

자동차 실내의 열환경 해석 및 열적 쾌적성 평가

자동차 실내의 온열환경 해석 및 열적 쾌적성 평가에 대한 중요성과 최근의 연구 현황을 소개하고자 한다.

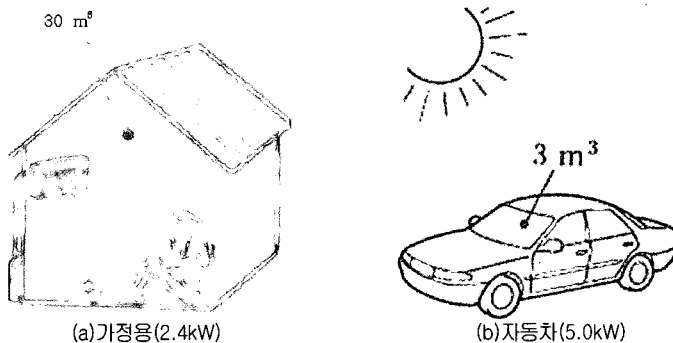
홍성호, 김문언, 김만회

한국과학기술원 기계공학과(manhoe.kim@kaist.ac.kr)

산업의 현대화와 생활수준의 향상으로 자동차는 이제 단순한 이동수단을 넘어 하나의 생활공간으로 인식되어 가고 있어서 승객과 운전자의 쾌적성, 편의성 및 안전성을 향상시키는 것은 자동차의 성능향상과 함께 대단히 중요한 일이다. 따라서, 자동차의 공조시스템은 차내의 승객과 운전자의 쾌적성을 향상시키기 방향으로 설계되고 운영되어야 한다. 자동차의 공조시스템은 차량의 주행상태 및 다양한 외부 환경에 따라서 공조 부하가 크게 변하기 때문에 동적제어가 중요한 시스템이다. 차내의 환경에 대한 쾌적성은 열환경, 공기질, 진동소음, 조명 뿐만 아니라 의자의 안락감, 의자의 크기 및 간격, 실내 디자인 등 시각적, 공간적 요인에 의하여 영향을 받는다. 그러나, 차내의 쾌적성에 가장 영향을 미치는 요소

는 차내의 공기의 온도와 공기의 질이며, 이는 자동차의 공조시스템에 의하여 제어된다. 자동차의 공조시스템은 가정용 정치형의 가정용 에어컨과는 그 특성이 크게 다르다.

자동차의 경우 실내 공간은 건물에 비해 1/10 정도 이나 하절기의 냉방능력은 2배 이상(그림 1)으로 단위 체적당 냉방능력은 건물에 비하여 20배 정도가 필요하다. 이는 한 여름에 자동차를 외부에 주차할 경우 태양 복사에 의하여 차내 온도가 60-70℃까지 상승하므로 이를 단시간에 적절한 온도로 낮추기 위해 필요하다. 또한, 자동차의 실내 열환경은 건물이나 사무실에 비하여 상대적으로 매우 불균일한데, 그 이유는 밀폐된 좁은 공간에서 단위체적당 공조시스템의 능력이 매우 클 뿐만 아니라 냉기 토출구와



[그림 1] 가정용과 자동차 에어컨의 냉방능력의 비교



인체가 인접해 있어서 신체 부위별로 온도와 풍속이 크게 차이가 나기 때문이다. 또한, 태양 복사량도 위치에 따라 크게 바뀌며 창문의 개폐 상태에 따른 기류 분포에도 기인한다. 건물과 같이 온열환경이 비교적 균일한 임의 공간에 대한 열적 쾌적성을 평가하는 규격은 그 동안 여러 가지가 제정되어 사용되어 왔으나, 자동차의 실내와 같이 균일한 온열환경이 조성되기 어려운 경우에는 사용하기가 곤란하다. 따라서, 육상, 해상 및 항공의 수송기계의 실내 열적 환경을 평가하기 위한 새로운 국제규격 (ISO/DIS 14505)이 제정되고 있으며, 등가온도와 써멀마네킨을 이용한 열적쾌적성을 평가하고 있다. 이러한 차내의 인체의 열적 쾌적성은 인간의 물리적/개인적/심리적 현상에 주로 근거하지만, 인체에서의 열손실 및 열환경 변수의 관계를 상세하게 해석함으로써 인체 각부의 쾌적성을 평가할 수 있으므로 자동차와 공조시스템의 설계단계에서 열환경 특성을 모사하고 예측하는 기술을 제공할 수 있다. 본 고에서는 자동차의 차내 열환경을 평가하는 새로운 규격을 소개하고, 국내의 소형차를 대상으로 수행한 차내 열환경 해석 및 열적 쾌적성에 대한 평가사례를 소개하고자 한다.

열적 쾌적성

열적 쾌적성은 ASHRAE Standard 55 및 ISO 7730에 따르면 “주어진 열환경에서 만족감을 나타내는 마음의 상태”로 정의하고 있는데, 주위의 열환경에 적응하기 위한 신체적인 조절 노력이 최소화되는 상태가 열적으로 쾌적한 것이다. 사람의 인체는 추운 환경에 노출되면 혈액순환량을 감소하고 피부가 수축하여 신체의 표면적이 감소되어 열손실을 줄이기도 하고 몸을 떨어 열을 발생시키기도 한다. 반면에 더운 환경에 처하게 되면 혈액순환량이 증가하고 피부를 이완시켜 신체의 표면적을 증가시키거나 땀을 통해 열을 주위로 방출한다. 이런 일련의 신체조절 노력이 최소화되는 상태가 열적으로 쾌적하다고 할 수 있다. 열적 쾌적성은 크게 물리적인 요소와 개인적인 요소에 의하여 영향을 받는다. 물리적인 요소는 기온, 기류, 평균 복사온도 및 상대습도이고, 개인적인 요소로는 활동량, 착의량, 나이 및 성별 등이

있다. 실내의 온열환경을 해석하고 평가하기 위해서는 열적 쾌적성을 표현하는 지수가 필요하다. 온열 쾌적성을 평가하는 지수는 현재 여러 가지가 있으나, Fanger¹⁾가 1970년에 1300명 이상의 사람을 대상으로 하여 얻은 시험값을 토대로 제안한 PMV(predicted mean vote) 지수가 많이 사용되고 있는데, 이는 1984년에 ISO 7730으로 국제규격으로 등록된 규격이다. 열적 쾌적성에 대한 개인적인 차이에 따른 영향을 평가하기 위해 PPD(predicted percent dissatisfied)라는 지수도 함께 사용하고 있는데, 이는 동일한 온열환경에서 불만족을 표시하는 사람의 비율을 백분율로 표시한 것이다. 열적으로 쾌적한 이상적인 PMV=0 상태에서도 PPD는 5%로 나타나는 데, 이는 가장 쾌적한 온열 환경에 대해서도 실험군의 5%가 불만족을 표시하는 것을 의미한다. ISO 7730에서는 PMV 지수가 ±0.5내에 있는 실내 열환경을 권장하고 있는데 이는 실내의 일반적인 상태를 표현하는 지수이고, 국소적인 열적 불만족도를 평가하기 위해서는 DR(draught), 비대칭 복사, 수직 온도차 및 바닥온도 등에 의한 영향을 별도로 고려하여야 한다.

그러나 상기에서 기술한 PMV는 정상상태에서 사용이 가능한 열적 쾌적성 지수로, 자동차와 같이 실내의 온열환경이 시간에 따라서 계속 변화하는 비정상상태에서는 사용이 곤란하다. 따라서, 자동차의 실내 열환경을 체계적으로 평가하기 위한 표준안이 제정되고 있으며, 등가온도(equivalent temperature)와 써멀마네킨을 사용하여 차내 열적 쾌적성을 평가하고 있다.

차내 열환경 평가에 대한 국제 표준안

자동차의 공조시스템은 차내의 실내환경의 질 (IEQ, indoor environmental quality)을 향상시키기 위한 것으로, 승객이나 운전자의 쾌적함과 건강을 향상시키기 위해서는 차내 공간의 열환경, IAQ(indoor air quality), 기류, 조명, 음향 등을 포함하는 실내환경의 요소에 대한 전반적인 검토가 필요하다. 그러나, 실내환경에서 인체의 열환경이 상대적으로 중요하므로, 이를 측정하는 규격도 그 동안 여러 가지가 제정되어 사용되어 왔다^{2,3)}. 대표적인 것을 보면 고

은 환경에 대해서는 ISO 7243과 ISO 7933, 저온 환경에 대해서는 ISO/TR 11079, 그리고 ISO 7730은 열적 쾌적성 평가의 규격으로 사용되어 왔는데, 이는 비교적 온열환경이 균일한 임의 공간에 대한 규격으로 자동차의 실내와 같이 협소하고 균일한 온열환경이 조성되기 어려운 경우에는 사용하기가 곤란하다. 따라서, 자동차와 같은 수송기계의 실내 열적환경을 평가하기 위한 새로운 국제규격 (ISO/DIS 14505) "수송기계내 열환경 평가(evaluation of thermal environment in vehicles)"의 제정이 추진되고 있으며 주요 내용은 다음과 같다.

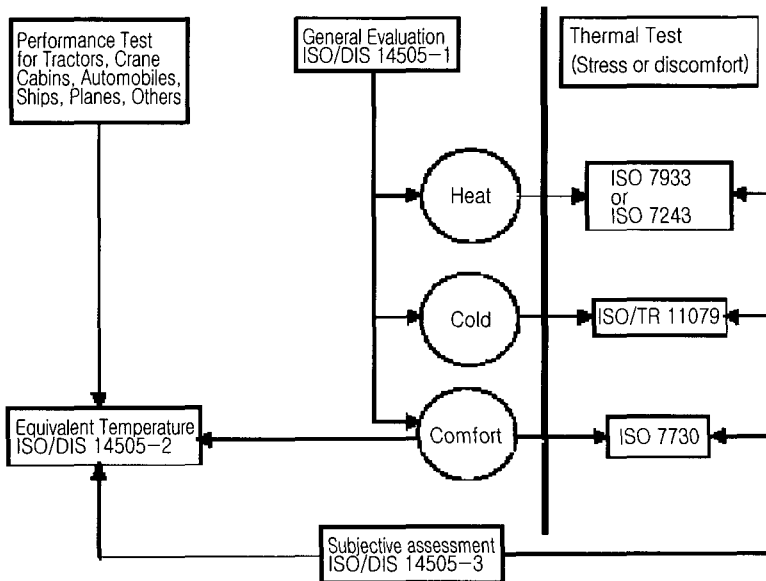
- Principles and methods for assessment of thermal stress (ISO 14505-1)
- Determination and interpretation of equivalent temperature (ISO 14505-2)
- Evaluation of thermal comfort using human subjects (ISO 14505-3)
- Evaluation of thermal comfort using computer simulation (ISO 14505-4)

그림 2에 ISO/DIS 14505에 대한 체계도를 나타내

었는데, 본 규격과 기존 규격과의 관계를 표시한 것이다. ISO/DIS 14505에서는 열적 평가를 위하여 등가온도(equivalent temperature)를 정의하여 사용하고 있으며, 써멀마네킨(thermal manikin)을 사용하고 있다는 점이 특징이다. ISO/DIS 14505-1은 수송기계 실내의 열적 쾌적성을 평가하는 원리와 방법에 대한 내용을 기술하고 있으며 하기 내용을 포함하고 있다.

- 육상, 해상 및 항공에 대한 수송기계의 실내공간의 정상상태에서의 열적 쾌적성을 평가하는 기준의 제시.
- 국제 규격에 기술된 덥고(hot), 춥고(cold), 쾌적한(moderate) 열적환경을 평가하는 여러 가지 방법에 대한 정보의 제공.
- 수송기계의 특수한 조건에서의 실내 열환경을 평가하는데 필요한 기준 및 조건의 제공.

ISO/DIS 14505-2는 등가온도 (equivalent temperature)의 정의와 결정방법에 대한 기준을 제시하고 있으며, 육상, 해상 및 항공의 수송기계의 실내공간의 열적 조건을 평가하는 기준을 제공한다. 이 규격은 열적으로 비대칭인 실내공간에 적용이 가능함은 불



[그림 2] ISO/DIS 14505 체계도



론 열적으로 쾌적한 상태에서 약간 벗어난 조건에서도 적용이 가능하도록 한 것이 특징이다. 또한, 이 규격에 기술된 방법을 이용하여 수송기계 및 유사한 실내공간에 대한 HVAC시스템의 성능 평가방법으로 사용이 가능하다. 등가온도는 그림 3에 나타낸 바와 같이 실제의 열적으로 비균일한 실내공간을 이상적인 균일한 공간으로 가정한 경우의 실내온도이다. 등가온도는 여러 가지로 정의 되고 있으나⁴⁾, Madsen 등^{5, 6)}이 제안한 실험식에서 도출한 다음의 등가온도가 많이 사용된다.

$$t_{eq} = 0.5(t_a + t_r) \quad \text{for } v_a \leq 0.1 \text{ m/s} \quad (1)$$

$$t_{eq} = 0.55t_a + 0.45t_r + \frac{0.24 - 0.75\sqrt{v_a}}{1 + I_{cl}}(36.5 - t_a) \quad \text{for } v_a > 0.1 \text{ m/s} \quad (2)$$

여기서 t_a 와 v_a 는 각각 공기의 온도와 속도이고, I_{cl} 은 평균복사 온도로 다음과 같이 표현된다.

$$t_r = \frac{A_1 \cdot T_1 + A_2 \cdot T_2 + A_3 \cdot T_3 \dots}{A_1 + A_2 + A_3 \dots} \quad (3)$$

여기서 A_1, A_2, A_3 와 T_1, T_2, T_3 는 각 면의 면적과 온도를 나타내며, I_{cl} 은 신진대사량과 일로 소비한 에너지를 포함한 옷의 단열능력을 나타낸다.

$$I_{cl} = 1.33 / (M - W + 0.74) - 0.095 \quad (4)$$

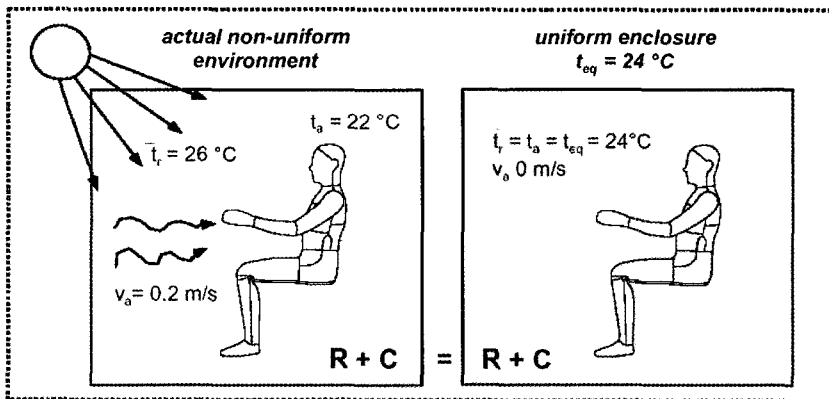
여기서 M 은 신진대사량(met)이고 W 는 일에 의한 에너지 소비량(met)이다.

ISO/DIS 14505-3은 인체를 이용한 열적 쾌적성평가에 대한 내용이다. ISO/DIS 14505-4는 아직 확정되지 않았으나, 이론적인 수치해석을 통한 열적쾌적성의 평가에 관한 내용으로 추진되고 있다. 또한, 본 규격에서는 차내 공간의 열적쾌적성을 평가하기 위해 다양한 종류의 써멀마네킨을 사용하게 된다. 따라서, 본 규격의 부속서에 써멀마네킨의 발열방법, 센서 종류, 인체의 분할 등 주요 제원에 대한 예를 제시하고 있는데, 그림 4에 일부 써멀마네킨의 예를 나타내었다.

인체의 열적쾌적성에 대한 평가는 사람과 써멀마네킨을 이용하여 진행하고 있는데, 그림 5에 2개의 마네킨과 20명의 사람을 이용한 시험조건에 대한 예를 보이고 있다. 그림에서 MTV(mean thermal vote) 지수는 30가지의 열환경 조건에서 써멀마네킨과 20명의 사람을 이용한 시험자료로부터 도출한 지수로, 특히 신체를 16개 부위(그림 6)로 나누어 동일한 시험을 수행하여 부위별 열적쾌적성을 나타낼 수 있는 자료를 제공한다. 그림 7에 하절기와 동절기에 인체 부위별 열적 쾌적성을 등가온도의 함수로 나타낸 예를 도시하였다.

승용차 실내의 열환경 해석 및 열적 쾌적성 평가 사례

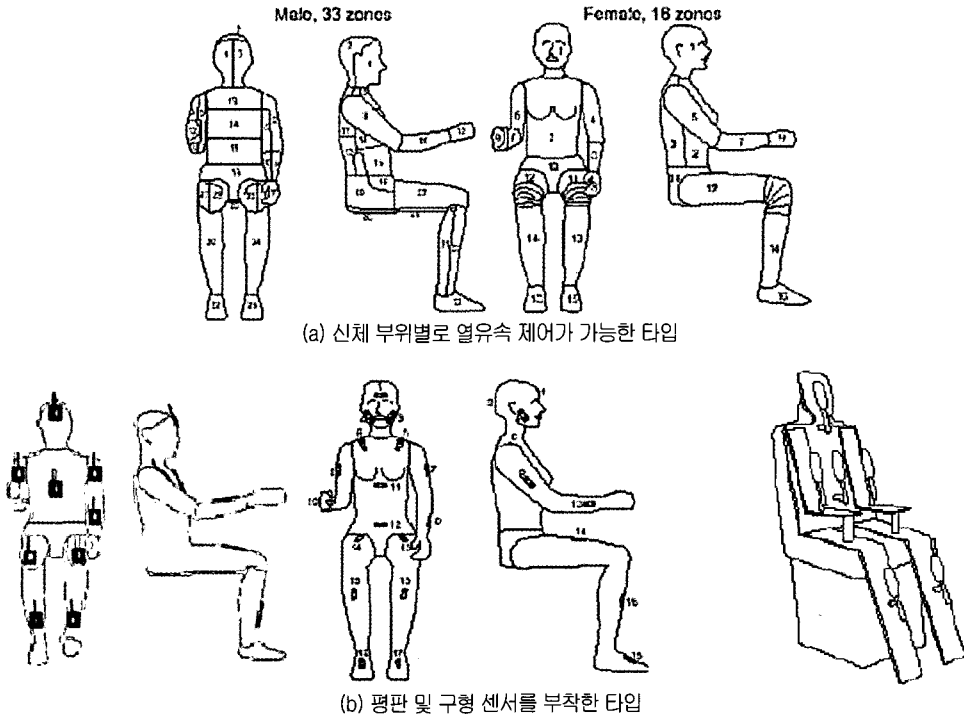
본 장에서는 국내의 1500cc급의 중소형 자동차를



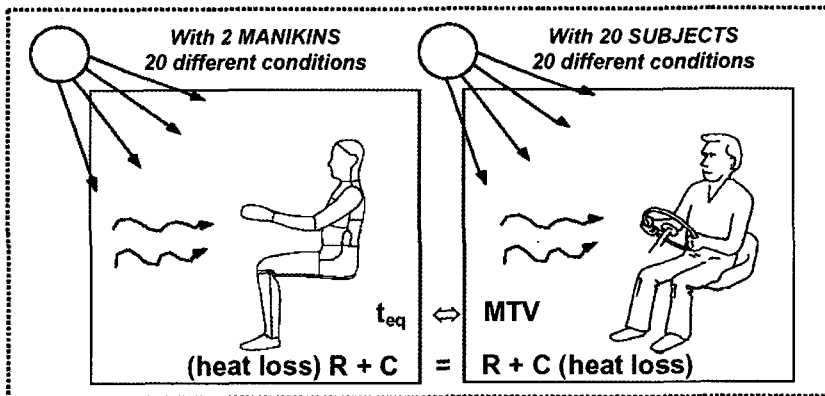
[그림 3] 등가온도의 정의

모델로 차내의 열유동 특성을 해석하고 이를 토대로 등가온도를 이용하여 열적 쾌적성을 평가한 사례를 소개하기로 한다. 차내의 열환경을 평가하기 정확히 위해서는 인체의 특성을 고려한 신진 대사량, 옷의 착용상태 및 습도 등 많은 부분이 고려해야 하지만

여기서는 이런 요소는 일정한 것으로 가정하고 차량 실내 공간에서의 공기의 속도와 온도변화에 대한 특성을 고찰하는데 중점을 두었다. 차내 공간의 열환경은 여러 요소들에 영향을 받지만, 차량 내 공기의 평균 속도가 대략 0.1 m/s - 1.0 m/s이고 빠른 시간



[그림 4] 써멀마네킨의 종류



[그림 5] 써멀마네킨과 사람을 이용한 시험

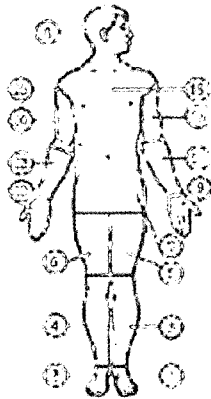


내에 거의 일정한 값으로 수렴하므로 습도, 착의량 및 신진 대사량을 고정한다면 온도의 변화가 가장 큰 요소가 된다. 본 연구에서는 실험을 통해서 얻은 차내 온도분포를 이용하여 전산해석의 정확도를 검증한 후 3차원 수치적 모델에서 다양한 inlet 조건에서의 쾌적성을 평가 하였다. 또한, 2차원의 모델로 3차원의 평균온도 결과를 묘사할 수 있다면 계산시간의 단축과 다양한 연구가 가능하므로 2차원과 3차원의 평균온도 관계를 조사하였다.

연구에 사용된 모델은 국내 모회사의 1500cc 중소형 승용차(차량의 실내 내용적은 3.067 m³)이며 수치해석을 용이하게 하기 위하여 차의 내부 구조나

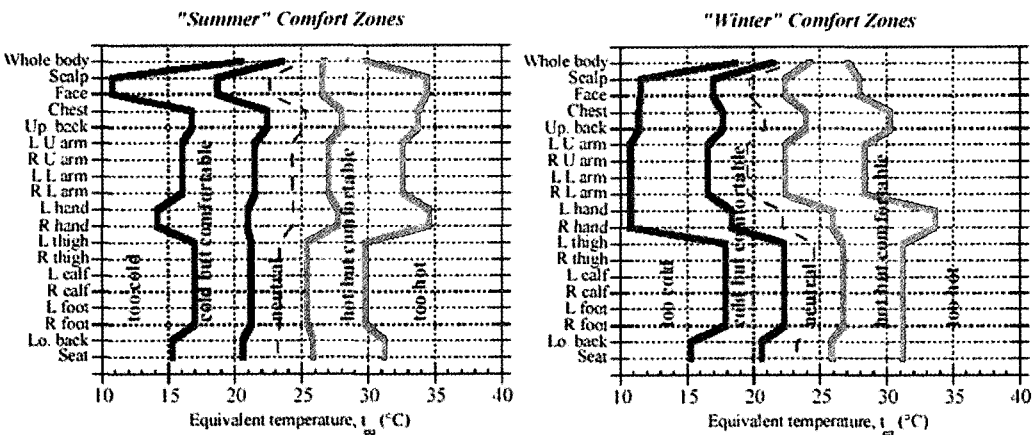
외형을 단순화 하였다.

즉, 그림 8과 같이 복잡한 내부공간을 단순화하고 inlet의 위치, 창문의 크기, outlet의 위치와 크기를 고려하여 모델링을 하였다. 실제 차량에는 내부 공기의 재순환을 위해 차량 앞자리 조수석 무릎부분에 배출되는 부분 외에도 미세한 차량의 틈으로 빠져 나가는 공기가 있다. 그러나 수치해석의 편의성을 위하여 실제와는 약간의 차이가 있지만 차량 뒷부분과 차량 뒷문의 양쪽에 3개의 배출구를 두었다. 2차원의 모델은 3차원 모델의 측면에서 바라본 단면으로 모델링을 하였고, 냉기의 순환방식은 몇 가지가 있지만 내부 순환모드 방식에만 국한하여 계산하였



- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1: L.F(left foot) | 2:R.F(right foot) |
| 3: L.C(left calf) | 4:R.C(right calf) |
| 5: L.T(left thigh) | 6:R.T(right thigh) |
| 7: PE(pelvis) | 8:HD(head) |
| 9: L.H(left hand) | 10:R.H(right hand) |
| 11:L.A(left arm) | 12:R.A(right arm) |
| 13:L.S(left shoulder) | 14:R.S(right shoulder) |
| 15: CT (chest) | 16:U.B(upper back) |

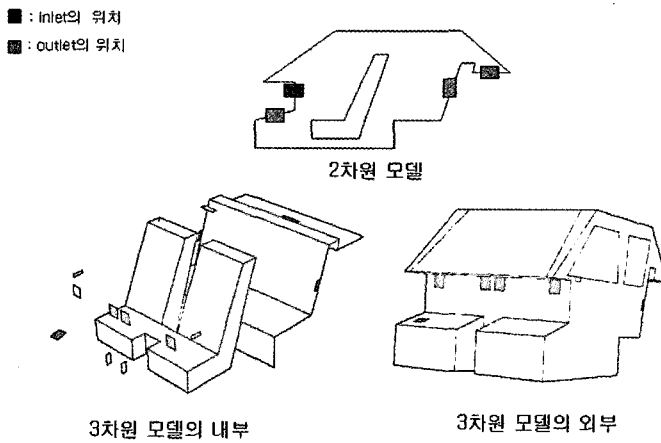
[그림 6] 16개의 인체 분할 부위



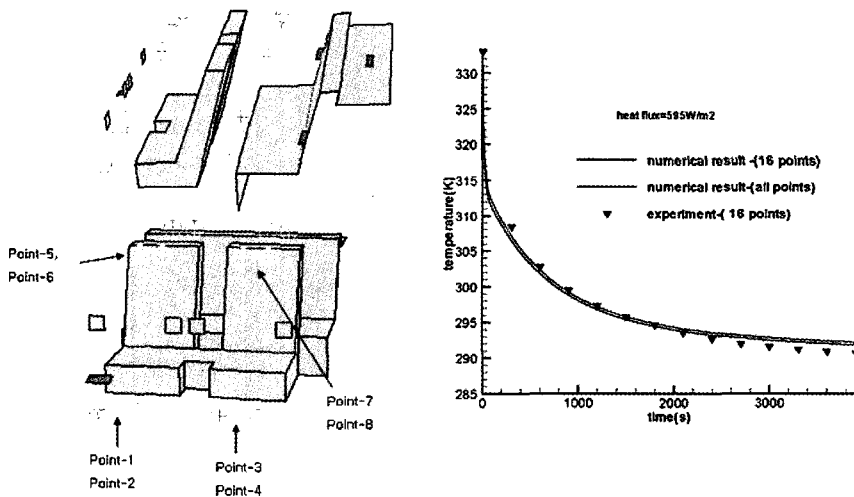
[그림 7] 하절기와 동절기의 인체 부위별 쾌적 범위

다. 내부 순환 모드에서 내부 공기의 70%는 재순환을 위해 앞부분의 출구로 빠져나가고 나머지 30%는 차량 뒷부분에 위치한 3개의 출구로 빠져나가는 것으로 가정하였다. 그리고 차량 내부의 I.P(instrument panel), 바닥 및 시트의 재질의 방사율은 0.9로 동일하게 주었다. 차량 내부의 온도에 가장 큰 영향을 주는 태양 복사에너지는 창문으로부터 일정량의 열유속이 공급된다고 가정하고 창문으로부터 차량 내부 사이의 view factor를 고려하여 계산하였다. 실제 차

량에서는 태양의 고도와 태양빛을 받는 각도에 따라 차량이 받는 열유속 값은 다르나, 수치해석과 비교한 실험의 조건이 밀폐 공간에서 차량의 뒷부분에서 일정량의 열유속을 공급받기 때문에 창문으로부터 일정량의 열유속이 공급된다는 설정에 큰 문제는 없다고 판단하였다. 차량 내부표면의 온도는 차량 실내공간의 평균온도를 기준으로 창문에서 거리의 정도에 따라 차등을 두고 시간에 따라 변화하는 온도의 함수로 주었으며, 에어컨에서 공급되는 냉기의



[그림 8] 실내공간의 2차원 및 3차원 모델링



[그림 9] 수치해석과 실험값의 비교



온도는 다음과 같은 시간의 함수로 주었다.

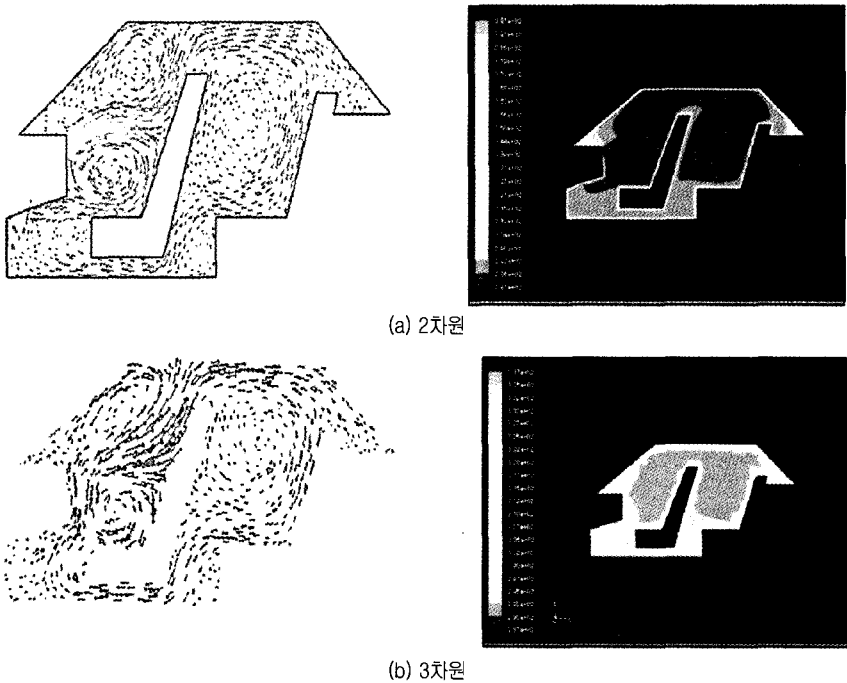
$$Temperature [^{\circ}C] = 278.28587 + 14.60278 \times \exp\left(\frac{-t}{1089.776}\right) \quad (5)$$

차내로 공급되는 냉기의 총 풍량은 일정(7.65 m³/min)하게 주고 냉기의 방향은 승차한 사람의 어깨방향으로 나오는 것으로 고정시켰다. 기타 자세한 사항은 참고문헌 7에 잘 기술되어 있다.

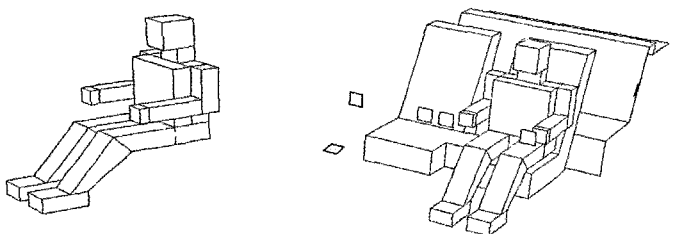
수치계산의 정확성은 그림 9와 같이 실험자료를 이용하여 검증한 후 다양한 inlet 위치에 대한 수치

해석을 수행하였다. 그림 10은 2차원과 3차원으로 계산한 유동장과 온도장을 비교하여 나타낸 것이다.

실제 대부분의 차량에서 판넬 앞부분의 4개의 inlet 으로부터 냉기가 공급된다. 그러나 본 연구에서는 inlet 위치 및 개수를 추가 하는 등 inletdml 위치 변화에 따른 냉각 효과 및 열적 쾌적성 평가를 실시하였다. 본 연구에서 사용한 인체의 모델링은 그림 6에 도시한대로 신체를 16부위로 나누고 신체의 표면적은 성인 남성의 평균값 (1.7 m²)과 유사하게 조사하여 그림 11과 같이 단순화 하였다.



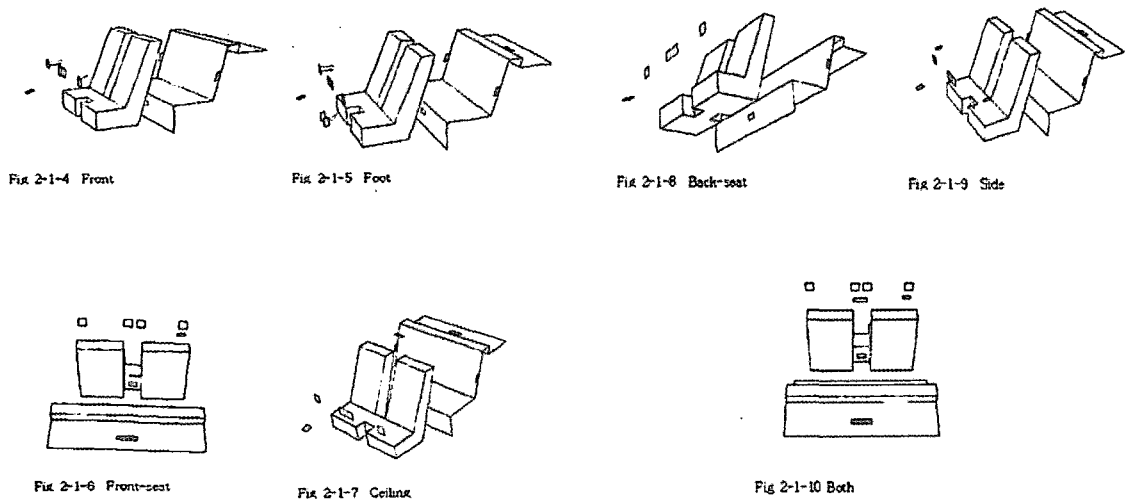
[그림 10] 2차원과 3차원의 유동장과 온도장의 비교



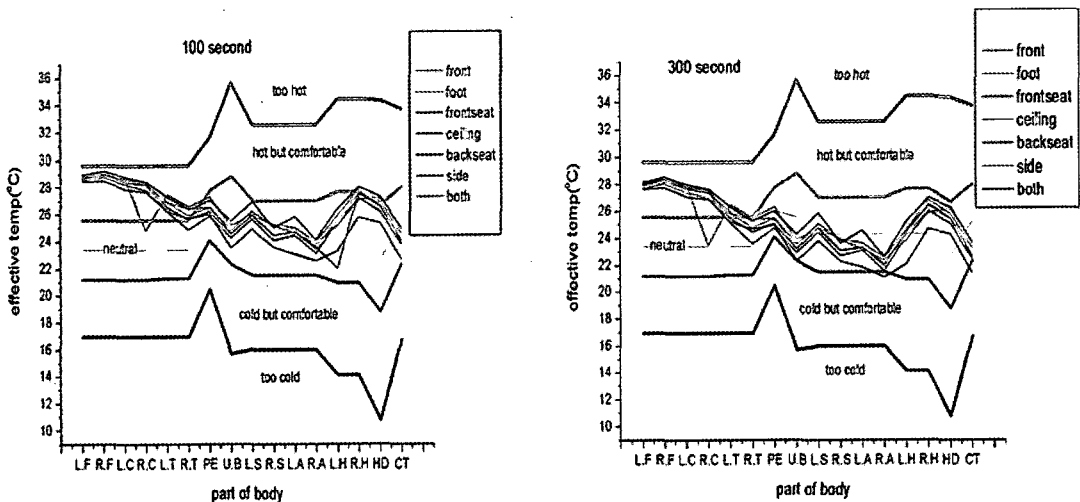
[그림 11] 인체 모델링

그리고, 그림 12는 냉기 inlet의 위치를 변경한 7가지 경우를 나타내었는데 각각의 경우에 대해서 식 (1)에서 (4)에 기술한 등가온도 (equivalent temperature)를 이용하여 차내의 열적 쾌적성을 평가하였다. 그림에서 파란색과 빨간색으로 표시한 부분이 실제 사용한 inlet과 outlet의 위치를 각각 나타낸다. 각 경우에 대한 구분은 그림에 나타난 바와 같이 차량 앞부

분의 4개의 inlet을 구분하기 쉽게 front, 차량 앞부분의 4개와 다리 부근에 있는 것을 foot, 차량 앞부분과 앞자리 뒷부분은 front-seat, 차량 앞부분과 뒷자리 아래쪽의 inlet이 있는 경우를 back-seat으로 표시하였다. 그리고 차량 앞부분과 천장 부근에 있는 inlet을 ceiling, 그리고 차량 앞부분과 앞자리 양쪽 옆 창문 아래에 inlet이 있는 것을 side, 차량 앞부분



[그림 12] 냉기 inlet의 위치 변화



[그림 13] 열적 쾌적성 평가 결과

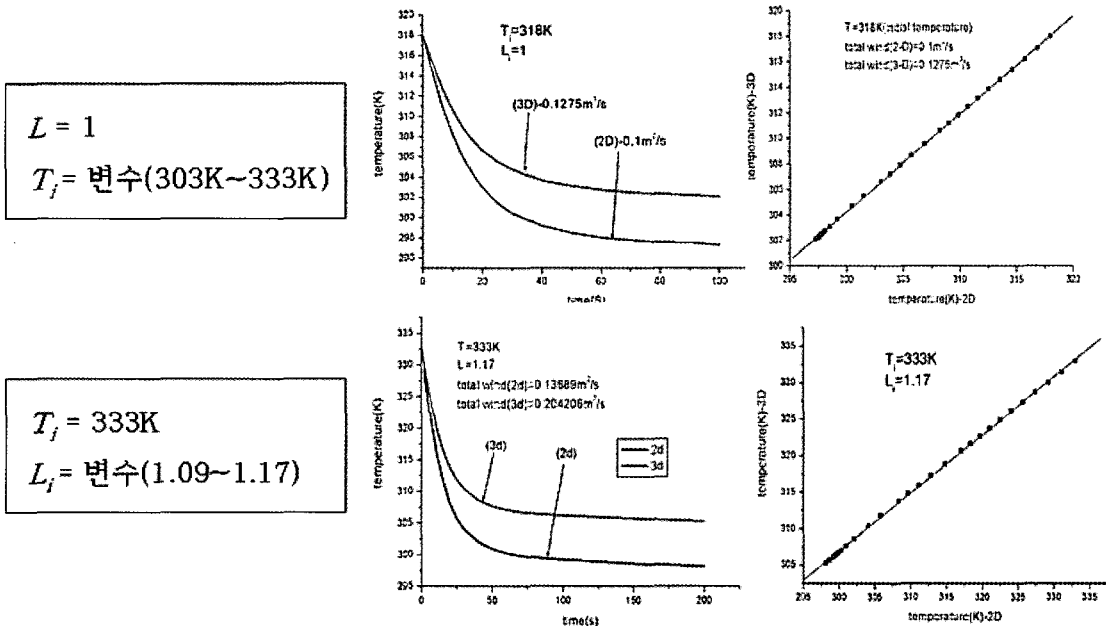


과 천장 그리고 앞자리에 inlet이 있는 것을 both라고 구분하였다. 그림 13은 inlet의 위치변화에 따른 쾌적성을 시간(100초, 300초)에 따라 평가한 결과의 한 예를 보여준다.

다음에는 2차원 모델로 3차원 모델의 평균온도를 구할 수 있는 방법에 대한 내용을 기술한다. 2차원 모델과 3차원 모델에 대한 관계의 연관성을 찾기 위해 선택한 요소는 차량 실내공간의 평균온도의 변화이다. 차내의 평균온도 값의 변화는 차량으로 들어오는 열유속, 차량 벽면의 온도와 내부 유동의 영향을 받는다. 여러 가지의 시행착오를 거쳐서 냉기의 총 풍량의 조정으로 2차원 모델과 3차원 모델의 평균 온도가 유사한 형태로 변화 한다는 사실을 발견하였다. 이로 부터 2차원 모델의 평균온도 곡선과 3차원 모델의 평균온도가 선형적 관계를 보이는 사실에 착안하고 상관관계를 얻기 위해 여러 가지 경우에 대한 수치해석을 수행하였다. 다음 식 (6)에서와 같이 변수 A, B를 구한다면 2차원 모델로부터 3차원의 평균온도를 구할 수 있다.

$$T(3d) = A + B \times T(2d) \quad (6)$$

여기서 A와 B는 열유속과 주위 벽면온도 등에 따라 영향을 받는 환경적인 요소와 자동차의 실내 공간의 크기 변화에 따른 시스템적인 요소로 구성된다. 즉 A와 B는 자동차 실내공간의 초기온도 T_i 와 자동차의 크기변화 L_i 에 영향을 받는다. 자동차의 실내공간의 크기를 고정시키면 L_i (길이변화)는 일정한 값을 가진다. 원래 기본 모델의 크기를 1로 하고 차량의 크기의 증가를 길이비로 나타내었다. 차량의 크기 변화는 길이변화(L_i)가 1.3을 넘지 않는 범위에서 연구를 수행 하였다. 그리고 차량 실내 공간의 초기온도 T_i 는 30 ~ 60℃ 범위로 가정하였다. A와 B는 T_i 와 L_i 의 변수로 구성되므로 이 변수들의 변화에 따른 2차원과 3차원 모델의 평균온도 변화의 관계를 고찰하였다. 우선 차량크기(L_i)를 고정시키고 초기온도(T_i)의 변화(303-333 K)를 통해 총 풍량이 1.0 m²/s인 2차원 모델과 3차원의 모델의 평균온도 변화의 관계를 구하였다. 다음으로는



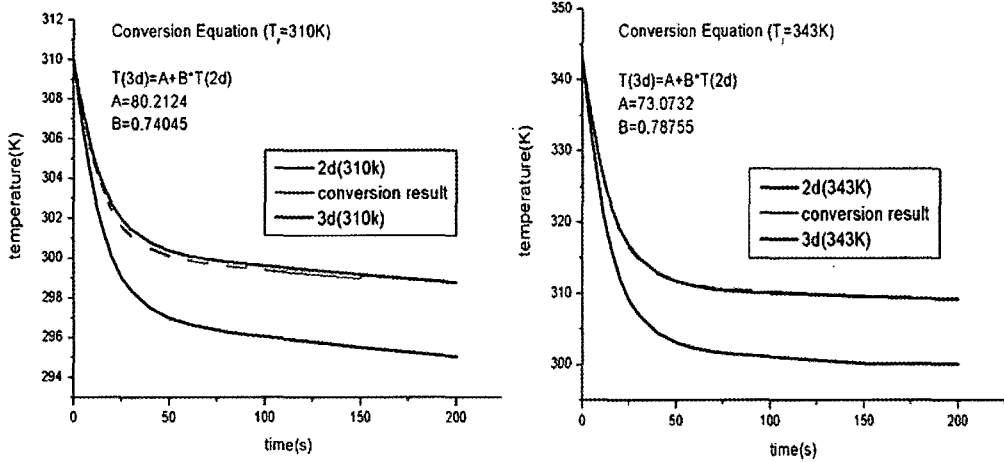
[그림 14] 2차원과 3차원의 평균온도 관계

초기온도(T_i)를 고정시키고 차량크기(L_i)의 변화(1.09-1.17)에 따른 상관관계를 살펴보았다. 그림 14에 inlet이 정면에 4개가 있는 경우에 대한 상관관계를 도시하였는데, 2차원과 3차원 평균온도는 선형

적인 관계를 갖는것을 알수 있다.

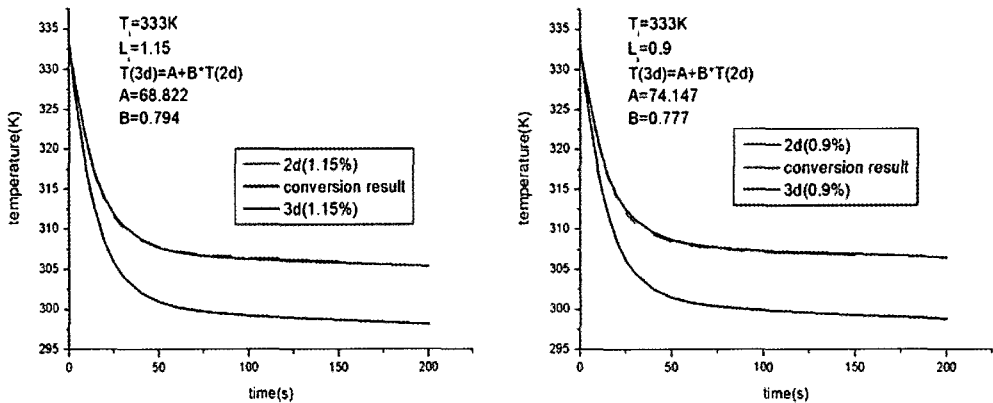
그림 15는 차량의 크기를 고정시키고 차량의 환경요소의 변화를 내포하고 있는 초기 온도의 변화를 통해 2차원과 3차원의 평균온도간의 상관식과 초기 온도가 310 K 와 343 K 일 때의 결과를 나타낸다. 2차

$$T(3D) = A(T_i) + B(T_i) \times T(2D)$$



[그림 15] 초기온도 변화에 따른 상관식

$$T(3D) = A(L_i) + B(L_i) \times T(2D)$$



[그림 16] 차량크기 변화에 따른 상관식



원 평균온도를 이용하여 3차원의 평균온도를 잘 예측할 수 있는 상관식이 존재하고, 초기온도 변화의 범위(303-333 K)를 벗어난 343 K에 대해서도 상관식을 적용할 수 있음을 알 수 있다. 그림 16은 초기온도를 고정하고 차량의 크기를 변화시킨 경우에 대한 2차원과 3차원의 평균온도와의 상관식과 차량의 크기비가 1.15 와 0.9일 때의 예를 보여준다. 여기서도 고려한 차량크기의 범위 (1.09-1.17)를 벗어난 0.9일 때도 좋은 결과를 보이고 있다.

자동차의 실내환경에서 사람이 쾌적하다고 느끼는 온도 범위가 존재하는데, 그 온도 범위 내로 얼마나 빨리 평균온도가 도달하는지는 곧 쾌적성 범위 내에 얼마나 빨리 접근하는가와 관련이 있다. 물론 공기의 온도 외에 다른 요소들이 쾌적성에 떨어진 범위에 있다면 다른 문제일 수도 있다. 그러나 일반적인 범위나 조건이라면 차량 내 실내공간의 평균온도의 계산은 열적 쾌적성 평가에 있어서 매우 중요한 요소이다. 따라서 2차원으로 차량의 열적 쾌적성에 영향력이 큰 평균온도를 변환 식을 통해 실제 3차원 평균온도 결과와 유사하게 산출하는 것은 차량 공조 시스템의 설계에서 개발효율을 향상시킬 수 있는 유용한 방법이 될 수 있다.

참고문헌

1. P.O. Fanger, Thermal Comfort, Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.
2. 사단법인 자동차기술회, 자동차 실내 환경 2005, 일본 자동차 학회, 2005.
3. B. Olsen, Evaluation of thermal comfort and indoor air quality in vehicles according to international standards, JSAE Automotive Air-Conditioning Conference, 2006.
4. SAE Standard J2234 - Equivalent temperature, 2001.
5. T. Madsen, B. Olsen, and N. Kristensen, Comparison between operative and equivalent temperature under typical indoor conditions, ASHRAE Trans, Vol. 90(1), pp.1077-1090, 1984.
6. T. Madsen, B. Olsen, and K. Reid, New methods for evaluation of the thermal environment in automotive vehicles, ASHRAE Trans, Vol. 92(1), pp.38-54, 1986.
7. 홍성호, 자동차 실내공간의 열적 쾌적성, 한국과학기술원 석사학위 논문, 2006. ㉔