

저속치환 환기시스템의 적용성 고찰

조정식/한국건설기술연구원 건축연구부 건설설비그룹 선임연구원

실내공간의 실내부하 특성에 따른 환기시스템의 채택과 환기 기구의 선정으로 열 쾌적도와 공기 청정도(淸淨度)를 만족시키고 동시에 에너지를 절감하며 근무환경을 개선하는데 그 특징이 있는 환기시스템으로 저속치환 환기시스템이 각광을 받고 있다.

1. 머리말

최근 생활수준이 향상되면서 보다 쾌적한 실내환경과 근무조건이 요구되고 있으며 도시의 심각한 대기오염과 실내의 공기환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 이를 위해서 실내공간의 실내부하 특성에 따른 환기시스템의 채택과 환기 기구의 선정으로 열 쾌적도와 공기 청정도(淸淨度)를 만족시키고 동시에 에너지를 절감하며 근무환경을 개선하는데 그 특징이 있는 환기시스템으로 저속치환 환기시스템이 각광을 받고 있다.

이와같은 저속치환 환기시스템에 있어서 오염된 공기와 신선한 공기가 치환되는 치환구역이 재실자가 거주하는 영역 위에 형성되도록 하여 실내의 재실자가 거주하는 영역은 항상 깨끗하고 쾌적하게 유지하는 것이 주가 된다.

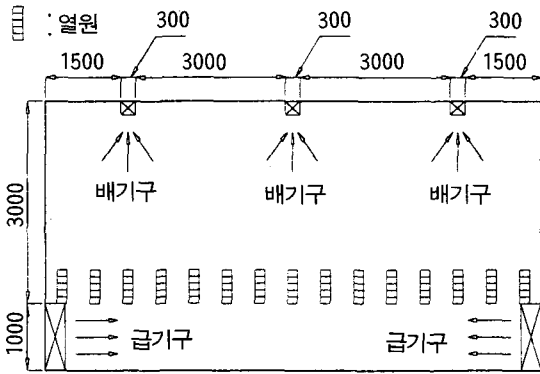
따라서 본 고에서는 저속치환 환기시스템의 수치 해석과 그에 대한 적용성을 분석하여 저속치환 환기시스템의 적용방안을 제시함으로써 그 활용성을 도모하고자 한다.

2. 저속치환 환기방식의 개요

저속치환 환기시스템의 원리는 더운 공기는 찬공기보다 가볍기 때문에 위로 올라가는 자연 대류의 법칙을 이용한 것으로서 깨끗하고 신선한 외부의 급기가 저온 상태로 실내의 낮은 영역에서 저속도로 직접 적용구역으로 공급되어 실내에서 저속도로 발생하는 열과 오염물질을 대류효과에 의해 상승시켜 윗부분의 배기구를 통하여 배출시키는 방식이다.

이 방식을 저속치환 방식이라 부르는 이유는 급기가 지상으로부터 일정한 높이에서 실내의 오염된 공기와 저속으로 치환되기 때문이며 이 환기방법을 국소환기라고도 하는 것은 건물 상층부의 공기에 대해서는 아무런 조치도 없이 거주영역에서 환기가 이루어지기 때문이다.

저속치환 방식의 사용목적은 실내에서 발생하는 열부하를 제거하는 경우와 또는 동시에 실내공기의 청정도를 유지하는데 있다. 저속치환 방식을 사용하면 급기의 체적과 대류현상에 의하



<그림 1> 저속치환 환기방식 모델

여 움직이는 공기의 체적이 구분되는 경계구역이 생기게 되는데 이것을 치환구역(Shift Zone)이라 한다.

저속치환 방식은 공기의 질과 열쾌적도 측면에서 기존의 혼합방식에 비해 성능 또는 효과가 우수할 뿐만 아니라 에너지적인 측면에서도 혼합 환기방식에 비해서 우수한 것으로 알려지고 있다.

3. 저속치환 환기시스템의 수치해석

1) 해석모델 및 방법

환기 대상공간에 적용될 수 있는 환기방식중 열쾌적도를 만족시키면서 동시에 에너지를 절감할 수 있는 방법으로 알려진 저속치환방식(Low Velocity Displacement System)을 수치해석의 모델로 설정하였다. 저속치환방식은 실내의 사무기기, 기계, 작업자, 전등 등에서 발생하는 열원을 환기의 구동력으로 활용하므로 급기되는 공기의 모멘텀(Momentum)을 이용한 일반 혼합환기방식에 비해 에너지효율 측면에서 유리할 뿐만 아니라 드래프트(Draft)의 발생이나 재실자가 체감하는 열쾌적도에서도 효과적인 환기방식이 된다.

수치해석은 실내조건에 대해서 저속치환방식

을 적용하여 결과를 검토하였다. 급기되는 공기의 온도와 유속이 실내환기에 끼치는 영향을 알아보기 위해서 온도와 유속을 변화시켜 가면서 수치해석을 수행하였다.

수치해석 프로그램은 정확성과 타당성이 검증되어 열·유체공학과 관련된 문제에 널리 사용되고 있는 AEA사의 FLOW-3D 패키지를 사용하였다.

2) 해석결과 및 고찰

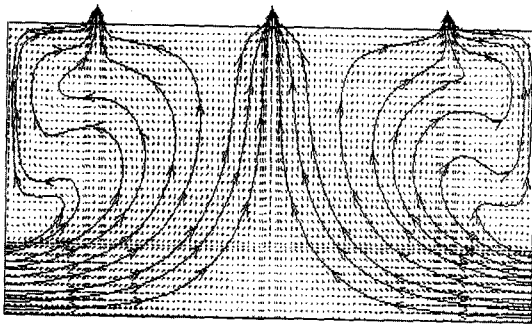
<그림 1>은 수치해석의 대상이 되는 환기방식의 모델로서 2차원 정상상태(2-Dimensional Steady State)로 가정하였으며 실내의 사무기기, 기계, 재실자 등의 발열효과를 모델링하기 위해 바닥에서 1.0~1.5m 사이에 열원을 위치시켰고 수치해석에서는 발열량을 $2,000\text{w}/\text{m}^2$ 로 설정하였다.

저속치환방식에서 재실자가 제어할 수 있는 인자들 중 급기되는 공기의 온도와 유속을 변수로 정해서 이들의 영향을 알아보는 방향으로 수치해석을 진행하였다.

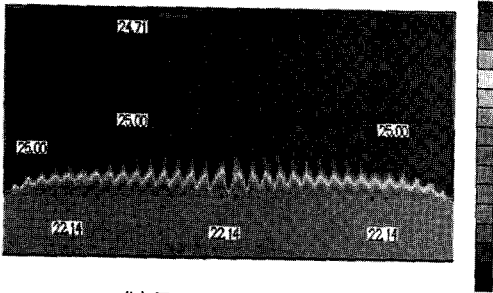
<그림 2>~<그림 7>은 저속치환방식 모델의 해석결과로서 위 그림은 유선분포이며 아래 그림은 온도분포를 나타내고 있다.

<그림 2>에서 <그림 4>까지는 급기온도를 22°C 로 정하고 풍속을 $0.4\text{m}/\text{s}$ 에서 $8.8\text{m}/\text{s}$ 씩 증가시켜 가면서 해석한 것이다. 저속치환방식에서는 실내 공기흐름이 급기의 풍속과 열원에 의한 부력의 상호작용에 의해 형성된다. 그러므로 재실자의 거주영역을 쾌적하게 유지하기 위해서는 열원의 부력효과에 대해 적절한 급기속도를 맞춰주어야 한다.

<그림 2>와 같이 급기풍속이 $0.4\text{m}/\text{s}$ 일 경우 거주영역의 냉방효과가 미약하므로 송풍량이 부족한 것으로 판단된다. <그림 3>에서 <그림 4>의 온도분포를 보면 급기풍속이 $0.6\text{m}/\text{s}$ 일 경우의 효과가 $0.8\text{m}/\text{s}$ 보다 좋다. 이는 급기풍속이 $0.6\text{m}/\text{s}$



(a) Streamlines



(b) Temperature contours

〈그림 2〉 저속치환 환기방식(급기조건: 0.4m/s, 22℃)

s 이상이 되면 실내의 부력효과에 비해 송풍공기의 모멘텀이 강하고 이로 인해 벽면에 와류가 형성된다. 와류가 형성된 영역은 환기가 되지 않고 거주영역의 상당부분에 걸쳐 온도가 높은 것을 알 수 있다. 그러므로 에너지 절약과 효율적인 환기방식의 설계를 위해서는 적절한 급기풍속이 결정되어야 한다.

〈그림 5〉~〈그림 6〉은 급기풍속을 0.6m/s로 고정시키고 급기의 온도를 18~20℃로 〈그림 7〉은 1.0m/s, 22℃로 변화시켜 해석한 결과이다.

급기온도를 낮추면 실내온도 역시 거의 같은 폭만큼 낮아지고 있다. 실내 기류의 분포는 온도에 큰 영향을 받지 않는다.

그러므로 환기 대상공간내 최적조건으로는 급기속도가 중요한 요소가 되고 0.6m/s 정도인 저

속치환방식이 효율적이라고 판단되고 이 때 에너지절약과 환기효과를 배가시키기 위해서는 급기의 풍량과 온도를 최적화시켜야 할 것이다.

4. 저속치환 환기시스템의 적용방안

1) 저속치환 환기시스템의 적용조건

저속치환 환기시스템은 실제로 재실자가 근무하거나 거주하는 일정 높이까지의 영역에서는 청정공기를 공급하거나 거주영역에서 발생하는 잉여의 열을 제거하는 효과가 있으며 그 적용조건을 예를 들어 살펴보면 다음과 같다.

(1) 층고가 높은 대공간에서 효과가 있다.

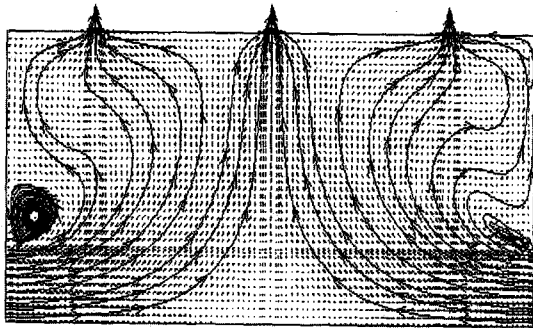
층고가 높은 대공간에서 일반적으로 사용되는 혼합 환기방식으로는 소기의 목적을 달성할 수 없을 뿐만 아니라 환기에 필요한 에너지의 낭비요인이 될 수 있다. 이런 경우에는 바닥 가까이 설치되어 있는 환기용 송출구에서 저속으로 환기용 공기를 송출한다면 거주영역에서부터 공기의 치환작용에 의한 환기가 자연스럽게 이루어져 에너지 절약의 효과 뿐만 아니라 환기의 효율 면에서도 우수하다고 볼 수 있다. 또한 층고가 높고 대공간이 대강당이나 관람시설에서는 좌석의 하단부를 급기구로 이용하는 시스템을 적용할 수도 있다.

(2) 환기의 대상물질이 한 부분에서 집중적으로 발생하는 공간에서 효과가 우수하다.

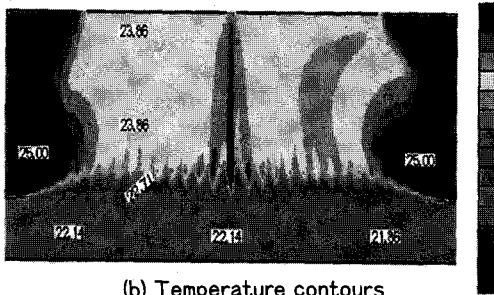
이와같은 조건에서 기존의 일반 혼합환기시스템을 적용하면 국부적으로 발생한 오염물질이 전체적으로 확산되어 이에 필요한 환기량이 많아질 뿐만 아니라 환기에 필요한 에너지 소비량도 늘어나게 된다.

(3) 실내에 발생열이 있어 냉방부하가 존재하는 경우에도 효과가 있다.

이는 국부적으로 발생하는 오염물질을 환기하기 위해 적용하는 시스템과 같이 실내에서 발생

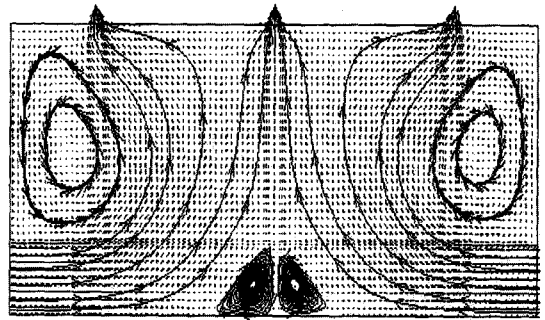


(a) Streamlines

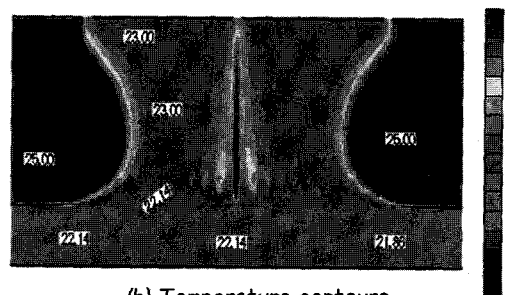


(b) Temperature contours

〈그림 3〉 저속치환 환기방식(급기조건:0.6m/s, 22℃)



(a) Streamlines



(b) Temperature contours

〈그림 4〉 저속치환 환기방식(급기조건:0.8m/s, 22℃)

하는 열량을 효과적으로 제거하기 위해서도 적용할 수 있다.

2) 저속치환 환기시스템의 고려사항

저속치환방식에서는 급기와 실내온도의 차이에 의해서 기류의 형태가 다르게 나타나기 때문에 반드시 급기온도와 실내온도와의 차이를 $\pm 2\sim 5^\circ\text{C}$ 이내로 유지하여야 한다.

저속치환 환기시스템의 적용을 위한 고려사항은 다음과 같다.

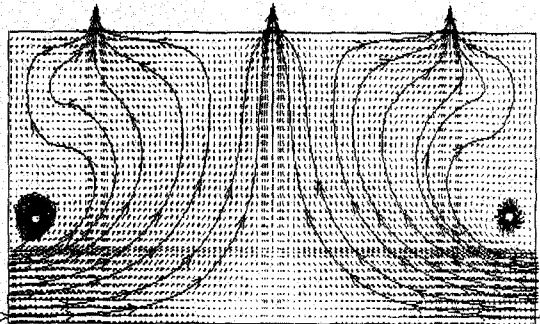
(1) 적절한 급기온도의 설정

예를 들어 고속으로 급기하는 방식에 의하여 실내공기를 희석 및 완전확산을 유도하여 순환시키는 고속혼합방식은 실내에 오염물질이 과다하게 발생하는 대공간이나 공장 등의 지역에서는 부적절하다.

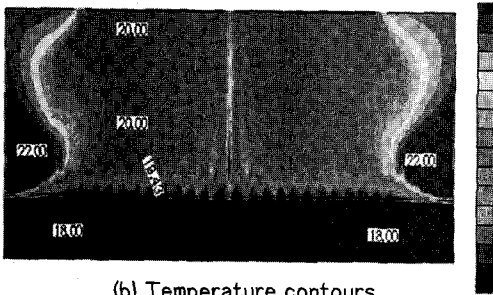
즉 잉여열과 불순물을 제거하기 위해서는 적절한 급기속도와 온도차가 있는 급기방식의 선택이 필요하다. 적절한 급기속도는 수치해석적으로 고려하였으며 급기의 온도차는 재순환공기와 외기와의 차이를 $2\sim 3^\circ\text{C}$ 정도로 급기시키면 에너지 절감효과, 오염물질제거 효과는 물론 열쾌적도가 현저하게 향상된다.

(2) 적절한 외기 도입량 설정

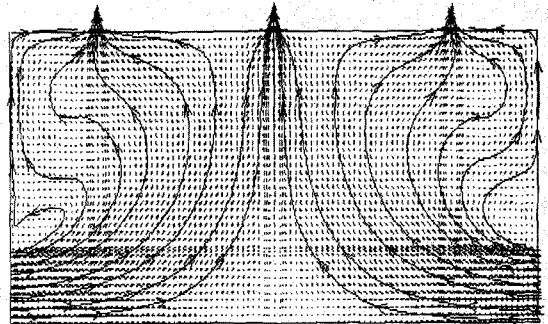
환기 대상공간에서 공기환경이 악화되고 있는 가장 큰 요소 중의 하나는 최소외기량을 도입하지 않은 채 운전시키고 있다는 것이다. 대부분이 최소부하시 가동하던 상태 즉 외기뎀퍼가 닫힌 상태에서 연중가동을 하는 실정이다. 그러나 사무실 건물의 경우 하절기와 중간기에는 외기도입량을 늘려서 재실자에게 보다 쾌적한 환경을



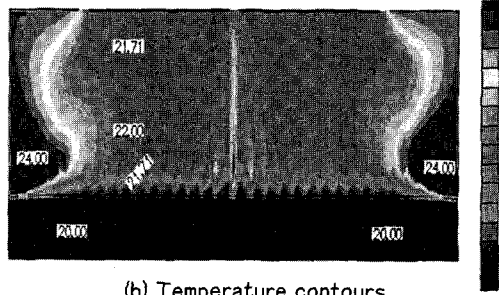
(a) Streamlines



(b) Temperature contours



(a) Streamlines



(b) Temperature contours

〈그림 5〉 저속치환 환기방식(급기조건:0.6m/s, 18°C)

〈그림 6〉 저속치환 환기방식(급기조건:0.6m/s, 20°C)

제공하는 사례를 통하여 알 수 있듯이 외기도입량 조절에 적절한 대응책이 필요하며 저속치환 환기시스템의 중요한 도입요인이 된다.

(3) 급기구 및 배기구의 장애물 설정

거주구역에 급기구 및 배기구가 위치하는 경우에 급·배기구 전면에 장애물 등이 놓여 있어서 환기에 지장을 초래하는 경우도 있다. 이와 같은 급기구 및 배기구의 장애물이 공기의 흐름을 저해하면 환기불량 및 국부환기의 한 요인이 된다.

저속치환 환기방식에서는 배기덕트의 위치가 대부분 천장부근에 설치되어 상부 크레인이나 기타 다른 용도에 지장을 초래하지 않도록 하는데 이 때 종종 배기구의 위치가 철골빔에 의하여 차단된다. 층고가 낮을 때에는(3~5m 이내) 그 띠에 달려 있는 핀으로 기류방향을 하향조절하

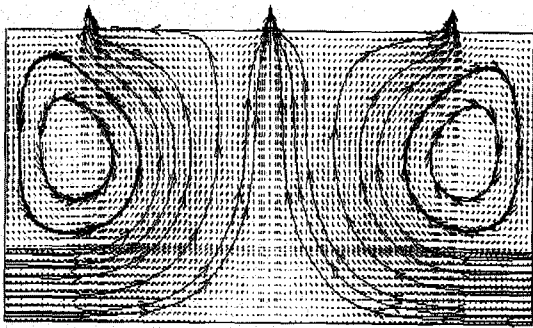
되 기류의 풍속을 가능한한 낮게 하여 드래프트를 방지하여야 한다.

5. 맺음말

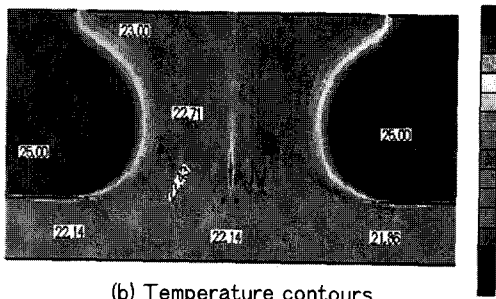
기존 혼합환기방식은 천장을 통한 급기 및 배기를 주로 실시하기 때문에 재실자의 근무영역 수준에서 와류의 형성과 환기효과의 불량 등이 발생하여 일반적으로는 효율적인 환기효과를 거둘 수가 없었던 것이 사실이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 하부에서 신선한 공기를 급기하고 상부에서 내부의 오염 공기를 배기하는 저속치환 환기시스템을 채용할 수 있다.

수치해석을 통한 분석에서는 급기의 풍속과 온도를 최적화시켜야 하며 저속치환 환기방식의



(a) Streamlines



(b) Temperature contours

〈그림 7〉 저속치환 환기방식(급기조건: 1.0m/s, 22℃)

급기온도는 실내의 기류분포에 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

저속치환 환기시스템의 적절한 적용방안으로써 그 설치조건을 살펴보면 층고가 높은 대공간 및 실내에서 오염물질이나 환기의 대상물질이 어느 한 부분에서 집중적으로 발생하는 공간에서의 환기설비로써 효과가 우수하다. 또한 실내에 발생열이 있어 냉방부하가 존재하는 경우에도 효과가 있다.

저속치환 환기시스템의 적용에는 정확한 정체지역(Stagnation)과 치환지역에 대한 설정과 외기 온도변화에 대한 풍량 또는 급기온도의 조정이 선행되어야 하며 적용에 대한 선행조건으로 적절한 급기조건 설정 및 외기 도입량의 설정, 그리고 급기구 및 배기구의 장애물 등에 대한 사

항들을 해결하여야 한다.

이상에서 언급한 저속치환 환기시스템에 대한 적용성을 수치해석적인 방법과 적용방안에 대하여 검토하였는데 해석모델에 대한 실험적 해석과 실제에 적용하였을 경우에 대한 구체적인 방법과 여러 가지 문제점들을 보다 정밀하게 분석하여 저속치환 환기시스템의 효과를 검증할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

1. O. A. Seppanen et al, 1989, Comparison of Conventional Mixing and Displacement Air-Conditioning and Ventilation Systems in U. S. Commercial Building, ASHRAE.
2. J. Laurikainen, 1990, Calculation Method for Air Flow Rate in Displacement Ventilation System, Halton oy, Finland.
3. A. G. L Svensson, 1989, Nordic Experiences of Displacement Ventilation System, ASHRAE.
4. M. Sandberg, C. Blomqvist, 1989, Displacement Ventilation System in Office Rooms
5. H. M. Mathison, 1989, Case Studies of Displacement Ventilation in Public Halls
6. A. K. Melikov, J. B. Nielsen, 1989, Local Thermal Discomfort Due to Draft and Vertical Temperature Difference in Rooms with Displacement Ventilation
7. 牛澤 久 大宅 淳 1998. 2. 新 アンダーフロア空調方式の開発 〈床吹出しディスプレイメントベンチレーション方式の開発〉, 建築設備と配管工事, PP. 59~62
8. 藤塚 讓二, 1998. 4. クランツ社置換換気システム用吹出口 〈ディスプレイメント空調用の専用吹出口〉, 建築設備と配管工事, PP. 55~59

* 설비 *