

자동차 부품공장 내부 환기 시스템의 수치해석적 연구

고 동 훈,^{*1} 이 준 호,² 임 설,¹ 김 상 덕,³ 송 동 주,⁴ 차 상 은⁵

NUMERICAL ANALYSIS OF INTERNAL VENTILATION SYSTEM IN AUTOMOTIVE PART FACTORY

D.H. Koh,^{*1} J.H. Lee,² S. Lim,¹ S.D. Kim,³ D.J. Song⁴ and S.E. Cha⁵

The increasing demand on the comfortable working conditions in automotive part plant pushes the company to improve working environment of workers. we analyzed thermal flow of an automotive part factory by using CFX code. Internal working environment has been analyzed with/without ventilation system.

Key Words : Thermal Flow(열유동), Environmental Flow(환경유동), Ventilation(환기), ANSYS/CFX, Numerical Analysis(수치해석), Turbulence(난류), SST Model(SST 모델)

1. 서 론

경제적 여건에 따라 생활의 수준이 날로 향상되고 있을 뿐만 아니라, 건강 및 복지에 대한 인식이 날로 증대되면서 보다 쾌적한 실내 환경과 근무의 조건에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라 제조업 중 자동차 부품 제조공장에는 고열을 이용하는 생산라인을 갖추고 있다. 이들 공장에는 대부분 공장상부에 덕트나 강제배기구를 만들어 열유동을 순환시키고 있는 실정이다. 하지만 특히 여름과 같은 외기온도가 높은 날에는 공장의 고열 상부에 열유동의 와류가 발생하여 더운 공기가 배기덕트와 배기구를 통해서 원활히 순환되지 않아서 작업자들의 건강과 생산성에 많은 영향을 미치고 있다.

이에 따라 최근에는 공장의 내부유동을 원활히 하기 위하여 저속치환 환기시스템을 설치하거나, 열원의 상부에 냉

각장치를 설치하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수치해석적인 방법을 이용하여 공장 내부의 환기 시스템 및 열유동 현상을 분석 및 고찰하여 봄으로서 모델이 된 자동차 부품공장 내부 환경의 열유동 현상과 관련된 문제점을 파악하고 보다 나은 실내 환경의 구축을 위한 토대를 마련하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 해석모델

Fig. 1 (a)와 (b)는 모델링된 자동차 부품공장 I과 II의 형상을 보여주고 있으며, 여기서 각 공장내부의 검은 부분은 고온의 열원을 가진 장비를, 공장벽면의 검은 부분은 공장의 출입문을, 지붕의 작은 검은 점은 자연대류되는 배기구 혹은 강제대류와 자연대류가 섞인 배기구를, 긴 직사각형은 자연대류만 되는 배기구를 나타내며, 나머지 형상들은 공장내부에 고온의 열원이 없는 장비를 나타낸다.

2.2 해석방법

수치해석의 수행방법은 수렴성, 정확성과 타당성이 검증되고 있는 ANSYS/CFX를 사용하였다.

1 학생회원, 영남대학교 대학원 기계공학과

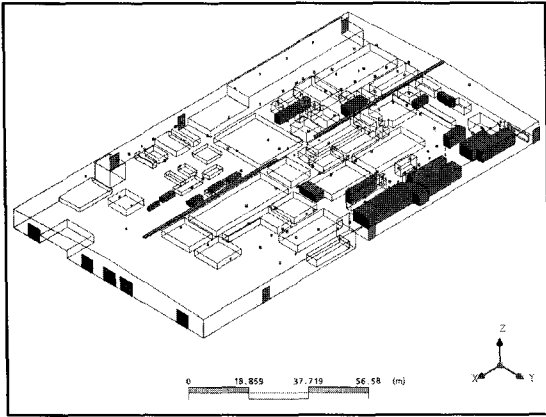
2 학생회원, 영남대학교 기계공학부

3 정회원, 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

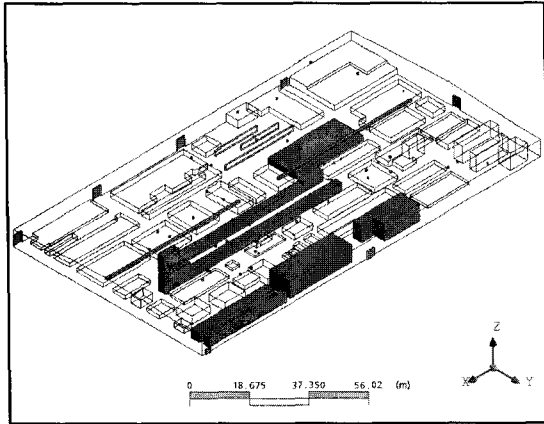
4 정회원, 영남대학교 기계공학부

5 비회원, 오스텍

* Corresponding author, E-mail: kalin76@ynu.ac.kr



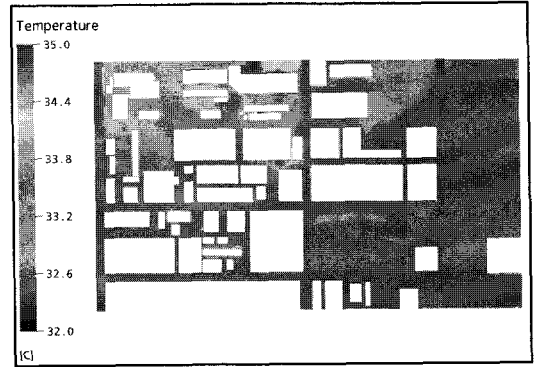
(a) 공장 I



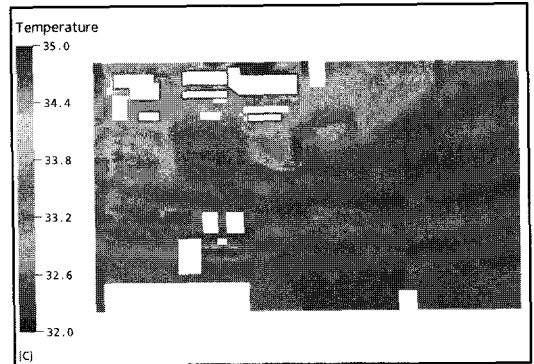
(b) 공장 II

Fig. 1 각 공장의 3차원 모델링

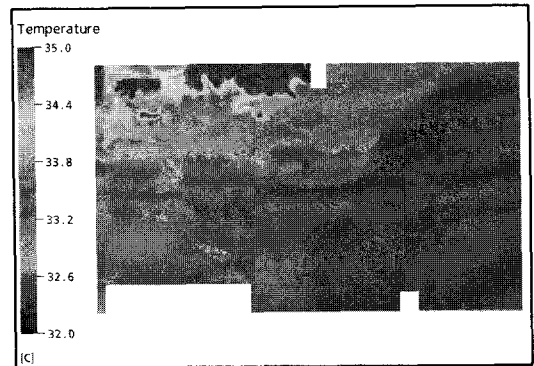
각각의 모델은 3차원 정상상태(3-Dimensional steady state)로 가정하였다. 경계조건으로서 모든 벽면에서는 짐작조건과 단열 조건을 주었다. 자동차 부품공장 I에서 자연배기구만을 가진 자연대류조건(이하 'Case 1'이라 한다.)과 출구경계조건으로는 실제로 적용되고 있는 강제배기구와 자연배기구를 가진 강제대류 조건(이하 'Case 2'라 한다.)을 적용하였다. 자동차 부품공장 II에도 자연대류조건(이하 'Case 3'이라 한다.)과 강제대류조건(이하 'Case 4'라 한다.)을 적용하였다. 작동유체와 초기조건 (속도, 온도 등)은 Air Ideal Gas와 실제 조사한 데이터를 적용하였다. 유동장의 전체 격자수는 해석형상에 따라서 250만~350만개 정도로 하였으며, 계산은 ANSYS CFX Solver 10.0과 병렬 컴퓨터를 사용하여 계산을 수행하였고, 열유동의 계산을 위해서 Shear Stress Transport Model을 사용하였다. 공장내부의 열원이 집중된 부분을 정확히 모사하기 위하여 열원 주변에 프리즘 메쉬를 배치하였다.



(a) 1.5m



(b) 3m



(c) 5m

Fig. 2 바닥면에서 (a) 1.5m, (b) 3m, (c) 5m 높이에서의 온도분포

3. 연구결과

3.1 자동차부품 공장 I의 연구결과

3.1.1 자연대류 조건을 적용한 경우(Case 1)

자동차 부품공장 I의 지붕에 팬에 의한 강제배기를 하지 않고, 자연배기만을 적용한 조건에서 수치해석한 결과이며, 자연배

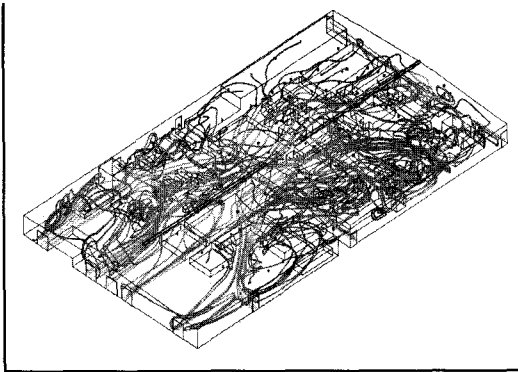
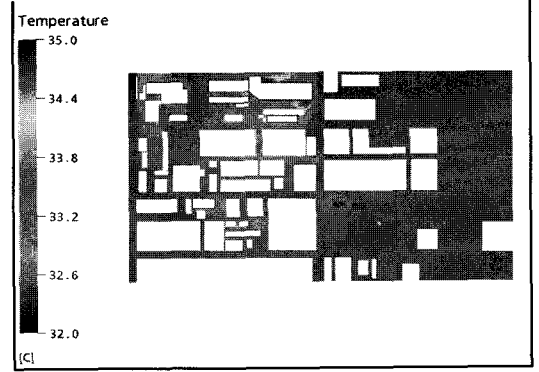


Fig 3 자연대류조건일 때 유동장의 유선분포



(a) 1.5m

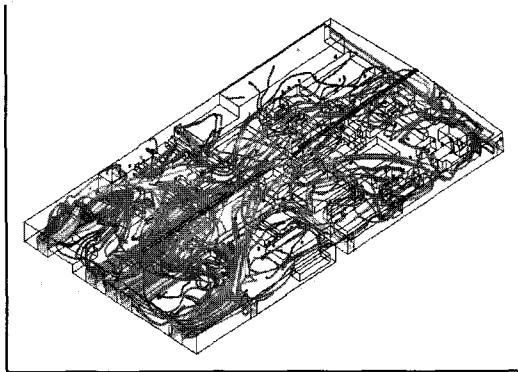
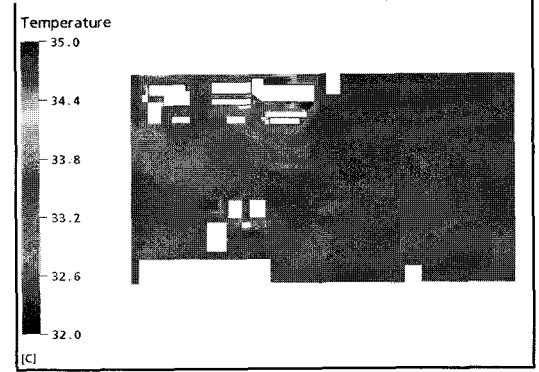


Fig. 4 출입문과 지붕 중앙부분의 긴 직사각형 배기구를 지나는 유동장의 유선분포



(b) 3m

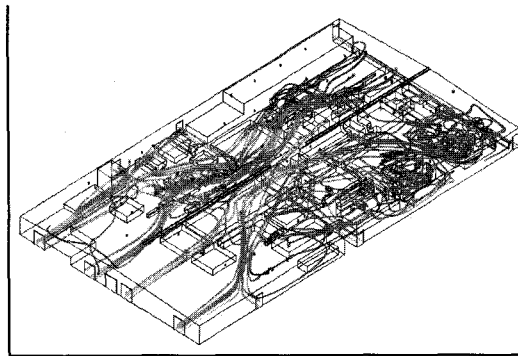
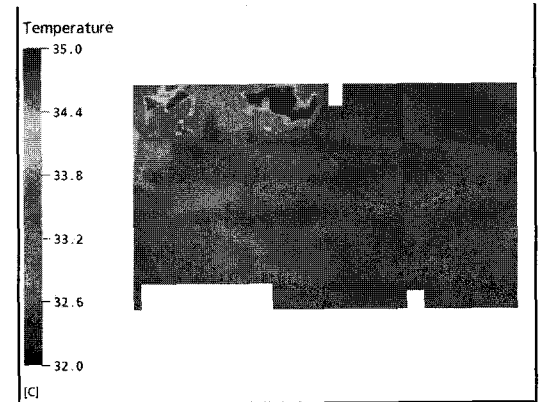


Fig. 5 원형배기구를 지나는 유동장의 유선분포



(c) 5m

기로 출입되는 외기온도는 실제 측정된 32.5°C로 하였다.

Fig. 2 (a), (b), (c)는 공장의 바닥면 (xy plane)에서 1.5m, 3m 및 5m 높이의 평면에서의 온도 분포이다. 그림에서 알 듯이 열유동이 점차 상부로 올라가서 잘 빠져나가지 못하고 상부측에 몰려있어 지붕과 벽면이 만나는 부분에 열이 집중되고 있음을 잘 묘사하고 있다. Fig. 2 (c)는 열원이 가장 정체되는 지역을 보여주며, 열원 밀집지역에서 열유동이 대

Fig. 6 바닥면에서 (a) 1.5m, (b) 3m, (c) 5m 높이에서의 온도분포

류하여 우측으로 유동되어짐을 알 수 있다. 전체적으로 열유동이 좌측상단 모서리부분에 집중되었다가 열원이 없는 쪽으로 점차적으로 약해져 가는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3은 자연대류조건을 적용하여 해석한 공장전체의 유동장에 대한 유선분포를 나타낸다. 여기에서도 고열원의 상

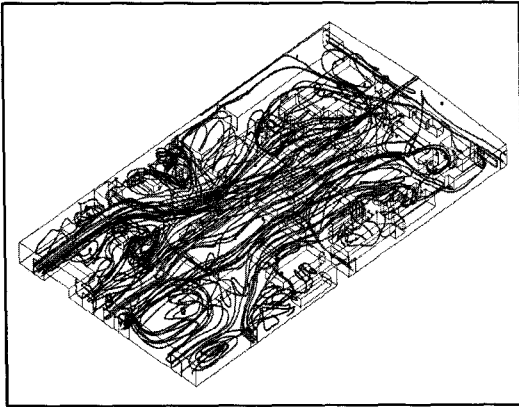


Fig. 7 강제대류조건일 때 유동장의 유선분포

부에 열정체 지역(고온분포 지역)을 볼 수 있다. Fig. 4는 공장의 출입부와 상부의 자연대류를 기준으로 하여 그린 유선들이다. 출입문으로 들어오는 유동이 출입구 근처 상부에서 유동속도가 느려지며 정체되는 현상이 발생함을 알 수 있다. Fig. 5는 지붕에 중앙의 긴 직사각형 자연대류 배기구를 기준으로 그린 유선분포이다. 자연대류조건에서 자동차 부품공장 I의 주열원 상부에 유동이 정체되어 열정체 지역이 나타남을 알 수 있다.

3.1.2 강제대류 조건을 적용한 경우(Case 2)

Fig. 6 (a), (b) 및 (c)는 Fig. 1과 같은 3차원 공장내부에서 팬에 의해 일정 유속을 가지는 강제배기팬과 자연배기구를 적용한 조건에서 수치해석한 결과이다. 경계조건으로 강제배기팬에는 배기구에 수직인 방향으로 15m/s의 유동속도를 적용하였다.

자연대류 결과와 비교하여 볼 때, 강제대류 결과가 Fig. 6 (a), (b) 및 (c)로부터 좌측상단에 있는 장치 등의 주변에서의 열정체 지역이 다소 해결되기는 하나 여전히 높은 온도를 유지함을 알 수 있다. Fig. 6 (a)에서 우측하단부에서 보이는 작은 열원은 공장전체의 열유동에 영향을 크게 미치지 않음을 알 수 있다. 또한 Fig. 6은 열원이 가장 집중된 부분과 열유동의 대류로 좌측상단 모서리 부분에 열이 집중되는 것을 보여준다. 그러나 자연대류 경우와 달리 중앙에 배치된 강제배기팬에 의한 고온공기의 배기로 인하여 유동의 일부가 지붕 중심의 배기구로 흘러나가는 현상이 현저히 없어짐을 알 수 있다. 이로부터 열원의 지붕에 강제 배기팬을 설치하면 그만큼 더 효과적인 냉각이 이루어짐을 알 수 있다.

Fig. 7은 강제배기시 공장 전체의 유선분포를 보여주며, 공장 전체의 열 유동이 흘러가는 경향을 볼 수 있다. Fig. 8과 9로부터 공장 중앙의 열원은 지붕쪽으로 강제대류되어 지붕에서 정체되는 자연 대류의 경우와 다른 것을 알 수 있다. 이러한 팬에 의한 적극적인 강제대류는 효과적인 열유동의

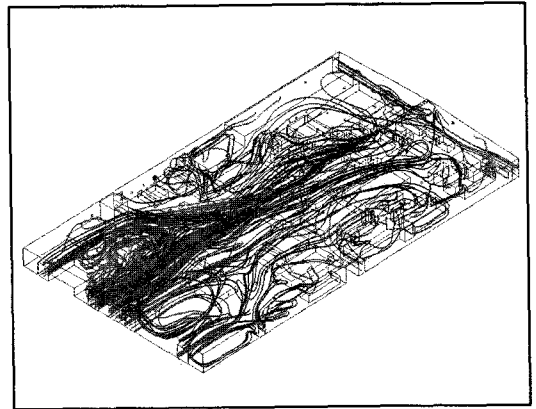


Fig. 8 출입문과 지붕 중앙부분의 긴 직사각형 배기구를 지나가는 유동장의 유선분포

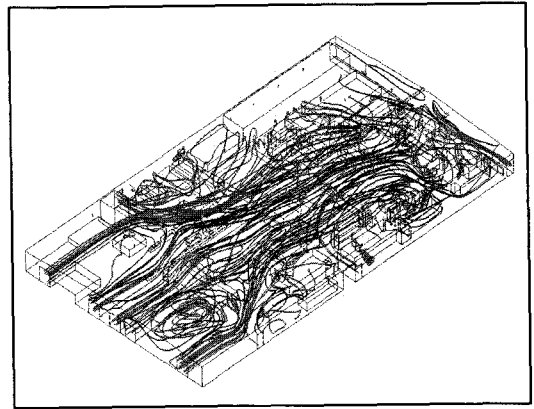


Fig. 9 원형 배기구를 지나가는 유동장의 유선분포

냉각수단이 될 수 있음을 보여준다.

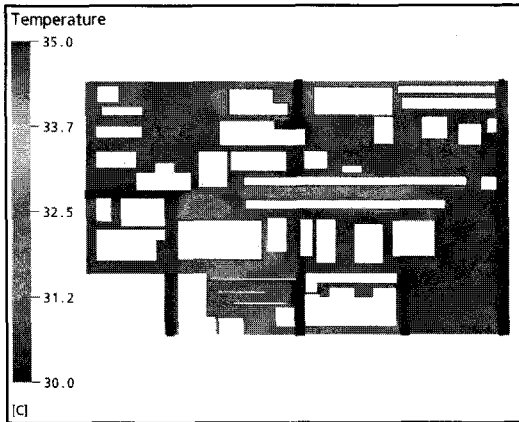
3.1.3 자동차 부품공장 I의 결론

Case I과 II의 결과를 비교하여 보면, 열원근처에서 벽으로 열이 집중됨을 알 수 있다. 열원이 공장 좌측 상부에 밀집해 있어 이 부분의 열유동이 복잡하며, 주된 열정체 지역임을 알 수 있다. 전체적으로는 자연대류보다는 강제대류조건을 적용하였을 경우에 열정체 문제를 더 잘 해결할 수 있으나, 여전히 작업자의 작업환경은 열악함을 알 수 있다. 적극적인 열유동의 냉각을 위한 대책이 요구됨을 알 수 있다.

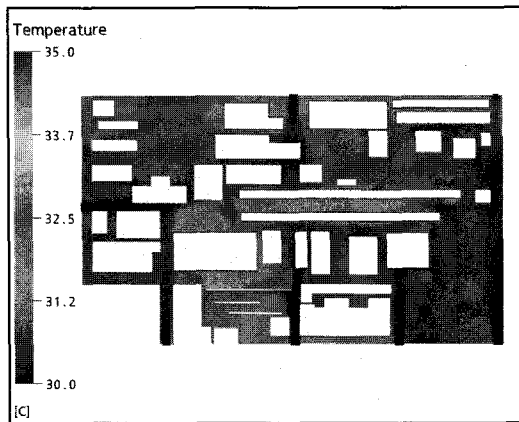
3.2 자동차부품 공장 II의 연구결과

3.2.1 자연대류 조건을 적용한 경우(Case 3)

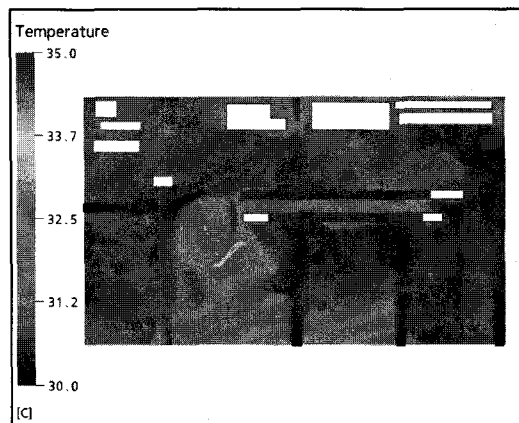
자동차 부품공장 II의 지붕에 팬에 의한 강제배기를 하지 않고 자연배기만을 적용한 조건(팬을 끈)에서 수치해석한 결과이며, 자연배기(자연대류)로 출입되는 공기의 온도는 실제 측정된 32.5℃로 하였다.



(a) 1.5m



(b) 3m



(c) 4.5m

Fig. 10 바닥면에서 (a) 1.5m, (b) 3m, (c) 4.5m 높이에서의 온도분포

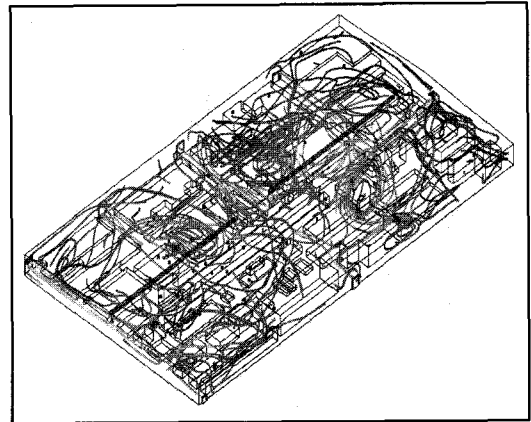


Fig. 11 자연대류조건일 때 유동장의 유선분포

Fig. 10 (a), (b) 및 (c)는 공장의 바닥면(xy plane)에서 1.5m, 3m, 4.5m 높이의 평면에서의 온도분포를 보여준다. 공장의 중앙부분과 우측상부에 열원이 집중되어 이로 인한 영향으로 고온의 열정체 지역이 중앙부분에서 나타남을 알 수 있다.

Fig. 11, 12 및 13은 자연대류를 적용하여 수치해석한 결과를 보여주며, 공장전체의 열 유동이 하부에서 상부로 흘러가는 경향을 알아볼 수 있다. Fig. 11은 자연대류조건을 적용하여 해석한 공장전체의 유동장에 대한 유선분포를 나타낸다. 주된 열유동이 공장 지붕의 자연배기구를 통해서 흘러나가는 것을 알 수 있다. Fig. 12는 공장의 출입부와 상부의 긴 직사각형 배기구를 지나는 유선을 그린 그림이다. 공장의 중앙상부에 열정체 지역이 발생함을 알 수 있다. Fig. 13은 지붕에 배치된 원형 배기구를 기준으로 그린 그림이다. 자동차 부품공장 II의 우측 상부에 열정체 지역이 나타남을 알 수 있다. 팬이 꺼졌을 경우 원형 배기구들을 통과하는 유동은 미미함을 알 수 있다.

3.2.2 강제대류 조건을 적용한 경우(Case 4)

Fig. 14 (a), (b) 및 (c)는 Fig. 1과 같은 3차원 형상에서 팬에 의해 일정 유속을 가지는 강제배기팬과 자연배기구를 적용한 조건에서 수치해석한 결과이다. 경계조건으로 강제배기팬에는 배기구에 수직인 방향으로 15m/s의 유동속도를 적용하였다.

Fig. 14 (a), (b) 및 (c)를 살펴보면, 공장의 중앙부분과 중앙상부에 열원이 집중되어 있다. Case 1의 경우(Fig. 11, 12 및 13)와 비교해 볼 때, 공장의 중앙상부의 열원보다는 중앙부분의 열원으로 인한 영향으로 고온의 열정체 지역이 중앙위치에서 나타남을 알 수 있다. 그리고 열 유동이 공장전체에서 팬에 의하여 하부에서 상부로 흘러가는 경향을 알아볼 수 있으며, 강제배기를 하지만 여전히 지붕에 열이 집중되어 있음을 알 수 있다. 전체적으로 냉각이 이루어지기는 하나, 여전히 효과적인 냉각에는 문제점이 있음을 알 수 있다. Fig. 15는 강제대류조건을 적용한 공장전체의 유동장에 대한 유선분포를 보여주며, 공장전체의 열

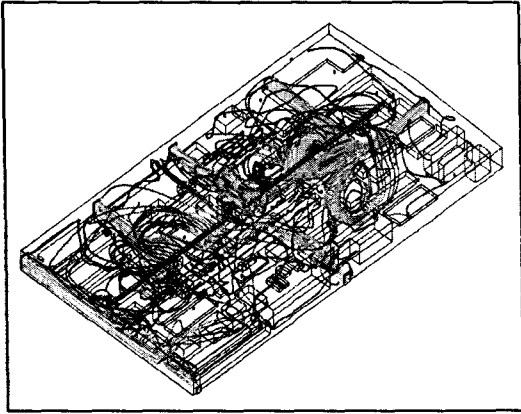
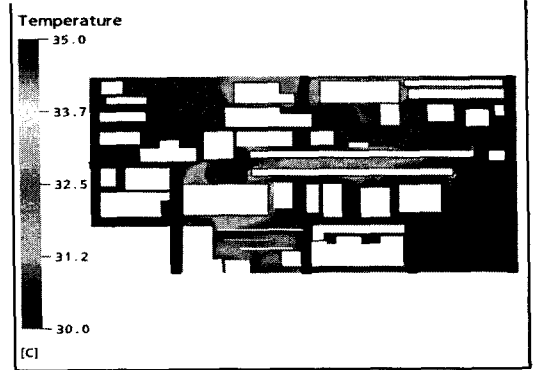


Fig. 12 출입문과 지붕 중앙부분의 긴 직사각형 배기구를 지나는 유동장의 유선분포



(a) 1.5m

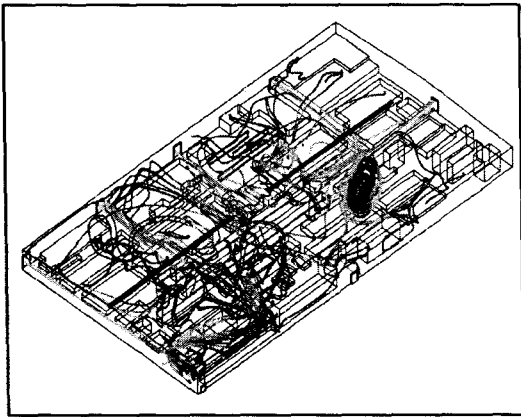
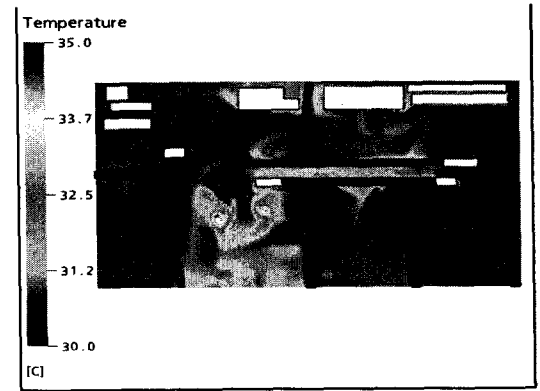
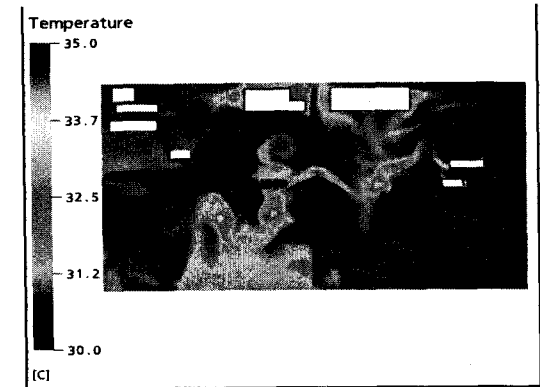


Fig. 13 원형 배기구를 지나는 유동장의 유선분포



(b) 3m



(c) 4.5m

Fig. 14 바닥면에서 (a) 1.5m, (b) 3m, (c) 4.5m 높이에서의 온도분포

유동이 흘러가는 경향을 볼 수 있다. Fig. 16은 공장의 출입문과 지붕의 직사각형 배기구를 기준으로 하여 그린 유선들이다. 공장의 중앙상부에 열정체 지역이 나타남을 알 수 있다. Fig. 17은 지붕에 원형의 자연 및 강제 배기구를 기준으로 유선분포이다. 공장의 중앙상부에 열정체지역이 나타남을 알 수 있다. Case 2와 마찬가지로 팬에 의한 적극적인 강제대류는 효과적인 냉각수단이 될 수 있음을 보여준다.

3.2.3 자동차 부품공장 II의 연구결론

Case 3과 4의 결과를 비교하여 보면, 자연대류보다는 강제대류에서 냉각이 더 잘 이루어진다. 공장의 중앙상부에 열이 집중되어 복잡한 열유동 현상을 보여주며, 이곳에 열정체 지역이 있음을 알 수 있다. 전체적으로는 Case 3의 경우보다 Case 4를 적용하였을 경우에 열정체 문제를 더 잘 해소하여 Case 3보다 온도가 낮았다. 그러나, 여전히 작업환경이 열악함을 알 수 있다. 적극적인 열유동의 냉각을 위한 대책이 시급함을 알 수 있다.

4. 결 론

자동차 부품공장 I과 II의 유동해석 결과 현재 배기시스템으로 급배기시 온도분포가 강제대류시 공기의 대류를 원

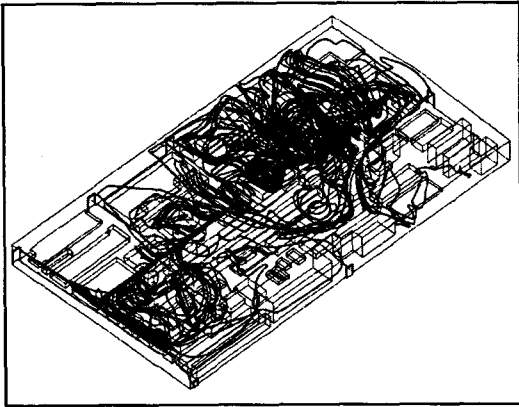


Fig. 15 강제대류조건일 때 유동장의 유선분포

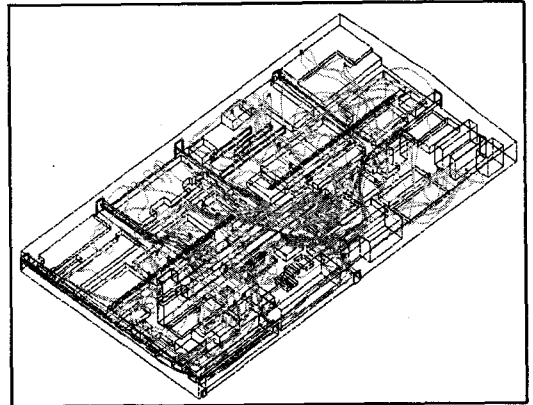


Fig. 17 원형 배기구를 지나는 유동장의 유선분포

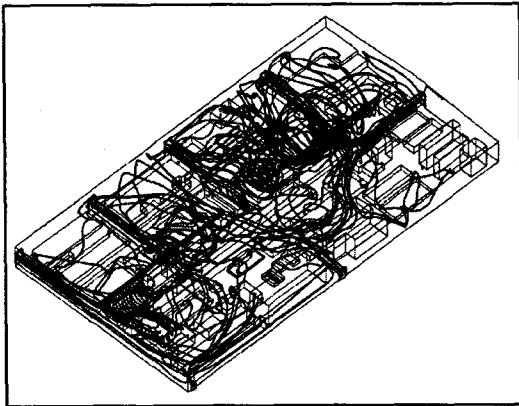


Fig. 16 출입문과 지붕 중앙부분의 긴 직사각형 배기구를 지나는 유동장의 유선분포

활히 하여 온도를 약간 낮춰주었다. 그러나 여전히 작업자가 쾌적하게 작업을 할 수 있는 환경이라고 할 수 없다. 특히, 더운 여름철이나 외부환경이 높은 대기온도일 경우 강제배기에도 불구하고 여전히 열정체 지역이 발생하며, 추가적인 냉각대책이 필요함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 2007년 오스텍과의 공동연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 1997, ASHRAE, "ASHRAE Handbook-Fundamentals," *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*, Ch.25.3-25.7
- [2] 1997, 조정식, 김정엽, "저속치환 환기시스템의 수치해석적 고찰," *공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집*, pp.117-121
- [3] 1999, Lee, J.H., "The ventilation efficiency with the various ventilation systems," *Proceedings of the SAREK*, pp.355-363
- [4] 2000, 문정환 외5, "제트팬 환기방식 지하주차장의 공기 교환효율," *공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집*, pp.1158-1165