

VAV 터미널 박스의 최소풍량 제어방식 비교 연구

조영흠*, 강수현**, 성윤복***

*금오공과대학교 대학원 건축학부(yhcho@kumoh.ac.kr), **금오공과대학교 건축학부(tngus4u@kumoh.ac.kr),
***한국건설교통기술평가원(nike21@snu.ac.kr)

A Study on the Comparison Analysis of Minimum Airflow Control Logic of VAV Terminal Box

Cho, Young-hum* Kang, Su-hyun** Seong, Yoon-Bok***

*School of Architecture, Kumoh National Institute of Technology(yhcho@kumoh.ac.kr),
**School of Architecture, Kumoh National Institute of Technology(tngus4u@kumoh.ac.kr),
***Korea Institute of Construction & Transportation technology Evaluation and Planning(nike21@snu.ac.kr)

Abstract

The minimum airflow of VAV terminal boxes is a key factor for comfort, indoor air quality(IAQ) and energy cost. If the minimum airflow is not reasonable, it would waste energy and make IAQ problems. There are two types of VAV terminal box control logic. One is the single maximum, another is the dual maximum control logic. Dual maximum control logic is more efficiency way to reduce the energy consumption. It has a minimum airflow set point and a heating maximum set point. It allows the minimum airflow set point to be much lower than single maximum control logic. A building simulation was conducted to evaluate the energy consumption and the IAQ according to the control logic of the VAV terminal box. In the simulation, dual maximum control logic can save the energy up to 6.5% compared to the single maximum control logic.

Keywords : VAV 터미널 박스(VAV terminal box), 듀얼 맥시멈 컨트롤 로직(Dual Maximum control logic), 열환경(Thermal Comfort), 에너지 성능(Energy performance), 시뮬레이션(Simulation)

1. 서론

최근 전 세계는 기후변화의 주범인 온실가스 감축을 위한 노력에 매진하고 있다. 온실가스 감축을 위해서는 산업 전반에 걸쳐 수송 부분과 함께 건물에서의 에너지 절약이 중요

하다. 특히 건물부분은 전체 에너지 소비량의 20%이상을 차지하고 있어 에너지 다소비 산업이라 할 수 있다. 이에 따라 건물의 에너지 절감을 위하여 다양한 노력들이 이어지고 있다. 그 중 VAV(Variable Air Volume)시스템은 에너지 절약적 측면과 공조기의 용량을

Submit date : 2012. 8. 1, Judgment date : 2012. 8. 3, Publication decide date : 2012. 8. 22
Communication author : Seong, Yoon-Bok(nike21@snu.ac.kr)

최소화 할 수 있다는 장점을 가지고 많은 건물에 적용 되어 왔다. VAV 시스템 중 터미널 박스의 최소풍량은 실의 쾌적과 에너지면에서 큰 영향을 미치는 요소라고 할 수 있다. 적절한 최소풍량의 선정은 실의 쾌적을 유지함과 동시에 재열에너지를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 그러나 현재 VAV 시스템이 적용된 건물은 VAV 터미널 박스의 최소풍량을 실의 부하나 쾌적에 관계없이 일정한 값을 적용하고 있어, VAV 시스템의 장점인 에너지 절약이 제대로 이루어 지지 못하는 실정이다.

이러한 터미널 박스의 최소풍량을 제어하는 방법은 댐퍼의 제어에 따라 크게 Single Maximum Control Logic과 Dual Maximum Control Logic으로 나눌 수 있다. Dual Maximum Control Logic의 경우는 Single Maximum Control Logic보다 낮은 최소풍량 설정이 가능해 에너지 절약적 측면에서 이점이 있다. 그러나 너무 낮은 최소풍량의 설정은 성층화 현상, 환기 부족 등 실의 쾌적에 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 적절한 최소풍량의 설정은 에너지 측면이나 실의 쾌적면에서 상당히 중요한 요소이다.

이에 본 연구에서는 VAV 터미널 박스의 댐퍼 컨트롤 로직을 변화시키며 건물에너지 소비량 및 실내 열환경을 분석하였으며, 분석 프로그램은 동적 에너지 해석 프로그램인 Energy Plus를 사용하였다.

2. 예비적 고찰

Fig. 1은 일반적인 VAV 터미널 박스 컨트롤 로직인 Single Maximum Control Logic을 나타내고 있다. 존에 냉방 부하가 발생할 경우 풍량은 최소풍량 설정값과 냉방시 최대 풍량 설정값 사이에서 조정되며 실내부하를 제어하게 된다. 존에 난방부하가 발생할 경우에는 풍량은 최소풍량에 고정되고 재열밸브가 열리면서 재열된 공기를 존에 공급하게 된다.

일반적으로 Single Maximum 에서는 VAV 터미널 박스의 최소풍량이 냉방시 최대풍량 설정값의 30~50%로 비교적 높은값으로 설정되어 운영되고 있으며, 이는 VAV 터미널 박스의 재열에너지와 팬의 전력 소비량을 증가시키는 원인이 된다.¹⁾

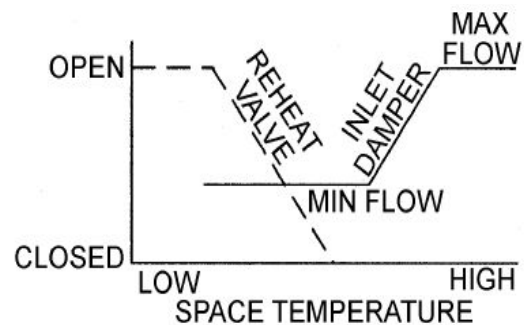


Fig. 1 The single maximum control logic (ASHRAE Application)

Fig. 2는 Dual Maximum Control Logic으로 냉방 최대 풍량 뿐만 아니라 난방시 최대 풍량 설정이 가능하다. 또한, 최소풍량을 Single Maximum 보다 더 낮게 설정할 수 있다는 장점이 있다. 터미널 박스에서 최소풍량의 감소는 재열에너지 및 팬의 전력소비량의 감소를 의미한다. Dual Maximum의 냉방시 컨트롤은 Single Maximum과 같으며, 난방부하시 제어방법은 다음과 같다.

처음 난방부하가 발생할 경우 터미널 박스에서 최소풍량을 유지한 채 공급온도를 높여가며 존에 공급하게 된다. 그러나 터미널 박스의 최소풍량이 존의 설정온도를 유지하지 못할 경우 풍량을 증가시켜 존의 부하를 처리하게 된다. 이때, 공급온도는 일정하게 유지되며, 풍량만 증가하게 된다.²⁾

1) ASHRAE, Application, ASHRAE Fundamentals Handbook, Ch 45. ; 2001

2) EnergyDesignResources, Advanced Variable Air Volume VAV System Design Guide, 2009

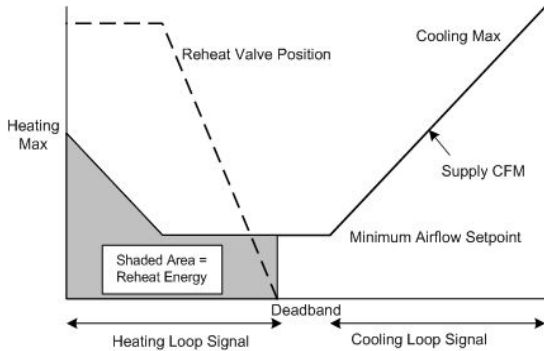


Fig. 2 Dual maximum control logic

일, 댐퍼, 컨트롤러 등으로 이루어져 있다.

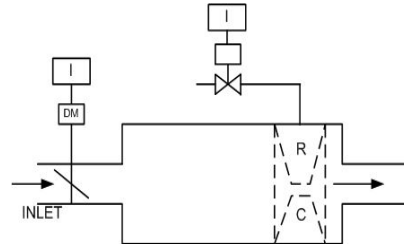


Fig. 3 Throttling VAV terminal unit (ASHRAE Application)

3. 대상건물 및 시스템 개요

3.1 건물개요

VAV 터미널 박스의 최소풍량을 비교 분석하기 위한 대상건물은 미국 Nebraska주 Omaha 지역의 사무용건물을 선정하였으며, 시뮬레이션은 하나의 실에 대하여 수행하였다. 실의 개요는 Table 1과 같다.

3.2 VAV 터미널 박스 개요

적용된 시스템은 재열코일이 있는 Throttling VAV Terminal Unit이며 Fig. 3과 같이 재열코

Table 1 Outline of test building

Item	Input data	
Simulation model	Model room	Office room
	Floor area	12m ² (4×3m)
	Volume	30m ³ (4×3×2.5m)
	Occupancy	1 person
Initial condition	Room air temperature	24°C
HVAC system	Throttling VAV Terminal Unit	
Minimum outdoor airflow	9.44×10 ⁻³ m ³ /s	

Table 2 Physical properties of materials

	Material	Thickness (m)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	SpecificHeat (J/kgK)
Exterior wall	Brick	0.1016	0.89	1,920	790
	Concrete	0.2032	1.95	2,240	900
	insulation	0.0508	0.03	43	1,210
	Gypsum board	0.0190	0.16	800	1,090
Interior wall	concrete	0.1016	0.53	1,280	840
	Gypsum board	0.0190	0.16	800	1,090
Ceiling	concrete	0.1016	0.53	1,280	840
	Acoustic tile	0.0191	0.06	368	590
Floor	Acoustic tile	0.0191	0.06	368	590
	concrete	0.1016	0.53	1,280	840

4. 최소풍량 제어방식에 따른 시뮬레이션

4.1 건물 모델링

대상 건물의 모델링은 Google SketchUp의 OpenStudio 를 사용하여 1개의 존을 모델링 하였으며, 이후 EnergyPlus로 연계하여 세부 데이터를 입력하여 시뮬레이션을 수행하였다. 모델링에 사용된 실은 하나의 존으로 구성되어 있으며 북측면만 외기에 노출된 구조이다. Table 2는 각 벽체의 구성요소와 물성치를 나타내고 있다.

적용된 열원 설비는 보일러 용량 3400W, 냉동기 1200W를 적용하였으며, 공조 설비는 싱글 덕트 VAV 시스템을 적용하였다. 설비시스템은 HVAC Templates의 VAV 관련 항목을 이용하여 작성하였으며, 이후 expidf 파일을 이용하여 각각의 세부적인 항목을 적용하였다.

실내 부하에 영향을 줄 수 있는 재실자, 조명, 기기에 대한 스케줄은 일반적인 사무실 건물에 대한 값을 적용하였으며, 그 내용은 Fig. 4와 같다.³⁾

기상데이터는 에너지 분석에 있어서 가장 큰 오차를 발생시킬 수 있기 때문에 실제 지역의 기상데이터를 사용하는 것이 중요하다. 따라서, 건물이 실제 위치한 곳인 미국 Nebraska주의 Omaha 지역의 기상데이터를 사용하였다.

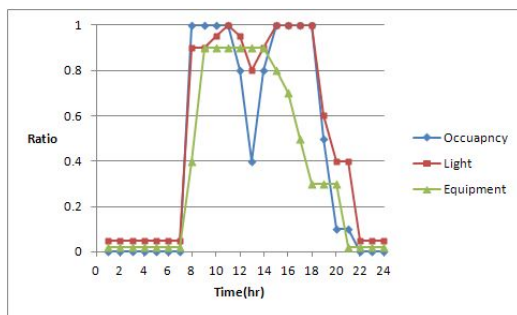


Fig. 4. Schedule profile

3) Office Occupancy, Schedule for Occupancy, User's Manual for ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004

4.2 VAV 제어방법에 따른 CASE

VAV 터미널 박스의 제어 방법에 따른 건물의 에너지 및 열환경 성능을 분석하기 위하여 두 가지 터미널 박스 컨트롤 로직에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Single Maximum Control Logic의 경우는 최소풍량을 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 냉방시 최대풍량의 30%를 적용하였으며, Dual Maximum Control Logic의 경우는 ASHRAE Standard 90.1을 기준으로 최소풍량과 Heating Maximum을 결정하였다. 시뮬레이션 기간은 1년이며, 존의 부하는 15분의 Time step으로 계산되었다. Table 3은 CASE에 따른 컨트롤 로직과 최소풍량을 나타낸다.

Table 3. Energy analysis CASE

	Control logic	Minimum airflow	Heating max
CASE 1	Single max	30% of Cooling maximum ($17.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)	-
CASE 2	Dual max	Minimum OA flow ($9.44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{person}$)	50% of Cooling maximum ($24.45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

4.3 에너지 소비량 분석

VAV 터미널 박스 제어 방법을 적용하여 연간 에너지 소비량을 비교 분석 하였으며, Fig. 5 ~ Fig. 7은 케이스별 연간 팬의 전기 소비량, 재열 코일 에너지 소비량, 보일러 가스 소비량을 비교한 그래프이다.

VAV 터미널 박스의 컨트롤 로직을 Dual Maximum Control Logic을 적용 하였을 때 팬의 전기 소비량은 Single Maximum Control Logic을 적용 하였을 때 보다 연간 약 35.6MJ 이 감소하였으며, 4.8%의 전기 소비량 감소를 보였다. 이는 터미널 박스에서의 최소풍량

이 감소함에 따라 그에 상응하는 팬의 소비전력이 감소한 것으로 판단된다.

터미널 박스의 재열 코일 에너지 또한 최소 풍량이 감소하면서 약 2556.9MJ 의 에너지가 감소하였으며 24%의 감소율을 나타내었다.

보일러의 가스 소비량은 터미널 박스의 재열코일 에너지 소비량과 공조기의 Heating coil의 에너지 소비량에 관계하게 되며, 재열 코일과 Heating coil의 에너지 소비량이 감소한 만큼 보일러의 가스 소비량이 감소하게 된다. 그러나 Fig. 7에서 겨울철에는 전체 보일러 가스소비량이 CASE 1 과 CASE 2에서 별다른 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 이는 재열 코일에서는 에너지 소비가 감소하였으나 공조기의 Heating coil에서는 겨울철 에너지를 더 많이 소비하였다는 것으로 판단된다. Fig. 8은 공조기 Heating coil의 에너지 소비량을 나타낸 것으로 CASE 1보다 CASE 2인 Dual Maximum 컨트롤 로직이 겨울철에 더 많은 에너지를 소비하였다는 것을 나타낸다. 이러한 원인은 VAV 터미널 박스의 최소풍량 설정에 있다고 할 수 있다. CASE 1의 경우 겨울철 재열시 최소풍량은 냉방시 최대풍량의 30%인 $17.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 존에 공급이 된다. 이중 신선외기 도입량은 $9.44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 약 55%이며 나머지는 리턴에어가 차지한다. 이에 반해, CASE 2인 Dual Maximum의 경우 겨울철 재열시 최소풍량은 $9.44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 존에 공급이 되고, 최소 외기 도입량을 만족시키기 위하여 100% 외기를 도입하게 된다. 따라서 혼합공기의 온도가 CASE 2의 경우 CASE 1의 경우보다 상대적으로 낮기 때문에 공조기에서 일정한 공급온도를 공급하기 위한 Heating coil 에너지가 많이 사용되었다고 판단된다.

재열코일 에너지 소비량과 공조기의 Heating coil의 에너지 소비량을 고려한 전체 보일러 가스 소비량은 CASE 1과 비교하여 CASE 2에서 1776MJ이 감소하였으며, 약 13.5%가 감소하였다.

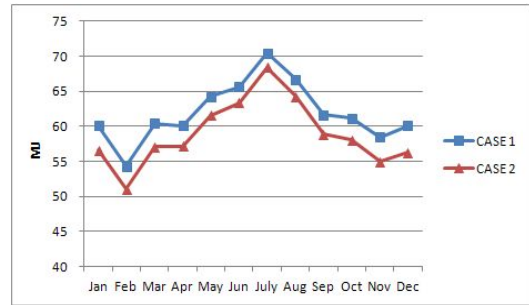


Fig. 5 Fan electric consumption

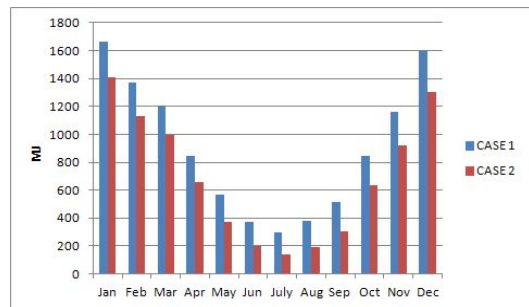


Fig. 6 Reheat coil energy consumption

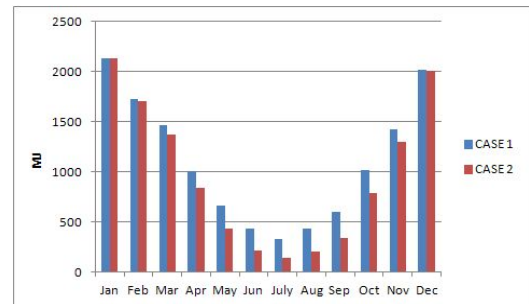


Fig. 7 Boiler gas consumption

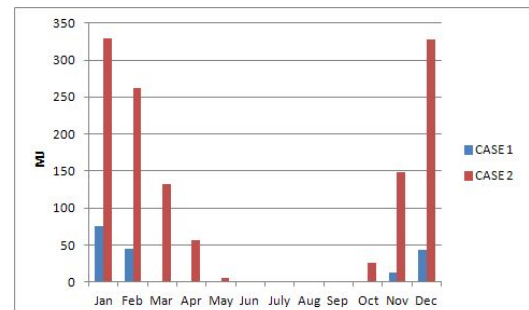


Fig. 8 Heating coil energy consumption

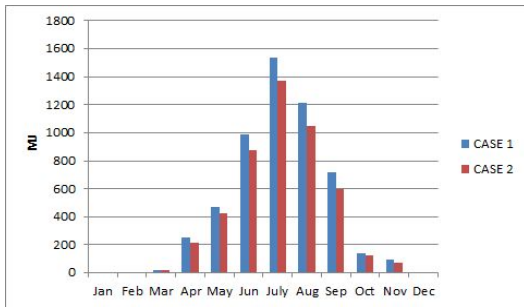


Fig. 9 Cooling coil energy consumption

Fig. 9는 공조기 쿨링 코일 에너지 소비량을 나타낸 것이다. Single Maximum 컨트롤 로직을 적용한 CASE 1의 경우 에너지 소비량은 5425.1MJ이며, Dual Maximum 컨트롤 로직을 적용한 CASE 2의 경우 4749.0MJ의 에너지 소비량을 나타내었으며, 약 12.5%의 에너지 소비량 감소를 나타내었다. 따라서, 최소풍량이 감소함에 따라 공조기 내의 쿨링 코일 에너지 소비량이 감소함을 알 수 있다.

Table 4는 CASE별 각 기기의 에너지 소비량을 나타낸 것이다. 전체 존의 에너지 소비량은 Single Maximum 컨트롤 로직을 적용한 CASE 1에서 25554.5MJ, Dual Maximum 컨트롤 로직을 적용한 CASE 2에서 23884.5MJ로 약 6.5%의 감소율을 나타내었다.

Table 4 Energy consumption comparison(MJ)

	CASE 1	CASE 2
Fan	743.3	707.8
Reheat coil	10,820.8	8,263.9
Heating coil	177.7	1,288.6
Cooling coil	5,425.1	4,749.0
Boiler	13,259.6	11,483.7

4.4 실내 열환경 및 실내 공기질 분석

실의 열환경을 분석하기 위하여 실의 설정 온도를 만족하지 못하는 시간을 분석하였다. 실의 설정온도는 연간 24°C이며, 제어 편차는 0.2°C이다.

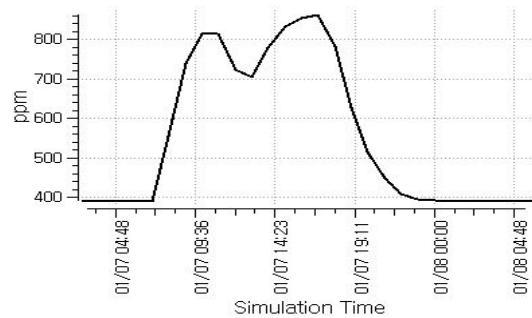


Fig. 10 CO₂ concentration of CASE 2(Winter peak)

실내 열환경 분석결과 CASE 1과 CASE 2의 경우 모두 시뮬레이션 기간동안 냉·난방 설정온도를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 Dual Maximum 컨트롤 로직을 사용하여 최소풍량을 감소시켜도 실내 온열환경에는 문제가 없음을 나타낸다고 할 수 있다.

실내 공기질 분석은 오염물질에 따라서 여러 가지 요소가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 실내 이산화탄소(CO₂) 농도를 분석하여 실내 공기질을 판단 하였다. 실내 이산화탄소(CO₂) 발생량 기준은 사무용 건물의 경우 1000ppm으로 규정하고 있다.⁴⁾

실내 이산화탄소(CO₂) 발생량 분석결과 CASE 1의 경우 연간 최대 실내 CO₂ 농도는 862ppm, CASE 2의 경우는 865ppm으로 모두 겨울철에 최고치를 나타내었다. 이러한 값은 사무실의 실내 CO₂ 기준인 1000ppm보다 낮으므로 CASE 1과 CASE 2 모두 실내 공기질 기준을 만족 한다는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 CASE 2의 실내 CO₂ 발생량을 나타낸 것이다.

5. 결 론

VAV 터미널 박스의 컨트롤 로직을 적용하여 최소풍량의 변화에 따른 에너지 및 열환경, 실내 공기질 분석을 하였으며 본 연구의 결론은 다음과 같다.

4) 보건복지부 위생관리법 제 8조 2항

- (1) 기존의 Single Maximum 컨트롤 로직과 Dual Maximum 컨트롤 로직의 에너지성능 분석 결과, 터미널 박스의 최소풍량을 더 낮출 수 있는 Dual Maximum 컨트롤 로직에서 팬의 전력 및 재열코일의 에너지 소비량이 감소하는 것을 알 수 있다.
- (2) 공조기 내의 히팅코일의 경우 Dual Maximum 컨트롤 로직을 적용 하였을 때, 터미널 박스의 낮은 최소 풍량으로 인하여 상대적으로 혼합공기에서 외기가 차지하는 비율이 높아지게 된다. 이에 따라 겨울철 차가운 외기에 의한 공조기 히팅코일 에너지 소비량이 증가한 것으로 판단된다.
- (3) 공조기 내의 쿨링코일의 경우 최소풍량 감소에 의하여 에너지 소비량이 감소함을 알 수 있다.
- (4) VAV 터미널 박스에 Dual Maximum 컨트롤 로직을 적용하였을 경우 실내 열환경 및 실내 공기질 기준을 모두 만족 하였다. 따라서, 존의 부하와 최소 환기량에 맞는 최소풍량과 Heating Maximum을 결정하여 Dual Maximum 컨트롤 로직을 적용한다면 효과적으로 에너지를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2012012791)임.

References

1. ASHRAE, 2001, Thermal Comfort, ASHRAE Fundamentals Handbook, Ch.8
2. ASHRAE, 2004, ASHRAE Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy
3. ASHRAE, 2004, ASHRAE standard 62-2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (IAQ)
4. ASHRAE, 2001, ASHRAE Fundamentals Handbook, Ch. 45
5. Cho, Y.H., and M. Liu., 2009, Minimum Airflow Reset of Single Duct VAV Terminal Boxes, Building and Environment, v.44 n.9, pp.1876-1885
6. Cho, Y.H., and M. Liu., 2010, Application of terminal box optimization of single-duct air-handling units, International Journal of Energy Research, v.34 n.1, pp.54-66
7. Chen, S. and S. Demster, 1996, Variable Air Volume Systems for Environmental Quality, McGraw-Hill
8. Energy Design Resources, 2009, Advanced Variable Air Volume VAV System Design Guide
9. Lee, H., Choi, B.J., and Kim, Y.S., 1997, A Study on the Optimum Supply Air Volume for Energy Conservation in VAV System Zoning, Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architecture Institute of Korea(Planning & Design), v.17 n.6, pp.831-838
10. Kang, S.H., Yu, S.W., and Cho, Y.H., 2011, The Analysis of Energy Performance and Thermal Comfort for the Dual Maximum Control Logic at the VAV Terminal Box, Proceeding of Autumn Annual Conference of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, pp.105-108
11. Office Occupancy, Schedule for Occupancy, User's Manual for ANSI/ASHRAE/IESNA Standard90.1-2004
12. Seo, J.U., and Huh, J.H, 2002, Energy Performance Analysis through Supply Fan's Control Strategies for the VAV System in the Cooling Season, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp.419-424