

## 실온제어에 따른 공동주택의 난방에너지 분석

박 유 원, 유 호 선\*, 김 용 식\*\*, 홍 희 기†

경희대학교 대학원 기계공학과, \*승실대학교 기계공학과, \*\*청운대학교 건축환경설비학과,  
† 경희대학교 기계산업시스템공학부

### Analysis of Heating Energy in Zone-Controlled Apartment Houses

Yoo Won Park, Hoseon Yoo\*, Yong-Shick Kim\*\*, Hiki Hong†

Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

\*Dept. of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

\*\*Dept. of Architectural Environment Eng. and Building Services, Chungwoon Univ., Hongsung 350-701, Korea

† School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

**ABSTRACT:** This paper deals with heating energy estimation in Korean-style apartment houses, paying special attention to the difference in heating control. Two types of heating mode are taken into account: continuous single-zone from district heating and scheduled multi-zone from individual gas heating. In the latter, zones during unoccupied period remain unconditioned. Also addressed in this work are the dependencies of heating energy on the location and floor size. The estimation adopts the dynamic load calculation using TRNSYS 15. For all the simulated cases, the scheduled multi-zone heating appears to be more energy-efficient than the continuous single-zone mode. It is expected that with appropriate control devices, heating energy can be saved by employing a multi-zone mode in apartment houses.

**Key words:** Thermal load(열부하), Heating Energy(난방에너지), TRNSYS, Building energy simulation(건물 에너지 시뮬레이션), Zone control(존별 제어)

### 1. 서 론

대규모 건축물의 증가와 쾌적한 주거환경의 요구, 각종 설비시스템의 발달 등으로 인하여 건축물의 에너지 소비량은 점차로 증가하고 있는 실정이다. 결국 전체 에너지소비량의 25% 정도를

점하는 건물부문에서 열밀도가 높은 공동주택의 에너지관리는 높은 관심의 대상이 될 수밖에 없다. 또한 최근 실시된 정부의 인구 및 주택 총조사에서 아파트 주거의 비율은 47.7%로 보고됐으며 이 비율은 주택보급률을 높이고 한정된 국토에서의 효율적인 택지이용을 위하여 계속적으로 증가할 것으로 예상된다.<sup>(1)</sup> 따라서 공동주택에서 거주자의 생활형태에 따라 에너지가 어떻게, 얼마나 소비되고 있는가를 파악하고 에너지 소비량을 예측하는 것은 에너지의 유효활용이란 측면에서 대단히 중요하다고 할 수 있다.

† Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

특히 1970년대 초기 아파트부터 최근에 고단열 중대형 고층 아파트에 이르기까지 아파트의 난방 방식은 중앙난방방식에서 개별난방방식으로 변화되고 있는 추세이다. 아파트에 중앙난방 시스템을 사용하는 경우, 대부분 간헐난방방식을 채택하고 있는데 이는 간헐난방방식이 각 세대에서 난방에 신경을 쓰지 않아도 되는 장점이 있기 때문이다. 그러나 난방 공급 및 제어기능의 수동적인 작동은 일시적인 과열현상, 과열시 사용자의 강제환기로 인한 열손실, 설비용량의 과대설계, 예열 및 축열 부하 증대 및 실내온도 변화폭 증가 등의 문제점을 가져온다. 이와 같은 많은 문제점 때문에 최근 대부분의 공동주택들이 개별난방이나 지역난방을 선호하는 추세이다.

이러한 사회적 추세와 에너지 절약의 한 방편으로서 본 연구에서는 선행연구인 공동주택의 위치별·층별 난방에너지분석에 후속으로 최근 공동주택 증가하고 있는 개별난방 방식을 해석프로그램을 사용하여 모사하고 난방에너지의 경향을 파악하였다. 또한 다실 공간에서 존별 제어 방식에 따른 난방 에너지를 분석하여 에너지절약의 가능성을 제시하였다. 해석의 도구로 사용될 건물에너지 시뮬레이션 프로그램은 다양한 종류가 있으며, 그 개요와 특징에 관해서는 문헌을 참조하기 바란다.<sup>(2)</sup> 본 연구에서는 사용자 관점에서 건물열에너지 해석프로그램의 신뢰성을 검증한 기존연구의 바탕으로 건물의 동적열부하계산에 용이한 TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation) 15를 사용하였다.<sup>(3)</sup>

## 2. 난방에너지 해석

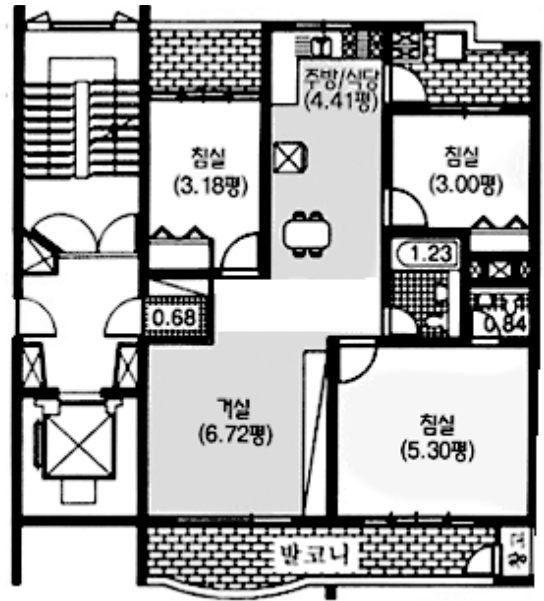


Fig. 1 The plan of an actual apartment house.

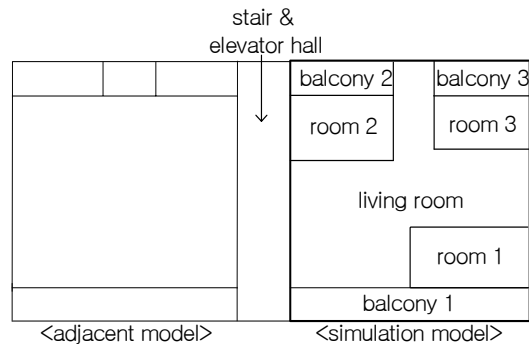


Fig. 2 A simplified model.

Table 1 Thermophysical properties of wall materials.

Material	Thermal conductivity [W/mK (kcal/mh°C)]	Specific heat [kJ/kgK (kcal/kg°C)]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
Gypsum board	0.21 (0.18)	1.13 (0.27)	910
Expanded polystyrene	0.035 (0.03)	1.25 (0.30)	28
Concrete	1.62 (1.40)	0.79 (0.19)	2400
Autoclaved lightweight concrete	0.17 (0.15)	1.09 (0.26)	600
Mortar	1.51 (1.30)	0.79 (0.19)	2000
Leveling Mortar	0.37 (0.20)	0.79 (0.19)	2000
Double windows	Overall heat transfer coefficient 2.8 W/m <sup>2</sup> K		

## 2.1 해석 대상

해석 대상은 단위세대의 전용면적이 84.7 m<sup>2</sup> (32평)로서 방위는 남향, 천장고는 2.3 m인 모델을 설정하였다.

해석 대상인 32평형 아파트의 실제 평면도가 Fig. 1이다. 외벽에 상당한 요철이 있고 발코니의

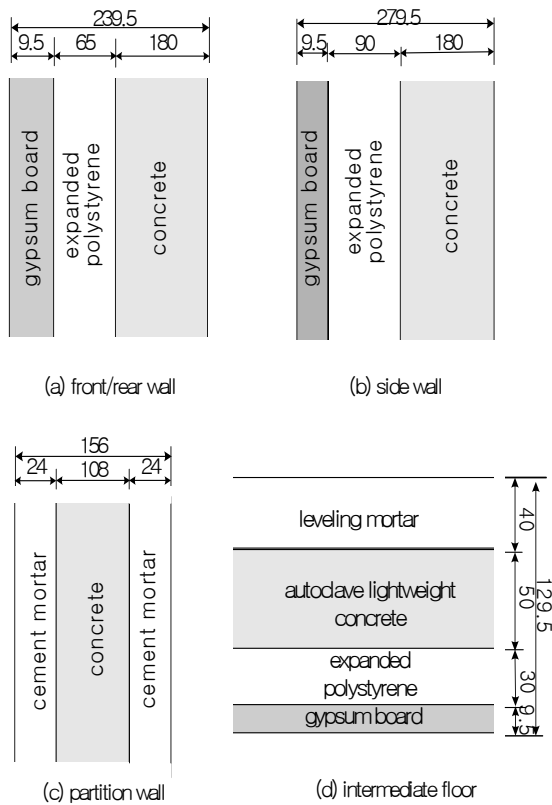


Fig. 3 Detail of each composite wall.

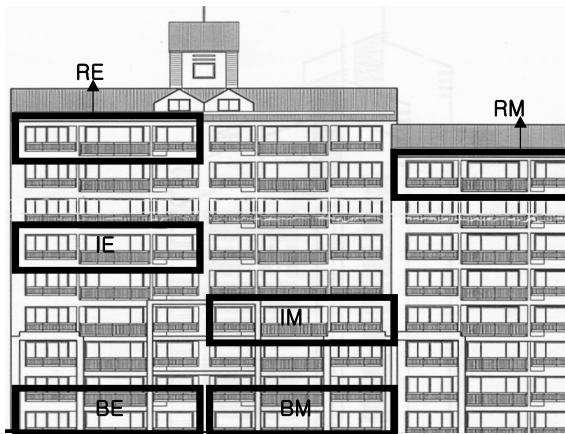


Fig. 4 The position of models considered in this study.

Table 2 Reference conditions for thermal load calculation.

Item	Reference condition
Indoor state	24°C
Period and pattern of conditioning	From October to March Continuous heating for all day long
Ventilation	1 ACH

형상도 복잡하다. 해석을 수행할 많은 경우에 대비하여 불필요한 정보의 입력을 피하고 효율적인 계산을 수행하기 위해서는 대상을 단순화할 필요가 있다. 따라서 계산의 편의성을 위하여 설계조건이 상이한 모든 계산에 대해서 단순화한 모델을 적용하였다. 여기서 모델의 단순화 원칙은 건평이 동일한 것이 아니고, 둘레의 길이가 같도록 설정함으로써 벽 및 창을 통해서 손실되는 열량이 같도록 고려하였다. 아파트의 구조를 Fig. 2와 같이 내부공간, 3개의 발코니로만 구성하고, 각각의 형상을 정형화한 해석 모델을 설정하였다. 실제 모델(Fig. 1)과 단순화된 모델(Fig. 2)간의 열부하 차이는 최대 3%로 용인할 수준으로 보고된 바 있다.<sup>(4)</sup>

단순화시킨 해석 모델(Fig. 2)에서 중간세대의 경우 인접세대 및 상하의 세대는 실내조건이 같다고 가정하여 발코니를 통한 열교환만 고려하였다. 하지만 열교환이 없는 경우에도 벽체의 축열 효과가 존재하므로 각 벽체별 구조 및 물성은 입력되어야 하며, Fig. 3 및 Table 1에 이를 정리하였다.<sup>(5)</sup>

Fig. 4에 위치별·층별 해석모델을 아파트 정면도에 표시하였다. 여기서 B(Bottom)는 최하층, I(Intermediate)는 인접한 중간층, R(Roof)은 최상층을 의미하며, 각층의 중간세대를 M(Middle), 측벽세대를 E(End)로 부기하였다.

## 2.2 기준조건 및 계산조건

본 연구에서는 가장 일반적인 형태로 출시된 상태에 발코니 새시유리를 추가한 것을 해석 모델에 일괄적으로 적용하였다. 한편, 발코니 활용에 따라 상당한 열부하의 차이가 있으며 이에 대한 효과가 보고된 바 있다.<sup>(6)</sup> 해석에 사용된 실내 상태, 난방기간 및 시간, 계절별 환기량 등을

Table 3 Regulation on insulation materials used for the apartment in central Korea.

Wall type	Minimum thickness[mm]	Thermal conductivity [W/mK]
Front/Rear wall	65	0.034 or less
Bottom floor	50	
Top floor	110	
Side wall	90	

Table 2에 수록하였다. 일사의 차폐계수(shading coefficient)는 블라인드나 커튼의 개폐를 고려하여 구조에 무관하게 0으로 설정하였으며 인접한 건물(동)에 의해 일사의 방해받지 않는 것으로 가정하였다. 환기량은 1회/시간을 취하였다.

또한 각 건물(동)에 따라 지붕의 구조가 다소 차이가 있었으나 벽체구조는 동일하였으므로 본 연구에서는 가장 보편적인 지붕의 모양을 설정하였고, 지하실은 천장고가 2.9 m인 밀폐된 완전지하로 설정하였다. 지중온도는 최근 4년 동안 10월부터 3월까지 측정된 평균값인 15.57°C로 설정하여 경계조건으로 부여하였다. 한편 해석모델에 적용한 벽체의 단열조건은 Table 3에 명시한 것처럼 2001년에 개정된 ‘건축물의 에너지 절약설계기준’에서 규제한 각 벽체의 단열조건을 적용하였다.

단순화한 해석 모델을 대상으로 준별제어를 수행하기 위해서는 각 존(room1, room2, room3, living room)에 대한 적절한 실험대상과 난방시간을 결정해야 한다. 한국의 세대당 평균 구성원의 수는 3.4인이므로<sup>(7)</sup> 본 연구에서는 연구의 편의성을 위해 세대 구성원이 가장, 전업주부 및 2인의 학생 자녀로 구성된 4인 가족을 설정하고

Table 4 Living behavior and heating schedule.

Time	Housewife	Others
	living room	room 1, 2 & 3
00:00 - 08:30	in	in
10:00 - 11:00	out	out
11:00 - 13:00	in	
13:00 - 15:00	out	
15:00 - 18:00	in	in
18:00 - 24:00		

한국의 1일 1인 평균 재택시간이 약 14.8시간<sup>(7)</sup>임을 감안하여 가장과 2인의 자녀는 8시 30분부터 18시까지 외출한다고 가정하고, 주부는 약 3시간정도 외출한다고 설정하였다. 특히 주부의 1일 외출 빈도는 2회이므로<sup>(7)</sup>, 주부는 오전에 1회 1시간, 오후에 1회 2시간의 외출은 한다고 가정하고 생활 패턴 스케줄을 작성하여 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 in과 out은 각각 재실과 외출을 의미하며, in인 경우, 그 방(존)은 난방모드로 설정하여 24°C로 유지되도록 하고, out인 경우, 외출모드로 설정하여 비공조공간으로 유지되도록 하였다.

또한, 주부가 공동주택 내에 거주하고 있는 경우, 주로 거실에서 거주한다고 설정하고 거실만 난방하는 것으로 하였고, 가장과 자녀의 외출시 room 1, room2, room3은 출입이 거의 없는 것으로 간주하고 외출모드로 설정하였다.

### 2.3 동적열부하계산

본 연구에 사용한 동적 열부하계산법은 응답계수(response factor)와 가중치 계수(weighting factor)를 기초로 하고, 건물 구조체의 축열 영향까지를 고려한 방식이다.<sup>(8)</sup>

따라서 동적 열부하계산 프로그램에 사용되는 입력자료로는 외기조건, 벽체의 구성재료, 건물방위 등이 있다. 또한 재실자수, 조명기구의 점등률 등과 같이 사용조건에 따라 변동하는 요소들은 스케줄 데이터에 의하여 지정하고, 블라인드의 개폐가 실내 온습도 조건 및 외기 도입량의 변동 값을 지정하는 등 각종 제어 스케줄을 지정한다.

외기조건은 시각별 건구온도, 절대습도, 일사량, 풍향, 풍속 등으로 구성된다. 외기조건은 대한설비공학회가 제공하는 서울의 표준기상자료를 TRNSYS에서 요구하는 형식으로 변환하여 입력하였다. 기본적으로 TRNSYS는 동적 열부하계산이지만, 해석에 설비 및 제어계통의 포함 여부에 따라 energy rate control과 temperature level control로 구별된다. 전자는 공간을 유출입하는 열량으로부터 실온의 변화를 계산하고 설정온도와의 차이로부터 부하를 계산하는 해석방법으로서, 공간 자체의 부하특성을 파악하는 데 적합하다. 그러나 여기에 사용되는 난방설비는 이상적인 것으로 실제 열부하와는 다소 차이를 보이게

Table 5 Comparison of location-dependent heating energy between Simulations A and B.

Model	Simulation A [GJ]	Simulation B [GJ]	Difference [%]
Model RM	31.2	27.6	-11.5
Model RE	34.1	30.1	-11.7
Model IM	27.8	22.0	-20.9
Model IE	30.3	24.3	-19.8
Model BM	34.9	31.1	-10.9
Model BE	37.2	33.5	-9.9

된다. 반면에 후자는 실제 냉난방기기에서 공급 혹은 제거할 수 있는 열량이 직접적으로 반영되므로 건물에 설비의 영향이 포함되는 실제 상황의 열부하 및 운전모사가 얻어진다. 여기서는 건물 자체의 에너지평가가 목적이므로 energy rate control을 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 존별제어에 따른 난방에너지

해석 모델의 각 존별 시뮬레이션 결과를 Table 5에 나타내었다. Simulation A는 발코니를 제외한 세대전체를 공조공간으로 간주하고 24시간 연속으로 난방을 가정하고 계산을 수행한 것으로서 지역난방방식을 모사하였고, Simulation B는 Table 4에 명시한 것처럼 스케줄을 설정하여 각 존별로 계산을 수행한 것으로서 LNG 개별난방방식을 모사하였다. 각 모델의 위치별·층별 난방에너지 차이 및 고찰은 기존연구에서 보고되었으므로 본 연구에서는 언급하지 않겠다.<sup>(8)</sup>

계산 결과를 살펴보면 Simulation A보다 Simulation B의 난방에너지가 약 10~20%정도 작은 것을 알 수 있다. 이는 세대전체를 일정한도로 유지하여 난방을 하는 방식(지역난방)보다는 세대 거주자의 재실여부에 따라 난방을 하는 방식 혹은 거주자의 상황에 맞게 직접 설정온도 및 난방을 결정하는 방식(LNG 개별난방)이 실내 열환경 및 에너지 절약차원에서 효율적임을 나타낸다. 특히 이러한 계산 결과는 앞서 언급한

Table 6 Comparison of floor size-dependent heating energy between Simulations A and B.

Model	Simulation A [GJ]	Simulation B [GJ]	Difference [%]
25 IM	19.9	16.1	-19.1
25 IE	22.0	18.8	-14.5
32 IM	27.8	22.0	-20.9
32 IE	30.3	24.3	-19.8
45 IM	36.0	29.3	-18.6
45 IE	38.2	31.4	-17.8

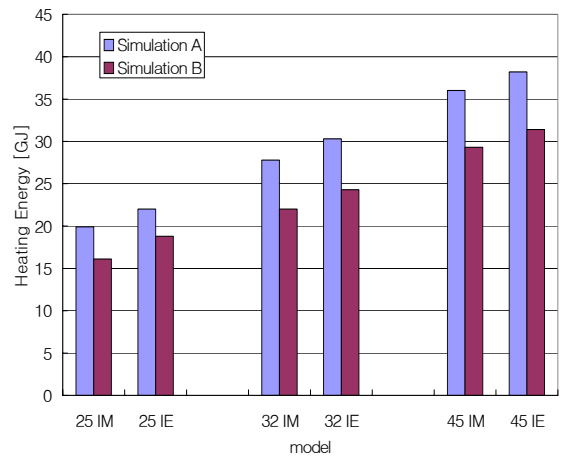


Fig. 5 Comparison of floor size-dependent heating energy between Simulations A and B.

한국의 난방방식인 지역난방보다는 LNG 개별난방의 에너지 절약면에서 효율적임을 나타낸다. 실제 기존 연구에서 수행한 난방방식에 따른 에너지사용 실태조사와도 비슷한 경향을 보이고 있다.<sup>(9)</sup> 물론 에너지 사용량 외에도 여러 가지 인자와 난방방식별로 각각 장단점이 있기 때문에 어떠한 난방방식이 거주자 관점에서 가장 효율적이고 유용한지 여부는 본 연구에서는 언급하지 않고 에너지 사용량 관점에서만 접근하였다.

#### 3.2 전용면적에 따른 존별제어 난방에너지

전용면적에 따른 지역난방(Simulation A)와

LNG 개별난방(Simulation B)의 난방에너지를 비교하고 그 계산 결과를 Table 6과 Fig. 5에 나타내었다.

해석모델은 각각 전용면적이 59.8 m<sup>2</sup>(25평), 84.7 m<sup>2</sup>(32평), 119.8 m<sup>2</sup>(45평)인 서울소재 공동주택이며, 단순한 중간층의 중간세대만을 기준으로 계산을 수행하였다. Table 6과 Fig. 5를 보면 전용면적에 관계없이 Simulation A보다 Simulation B의 난방에너지가 약 17~18%정도 작은 것을 알 수 있는데 이는 전용면적에 상관없이 존별로 스케줄을 주어 난방하는 방식(Simulation B)가 24시간 연속으로 전체세대를 난방하는 방식(Simulation A)에 비해 난방에너지가 절감한다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

지금까지 공동주택을 대상으로 존별제어에 따른 난방에너지를 분석하기 위하여 TRNSYS 15를 이용하여 해석을 시도하였다.

단순화시킨 해석모델을 설정하여 24시간 연속으로 전체 세대를 난방하는 방식(Simulation A, 지역난방)과 스케줄을 설정하여 각 존별로 제어한 난방방식 (Simulation B, LNG 개별난방)을 계산한 결과 Simulation B가 Simulation A에 비하여 상대적으로 적은 난방에너지가 발생하였다. 이것은 Simulation B(LNG 개별난방)가 사용자가 직접 운영관리를 해야 한다는 번거로움은 있을지라도 거주자의 요구에 따라 난방의 on/off 제어 및 온도조절이 자유롭기 때문에 실제 세대에서 소비되는 난방에너지 사용량이 Simulation A(지역난방)보다 적은 것을 나타낸다. 즉 에너지 절약 차원에서 볼 때 LNG 개별난방이 지역난방보다 훨씬 효율적임을 나타낸다. 물론 최근에 사용되는 지역난방도 일부 존별제어가 용이한 구조를 취하고 있으므로 이를 적극적으로 채용할 필요가 있다.

본 연구에서는 설정온도와 환기횟수를 고정하고 단순히 스케줄만 설정하여 존별제어의 난방에너지를 분석했지만, 정확한 설정온도와 환기횟수를 고려하고 이러한 인자에 따른 난방에너지 영향도 차후 수행되어야 할 것이며, 단순한 계산을 수행하여 예측하는 것보다 정확한 실험 및 실태조사를 병행하여 서로 비교·분석을 해야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. Korean National Statistical Office, 2000, The census of population and residence 2000, Report of residence, pp. 44-45
2. Hong, T., Chou, S. K., and Bong, T. Y., 2000, Building simulation: an overview of developments and information sources, Building and Environment, Vol. 35, pp. 347-361
3. Hyun, S. K., Hong, H. and Yoo, H., 2002, Verification experiment and calculation of heating load for a test space, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 153-160
4. Yoo, H., Hyun, S. K., and Hong, H., 2002, Effects of various factors on the energy consumption of Korean-style apartment houses, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 972-980
5. Kim, Y. H. and Park, J. W., 1999, The newest air conditioning equipment, Bomundang, pp. 462-463
6. Park, Y. S., Lee, E. T. and Hong, H., 2000, Effect analysis on the thermal load by balcony of apartment house, Proceedings of the SAREK, pp. 117-121
7. Hong, W., Bae, H., Kim, S. and Choi, M., 1998, A study on the energy consumption by the life style of resident in apartment houses, Korean Journal of AIK, planning & design, Vol. 14, No. 6, pp. 193-200
8. Park, Y. W., Hyun, S. K., Yoo, H., Kim, Y. and Hong, H., 2003, Pattern of energy consumption according to the position for Korean-style apartment houses, Proceedings of the SAREK, pp. 1054-1059
9. Lee, B. J., Chung, D., Lee, S. and Hong, H., 2003, An study on energy consumption according to the heating method type apartment, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, submitted