

ORIGINAL ARTICLE

부산지역에서의 기상 수치모의 자료를 이용한 건축물 에너지 분석

이귀옥 · 김민준 · 이강열 · 강동배 · 박창현¹⁾ · 이화운¹⁾ · 정우식^{2)*}

디엠제이 시스템 기업 부설 연구소, ¹⁾부산대학교 대기환경과학과, ²⁾인제대학교 대기환경정보공학과

Analysis of Building Energy using Meteorological Numerical Simulation Data over Busan Metropolitan Areas

Kwi-Ok Lee, Min-Jun Kim¹⁾, Kang-Yeol Lee, Dong-Bae Kang, Chang-Hyoun Park¹⁾,
Hwa-Woon Lee¹⁾, Woo-Sik Jung^{2)*}

R&D CenteR DMJ System, Busandaehak-ro 63beon-gil, 201, 6103-4 Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

¹⁾Division of Earth Environment System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²⁾Department of Atmospheric Environment Information Research center Inje University, Gimhae 621-749, Korea

Abstract

To estimate the benefit of high-resolution meteorological data for building energy estimation, a building energy analysis has been conducted over Busan metropolitan areas. The heating and cooling load has been calculated at seven observational sites by using temperature, wind and relative humidity data provided by WRF model combined with the inner building data produced by American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE). The building energy shows differences 2-3% in winter and 10-30% in summer depending on locations. This result implicates that high spatiotemporal resolution of meteorological model data is significantly important for building energy analysis.

Key words : EnergyPlus, Building energy analysis, Weather data, Heating energy, Cooling energy

1. 서론

올여름 최대의 에너지 위기를 경험하면서 에너지 절약에 대한 관심이 지속해서 증대되고 있다. 우리나라 에너지 소비 구조에 따르면, 건물 환경에서의 에너지 소비현황은 전체 국가 에너지 소비의 25%에 달하는 것으로 보고되고 있다(Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 2011). 이에 지

식경제부에서는 100대 전략 후보 기술에 “건물 또는 집단 에너지 최적 운영 시스템” 분야를 선정해 놓고 있다. 또한, 건축물에서의 에너지 절약을 유도하기 위해 공공주택 및 업무용 건축물에서 건축물 에너지효율등급 인증을 시행하던 것이 2013년부터 모든 건축물로 건축물 에너지 효율 등급 인증 대상을 확대하였으며 총면적 합계 500m² 이상의 모든 건축물에 대하여 건축물 에너지 절약 계획서를 제출하도록 하였다.

Received 12 December, 2013; Revised 6 February, 2014;

Accepted 13 March, 2014

*Corresponding author : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

Phone: +82-55-320-3932

E-mail: wsjung1@inje.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

건물에서의 에너지 절약을 유도할 수 있도록 건물의 설계단계에서부터 에너지 성능을 평가하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션이 개발되고 보급이 많이 이루어졌는데, 이러한 해석 방법론에 의한 에너지 부하의 차이를 확인하기 위해서는 정확한 기상자료의 입력이 중요하다.

기상데이터는 건축물의 열환경 분석을 위하여 건물의 열적 부하를 계산하는 데 있어 반드시 필요한 중요한 요소 중 하나이다. 기상데이터로 가장 많이 이용되는 것 중에는 외기 온도, 상대습도, 수평면 일사량, 풍향, 풍속 등이 있으며, 특히 일사량은 건물의 내부 및 외부환경에 영향을 미치는 중요한 열원이다. 일사량은 건물디자인과 열환경 분석에서 실질적으로 얼마나 정확한 분석이 이루어지는지 결정할 수 있는 매우 중요한 기상 자료 중 하나이다. 그리고 일사량은 잘 이용하면, 건물의 외부환경 질을 개선하고 에너지 소비를 줄일 수 있는 자연에너지의 중요한 근원이다. 또한 외기온도(건구온도와 습구온도)와 상대습도 그리고 풍향 및 풍속 등도 중요한 기상자료 요소들이다. 특히 건물의 열적 부하 계산에서 건구온도와 상대습도는 중요한 요소이다(Seo and Choi, 2009).

고효율 건물 에너지 관리 기술동향(Park et al., 2011)에서 밝히고 있듯이 건물 에너지 관리 시스템(BEMS, Building Energy Management System)은 건물환경에서 사용되는 에너지를 절감하기 위하여 건축설비 자동화 시스템 환경을 구축한 건물에 에너지 및 환경에 대한 센서 기술을 도입하여 에너지 소비 현황을 파악하고 에너지 소비를 효율적으로 사용할 수 있는 에너지 설비 및 건물 환경을 운용하도록 하는 시스템을 의미한다. 이러한 시스템은 실제 기상관측정보와 기상예측정보에 따라 시스템 운용에 많은 영향을 미칠 수 있다. 이러한 건물에너지 분석을 위해 2009년 2월에 1986년에서 2005년까지 20년간의 기상자료를 이용하여 서울, 대전, 대구, 광주, 부산, 인천 및 울산지역에 대해 대한민국 표준 연간 기상자료를 작성하여 한국태양에너지 학회에서 제공하고 있다(Yoo et al., 2008 ; Park and Yoo, 2008). 이들 자료는 기본적으로 기상대 유인관측소 자료를 이용하여 건물에너지 분석에 이용할 수 있도록 한 것인데, 에너지 분석을 위한 자료의 공간 해상도는 한국 전체에 대하여 단 7지점의

광역시 자료를 이용하도록 하고 있다. 건물의 에너지 분석에 있어 가장 중요한 요소는 기상요소이나 기상요소의 관측은 상당히 제한적으로 이루어지는 것이 현실이므로 다양한 지점에 대한 에너지 분석을 실시할 경우 보다 상세한 공간해상도가 필요하다 할 수 있다. 현재 계산기의 능력과 기상 수치모의의 정확성의 발전과 함께 기상학적으로 살펴볼 때 앞으로, 건물에너지 분석에 수치모의 자료를 활용하여 공간 해상도의 향상을 통해 건물 에너지 분석이 더욱 정밀해 질 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 1년간의 기상 수치모의 자료를 이용하여 같은 건물에 대해 건물 에너지를 분석함으로써 기상 수치모의 자료의 활용 가능성을 살펴보는 것과 동시에 수치모의 자료를 활용한 공간 해상도 확대를 통해 같은 건물을 부산지역의 다양한 지역에서 건설할 경우 건물에너지사용이 어떻게 달라지는지 알아보려고 하였다.

2. 연구방법

본 연구에 사용된 기상 수치모델은 WRF(Weather Research and Forecasting)의 연구용 모델인 ARW(version 3.2)로 완전 압축성, 오일러 비정역학적 방정식 계를 사용하고 있으며 지형을 따르는 정역학적 기압연직 좌표계와 Arakawa C-grid staggering을 격자로 사용한다. 본 수치모의에 사용된 물리과정은 경계층에

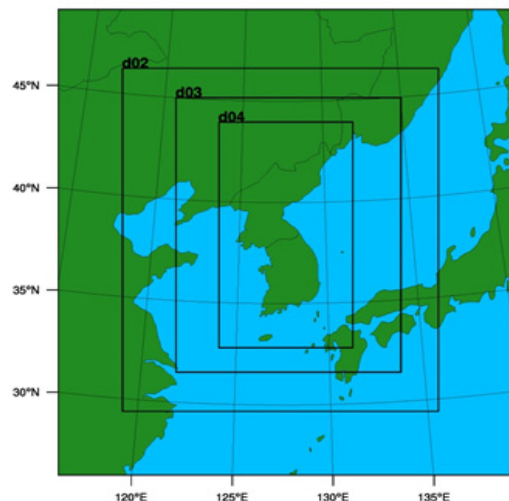


Fig. 1. WRF model domains used in this study.

Table 1. Configuration for the WRF numerical simulation

	D01	D02	D03	D04
Horizontal grid	86×96	187×211	415×211	796×1222
Horizontal resolution(km)	27	9	3	1
Vertical grid	33 layers			
Physics options	YSU PBL Scheme MM5 similarity Surface Layer Scheme Noah LSM Scheme Kain-Fritsch Cumulus Scheme WSM 3 Micro Physics Scheme RRTM & Dudhia Radiation Scheme			
Initial data	NCEP Final Reanalysis data(FNL)			

는 YSU PBL scheme을 이용하였고 RRTM Longwave와 Dudhia Shortwave 복사 과정을 이용하였으며 기타 옵션은 Table 1과 같다. 수치모의는 2010년을 대상으로 Fig. 1과 같은 실험영역에서 1년간 이루어졌으며, 건물 에너지 분석의 기상자료로 활용하기 위해 Table 2와 같은 변수를 이용하여 부산지역에서의 압력, 건구온도, 습구온도, 상대습도, 풍향, 풍속의 지점별 시계열 자료를 이용하여 건물에너지 분석에 이용하였다.

건물에너지 분석에 이용된 모델은 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)에서 2001년에 최초 버전인 1.0을 발표한 후 지속해서 업그레이드하고 있는 EnergyPlus라는 building energy simulation software이다. EnergyPlus는 열평형법을 사용하는 정밀 시뮬레이션 프로그램으로써, 건물의 설계 초기 단계부터 실시단계까지 모든 단계에서 사용 가능하고 정확성이 상당한 수준이며 상세 수준의 결과 값을 도출할 수 있으며 실 부하, 시스템부하, 플랜트 부하 등의 통합된 시뮬레이션 해석이 가능한 장점이 있다. 또한, 신재생 에너지를 건물에 설치한 경우 에너지 발전량을 계산하여 건물에너지 해석에 고려할 수 있다. 그러나 시뮬레이션을 위해 많은 양의 정보와 입력 값을 요구하는 단점이 있다(U.S Department of Energy, 2012)

본 연구에서는 여러 가지 복잡한 초깃값을 요구하고 있는 EnergyPlus를 이용하기 위해서 Openstudio라는 프로그램을 이용하여 건물에너지 분석을 수행하였다. Fig. 2는 Openstudio에서 건물에너지 분석을 실행

하였을 때 결과를 보여주는 화면이다.

건물에너지 분석을 수행하기 위해 단순한 아파트 건물을 Sketchup 프로그램을 이용하여 연구대상 건물을 설계하였고(Fig. 3), 이 건물이 부산지역의 임의의 지역(AWS 지점 근처로 가정)에 건설할 경우 수치모의 된 기상자료를 이용하여 같은 건물이라 할지라도 공간적으로 어떻게 달라지는지 살펴보고자 하였다.

실제 수치모의 된 기상자료를 표준 기상 데이터와 같은 포맷으로 만들려고 하면 20~30년까지의 자료가 필요하다. 그러나 중규모 기상 수치모의에 걸리는 계산 시간을 고려할 때, 시스템 사양에 따라 차이가 나지만 부산 지역만을 대상으로 1년간의 기상모의를 수행할 경우 기본 계산시간만 2달이 넘게 걸린다. 이를 참작하여 본 연구에서는 기상 수치모의 자료의 건물에너지 분석프로그램에 대한 사용 가능성만 확인하는 차원에서 2010년 1년간의 수치모의 자료를 가지고 건물에너지 분석을 수행하였다. 건물에너지 분석에 사용하기 위해 수치모의 된 1년간 시간별 자료를 사용한 지점은 Fig. 4와 같이 부산기상대 지점(159), 해운대 지점(937), 부산진구 지점(938) 북구 지점(941)이다.

건물 내부 자료는 미국 냉난방공조학회(ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)에서 제공하는 중층아파트에 대한 자료로 하여 실시하였고 그 외 값은 시뮬레이션의 default 값으로 설정하였다.

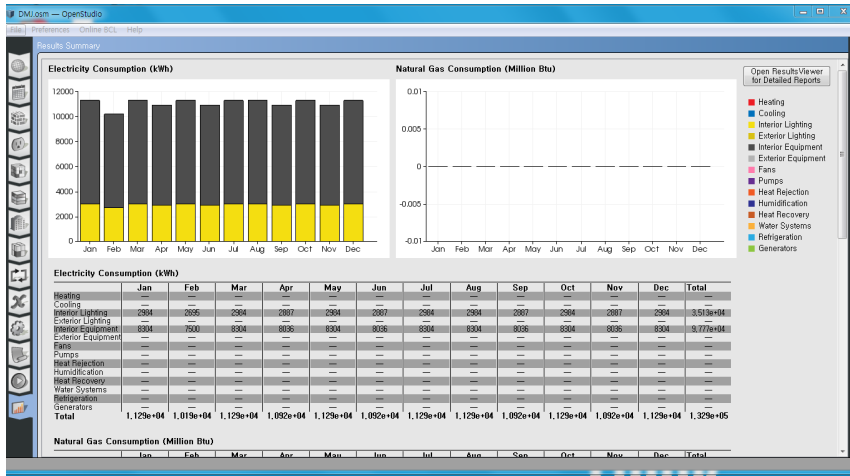


Fig. 2. An example of results display using openstudio.

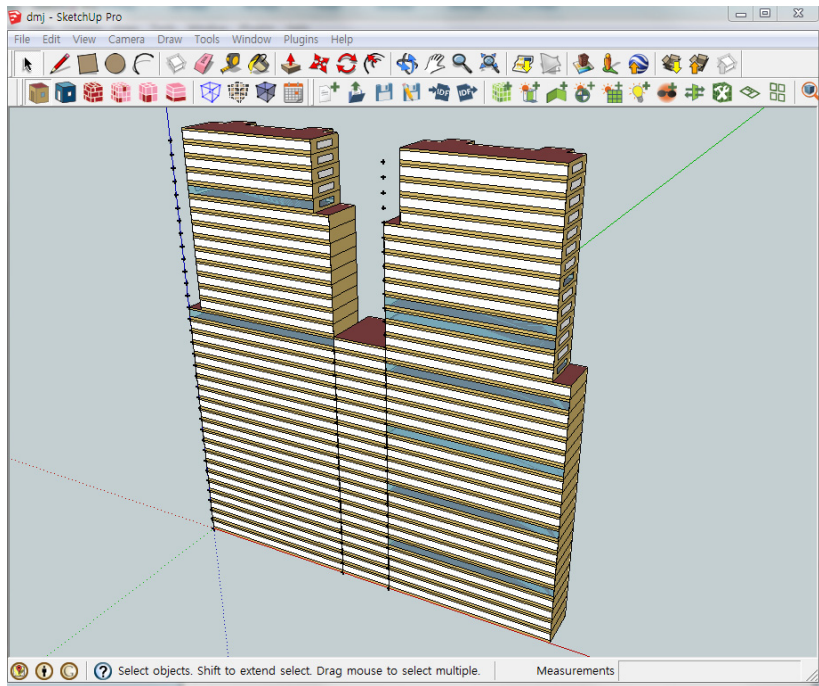


Fig. 3. A Study case building structure on Sketchup program.

Table 2. The variables of WRF output for building energy simulation

variables of WRF output	calculation formula
	$P = (P' + PB)$
	$T = (T + 300) * (P / 1000mb)^k$
	$RH = Q / ((pq0 / P) * EXP (a2 * (T - a3) / (T - a4)))$
	$WS = SQRT (U^2 + V^2)$
	WD = U, V component
	where, k = 0.2854
	pq0 = 379.90516
	a2 = 17.2693882
	a3 = 273.16
	a4 = 35.86
	WT: 1997 Ashrae handbook "Fundamentals"
PB : Base-state Pressure	
P' : Perturbation of Pressure	
T' : Perturbation of Potential Temperature	
QV : Water Vapor Mixing ratio	
U : West-East wind component	
V : South-North wind component	

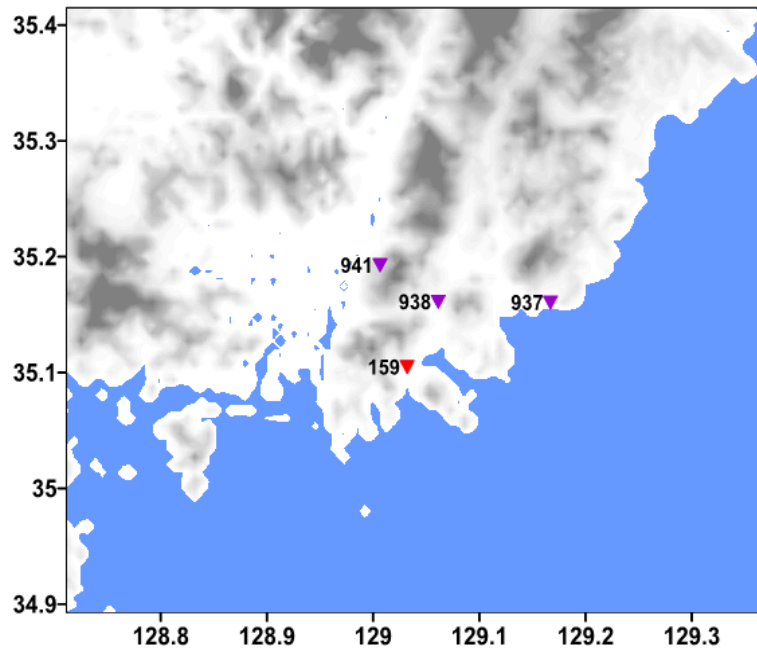


Fig. 4. The points that extract time-series data from WRF simulation data.

3. 연구결과

3.1. 기상 수치모의 결과

WRF 수치모의의 타당성을 살펴보기 위해 기온과 풍속에 대해 부산기상대에서 관측한 값과 수치모의 결과를 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 기온의 경우 2010년 동안 전체적인 패턴이 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며 풍속의 경우 여름철에 최댓값을 다소 낮게 예측하는 경향이 있으나 대체로 잘

일치 하였다.

수치모의 결과를 부산기상대 지점과 비교하여 검증하였을 때 각 요소에 대한 통계 값은 Table 3과 같다. 건물에너지 분석에 있어 건물의 열부하에 중요한 기상요소는 건구온도와 상대습도인데 온도의 경우는 기상대 지점을 기준으로 살펴보았을 때 IOA(Index Of Agreement)가 0.98로 좋은 결과를 상대습도 역시 0.74로 풍속보다 좋은 결과를 나타내고 있었다.

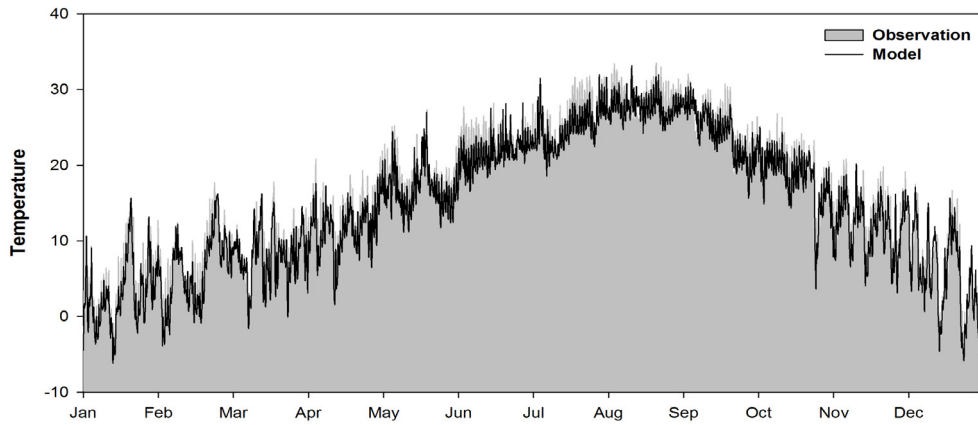


Fig. 5. Time-series of observed temperature and modeled temperature.

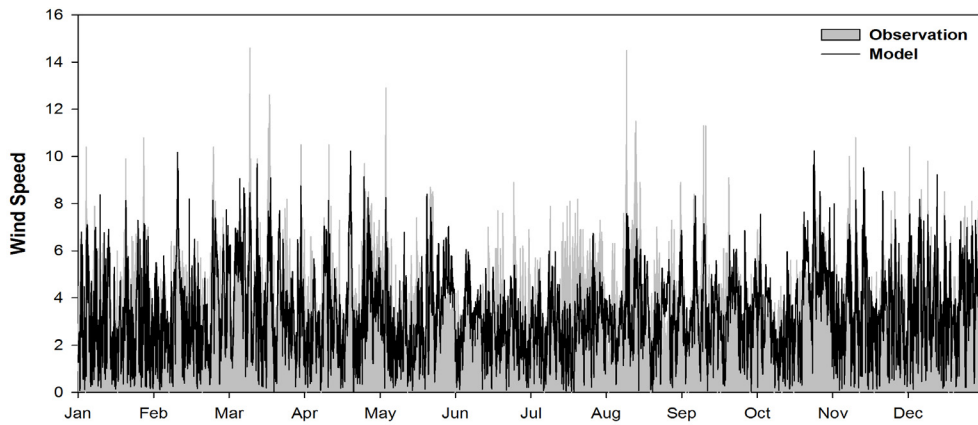


Fig. 6. Same as Fig. 5, bur for wind speed.

Table 3. Statistics of validity for WRF simulation

	R	RMSE	IOA
Air temperature	0.9800	1.8078	0.9897
Wind speed	0.4445	1.8941	0.6719
Relative Humidity	0.8479	11.7631	0.7499

3.2. 건물에너지 분석 결과

1년간의 수치모의 결과에서 부산기상대 지점(159), 해운대 지점(937), 부산진구 지점(938) 북구 지점(941)의 건구온도, 습구온도, 풍속, 풍향, 상대습도자료를 이용하여 EnergyPlus 수행을 통해 대상 건물의 지점

별 냉난방부하를 산출하여 비교하였다.

Fig. 7은 난방부하를 보여주는 그림으로 지점별 월별 난방부하가 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. Table 3은 난방부하를 각 월의 최대치를 기준으로 해서 각 지점의 비를 나타낸 것으로 난방부하가 1월에 해운대 지점에서 가장 크게 나타나고 있으며 부산진구나 북구 지점에서는 난방부하가 3% 적게 나타나는 것을 살펴볼 수 있다.

Fig. 8은 월별 냉방부하를 보여주는 그림이다. 부산 지역의 전체 냉방부하를 비교한 경우 북구에서 냉방부하가 가장 크게 나타났다. Table. 4는 냉방부하를 각 월의 최대치를 기준으로 각 지점의 비를 나타낸 것이

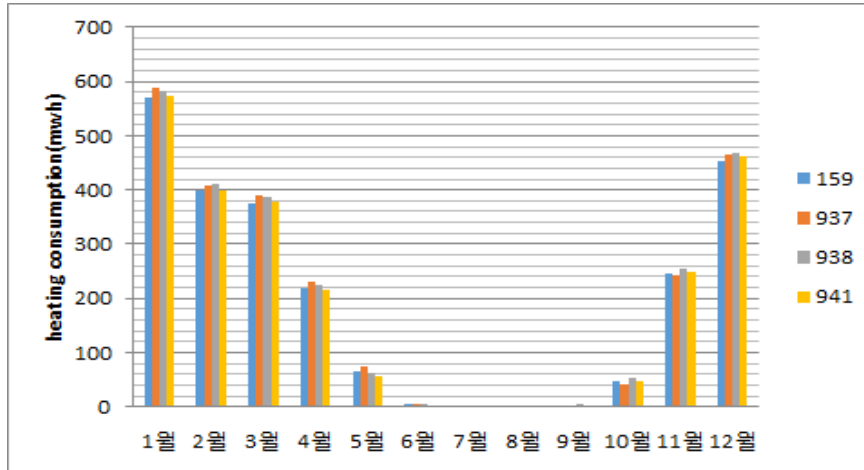


Fig. 7. Comparison of monthly heating consumption at each site.

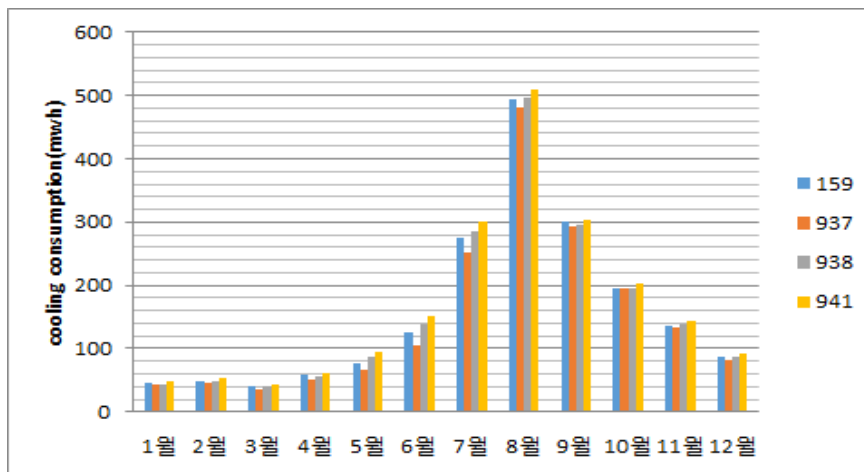


Fig. 8. Same as Fig. 7, but for cooling consumption.

다. 부산지역의 각 관측소에서 예측된 냉방부하는 북구지점에서 가장 높게 나타났으며 냉방부하가 가장 큰 값을 가지는 6, 7, 8월 하계에는 지점별 10~30%까지 차이가 나는 것을 볼 수 있었다.

이러한 결과를 통해 현재 건물 에너지 분석에 표준 기상데이터로 제공되는 광역시 7지점의 자료만으로 건물에너지 평가를 수행하는 것은 상당히 부족함을 알 수 있었다.

Table 5. The ratio of heating consumption at each site to the maximum value of each month

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
159	0.97	0.97	0.96	0.94	0.87	0	0	0	0	0.88	0.96	0.97
937	1	0.99	1	1	1	0	0	0	0	0.81	0.95	0.99
938	0.99	1	0.99	0.98	0.83	0	0	0	0	1	1	1
941	0.97	0.97	0.96	0.93	0.75	0	0	0	0	0.90	0.97	0.98

Table 6. The ratio of cooling consumption at each site to the maximum value of each month

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
159	0.94	0.94	0.94	0.93	0.81	0.83	0.91	0.97	0.98	0.96	0.94	0.93
937	0.88	0.87	0.84	0.83	0.68	0.69	0.84	0.94	0.97	0.96	0.92	0.87
938	0.91	0.91	0.94	0.90	0.91	0.91	0.94	0.97	0.97	0.95	0.95	0.94
941	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

앞으로, 수치모의 자료를 이용하여 충분한 공간 해상도를 가진 표준기상데이터를 마련한다면, 더욱 상세하고 정확한 건물에너지 소비 평가서를 작성하는데 많은 이바지를 할 수 있을 것으로 생각한다.

4. 결론

본 연구에서는 기상 수치모델인 WRF 모형을 이용하여 2010년을 대상으로 부산지역에 대해 1년간 수치모의를 수행하였으며, 수치모의 결과 중 건구온도, 습구온도, 풍속, 풍향, 상대습도자료를 이용하여 건물에너지 분석을 시행하였다. 그 결과 부산지역 내에서도 난방부하의 경우 난방부하가 가장 크게 걸리는 겨울철에 지역별로 2~3% 차이가 나타나는 것을 알 수 있었으며 냉방부하의 경우에는 그 차이가 10~30%까지 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

그러므로 건물에너지 분석에 있어 공간적인 충분한 해상도를 가진 기상데이터가 제공될 필요가 있음을 확인할 수 있었다.

건물에너지 분석에서 표준기상데이터로 이용하기 위해서는 20~30년의 자료를 이용하여 표준 년과 표준 월을 구성하여 사용해야 하나 수치모의 계산에 있어 시간상의 제약으로 우선 1년치 자료를 이용하여 부산지역에서의 국지적인 기상환경에 따른 난방부하와 냉방부하를 계산해 보았다. 앞으로 20~30년간의 장기간의 수치모의 자료를 이용하여 공간 해상도를 보다 정밀하게 하여 표준기상데이터를 작성하게 되면 실용적이고 실질적인 건물에너지 분석이 가능해 질 것으로 기대된다. 이는 친환경 건물 인증뿐만 아니라 건물의 설계단계에서 건축단계 관리단계의 전 과정에 걸쳐 꼭 필요한 자료가 될 것으로 생각한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMIPA2013-12090)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 2011, Green Energy Roadmap
- Park, W. G., Jung, Y. K., Lee, I. W., 2011, Efficient building energy management technology trends, 2011, Electronics and Telecommunications Trends, 26(2) pp.10-20
- Park, S. H., Yoo, H. C., 2008, Analysis of Building Energy by the Typical Meteorological Data, Proceedings of the Korean Solar Energy Society
- Seo, S G., Choe, W. G., 2009, Based on the theory and analysis of building thermal environment, 1st ed., Iljinsa, Seoul, 315-316
- U.S Department of Energy, 2010, EnergyPlus Engineering Reference-The Reference to EnergyPlus Calculation
- Yoo, H. C., Lee, K. H., Park, S. H., 2008, A Comparative Study(Parallel research) on the Typical Meteorological Data of Building Energy Performance Program