도시가로공간의 공공디자인 개선사업에 따른 열환경 개선 효과 평가

백상훈 · 시미즈아키 · 김학윤¹⁾ · 정응호*

계명대학교 환경계획학과, ¹⁾계명대학교 지구환경학과
(2011년 5월 19일 접수; 2011년 7월 27일 수정; 2011년 8월 12일 채택)

Evaluation of Thermal Environment Improvement Effect from Public Design Improvement Project on the Urban Street Space

Sang Hun Baek, Aki Shimizu, Hak Yoon Kim¹⁾, Eung Ho Jung*

Department of Environmental Planning, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

¹⁾*Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

(Manuscript received 19 May, 2011; revised 27 July, 2011; accepted 12 August, 2011)

Abstract

In this study, thermal environment improvements throughout public design improvement project on the urban street space were compared and evaluated. Thermo-Render 3.0, 3D-CAD based thermal environment simulation program, had been used for thermal environment improvement evaluations. Followings are the results.

First, clayey blocks which have low heat transfer rate and cool island effect by trees and roof gardens brought cooling effects for buildings and surface of streets.

Seconds, MRT values showed low levels because of low radiant mulching materials.

Thirds, roof gardens contributed to reduce heat island effect since HIP levels were affected by decreasing heat storage effect of buildings from roof gardens.

As a result, reducing heat storage effect throughout selecting and arranging proper materials which would not increase heat island potentials should be performed to improve heat island effects.

Key Words : Heat island potential, Mean radiant temperature, Public design improvement project

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

급격한 도시화의 진행은 자연토지피복의 감소와 인간 활동에 필요한 대량의 에너지 투입을 유발시켜 도시의 열환경을 변화시켰다. 도시의 열환경 변화는

아스팔트, 콘크리트 등으로 이루어진 토지피복의 변화와 도시의 경제 및 산업 활동 증가로 인한 에너지 소비의 급격한 증가에 따른 인공열 배출 등에 기인하고 있다(이와 홍, 2007, 2008). 도시의 열환경 변화에 따른 가장 대표적인 영향은 열섬현상이다. 열섬현상은 이미 국내의 여러 도시에서도 발생하고 있으며, 여름철에 있어서 냉방에너지과소비와 열스트레스 및 생활환경요건의 악화 등과 같은 다양한 문제점을 유발시키고 있다(김 등, 2006). 특히 열섬현상은 여름철에 있어서 가로공간을 중심으로 한 시민들의 야외활동에

*Corresponding author : Eung Ho Jung, Department of Environmental Planning, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5215
E-mail: turep21@kmu.ac.kr

많은 영향을 미치게 된다.

도시가로공간은 시민들의 사회적 문화적 활동공간으로서 다양성과 활용성이 높은 공간이지만(Bernard, 1969), 오늘날 대부분의 도시가로공간은 가로공간의 대표적인 기능인 영역성, 공유성, 이동성, 장소성 등의 조건을 충족시키지 못하고 획일적인 통행 위주로 개발되었다. 가로공간의 기능이 모두 충족되어 활기찬 도시가로가 되기 위해서는 시민들에게 걷고 싶은 가로로 인식되고 제공되어야 한다.

이에 따라 최근 도시별로 걷고 싶은 가로를 조성하기 위한 사업에 대한 필요성이 점차 증대되고 있는 가운데 가장 대표적인 사업이 가로공간에 공공디자인개념을 도입하여 가로공간환경을 개선하는 것이다. 대구시에서도 대표적인 도심가로인 동성로를 대상으로 공공디자인 개선사업을 2008년 8월부터 2009년 1월까지 시행하였다. 공공디자인 사업의 목표는 동성로의 정체성확보와 보행자 중심의 시민 보행권을 확보하고 특색 있고 활기차며 쾌적한 도심 가로공간으로 조성하는데 두었다. 주요 사업내용은 가로 조명, 가로 시설물(의자, 안내표식), 거리쉼터, 가로수 식재 및 이벤트마당조성 등으로 되어있다. 특히 가로구간 내에 기존의 불투성 도로포장재(아스팔트, 석재)를 걷어내고 기능성블록재료(점토)로 교체하여 미관성을 개선하였다. 아울러 사업 전 가로 구간에 전무하였던 가로수를 가로중앙에 배식하여 그들이 조성되게 함으로서 보행자들에게 쾌적성을 제공하고자 하였다.

공공디자인 개선사업을 통해 가로공간의 물리적, 경관적 개선효과는 관찰되고 있으나 특히 여름철에 시민들이 쾌적하게 이용할 수 있는 여건의 조성과 이에 따른 개선효과가 어떻게 나타날 수 있는가에 대한 평가가 필요한 실정이다. 이러한 평가를 통해 향후 보다 효과적인 가로공간의 공공디자인 개선사업을 위한 근거자료를 마련할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 대구시의 동성로를 대상으로 공공디자인 개선사업에 따른 여름철 가로공간의 쾌적성에 영향을 미치는 열환경 개선효과를 가로조성요소별로 비교·평가하고자 하였으며, 이를 바탕으로 향후 보다 쾌적하고 걷고 싶은 도시가로공간을 조성하는데 유용한 기초자료를 제시하고자 하는데 연구의 목적을 두었다.

1.2. 연구방법 및 과정

본 연구에서는 도시 열환경의 요인으로 알려져 있는 토지피복과 에너지 소비 중에서 인간 활동에 필요한 에너지 소비는 동일한 것으로 가정하고, 토지피복이 열환경에 미치는 영향을 주요인으로 고려하여 분석하였다. 연구대상지는 공공디자인개선사업이 시행된 대구시 동성로 일대 가운데 특히 시민들의 이용성이 높은 구간인 대구백화점 앞의 동성로 마당부터 퓨전골목까지로 선정하였다.

열환경 개선효과와 비교·분석은 공공디자인개선사업 이전과 이후 및 친환경요소의 추가 등의 3단계로 구분하여 실시하였다. 각 비교단계별 가로구성요소에 대한 내용은 Table 1에서 보는바와 같다. 즉 공공디자인개선사업이전에는 가로공간을 구성하는 벽면과 옥상 및 지표면의 재질은 콘크리트나 석재, 아스팔트이며 수목은 1그루이고 옥상녹화는 미조성인 상태이다. 공공디자인 개선사업시행 후에는 일부 지표면 재질이 기능성 점토블록으로 교체(1018 m²)되었고 수목이 추가(3그루)되었다. 친환경요소의 추가에서는 공공디자인 개선사업내용보다 보다 적극적으로 요소를 도입하였는데, 먼저 기능성점토블록을 확장(1283 m²)하고, 수목의 열환경 개선효과를 증대하기 위하여 동성로 마당 일부를 제외하고 33그루의 수목(수고 9 m, 수관 폭 4 m, 수관고 5 m, 수간직경 20 cm)을 2열 배식(4 m 간격)하며, 옥상녹화는 식재와 잔디매트로 구성하고 면적은 2027 m²로 하였다.

열환경 변화분석은 3D-CAD 기반 열환경 시뮬레이션 프로그램인 Thermo-Render 3.0을 이용하였다. Thermo-Render 3.0은 열섬현상이나 생활환경에 영향을 미치는 건물 및 지표면의 표면온도를 산출하고 그것을 가시화하는 열환경 분석 툴로서, 열환경을 고려한 환경계획의 실현 및 평가가 가능하다. 시뮬레이션 과정은 먼저 1:1,000 수치지도와 사례대상지 공공디자인 개선사업 계획도를 토대로 하여 3D기반 건물 정보(층수, 면적) 및 지표면 정보(차도, 보도)를 추출하였고, 고해상도 위성영상과 현지조사를 통하여 벽면·옥상의 표면재료, 개구부재료, 녹지 정보를 추출하였다. 추출된 정보를 바탕으로 범용 3D CAD 프로그램인 Vector-Works를 이용하여 지표면기반 3D 데이터를 작성한 후 Thermo-Render 3.0을 이용하여 3D 열

Table 1. Simulation Data for Case Study

	3D Base map Data	Data Index for Comparison of Simulation				
		Wall/ Roof	Window	Street surface	Tree	Roof planting
Before		-Concrete -Stone	-Single Glass	-Asphalt -Stone	1	×
After		-Concrete -Stone	-Single Glass	-Asphalt -Stone -Concrete -Clay blocks (1018m ²) -Wood	3	×
Add. Eco- friendly elements		-Concrete -Stone	-Single Glass	-Asphalt -Stone -Concrete -Clay blocks (1283m ²) -Wood	36	2027m ²

Table 2. Meteorological data for simulation (2008.8.2/Daegu)

Time	Atmospheric pressure [hpa]	Air temperature [°C]	Air humidity [%]	Wind direction	Wind speed [m/s]	Amount of precipitation [mm]	Sunshine [hour]	Total solar radiation [MJ/m ²]
1	1007.2	25.3	79	--	0.4	--	--	--
2	1007.2	25.2	80	NE	0.6	--	--	--
3	1007	25	81	NE	0.9	--	--	--
4	1006.6	24.3	83	--	0.3	--	--	--
5	1006.5	24.3	84	ENE	1	--	--	--
6	1006.7	23.9	86	--	0.4	--	0	0
7	1006.8	24.9	86	--	0	--	0	0.1
8	1006.9	25.9	82	ENE	1.5	--	0	0.46
9	1007	27.5	74	ESE	1.3	--	1	1.23
10	1006.9	29	66	N	0.6	--	1	1.91
11	1006.7	29.9	62	WNW	1.8	--	0.8	2.25
12	1006.1	31.7	57	W	1.2	--	0.8	2.51
13	1005.6	32.7	55	WSW	1.6	--	1	3.01
14	1004.4	33.3	53	SW	1.5	--	0.6	2.22
15	1003.9	32.4	54	SSE	2.4	--	0.5	1.82
16	1003.3	32.4	53	SE	2.9	--	0.5	1.39
17	1002.8	33	54	NW	1.8	--	0	0.61
18	1002.7	32.1	56	SW	1.3	--	0	0.26
19	1002.8	31.3	63	S	1.1	--	0	0.19
20	1002.9	30.3	69	SSE	1.5	--	0	0.02
21	1003.4	29.8	72	W	1	--	--	--
22	1003.5	29.2	73	W	1.9	--	--	--
23	1003.3	28.2	73	ENE	0.9	--	--	--
24	1003	27.6	78	ENE	1	--	--	--

환경 분석을 실시하였다.

시물레이션 기준일은 공공디자인개선사업이 시행된 2008년 8월 2일을 기준으로 하였다. 시물레이션의 기초 입력 기상자료로서는 대구기상대의 자료를 활용하여 Table 2와 같이 기준일의 시간대별 기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 일조시간, 전천일사량 등을 입력하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 선행연구

도시열섬현상에 대한 도시민들의 관심이 늘어나면서 도시의 열환경에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 조(1996)는 위성영상을 이용하여 토지이용변화와 도시의 지표온도가 연관성이 있음을 밝혔으며, 윤용한 등(2002)은 녹지의 규모와 녹지내외의 기온저감효과와의 관련성을 연구하여 녹지내외의 기온저감효과와 녹지의 규모와 거의 비례한다는 결론을 내렸다.

국외에서는 특히 일본에서의 연구가 활발히 진행되고 있는데, 梅干 등(2004)은 3D-CAD와 옥외 열환경 시물레이션을 일체화한 환경설계 툴로서 Thermo-Render3.0을 이용하여 가구를 대상으로 열환경을 해석하였으며, Thermo-Render가 공간형태와 구성재료에 따른 열환경 평가가 가능하고 열환경을 고려한 식재 계획의 적용도 가능하다고 제시하였다. 佐藤 등(2004)은 시가지의 전표면온도분포를 평가하고 녹지의 열환경 조절효과에 대하여 해석하였다. 그 결과 건물 높이나 형상, 위치에 따라 표면온도분포에 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, 열섬잠재성을 저감하기 위해서는 건물 형태에 관한 검토도 필요하다고 제시하였다. 또한 佐藤 등(2008)은 일본 도쿄도(東京) 미나토구(港區) 미나미아오야마지구(南青山地區)를 대상으로 Thermo-Render를 이용하여 현상과 녹화계획안의 전표면온도분포를 산출하였으며, 그 결과 녹지의 현열부하 억제효과를 정량적으로 제시하였다.

梅干 등(2007)은 실제 시가지를 대상으로 HIP(Heat Island Potential)를 산출한 결과, 동일한 토지이용이라도 토지피복의 차이에 따라 HIP에 큰 차이가 있는 것을 밝혔다. 鈴木(2008)는 실제가구를 대상으로 전표면온도, MRT, HIP를 산출하여 수목배치와 녹화방

법의 차이가 열환경에 영향을 미치는 것으로 밝혔으며, 열부하 저감에 효과적인 수목배치와 녹화방법의 상승효과를 제시하였다. 이러한 선행연구에서 밝혀진 바와 같이 도시공간에서의 열환경은 토지피복형태와 유형 등에 의해서 영향을 많이 받는 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서도 선행연구들을 통해 검증된 3차원 열환경 시물레이션 모델인 Thermo-Render를 이용하여 열환경 개선효과를 전표면온도, MRT, HIP 등의 3가지평가요소별로 비교·분석하였다.

2.2. 열환경 평가 요소

앞의 선행 연구자료에서는 도로 및 건축물 구성재료에 따른 열환경 효과 평가에 있어서 기본적으로 3차원 전표면온도, MRT(Mean Radiant Temperature) 및 HIP(Heat Island Potential) 등의 3가지 요소별로 구분하여 제시하고 있으며, 이들 요소들에 대한 내용은 다음과 같다.

2.2.1. 3차원 전표면온도

3차원 전표면온도는 옥외의 전표면온도를 시각화하여 나타내는 것으로서 계획 및 설계하는 건물이나 지면의 표면온도를 Thermography로 표시하여 나타낸 것이다. 표면온도를 산출하기 위해서는 표면의 열수지 계산을 실시해야 한다. 열수지 계산은 건물의 3D 모델을 질점(質點)메시화한 후에 건물위치정보, 태양 위치정보, 기상조건, 건축재료, 건축재료의 열물성치를 고려하여 건물과 옥외공간의 전표면 열수지를 계산한다. 본 연구에서는 선행연구(박, 2007)의 값을 기준으로 Table 3과 같이 구성재료의 열물성치를 설정하였다. 열수지 계산항목은 직달일사, 천공일사, 반사일사, 대기방사, 주변지물과의 장파장방사, 대류열전달, 열전달 등이다

2.2.2. MRT(Mean Radiant Temperature)

흔히 여름철 외부공간에서 인간이 체감하는 더위는 기온뿐만 아니라 주변에 존재하는 지물로부터의 열복사도 크게 영향을 받는다. MRT는 인간이 주변으로부터 체감하는 열복사의 영향을 전방위로 평균화하여 온도로 환산한 것으로서, MRT수치가 크다는 것은 복사열이 많다는 것을 의미하므로 인간이 실제기온보다 더 높은 기온을 체감하게 되는 것으로 해석된다.

Table 3. Thermal properties of construction materials

Part	Surface	Material	Thickness [mm]	Albedo [%]	Long-wave solar radiation [%]	Volume specific heat [KJ/m ³ K]	Heat conductivity [W/mK]
Wall	Concrete	Concrete (normal)	150	0.2	0.9	1900	1.6
		Concrete	180	0	0.95	1900	1.6
	Stone (granite)	Granite	30	0.5	0.9	2400	3.5
		Mortar	15	0	0.95	1600	1.5
		Concrete	180	0.3	0.9	1900	1.6
		Air gap	25	0	0	1.298	0.09
		Plaster board	10	0.3	0.9	904	0.22
Roof	Concrete	Concrete (normal)	150	0.2	0.9	1900	1.6
		Air gap	25	0	0	1.298	0.09
		Concrete	180	0	0.95	1900	1.6
Street surface	Asphalt	Asphalt	130	0.3	0.9	2000	0.7
		Soil mortar	200	0	0	1600	1.5
		Soil crusher-run stone	400	0	0	1500	0.6
		Soil roadbed	400	0	0	1600	0.6
		Soil roadbed	400	0	0	1600	0.6
	Stone (granite)	Granite	50	0.5	0.9	2400	3.5
		Soli sand	30	0	0	1400	0.5
	Concrete	Concrete	70	0.2	0.9	1900	1.6
		Soil crusher-run stone	100	0	0	1500	0.6
		Soil roadbed	430	0	0	1600	0.6
	Clay block	Brick	50	0.3	0.9	1400	0.62
		Soil sand	30	0	0	1400	0.5
	Wood	Wood	80	0	0	519	0.12

MRT는 다음과 같이 정의된다.

$$MRT[^\circ C] = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^N F_i \cdot T_{s_i}^4} - 273.2 \quad (1)$$

Fi : 미소면 형태계수[-]

N : 미소면 총수

Tsi : 미소면 표면온도[K]

2.2.3. HIP(Heat Island Potential)

열섬잠재성 지표인 HIP는 건축물이나 지면 등 전 표면으로부터 발생하는 현열의 면적에 대한 비율을 나타내며, 대상지의 열섬현상으로의 영향도를 지표면 온도로 환산한 온열지표이다. 즉, HIP 수치가 클수록 표면온도와 기온의 차가 크다는 것을 의미하고 열섬 현상의 원인이 되는 대기 방출 현열이 많다는 것을 나타낸다. 통상적으로 HIP가 0℃일 때 열섬잠재성이 없는 것으로 해석되며, 높은 HIP 수치를 보일수록 열섬

잠재성이 높고, 낮은 수치일수록 열환경에 긍정적 영향을 미치는 것으로 해석된다. HIP는 다음과 같이 정의된다.

$$HIP[^\circ C] = \frac{\int (T_s - T_a) dS}{A} \quad (2)$$

Ts : 표면온도 (℃)

Ta : 기온 (℃)

A : 수평면 투영면적(m²)

S : 면적(m²)

3. 열환경 개선효과 평가

3.1. 3차원 전표면온도 분포

사례대상지의 3차원 전표면온도 분포결과는 Fig. 1 및 Table 4에서 보는 바와 같다. 이를 설정시간대별로 각각 살펴보면, 먼저 09시(실기온 31.0℃)에서는 공공

Fig. 1. Surface temperature distribution in Project Stage.

디자인개선사업 이전의 평균 전표면온도는 36.4°C 이며 공공디자인개선사업 이후의 평균 전표면온도는 34.1°C , 친환경요소 추가에 따른 평균 전표면온도는 33.0°C 로 나타났고, 최대 온도차이는 3.4°C 정도로 상대적으로 적다.

이는 건물과 도로표면에 대한 태양일사량이 많지 않기 때문인 것으로 분석된다. 그러나 태양일사량이 점차 강해져 최고 기온을 기록한 13시(실기온 34.3°C)에서는 3차원 전표면온도 분포차이가 매우 크게 나타났다. 즉, 공공디자인개선사업 이전은 46.2°C 이며 공공디자인개선사업 이후에는 41.8°C 로서 4.4°C 정도 낮아지는 것으로 나타났다.

아울러 친환경요소 추가에 따른 온도는 40.0°C 로 나타나 공공개선사업시행에 따른 것보다 1.8°C 더 낮아지는 효과가 있음을 보여주고 있다. 전체적으로는 공공디자인개선사업이전 온도와 비교해 볼 때 친환경요소 추가에 의해 6.2°C 의 온도하강 효과가 있는 것으로 나타내는데, 이는 열전달이 낮은 친환경요소로 인하

여 전체적인 전표면온도가 낮아졌기 때문인 것으로 분석된다.

태양일사량이 다시 감소되는 17시(실기온 33.8°C)에는 공공디자인개선사업 이전의 평균 3차원전표면온도는 39.3°C , 개선사업 이후는 35.6°C , 친환경요소 추가 시에는 33.7°C 로 나타났으며, 최대 온도차이는 5.6°C 이다. 그리고 일일 간 전표면온도의 최저와 최고치의 차이에 있어서도 의미있는 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 공공디자인개선사업 이전은 $27.6^{\circ}\text{C} \sim 46.2^{\circ}\text{C}$ 로서 18.6°C , 개선사업 이후는 $26.2^{\circ}\text{C} \sim 41.8^{\circ}\text{C}$ 로 15.6°C 이며 친환경요소 추가 후는 $25.4^{\circ}\text{C} \sim 40.0^{\circ}\text{C}$ 로서 14.6°C 의 분포로 가장 적은 격차를 보였으며, 개선사업 이전과 친환경요소 추가 후의 차이는 4.0°C 로 나타났다. 공공디자인개선사업 이전의 주 피복재료로 사용되어진 콘크리트와 아스팔트 및 석재가 개선사업 이후의 주 피복재료인 점토블럭과 화강석에 비해 열반사율이 낮고, 옥상녹화조성과 수목을 추가 식재한 친환경요소도입 후의 열반사율이 가장 높은 것이 전

Table 4. Surface temperature comparison in Project Stage

Setting time (room temperature(°C))	Before(A)(°C)	After(B)(°C)	Add. Eco-friendly elements(°C)	Temperature difference in Project Stage(°C)
09:00 (31.0)	36.4	34.1	33.0	A:B -2.3 B:C -1.1 A:C -3.4
13:00 (34.3)	46.2	41.8	40.0	A:B -4.4 B:C -1.8 A:C -6.2
17:00 (33.8)	39.3	35.6	33.7	A:B -3.7 B:C -1.9 A:C -5.6

표면온도 차이의 원인인 것으로 분석된다.

3.2. MRT 분포

사례대상지의 시뮬레이션 조건 단계에 따른 MRT 분포상태를 시간대별로 비교한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 먼저 09:00시에 있어서는 공공디자인개선사업을 시행하기 전·후에 있어서 의미있는 MRT 분포차이를 보이지 않으나 친환경요소추가시에는 상

대적으로 낮은 MRT수치 분포를 보이고 있다. 특히 옥상녹화실시에 따른 온도차이가 비교적 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그러나 13:00시의 경우에는 각 시뮬레이션 조건 단계별로 MRT분포가 매우 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 공공디자인개선사업 전과 후의 경우에 있어서 가로와 인접한 건물에서의 MRT수치가 거의 동일하게 매우 높게 나타나고 있는 반면에 공공디자인

Fig. 2. MRT Distribution in Project Stage.

인개선사업에 의해 투수성 포장재와 식재를 추가로 실시한 가로공간의 MRT수치가 낮음을 알 수 있다.

친환경요소추가에 따른 MRT수치는 가로공간에 있어서 공공디자인 개선사업 후의 경우와 비교해 볼 때 가로수 추가식재에 따른 부분적 온도저감 외에는 큰 차이를 보이지 않고 있으나 인접건물의 MRT수치 분포는 옥상녹화에 의해 매우 큰 차이를 보여주고 있다. 따라서 친환경요소추가에 따라 MRT수치가 가장 낮게 분포한다는 것은 시민들이 가로공간의 포장재와 식재 및 건축물옥상녹화 등으로부터 체감하는 열복사 영향이 상대적으로 적다는 것을 의미한다.

그리고 공공디자인 개선사업 후 와 친환경요소추가에서 있어서 같은 가로공간이라 하더라도 기능성점토포장재와 식재가 상대적으로 적게 차지하는 공영무대지대에서의 MRT수치가 거의 동일하게 높은 것으로 나타났다. 이는 부분적이라 하더라도 포장재료와 수목 등에 따라 열환경 발생이 영향을 받게 되고 차이(냉섬효과)를 보이게 된다는 것을 보여주고 있다.

17:00시에서는 태양일사량 감소로 인하여 건물옥상부분을 제외하고 전체적으로 MRT수치상 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 각 시간대별 MRT 분포결과를 비교해 볼 때 13:00시에서의 차이가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 또한 시뮬레이션 조건 단계별 결과에서도 친환경요소추가시의 MRT수치가 다른 조건에 비해서 시간대별로 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 적극적인 친환경요소의 추가가 태양일사량이 가장 높은 시간대에 있어서 열환경 개선에 보다 효과적이라는 것을 보여주고 있다.

3.3. HIP 변화

사례대상지의 시뮬레이션 조건 단계별 열섬잠재성 지표인 HIP의 일변화에 대한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 시간대별로 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 또한 각 조건단계별 표면재료의 특성에 따른 축열효과가 다를 수 있으며 이로부터 야간시간대의 열섬효과에 미치는 영향정도를 파악할 수 있다. 이는 앞에서 고찰한 3차원 전표면온도 분포와 MRT 분포결과와 유사한 형태를 보이고 있다.

먼저 시뮬레이션 조건 단계별 HIP변화를 살펴보면 다음과 같다. 공공디자인개선사업이전의 HIP수치는

최저 0.26℃(03:00시)에서 최대 12.74℃(12:00시)로 12.48℃의 차이를 나타내고 있다. 공공디자인 개선사업 이후에는 최저 -1.25℃(03:00시)에서 최대 8.91℃(12:00시)이며 10.16℃의 HIP차이를 보여 개선사업 이전보다는 적은 격차를 보이고 있는 것으로 나타났다. 친환경요소 추가에 따른 HIP수치는 최저 -2.06℃(03:00시)에서 최대 7.10℃(12:00시)의 변화를 보이며 가장 적은 9.16℃의 격차를 나타내었다. 각 시뮬레이션 조건 단계별로 동일한 시간대에 최저와 최고의 HIP수치를 보이고 있는데, 최저 HIP수치편차(2.32℃, 03:00시) 보다는 최고 수치에서의 편차(5.38℃, 12:00)가 더 크게 나타났다. 이는 친환경요소추가에 따른 열섬잠재성감소효과가 일사량이 많을수록 더 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다.

다음으로는 각 시뮬레이션 조건 단계별 표면재료의 열섬잠재성효과의 지속성을 알아보기 위하여 일출시간(06:00)에 있어서의 각 시뮬레이션 조건 단계별 HIP수치가 동일하게 나타나는 오후시간대 시점을 비교하여 보았다. 06:00시에 각 단계별 HIP수치는 2.5℃(공공디자인개선사업이전), 1.0℃(개선사업 후), 0.1℃(친환경요소추가)이며 이들 수치가 동일하게 나타나는 오후시간대는 대략 각각 21시 이후, 20시 이후 및 17시 이후로 공공디자인개선사업이전이 가장 늦으며 친환경요소추가시가 가장 빠른 것으로 나타났다. 이는 주간에 일사로 인한 축열효과가 표면특성별로 각각 다르기 때문에 일몰 후에도 방열상태(냉각효과)가 시간대별로 차이가 있음을 의미한다, 즉, 축열효과가 큰 포장재들이 일몰 후에도 천천히 냉각되므로 인하여 야간시간대에서의 열섬현상발생에 영향을 미치게 된다는 것을 보여주고 있다. 또한 HIP수치는 건물과 지표면의 축열효과에 의해 형성된다는 선행연구결과(윤과 정, 2008)와도 같은 관련성을 보여주고 있다. 따라서 기능성점토포장, 옥상녹화, 수목과 같은 보다 적극적인 친환경요소도입이 건물과 지표면의 축열효과를 저감시키는데 효과적이 다는 것을 알 수 있으며, 친환경요소의 추가는 열섬잠재성을 낮추어서 열섬현상을 완화시킬 수 있다는 것을 나타낸다.

Fig. 3. HIP Daily variations in Project Stage.

4. 결론

본 연구에서는 대구시의 동성로를 대상으로 공공디자인 개선사업에 따른 여름철 가로공간의 쾌적성에 영향을 미치는 열환경 개선효과에 대하여 계획적 요소별로 비교·평가하기 위해 3D 열환경 시뮬레이션을 실시하였으며 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 3차원 전표면온도 분포를 비교·평가한 결과, 공공디자인 개선사업 이전에 비해 개선사업 이후와 친환경요소 추가 후의 전표면온도가 상대적으로 낮아졌다. 이는 열반사율이 상대적으로 낮고 열 전달율이 높은 콘크리트와 아스팔트가 태양 에너지를 흡수하고 저장하는 능력이 뛰어나 오랜 시간동안 높은 온도를 유지하기 때문인 것으로 분석된다. 반면에 열전달율이 낮은 기능성 점토블럭과 수목 및 옥상녹화로 인한 냉섬효과가 건물과 가로지표면을 냉각하는데 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

둘째, MRT분포에 대한 분석 결과에 있어서도 공공디자인 개선사업 이전에 비해 개선사업 이후와 친환경요소 추가 후의 MRT수치가 낮게 나타났다. 개선사업 이전에는 복사열이 많은 피복재료로 인해 MRT수치가 높게 나타났으나, 친환경요소 추가 후에는 복사열이 적은 피복재료가 주를 이루고 있어 MRT수치가 낮게 나타난 것으로 분석되었다.

셋째, 열섬잠재성을 나타내는 HIP수치의 경우 공공디자인 개선사업 이전의 열섬잠재성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이들 열섬잠재성은 일몰 이후에도 높게 유지되고 야간시간대에도 냉각효과가 크지 않아 열섬현상을 발생시키는 원인으로 작용하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 옥상녹화로 인한 건축물의 축열효과 저감은 HIP수치에 많은 영향을 미친 것으로 분석되어 옥상녹화가 도시열섬현상을 완화하는데 큰 효과가 있을 것으로 사료된다. 따라서 열섬현상을 개선하기 위해서는 계획적으로 열섬잠재성을 높이지 않는 재료선택과 배치 등을 고려하여 총체적인 축열효과를 감소시켜야 할 것으로 판단된다.

끝으로 본 연구를 통하여 가로공간의 열환경 개선 효과에 대한 정량적이며 가시적인 비교·평가를 위한 시뮬레이션프로그램 활용의 유용성을 확인할 수 있었다. 이는 가로공간개선과 이와 유사한 분야의 계획 및 설계과정에 열환경 개선효과를 사전 검증해 보는데 충분히 유용할 것으로 판단된다. 그러나 보다 세밀하고 최적화된 분석결과도출을 위해 실측 모니터링을 통한 시뮬레이션프로그램운영의 최적화에 대한 다양한 사례연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No. 2010-0026738)

참 고 문 헌

- 김수봉, 나정화, 정응호, 2006, 친환경적 도시계획 : 도시 열섬연구, 문운당, 69-74.
- 박은태, 강병근, 2007, 친환경 건축물 인증 아파트 단지 일조환경분석에 관한연구, 대한건축학회논문집, 23(9), 3-13.
- 윤성환, 정선영, 2008, 3차원 전표면온도 수치시뮬레이션에 의한 판상형 및 탑상형 아파트의 여름철 옥외 열환경 평가, 大韓建築學會論文集 計劃系, 24(10), 259-266.
- 윤용한, 배병호, 2002, 녹지의 규모와 기온저감효과와의 관련성에 관한 연구, 한국환경생물학회지, 20(1), 10-19.
- 이강국, 홍원화, 2007, 도시고온화 현상에 따른 열섬·냉섬 특성에 관한 연구 - 대구광역시를 중심으로-, 大韓建築學會論文集 計劃系, 23(8), 219-228.
- 이강국, 홍원화, 2008, 도시 열환경 유형 분석 및 완화방안에 관한 연구, 大韓建築學會論文集 計劃系, 24(9), 253-260.
- 조은주, 1996, 토지이용변화에 따른 지표온도 분포 및 그 변화에 관한 연구(서울시를 중심으로), 석사학위논문, 이화여자대학교 대학원.
- 佐々木澄, 岩田達明, 持田灯, 渡辺浩文, 吉野博, 2006, 街路樹がストリートキャニオン内の温熱空気環境に及ぼす影響に関する数値解析, 日本建築学会環境系論文集, 605, 139-146.
- 佐藤理人, 梅干野晃, 村上暁信, 浅輪貴史, 半田真理子, 2004, 実在市街地を対象とした数値シミュレーションによる緑の熱環境調整効果の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 723-724.
- 佐藤理人, 村上暁信, 梅干野晃, 2008, 都市街區を対象とした実現可能な緑化案に基づく顕熱負荷の抑制可能性の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1121-1122.
- 鈴木弘孝, 2008, 実在街衢内での樹木配置・壁面緑化の違いによる温熱環境シミュレーション, 日緑工誌, 34(2), 399-408.
- 梅干野晃, 浅輪貴史, 中大窪千晶, 2004, 3D-CADと屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ツール, 日本建築学会技術報告集, 20, 195-198.
- 梅干野晃, 浅輪貴史, 村上暁信, 佐藤理人, 中大窪 千晶, 2007, 実在市街地の3D-CADモデリングと夏季における街区のヒートアイランドポテンシャル - 数値シミュレーションによる土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境分析 その1, 日本建築学会環境系論文集, 612, 97-104.
- Rudolfsky, B., 1969, STREET FOR PEOPLE, Anchor Press, New York, 10.