

## CFD를 이용한 신축건물 내 지하주차장의 환기설계

김진호,<sup>\*1</sup> 양승용,<sup>2</sup> 이건태<sup>3</sup>

## VENTILATION DESIGN OF UNDERGROUND PARKING AREA IN A NEW BUILDING USING CFD

J.-H. Kim,<sup>\*1</sup> S. Y. Yang<sup>2</sup> and G.-T. Lee<sup>3</sup>

*With the recent increasing demand on the high-performance buildings, there has been a rapid growth in the application of the Computational Fluid Dynamics to the Building design. The conceptual ventilation design of the underground parking area currently under construction is validated using the CFD-ACE+. It has been found that the conceptual ventilation design quantitatively satisfies the legal standards. However, the highly concentrated region of CO is predicted. The positions and blowing directions of ventilating fans are changed based on the previously predicted concentration distributions. The highly concentrated region of CO is slightly reduced, but not much change has been observed. Two more fans are installed and the positions and blowing directions of the fans are modified so that the highly concentrated region of CO is minimized.*

**Key Words** : 환기(Ventilation), 전산유체역학(CFD), 팬(FAN), CO농도(CO concentration)

## 1. 서 론

국내의 건축법에서는 주차장 시행규칙 6조 1항에 “주차장 내부의 일산화탄소(CO)농도는 주차장을 이용하는 차량이 가장 빈번한 시각의 전후 8시간 평균치가 50 ppm이하로 유지되어야 한다.”고 지하주차장의 환경기준을 제시하고 있으나, 최근 실내 공기질에 관한 사회적인 관심이 고조되면서 실제 설계에서는 좀더 낮은 수준으로 설계하고 있다. 또한 최고의 성능을 갖는 건축물에 대한 사회적인 요구가 증대되면서 건축물의 설비설계에 CFD의 활용이 증가추세에 있다.

건축물의 설계는 개념설계, 실시설계 및 세부설계 등으로 나눌 수 있으며, 세부설계시 공조설비의 설계는 존(zone)별 설계개념을 주로 사용하고 있다. 특히 지하주차장 환기에서는 희석환기 개념을 도입한 공간환기(space ventilation)방법이 이용된다. 즉, 배출된 오염가스를 신선공기와 혼합하여 오염물질의 농도가 높지 않도록 희석시킨후 배출시키는 것이다. 이러한 공간환기 방법은 지하주차장 전체영역의 평균 CO 농도

(또는 출구단 CO 농도)를 설계기준으로 삼고 있어서, 주차장 내부의 국부적인 CO 농도의 과다는 예측할 수 없다. 즉, 주차장 내부의 평균적인 CO 농도를 설계기준치 이하로 만들 수 있지만, 주차장 내의 국부적인 지점에서의 CO 농도를 조절할 수 없는 단점이 있다. 이전의 연구를 살펴보면, 주거공간내의 환기[1-5]에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 지하주차장의 경우 국내논문은 찾아보기 힘들다. 김경환 등[6]은 여러 가지 분배계통 설계방식에 따라 공기교환효율을 비교하고 효율적인 분배계통의 환기시스템으로 이송혼합개념으로 배치한 제트팬 환기시스템을 제시하고 있다.

본 논문은 신축중인 OO건물 내의 지하 주차장에서 zone별 설계를 바탕으로 세부 설계를 위한 대안을 주는 것을 목적으로 한다. 주차장 영역에서는 zone별 설계의 적정성을 판단하고, 속도장 및 CO 농도장을 예측하여 국부적으로 기준치보다 높은 CO 농도가 영역이 존재할 경우, FAN의 위치 및 방향을 변경하여 국부적으로 CO 농도가 높은 영역을 최소화하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 이론적 배경

## 2.1 지배방정식

신축중인 OO건물에서 지하 주차장내의 열 유동 해석을 위

1 비회원, (주)경원테크, 마케팅팀

2 학생회원, 국민대학교 기계공학과

3 비회원, (주)삼성물산 건설부문

\* Corresponding author, E-mail: steeve@kw-tech.co.kr

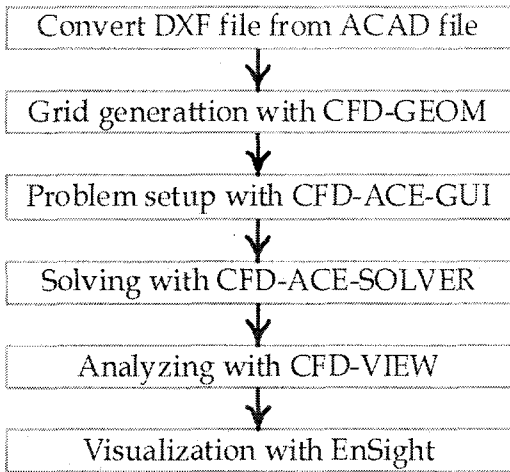


Fig. 1 Procedure of analysis

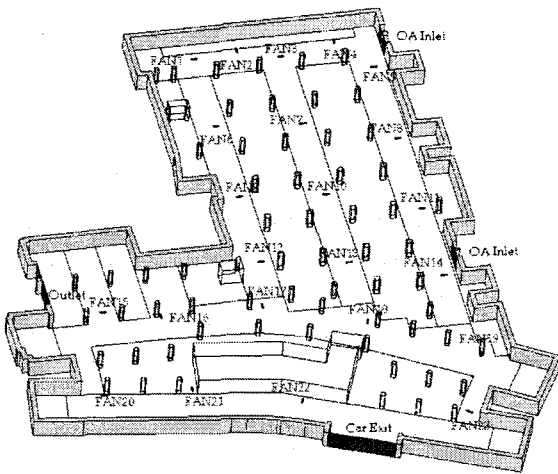


Fig. 2 Schematic of parking area

해 상용 CFD 해석 software인 CFD-ACE+를 사용하였으며, 계산에 사용된 세부 module[7]은 일반적으로 사용하는 것으로서 유동, 난류, 열 및 일반 스칼라(농도)이다.

주차장 내부 유동장을 해석하기 위해 Navier-Stokes 방정식과 RANS 방정식을 사용하였으며, 이때 난류모델로는 표준 k-ε 모델을 사용하였다. 온도차에 의해 발생하는 유동은 Boussinesq 가정을 사용하였으며, 이 가정은 온도차에 의해 발생하는 밀도차이와 일반적인 밀도를 다른 밀도라고 가정하여, 온도차에 의해 발생하는 밀도차이만이 유동장에 영향을 주고, 일반적인 밀도는 일정하다고 가정하는 방법이다. 이 방법은 온도차이가 크지 않는 영역에서는 가정이 타당하지만, 온도차가 큰 범위에서는 본 가정을 한계를 갖는다. 본 연구에서는 온도차이가 크지 않기 때문에 Boussinesq 가정이 타당하고, 이

에 따라 Boussinesq 가정을 사용하여, 온도 차이에 의해 발생하는 유동장을 예측하였다. 이때, 주차장 내부와 주차장 외벽 간의 열전달을 고려하기 위해 conjugate heat transfer를 계산하였다. 또한 CO 농도장을 예측하기 위하여 CO발생 및 확산을 계산하였다. 계산에 사용된 모든 지배방정식은 연속방정식, 모멘텀보존방정식, 난류에너지방정식, 난류에너지소산율방정식, 에너지방정식 및 농도방정식이며, 일반적으로 사용되는 방정식이기 때문에 식은 생략하였다.

### 2.2 해석방법

본 해석은 범용 열유체 해석코드인 CFD-ACE+를 사용하여 수행하였으며, 그 절차는 Fig. 1과 같다. 우선 설계사무소로부터 2차원 ACAD 파일을 DXF 포맷으로 전환한 다음, 전처리기에서 격자를 형성한다. 해석은 CFD-ACE+를 이용하고, 결과 파일은 후처리기를 이용하여 정리하였다.

### 2.3 물성치 및 경계조건

주차장 영역의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 총 격자의 수는 대략 430만개이며, 12개의 컴퓨터를 병렬로 연결하여 해석하였으며, 해석시간은 대략 6~8시간정도 소요하였다. Figure 2에서 볼 수 있듯이 외기 도입구는 그림 우측의 네 개이며, 두 개씩 쌍으로 구성되어 있다. 출구는 3개이며, 2개는 그림 좌측에 쌍으로 구성되어 있으며, 나머지 한개는 그림의 하부에 있으며, 자동차가 입출입하는 구역이다. 내부 공기의 순환을 위한 FAN은 총 23개가 설치되어 있으며, 상부부터 숫자를 붙여 구분하였다. FAN에서 내부 공기는 가속되며, 이를 모사하기 위하여 FAN영역에 모멘텀을 볼륨 소스의 항을 이용하여 처리하였다. 모멘텀 소스의 크기는 FAN출구에서의 속도가 6.4 m/s가 되도록 정하였다. 외벽은 회색으로 표시된 영역이며, 이 영역의 외벽부분의 온도는 10°C로 고정하였다. 모든 영역은 공기와 외벽으로 이루어져 있다. 공기의 경우는 표준 상태의 대기압의 물성치를 이용하였으며, 외벽은 콘크리트, 공기, 콘크리트의 세층으로 구분되어 있으나 같은 두께를 가지는 동일재질의 벽으로 가정하였다. 이것을 Table 1에 정리하였다.

주차장의 열은 전등에서 발열되는 것, 자동차에서 발열되는 것과 사람이 주차한 후에 엘리베이터까지 이동하면서 발생하는 것으로 나눌 수 있으며, 각각의 총합을 계산한 다음 전등발열은 천장과 바닥으로 나누고, 자동차에서 발열되는 열

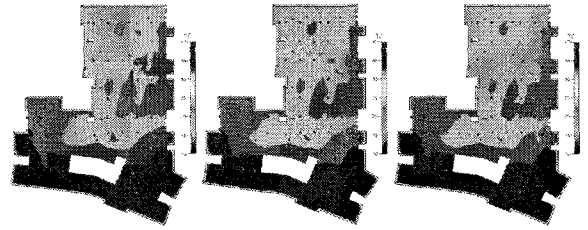
Table 1 Material Properties

unit	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosity [kg/ms]	Specific heat [J/kgK]	Conductivity [W/mK]
Air	1.1614	1.846X10 <sup>-5</sup>	1,007	0.0263
Wall	1604.4	-	854	0.2534



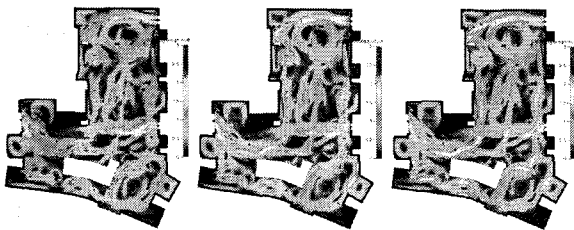
(a) 0.9 m (b) 1.5 m (c) 1.8 m

Fig. 3 Velocity vectors at z=0.9, 1.5 and 1.9m



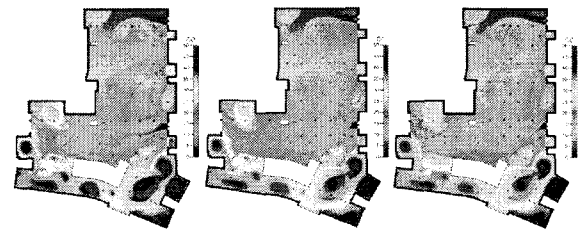
(a) 0.9 m (b) 1.5 m (c) 1.8 m

Fig. 5 Temperature contours at z=0.9, 1.5 and 1.9m



(a) 0.9 m (b) 1.5 m (c) 1.8 m

Fig. 4 Velocity magnitude at z=0.9, 1.5 and 1.9m



(a) 0.9 m (b) 1.5 m (c) 1.8 m

Fig. 6 CO concentration contours at z=0.9, 1.5 and 1.9m

과 인체에서 발열되는 열은 바닥전체에서 발생하는 것으로 보았다. 또한 자동차에서 발생하는 CO는 총량을 구한 다음 바닥에서 발생하는 것으로 가정하였다. 이때, 주차장내의 주행영역이 아닌 주차영역에서는 차량이 발열 및 CO 발생이 거의 없을 것이므로, 차량의 발열 및 CO 발생은 차량의 이동 경로에서만 발생한다고 가정할 수 있다. 이에 따라 계산된 발열량 및 CO 발생량의 경계조건을 Table 2에 나타내었다.

환기를 위하여 도입되는 외기는 겨울철과 여름철로 구분하여 계산하였으며, 각각의 온도는  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $32^{\circ}\text{C}$ 이며, 도입되는 외기의 CO 농도는 일반적인 공기의 CO 농도인 3 ppm으로 가정하였다. 또한 차량 입출입구를 통하여 도입되는 외기의 온도는 최초 계산시에는 겨울철에는  $5^{\circ}\text{C}$ 로, 여름철에는  $32^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으며, 첫 번째 계산결과 주차장내부 총 발열량이 내부 온도를  $2^{\circ}\text{C}$  상승시키는 것으로 예측되어 외기보다  $2^{\circ}\text{C}$  높게 가정하였다. 또한 차량 입출입구의 CO 농도는 환풍위의 주차장이 설계 CO 농도인 25 ppm으로 유지되어 아래층 주차장으로 인입된다고 가정하였다.

외기도입은 4 m/s의 속도로 외기가 공급된다고 가정하였으

며, 이때 grating을 고려하여 설정하였다. 또한 출구의 속도도 grating을 고려한 4 m/s로 설정하였다.

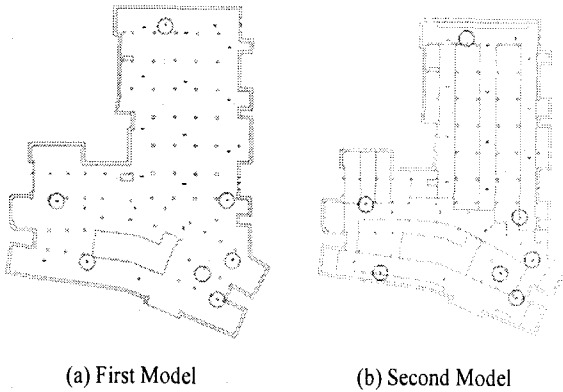
입구에서의 난류에너지는 난류강도가 2%로 가정하여 계산하였으며, 난류소산률에너지는 수력저항을 이용하여 계산하였다.

### 3. 결과 및 토의

신축중인 OO건물에서 지하 주차장내의 열 유동 해석 결과 중 첫번째 조건의 결과를 Fig. 3에 표시하였다. Figure 3은 높이방향으로 0.9, 1.5 및 1.8 m일 경우의 속도벡터이다. 이 높이는 사람이 앉아 있을 때와 서있을 때의 공기 흡입높이를 가정한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 우측 상단과 중단으로 인입된 외기는 중단부분을 거쳐 출구를 통하여 외부로 배출된다. 유동 중간에 존재하는 FAN때문에 공기는 유동 중에 가속됨을 볼 수 있다. 전체적인 속도의 크기를 보기 위하여 Fig. 4에는 높이별 속도크기를 나타내었다. 주차장내의 유동 패턴은 전체적으로 정체된 영역이 없어야 하는데, 좌측 중단 영역과 우측 하단 및 cavity로 보이는 대부분의 영역은 속도가 정체된 것으로 보인다. 이러한 결과로부터 속도가 정체된 영역에서는 CO 농도가 높을 것으로 예측되며, FAN의 위치를 변경할 필요가 있다. Figure 5는 높이 방향으로 0.9, 1.5 및 1.8m에서의 온도장을 표시한 것이다. 주차장 영역에서는 외기

Table 2 Boundary Conditions

	Parkway	Floor(other)	Ceil
Heat	9.2311 W/m <sup>2</sup>	2.0557 W/m <sup>2</sup>	3.0837 W/m <sup>2</sup>
CO	0.3090 ppmkg/m <sup>2</sup> s	-	-



(a) First Model (b) Second Model

Fig. 7 First Modification of Fan Position and Direction

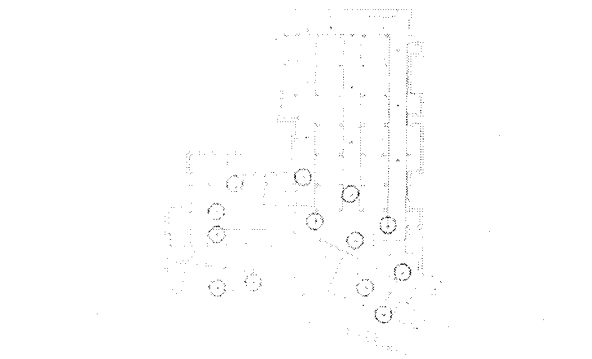
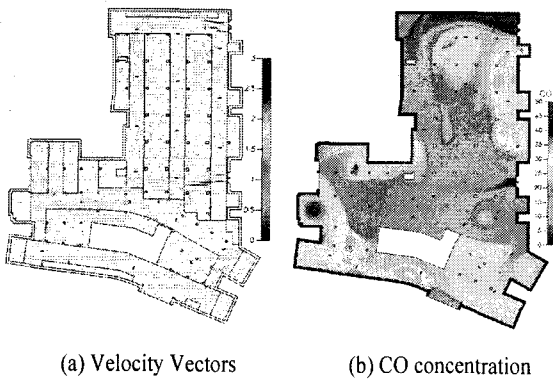
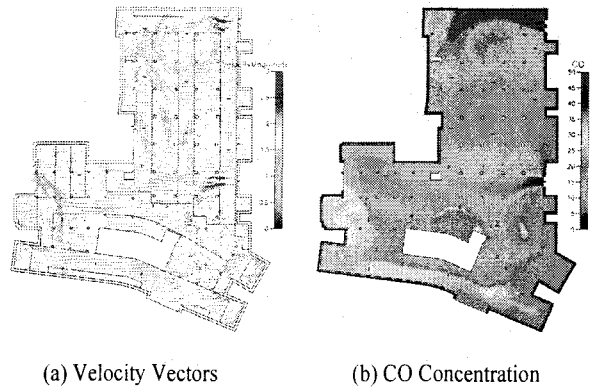


Fig. 9 Second Modification of Fan Position and Direction



(a) Velocity Vectors (b) CO concentration

Fig. 8 Velocity vectors and CO concentration at 1.5 m



(a) Velocity Vectors (b) CO Concentration

Fig. 10 Velocity vectors and CO concentration at 1.5 m

가 직접 도입되기 때문에 주차장의 온도가 높게 예측되었다. 차량을 주차하고 이동하여, 엘리베이터를 기다리는 동안 불쾌감이 클 것으로 예측되기 때문에 공조된 공기를 공급할 필요가 있다. 만일 전체 영역에 공급할 수 없다면, 엘리베이터 근처에만 공급할 필요가 있다. Figure 6는 높이에 따른 CO 농도를 보인 것이다. 외기가 충분히 공급되지 않는 하부영역에서 CO 농도가 설계 기준치 이상을 보이며, 속도장에서 예측한 정체된 영역에서 CO 농도가 높게 예측되었다. 상부영역은 속도장이 정체되었음에도 외기가 공급되는 초기영역이기 때문에 CO 농도는 높지 않게 예측되었다. 이로써 하부영역에 FAN을 증가시키거나 하부영역의 FAN방향 및 위치를 변경할 필요성이 부각되었다. 전체 영역의 평균 CO 농도는 약 21.4 ppm으로서 설계치는 만족함을 확인하였다.

여름철의 결과와 겨울철의 결과를 비교한 결과 경향이 같음을 확인하였으며, 앞으로의 논의는 여름철의 결과만을 가지고 논의할 것이다. 또한 높이별 결과도 경향이 동일하기 때문에 1.5m인 경우를 대표적인 경우로 생각하여 이 경우만을 비교하여 결과를 고찰할 것이다.

첫 번째 고찰을 바탕으로 몇 가지 FAN의 위치와 방향을 변경하였으며, FAN의 수정된 위치를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 좌측의 그림은 FAN 위치를 변경하기 전의 모델이고, 우측은 FAN 위치를 변경한 후의 모델이다. 차이가 나는 곳의 위치를 붉은 원으로 구분하였다. 주차장 상부의 FAN2를 차량 입출입구 부근으로 옮겼으며, 몇 개의 FAN은 본래의 위치에서 약간만 변경하였음을 볼 수 있다. 1.5m 높이에서의 속도 벡터 및 CO 농도장을 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서, 전체적으로 속도의 크기가 비슷하게 변화하였음을 볼 수 있으나, CO 농도는 약간 개선되었다. 그렇지만, 아직도 주차장 좌측 영역의 CO 농도는 높게 예측되고 있다. 또한 첫 번째 계산결과에서는 나타나지 않았던 주차장 상부부분에서 국부적으로 약간 높은 CO 농도를 보이고 있다. 이것은 상부의 FAN을 하나 하부측으로 이동시켰기 때문에 나타나는 현상으로 보이며, 상부측의 FAN은 이동시키지 않아야 한다는 것을 알 수 있다.

앞의 결과를 이용하여 FAN의 개수를 늘리고, 몇 군데의 위치와 방향을 수정하였다. 수정된 FAN의 위치를 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 파란 원은 추가된 FAN이고 나머지는 위치

와 방향이 변경된 FAN을 표시한 것이다. 1.5m 높이에서의 속도 벡터 및 CO 농도장을 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서, FAN의 증가로 인하여 전체적으로 속도가 증가하였고, 특히 주차장 하부영역의 낮은 속도 영역이 작아졌음을 볼 수 있다. CO 농도장을 살펴보면, 거의 대부분의 영역에서 30 ppm이하의 농도를 보이고 있으며, 국부적으로 좁은 영역에서만 25 ppm이상의 농도를 보이고 있음을 알 수 있다. 이 부분은 출구 근처로서 도입된 외기가 주차장 내부를 거쳐 외부로 배출되는 영역근처이다. 이 부분의 CO농도를 낮추기 위해서는 외기 도입구의 위치를 변경할 필요가 있다. 이러한 외기 도입구의 변경은 건물의 설계변경을 필요로 하고, 국부적으로 30 ppm정도의 CO농도를 25 ppm이하로 개선하기 위하여 건물의 설계변경까지는 필요하지 않다고 사료된다.

#### 4. 결 론

최근 최고의 성능을 갖는 건축물에 대한 사회적인 요구가 증대되면서, 건축설계분야에 CFD를 도입하는 경우가 늘어나는 추세이다. 현재 신축중인 OO건물의 지하 주차장의 개념적인 환기설계를 CFD-ACE+를 이용하여 검증하였으며, 국부적인 속도, 온도 및 농도장을 검토하였다.

검증결과 주차장 내의 평균 CO 농도는 21.4 ppm으로서 법적 기준인 25 ppm보다 낮음을 확인하였으나, 국부적으로 법적 기준보다 높은 CO 농도를 보이는 지역이 넓게 분포됨이 예측되었다. 이 예측을 근거로 주차장내에 설치되는 환기용 FAN의 위치와 각도를 수정하여 다시 농도장을 예측하였으며, 이 경우에는 높은 CO농도를 보이는 지역이 약간 감소하였으나, 큰 차이를 보이지는 않았다. 2개의 FAN을 추가설치하고,

FAN의 위치와 각도를 다시 수정하여 농도장을 예측한 결과, 국부적으로 CO 농도가 높은 영역은 존재하였으나, 최대값이 낮아졌으며 그 영역이 최소화시킬 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 김경환, 김호선, 이감규, 한화택, 권용일, 2004, “사무실에서의 환기용 급/배기구 위치에 따른 실내 공기환경특성,” *대한설비공학회 2004년 하계학술발표대회 논문집*, 2004-S-122, pp.734-738.
- [2] 한창우, 노광철, 오명도, 2005, “환기시스템 설치 강의실에서 시스템에어컨과 팬코일유닛의 열쾌적성 및 환기성능평가,” *대한설비공학회 2005년 하계학술발표대회 논문집*, 2005-S-124, pp.771-776.
- [3] 권용일, 한화택, 김경환, 정백영, 이감규, 2005, “환기시스템이 적용된 히트펌프의 난방시 급기효율 평가에 관한 연구,” *설비공학논문집*, 제17권, 제1호, pp.56-61..
- [4] 김경환, 이기섭, 최호선, 정백영, 강태욱, 이감규, 2003, “에어컨과 환기시스템을 적용한 실내 온열 및 환기특성,” *대한설비공학회 2003년 하계학술대회 논문집*, 2003-S-178, pp.1111-1116.
- [5] 김경환, 유준, 이재현, 임윤철, 오명도, 김종필, 2002, “제한공간에 설치된 제트팬의 기류특성 예측,” *설비공학논문집*, v.14, n.3.
- [6] 김경환, 이재현, 오명도, 김종필, 2006, “분배계통에 따른 지하주차장 환기설비 성능의 예측,” *대한설비공학회 논문집*, v.13, n.10.
- [7] ESI-CFD, 2006, CFD-ACE+ Module Manual.