

태양일사가 실내공간의 열적 쾌적성과 환기성능에 미치는 영향에 관한 연구

연성현* · 이효준** · 리광훈†

The study on the effect of the solar radiation on thermal comfort and ventilation performance in room space

Seong Hyeon Yeon, Hyo Joon Lee and Gwang Hoon Rhee

Abstract. Modern people spend much time at indoor space. So, People want to make better indoor air condition. But the facade of building is made of glass to be seen urbanely, the effect of solar radiation makes indoor environment worse. This study designs an open space affected by solar radiation with 4-way cassette air-conditioner. Using numerical simulation, this paper investigates thermal comfort and ventilation performance with discharge angles 30° and 45°. To study thermal comfort, this paper studies distribution of velocity, temperature and effective draft temperature. Also, this paper introduces concept of air age to study ventilation performance. The flow influenced by solar radiation determines thermal comfort and ventilation performance in room space. This study shows that discharge angle of 45 degree has better thermal comfort and ventilation performance than that of 30 degree.

Keywords : Thermal comfort(열적 쾌적성), Solar radiation(태양 일사), Local mean air age(국소 평균 공기연령), Air diffusion Performance Index(기류분포 성능지표)

1. 서 론

기술의 발달로 인한 실내 근무 형태가 많아지고 인터넷 보급 및 미디어 기술이 발달함에 따라 최근 도시인들은 하루 24시간 중 85% 이상을 가정, 사무실, 공공건물, 학교, 병원, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등 다양한 실내공간에서의 활동량이 증가하고 있다. 따라서 대기오염 보다 실내공기 오염이 사람들의 삶의 질에 더 많은 영향을 미치고 있으며, 이에 따른 쾌적한 실내 공기에 대한 수요도 늘어났다. 이에 많은 도시인들은 자신이 속한 거주 환경의 수준이 향상되길 바라며 이들의 쾌적한 실내 환경에 대한 욕구 또한 증가하는 추세이다.

이로 인해, 많은 연구자들은 쾌적한 공간이란 무엇인가에 대한 정의를 연구하기 시작했고, 쾌적한 공간을 만들기 위해 노력하였다. 현재 많은 열 환경에 대한 지표들이 존

재하며, 냉방, 난방, 환기 등에 대한 많은 연구 내용들이 존재한다. 많은 연구들이 실내 열적 쾌적성에 대한 지표와 환기에 대한 수행 지표를 제안하였고, 열적 쾌적성에 대한 인자를 연구하였다.⁽¹⁻⁷⁾

최근 현대의 건축물은 미관을 위해 면적비가 큰 창문을 사용하는 경우가 많다. 하지만 큰 창문을 사용하는 건축물의 경우 외부에서 내부로 들어오는 태양 일사량이 일반 건축물에 비해 상당히 높으며, 실내의 쾌적성에 큰 영향을 미치게 된다. 쾌적성 향상을 위해 사무실, 학교, 병원 등의 실내 공간은 4-way cassette air-conditioner를 이용하여 냉방과 난방에 상당한 효과를 얻고 있으며, 이 형태의 에어컨이 폭넓게 사용됨에 따라서 4-way cassette air conditioner에 관한 연구와 태양 일사에 의한 실내 열 환경에 관한 연구도 많이 진행되었다. AHN⁽⁸⁾ 등은 교실에서의 천장형 에어컨의 분출 방향에 의한 열 환경 분석의 연구를

† Department of Mechanical&Information Engineering, University of Seoul
E-mail : ghrhee@uos.ac.kr

* Graduated school of Mechanical&Information Engineering, University of Seoul

** Graduated school of Mechanical&Information Engineering, University of Seoul

하였다. 유사한 자료로서 LEE⁽⁹⁾ 등은 높은 천장의 실내공간에서 4-way cassette air-conditioner의 토출각도에 따른 효과에 대하여 연구를 하였다. 또한 KIM⁽¹⁰⁾ 등은 실내 쾌적성에 영향을 미치는 요인인 태양 일사량에 대한 내용으로 일사의 고려 하에 열 환경에 대한 평가를 하는 연구를 실시하였다. NOH KC⁽¹¹⁻¹³⁾ 등은 에어컨과 환기시스템이 갖추어진 강의실에서의 실내 공기 평가와 열 환경 평가에 대한 연구를 실시하였다. 다양한 열 환경 평가에 대한 연구는 존재하지만, 대부분의 연구가 특정 공간에 대한 연구 내용이며, 태양일사의 영향에 의한 유동에 대한 연구가 부족하다.

본 논문에서는 태양 일사를 고려한 실내에서의 열 환경 쾌적성 평가와 환기성능을 실시하였다. 특정한 학교 또는 사무실에서 연구를 진행한 다른 연구들과는 달리 태양일사의 영향을 받는 Open space를 선정하여 연구를 진행하였다. 토출각도에 따른 기류, 온도분포와 열적 쾌적성 평가지표에 대한 연구를 진행하였으며, 국소배기지수를 사용하여 실내공간에서 환기성능에 대한 평가를 연구하였다.

연구를 위한 수치계산은 상용 CFD 코드인 STAR-CCM + 10.02를 통해 수행되었으며, 해석공간을 모델링을 통하여 단순화하여 진행하였다. 각각의 경계조건에 대하여 수치 방법을 사용하여 연구를 진행하였으며, 실내 환경의 개선방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 지배방정식과 수치해법

시스템 에어컨에 의한 실내 내의 유동장을 수치적으로 예측하기 위하여 본 논문에서 사용한 미분방정식은 아래와 같으며, 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식을 수치적으로 계산하였다.

연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식은 다음과 같다.

$$\frac{D\rho}{Dt} + \nabla \cdot \vec{U} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\vec{U}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \vec{g} + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \vec{\tau}_{ij} \quad (2)$$

$$\frac{De}{Dt} + \frac{P}{\rho} (\nabla \cdot \vec{U}) = \frac{1}{\rho} \nabla \cdot (k \nabla T) + \phi \quad (3)$$

위의 에너지방정식에서 e 는 열역학적 에너지와 기계적

에너지의 합이며, ϕ 는 점성 소산함수이다. 유동 장은 계산속도가 빠르고 본 연구에 사용된 형상에서는 이차유동이 크게 발생하지 않으므로 일반적으로 사용하는 난류모델인 Standard k- ϵ 난류 모델을 사용하였으며, 사용된 난류 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} G_k - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

지배방정식은 유한 체적 법으로 차분화 하였으며, 대류항의 차분화는 QUICK Scheme을 사용하였다. 압력을 계산하기 위하여 SIMPLE Algorithm을 사용하였다.

3. 연구방법

3.1 열적 쾌적감

본 연구에서 사용한 열적 쾌적감 지표는 ADPI (Air Diffusion Performance Index)⁽¹⁴⁾를 이용하였다.

ADPI는 보편적으로 사용되는 열적 쾌적감 지표로서 제실영역에서 온도와 속도에 의해 거주자가 느끼는 쾌적감을 나타내는 지표이다. ADPI는 거주공간에서 유효드래프트 온도(EDT)⁽¹⁵⁾를 만족하는 비율이다. 인간이 느끼는 열적 감각을 정량적인 수치로 나타낸 식은 아래와 같다.

$$EDT(\phi) = (T_x - T_c) - 8(V - 0.15) \quad (6)$$

위의 방정식에서 T_x 는 측정온도, T_c 는 제어(설정)온도, V 는 제어(설정)속도이다. 속도 영역에서의 0.15m/s는 사람에 의한 부력(buoyancy) 효과를 나타내는 수치이다.

ADPI에서 열적 쾌적감을 표현하는 유효드래프트 온도의 쾌적 범위는 $-1.7 < EDT < 1.1$ 의 범위를 가진다. 또한 실내 기류속도가 0.35m/s를 넘어가는 경우 빠른 기류로 인하여 거주자가 불쾌적함을 느끼기 때문에 제어속도는 0.35m/s 이하가 쾌적 범위가 된다.

본 연구에서는 실내 공간을 대상으로 온도분포, 유동장, 열적 쾌적감 및 환기성능에 대한 분석을 실내 공간 호흡선에서 진행하였다. 이 때, 호흡선의 높이는 실내에서 사람들이 앉아 있다고 가정하고 지면에서 1.1m 위로 호흡선을 정의하였다.

3.2 국소배기지수

실내 공간에서 환기성능을 평가하는 지표인 공기연령⁽¹⁶⁾은 Fig. 1과 같이 국소평균 공기연령과 국소평균 잔여체류 시간의 합으로 계산할 수 있다. 국소평균 공기연령은 급기구에서 발생한 공기입자가 실내 공간 임의의 점 P 까지 도달하는데 걸리는 평균 시간을 의미하는데, 국소평균 공기연령의 누적분포는 체승방식에서의 무차원화 된 농도변화 과정을 의미한다. 국소평균 공기연령의 무차원화 된 누적 분포 및 수송방정식은 다음과 같다.

$$LMA \times C_{\infty} = \int_0^{\infty} [C_{\infty} - C_p(t)] dt \quad (7)$$

$$LMA = \int_0^{\infty} \left[1 - \frac{C_p(t)}{C_{\infty}} \right] dt \quad (8)$$

국소평균 잔여체류시간은 실내 임의의 점 P로부터 배기구까지 도달하는데 소요된 평균 시간으로 누적분포는 체승방식에서 오염 발생에 의한 배기구에서의 무차원화된 농도의 변화를 나타낸다.

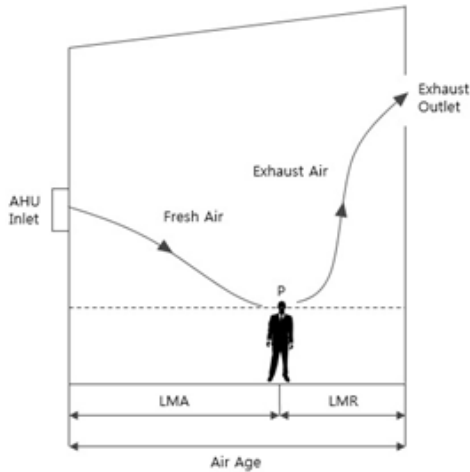


Fig. 1. Concept of air age

$$LMR \times C_{ex}(\infty) = \int_0^{\infty} [C_{ex}(t) - C_{ex}(\infty)] dt \quad (9)$$

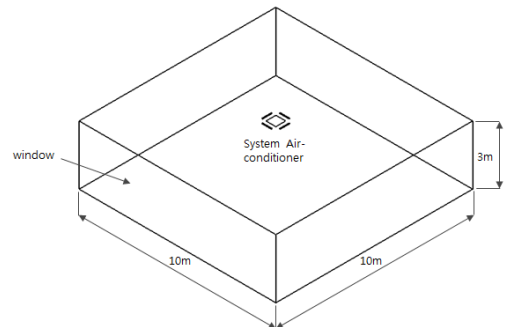
$$LMR = \int_0^{\infty} \left[1 - \frac{C_{ex}(t)}{C_{ex}(\infty)} \right] dt \quad (10)$$

4. CFD 모델링

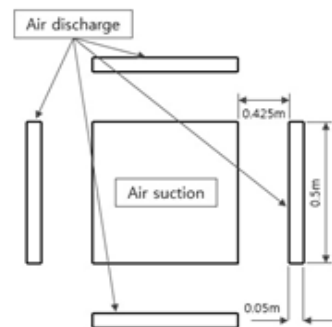
4.1 형상 모델링

Fig. 2(a)는 수치해석 연구에 사용된 실내 공간의 모델이다. 대상 모델은 10m(L) × 10m(W) × 3m(H)이며 체적은 300m³이다. 대상 모델에서 한쪽 면은 태양일사가 유입되는 유리창으로 구성되어 있다. 천장에 설치된 시스템 에어컨은 천장 정중앙에 위치하고 있다. 본 연구에 사용된 시스템 에어컨은 Fig. 2(b)와 같은 4-way cassette 형태로 에어컨 토출구의 규격은 0.5m(L)×0.05m(W)이며, 시스템 에어컨 흡입구의 규격은 0.5m(L)×0.5m(W)이다. 대상 공간의 냉방부하를 제어하기 위한 에어컨의 토출풍량은 1,800CMH이며 토출각도는 30와 45에 대하여 연구를 진행하였다.

4.2 격자구성 및 경계조건



(a) Geometry of room space



(b) Geometry of air-conditioner

Fig. 2. Geometry of modeling

모델링에 생성한 격자의 경우 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Trimmer mesh를 사용하였다. 시스템 에어컨에 의해 비교적 빠른 유동이 발생하는 부분과 벽면 근처에 격자를 조밀하게 생성하여 연구를 진행하였다. 격자는 약 200,000 개로 비균일 격자계를 사용하였고, 사람 호흡선에서 평균 온도를 측정하여 격자 의존성 테스트를 진행하여서 격자 수를 선정하였다.

수치해석을 위한 경계조건은 Table 1을 참조하면 된다.

Table 1. Boundary condition

Category	Input data
Outdoor temperature	30℃
Solar radiation	600W/m ²
Solar altitude	60°
Air inlet velocity	5m/s
Air inlet temperature	12℃

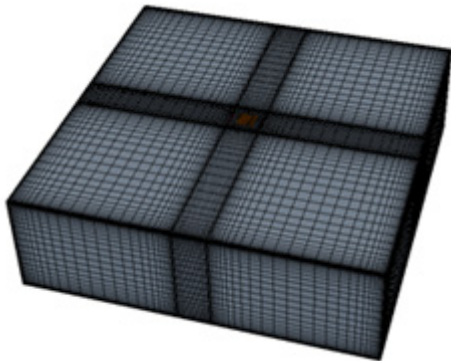


Fig. 3. Structure of grid

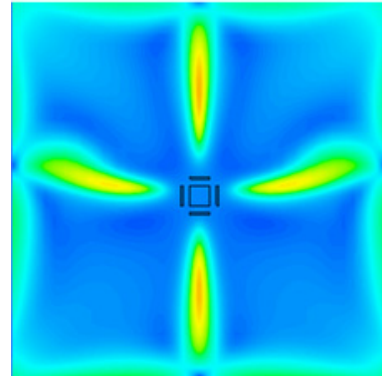
5. 결과 및 고찰

5.1 토출각도에 따른 속도분포

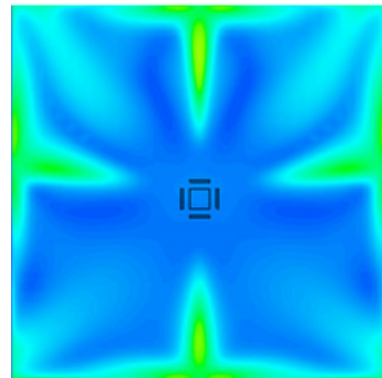
태양일사가 실내의 환경에 미치는 영향은 태양일사가 있는 경우 실내에 발생하는 기류를 통해서 확인 할 수 있다. 실내 환경은 태양일사에 의해서 들어오는 복사에너지에 의한 온도상승과 4-way cassette air-conditioner에서 토출되는 기류의 영향을 많이 받게 된다. 태양 일사는 실내의 온도를 높이는 역할을 하는 동시에 실내의 기류의 형성에 영향을 주어 실내의 열 환경에 매우 큰 영향을 준다.

Fig. 4는 호흡선에서 속도분포를 보여주고 있으며, 아

랫면이 창문이다. 토출각도가 30인 경우와 45인 경우 모두 에어컨에서 양 좌우 측면으로 토출되는 기류가 후면 방향으로 휘어서 형성되는 것을 알 수 있다. 태양 일사로 인하여 창문 근처의 온도가 상승하게 되며, 이로 인한 온도 차로 발생하는 부력으로 좌우 측면으로 발생하는 기류가 뒤쪽으로 휘는 현상이 나타나게 된다.



(a) velocity distribution of 45 degree



(b) velocity distribution of 30 degree



Fig. 4. Velocity distribution

또한 토출각도가 30인 경우와 45인 경우 코안다 효과(Coanda effect)⁽¹⁷⁾로 인하여 실내의 기류의 특성이 다르게 된다. 코안다 효과란 벽면이나 천장면에 접근하여 분출된 기류가 그 면에 빨려서 부착하여 흐르는 경향을 갖는 것을 말한다. 토출각도가 30인 경우 에어컨에서 토출되는 유동이 벽면과 근접하기 때문에 토출된 기류가 벽면을 따라서 흐르게 된다. 그 결과 Fig. 4(a)와 같이 벽면 쪽으

로 기류가 발생되며 속도가 낮다. 반면에 토출각도가 45인 경우 에어컨에서 토출되는 기류가 직접적으로 실내 바닥을 향하여 토출된다. 그 결과 토출각도가 45인 경우 호흡선에서 유속이 토출각도가 30인 경우 보다 높게 나타난다. 토출각도가 45인 경우 전체 공간에 4%의 불쾌한 공간이 발생하며, 토출각도가 30인 경우 속도에 의한 불쾌감은 거의 발생하지 않는다. 따라서 사람이 불쾌하게 여겨지는 기류속도 0.35m/s의 범위가 토출각도가 45인 경우가 더 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

5.2 토출각도에 따른 온도분포

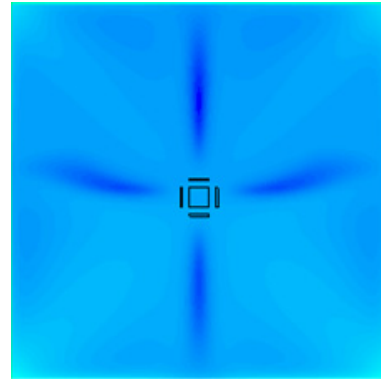
5.1에서 설명한 에어컨 좌우 측면의 유동이 후면으로 휘는 현상과 코안다 효과로 인한 유동특성은 온도 분포와 열적 쾌적성 평가지표인 ADPI에 미치는 영향이 크다. 온도 분포는 태양 일사와 유동특성에 의해서 결정된다. 태양일사가 창문을 통해서 들어오기 때문에 창문 근처에서 온도가 높게 나타난다. 또한 실내 공간에서 에어컨 좌우 측면에서 토출되는 유동이 후면으로 형성되기 때문에 창문 근처에서 온도가 높아지는 현상이 더 강하게 나타난다. Fig. 5를 참고하면 토출 각도가 30인 경우와 45인 경우 모두 창문 근처에서 온도가 실내공간 후면에 비해서 높게 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 토출 각도가 45인 경우는 에어컨에서 토출된 유체가 공간으로 직접 토출되지만, 토출 각도가 30인 경우는 벽면을 따라서 유동이 발생하기 때문에 호흡선에서 평균온도의 차이가 발생하게 된다. 호흡선에서 평균온도는 토출 각도가 30인 경우 22.1℃, 토출 각도가 45인 경우는 21.1℃로 토출 각도가 45인 경우가 평균온도가 1℃ 낮게 나타난다. 이를 통해서 냉방부하를 효율적으로 처리하기 위해서는 토출 각도가 45인 경우가 30인 경우 보다 유리하다는 것을 알 수 있다.

5.3 토출각도에 따른 ADPI 분포

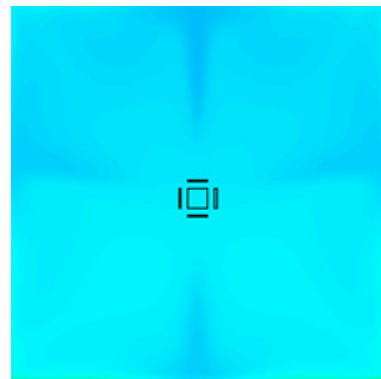
Fig. 6은 호흡선에서 ADPI 분포를 보여주고 있다.

호흡선에서 EDT의 값이 쾌적한 범위인 $-1.7 < EDT < 1.1$ 의 범위를 표시한 영역이다. 범위의 양 끝의 파란색과 빨간색은 쾌적하지 않은 공간을 표시하고 있다. Fig. 6을 살펴보면 에어컨에서 바람이 토출되는 구간은 상대적으로 빠른 유속과 낮은 온도로 인하여 유효드래프트 온도가 $EDT < -1.7$ 의 범위로 불쾌적인 상태가 된다. 반면에 태양일사의 영향을 받으며, 에어컨의 바람을 직접적으로 받지 않는 영역은 높은 온도로 인하여 $EDT > 1.1$ 범위의 불쾌적인 값을 가지게 된다. 즉 태양일사로 인한 온도와 유동장의

영향을 받아서 ADPI가 결정된다는 것을 알 수 있다. 특히 태양일사로 인하여 에어컨 좌우 측면에서 토출된 공기유동이 후면으로 휘는 현상으로 인하여 실내공간에서 유리창 근처 전면부의 유효드래프트 온도 값이 후면부의 유효드래프트 온도보다 높은 특성을 가지게 된다.



(a) temperature distribution of 45 degree



(b) temperature distribution of 30 degree

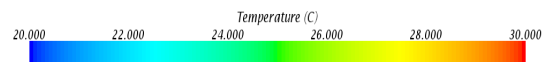


Fig. 5. Temperature distribution

호흡선에서 ADPI 값은 토출 각도가 30인 경우 77%, 토출 각도가 45인 경우 92%의 ADPI 값을 가지게 된다. 토출 각도가 30인 경우 실내 공간에서 불쾌적인 공간이 전체에서 23%이며, 토출 각도가 45인 경우 실내 공간에서 불쾌적인 공간이 전체에서 8% 임을 나타내고 있다. 즉 열적 쾌적성 측면에서 토출 각도가 45인 경우가 30인 경우 보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 본 연구를 통해

서 각도에 따라서 유효드래프트 온도에 미치는 영향인자에 차이가 있음을 알 수 있다. 토출각도가 45인 경우 불쾌적성은 호흡선에서 유동속도로 인한 것임을 알 수 있다. 토출각도가 45인 경우 기류속도가 0.35m/s 이상인 범위가 4%임을 확인 할 때 4% 범위에서 온도로 인한 불쾌적인 부분이 발생한다는 것을 알 수 있다. 반면에 토출각도가 30인 경우 불쾌적인 공간은 대부분이 높은 온도로 인하여 발생한다는 것을 알 수 있다.

5.4 토출각도에 따른 환기성능 평가

본 연구에서는 실내에서 환기성능 평가를 위해서 국소 배기지수 개념을 도입하였다.

3.2 국소배기지수에서 설명한 것처럼 국소 배기지수는 급기구에서 발생한 공기입자가 실내 공간 임의의 점 P까지 도달하는데 걸리는 평균 시간을 의미하는 국소평균 공기연령과 실내 임의의 점 P로부터 배기구까지 도달하는데 소요된 평균 시간을 의미하는 국소평균 잔여체류시간으로 구성되어 있다.

일반적으로 환기성능을 평가하는데 있어서 국소평균 공기연령과 국소평균 잔여체류시간 개념을 모두 사용한다. 하지만 본 연구에서는 일반적인 실내공간을 대상으로 연구를 진행하였으며, 일반적인 실내공간의 경우 오염물질 발생이 적기 때문에 국소평균 잔여체류시간 개념보다는 국소평균 공기연령이 중요하다고 생각할 수 있다. 따라서 신선한 공기가 실내 거주하고 있는 사람들에게 도달하는 시간에 대하여 연구를 진행하였다.

Fig. 7은 토출 각도가 30, 45인 경우에 호흡선에서 국소평균 공기연령을 나타내는 그림이다. 이를 통해 국소평균 공기연령은 실내의 유동장과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 급기구에서 임의의 점 P까지 빠른 시간에 도달하기 위해서는 빠른 속도의 유동이 발생하여야 하며, 급기구에서 임의의 점 P까지의 거리가 짧아야 한다는 것을 직관적으로 알 수 있다. 토출 각도가 30인 경우 앞에서 설명한 것과 같이 코안다 효과로 인하여 유동이 벽면을 따라서 흐르게 된다. 즉 지면으로 직접 유동흐름이 발생하는 45 경우 보다 급기구에서 호흡선까지의 거리가 길게 되어 국소평균 공기연령 값이 커지게 된다. 또한 유동의 속도도 토출 각도가 45 경우가 더 크기 때문에 국소평균 공기연령 차이가 더 크게 나타난다. 호흡선에서 국소평균 공기연령의 평균값은 토출 각도가 45인 경우가 토출 각도가 30인 경우 대비 78% 수준으로 시간이 짧게 걸린다.

Fig. 7은 위에 설명한 태양일사의 영향으로 인하여 시스템 에어컨 좌우 측면에서 토출되는 유동이 후면으로 휘어지는 형상을 볼 수 있다. 태양 일사로 인하여 창문 근처의 온도가 상승하게 되며, 이로 인한 온도 차로 발생하는 부력으로 측면으로 발생하는 기류가 뒤쪽으로 휘는 현상이 발생하는데 Fig. 7을 보면 명백하게 실내공간에서 창문 근처에서 국소평균 공기연령이 실내공간 후면 부 보다 높다는 것을 확인할 수 있다.

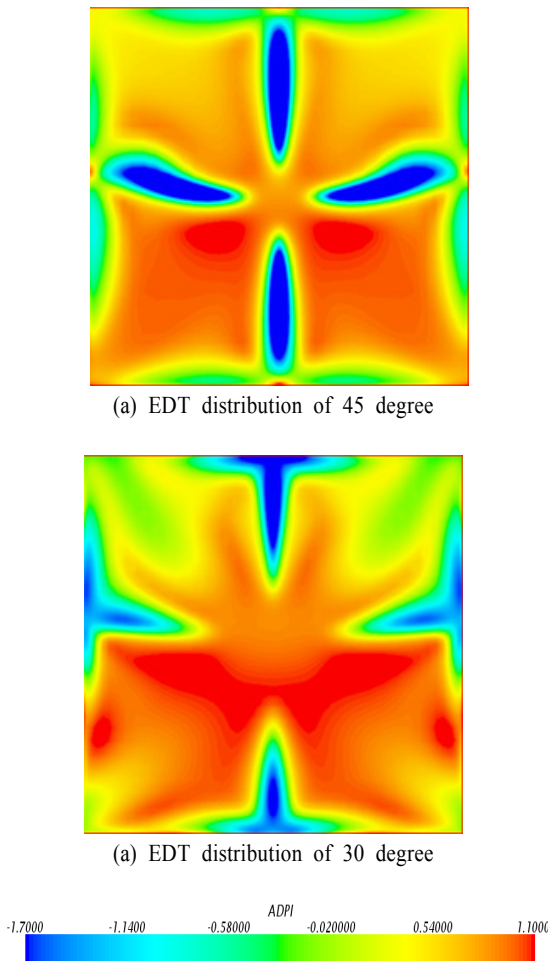


Fig. 6. EDT distribution

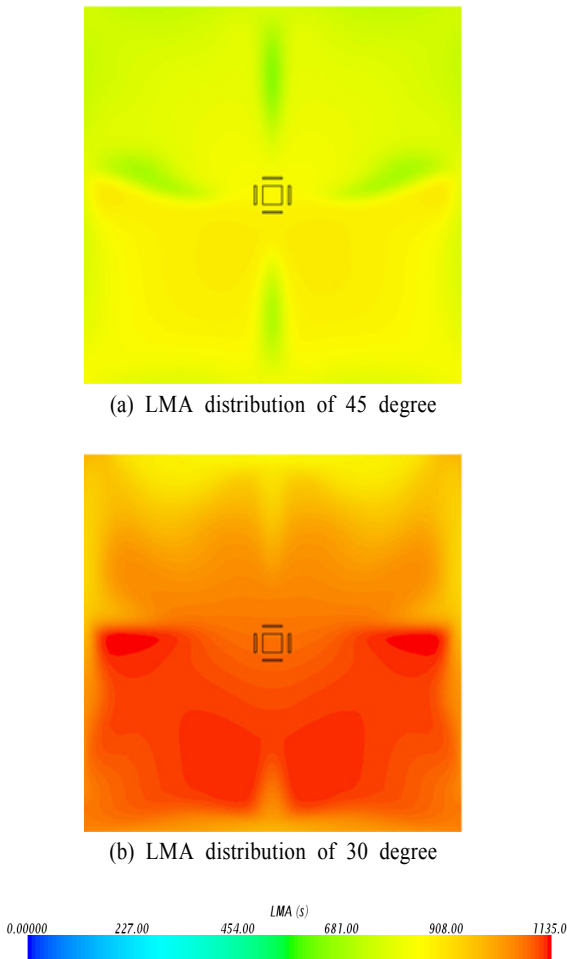


Fig. 7. LMA distribution

6. 결론

4-way cassette air-conditioner이 설치된 Open space을 3차원 모델로 하여서 토출 각도 30, 45인 경우의 기류 및 온도분포, 열적 쾌적성 평가지표에 및 환기성능에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 토출 각도가 30, 45인 경우 모두 태양일사영향으로 에어컨 좌우 측면으로 토출되는 기류가 후면 방향으로 휘어서 형성되는 것을 알 수 있다. 토출 각도가 30°인 경우 코안다 효과에 의해서 토출 공기가 벽면을 따라서 흐르게 되며, 호흡선에서 유동 속도가 낮다. 반면에 토출 각도가 45인 경우 토출 공기가 지면으로 직접 흐르게 되며 호흡선에서 속도가 높게 나타난다. 토출각도가 45인 경

우 사람에게 불쾌감을 주는 속도인 0.35m/s 이상의 범위가 전체 공간의 약 4%를 차지하게 된다.

(2) 실내 공간의 온도는 태양 일사의 영향과 유동장의 복합적인 영향으로 발생한다. 태양 일사로 인한 실내공간 전면부 창문 근처의 공기 온도가 다른 지역보다 높게 나타나게 되며, 유동장에 따라서 호흡선에 주 유동이 지나지 않는 부분의 온도가 더 낮게 나타난다. 토출 각도가 30인 경우 코안다 효과로 토출된 유동이 벽을 따라 흐르기 때문에 실내 온도가 높게 형성된다. 실내 공간에서 사람 호흡선에서 평균온도는 토출 각도가 30인 경우 22.1℃ 45인 경우 21.1℃로 토출각도가 45인 경우 냉방부하를 더 효율적으로 처리할 수 있다는 것을 알 수 있다.

(3) 실내 공간에서 ADPI 역시 태양 일사의 영향과 유동장의 복합적인 영향을 받는다. 에어컨에서 토출된 바람이 직접적으로 영향은 받아 낮은 온도와 빠른 유속을 형성하는 부분과 에어컨의 바람을 직접적으로 받지 않아 높은 온도를 형성하는 영역에서 불쾌적인 공간이 발생하게 된다. 호흡선에서 ADPI의 값은 토출 각도가 30인 경우 77%이며 토출 각도가 45인 경우 92%의 값을 나타낸다. 즉 열적 쾌적성 지표상으로 토출 각도가 45가 토출 각도 30°보다 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 토출 각도에 따라서 불쾌적인 영역이 발생하는 원인에 차이가 발생한다. 토출각도가 45인 경우 0.35m/s 이상인 기류속도로 인하여 불쾌적인 영역이 발생한다는 것을 알 수 있다. 반면에 토출각도가 30인 경우 불쾌적인 공간은 대부분 높은 온도로 인하여 발생한다는 것을 알 수 있다.

(4) 본 연구에서는 환기성능 평가를 확인하기 위하여 국소평균 공기연령개념을 사용하여 연구를 진행하였다. 국소평균 공기연령을 통하여 실내 공간에서 유동장과 매우 큰 관련이 있다는 것을 알 수 있다. 토출 각도가 30인 경우 유동이 코안다 효과로 인하여 벽면을 따라서 흐르게 되며, 급기구에서 호흡선까지 도달거리가 길어지고 유속이 느려지기 때문에 국소평균 공기연령 값이 토출 각도가 45인 경우 보다 커진다. 호흡선에서 국소평균 공기연령 값은 토출 각도가 45 인 경우가 토출 각도가 30 인 경우 대비 78% 수준로 시간이 짧다.

REFERENCE

- 1) Miller PL, Nash RT. A further analysis of room air distribution performance. ASHRAE Trans 1971 ; 77(2) : 205.
- 2) ASHRAE. Method of testing for room air diffusion,

- ANSI/ASHRAE Standard 113e2009. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; 2009.
- 3) Huizenga C, Hui Z, Arens E. A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. *Build Environ* 2001 ; 36(6) : 691e9.
 - 4) Karjalainen S. Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. *Build Environ* 2007 ; 42(4) : 1594e603.
 - 5) Frontczak M, Wargocki P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Build Environ* 2011 ; 46(4) : 922e37.
 - 6) Mishra AK, Ramgopal M. Field studies on human thermal comfort dan overview. *Build Environ* 2013 ; 64 : 94e106.
 - 7) Gunay HB, O'Brien W, Beausoleil-Morrison I. A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. *Build Environ* 2013 ; 70 : 31e47.
 - 8) Ahn CL, Kim DG, Kum JS, Park HO, Chung YH. Thermal environment analysis by the diffusion direction with ceiling type air conditioner of the classroom. *Jour Fish Mar Csi Edu* 17(2), pp.145~154.
 - 9) Lee JH, Kim YJ, Park SK, Lee JC, Kim YJ. Effect of the discharge angle variation of 4-way cassette A/C on the indoor thermal comfort. *Proceedings of the fourth national congress on fluid engineering august 23-25 2006*.
 - 10) Kim SH, Noh KC, Oh MD. Evaluation of the thermal comfort in consideration of the solar radiation. *Journal of Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineer of Korea* 2004 ; 16 : 1140-51
 - 11) Noh KC, Jang JS, Oh MD. Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system. *Building and Environment* **Volume 42, Issue 2**, February 2007, Pages 689-698.
 - 12) Han CW, Nho GC, Oh MD. Evaluation of thermal comfort and ventilation performance in the lecture room with ventilation system and two different air-conditioning systems: system air-conditioner or fan coil unit. *Korean Journal Of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 17(11), 2005.11, 1079-1088(9 pages).
 - 13) Nho GC, Oh MD. Comparison of Thermal Comfort Performance Indices for Cooling Loads in the Lecture Room - An Correlation of PMV and EDT. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B* 29(7), 2005.7, 868-877(10pages).
 - 14) Miller PL, Nash RT. A further analysis of room air distribution performance. *ASHRAE Trans* 1971 ; 77(2) : 205.
 - 15) ASHRAE. Method of testing for room air diffusion, ANSI/ASHRAE Standard 113e2009. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; 2009.
 - 16) Sandberg, M., Sjöberg, M., 1983. The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms. *Building and Environment* 18 (4), 181-197
 - 17) Tritton, D.J., *Physical Fluid Dynamics*, Van Nostrand Reinhold, 1977 (reprinted 1980), Section 22.7, The Coandă Effect.