Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 27, No. 12 (2015), pp.633-638
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2015.27.12.633

RTS-SAREK을 이용한 사무용 건물의 나이트 퍼지 성능 평가

Night Purge Evaluation Using the RTS-SAREK in Office Buildings

신동신(Dongshin Shin)[1†], **박성근**(Sungkeun Park)[1], **박영수**(Youngsoo Park)[1], **박지수**(Jisu Park)[1], **이진영**(Jinyoung Lee)[2]
[1]홍익대학교 기계시스템디자인공학과, [2]한일엠이씨
[1]*Department of Mechanical System Design Engineering, Hongik University, Seoul, 04066, Korea*
[2]*Himec Co., Ltd., World Meridian Biz-center, 53, Yangsan-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 07271, Korea*

(Received September 3, 2015; revision received October 6, 2015; Accepted: October 28, 2015)

Abstract This study evaluates the capacity of night purging in office buildings to reduce the cooling load. RTS-SAREK is used to estimate the performance of night purging on the steady state. To overcome steady state RTS program limitations, we added unsteady heat transfer equations. When the ACH (Air Change per Hour) increases, the wall temperature decreases in both the steady and unsteady states. The unsteady heat transfer rate is different from the steady transfer rate, which validates the unsteady calculation. When ACH is low, the heat transfer rate increases continuously with time. When ACH becomes higher, the heat transfer rate increases and decreases with time. When ACH is quite high, there exists a large difference in the heat transfer rate between the steady and unsteady calculations, which emphasizes the importance of the unsteady calculation.

Key words Night purge(나이트퍼지), Cooling load(냉방부하), Office building(사무용 건물), RTS method(복사시계열법), RTS-SAREK(부하해석프로그램)

† Corresponding author, E-mail: *dsshin@hongik.ac.kr*

기호설명

W	: 소요동력 [W]
$\dot{Q}$	: 열전달율 [W]
h	: 대류열전달계수 [W/m^2-K]
A	: 면적 [m^2]
T	: 온도 [K]
m	: 질량 [kg]
C_p	: 비열 [J/kg-K]
δt	: 시간변화량 [s]
ACH	: 단위시간 당 환기량 [m^3/h]

하첨자

∞	: 외기
s	: 벽체

1. 서 론

우리나라는 수입자원 의존도가 96.5%에 육박하고 OECD 국가 중 에너지 소비량이 10위에 해당될 정도로 많은 에너지를 소비하고 있다.[1] 그중 건물에서 소비하는 에너지는 약 21.7%를 차지하고 있어[2] 건물 에너지 수요를 줄일 필요성이 있다. 이에 건물 에너지의 많은 비중을 차지하는 여름철 냉방 에너지 수요를 획기적으로 줄일 수 있는 외기냉방의 일환인 나이트 퍼지를 사무용 건물에 적용하여 그 성능을 검증하고자 한다.

나이트 퍼지란 야간에 외기 댐퍼와 지붕 배기구를 개방하여 자연 배기의 구동력에 의해 외기를 실내로 도입하는 방법이다. 실내 온도보다 낮은 야간 외기의 온도를 이용해 실내의 온도를 낮추고, 이를 유지시켜 주간의 부하를 낮추는 것이 나이트 퍼지의 목적이다.

현재 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. Geros et al.[3]의 연구에서는 실험적이고 이론적인 도구들을 이용하여 다양한 구조, 환기방법, 기후 조건을 가진 실제 건물에 대해 야간 환기기술의 가능성에 대해 연구하였다. 또한, 다양한 형태의 건물의 열적 특성에 대해 야간환기 기술의 한계에 대해 알아보았다. Lynch and Hunt[4]는 인접한 두 개의 층을 가진 아트리움 모델을 만들고 이를 통해 나이트 퍼지의 효과에 대해 연구하였다. 그들은 따뜻한 공기의 흐름을 모델링하여 나이트 퍼지를 적용할 수 있는 일반적인 시간 스케일을 정함으로서

ⓒ SAREK

자연환기 아트리움 빌딩에서의 나이트 퍼지 메커니즘을 이해하고자 하였다. Park and Rhee[5]은 건물 에너지 소비에 영향을 미치는 요소를 파악하고, 하절기 냉방기간 동안 에너지 절약 성능을 분석하여 냉방 에너지 절감방안을 제시하였다. Yoon[6]은 여름철 실제 Mock-up 실험실에서 측정한 자연환기량을 바탕으로 에너지 시뮬레이션을 이용하여 자연환기 도입에 따른 환기량의 변화가 냉방장치 가동에 미치는 영향에 대해 분석했다. 또한, 기상 데이터를 입력조건으로 TRNSYS를 이용한 냉방부하 시뮬레이션을 수행하였다.

일반적인 냉방 시스템은 시뮬레이션 적용 벽체 구성, 대상건물의 시뮬레이션 설정조건 등 다양한 수치를 사용하여 자연환기 시스템을 구성하고 있다. 하지만 이러한 과정은 설계 단계에서 냉방부하를 계산하는 시간이 오래 걸려 실무에서 적용하기에 많은 노력과 적지 않은 비용을 요구한다.

본 연구는 대한설비공학회에서 만든 RTS-SAREK 부하계산 프로그램을 사용하고, 비정상 열전달 해석을 이용하여 프로그램을 보완하는 방식으로 연구를 진행하며 프로그램을 이용한 부하분석과 나이트 퍼지에 대한 효용성 제시를 목적으로 한다.

본 연구를 바탕으로 건물의 냉방부하를 계산하는 시간을 단축시키고 아직 우리나라에는 많이 적용되어 있지 않은 나이트 퍼지를 더욱 광범위하게 적용하는 것이 목적이다.

2. 해석 모델링

2.1 RTS 법의 소개

RTS 법(복사시계열법)은 열평형법에서 파생된 설계 냉난방 부하계산을 실행하기 위한 간단한 방법이다. RTS 법은 TFM 법, CLTD/CLF 법, TETD/TA 법과 같은 다른 방법들을 효과적으로 대체할 수 있다.

Fig. 1은 RTS 법의 개요를 나타낸다. An et al.[7]과 Kim et al.[8]의 연구에서 RTS 법의 개념을 인용하였다. RTS 법은 태양복사, 창문을 통한 전달 태양 열취득, 상당외기 온도차 그리고 침입공기를 계산하는 데 있어서 이전의 방법인 TFM 법과 TETD/TA 법과 동일하나, 전도 열취득 계산, 모든 열취득의 복사와 전도 부분으로의 분할, 복사 열취득의 냉방부하로 변환이 가능하다.

RTS 법은 설계 냉방부하의 정상적이고 주기적인 조건을 가정한다. 따라서 특정 시간과 구성요소의 열취득은 24시간 전의 열취득과 같고, 이는 48시간 전의 열취득과 같다.

2.2 대상건물 선정

본 연구에서는 대상건물을 한일 MEC에서 설계한 현재 준공 예정인 P건물로 선정하였다. 건물의 대지면적 991 m^2, 건축면적 483 m^2, 연면적 2,752 m^2이며 총규모는 지하 1층~지상 4층이다.

본 연구에서는 1층과 2층을 대상으로 선정하였다. 1층에는 로비, 경비실, 복도, 복합문화공간, 임대공간이 있으며, 2층에는 사무실 1, 사무실 1-2, 복도, 탕비실이 있다. Fig. 2와 Fig. 3은 P건물 1층과 2층의 평면도를 보여준다.

2.3 날짜 선정

대상건물이 위치한 서울 지역의 기상 자료를 이용하여 날짜를 선정하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 하절기 냉방기간을 2014년 5월 1일에서 2014년 9월 30일까지 5개월간으로 제한하였다. 날짜를 선정함에 있어 기

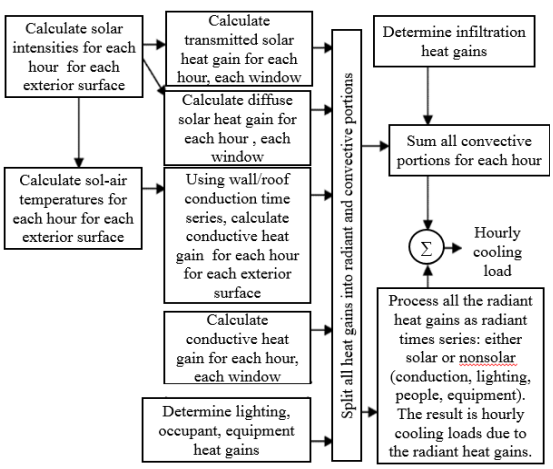


Fig. 1 Outline of RTS method.

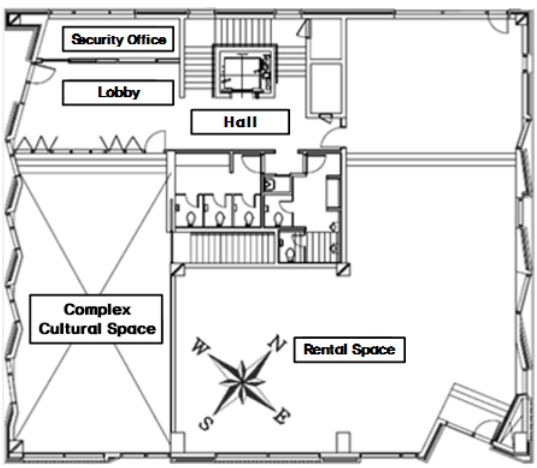


Fig. 2 First floor plan for simulation.

ⓒ SAREK

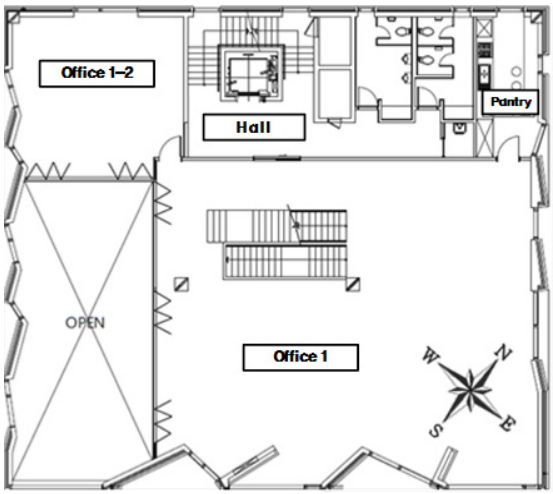


Fig. 3 Second floor plan for simulation.

상청의 지상관측 자료에서 날씨 정보를 인용하였다. 습도가 높아서 현열보다 잠열에 의한 부하가 높아 나이트 퍼지를 적용하기 어려운 날은 제외하였고 온도, 습도, 일교차를 고려하여 평균에 가장 가까운 날인 2014년 9월 9일로 선정하였고 온도는 TAC 2.5% 기준을 사용하였다.

2.4 주간부하 해석과정

건물의 주간부하 해석을 위해 RTS-SAREK 프로그램의 외기온습도 조건에 2014년 9월 9일의 건구온도, 습도, 일교차를 입력하였다. 룸 개요와 실내 공기의 조건, 실내유리 정보는 창문과 벽의 개요를 입력하였고, 실내 지붕, 벽, 간벽 정보는 실제 건물 데이터를 입력하였다. 건물에서 사무실의 결과를 자세히 알기 위해 사무실 1과 사무실 1-2의 냉방부하를 도출하였다.

2.5 야간 열전달율 해석과정

RTS-SAREK은 벽체의 온도를 일정하게 유지하며 열전달율을 계산한다. 정상상태를 가정하고 해석하는 프로그램이므로 야간 열전달율을 해석함에 있어 정확성이 떨어진다. 따라서 대류열전달 방정식을 사용하여 비정상상태의 결과 값을 구하고 두 값을 비교하였다.

야간에 발생하는 열전달율을 측정하기 위해 사무실 1을 다음과 같이 설정하였다. 한일 MEC에서 제공받은 데이터로부터 천정고 3.6 m, 면적 229.1 m^2의 공간을 설정하고 가로 15.1 m, 세로 15.1 m의 정사각형 형태의 공간으로 가정하였다. 외벽 재료는 콘크리트로 정하였고 밀도는 2,100 kg/m^3, 비열 C_p는 837 J/kg-K를 사용하였다. 사무실 1-2도 마찬가지로 3.6 m, 면적 51.5 m^2의 공간을 설정하고 가로 7.2 m, 세로 7.2 m의 정사각형 공간으로 가정하였다. 외벽 재료와 밀도, 비열은 사무실 1과 같은 값을 사용하였다.

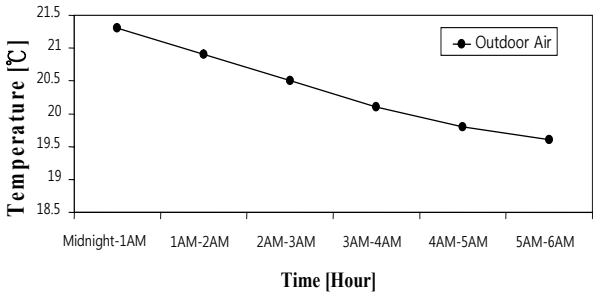


Fig. 4 Variation of outdoor air temperature with time.

사무실 1과 사무실 1-2은 벽 표면과 내부의 온도가 동일하여 온도구배가 없고 내부 구조체의 질량을 창문의 질량으로 대체한다고 가정하였다. 또한 초기표면온도는 28℃, 초기 외기 온도는 24시의 야간 외기온도로 가정하였다. 따라서 24시부터 6시까지로 대상시간을 설정하여 1시간 간격으로 변화량을 계산하였다.

식(1)~식(3)는 대류 열전달 방정식과 집중용량법을 이용하여 시간에 따른 변화량을 구하는 과정을 나타낸다. T_∞는 외기온도, T_s는 벽체의 온도를 의미한다.

$$h = \frac{\dot{Q}_i}{A(T_{\infty,i} - T_{s,i})} \tag{1}$$

$$T_{s,i+1} = T_{s,i} + \frac{\dot{Q}_i \delta t}{m C_p} \tag{2}$$

$$\dot{Q}_{i+1} = hA(T_{\infty,i+1} - T_{s,i+1}) \tag{3}$$

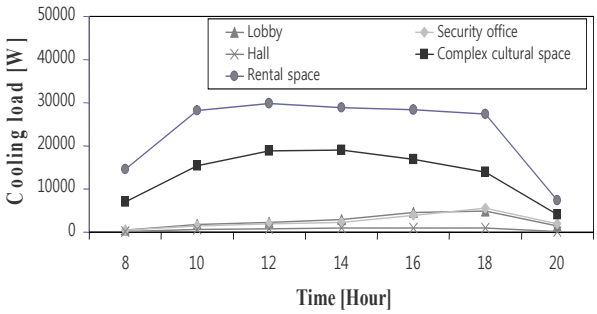
Han et al.[9]은 공조기 운전시간 동안 외기온도에 따른 총 제거열량, 단위 풍량 당 제거열량 및 운전 개시시점 대비 실내공기 온도차의 변화를 제시하였다. 이때 외기온도는 하루 동안 끊임없이 변화하므로 그 대표값으로 일간 평균 온도를 사용하였다.

본 논문에서는 대류열전달식에서 초기열전달율과 초기외기온도는 RTS-SAREK으로 구하였다. 외기온도는 RTS-SAREK에서 TAC 온도인 오후 3시 기온을 입력하여 ASHRAE에서 제공하는 계산식을 적용한 시간별 야간 외기 온도를 사용하였다. Fig. 4는 시간별 야간 외기 온도를 나타낸다.

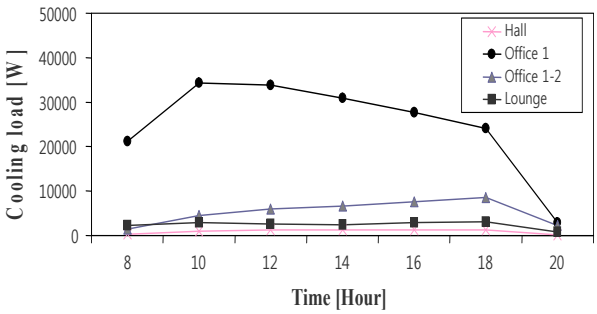
3. 해석 결과

3.1 주간부하 해석

8시부터 20시까지의 1층과 2층의 주간 냉방부하를

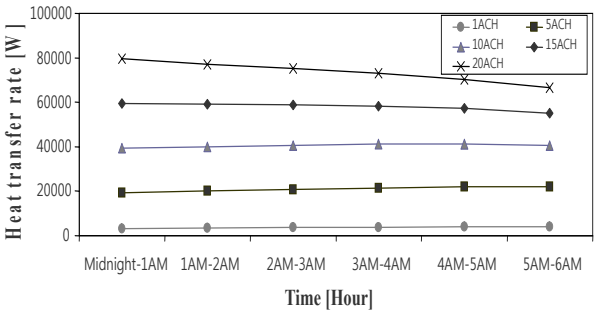


(a)

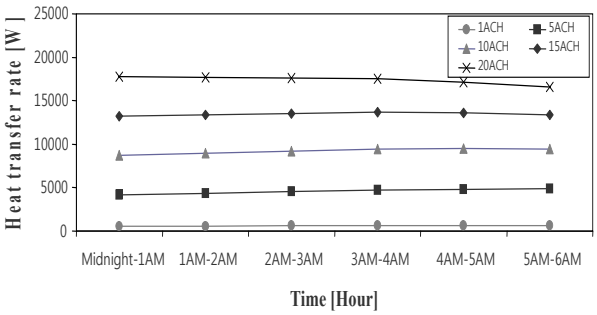


(b)

Fig. 5 Cooling load at daytime, (a) first floor, (b) second floor.



(a)



(b)

Fig. 6 Heat transfer rate at unsteady state in (a) office 1, (b) office 1-2.

Fig. 5로 나타냈다. 냉방부하는 냉방에 필요한 제거해야 할 현열 및 잠열의 전 합계량을 의미한다. 각 실의 냉방부하는 인체, 전등, 기기, 유리부하 등 다양한 요소의 영향을 받았다. 1층에서는 각 실의 크기에 비례하여 냉방부하가 나타났다. 크기가 가장 큰 임대공간에서 가장 큰 냉방부하가 나타났고 크기가 작은 경비실과 로비는 냉방부하 값이 작게 나타났다. 대부분의 실에서 유리부하가 가장 큰 비중을 차지하였고 사무실의 위치에 따라 서쪽에 있는 경비실과 로비에서 18시로 갈수록 냉방부하가 증가하는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서는 사무공간인 사무실 1과 사무실 1-2를 집중적으로 분석하였다. 1층과 마찬가지로 사무실에서도 유리부하가 50%가까이 차지하고 있어 가장 큰 영향을 끼친다.

사무실 1은 동쪽에 있고 사무실 1-2는 서쪽에 위치하고 있다. 햇빛의 영향에 따라 유리부하가 변하므로 사무실 1에서는 유리를 통한 열취득이 10시에 최대를 나타내고 사무실 1-2에서는 유리를 통한 열취득이 18시에 최대를 나타낸다.

3.2 야간 열전달율 해석

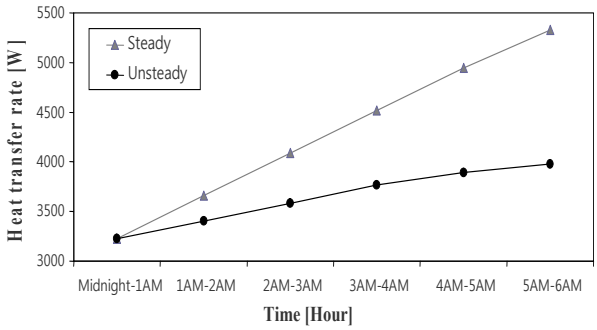
Fig. 6은 사무실 1과 사무실 1-2의 실내 표면과 실내 공기 사이의 열전달율 결과를 보여준다. 열전달율은 열전달에 따른 전열량의 비율을 의미한다. 사무실 1의 크기가 더 크기 때문에 사무실 1-2에 비해 전체 열전달율이 크다. 또한 사무실 1과 사무실 1-2 모두 ACH가 증가할수록 대류 열전달 계수가 커지므로 열전달율이 커진다.

사무실 1과 사무실 1-2의 경우 1 ACH, 5 ACH에서 시간이 지날수록 벽면온도의 감소율보다 외기온도의 감소율이 더 커서 열전달율이 점점 커진다. 사무실 1과 사무실 1-2 모두 10 ACH부터 시간이 지날수록 벽면온도의 감소율보다 외기온도의 감소율이 더 낮아서 열전달이 더 적어지는 구간이 발생한다.

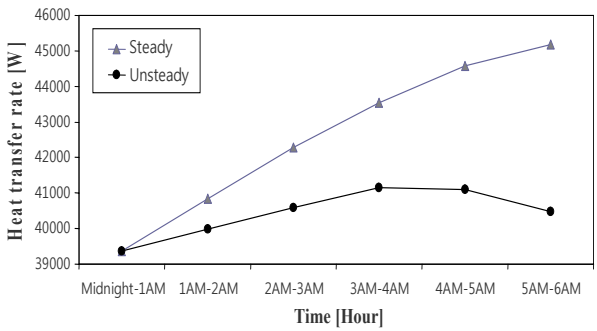
Fig. 7은 사무실 1에서 1 ACH, 10 ACH, 20 ACH일 때의 열전달율을 보여준다. 정상상태일 때보다 비정상상태일 때 실내의 표면의 온도가 많이 떨어져서 열전달율이 적은 것을 볼 수 있다. 1 ACH인 경우 열전달율이 증가하는 경향만을 볼 수 있으나 10 ACH부터 열전달율이 감소하는 구간이 나타나고 20 ACH인 경우에는 열전달율이 감소하는 경향만을 보이게 된다. 사무실 1-2도 사무실 1과 비슷한 경향을 보였다.

Fig. 8은 ACH에 따른 열전달율의 변화를 보여준다. 시간이 지날수록 정상상태와 비정상상태의 차이가 커짐을 알 수 있으며 5시에서 6시의 결과를 나타냈다. 사무실 1에서 1 ACH의 경우 1,350 W의 차이가 발생하였지만 20 ACH의 경우 차이가 23,000 W로 매우 커졌다.

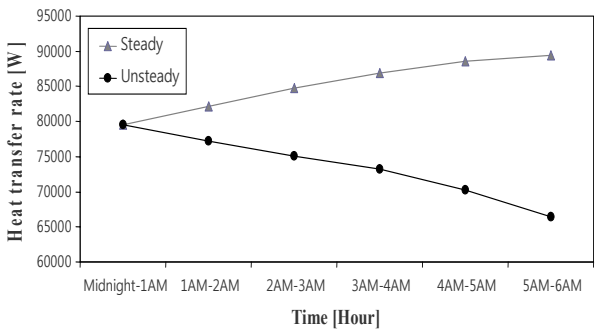
ⓒ SAREK



(a)



(b)

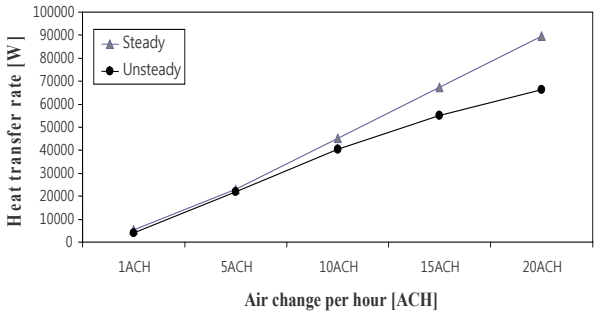


(c)

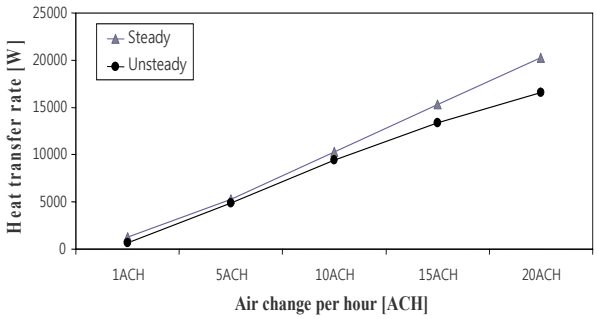
Fig. 7 Heat transfer rate with time in office 1 (a) 1 ACH, (b) 10 ACH, (c) 20 ACH.

Fig. 9는 6 AM에서 ACH에 따른 온도를 나타낸 것이다. 비정상상태에서는 ACH가 증가할수록 온도가 떨어졌으며 시간이 지날수록 감소량이 더욱 커졌다. 1 ACH에서는 온도가 거의 감소하지 않았지만 20 ACH의 경우 사무실 1에서는 3.3℃, 사무실 1-2에서는 2.5℃ 만큼 감소한다. 이러한 벽체의 온도 변화는 축냉 효과를 보여준다.

정상상태는 벽체의 온도가 일정하다고 가정하므로, 벽체의 시간별 온도를 계산하여 반영하는 비정상상태보다 외기 온도와의 차이가 더 크다. 따라서 온도 차이에 따라 정상상태와 비정상상태의 열전달율 차이가 발생한다.



(a)



(b)

Fig. 8 Heat transfer rate with ACH in (a) office 1, (b) office 1-2 from 5 AM to 6 AM.

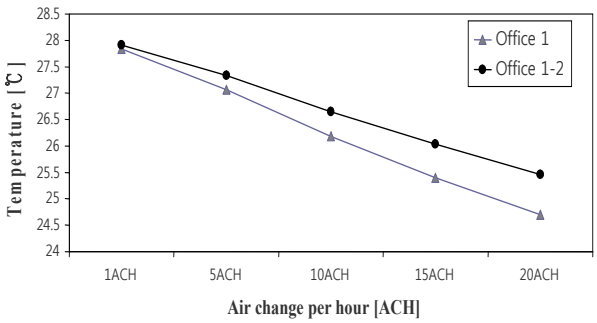


Fig. 9 Inside temperature with ACH on office 1 and 1-2 at 6 AM.

4. 결 론

본 연구에서는 사무용 건물의 냉방부하를 감소시키기 위해 나이트 퍼지를 적용하였고, 나이트 퍼지 적용 전후의 열전달율 값을 비교 분석하였다. 비정상 열전달 해석을 이용하여 건물 내 각 공간에 대한 열전달율을 계산하여 야간 외기에 따른 벽체온도 변화량을 예측하였고, RTS-SAREK의 한계점을 보완하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) ACH가 증가할수록 대류열전달계수의 증가로 열전달율이 커져서 벽체의 온도의 감소율은 점점 커진다.

20 ACH의 경우 사무실 1에서는 3.3℃, 사무실 1-2에서는 2.5℃만큼 감소한다. 따라서 ACH가 증가할수록 나이트 퍼지 적용 전과 비교하여 주간냉방부하는 작아질 것이다.

(2) 정상상태인 경우 시간에 따라서 열전달율이 계속 증가하지만 실제 현상에 가까운 비정상상태인 경우 ACH에 따라 열전달율이 감소하는 구간도 발생하여 정상상태와 다른 결과를 보이게 된다.

(3) 대상 건물에서 비정상 열전달 해석을 이용하여 계산한 경우 열전달율은 시간에 따라서 ACH가 적을 경우 계속 증가하나 ACH가 증가함에 따라 감소하는 구간이 발생하게 된다.

(4) ACH가 증가할수록 시간에 따라서 열전달율이 증가하고 정상상태와 비정상상태의 열전달율 결과값의 차이는 1ACH의 경우 1,350 W, 20 ACH의 경우 23,000 W로 ACH가 증가할수록 커졌다.

마지막으로, 현재 RTS-SAREK만을 이용하여 열전달 해석을 할 수는 없지만, 본 연구에서 제시한 비정상 열전달 해석까지 포함하여 데이터베이스화 한다면 더욱 정확한 예측이 가능하고 기존의 설계시간을 효과적으로 단축할 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. Kim, Y. M., Yoon, J. I., and Son, C. H., 2013, Power reduction cooling system using outdoor air, Journal of the korean society for power system engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 12-16.
2. Nam, J. W. and Won, J. S., 2008, A case study on heating and cooling load reduction in office building, Proceeding of KIEAE Autumn Annual Conference, Vol. 15, pp. 209-212.
3. Geros, V., Santamouris, M., Tsangrasoulis, A. and Guarracino, G., 1999, Experimental evaluation of night ventilation phenomena, Journal of Building and Environment, Building and Environment, Vol. 29, pp. 141-154.
4. Lynch, P. M. and Hunt, G. R., 2011, The night purging of a two-storey atrium building Journal of Building and Environment, Building and Environment, Vol. 46, pp. 144-155.
5. Park, C. B. and Rhee, E. G., 2011, Study on the performance evaluation of low energy cooling systems in office building, peak cooling and heating load calculation method, Proceeding of SAREK Summer Annual Conference, 11-S-207, pp. 994-997.
6. Yoon, J. Y., 2012, Hourly cooling load of air conditioner in naturally ventilated apartment, MS thesis, Hanyang University.
7. An, S. H., Song, D. S., and Kim, K. S., 2014, A comparison of RTS with EnergyPlus as peak cooling and heating load calculation method, Proceeding of SAREK Winter Annual Conference, 14-W-030, pp. 122-125.
8. Kim, K. S., Kim, Y. C., and Oh, M. D., 2008, Introduction of RTS method and load calculation program, Proceeding of SAREK Summer Annual Conference, 08-S-176, pp. 1067-1072.
9. Han, G. S., Hwang, J. H., Lee, K. H., and Lee, T. W., 2015, A study on the reduction of the cooling energy in office building by night purge, proceeding of SAREK Summer Annual Conference, 15-S-050, pp. 190-193.

ⓒ SAREK