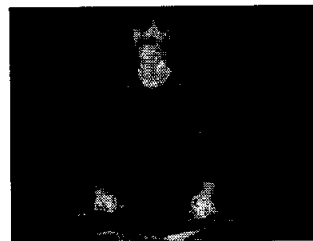
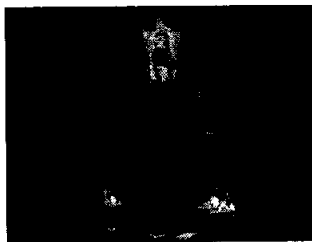
(a) 22°C weak



(b) 22°C turbo



(c) 24°C weak



(d) 24°C turbo

Fig. 32 Change of temperature on skin

(4) MST(평균피부온도)

Fig. 33은 각 설정온도에서 MST의 변화를 나타낸 것이다. MST는 22터보에서 가장 급격하게 하강하여 일반적으로 쾌적영역에 해당하는 33℃를 벗어나는 경향을 나타냈으며, 24약풍에서 가장 완만한 변화를 보이면서 쾌적영역을 유지하였다. 24강풍과 22약풍에서는 기울기가 유사한 하강패턴을 나타냈다.

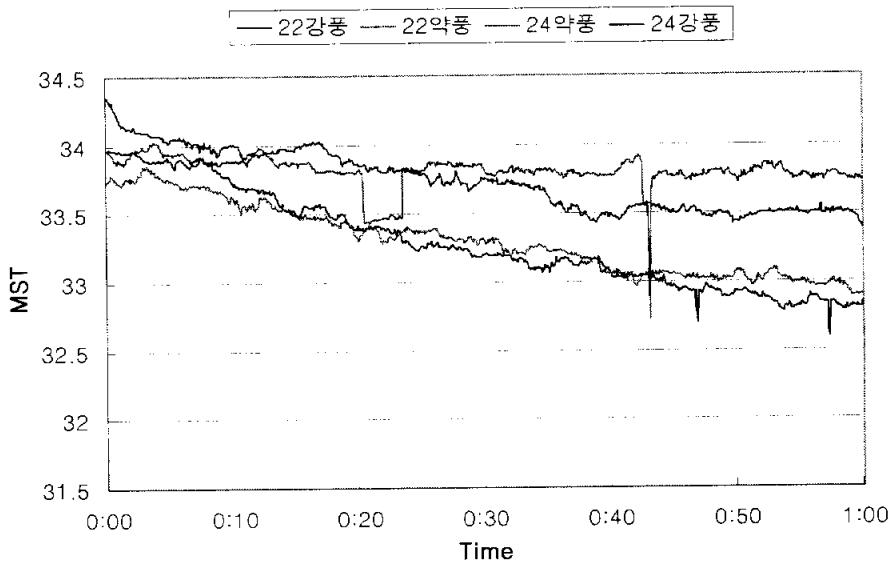


Fig. 33 MST

(5) EEG(뇌파)

Fig. 34와 Fig. 35는 각각 온도변화에 따른 EEG변화와 기류속도변화에 따른 EEG변화를 나타낸 것이다. 24℃가 22℃의 경우보다 EEG의 기울기가 큰 것으로 보아 24℃의 경우가 보다 심리적인 안정의 영역임을 알 수

있다. 또한, 22℃와 24℃의 공간에서 기류속도가 빨라질수록 EEG기울기의 변화가 큰 것으로 나타나므로 기류속도에 의해 심리적인 불안정을 예측할 수 있다.

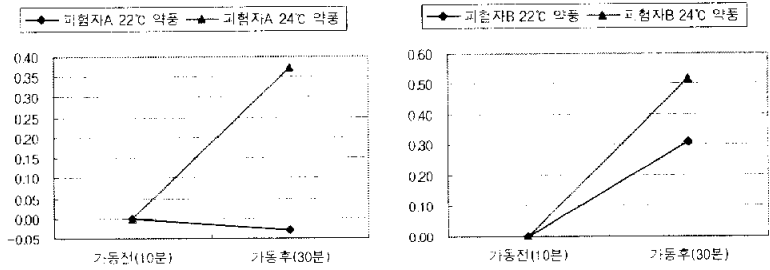


Fig. 34 EEG as temperature

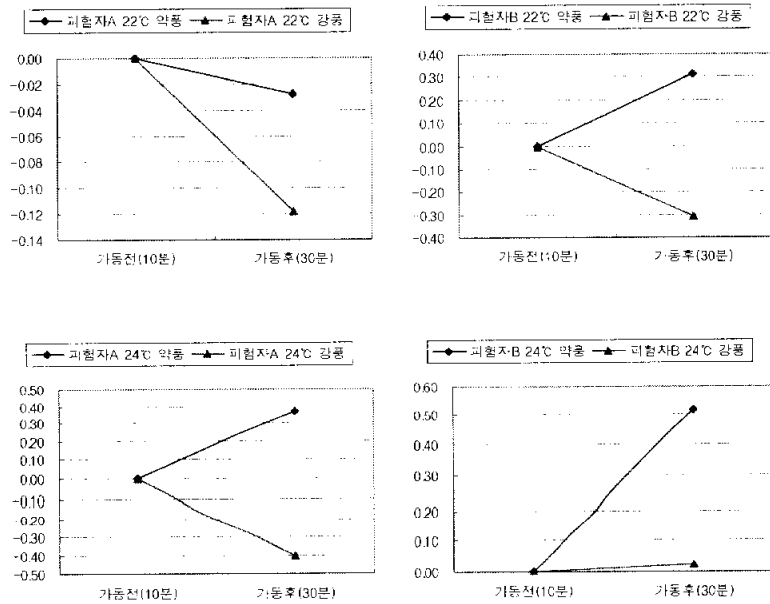


Fig. 35 EEG as air velocity

Ⅲ. 결론

본 연구에서는 공기정화기의 토출기류에 대한 수치시물레이션과, 피체험자를 대상으로 전신온냉감, 국부온냉감, 생리신호를 수집하는 체감실험에 의한 평가를 통해 공기정화기 가동에 의해 발생하는 기류가 인체온열 환경에 미치는 영향을 파악함으로써 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 수치 시물레이션 전방토출형 공기청정기는 상방토출형 공기청정기보다 드래프트를 발생시킬 가능성이 많으며, 기류속도가 빠를 경우 그 영역이 상당히 넓음을 확인하였다.

2. 체감실험의 결과 공기정화기 가동전과 가동 후 주관설문 응답이 불쾌 영역으로 변화하는 것을 알 수 있어 기류에 의한 드래프트를 확인할 수 있었다.

3. 체감실험 결과 드래프트를 느끼는 강도는 기류속도가 빠를수록 크고, 실내 온도가 낮을 수록 크다는 것을 알았다.

4. 국부불쾌감에 대한 설문응답을 분석한 피체험자 위치에서 결과 온도 24℃ 기류속도 1.23m/s의 경우와 22℃ 0.23 m/s의 설문응답 결과가 유사한 변화를 보이므로 기류속도가 온도편차에 대해서 약 2℃에 상응하는

것으로 판단된다.

5. 전방토출형 공기청정기를 설계함에 있어서 드래프트를 저감시키기 위해서는 실내보다 온도를 상승시키거나, 재실자가 느끼는 기류속도를 최소화 하기 위한 방안이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 명현국, "실내 온열환경 평가지표", 공기조화 냉동공학 제 21 권 제 4 호, pp. 257-270, 1992
2. 윤정숙, 최윤정, "겨울철 실내 온열환경의 쾌적범위설정에 관한 실험적 연구", 대한가정학회지 제 30 권 제 2 호, pp. 81-86, 1991
3. 배귀남, 이철희, 이춘식, 최향철, "겨울철 실내 온열환경 및 쾌적성 평가", 공기조화 냉동공학 논문집 제 7 권 제 2 호, pp. 310-318, 1995
4. 김성기, 남임우, 서홍범, 최영돈, "가정용 공조기의 실내기 내부 공간 형상에 따른 토출 유동특성 연구", 대한설비공학회 하계학술논문집 제 2 권, pp. 981-985, 2001
5. 박승익, 이상혁, 박효순, "교실에서 패키지 에어컨의 취출 각도에 따른 열환경 시뮬레이션", 대한건축학회논문집 계획계 18 권 제 10 호, pp.243-250, 2002
6. 이경희, "Draft 溫度和 速度에 의한 局部的 不滿足에 관한 研究", 대한 건축학회 논문집 제 12 권 제 12 호, pp. 117-124, 1996
7. 이경희, 한운호, "Draft 溫度和 氣流速度에 의한 室內 熱環境 變化에 관한 研究", 대한건축학회 논문집 제 12 권 제 4 호, pp. 119-127, 1996
8. 배귀남, "실내공기와 온열환경", 공기조화 냉동공학 논문집 제 24 권 제 1 호, pp. 14-28, 1995
9. 오경택, 박승익, 박효순, 윤용진, 황윤제 "천장형 인버터 히트펌프의 취

- 출방향에 따른 열환경 평가”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집 제 2 권, pp. 1033-1037, 2001
10. 금종수, 김용식, 김재돌 “100만인의 공기조화”, ohmsha & 태훈출판사, pp. 255-259, 2000
 11. 김동규, 1998, “한국인의 온열쾌적감 평가 및 쾌적지표의 적용성에 관한 연구”, 박사학위논문, 부경대학교
 12. 이관수, 이태희, 김우승, “작상시 설계인자에 따른 핀-관 열교환기의 성능변화에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회논문집 제 19권 제 10 호, pp. 2657-2666, 1995
 13. 井上宇市 著, 金孝經 譯, “공기조화 개정 3판”, 동명사, pp468-472, 2000
 14. 井上宇市 著, 金孝經 譯, “공기조화 개정 3판”, 동명사, pp457-460, 2000
 15. H K VERSTEEG, W. MALASEKERA, “An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method”, Prentice Hall, pp. 49~54, 1998
 16. 공성훈, 손장열, 이옥경, “공동주택의 온열환경 요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적 조건에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제4권 3호, pp. 185-192, 1998
 17. 공성훈, “대류 난방공간에서 온열쾌적조건의 분포상태에 관한 연구”, 한국주거학회지, 제 6권 1호, pp. 31-37, 1995
 18. 금종수, 김정철, “실내공조에 있어서 온열환경의 쾌적조건에 대한 연

- 구방향 및 방법의 제시에 대한 최종보고서”, 부경대학교 산업기술연구소, 1992
19. 금종수, “한국인에 맞는 쾌적지표의 검증과 기준data의 추출에 대한 최종보고서”, 부경대학교 산업기술연구소, 1993
 20. 금종수, “온열쾌적감 측정기술 및 DB개발”, 제 9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB 구축 Workshop 자료집, pp.78-94, 1997
 21. 주익성, 김동규, 금종수, 최광환, 이구형, 임금식, “한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구(Part I 겨울철 체감실험결과)”, 97 한국감성과학회 연차학술대회 논문집, pp. 107-112, 1997
 22. 김동규, 주익성, 금종수, 최광환, 최호선, 이길량, “한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구(Part II 여름철 체감실험결과)”, 97 한국감성과학회 연차학술대회 논문집, pp.113-117, 1997
 23. 최진영, 박종한, 금종수, 성시풍, 심민섭, “동계체감실험에 의한 온냉감 평가와 PMV, SET*의 적용성 검토”, 공기조화냉동공학회 하계학술강연 및 논문집, pp.170-174, 1993
 24. ASHRAE, “SPACE AIR DIFFUSION”, ASHRAE Fundamental, pp. 31.1- 31.7, 1997
 25. ASHRAE, “THERMAL COMFORT”, ASHRAE Fundamental, pp. 8.12- 8.28, 1997

감사의 글

본 논문이 좋은 결실을 맺을 수 있도록 끊임없는 지도와 편달을 아끼지 않으신 저의 지도교수 **금종수 교수님께** 진심으로 감사 드리며, 논문 심사와 지식적 배경을 지도하여 주신 **오후규 교수님**, **최광환 교수님**, **김종수 교수님**, **김영수 교수님**, **윤정인 교수님**, **정석권 교수님께** 감사를 드립니다.

또한, 논문이 완성되기까지 여러 가지 도움과 조언을 해주신 **정용현 박사님**, **김동규 박사님**, **신병환 선배님**, **김형철 선배님**께도 감사를 전하며, 본 논문의 실험장치 제작에서부터 데이터 수집 및 측정에 많은 도움을 준 **김동규**, **한남규**, **이정훈**과 **건축환경설비연구실 연구원** 모두에게도 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 오늘이 있기까지 불평불만하지 않고 부족한 저에게 헌신적인 내조를 해주었던 사랑하는 **아내 이정섭**과 작년에 탄생한 **아들 김현석**과도 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.