

# 컴팩트형 VAV 공조기의 성능평가와 경제성 분석에 관한 연구

## A Study on Economic Analysis and Performance Appraisal of Compact Type Variable Air Volume

김동철(Dong-Cheol Kim)<sup>1</sup>, 정광섭(Kwang-Seop Chung)<sup>2\*</sup>, 김영일(Young Il Kim)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 주택대학원, <sup>2</sup>서울과학기술대학교 건축학부

<sup>1</sup>Graduate School of Housing, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

<sup>2</sup>School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received July 7, 2014; revision received October 2, 2014; Accepted: October 23, 2014)

**Abstract** Ceiling cooling and heating system that consider load arrangement and space in the ceiling needs to be developed. Therefore, experimental and economic changes were done to verify the performance of compact type VAV. The test results were as follow.

- 1) Noise test result, measuring approximately 50.4 dB~56.6 dB (before ceiling in landfill), had a better ceiling deadline than the current measure, about a 10 dB noise reduction, so that the office baseline (40~50 dB) noise was judged to be less than test.
- 2) For the static pressure test result, taking out an outside hydrostatic 25 mmAq, 24.8 mmAq was measured, respectively, at the point.
- 3) For the life-cycle cost analysis result, the initial investment cost, maintenance replacement costs, and maintenance costs increased 0.2%, but the energy savings ratio was 19.5% while the whole life cycle savings of 40 years LCC was reduced 11.9%.

**Key words** VAV compact(변풍량 컴팩트 공조기), Noise test(소음측정), LCC(Life Cycle Cost), Static pressure test(정압측정), Trace700(Trace700), Energy Cost(에너지비용)

\* Corresponding author, E-mail: kschung@seoultech.ac.kr

## 1. 서 론

에너지에 관심이 높아지고, 유효면적의 확대 요구와 공간 이용 형태가 다양화됨에 따라 단위 면적당 에너지 효율과 투자비용에 대하여 최적화된 시스템의 설계 및 기술의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 실정에 맞추어 냉난방부하 변동에 따른 효율적 관리 및 용도별, 사용시간대별 가동방식이 달라지게 하는 등, 대용량의 공조기 적용으로 큰 설치공간과 반송동력 증가로 많은 에너지를 소모하는 공조방식에도 변화가 필요하게 되었다. 이러한 공조방식의 변화에 따라 부하별 분산배치와 천장 속 공간을 활용함으로써 최적화 할 수 있는 천장형 냉난방시스템이 필요하며, 층별 부분부하 변동에 따른 운전으로 에너지비용의 최소화에 목적을 두고 있다.

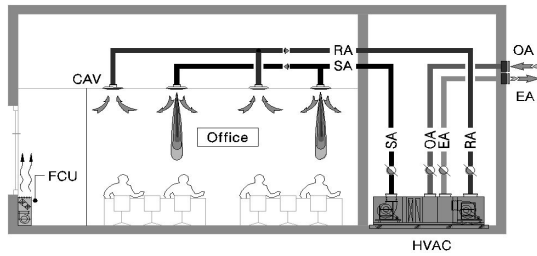
따라서, 공조기의 성능테스트를 실시하여 정압과 소음을 측정해 적용 시 문제점이 없는지 검증했고, 생애주기 비용분석을 통하여 초기 투자비와 운전비 측면에

서 타당성 여부를 판단하였다.

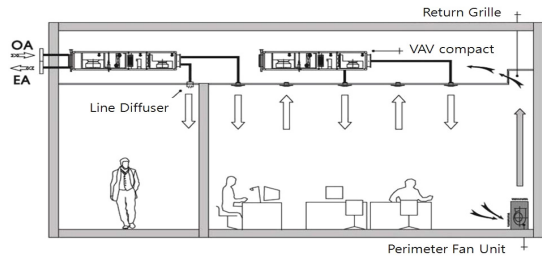
## 2. 시스템 개요

### 2.1 일반 공조기 비교를 통한 특징 분석

수평형 공조기와 시스템 비교를 통하여 변풍량 컴팩트 공조기의 적합성을 검증하였다. Fig. 1은 시스템을 그림으로 나타내어 표현하였다. 변풍량 컴팩트 공조기는 온습도를 각 실별 요구조건으로 정확한 실온 제어가 가능하다. 또한 공실 On/Off 제어 및 야간작업 시 필요실만 개별운전 가능하다. 에너지 절감 측면에서 보면, 직접 공조기에서 냉온풍을 생산하여 각 실에 공급하므로 부하 변동에 따른 정확한 실온과 습도 조절이 가능하며, Air 전송 구간이 아주 짧아 전송길이 따른 에너지 손실이 거의 없다. 또한 실내 온도 감지에 의해 방위별 부하 변동 시 인버터제어로 직접 송풍



(a) HVAC(CAV)



(b) VAV compact

Fig. 1 System comparison.

량을 조절하므로 응답 속도가 빠르고, 이에 따른 동력 절감이 매우 크다.

## 2.2 대상 건축물 개요

Table 1은 해석 대상 “K” 업무시설의 개요이며 Fig. 2는 적용된 업무시설로 사무실 기준층을 5개 존으로 공조기 조닝을 했고, 부하에 따라 운전할 수 있는 공조기를 설치하여 용도별, 존별, 방위별 공조조닝을 통한 에너지 절감 극대화 및 개별제어와 실 쾌적성을 향상시켰다.

Table 1 Summary of the building

Area	Land area	111,365 m <sup>2</sup>
	Total floor area	22,407 m <sup>2</sup>
Location	Dae-jeon	
Scale	B4F/28F	
Structure	Reinforced concrete	
Usage	Office	

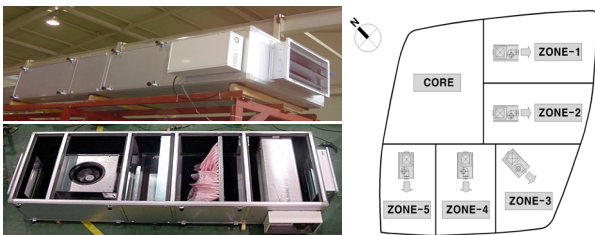


Fig. 2 VAV compact and Air conditioning zoning.

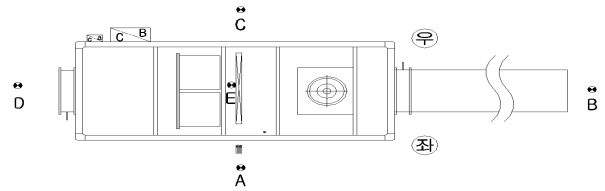


Fig. 3 Noise test position.

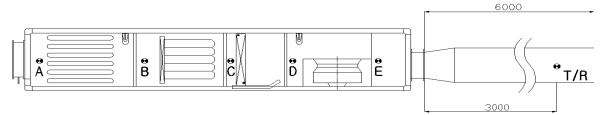


Fig. 4 Static pressure test position.

## 3. 성능 테스트

### 3.1 개요

소음을 보다 정밀하게 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 테스트를 실시하였다. 주변소음을 측정하여 암소음 발생여부를 판단했고, 공조기 설치를 기준으로 지면으로부터 3 m 높이에 설치했으며, 2 m 이격거리를 유지하여 각 지점의 소음을 측정했다. 또한 공조기 운전시 정압이 어느 정도인지 확인하고, 기외 정압을 측정하여 실제 토출 시 정압을 확인하는 정압테스트를 실시하였다. Fig. 4는 정압 측정 위치 표기했고, 정압 측정 장비는 Manometer로 미국 DWYER사의 액주식으로 측정했으며, 기외정압은 25 mmAq를 기준으로 측정했다.

### 3.2 소음 테스트 결과

소음 측정은 Table 2와 같이 측정결과 정리하면, 암소음이 48.9 dB, A지점이 51.4 dB, B지점이 56.6 dB, C지점이 51.5 dB, D지점이 50.4 dB, E지점이 52.8 dB로 나타났고, 약 50.4 dB~56.6 dB이 측정되어져 이는 천정 내 매립 전 오픈 상태에서 측정한 수치이며, 천정 마감시 현 측정치보다 10 dB정도는 저감 효과가 있으므로 사무실 소음 기준치(40~50 dB) 이하의 소음이 발생 될 것으로 사료된다.

Table 2 Noise test result

Noise point	Test result
Background noise	48.9 dB
A point	51.4 dB
B point	56.6 dB
C point	51.5 dB
D point	50.4 dB
E point	52.8 dB

Table 3 Noise test result

Static pressure point	Test result
A point	-1.6 mmAq
B point	-1.6 mmAq
C point	-13.7 mmAq
D point	-20.8 mmAq
E point	24.8 mmAq

### 3.3 정압 테스트 결과

정압 측정 결과(Table 3), A지점은 -1.6 mmAq, B지점은 -1.6 mmAq, C지점은 -13.7 mmAq, D지점은 -20.8 mmAq, E지점은 24.8 mmAq로 나타났다. 기외정압 25 mmAq 기준으로 측정시 취출 시 정압인 E지점에서 24.8 mmAq가 측정이 되었으므로 적합한 것으로 나타났다.

### 3.4 소결

정밀한 검증을 위해 소음테스트를 실시하였으며, 정압테스트를 통해 변풍량 컴팩트 공조기의 성능을 검증하였다. 소음 측정 결과, 암소음이 48.9 dB, 각 지점에 대해 약 50.4 dB~56.6 dB이 측정되어 이는 천정 내에 매립 전 오픈 상태에서 측정한 수치이며, 천정 마감 시 현 측정치보다 10 dB정도는 저감 효과가 있으므로 사무실 소음 기준치(40~50 dB) 이하의 소음이 발생 될 것으로 사료된다. 정압 측정 결과, 각 지점별로 -1.6 mmAq ~24.8 mmAq로 나타났고, 기외정압 25 mmAq 기준으로 측정 시 취출 정압인 E지점에서 24.8 mmAq가 측정이 되어 적합한 것으로 나타났다.

## 4. 경제성 검토

경제성 분석을 통하여 사무공간에 변풍량 컴팩트 공조기를 적용했을 경우, 적정성 여부를 같음 하고자 LCC 분석을 다음과 같이 수행하고자 한다. 준공 후 철거까지 사용기간이 40~100년까지 예상되므로 우선 분석기간을 40년 이상으로 가정한다. 일반적인 LCC 분석 방법은 현가법을 적용하고 할인율에 의한 영향을 고려하여 한국은행발표 10년간 정기예금 이자율 6.41%로 적용과 민감도 분석을 하여 위험성에 대한 분석을 하였다.

### 4.1 초기 투자비

장비 신뢰성 확보를 위해 시중제품 중 견적서를 참고하여 초기 투자비를 산정했다. 그 외에도 덕트공사

Table 4 Initial cost analysis(Unit : Kw)

	HVAC(CAV)	VAV compact
Equipment	930,720	1,212,771
labor expense	1,779,563	1,349,864
Material	1,531,126	1,687,411
Sum	4,241,410	4,250,047

등 노무비에 대한 견적도 포함했으며, 장비비 이외에 각 중 재료비도 포함하여 초기 투자비를 산정했다.

Table 4와 같이 장비비는 변풍량 컴팩트 공조기가 23.3% 높았으며 재료비도 9.3% 높았다. 하지만, 노무비의 경우, 변풍량 컴팩트 공조기가 31.8% 낮아 전체 초기 투자비로 보면 수평형 공조기 대비 0.2% 증가됨을 알 수 있었다.

### 4.2 에너지비

에너지비는 연간 에너지 소비량을 예측하고, 전기 또는 가스의 요금을 적용하여 산출하게 된다. 시뮬레이션은 미국 'TRANE'사의 'TRACE700' 프로그램을 사용하였다. Fig. 5는 TRACE 700을 통한 모델링 과정을 나타냈다.

전기요금은 계약 전력 300 kW 미만으로 시간대별 구분이 가능한 계량기가 설치되어 있어 일반용 전력(갑)Ⅱ를 적용했고, 고압A(3.3~66 kV)를 선택했으며, 선택Ⅱ(월 200시간~500시간 이하), 중간부하를 사용했다. 또한 가스요금은 주식회사 충남도시가스의 자료를 참고했다.

분석결과, 전기요금과 가스요금을 합산하면 변풍량 컴팩트 공조기는 600,764천 원 이고, 수평형 공조기는 746,424천 원, 이는 19.51% 변풍량 컴팩트 공조기가 에너지 측면에서 유리한 것으로 알 수 있었다. Fig. 6은 시스템별 전기 에너지비와 가스에너지비를 그래프로 비교하여 나타냈다.

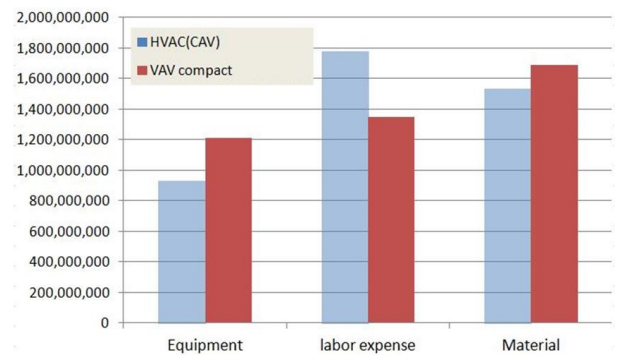


Fig. 5 Initial cost analysis(Unit : W).

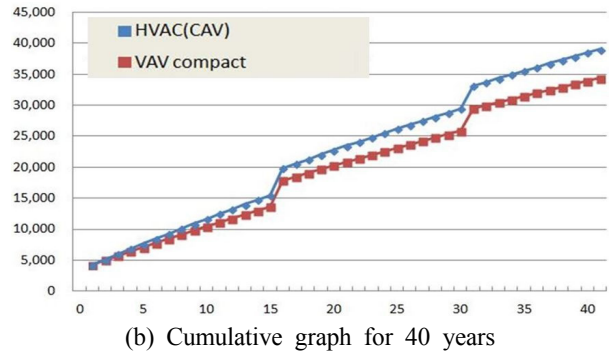
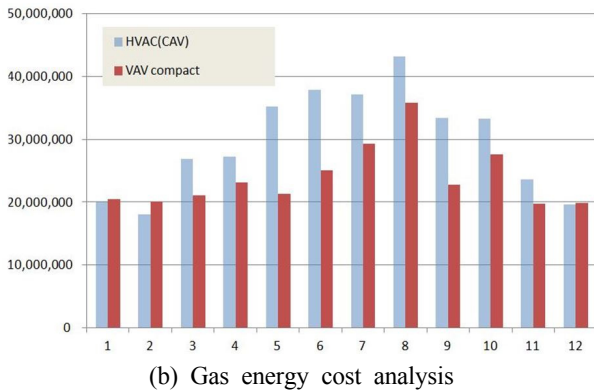
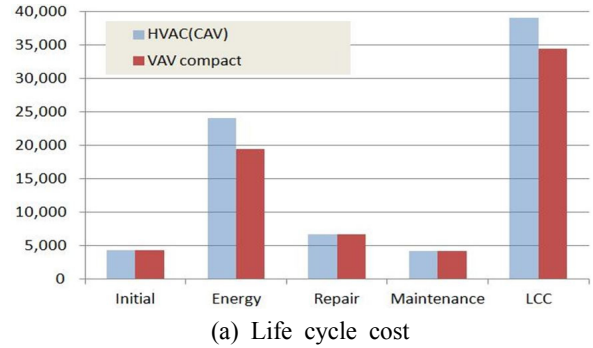
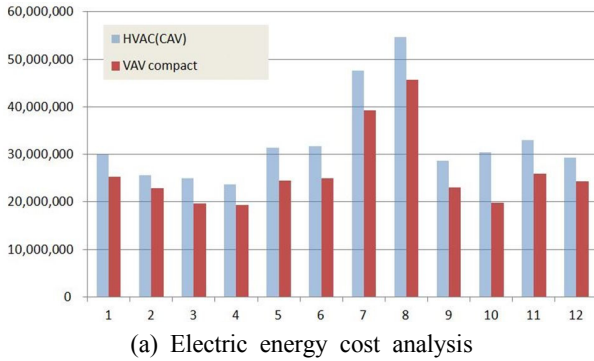
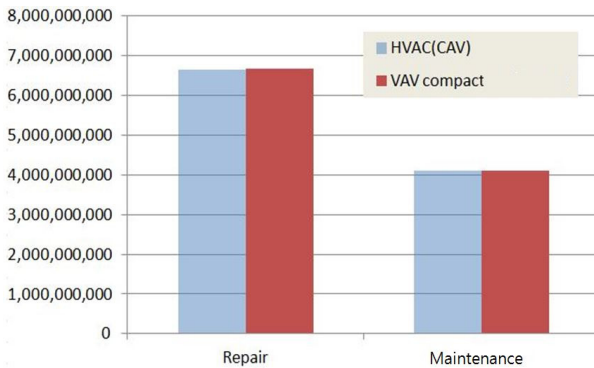


Fig. 8 LCC analysis(Unit : Million won).

Fig. 6 Energy cost analysis(Unit : W).

Table 5 Maintenance cost analysis(Unit : Kw)



		HVAC(CAV)	VAV compact
Repair	15year	3,599,506	3,606,836
	20year	3,054,749	3,060,970
	Sum	6,654,255	6,667,807
Main tenance	Annual	127,242	127,501
	Sum	4,099,683	4,108,032

Table 6 LCC analysis(Unit : Kw)

	HVAC(CAV)	VAV compact
Initial cost	4,241,410	4,250,047
Energy cost	24,049,430	19,356,341
Repair cost	6,654,255	6,667,807
Maintenance cost	4,099,683	4,108,032
LCC	39,044,779	34,382,228

#### 4.3 유지보수비

건축설비의 LCC 계산에서 유지보수비 항목은 매우 중요하지만 유지보수비에 관한 기준이 명확하지 않아 서울시내 소재 3개 건물이력 자료를 분석하여 수리부품비와 교체주기 산정했다.

분석결과, Table 5와 Fig. 7과 같이 컴팩트 공조기가 수평형 공조기 대비 보수교체비와 유지관리비 각각 0.2% 증가하여 유지보수비 측면에서 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 4.4 생애주기비

분석한 결과는 Table 6, Fig. 8과 같이 초기 투자비, 보수교체비, 유지관리비는 각각 0.2%차로 컴팩트 공조기가 증가하였고, 에너지비 측면에서는 변풍량 컴팩트 공조기가 19.51% 절감하여 전 생애주기비로 계산했을 때, 11.94% 절감하는 것을 나타나 경제적인 우수성을 검증하였다.

### 4.5 민감도 분석

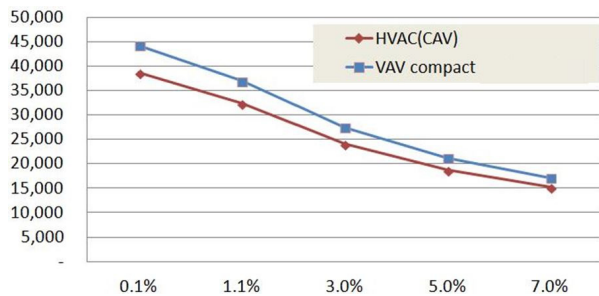
본 연구에서는 0.1%~7.0%의 할인율 변화에 따른 민감도 분석으로 생애주기비와 에너지비 측면에서 비교했다. 분석결과는 아래 표, 그림과 같으며 할인율이 증가함에 따라 생애주기비와 에너지비가 감소하고, 할인율 변동에 관계없이 컴팩트 공조기가 가장 경제적인 것으로 나타났다(Table 7, Table 8, Fig. 9).

Table 7 LCC sensitivity(Unit : Kw)

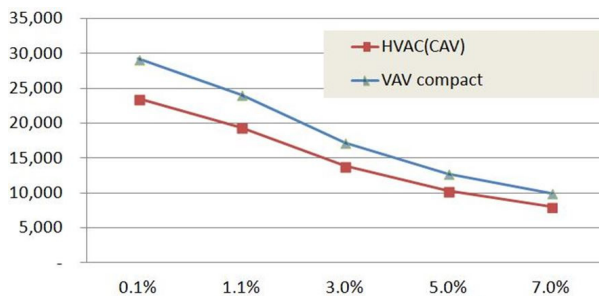
	HVAC(CAV)	VAV compact
0.1%	44,282,622	38,604,619
1.1%	36,994,938	32,328,212
3.0%	27,435,240	24,089,080
5.0%	21,162,614	18,680,238
7.0%	17,135,170	15,207,904

Table 8 Energy cost sensitivity(Unit : Kw)

	HVAC(CAV)	VAV compact
0.1%	29,253,398	23,544,789
1.1%	24,049,430	19,356,341
3.0%	17,253,437	13,886,542
5.0%	12,807,966	10,308,575
7.0%	9,951,117	8,009,221



(a) Life cycle cost



(b) Energy cost

Fig. 9 Sensitivity analysis(Unit : Million won).

### 4.6 소결

초기 투자비, 보수교체비, 유지관리비는 각각 0.2%차로 변풍량 컴팩트 공조기가 증가 하였으나, LCC 측면에서 큰 영향을 미치지 못했다. 반면, 에너지비 측면에서는 변풍량 컴팩트 공조기가 19.51% 절감하여 전 생애주기비(40년)로 계산했을 때, 11.94% 절감하는 것으로 나타나 경제적인 우수성을 검증하였다. 또한 민감도 분석한 결과 할인율이 증가함에 따라 생애주기비와 에너지비가 감소하고, 할인율 변동에 관계없이 컴팩트공조기가 가장 경제적인 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

### 5.1 소음테스트

소음 측정 결과는 암소음이 48.9 dB, A지점이 51.4 dB, B지점이 56.6 dB, C지점이 51.5 dB, D지점이 50.4 dB, E지점이 52.8 dB로 나타났고, 대략 50.4 dB~56.6 dB이 측정되어져 이는 천정내에 매립전 오픈 상태에서 측정된 수치이며, 천정 마감시는 현 측정치보다 10 dB정도는 저감 효과가 있으므로 사무실 소음 기준치 (40~50 dB) 이하의 소음이 발생 될 것으로 사료된다.

### 5.2 정압테스트

정압테스트는 공조기 운전 시 정압이 어느 정도인지 확인하고, 기와 정압을 측정하여 실제 토출 시 정압을 확인하는 정압테스트를 실시하였다. 정압 측정 결과, A지점은 -1.6 mmAq, B지점은 -1.6 mmAq, C지점은 -13.7 mmAq, D지점은 -20.8 mmAq, E지점은 24.8 mmAq로 나타났다. 기외정압 25 mmAq 기준으로 측정 시 취출시 정압인 E지점에서 24.8 mmAq가 측정이 되었으므로 적합한 것으로 나타났다.

### 5.3 LCC 분석

초기 투자비, 보수교체비, 유지관리비는 각각 0.2%차로 컴팩트 공조기가 증가 하였으나, LCC 측면에서 큰 영향을 미치지 못했다. 반면, 에너지비 측면에서는 변풍량 컴팩트 공조기가 19.51% 절감하여 전 생애주기비로 계산했을 때, 11.94% 절감하는 것을 나타났다. 이는 변풍량 컴팩트 공조기가 인버터제어에 따른 에너지 절감과 반송동력을 절감시키는 효과로 에너지비에서 앞섰기 때문이다. 또한 0.1%~7.0%의 할인율 변화에 따른 민감도 분석으로 생애주기비와 에너지비측면에서 비교했으며, 할인율이 증가함에 따라 생애주기비와 에너지비가 감소하고, 할인율 변동에 관계없이 컴팩트 공조기가 가장 경제적인 것으로 나타났다.

## 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 연구비지원으로 수행 되었습니다.

## References

1. Jung, J. R., 2002, Evaluation of alternatives for building service system in high-rise building based on life cycle cost analysis, Ph.D. thesis, The Graduate School, Yonsei University, Seoul, Korea.
2. Lim, H. W., Chung, K. S., and Kim, Y. L., 2011, An economic analysis of ice thermal storage system and absorption Chiller-heater for large capacity Air-conditioning application, Proceedings of the SAREK 2011 Summer Annual Conference, pp. 615-620.
3. Kim, S. W., 2005, Manan Youth Training Center LCC simulation, Sahm-Shin Energy Environment Research Institute, Sahm-Shin Engineers, Inc.
4. Choi, H. G., 2004, A case study on the economic analysis for a new technology-based ventilation system using LCC technique, The Graduate School, Chungang University, Seoul, Korea.
5. Lemaire, A. D., 1993, Room air and contaminant flow, evaluation of computational methods, TNO Building and Construction Research, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 20 Air flow patterns within buildings, Subtask-1 Summary Report.
6. Fluent, 1998, Fluent Version 5.4 Manuals, Computational Dynamics Ltd., London.
7. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, 1992, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE.
8. Facilities Engineering Manual, Korea Society of Facilities Engineers, pp. 21-23.
9. Hawkins, A. N., Hosni, H. H., and Jones, B. W., 1995, A comparison of room air motion in a full size test room using different diffusers and operating conditions, ASHRAE Transactions, Vol. 101, pp. 81-100.