

신재생에너지 사용이 도시열섬방지에 미치는 영향에 대한 연구 A Study on the Effects of prevention of the Urban Heat Island by Using New & Renewable Energy

손원득*, 최영식**
Won-Tug Son*, Young-Sik Choi**

<Abstract>

Significant air temperature increases in urban areas are known as the heat island phenomenon in a global scale. Therefore, we use numerical model in order to analyze quantitative effects by using new & renewable energy on the heat island phenomenon in urban area. The present study quantitatively analyzes the Urban Heat Island Effects, Energy-Saving Effects, and Environmental Load Decrease Effect along New and Renewable Energy Application which is 10% of the Building Energy Consumption.

Keywords : *New & renewable energy, Heat Island, Environmental Load, Ground source heat pump*

1. 서 론

[기호 설명]

u : 풍속 [m/s]
 θ : 공기온도 [K]
 q : 비습 [kg/kg]
 H, W : 생성향 [-]
 K_m, K_h, K_v : 난류확산계수 [-]
 C : 저항계수 [-]
 R_f : Flux richardson number [-]
 R_{fc} : 한계 Flux richardson number(=0.25) [-]
 l : 혼합장 [-]
 k : Karman 정수(=0.4)
 m : 유체체적밀도 [-]
 a : 단위유체체적당 건물입면적 [1/m]

B : 건물폭 [m]
 W : 도로폭
 I_{rate} : 부하율변동에 따른 성능변화계수
 COP : 성적계수
 H_{load} : 건물전열부하 [W]
 H_{canopy} : 건물높이 [m]

최근 환경 친화적 건축물에 관심이 높아지면서, 친환경 녹색성장을 위한 신재생에너지 보급률이 증가하고 있는 추세이다.

신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법 제12조 제12항은 연면적 3천㎡ 이상 신축 공공건축물에 대해서 표준건축공사비의 5% 이상을 신·재생에너지설비에 의무적으로 사용하도록 규정하고 있다.

* 정회원, 삼신설계(주)부설삼신에너지환경연구원, 工博,
** 교신저자, 정회원, 영남이공대학 건축과 교수, 工博,
E-mail : cys@ync.ac.kr

* Sahn Shin Energy and Environment Institute, Sahn Shin Engineers, INC, Ph. D.
** Corresponding Author Prof. Dept. of Architecture Yeungnam College of Science & Technology, Ph. D.

Table 1. The present state of the spread of new & renewable energy in building¹⁾

	Solar thermal system (m ²)	PV power system (kW)	Geothermal energy (RT)	PV power Streetlamp (kW)	Concentrative lighting system (m ²)
2004	-	-	-	-	-
2005	-	45(3)	145(1)	-	-
2006	1,039(7)	271(14)	1,315(14)	5(3)	217(2)
2007	1,320(15)	777(29)	3,535(36)	13(7)	178(3)
Total	2,359(22)	1,093(46)	4,995(51)	18(10)	395(5)

또한 2009년 3월 서울시의 저탄소·Green 에너지 건축물 설계 가이드라인에서는 신재생 에너지 적용 의무화 규정이 강화되어, 공동주택의 경우 표준건축공사비의 1%이상, 초고층 건물(50층, 높이 200m이상)의 경우 건물에너지 사용량의 10%이상 신·재생에너지 설계를 권장하고 있다.

한편, 신·재생에너지의 경우 아직까지는 효율이 낮고 초기투자비가 높은 이유로 보급이 미비한 상태이다. 또한 11개의 신·재생에너지 중 건축물에 적용된 에너지원은 Table 1에 나타난 바와 같이 태양열(광) 및 지열에 한정되고 있는 실정이다.

이에 본 논문에서는 일본의 나고야시(名古屋市)를 대상으로 한 도심지 온열성상에 관한 연구²⁾³⁾를 토대로, 신재생에너지 적용에 따른 도시열섬현상 방지에 기여정도를 정량적으로 분석하여 건물에서의 에너지 절약과 친환경적인 효과를 제시하여 보급률 확대에 기여하는 데에 목적이 있다.



Fig.1. Urban area of calculation (Gangnam, Seoul Korea).



Fig. 2. 3D map in around Gangnam station.

2. 연구대상 및 연구방법

연구대상은 Fig. 1, 2에 나타난 바와 같이 서울에서 고층건물이 가장 많은 강남역과 역삼역 사이 중심지(13.77km²)를 대상으로 하였다.

이 지역은 대로를 중심으로 일반상업지역이 길게 분포되어 있으며, 제2·제3종 일반주거지역으로 구성되어 있다.

본 논문에서는 도시온열성상 분석을 위해 개량·건축-도시-토양연성계모델(이하AUSSSM: Architecture-Urban-Soil Simultaneous Simulation Model)⁴⁾⁵⁾을 사용하였다. AUSSSM의 개요를 Fig. 3에 나타내고 있다. AUSSSM은 도시대기, 토양, 건물 3개의 서브모델로 구성되어 있으며 전체를 완전연성계로서 취급하고 있다.

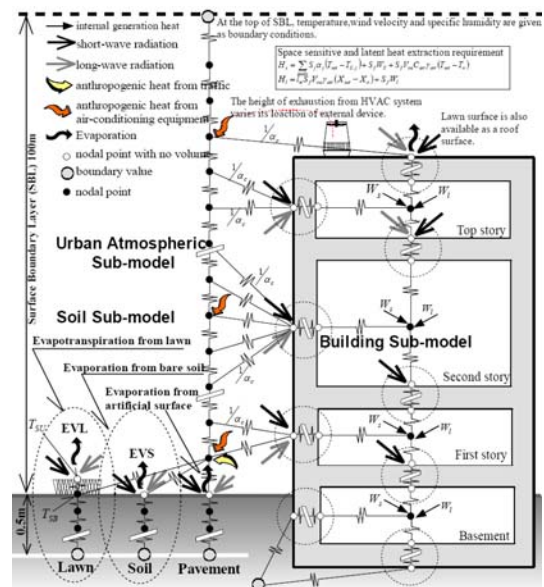


Fig. 3. Schematic frame of the AUSSSM.

Table 2. The basic equation of urban atmospheric sub-model

Transport equation	$m \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial(K_m \cdot m \frac{\partial u}{\partial z})}{\partial z} - \frac{1}{2} \alpha u ^2$ (1)	$m \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial(K_h \cdot m \frac{\partial \theta}{\partial z})}{\partial z} + H$ (2)	$m \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial(K_v \cdot m \frac{\partial q}{\partial z})}{\partial z} + W$ (3)
Turbulent diffusion coefficient	$R_f < R_{fc}; K_m = l^2 \left \frac{\partial u}{\partial z} \right \frac{S_M^{3/2}}{\sqrt{C}} (1 - R_f)^{1/2}$ (4)	$K_h = K_v = l^2 \left \frac{\partial u}{\partial z} \right \frac{S_M^{1/2}}{\sqrt{C}} S_H (1 - R_f)^{1/2}$ (5)	
	$S_M = \frac{1 - C_2}{C_1^2} \left(\frac{HB}{G} \right) \left(\frac{R_{f1} - R_f}{R_{f2} - R_f} \right) \left(\frac{R_{f3} - R_f}{1 - R_f} \right)$ (6)	$S_H = \frac{B}{CC_1 C_{1T}} \left(\frac{R_{f1} - R_f}{1 - R_f} \right)$ (7)	
	$R_f < R_{fc}; K_m = K_h = K_v = l^2 \left \frac{\partial u}{\partial z} \right $ (8)		
Scale of turbulent length	$z < H_{canopy}; l = 2k^3 \frac{1}{\alpha} \{1 - \exp(-kz)\}$ (9)	$\eta = \alpha \frac{z}{2k^3}$ (10)	
	$z \geq H_{canopy}; l \propto kz$ (11)		

도시고온화 요인의 정량화 즉, 도시고온화 억제수법의 정량적 평가를 목적으로 하는 수치해석모델이다.

AUSSSM에서는 동일형상의 직방체 건물이 등간격으로 무한히 존재하는 이상적인 도시를 가정하여 대기층에 수직 1차원모델을 적용하고 있다. 또한 토양에 관한 서브모델 및 건축 서브모델은 1차원 열전도방정식을 기본으로 하고 있다. 상징하는 도시의 가로형상을 Fig. 4에 나타내었으며, 대기서브모델에 관한 기초식을 Table 2에 나타내고 있다.

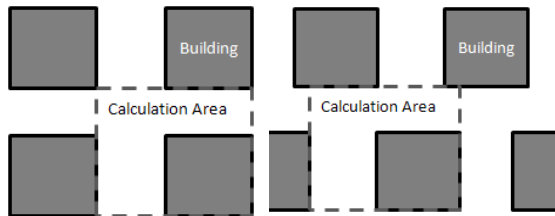


Fig. 4. The grid pattern in the AUSSSM.

3. 수치해석 개요

Table 3에 계산조건 및 계산에 사용된 각 재료의 열물성치를 나타내었다. HVAC System의 경우 공기열원히트펌프, 터보냉동기 및 흡수식냉동기를 열원으로 적용한 경우를 case 1로, 지열히트펌프, 터보냉동기 및 흡수식냉동기를 열원으로 적용한 경우를 case 2로 선정하고, 기상데이터는 서울지역 8월의 평년값을 사용하였다. 수치해석에 사용된 기상데이터를 Fig. 5에 나타내고 있다.

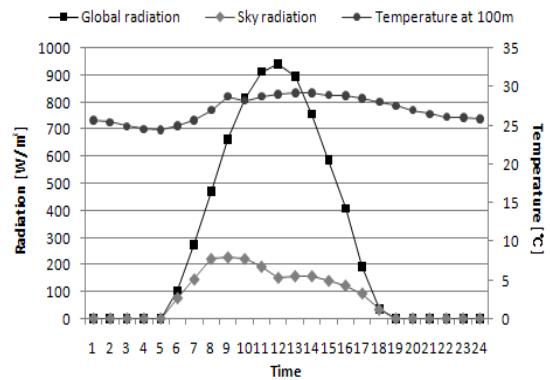


Fig. 5. Boundary condition.

서울 강남역 부근의 GIS 데이터를 이용, 평균 건물군의 높이는 23.8m, 도로폭은 17m, 건물군의 폭 32m, 창면적율 35 %로 선정하였다. 실내의 발열과 환기는 바닥면적을 기준으로 산정하였다. 또한 도로의 교통수단에 의한 배열은 실측조사를 기초로 하여 발열량과 배기가스 발열량을 산출하였다.

4. 공조기로부터의 배열량

계산에 사용된 공조시스템의 종류, COP 및 배열량의 계산방법을 Table 4에 나타내었다. 공기열원히트펌프의 경우 COP는 Fig. 6과 같이 공기열원히트펌프의 열원온도와 COP관계로부터 결정하였다. 현열처리비는 공기열원히트펌프 100%, 터보냉동기 12.5%, 가스직화식 흡수식냉동기는 가스연소에 따른 수증기 발생량을 별도로 고려하여 대기의 비습계산점에 부여하였다. 지열히트펌프의 경우 도로 공간으로의 배열량은 없는 것으로 하였다.

Table 3. Basic assumptions used in the standard solution

Street configuration	building width B=32 m, road width W=16.88m, building height H=23.8 m
Street grid pattern	floor area ratio: 700%, gross ratio of building volume to lot 300%
Solar radiation reflectivity	Staggered array
Wall	Building wall 0.6, asphalt pavement 0.9,soil 0.7, lawn 0.75
Glazing	plaster board (9 mm)+insulation (20 mm)+concrete(200 mm)+tile
Roof	Transparent glass of 6 mm thickness, ratio of glazing 35%
Covering ratio	Soil (10 cm) + lawn
Anthropogenic heat from traffic (at the peak)	asphalt pavement : soil : lawn = 1 : 1 : 1
Internal heat generation of building (at the peak)	9.7 W per square meter of the area of the block
HVAC System	sensible heat: 56 W per square meter of the area of the room latent heat: 13 W per square meter of the area of the room case1: Air Source Heat Pump(10%), Turbo Refrigerator(45%), Absorption Refrigerator(45%) case2: Ground Source Heat Pump(10%), Turbo Refrigerator(45%), Absorption Refrigerator(45%)
Setting of air-conditioning	26℃ RH60% constant (8:00 - 21:00), ventilation 2.7m ³ /h

Table 4. COP of air conditioning system

	System	Calculation of COP	Exhausted heat rate
Air conditioning system	Air source heat pump	$COP = COP_{HPair} \cdot lrate$	$Q = (1 + 1/COP) \cdot H_{load}$
	Ground source heat pump	$COP = 1.20COP_{HPair} \cdot lrate$	
	Turbo refrigerator	$COP = 1.60COP_{HPair} \cdot lrate$	
	Gas-fueled absorption refrigerator	$COP = 0.38COP_{HPair} \cdot lrate$	

5. 공조 배열량과 도시온도변화에 대한 검토

여기서는 신재생에너지원 중의 하나인 지열 히트펌프를 에너지사용량의 10% 적용했을 때 건축물로부터 배출되는 공조배열 감소에 의한 도심지 공간 내의 온열성상 및 에너지 절약효과에 관해서 검토하고자 한다.

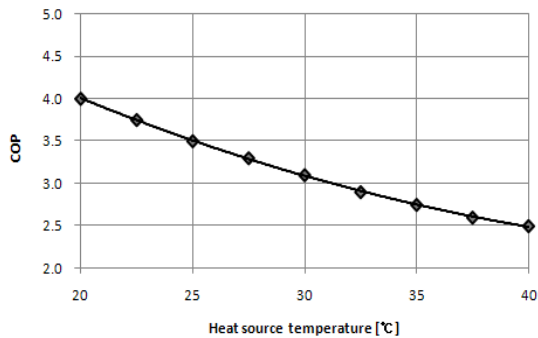


Fig. 6. COP and heat source temperature of air source heat pump.

Fig. 7에 전체 건물 에너지사용량의 10%를

신재생에너지인 지열히트펌프가 담당할 경우 (case 2)와 기준조건(case 1)에서 전체 공조시스템에 대한 공조 배열량의 비교를 나타내고 있다. case 2의 경우 case 1에 비해 시각별 평균 공조 배열량이 약 9%(43.04W/m²)정도 감소되는 것으로 나타났다. case 1과 case 2의 최대 공조 배열 배출량은 15시에 564.64W/m², 513.20 W/m²로 각각 나타났다.

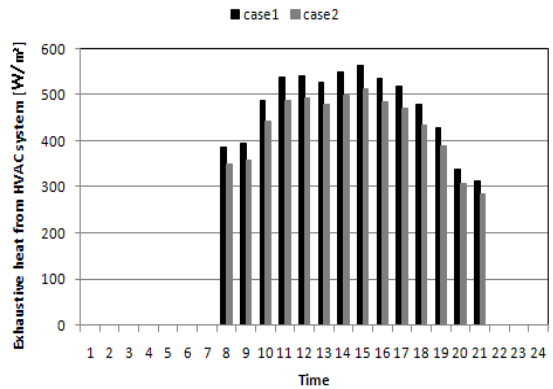


Fig. 7. Comparison of exhaustive heat from HVAC system.

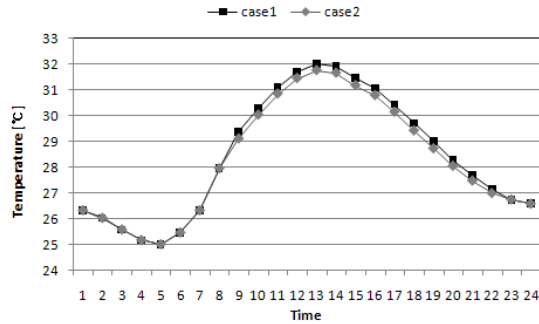


Fig. 8. Comparison of street space temperature.

Fig. 8과 같이 신재생에너지인 지열히트펌프를 전체 건물에너지사용량의 10%로 적용하여 공조 배열량이 감소된 경우(case 2), 도로 공간의 시각별 평균 온도는 기준조건(case 1)에 비해 0.16°C 낮게 나타났다. 도심온도가 가장 높은 13시의 경우 case 1과 case 2의 도로 공간 온도는 각각 32.01°C, 31.76°C로 0.25°C의 온도차가 있음을 확인 할 수 있었다.

Fig. 9는 상공 100m까지의 높이별 온도변화를 나타내고 있다. case 1과 case 2의 온도차는 지면에 가까워질수록 증가하는 것으로 나타났으며, 상공 약 60m지점부터 case 1과 case 2의 온도차는 canopy 평균온도차의 10%이하로, 대기로의 배열감소효과에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

6. 에너지사용량 및 환경부하 변화 검토

지금까지 신재생에너지 사용에 따른 공조 배열량 감소와 도심지 온도변화에 관해 검토하였다. 여기서는 신재생에너지 사용에 따른 에너지절약 및 환경부하 저감량을 정량적으로 검토하고자 한다.

Fig. 10에 case 1, case 2의 1일 에너지사용량 변화를 나타내고 있다. case 2의 경우 case 1에 비해 시각별 평균 1차 에너지소비량이 약 14.53W/m² 저감되는 것으로 나타났다.

case 1과 case 2의 일평균 에너지사용량은 각각 3208.60W/m², 3005.25W/m²으로 나타났다.

1일 에너지사용량을 기준으로 연간(냉방운전일수 88일 기준) 약 18kW/m²의 에너지절약효과가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 11에 case 1, case 2의 연간 CO₂, SO_x 및 NO_x 배출량을 비교한 것을 나타내고 있다.

신재생에너지 적용에 따른 CO₂, SO_x 및 NO_x 배출 저감률은 각각 5.4%, 5.9% 및 12.8%로 나타났다.

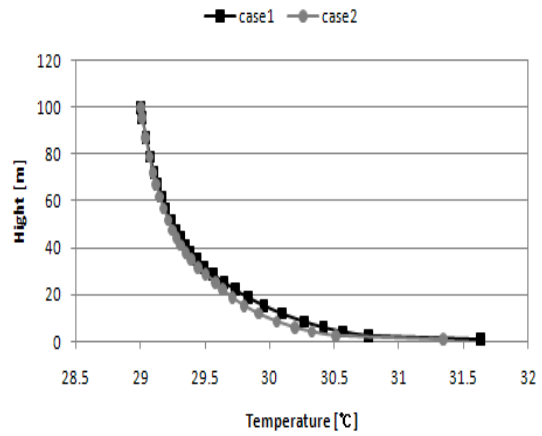


Fig. 9. Comparison of perpendicular distribution air temperature.

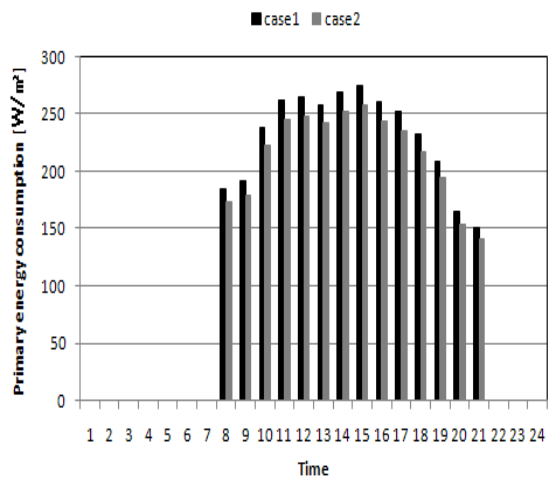


Fig. 10. Comparison of primary energy consumption.

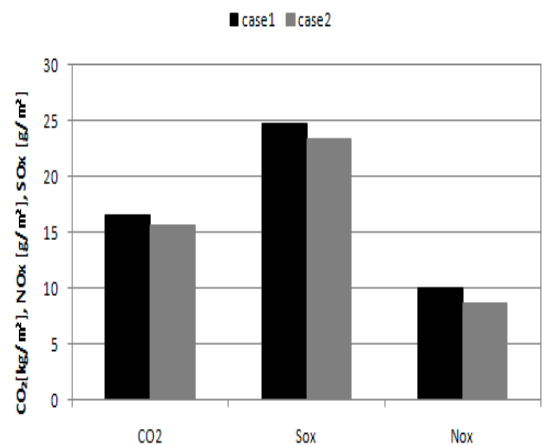


Fig. 11. Comparison of environmental load.

Table 7. The conversion factor of CO₂, NO_x, SO_x emission⁶⁾

Type	Electric Power	Gas
Unit [*]	kWh	MJ
CO ₂ emission [kg-C/*]	0.143	0.0186
NO _x emission [g-NO _x /*]	0.231	0.026
SO _x emission [g-SO _x /*]	0.209	-

7. 결론

본 논문에서는 강남역 주변(13.77 km²)을 대상으로 건물 에너지사용량의 10%를 지열원 히트펌프로 충당할 경우, 공조 배열감소 및 도시열섬현상 방지에 대한 기여정도를 정량적으로 분석하고 건물에서의 에너지절약 및 친환경적인 효과를 정량적으로 분석한 것에 대해 보고하였다.

도시온열성상 분석을 위해 개량·건축-도시-토양연성계 모델(이하 AUSSSM: Architecture-Urban-Soil Simultaneous Simulation Model)을 사용하였다. 수치해석 결과를 간략히 정리하면 아래와 같다.

- (1) 신재생에너지를 전체 건물 에너지사용량의 10%를 적용한 경우(case 2) 기준조건(case 1)에 비해 도로로 배출되는 시각별 평균 공조 배열량은 약 9% (43.04W/m²)정도 감소되는 것으로 나타났으며, 1일 최대 공조 배열 감소량은 51.44W/m²로 나타났다.
- (2) case 2의 경우 기준조건에 비해 1일평균 도심지 온도가 약 0.16℃ 낮게 나타났으며, 최대 0.25℃ 정도의 온도차가 있음을 확인하였고, 이 온도차는 지면에 가까워질수록 증가하였다.

(3) 신재생에너지를 적용한 case 2의 경우는 case 1에 비해 시각별 평균 1차 에너지소비량은 약 14.53W/m² 감소되며, 연간 약 18 kW/m²의 에너지절약효과가 있는 것으로 나타났다.

(4) 신재생에너지 적용에 따른 온실가스배출량을 비교한 결과, case 2가 case 1에 비해 CO₂, SO_x 및 NO_x 배출량이 각각 5.4%, 5.9%, 12.8% 감소되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로 신재생에너지 사용이 도심열섬방지에 일정부분 기여하며, 에너지절약 및 환경부하저감에도 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 1) Korea energy management corporation, 「New & Renewable Energy Statistics 2007」, September (2008)
- 2) Won tug, Son et al., *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, **16, 9**, 984, (2004)
- 3) Won tug, Son et al., *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, **16, 12**, 1190, (2004).
- 4) Aya Hagishima et al., *Journal of SHASEJ*, **12, 5**, 1051, (2001)
- 5) Aya Hagishima et al., *Journal of SHASEJ*, **12, 5**, 1058, (2001)
- 6) Won tug, Son et al., *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, **2, 1**, 41, (2003)

(2009년 5월 21일 접수, 2009년 8월 21일 채택)