

# 타이어 제조공장 가류공정의 온열환경 개선에 관한 연구

임정호<sup>†</sup> · 김태형

창원대학교 환경공학과

## Improvement of hot work environment in the curing processes of a tire manufacturing company

Jung-ho Lim<sup>†</sup> · Tae-Hyeung Kim

*Department of Environmental Engineering, Changwon National University*

Generally, the tire curing process is the process in which the sulfur is added and subsequently the tire is heated to give the tire elasticity. In this process, all kinds of the chemicals in the tire are emitted with a lot of heat. The chemical fume and heat aggravate the work environment. To solve this problem, 92 local exhaust ventilators and 8 gravity ventilators were used, but not satisfactory yet. Preliminary survey showed that the temperatures in the process were very high; 30.3, 32.9 and 37.2 °C at 2, 4 and 6m above the ground level, respectively in the winter (outside temperature was 2°C). It can be imagined that the process is severely hot in the summer time. The higher temperature distribution in the higher space tells us that the hot plume could not be removed with the existing ventilation systems.

Therefore, in this study, some alternative ventilation systems

were designed. The partitions were used to contain the hot plume to increase the capture efficiency. The gravity ventilators were newly designed to improve the extraction efficiency of hot fume. To satisfy the balance of pressure in the curing process, some supply air system was introduced by renewing the existing air conditioning system. Many alternative solutions were evaluated by using computational fluid dynamics modelling. The best and applicable solution was selected and the existing ventilation system was modified. After implementing the new ventilation system, the hot environment was much improved. The temperature reduction in the curing process was about 6.4 °C.

Key Words : Tire manufacture, Thermal state, CFD

접수일 : 2010년 12월 3일, 채택일 : 2011년 2월 16일

† 교신저자: 임정호(창원시 사림동 창원대학교 산업환경기 연구실,

Tel : 055-289-7587, Fax: 055-287-8288, E-mail: sino83@naver.com)

## I. 서론

타이어 제조공정은 제품 특성상 원료로 사용되는 천연고무, 합성고무 및 첨가제로 사용하는 각종 화학물질(카본블랙, 돌가루, 탈크, 톨루엔, 크실렌 등)에 의해 유해한 작업환경이 조성된다. 특히, 고무와 황 및 각종 첨가제를 교반하여 타이어 특성에 맞는 고무판을 제조하는 정련공정과 타이어의 탄성과 스레드(thread)형성을 위해 180℃ 이상 가열된 몰드에 넣고 짜는 가류공정에서 다량의 고무 흙 및 유해가스가 발생되어 작업자 노출에 따른 건강문제가 사회적으로 대두되고 있다. 실제 2008년에 실시한 모 타이어 공장의 돌연사 및 직업병 유발요인에 대한 역학조사 결과에 따르면, 심장성 돌연사의 직업적 유발요인에 고열이 작용했을 가능성이 확인되었으며(한국산업안전공단, 2008), 타이어 제조 특성상 사용되는 여러 화학물질의 인체에 미치는 영향도 선행연구를 통해 그 유해성이 밝혀졌다.(McMichael A. J., 1976; Kogecinas M., 1998; Hualtieri M., 2005).

특히, 본 연구대상으로 선정된 가류공정의 경우 하절기 작업자 활동높이에서 35~40℃의 고열이 정체되고 있는 것으로 조사되었으며, 그린케이스(green case)를 몰드에 넣고 짤 때 발생하는 고무 흙 및 유해가스의 농도도 가장 높게 나타나고 있어 작업자 노출에 따른 직업병 발생 위험이 가장 높다고 할 수 있다.

국내 타이어 제조회사의 경우 가류작업 시 발생하는 고온의 오염물질을 배출하기 위해 국소배기 시스템을 이용하거나, 전체환기 시스템(지붕 팬, 모니터, 환기창 등)과 복합 적용하여 운영을 하는 등 업체마다 각기 다른 방식과 형태를 적용하고 있다. 그러나, 전체환기 방식은 국소배기 방식과 달리 주변 환경에 따른 오염물질 배출효율 변화가 심하여 부적합한 운영 시 환기장치를 통해 외기가 유입되어 작업장 내 오염물질 농도를 상승시키는 등 역효과를 일으킬 수 있으므로 사용에 주의가 필요하다. 본 연구대상의 경우도 국소배기와 전체환기 방식을 병행운영하고 있지만, 동절기 시 제품불량(작업장 내부온도를 24℃ 이상 유지해야 함) 문제로 외부 출입문을 닫아두고 작업하여 작업장 내부에 설치된 국소배기의 배출유량 만큼 발생된 부족공기가 모니터 및 인접공정 개구면을 통해 유입되어 오염물질이 환기장치로 원활히 배출되지 못하고 작업장 내부로 확산되는 문제가 발생하고 있었다.

따라서, 본 연구에서는 모 타이어제조 공장의 가류 작업장에 대해 현재 설치된 환기시스템에 대한 정확한 문제점을 파악하고 고열 및 오염물질 배출을 위한 효율적인 개선방안을 수립하여, 타이어 제조공장의 가류공정에 공통적으로 적용할 수 있는 개선안을 도출하는데 그 목적이 있다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 가로(60m) × 세로(64m) × 높이(9m)인 타이어 제조업체의 가류공정을 연구대상으로 선정 하였고, 작업장 내부에는 가로(3m)×세로(3m)×높이(4m)인 가류기 92대(8 line(#A~#D, #F~#J)) 설치되어 있다. 출입문은 인접공정인 검사공정(check process)으로 4개, 성형공정(molding process)으로 2개, UHP공정으로 2개, 외부 출입문 2개, 그린케이스를 가류기에 자동 공급하기 위한 컨베이어 출입구가 4개 설치되어

Table 1. Ventilation Equipments

Equipments	Dimensions
Window type ventilators	Opening (0.4m×13m×2faces×6EA)
Gravity ventilators	Gravity ventilators
Gravity ventilators	Neck size (3m×13m×8EA)
Exhaust ventilators	Opening(0.5×0.3m×92EA), Total flow (2,700CMM)
Air conditioners	Opening (∅0.5m×22EA), Total flow (2,860CMM)
Conveyor ways	Opening (2.3m×3m×4EA)
Doors (① ~ ④)	Opening (4.5m×5m×4EA)
Doors (⑦, ⑧)	Opening (3m×3m×2EA)
Doors (⑨, ⑩)	Opening (4.5m×4.5m×2EA)
Doors (⑤, ⑥)	Opening (5m×5m×2EA)

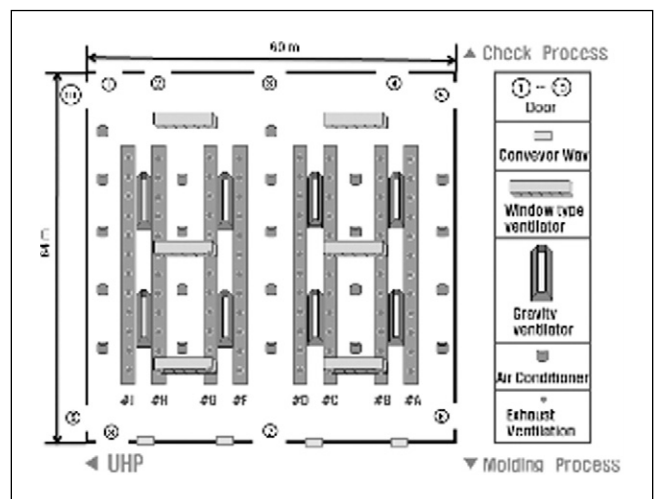


Fig. 1. Ventilator & door layout of curing workplace

있다. 작업장 상부(높이 6m)에는 오염물질 배출 및 온열환경 개선을 위한 국소배기 장치 및 공조설비가 설치 되어있으며, 천장에는 전체환기 장치(환기창, 모니터)가 설치 되어있다 (Fig. 1). 각각의 상세사양은 Table 1과 같다.

## 2. 측정 및 분석 방법

### 2.1 현장조사

#### 2.1.1 열화상 카메라

작업장 내부 온도상승의 원인인 가류기 표면온도를 측정하기 위해 열화상 카메라(FLIR, Therma cam E45, Sweden)를 사용하여 측정하였으며, 추후 컴퓨터 시뮬레이션(computational fluid dynamics, CFD) 경계조건 값으로 사용되었다.

#### 2.1.2 비접촉식 온도계

가류작업 시 발생하는 열로 인한 작업장 내부영향을 파악하기 위해 비접촉식 온도계(Raytek, R3IL MSCL2V, USA)를 사용하여 높이별 (ground level, GL) 2m, 4m, 6m 온도를 측정하였다.(총 25point) 측정된 데이터는 Surfur 8.0 program을 사용하여 온도 분포도로 표현하였으며, 추후 현재 상태를 묘사한 CFD 예측결과와 비교를 통해 검증 데이터로 사용하였다. 측정 위치는 Fig. 2와 같다.

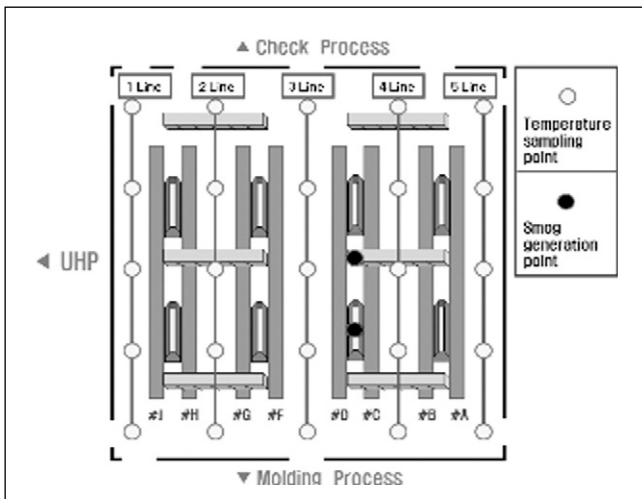


Fig. 2. Temperature sampling points and smoke generation points

#### 2.1.3 가류가시화 장치

출입문을 통해 유입되는 가류흐름이나, 지붕에 설치된 환기장치(환기창, 모니터) 주변의 가류흐름을 확인하기 위하여 연막발생기(Antari, Z-1000 II, USA)를 사용하였다. 측정 위치는 Fig. 2와 같으며, 추후 CFD예측 결과와 비교를 통해 신뢰성 확보에 사용하였다.

#### 2.1.4 열선 풍속계

작업장에 설치된 공조기, 국소배기장치 및 출입문을 통해 유출·입 되는 유량을 측정하기 위해 열선 풍속계(TSI, 8330-M-GB, USA)를 사용하였으며, 측정된 데이터는 CFD 경계조건으로 사용되었다.

### 2.2 수치 해석

#### 2.2.1 수치해석 방법

작업장 내부 열유동 및 기류특성을 해석하기 위해 상용 수치해석 프로그램인 AIRPAK(Ver 3.0.16)을 사용하였다. AIRPAK에서는 질량, 운동량, 에너지 수송은 Navier-Stokes 방정식의 해를 이용하여 구하고, 난류유동에 대해서는 별도의 난류방정식을 이용한다. 이산화 방법으로는 유한체적법(finite volume method)을 사용하였고, 유동장 해석을 위해서는 SIMPLE(semi implicit method for pressure-linked equations) 알고리즘을 사용하였다. 난류방정식은 기존연구를 통해 작업장 내부 기류예측에 있어 정확도가 입증된 표준 k-ε 모델을 사용하였다(Kulmala, 1997; 정유진, 2002)

또한, 수렴도를 향상시키기 위해 하양 이완법(under-relaxation)을 사용하였으며, 에너지를 제외한 종속변수에 대하여 잉여치 값이  $10^3$ , 에너지는  $10^6$  이하에 도달되면 수렴된 것으로 간주하였다. 사용된 격자수는 1,100,000~1,400,000개로, 개선안 적용에 따른 구조변경으로 각각의 개선안 마다 격자수가 변화하였다.

#### 2.2.2 해석 모델

수치해석을 위한 제어체적은 가로(60m)×세로(64m)×높이(20m)로 설정하였다. 일반적으로 제어체적의 크기는 유체의 유동이 심한 영역으로부터 충분한 거리(D)를 두어야 한다. 유체유동이 심한 영역의 면적을 A라 한다면 자유경계면까지는  $D=5A^{1/2}$  만큼 거리가 떨어져야 하지만(Kulmala, 1997), 본 연구대상인의 경우 주위에 인접공정(성형, 검사, UHP)이 위치하여 건물 외벽에 의한 기류변화가 없으므로 제어체적 중 높이만을 고려하였다.

풍향은 건물을 중심으로 90° 방향으로 설정하였다. 이는, 1971~2000년 동안 해당지역 관측소에서 측정된 평균 데이터

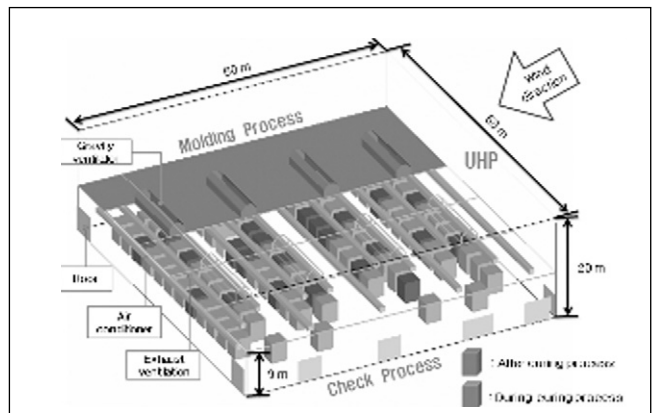


Fig. 3. Model building and control volume

를 사용한 것이다(Fig. 3).

### III. 실험결과

#### 1. 작업장 열원

측정결과 가류작업 중인 몰드표면 온도는 단열처리 된 부분에서 약 42.0℃, 단열 처리가 미흡한 부분에서 약 56.3℃, 스팀라인에서 74.0℃로 나타났다. 또한, 가류작업이 끝난 타이어의 표면온도는 약 105℃로 나타나 작업장 온도상승에 주요 원인임을 알 수 있다(Fig. 4).

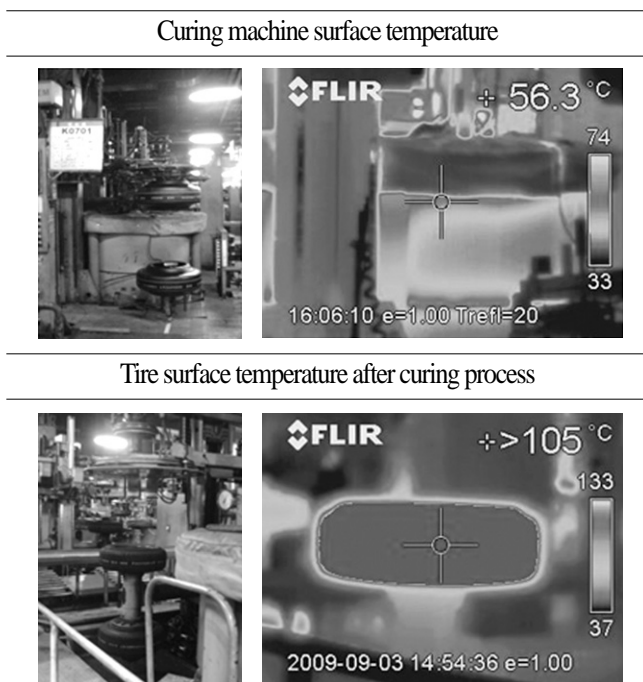


Fig. 4. Surface temperatures of heat sources

#### 2. 작업장 온열 분포

주요 열원인 가류기를 중심으로 열이 확산되는 모습을 볼 수 있으며, 상부로 갈수록 온도가 상승하는 것을 알 수 있다(Fig. 5). 이는 작업장 상부에 고온의 정체대(기온역전)가 존재한다는 증거로, 일반적으로 기온역전이 발생하면 부력을 가지고 상승하는 공기가 역전층을 만나 더 이상 상승하지 못하고 재순환하기 때문에 작업장 온열환경 및 오염물질 농도를 상승시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 작업장에 설치된 국소배기에서 배출되는 유량만큼 발생한 부족공기가 외부 출입문을 통해 유입되어 작업장 중심부로 열이 밀집되어 있는 것을 알 수 있다. 높이별 온도 측정결과는 GL=2m에서

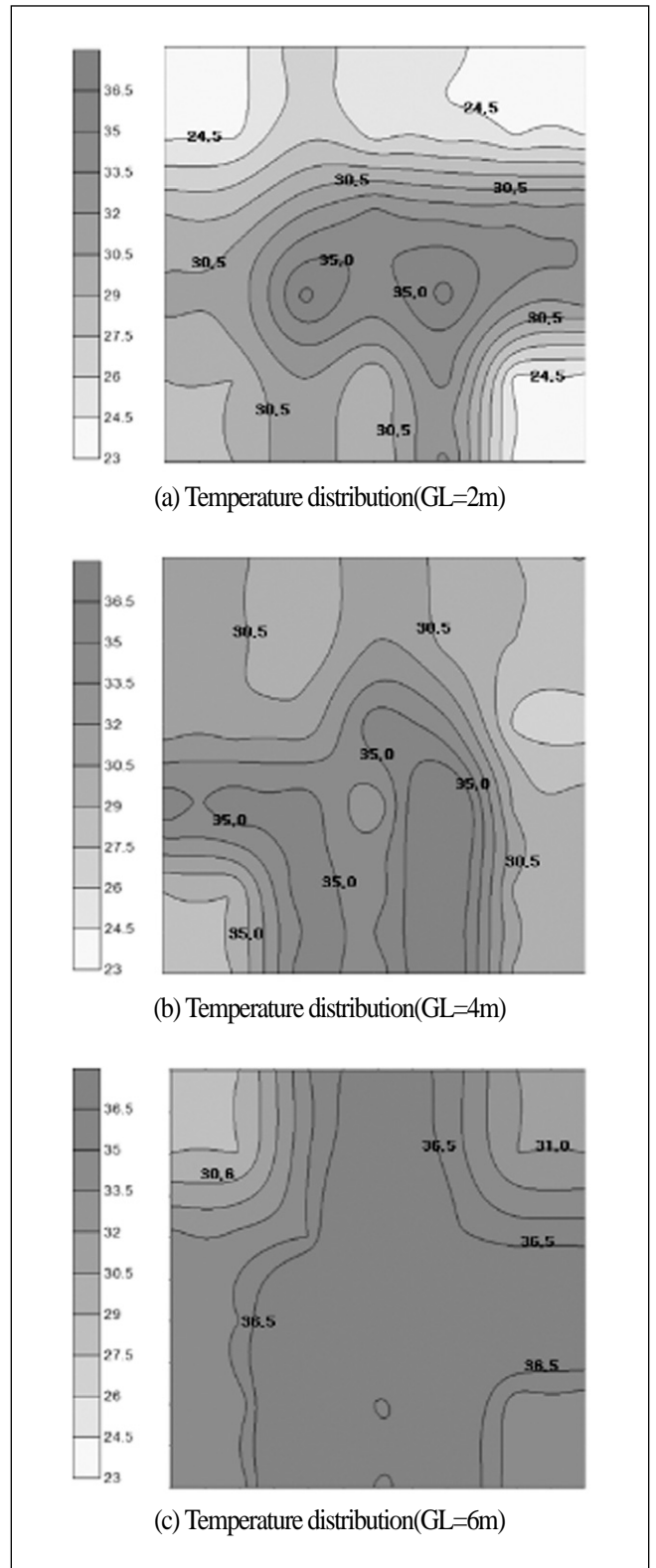


Fig. 5. Temperature distributions at different heights

평균 30.3℃, GL=4m에서 평균 32.9℃, GL=6m에서 평균 37.2℃로 나타났다(외기온도=2.0℃).

### 3. 작업장 기류유입

출입문을 통해 작업장으로 유입되는 공기량은 약 6,417CMM으로, 측정당시 설치된 공조기(2,860CMM)는 가동 중지 상태였다. 따라서, 국소배기장치(2,700CMM)를 통해 배출되는 유량 및 천장에 설치된 환기장치(환기창, 모니터)를 통해 배출되는 유량만큼 부족공기가 발생하여 개방된 출입문을 통해 유입되고 있었다.

### 4. 작업장 기류 가시화

연막발생기를 사용하여 모니터 및 환기창의 배출특성을 가시적으로 조사하였다. Fig. 6(a)는 모니터 하부에서 연막실험을 한 결과로 고온의 가류기에서 발생된 상승기류로, 연막이 작업장 상부로 상승하다 모니터를 통해 유입되는 외기로 배출되지 못하고 하강하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 작업장 내부 급배기 균형유지를 위해 외기가 모니터 개구면을 통해 유입되고 있기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 환기창 하부에서 실험한 결과, 개구면을 통한 외기유입으로 발생한 연막이 배출되지 못하고 하부로 하강하는 것으로 나타났다(Fig. 6(b)). 이러한 현상은 외기의 풍향의 변화에 따라 단회로(shot circuit)현상이 발생한 것으로, 기존 연구 결과와도 유사한 것을 알 수 있다.(하현철 et al., 2002)

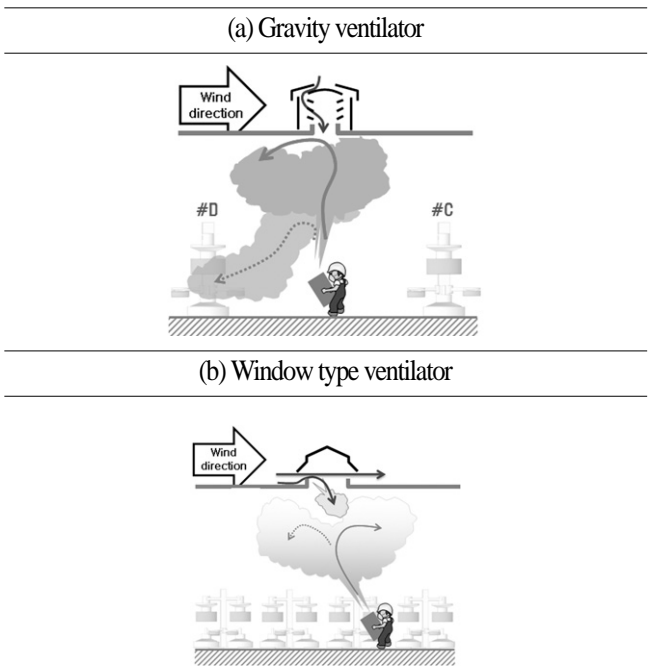


Fig. 6. Schematic diagrams of flow visualization results

## IV. 고찰

### 1. 가류 작업장 문제점 및 개선방안

#### 1.1 문제점

현장 측정결과 가류작업 중 발생하는 열로 인해 작업장 전반에 걸쳐 온열환경이 조성되어 있었다. 또한, 작업환경 개선을 위해 설치된 환기장치(환기창, 모니터, 국소배기)로 오염물질이 원활히 배출되지 못하고 상부에 역전층을 형성하여 작업장 온도상승 및 오염물질 농도를 증가시키고 있었다. 특히 지붕에 설치된 환기창의 경우 외기의 풍향에 따라 단회로 현상이 발생할 수 있으므로 환기설비로 사용하지 않고 채광창으로 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

작업장 기류흐름은 측정당시 공조기(2,860CMM)를 사용하지 않고 있어서 환기설비(환기창, 모니터, 국소배기)를 통해 배출되는 유량만큼 출입문, 모니터, 환기창을 통해 유입되고 있었다. 때문에 출입문 인접지역에 위치한 가류기에서 발생된 오염물질이 확산될 우려가 존재함으로 이에 대한 해결책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

#### 1.2 개선방안

고온 및 오염물질 확산문제를 해결하기 위해 Fig. 7과 같은 단열격벽을 설치하였다. 가류기에서 발생된 고온의 오염물질이 격벽설치로 인해 확산되지 못하고 내부에 정체되면서 천장에 설치된 모니터를 통해 배출되어 작업장 온도상승 및 오염물질 확산문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 격벽 설치높이는  $GL=2m$ 로 정하였다. 일반적으로 밀폐도가 높을수록 오염물질 확산이 저감되지만, 작업자가 유지보수를 위해 수시로 출입함으로 2m 이하 설치 시 생산성에 방해요인으로 작용할 수 있기 때문이다. 또한, 인접공정(성형, 검사, UHP)출입문을 통해 유입되는 기류로 인한 오염물질 확산을 최소화 하기위해 가류 셀(curing cell) 양 측면을 밀폐시켰으며, 외부 출입문에서 유입되는 기류를 막기 위해 이중 출입

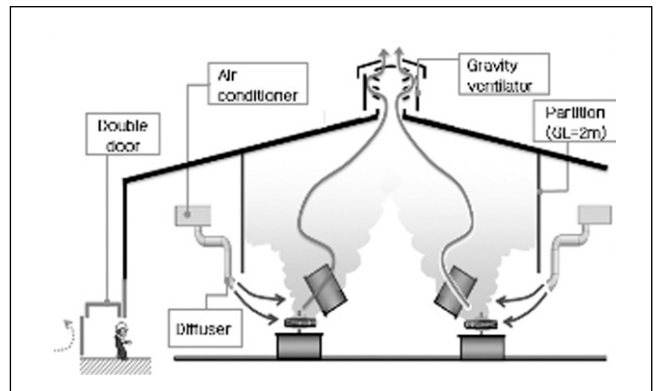


Fig. 7. Alternative solution for curing process

문(double door)을 설치하여 기류유입에 의한 오염물질 확산을 최소화하고자 하였다.

현재 작업장에 설치된 공조기 급기유량과(2,860CMM) 국소배기 배출유량(2,700CMM)은 그 차이가 근소함으로 공조기 가동 시 작업장 내부 급·배기 균형이 유지되지만, 천장에 설치된 환기장치(모니터, 환기창, 국소배기)를 통해 배출되는 유량만큼 개구면(출입문, 환기창, 모니터)으로 유입되어 배출효율 저감 및 인접영역 오염물질을 주변으로 확산시킬 수 있으므로 충분한 보충공기 확보가 반드시 필요하다. 또한, 공조기 디퓨저(diffuser) 형상을 Fig. 7과 같이 가류기 방향으로 45° 회전하도록 설계하여 셀 밖으로 확산될 수 있는 오염물질을 차폐할 수 있도록 설계하였다.

### 2. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 개선안 검증

개선안적용에 따른 온열환경 저감효과를 가시적으로 예측하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하였다. 각각의 개선안 적용에 따른 Case구분은 Table 2와 같으며, 공통으로 적용된 경계조건으로는 가류중인 몰드 표면온도(몰드, 스팀라인 평균) 58.0°C, 가류 후 타이어 표면온도 105.0°C이다. 하지만, 가류기 한대의 생산주기는 약 15분으로, 비접촉식 온도계를 사용하여 현장 데이터를 수집하는 동안(약 1시간) 연속적으로 작업이 이루어져 작업장 내 열원의 위치 및 개수가 변화하였다. 이 같은 변수를 CFD를 통해 동적으로 예측할 수 없기 때문에 현장 데이터를 기준으로 가류후 타이어 위치 및 개수를 조정하여 실측된 현재상태의 온도분포와 유사하게 하였다.(Fig. 3) 개선안 적용에 따른 온도저감 효과는 높이별 평균온도 비교를 통해 판단하였으며 측정위치는 GL=2m, GL=4m, GL=6m이다.

Case 1은 동절기 현재상태로 실측 데이터와 CFD 예측결과를 일치시키기 위해서 가류후 타이어 위치 및 개수를 조정한

경우이다. 적용된 경계조건으로는 외기온도 2.0°C, 외기풍속 2.0m/s, 인접공정 유입기류 온도 21.0°C이다. 사용된 경계조건 값은 현장실측을 통해 확보하였다.

Case 2는 하절기 작업장 내부 고열환경을 예측하기 위한 것으로 외기온도(32°C), 외기풍속(1.1m/s), 인접공정 유입기류 온도(29°C)를 적용한 경우이다. 외기온도는 1971~2000년(7~9월)동안 해당지역 관측소(기상청)에서 측정된 데이터 중 최고온도를 사용하였으며, 풍속은 7~9월 평균 데이터를 사용하였다. 인접공정 유입기류 온도는 하절기 현장방문 시 측정된 실측 데이터이다.

Case 3은 Case 2의 하절기 상태에 본 연구에서 제안한 단열격벽, 가류셀 측면 밀폐, 이중 출입문 설치의 개선안을 적용한 경우이다.

Case 4, 5, 6은 Case 3의 개선안에 신규 공조라인(급기유량 3,000, 4,000, 5,000CMM)을 추가한 경우로 공조기 설치 및 급기유량 변화에 따른 온도 저감효과를 비교분석 하였다.

### 3. 수치해석 결과

#### 3.1 동절기 현재상태 예측(Case 1)

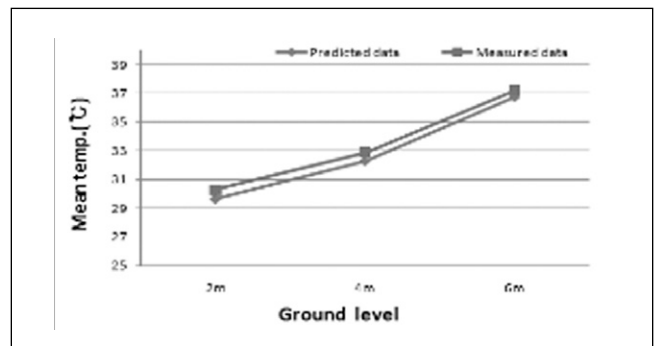


Fig. 10. Comparison of predicted and measured temperatures

Table 2. Boundary conditions for curing process improvement simulations

Cases	Outside environment		Air conditioner		Partition	Outside door	Exhaust ventilation
	Temp. (°C)	Speed (m/s)	Flow (CMM)	Temp. (°C)	Height (m)		Flow rate (CMM)
Case 1	2.0	2.0	Not Used	-	-	Open	2,640
Case 2	32.0	1.1	Not Used	-	-	Open	2,640
Case 3	32.0	1.1	Not Used	-	GL=2.0	Open	2,640
Case 4	32.0	1.1	3,000	22.0	GL=2.0	Open	2,640
Case 5	32.0	1.1	4,000	22.0	GL=2.0	Open	2,640
Case 6	32.0	1.1	5,000	22.0	GL=2.0	Open	2,640

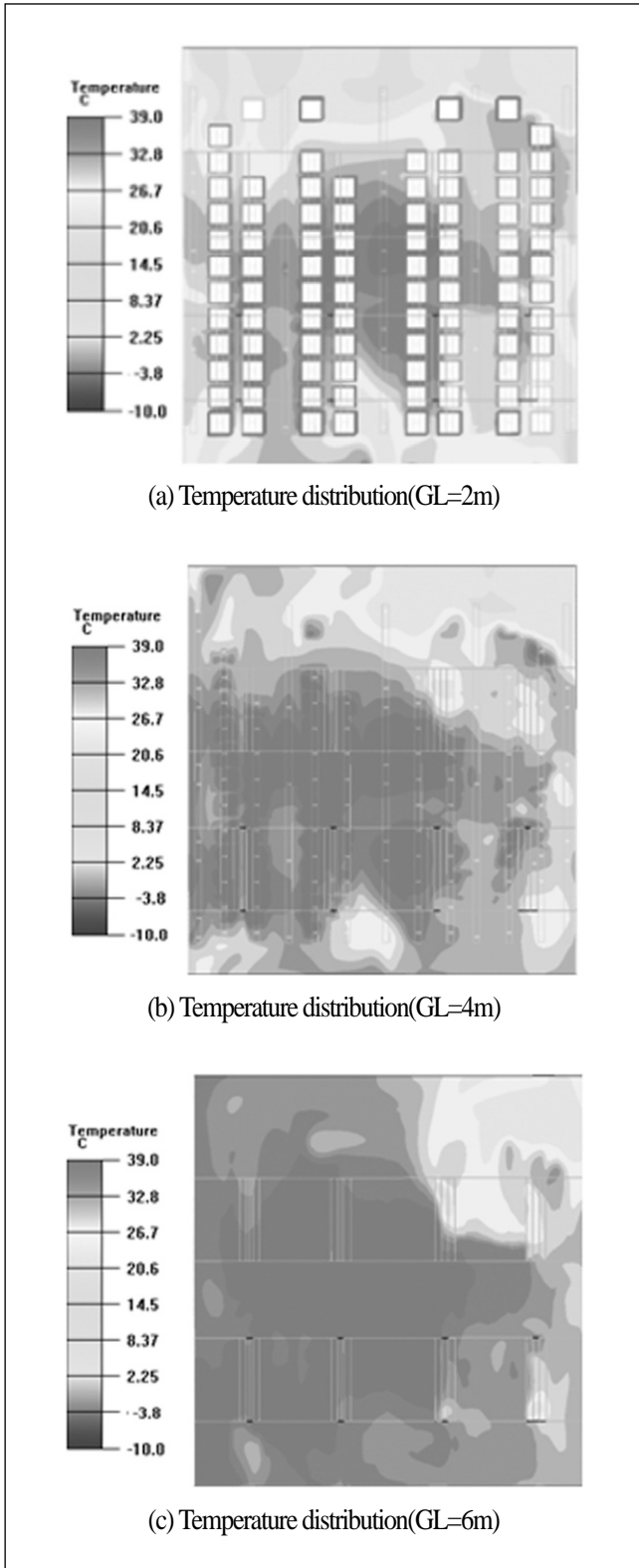


Fig. 11. Temperature distribution at different heights by CFD(Case 1)

예측결과 주요열원인 가류기를 중심으로 GL=2, 4, 6m에서 각각 평균 29.6℃, 32.3℃, 36.8℃로 현장 실측치와 유사한 것

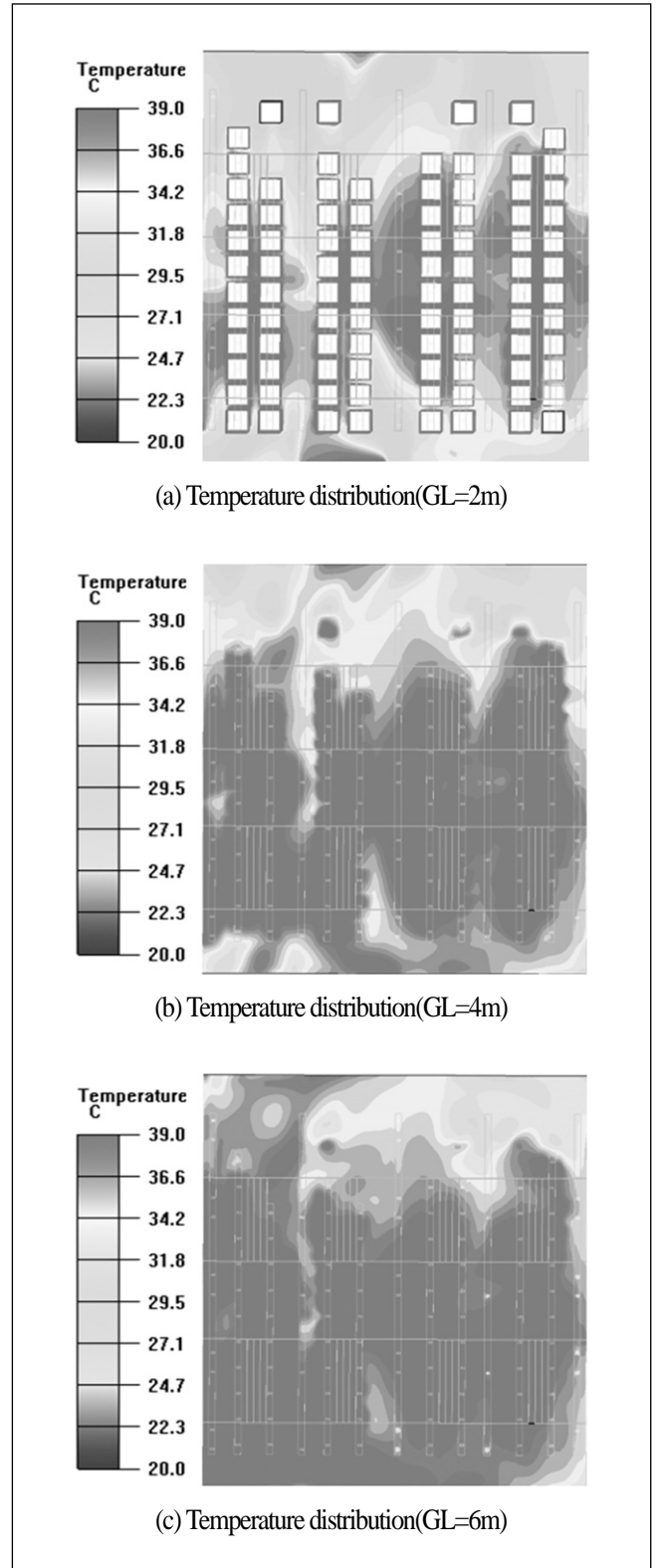


Fig. 12. Temperature distribution at different heights by CFD(Case 2)

을 알 수 있다(Fig. 10). 또한, 급·배기 균형유지를 위해 출입문을 통해 유입되는 기류로 작업장 중앙에 열이 밀집 되는

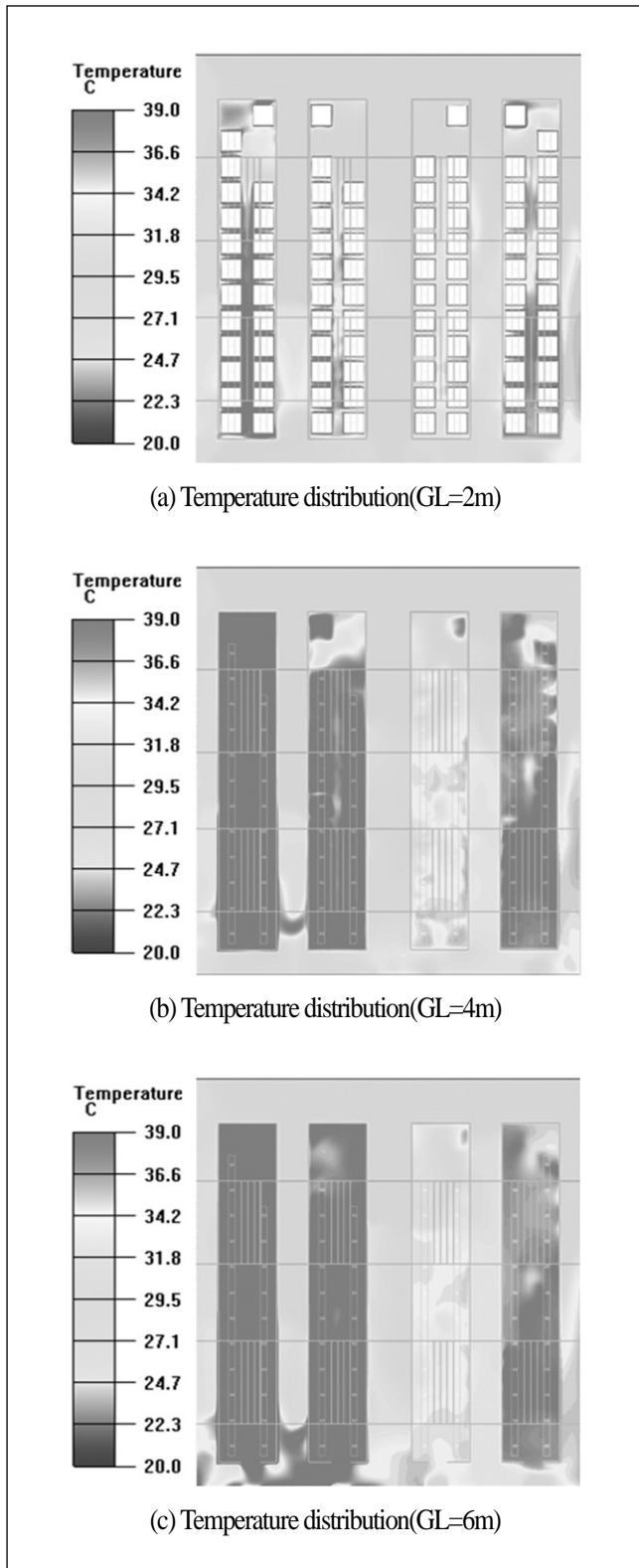


Fig. 13. Temperature distribution at different heights by CFD(Case 3)

특성 또한 유사하여 Case 1의 가류 후 타이어 위치 및 개수를 추후 적용될 개선안의 원안으로 사용 하였다.

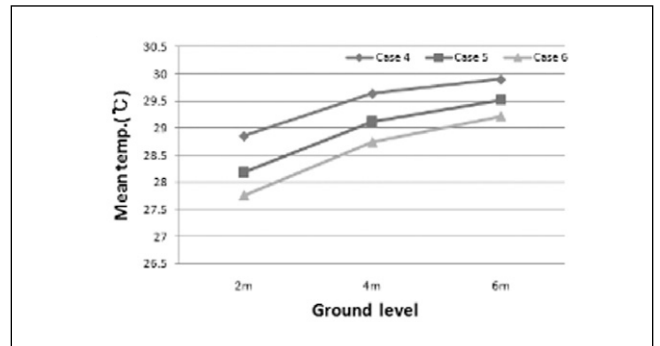


Fig. 14. Mean temperature comparison for Case 4, 5, and 6

### 3.2 하절기 상태 예측(Case 2)

Fig. 12은 Case 1의 현재 상태에 이 지역 하절기 최고온도 및 풍속을 적용한 경우로 예측한 결과 GL=2, 4, 6m에서 각각 평균 34.6°C, 36.5°C, 38.5°C로 예측되어 고열의 작업환경이 조성된 것을 알 수 있다.

### 3.3 단열격벽, 가류셀 측면밀폐, 이중출입문 설치개선안 효과예측(Case 3)

단열격벽 설치로 가류기에서 발생한 고온의 오염물질이 천장을 따라 주변으로 확산되지 못하고 환기장치(모니터, 국소배기)를 통해 배출되어 격벽 외부온도가 저감된 것을 확인할 수 있다. 하지만, 일부 격벽과 지면 사이로 고열이 확산되는 모습을 볼 수 있어 이에 대한 해결책 마련이 필요한 것을 알 수 있다. 높이별 평균온도는 GL=2, 4, 6m에서 각각 평균 31.4°C, 31.8°C, 32.1°C로 나타났으며, 이는 Case 2(하절기 상태)와 비교 시 GL=2, 4, 6m에서 각각 3.2°C, 4.8°C, 6.4°C 저감된 것으로 개선안 적용에 따른 온도 저감효과가 평균 12.9%로 나타났다(Fig 13).

### 3.4 신규 공조기 설치에 따른 개선안 효과예측(Case 4, 5, 6)

Fig. 14는 공조기 유량변화에 따른 높이별 평균온도이다. 3,000CMM이 적용된 경우 GL=2, 4, 6m에서 각각 28.9°C, 29.6°C, 29.9°C, 4,000CMM이 적용된 경우 28.2°C, 29.1°C, 29.5°C, 5,000CMM이 적용된 경우 27.8°C, 28.7°C, 29.2°C로 예측되었다. 본 연구대상의 경우 작업장 목표 관리온도를 28.0°C로 선정하고 있어 GL=2m에서 28.2°C로 예측된 4,000CMM이 적합한 것을 알 수 있다. 이 수치는 작업장 관리온도에 따라 변화할 수 있지만, 유량이 과도하게 증가하게 되면 디퓨져 토출속도가 증가하여 가류기에서 발생된 오염물질을 셀 내부로 유인시키지 못하고 와류(Vortex)를 형성시켜 지면과 격벽사이로 확산시킬 수 있으므로 유량선정에 주의가 필요하다. Fig. 15는 Case 5의 4,000CMM 공조기가 설치된 온도 분포도로 공조기 설치로 격벽과 지면사이 간격으로 오염물질 확산이 감소한 것을 확인할 수 있다.



## V. 결론

본 연구에서는 현장실측을 통한 내부 온열환경 원인 및 기존 환기장치의 문제점을 파악하여 이를 토대로 개선안을 도출하였다. 또한, 개선안 적용에 따른 작업장 온도저감 효과를 알아보기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 각각의 개선안 적용에 따른 온도저감 효과를 비교·분석하였다.

1. 작업장의 주요 열원인 가류기의 표면온도는(몰드, 스팀 라인 평균) 58.0℃, 가류후 타이어 표면온도는 105.0℃로 측정되었다. 이러한 고열원을 중심으로 GL=2, 4, 6m에서 작업장 평균온도는 30.3℃, 32.9℃, 37.2℃로 측정되어 작업장 상부에 고온의 정체대가 있음을 알 수 있다(외기온도 2.0℃).

2. 가류 가시화 실험결과 천장에 설치된 환기장치(모니터, 환기창)에서 외기가 유입되는 것이 확인되었다. 이는 작업장 내부 급·배기 균형이 유지되지 못하여 생기는 문제로, 특히 환기창의 경우 외기풍향의 변화에 따라 단회로 현상이 발생하여 공장상부로 상승하는 오염물질을 하부로 하강시킴으로 본 작업장에 적합하지 않는 환기장치임을 알 수 있다.

3. 개선안 적용에 따른 CFD 예측결과 Case 3(단열격벽, 가류셀 측면밀폐, 이중출입문 설치)의 경우 하절기 상태(Case 2)와 비교했을 때 평균 12.9%의 온도 저감효과가 예측되었다. 또한, Case 5(신규 공조기 설치, 4,000CMM)의 경우 Case 2와 비교 시 약 20.7%의 개선효과가 예측되어, 본 연구에서 제안한 최종 개선안(단열격벽, 가류셀 측면밀폐, 이중출입문 설치, 공조기 4,000CMM 설치) 적용시 작업장 온도저감 및 오염물질 확산방지를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## VI. 감사의 글

본 논문은 2010~2011년도 창원대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었는데 이에 감사를 드립니다.

## REFERENCES

하현철, 김태형. 자연환기 벤틸레이터 형태에 따른 환기효율 평가. 설비공학논문집 2002; 14:543-551  
 정유진. 자연환기 벤틸레이터 최적화 설계에 관한 기초연구. 창원대학교 석사학위 논문 2002; 2-3  
 한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 한국타이어(주) 역학조사 최종결과 발표. 2008.  
 McMichael A. J., Andjelkovic D. A., Tyroler H., A. Cancer mortality among rubber worker: an epidemiologic study. Ann

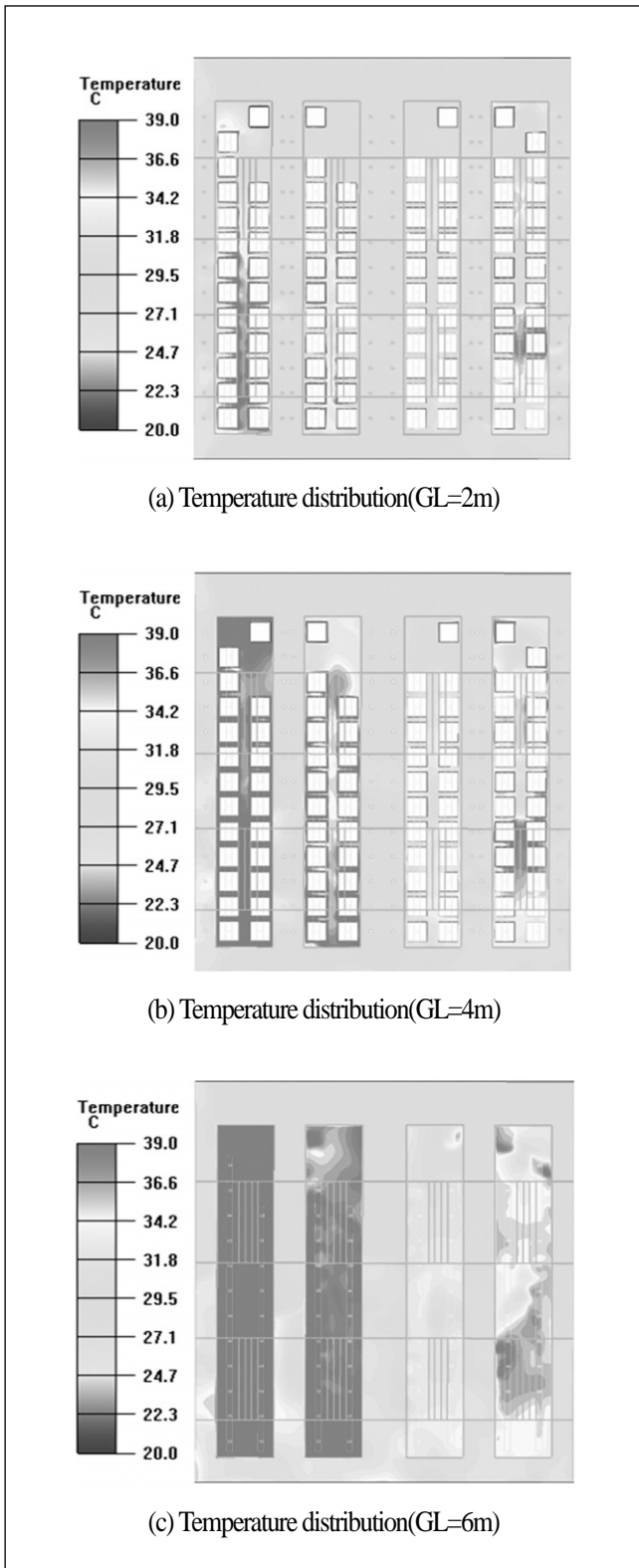


Fig. 15. Temperature distribution at different heights by CFD(Case 5)

N. Y. Acad. Sci. 1976;271:25-37  
Kogevinas M., Sala M., Boffetta P. et. Cancer risk in the rubber industry: a review off the recent epidemiological evidence. Occup. Environ Med. 1998;55(1):1-12  
Hualtieri M., Rigamonti L., Galeotti V., Camatini M., Toxicity of tire debris extracts on human lung cell line A549. Toxicol. In. Vitro. 2005;19(7):1-8

Kulmala I. Advanced design of Local Ventilation Systems. Finland: VTT Publications; 1997.p.1/1-1/17.