

논문

지하주차장 내부 일산화탄소 가스 분포의 전산 해석적 평가

김재원^{*1}, 함경아^{*2}

Numerical Evaluation of CO Gas Distribution in Underground Parking Lot

Jae Won Kim, Kyoung-A Ham

Numerical estimation for concentration of mono-carbon oxygen (CO) gas inside an underground parking lot with auxiliary jet fans for enhancement of ventilation is carried out by using a commercial program. Main interest lies on the diagnosis of the present ventilation system including position and selection of auxiliary fans in addition to main suppliers and exhausts. Details of both flows and concentration of CO gas that is most important component among car exhaust gases are illustrated in this investigation and those are presented for engineering construction of an underground parking pool. Prediction data of computational work is also validated by real measurements of concentration of CO gas.

key words : 환기(Ventilation), 지하주차장(Underground Parking Lots), 무덕트 장치(Ductless System), 일산화탄소 가스 농도분포(CO Concentration Distribution)

1. 서 론

인간의 생활환경에 대한 훼손에 더불어 보존과 정화에 대한 노력이 지속적이고 역동적이다. 최근 자동차의 급격한 증가와 더불어 지가(地價)의 상승으로 인해 근래에 건축되고 있는 대부분의 건축물들은 필요한 주차공간의 확보를 위하여 지하공간을 주차장으로 활용하고 있는 추세이다. 그러나 이에 따른 부수적인 문제점이 지적되는데 바

로 환경적인 측면에 건축되고 있는 대부분의 건축물들은 필요한 주차공간의 확보를 위하여 지하공간을 주차장으로 활용하고 있는 추세이다. 그러나 이에 따른 부수적인 문제점이 지적되는데 바로 환경적인 측면과 인간의 쾌적한 삶의 영위적인 측면이다. 이 두 가지 모두를 적정한 선에서 유지하기 위하여 건설교통부의 건축법과 주차장 법에는 지하 주차장의 시행 규칙으로 주차장 내부의 일산화탄소(CO) 농도의 상한치를 8시간 기준 50ppm 이하로 제시하고 있다 [1]. 이는 주변 국가인 일본의 50ppm, 홍콩의 100ppm과는 다소 차이가 난다.

* 2002년 4월 9일 접수

1 정희원, 선문대학교 기계공학부 교수

*2 학생회원, 선문대학교 대학원 기계공학과

지하주차장은 다른 건축물들에 비해 공간이 폐쇄적이고 자동차의 이동이 빈번하여 자동차에서 배출되는 여러 유해 가스를 적극적으로 제거해야 한다는 점이 강조된다. 자동차가 배출시키는 유해한 오염 물질 중 지하주차장에서 가장 많이 발생하고 있는 일산화탄소의 제거가 가장 중요하다. 왜냐하면, 자동차의 배기가스는 일산화탄소 이외에 Nox, SOx 등의 기타 물질도 배출되나 그 양이 일산화탄소의 양에 비해 미미하기 때문에 일산화탄소의 양을 규제하는 것은 비교적 합리적인 조치이다.

지하 주차장 내부에서 운전되는 자동차에 의해 발생되고 있는 오염물질의 제거하기 위해서는 적절한 환기(구체적으로는 오염 물질의 희석)를 필요로 한다. 환기는 지하 주차장 공간에 신선한 외기를 유입시키고, 전체 공기의 희석을 통해 이루어진다. 환기는 실내 공기의 질을 결정하는 중요한 요소이며, 이는 송풍량 및 급배기구의 위치, 주차장 내부 형상 등에 의한 유동특성에 의해 결정된다[2].

전통적인 환기 방법은 사각 또는 원형 덕트를 이용하여 외부의 신선한 공기를 강제 유입하고 내부의 오염된 공기를 강제 배출 시키는 방식이 있으나 최근 들어 시공의 간편성, 유지보수의 편리성, 운전비의 경제성 등의 장점을 가진 무덕트 환기 방식이 급격히 증가하고 있는 추세이다. 본 연구대상인 지하주차장의 환기 시스템은 앞서 서술한 무덕트 환기 방식(제트 팬 혼합 시스템)이다. 이 연구의 구체적 목표는 지하 주차장의 효율적인 환기 시스템 설계를 위한 연구로서 홍콩의 어느 지하주차장에 대하여 수행되었다.

실내 공간의 환기 성능에 관한 연구는 주로 오염농도의 분석을 통한 방식으로 진행되어왔으나 일반적으로 지하주차장은 대형 공간이고 다수의 환기 장비로 인하여 복잡한 유동이 발생하기 때문에 오염물질의 농도장을 고려한 삼차원 수치해석을 하기가 어렵다 [3]. 또한 실험적인 방법에서 있어서는 많은 시간과 그에 상응 하는 비용이 투자되어야 한다. 그러므로 이 연구에서는 수치해석적인 방법을 통하여 이에 대한 해석을 하고자 한다. 이 수치 해석의 결과는 지하 주차장 현장에서 채취한 공기의 일산화탄소 농도와 비교하여 그 수치해의 정도를 검증하였다.

지하주차장의 환기시스템에 대하여 수치 해석적으로 접근함으로써 실제 시공에 있어서 적합한 환기 시스템을 구성할 수 있는 방법을 제공할 수 있을 것이다. 또한 지하주차장에 보조 환기 장치의 유무에 따른 비교 자료도 제시하여 보조 환기 장치의 역할도 설명하였다. 지하주차장의 수치적 유동가시화를 통하여, 시간에 따른 농도의 변화를 관찰하고, 효율적인 제트 팬의 배치를 검토하여 지하주차장 신축 시 환기에 대한 기초 자료를 제공하고 설계 방안을 제시하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 해석 대상

이번 연구에서 해석 대상이 된 지하주차장은 홍콩에 위치하고 있으며 지하주차장의 형상 및 무덕트 장치의 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 주차시설은 지하 1층과 2층에 걸쳐 설치되어 있으며, 그 중 지하 1층 공간에 대해 해석을 실시하였다. 그 이유는 그 두층의 구조가 서로 유사하여 별도의 예측 없이도 한 층에 대한 결과로부터 정도 있는 환기 효율 예측이 가능하기 때문이다.

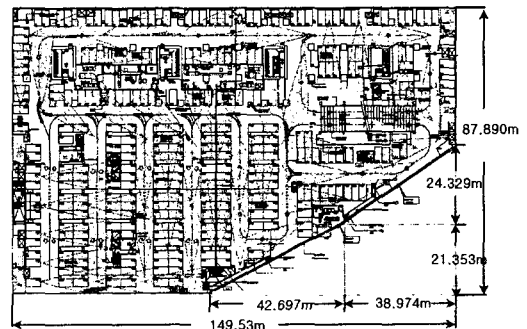


Fig. 1 Geometry of underground parking lots

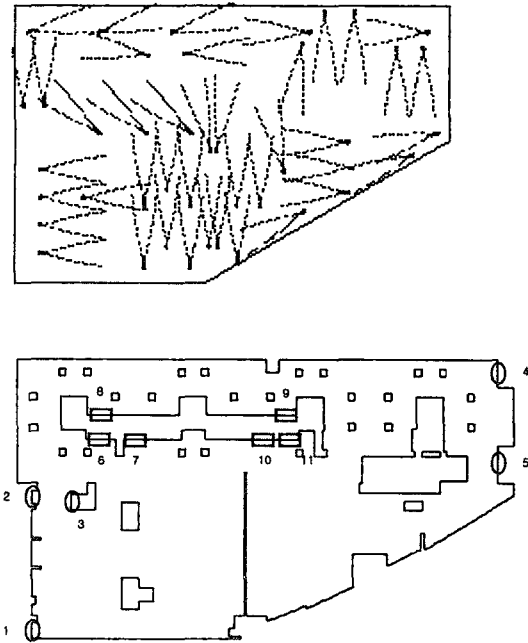


Fig. 2 Positions of jet fans (upper) and main ventilations in parking lot

지하 1층은 가로 길이 149.5m, 세로 길이 88.89m, 총면적은 11355m² 이다. 이 규모의 주차장은 동시에 220대의 주차가 가능한 용적으로 가장 주차가 많이 이루어진 경우가 오전 10시 정도로 그 당시의 주차 대수는 전체 가용 면적의 60%로 조사되어 본 연구의 계산에서 이용되었다.

지하 주차장 환기 시설은 크게 급기구와 배기구 그리고 47개의 무덕트 환기 장치로 구성되어 있다. 그 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 번호가 붙은 ○로 나타낸 부분은 급기구의 위치이고, □로 표기된 영역은 배기구의 위치를 나타내고 있으며, 설명의 용이성을 위해 각 위치에 임의로 번호를 표기하였다. 또 해당 번호에 대응되는 물리적 조건은 Table 1에 명시하였다. 또한 Figs. 1~2에 나타난 지하주차장 지하 1층의 내부에 위치하는 급·배기 시설과 보조 팬 (JVF-150)의 제원도 역시 Table 1에 표시하였다. 이 보조 팬들의 유체 역학적 성능은 미국 공조학회의 지침에 따라 만들어진 풍동을 통해 그 성능이 확인되었으며 그

Table 1. Specification of ventilation equipments

Equipment	No.	Specification
Main Supply	1	Size:3(L)*2.5(W) [m2] Air Quantity : 7 [m3/s]
	2	Size : 3(L)*2(W) [m2] Air Quantity : 7 [m3/s]
	3	Size : 3(L)*2(W) [m2] Air Quantity : 5 [m3/s]
	4	Size :3(L)*2.5(W) [m2] Air Quantity:5.6[m3/s]
	5	Size : 4(L)*2(W) [m2] Air Quantity : 11 [m3/s]
Main Exhaust	6	Size : 6(W)*2(H) [m2] Air Quantity : 8.6 [m3/s]
	7	Size : 2(W)*2(H) [m2] Air Quantity : 2.4 [m3/s]
	8	Size : 2(W)*2(H) [m2] Air Quantity : 8 [m3/s]
	9	Size : 3.5(W)*2(H) [m2] Air Quantity : 10 [m3/s]
	10	Size : 5(W)*2(H) [m2] Air Quantity : 3.5 [m3/s]
	11	Size : 2(W)*2(H) [m2] Air Quantity : 3.5 [m3/s]
JVF-150 Fan	?	Diameter : 140 [mm] Air flow rate : 950 CMH Avg. Velocity : 17.14m/s

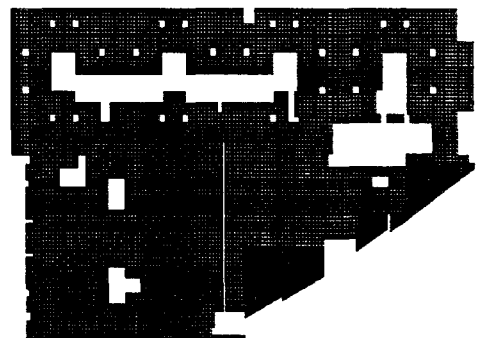


Fig. 3 Computational meshes of underground parking lot

측정 기법과 상세한 내용은 Kim [4]를 참조하였다. 그 외에도 연구 영역에서는 47개의 보조 팬과 더불어 급기구 5개, 배기구 6개를 통해 환기가 이루어진다. Fig. 2에서 작은 사각형은 주차장 구조물의 기둥으로 유동에 적지 않은 영향을 주는 것으로 확인되었다.

2.2 전산해석

자동차 배기가스로 인한 오염 물질 중에서 지하주차장 내에서 가장 많이 발생하는 물질이 일산화탄소이고, 지하주차장 환기 규정에서도 일산화탄소의 농도에 관하여 주로 규제하고 있다. 그러므로 지하주차장의 환기 특성에 관하여 고려하기 위해서는 일산화탄소 농도를 계산하는 것이 바람직하다. 비정상 상태에서의 농도 분포 해석의 일반적인 방법으로 신선한 공기의 주입에 의한 전체 농도의 관찰 방법이 사용되는데 주로 펄스(pulse) 방법, 체승(step-up) 방법, 체강(step-down) 방법이 사용된다. 각각의 주입 방법에 따라서 잔여 체류시간의 수식이나 계산 방법 등이 다르다[5,6]. 본 연구에서는 체강 방법을 택하였다. 체강 방법은 초기 실내 오염물질의 농도가 균일하게 유지되다가 환기가 시작되면서 신선한 외기가 유입됨에 따라 실내의 오염물질 농도의 감소 양상에 대하여 연구하는 방법이다. 초기에 오염물질인 일산화탄소가 지하주차장에 어느 정해진 조건에 따라 채워져 있다고 설정하고, 이때 신선한 공기가 급기부를 통하여 공급되었을 경우의 농도 분포도와 기류 해석을 통하여 적절한 보조 팬의 배치와 효율적인 위치를 선정하려고 한다. 이 때, 일산화탄소의 초기 농도를 1.0로 외기 농도는 0.0으로 무차원하여 계산을 수행하였다.

이 연구에서는 온도의 영향을 무시한 단상 유동에 대한 2차원 해석을 하였으며, 계산 수행을 위해 STAR-CD [7]라는 상용 프로그램을 사용하였다.

Fig. 3은 전산 해석을 위해 구성한 계산 격자를 나타낸 것으로 격자의 개수는 38,557개 이다. 격자 개수의 설정은 계산의 정도를 확인하면서 정하였는데, 특히 계산 결과와 주차장 내부 공기의 일산화탄소의 측정치가 유사해지는 정도를 확인

하여 격자의 수를 정하였다. 계산 부분에 있어서 유동 변수의 기울기가 큰 영역은 격자의 분포를 좀 더 조밀하게 구성하였다.

2.3 지배방정식

본 연구에서는 주차장 내부의 유체 거동이 표현되므로 유동에 관한 연속 방정식, 운동량방정식, 난류유동에너지 방정식 그리고 난류운동량 소멸 방정식이 함께 해석 되어야 한다. 난류유동 해석은 $k-\epsilon$ 난류 모델을 선택하여 계산을 수행하였다. 지배 방정식은 유한 체적법(Finite Volume Method)에 대하여 이산화되며, 해를 구하기 위하여서는 비정상상태를 해석하는 PISO(Pressure Implicit with Splitting of Operators) 알고리즘을 적용하였다.(b) Near the bottom surface

다음 식들은 이들의 지배방정식을 나타낸다. 지배 방정식은 의 좌표계에서 이차원 유속의 향으로 표현되며, 압력(p), 밀도(ρ), 농도(C)를 모두 고려한 보존식의 형태이다. 또한 수치 기법상 난류 모델에 관한 $k-\epsilon$ 방정식은 식(4)-식(8)에 소개되었다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_i} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} \quad (1)$$

위의 식(1)은 농도의 확산 정도를 지배하는 농도에 관한 비정상 확산 방정식이다. 식(2), (3)은 질량 및 운동량 보존 방정식이다.

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t}(\sqrt{g}\rho) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \tilde{u}_i) = S_m \quad (2)$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t}(\sqrt{g}\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} S_i \quad (3)$$

식(4)는 $k-\epsilon$ 난류 방정식을 나타내고 식(5), (6), (7), (8)은 그 난류 방정식과 관련된 식을 식(9)는 난류 소산식(dissipation equation)을 표시한다.

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho \bar{u}_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = \mu_t (P + P_B) - \rho \epsilon - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + P_{NL} \quad (4)$$

여기서,

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (5)$$

$$P \equiv 2 S_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

$$P_B \equiv - \frac{g_i}{\sigma_{k,t}} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (7)$$

$$P_{NL} = \left(- \overline{u_i u_j} - 2 S_{ij} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (8)$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho \bar{u}_j \epsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \left[\mu_{eff} (P + C_{\epsilon 3} P_B) - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + P k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 4} \rho \epsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_{NL} \quad (9)$$

위의 방정식에서 $\sigma_k, \sigma_\epsilon, C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}, C_{\epsilon 3}, C_{\epsilon 4}$ 는 실험에 의한 상수이고, 그 수치는 Table 2에 상세히 나타나 있다.

2.4 경계조건

Table 2. Coefficients of standard k-ε turbulence model coefficients

C_μ	σ_k	σ_ϵ	σ_h	σ_m	
0.09	1.0	1.22	0.9	0.9	
$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	$C_{\epsilon 3}$	$C_{\epsilon 4}$	k	E
1.44	1.92	0.0 1.0*	0.33	0.42	9.0**

여기서, * 는 $P_B > 0, C_{\epsilon 3} = 1.0$ 인 경우이고, ** 는 smooth wall에 대한 조건이다.

주어진 실제 지하주차장의 자료를 바탕으로 경계조건 부여하였다. 급기구와 배기구에는 모두 속도 경계 조건을 주었고, 지하주차장에서 사람이 외부로 출입할 수 있는 출입구와 자동차가 출입

하는 출입구에는 모두 대기압 조건으로 인가하였다. 그 외에 지하주차장 내부 안의 사무실로 들어가는 출입구, 급기 배기 시설로 들어가는 출·입구는 거의 닫혀 있으므로 벽으로 간주하고 벽 조건으로 나타내었으며, 지하 주차장의 높이 방향으로는 3차원 해석의 어려움을 피하고 근사적인 해를 신속히 얻기 위해 중간 높이에서의 유동만을 해석하였다.

Table 3. Specification of ventilation equipments

Equipment	Boundary Condition	Specification
Supply	inlet	$u = 0.9333$ [m/s]
	inlet	$u = 0.8750$ [m/s]
	inlet	$u = -0.8333$ [m/s]
	inlet	$u = -0.7466$ [m/s]
Exhaust	inlet	$u = -1.3750$ [m/s]
	inlet	$v = 0.7166$ [m/s]
	inlet	$v = 0.6000$ [m/s]
	inlet	$v = -1.0666$ [m/s]
	inlet	$v = -1.4286$ [m/s]
	inlet	$v = 0.3500$ [m/s]
Exit	Pressure	atmospheric pressure

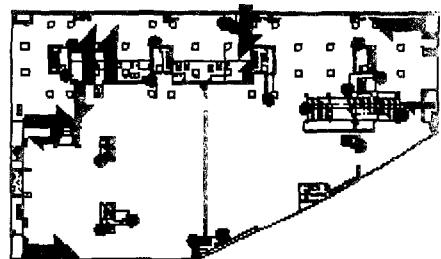


Fig. 4 Boundary conditions for inlet (black arrow) and atmospheric pressure at gates (solid circles)

전산해석을 위한 경계조건은 Table 3에 각각 나타내었듯이 주 급배기구의 위치와 보조 팬의 위치에 균일 유속을 인가하였으며 그 크기(Table 3에서의 값)는 주차장 제작 업체의 자료를 따랐

다. 그 각각의 위치는 Fig. 4에 화살표로 나타내었다. 화살표가 향하고 있는 방향은 속도 방향이고 화살표의 크기는 상대적인 크기를 나타내고 있다. 건축물의 구조상 통로에 해당되는 부분은 Fig. 4에서 검정 색 원으로 표시하였고 그 위치에는 대기압 조건을 부과하여 계산을 진행하였다. 보조 제트 팬의 영향을 고려하기 위해 계산 영역의 처리는 상용 프로그램에서 제공하는 사용자 서브루틴을 이용하였다. 구체적으로 제트 팬의 성능을 풍동을 활용하여 측정된 후 그 유량에 따른 평균 유속(17.14m/s)을 팬을 지정하는 격자의 면에 인가하여 팬의 효과를 유동장에 반영하였다.

3. 결과 및 고찰

전산 해석을 통해 지하 주차장 내부의 공기의 오염 정도를 예측하는 작업은 비정상 해석을 수행하여 공간상의 여러 위치에서의 농도를 시간에 따라 확인하여야 한다. 시간에 따른 농도 분포와 기류 분포를 획득하기 위해 반복계산을 수행하였으며, 그 각각의 경우에서 종속 변수들의 수렴 정도를 점검하기 위하여 잔류 오차 (residual error)의 값이 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴한 것으로 간주하였다. 이 기준은 후에 측정된 일산화탄소의 농도 추이와 비교하여 적정한 것으로 판명되었다.

시간에 따른 유동장의 상태 변화를 관찰하기 위하여 농도의 변화가 큰 초기 시간에서는 계산의 시간 간격(Δt)을 0.001로 하였고 농도의 변화가 크지 않은 준 정상 상태 이후에서는 계산의 시간 간격을 0.01로 하여 계산을 수행하였다.

수치 해석의 해에 대한 정도를 검증하였다. 이를 위해, 본 계산에 앞서 유동 영역 내부에서 일산화탄소의 농도를 시간에 따라 측정하여 그 값을 수치 해석의 결과와 비교하였다. 계산과 측정의 조건은 모두 동일한 경과 시간에 그리고 측정에서의 3차원 효과를 2차원 수치 계산과의 비교를 위해 계산시 기준 높이인 중간 높이의 위치에서 이루어졌다. 측정 장비는 미국 GrayWolf사의 IQ410장비 (50ppm 이하의 정도는 ± 2 ppm, 50ppm 이상의 정도는 $\pm 3\%$)를 활용하여 이루어졌고, 전산해석의 결과와 Fig. 5를 통해 비교되었다. 이 비교 모습을 살펴보면 전산 해석의 경우가

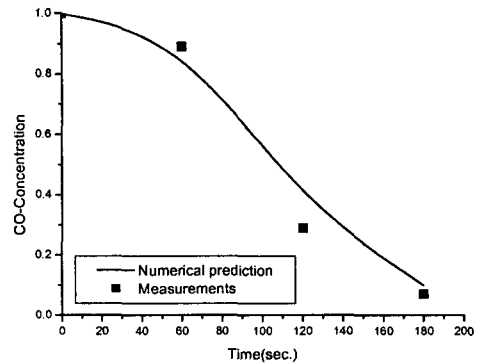


Fig. 5 Comparison of transient concentration of CO between numerical prediction and measurements at given position

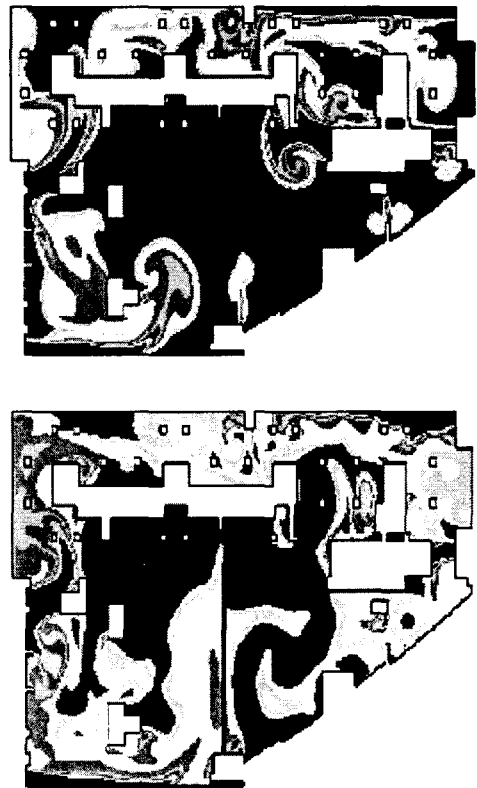


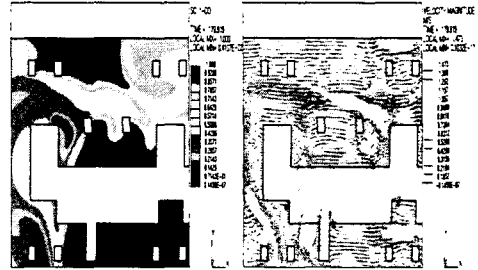
Fig. 6 Contours of CO gas concentration using only main suppliers (upper) and main fans with auxiliary fans (lower) for enhanced ventilation

실제 측정에 비해 다소 과다하게 예측되었음을 알 수 있는 데, 이는 전산 해석의 경우 유동장을 2차원으로 고려하였기에 유동의 확산이 이루어지는 체적 공간이 실제보다 제한적이기 때문이다. 또한, 시간이 아주 큰 180초 (WHO 규정의 인체 유해 관련 시간)이상의 순간에서는 그 두 가지 경우의 차이가 감소함을 알 수 있는 데, 이는 그만큼 유동장의 확산 공간이 두 자료의 차이에 영향을 주고 있음을 부연하는 셈이다.

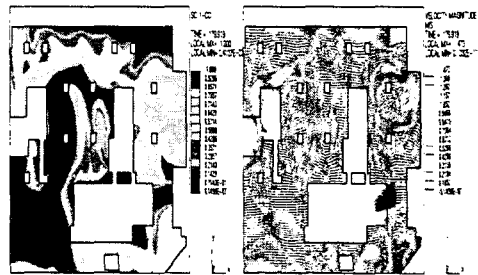
본 연구의 주된 목적 중의 하나는 환기용 보조 팬의 효과를 평가하는 것이므로 동일한 시간 경과 동안 일산화탄소 가스의 농도 분포를 보조 팬의 유무에 따라 비교하였다. Fig. 6은 그 비교를 위한 농도 분포의 모습을 나타내고 있다. 두 농도 분포의 조건은 모두가 같은 시간 ($t=180\text{sec.}$)에서 보조 팬이 없는 경우(Fig. 6의 위 경우)와 있는 경우를 비교한 것이다. 일산화탄소 농도의 표시는 짙을수록 큰 값을 표시한다. 그 두 경우의 비교에서 보조 팬의 작용이 오염 물질의 회석과 환기에 유용함을 알 수 있다.

수치 해석된 일산화탄소 농도분포와 기류해석 결과를 Figs. 7~9에 나타내었다. 일산화탄소 농도 분포도는 무차원화 하여 나타낸 것으로 농도가 0.0에서 1.0 (짙은 색 표시 영역)까지 변하며, 그 농도 값이 1.0에 가깝게 나타나는 영역은 신선한 외기 도입량의 부족과 기류의 정체 현상으로 인한 회석 효율이 떨어지는 영역이다. 여기서 오염물질의 거동은 완전확산에 근거하여 계산된다. 그러나 실제 오염물의 농도 분포는 오염 물질의 기류에 의해 전송되는 것에 의해 생기게 되며, 오염물질의 공간적 편재에 의해 불균등하게 확산되므로 지하주차장 환기 시스템의 전산해석에 있어서 일산화탄소의 농도분포도와 더불어 기류해석 결과도 같이 검토 되어야한다 [8].

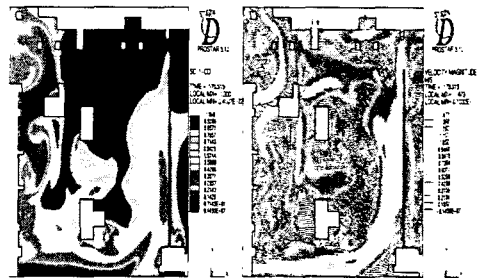
Fig. 7은 지하주차장 내부에서 농도 감소율이 현저히 낮은 영역 (지하 주차장의 공간에서 구석 영역)들을 농도 분포와 기류의 속도 벡터의 형상들과 함께 배치하여 기류에 의한 농도의 변화를 비교하기 쉽게 나타내었다. 이 영역에서는 급기와 배기가 원만히 이루어지지 않아 적절한 환기가 다른 지역에서와 같이 효율적으로 이루어지고 있지 않고 있다. 이들 영역의 특징은 지하주차장 내부 건물이나



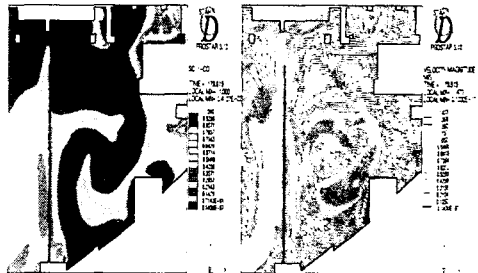
(a) left upper



(b) right upper

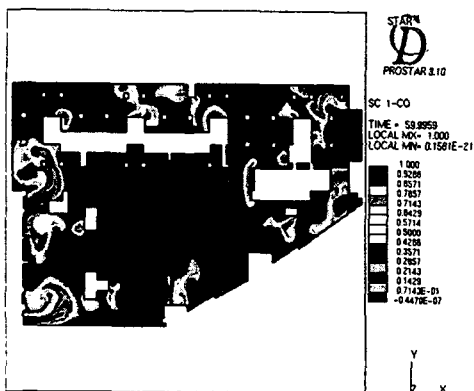


(c) left lower

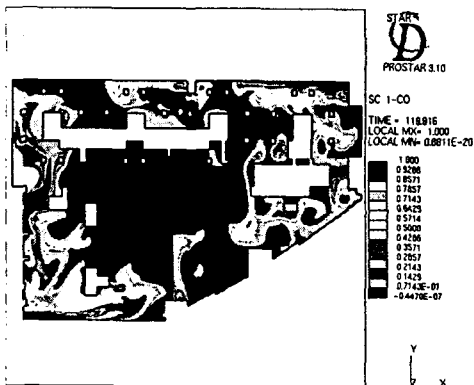


(d) right lower

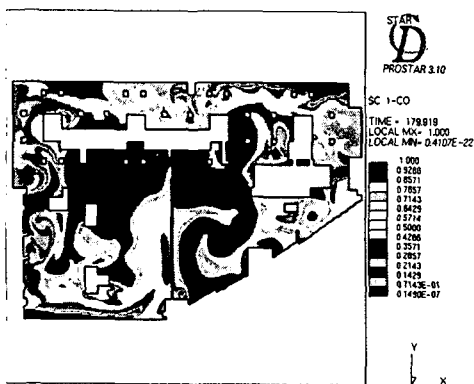
Fig. 7 Details of flow velocities and CO concentration contours at corners



(a) time=60sec

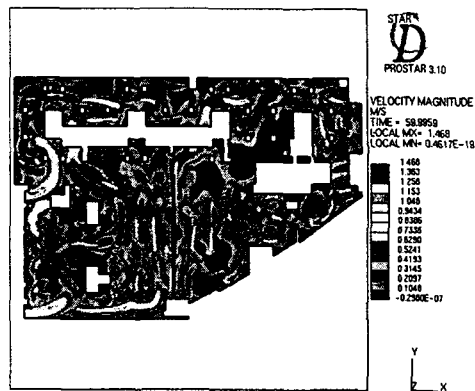


(b) time=120sec

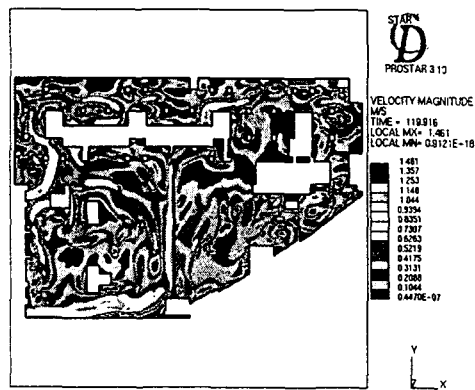


(c) time=180sec

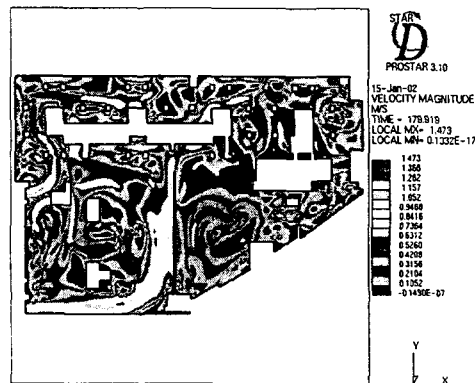
Fig. 8 Plots of iso-concentration lines of CO gas at different time



(a) time=60sec



(b) time=120sec



(c) time=180sec

Fig. 9 Contours of iso-flow speed of air at different time

기동들에 의한 복잡한 형상 때문에 와류가 여러 영역에서 발생되고 있다는 것인데, 이는 유동 정체 구역(air pocket)의 원인이 되어서 농도 확산의 시간이 더디게 걸리는 것으로 결론된다.

유동의 확산이 느린 다른 이유로는 주 급기부들의 설치가 부적절한 위치임을 보여주는 부분도 나타나고 있는데, Fig. 7(a), (b)의 급기구는 그 출구의 방향이 주차장 내부 건물로 향하게 되어 있어 급기속도를 떨어뜨리는 요인이 되고 있으며, (c)의 경우에는 급기구에서 나오는 신선한 외기는 가장 많은 유량이 나오는 급기구임에도 불구하고 대부분의 유량이 자동차 출입구로 빠져나가고 있어서 지하주차장 왼쪽 하부 영역의 농도 분포 감소가 현저히 낮은 것으로 판단된다. 이 영역은 대부분이 출입구에서 들어오는 외기에 의해 오염이 희석되고 있는데 이는 출입구를 통하여 들어오는 외기가 신선하다는 가정을 하여 전산해석을 수행한 것이기 때문이다. 그러나 만일 출입구를 통해 들어오는 주변 외기의 오염 정도가 심하면 해당 영역의 유동장은 오염 준위를 더 악화시킬 수 있는 문제점을 가지고 있다. 그러므로 이 부분의 급기 시설의 재위치 선정에 검토하거나 5번 급기구 (Fig. 2 참조)에서 나오는 신선한 외기를 유동장 내부로 방향을 바꾸어 줄 보조 팬의 설치가 고려되어야 한다.

Figs. 8~9는 시간에 따른 지하주차장 내부 유동장의 모습이다. 환기 장치가 작동된 이후의 시간 간격이 작은 초기에는 오염물질인 일산화탄소가 효과적으로 제거되지 못하고 있음이 나타난다. 시간이 180sec가 될 때까지 일산화탄소 농도가 0.5에도 미치지 못하는 영역이 눈에 띄게 존재하는데 이는 지하주차장의 면적에 비해 급기 덕트의 송풍량이나 배기 덕트의 배기량이 매우 미비하여 지하주차장의 대부분의 영역에서 기류 속도가 0.1m/s 내지 0.3m/s의 크기를 갖기 때문인 것으로 분석된다. 무덕트 환기 시스템 설비의 지하주차장의 설계 기준에 따르면, 지하주차장 내의 잔류풍속이 0.5m/sec가 지점에 다른 하나의 보조 팬 장치를 설치하여 급기구로부터 이송된 실내 공기를 연속적으로 수송할 수 있도록 하여야 하는데[8,9,10] 지하주차장 내부의 유동장은 180sec가 될 때까지도 대부분의 위치에서 그 기류의 속

도가 0.5m/s에 미치지 못하는 0.1m/s 내지 0.3m/s의 기류풍속이 나타나고 있으므로, 보조 팬의 증설이 필요하거나 급배기 시스템의 유량을 충분히 늘려 주어야 할 것으로 판단된다.

무 덕트 (ductless) 환기 시스템에서 보조 공기 이송 장치의 역할은 매우 중요하다. 실제로 보조 환기 장치는 주 급기구에서 나온 유동의 흐름을 유인하여, 지하주차장 내부로 원활하게 순환을 시킨 다음 배기구를 통하여 빠져나가는 흐름을 도와주는 역할을 하는데 보조 팬의 위치 선정이 잘못 되어져 있거나 부족한 영역이 나타나고 있다. 왼쪽 중앙부에 설치되어 있는 보조 팬은 설치 위치 및 각도가 부적절하여 시간이 흐름에 따라 오염물질이 배기구로 배출되는 것이 아닌 지하주차장 내부로 역행 하고 있어서 신선 외기가 미치지 못하는 재순환의 유동 경향이 나타나고 있고, 오른쪽 중앙 영역에는 보조 팬의 부족 현상으로 인하여 농도 희석 효과가 두드러지게 저감되는 경향이 나타나고 있다.

전체적인 경향을 살펴보면, 오른쪽 상단부를 제외하면 오염 농도 감소율이 현저히 낮다. 왼쪽 하단부는 전체 급기구 5개 중 3개가 위치하고 있고 Fan의 설치 또한 19대 입에도 불구하고 농도 저감이 안 되고 있는 공간이 명확히 드러난다. 1번 급기 (Fig. 2 참조)에서 나온 급기는 대부분이 위로 향하거나 가까이 있는 배기구로 빠져나가고 있고, 앞에서 언급한대로 3번의 급기구 위치 또한 유동장 내부를 향하고 있는 것이 아닌 지하주차장 내부건물을 향하게 하여 급기속도를 떨어뜨리는 요인이 되고 있다. 오른쪽 하단부 영역은 시간이 지날수록 유동 정체 구역이 크게 나타나고 있는데, 그 영역에 존재하는 배기구의 배기량들이 아래 영역에 비해 현저히 낮으며 이 영역이 유동 이송 경로상에 발생하여 유동의 흐름을 원활히 이어주지 못한 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 지하주차장의 무 덕트 환기 시스템의 설비를 사용하는 실제 주차장의 유동장을 비정상 상태의 수치해석적 방법을 수행하여 문제점을 제시하고 이를 개선하기 위한 방안을 모색

하기 위하여 시행되었다. 구체적으로 지하주차장 내의 건물이나 기둥에 의한 와류가 나타나는 것이 확인되어 공간의 구조 형상이 지하주차장 환기에 미치는 영향이 많음을 확인하였다. 구체적으로는 보조 팬의 작동 시간이 경과될수록 유동 정체 구역(air pocket)이 점점 확대되는 경향이 나타나고 있다. 이는 환기 시스템의 전반적이 유량 부족과 보조 팬의 위치가 부적절한 장소나 부족한 영역인 것으로 분석된다. 또한 급기부의 부적절한 위치 및 급?배기의 유량의 부족 현상으로 지하주차장 내의 환기가 원활하게 이루어지지 않음을 확인 할 수 있었다. 구체적으로는 주급기 팬이나 보조 팬이 서로 마주 보고 있어 그 효과를 제한하며 또 어떤 경우에는 벽이나 구조물을 향하고 있어 반사 유동이나 와류를 유발시키고 있다. 이와 같은 결론으로 유동장의 정보와 급?배기 설비의 선택, 적절한 보조 팬의 선택 및 효율적인 배치에 관한 유용한 정보를 제공할 수 있리라 판단되며 정확한 자료의 확보를 위해 실제 조건에 근접한 3차원의 유동 해석이 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 선문대학교 공조기술연구센터와 홍콩 Anway사의 도움으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 김용훈, "지하주차장 적정 환기량 산정에 관한 연구," 석사 학위 논문, 중앙대학교, 서울 (1993)
- [2] 이건, "지하주차장의 환기설비에 관한 연구," 대한건축학회지, 21 (1997), p.50
- [3] 이우원, 한화택, "배기구 위치 및 풍량 변화에 따른 실내 환기 효율의 측정실험," 공기조화 냉동공학회지 하계 학술 발표회 논문집,(1999), p. 372
- [4] Kim, J. W., "Vortex Flows from Centrifugal Fan," Proceedings of 11th international symposium on applications of Laser techniques to fluid mechanics, (2002)
- [5] 한화택, "난류유동해석을 통한 환기효율의 수치해석적 연구," 공기조화 냉동공학 논문집, 4 (1992), p. 253
- [6] 박형, 이재효, 오천명, "무 덕트방식에 의한 지하주차장 환기에 대한 수치 해석적 연구," 공기조화 냉동 공학회 하계학술 발표회 논문집, (1999) p.365
- [7] CD-adapco, STAR-CD User Guide Manual, (2000), CD-adapco Korea,
- [8] 이정재, 실내공기오염 및 환기대책, 공기조화 냉동공학회 (1995)
- [9] 이성환, "지하 주차장 환기 설비," 공기조화 냉동공학회지 27(1998), p.273
- [10] Chan, L Y, Chan, C Y, Qin, Y., "Effect of commuting micro-environment on commuter exposures to vehicular emission in Hong Kong," Atmospheric Environment, 33 (1999), p.1777