

청정실의 연기확산과 방연커튼의 효과

박외철

부경대학교 공과대학 안전공학부 소방공학전공

Smoke Spread in a Clean Room and Effects of Smoke Curtain

Woe-Chul Park

Major in Fire Protection Engineering, Division of Safety Engineering

College of Engineering, Pukyong National University

1. 서론

반도체 제조용 청정실(clean room)에는 실내에서 발생한 미세입자를 제거하기 위해 공기가 천장에서 들어와 바닥으로 배출된다. 청정실내 기류에 대한 연구가 많이 수행되었으나 화재로 인한 연기확산에 대한 연구는 거의 없다. 청정실내의 가연성물질은 주로 알코올류로, 연기발생은 적지만, 화재가 발생하면 연기가 급속히 확산되므로 큰 피해를 초래하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 소화뿐만 아니라 연기를 신속히 제거하기 위한 제연설비가 필요하다.

그러나 청정실 화재의 시뮬레이션을 수행하기 위한 예비조사에서 소화설비와 제연설비가 작동하더라도 방연커튼 또는 방연 칸막이가 없으면 연기가 확산되는 것으로 나타났다. 본 연구는 청정실 화재의 수치적 연구의 일부로서, 연구의 목적은 연기확산을 방지하기 위한 방연 칸막이의 필요성을 확인하는 것이다. 방연커튼의 길이가 청정실에서의 연기확산의 지연에 미치는 영향을 전산유체역학으로 조사하고, 방연 칸막을 설치하지 않으면 연기가 인접 구역으로 확산됨을 확인한다.

2. 연구방법

본 연구의 대상은 Fig. 1과 같이 1개의 구역이 바닥면적 30 m x 10 m, 높이 4 m이고, 좌우 양쪽에 벽이 있고, y방향으로는 양쪽이 모두 다른 구역에 개방되어있다. 폭 3 m의 중앙통로 양쪽에는 높이 3 m의 칸막이가 설치되어 있고, 중앙통로의 좌측 벽에는 폭 3 m, 높이 4 m의 출입구가 있다. 칸막이와 천장 사이는 비어 있어, 중앙통로에서 화재가 발생하면 연기가 천장을 따라 다른 구역으로 확산된다. 천장에서 바닥으로 공기가 0.1 m/s로 흐르며, 구역경계에서 이 속도경계조건을 반영하기 위해, y 방향으로 양쪽에 2.5 m씩 추가하여 계산영역을 30 m x 15 m x 4 m로 하였다. 천장과 바닥, 유입공기의 온도는 모두 20°C로 하였다.

화재 시나리오는 청정실내의 가연성물질과 성질이 유사한 메탄올(methanol) 20l가 약

400초 동안 일정한 연소율을 유지하는 것으로 가정하여, 화재규모 1 MW의 화원이 중앙 바닥에 위치하며 화원의 크기는 1 m x 1 m로 하였다. 전산유체역학으로 미국 표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology)의 Fire Dynamics Simulator¹⁾ Version 3.1을 사용하였다. 격자의 크기는 균일하게 0.2 m x 0.2 m x 0.1 m(150 x 75 x 40개)로 하였다. 알코올류는 연소할 때 연기가 거의 발생하지 않으므로, 시물레이션에서 연기이동을 관찰할 수 있도록 화원에서 유동장에 연기입자를 투입하였다. 방연커튼은 두 구역경계의 천장에 설치하며, 길이가 각각 0, 1, 2, 3 m일 때 연기입자의 이동과 공간내 입자수의 변화, 온도의 변화를 비교하였다.

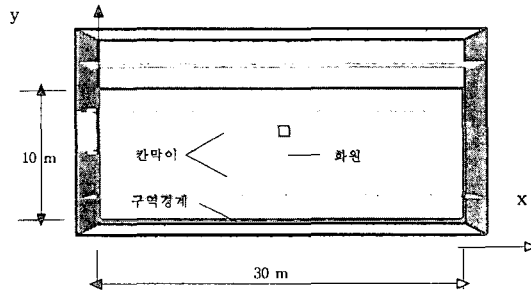


Fig. 1 Computational domain (30 m x 15 m x 4 m).

3. 결과 및 토의

화재가 발생하면 연기는 고온공기와 함께 위로 올라가 2개의 중앙 칸막이(높이 3 m)와 천장(높이 4 m) 사이의 공간을 통해 천장을 따라 확산된다. Fig. 2는 방연커튼이 없을 때 수직 중앙평면($x = 15$ m)에서 60°C 이상의 고온공기가 시간에 따라 이동하는 과정을 나타낸 그림이다. 화재발생 후 10초($t = 10$ s)에 이미 고온공기가 계산영역을 빠져나갔음을 볼 수 있다.

시간이 흐르면 연기의 온도가 떨어지므로, 연기의 이동을 확인하는 데는 온도분포보다 유동장에 투입한 연기입자의 이동을 관찰하는 것이 더 적합하다. Fig. 3은 화재발생 후 시간에 따른 연기입자의 분포를 비교한 것으로, $t = 0$ s에 연기가 계산영역 밖으로 확산되어 있다. Fig. 2와 3으로부터, 방연커튼이 없는 경우에는 체연설비로 연기를 바닥으로 배출하더라도 자연대류에 의해 연기가 위로 올라가 옆 구역으로 확산되는 것을 차단할 수 없음을 알 수 있다.

방연커튼의 길이(L)가 2 m인 경우에는 Fig. 4와 같이 화재발생 후 20초에서도 고온공기가 방연커튼의 밖으로 이동하지 않았다. 방연커튼에 의한 연기의 확산지연은 Fig. 5의 연기입자 분포로도 명확히 확인된다. 방연커튼이 없는 Fig. 3과 달리, $t = 15$ s에도 연기입자가 길이 $L = 2$ m의 방연커튼의 안쪽에만 존재한다. 그러나 연기입자는 시간이 흐름에 따라 일정한 유속 0.1 m/s의 공기와 함께 아래로 이동하여, $t = 20$ s에서는 양쪽 끝 부근에서 바닥과 방연커튼 사이의 공간을 통해 옆 구역으로 빠져나간 상태이다. 방연커튼의 길이가 길더라도 방연커튼과 바닥 사이에 공간이 있으면 연기가 확산될 수 있으므로, 방연커튼의 길이를 천장높이와 같게 하거나 구역경계에 방연커튼 대신에 방연 칸막이를 설치해야함을 알 수 있다.

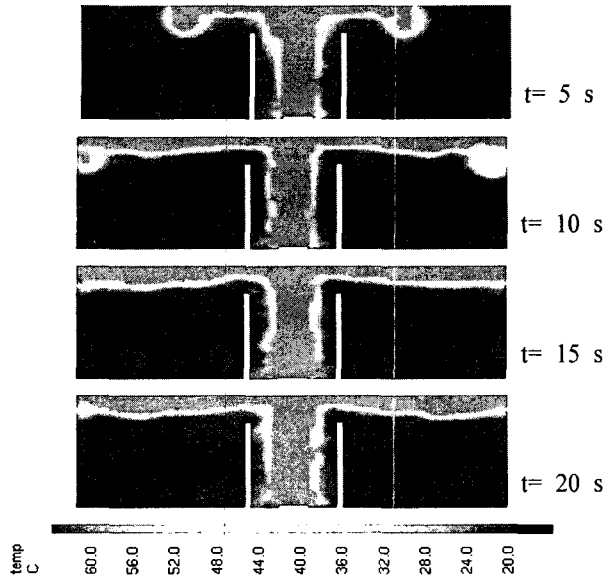


Fig. 2 Temperature distribution without smoke curtain ($x= 15$ m)

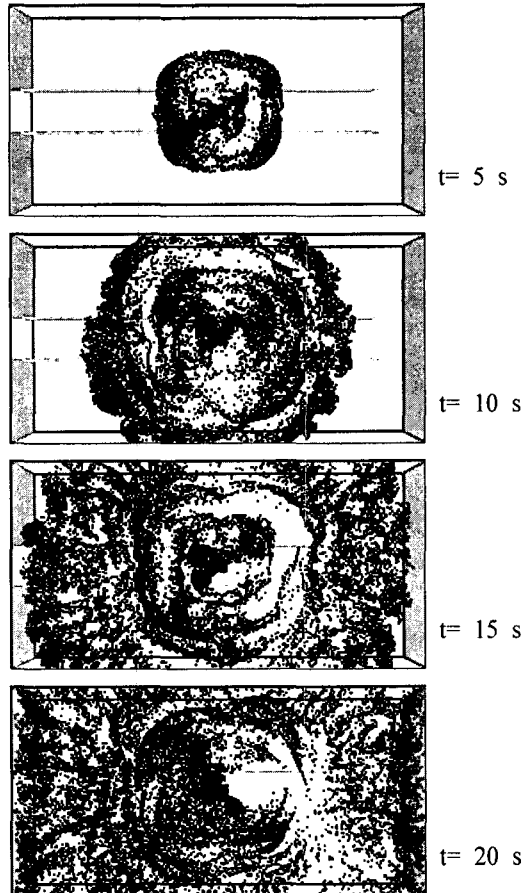


Fig. 3 particle distribution without smoke curtain.

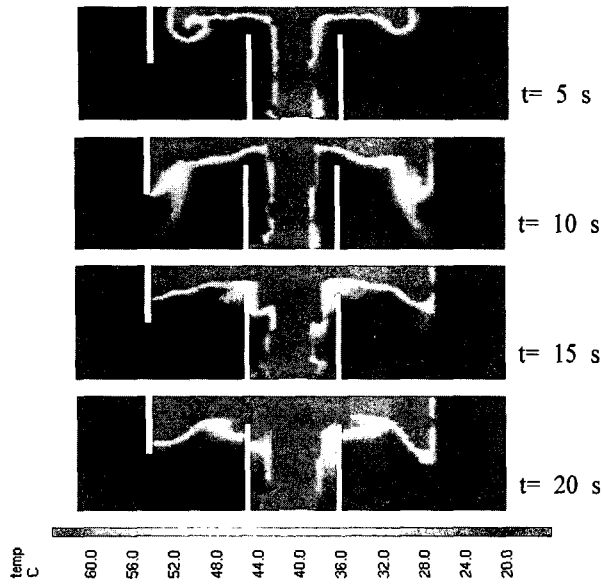


Fig. 4 Temperature distribution with smoke curtain, $L = 2$ m ($x = 15$ m).

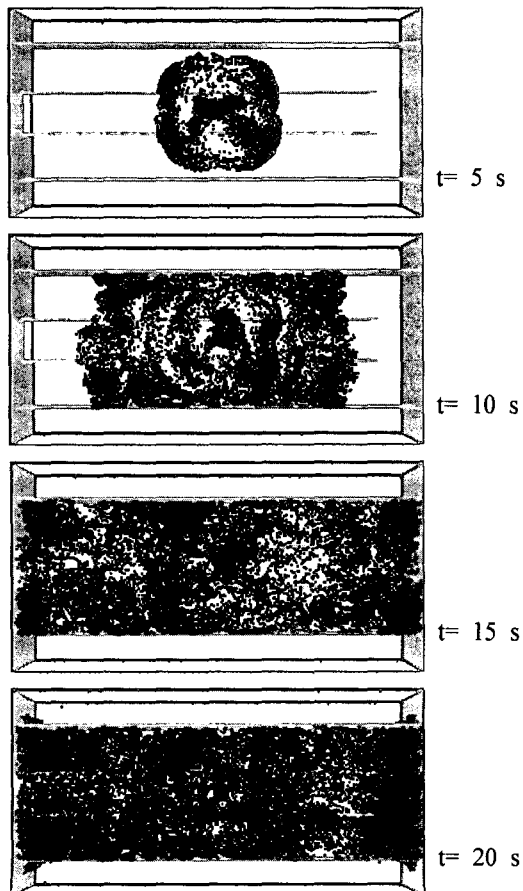


Fig. 5 Particle distribution with smoke curtain, $L = 2$ m.

Fig. 6에는 방연커튼의 길이에 따라 계산영역내 연기입자수의 시간에 따른 변화를 비교하였다. 방연커튼이 없는 경우($L=0$), 화재발생 후 약 8초에 연기가 계산영역을 빠져나가기 시작한다. 이에 비해, $L=1, 2, 3$ m일 때 연기가 계산영역 밖으로 빠져나가기 시작하는 시간은 각각 약 20, 30, 35초로 나타나있다. 그러므로 방연커튼의 길이가 길수록 연기의 확산이 지연된다는 사실을 알 수 있다. 또 방연커튼의 길이가 3 m일지라도 방연커튼과 바닥 사이 높이 1 m의 공간으로 연기가 확산됨을 보여주고 있다.

화재발생 후 천장 부근에 집중된 연기는 기류에 따라 점차 아래로 이동하며, 방연커튼과 바닥 사이의 공간을 통해 옆 구역으로 흘러나가게 된다. 방연커튼은 연기확산을 지연시키지만, 완전히 차단할 수 없으므로, 방연커튼의 길이를 천장높이와 같게 해야 한다. 이 사실로부터 다른 구역으로 연기가 확산되지 않게 하기 위해서는 구역경계에 방연 칸막이를 설치해야 함을 알 수 있다.

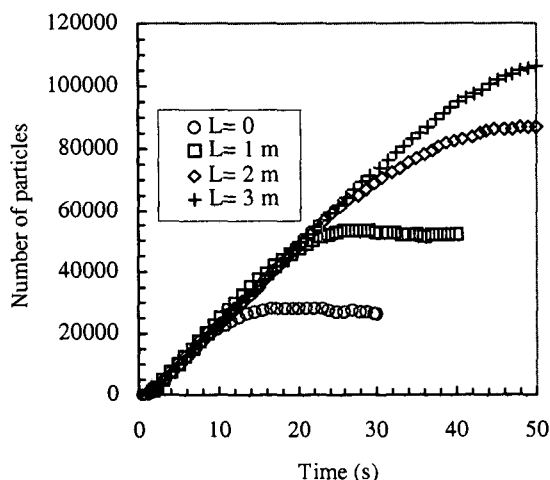


Fig. 6 Comparison of variation of the number of particles remained in the domain for smoke curtain length, L .

4. 결론

청정실에 1 MW의 메탄을 화재가 발생했을 때, 방연커튼의 연기확산 지연효과를 확인하기 위해, 전산유체역학을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 방연커튼이 없는 경우에는 자연대류에 의해 연기가 위로 올라가 천장을 따라 다른 구역으로 이동하여 연기가 확산되었고, 방연커튼의 길이가 길수록 연기의 확산이 더 지연됨을 확인하였다. 다른 구역으로의 연기확산을 방지하기 위해서는 구역경계에 방연 칸막이를 설치할 필요가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. K. B. McGrattan, H. R. Baum, R. G. Rehm, A. Hamins, G. P. Forney, J. E. Floyd, S. Hostikka and K. Prasad, Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide v.3, NIST, Gaithersburg, Maryland, U.S.A. (2002).