



폭염 및 도시열섬현상에 따른 노후 주거지의 적응 계획기법에 관한 연구 - 광진구 군자동 중심으로 -

The Research of Planning Method of Adaption for Old Residential Neighborhoods According to Heat wave and Urban Heat-island Phenomena

- Focused on Gun-Ja Dong, Gwang-Jin Gu -

김민영* · 문은설**

Kim, Min-Young* · Moon, Eun-Seol**

* Dept. of Architecture, Konkuk Univ., South Korea (minoarchit@naver.com)

** Corresponding author, Dept. of Architecture, Konkuk Univ., South Korea (mes3868@naver.com)

ABSTRACT

Purpose: Urban heat island and Heat wave raise urban temperature and create damage of human life. Growing up as quantitative supply to solve shortage of housing, Urban residential area in Korea have a low rate of nature surface and heavily population makes temperature rise. Most houses in the declined residential area are multi-family rental housing and have many factors congesting housing environment such as narrow in-between space, outdoor staircases, walls and semi-basement floor, which make thermal environment getting worse. Most of the residents in this area are small tenants vulnerable to climate change adaptation, This damage is expected to be even greater. This study focus on multiple dwelling in urban residential area prone to temperature rise and draw temperature adaption method that can apply to multiple dwelling.

KEYWORD

도시열섬현상
폭염
적응 계획
노후 주거지
다가구주택

Urban heat-island phenomena
Heat wave
Adaption Planning
Old residential neighborhood
Multifamily Rental Housing

ACCEPTANCE INFO

Received May 26, 2016
Final revision received July 20, 2016
Accepted July 22, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

1만년 동안 지구 온도가 1°C 이상 변한 적이 없던 것에 비하면 지난 100년간 평균기온이 0.74 상승한 것은 큰 변화라 할 수 있다. IPCC는 2100년까지 지구 평균기온은 2.8°C(1.7~4.4°C) 증가하고 해수면은 0.21~0.48m(북극해빙이 녹는 최악의 경우 평균 해수면 1m) 상승할 것으로 전망하고 있다.¹⁾ 이와 같은 지구 온난화에 따른 기후변화 현상 가운데 하나는 폭염의 발생, 그리고 이로 인한 도시열섬현상의 심화이다.

폭염 및 도시열섬현상의 가장 직접적인 문제는 온도 상승으로 인한 신체적 부담 및 이로 인한 인명피해이다. 우리나라의 도시 주거지는 주거 난을 해소하기 위한 주택의 양적인 공급을 위주로 성장하여 자연 지표면 비율이 낮고 노후 건축물의 밀집도가 높으며 고밀의 인구가 거주하고 있어 온도 상승에 더욱 민감하다. 주거지 내 주택유형 대부분이 다가구주택·다가구형 단독주택으로 외

부계단, 50cm 폭 이내의 사이공간과 담, 반 지하, 옥탑 등이 만드는 주거 복잡성은 이를 더욱 악화시키는 요소로 작용한다. 또한 거주자가 대부분 영세 임차인으로 기후변화 적응능력이 취약한 점을 고려하면 이로 인한 피해는 더욱 클 것으로 예상된다.

본 연구는 폭염 및 도시열섬현상에 취약하고 즉각적인 환경개선이 어려운 노후 주거지의 피해를 최소화 하는 적응(Adaption) 측면의 정비기법 도출의 필요성에서 출발한다. 현재 우리나라 상당수의 주거지는 도시성장과정을 거쳐 노후화 단계에 이르렀고, 기후 변화에 대응하기 위한 대규모의 정비 및 개발이 어렵다. 저탄소 도시, 탄소 중립도시 등의 건축 및 단지 모델에 관한 연구는 활발히 진행 중에 있으나 기개발지 및 노후 건축물의 기후 변화 적응에 대한 연구는 이에 비해 미흡한 실정이다. 따라서 기후 변화로부터 거주민을 보호하고 지속가능한 정주환경을 형성하기 위해서 기후변화로 이미 발생하고 있는 피해와 향후 발생할 피해를 예측하여 그로부터 오는 위험을 최소화하는 적응(Adaption)개념의 대응방안이 무엇보다 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 도시 노후 주거지에 적용할 수 있는 건축적 정비 기법을 통해 노후 주거지의 기후변화 적응능력을 향상시키기 위한 방안을 제안하고자 한다.

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2016.16.4.031

1) 기상청, IPCC 제 5차 평가보고서 보도자료, 2013

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 서울시 주거지 형성과정에서 야기된 노후 주거지인 다가구주택 밀집지역의 열환경 취약성에 주목하고 이러한 다가구주택 밀집지역을 대상으로 한 폭염 및 도시열섬현상의 적응 계획기법 연구를 목적으로 한다. 따라서 연구의 공간적 범위를 서울시 광진구 군자동으로 선정하였다. 군자동은 1970년대 초 화양지구, 중곡지구의 토지구획정리사업 영향을 받아 단독주택지가 공급된 곳으로 주택공급정책과 강남과 강북을 잇는 지리적 이점이 있어 다가구주택이 밀집되어 있는 지역이다.

연구 방법으로는 크게 현장조사, 자료수집, 사례조사로 나뉜다. 서울 시가지 정비계획과 법규 및 정책 변화를 시계열에 따라 정리하여 노후 주거지 공간적 특성을 도출하였으며 노후도, 주거유형, 기반시설 및 지표면 피복률 등의 기초자료 수집은 통계, 위성자료 등을 이용하되 부족한 자료는 현장답사 및 실측을 통해 보충하였다. 사례조사를 통해 적응 계획기법을 도출하고 미기후 분석 프로그램인 ENVI-met을 이용하여 계획기법의 열 저감 효과를 분석하였다. ENVI-met은 3차원 미기후 모델로 격자 형태의 모델링 영역 내 입력된 지표면, 구조물, 식생에 대한 정보를 계산하여 온도 및 습도, 기류 등의 분포를 모델링 할 수 있는 프로그램으로 구체적인 기상 패턴의 표현과 식생, 지표면과 같은 요소의 표현이 가능해 본 연구에 적합한 실험성 검증 방법이라 할 수 있다. 이와 같은 시뮬레이션 분석은 연구의 타당성을 높이고 각 세부 계획기법에 대한 후속 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

폭염 및 도시열섬현상 등의 기후변화에 따른 적응기법의 필요성에 관한 연구로는 김정곤(2012)이 도시지역에서의 기후변화 피해유형화와 유럽 국가들의 사례분석을 통해 기후변화 적응도시 모델개발의 필요성과 방향을 제시하였다. 계획기법에 관한 연구로는 서안선(2009)이 아파트 배치 유형과 토지피복 변화에 따른 열섬완화 효과를, 박기용 외 3인(2011)은 대전시 노은지구 아파트를 대상으로 아파트 단지 내 수공간조성의 열섬현상 완화 효과를 각각 단지 계획 차원에서 고찰하였다. 노후 주거지형 계획기법 요소로는 류지원 외 4명(2012)이 담장 허물기를 통한 대구시 대명동의 단독주택지 열환경 개선효과를, 김대욱 외 2명(2013)이 대구의 저층 주거지역의 옥상녹화를 통한 열환경 개선 방안을 논의하였다.

선행논문을 살펴본 결과, 지속적으로 기후변화에 따른 기후변화 적응도시 모델 개발의 필요성과 적용 가능한 방안 제시에 주목하고 있으며 주로 공동주택 단지 배치 등의 계획기법 위주에서 노후주거지 적응 계획방안으로 연구대상 범위가 확장 되고 있어 점차 기개발지의 적응 방안 고찰 필요성이 강조되고 있음을 알 수 있다. 그러나 여전히 적응 방안 연구 대상이 아파트 등의 대규모 공동주택의 단지 계획기법으로 한정적이며 노후주거지형 계획요소의 경우 제시된 적응 요소가 부분적으로 종합적이고 체계적인 적응 방안의 필요성과 적응 계획 방안이 논의된 연구가 다소 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 노후 시가지지를 대상으로

폭염 및 도시열섬현상에 대한 기후변화 적응 방안을 종합적으로 제시하는데 그 의미가 있으며 선행연구와 차별성이 있다고 할 수 있다.

2. 이론적 고찰

2.1. 기후변화와 적응

1) 폭염 및 도시열섬현상

폭염은 기후변화로부터 발생하는 이상고온 현상으로 도시와 인체에 가장 직접적인 영향을 주는 대표적인 기후변화 피해유형이다. 일반적으로 30℃이상의 기온이 지속되면 일사병, 탈진으로 인한 사망자가 급격하게 증가하며, 기상청에 따르면 1901년에서 2008년까지 108년간 우리나라의 태풍, 대설, 폭염 등 모든 기상재해에 기인한 연간 사망자수의 순위는 폭염이 가장 높게 나타났다. 특히 도시지역의 노후 주택이 밀집한 지역 내 노인연령층이 폭염으로부터 크게 피해를 입는다.²⁾

고온현상은 도시열섬현상으로 인해 도시지역에서 더욱 극대화되어 나타난다. 도시열섬현상은 도시내부 온도가 도시외곽의 온도보다 높은 현상으로 도심으로 갈수록 온도가 높아지는 섬 모양의 등온선 분포 특성을 보인다. 도시열섬현상은 도시의 기온 상승·통풍불량 등의 환경 변화를 유발하여 시민의 건강을 해칠 가능성은 물론, 대류를 통한 국지적인 공기순환 능력을 감소시켜 열적으로 쾌적하지 못한 대기환경을 조성함으로써 도시 대기 오염을 심화 내지 가중시키는 요인이 되고 있다.³⁾

2) 도시열섬현상 원인과 특징

도시열섬현상의 원인으로는 토지이용변화에 따른 열수지 변화, 인공배열, 도시의 과밀화 및 고층화, 그리고 대기오염물질에 의한 온실효과를 들 수 있다. 도시화가 진행되면서 녹지 및 수면의 감소, 불투수성 콘크리트 피복재, 건물에 의한 지표면 요철의 증대 등으로 자연지표면이 감소하고 인공표면이 늘어나 온도가 증가한다. 또한 인공배열에 의한 온도 상승으로 도시에 밀집해 사는 사람들이 거주, 생산, 이동 등의 행위를 통해 배출하는 열이 도시열섬현상을 가속화하고 있다. 이에 더하여 도시의 과밀화와 고층화가 주변으로 불어오는 바람을 막아 따듯한 공기가 도시 내에서 머물게 되어 온도를 상승시키는데 이 때 대기오염물질 또한 도시지역에 체류하게 되어 온실효과를 초래해 온도 상승을 더욱 심화시킨다. 이러한 도시열섬현상을 완화하기 위해서 식재계획, 알베도 효과 등을 고려한 계획기법 등이 요구된다.

3) 적응(Adaption)의 개념

‘적응(Adaption)’이란 말은 원래 진화생물학에서 사용되어 오다가 기후변화에서 사용되었으며, 2007년 발리회의 이후 하나의 영역으로 자리 잡게 되었다(Giddens 2009). IPCC에 의하면 적응(adaption)은 ‘기후자극과 기후자극의 효과에 대응한 자

2) 장계연, 폭염에 따른 위기대응 및 건강관리 방안 개발, 한국건강증진개발원 연구보고서, 2009

3) 김운수, 도시열섬 현상의 완화 방안, 도시문제, 제 37권 제 405호, pp.58-73, 2002

연, 인간 시스템의 조절작용'으로 정의된다. 즉 적응이란 '기후는 지속적으로 변화하는 위험요인으로서 변화하는 기후로 인한 위험을 인지하고, 그로인한 부정적인 영향을 최소화하거나 관리할 수 있도록 하며 나아가 이를 긍정적으로 이용할 수 있는 기회를 찾는 과정'이라고 할 수 있다.

기후변화에 대응하기 위해서 기후변화의 원인인 온실가스의 배출을 줄이거나 온실가스 흡수 능력을 높여 기후변화의 속도와 크기를 감소 또는 억제시키는 완화(mitigation) 대책⁴⁾이 주로 고려되었으나, 온실가스 배출이 줄어들더라도 최소 수십년은 이미 배출된 온실가스의 영향으로 기후변화가 지속될 것이고 변화한 기후에 대한 적응력이 없는 도시는 지속적으로 피해가 발생한다. IPCC 제 4차 평가보고서(2007)에서 '영향, 적응 및 취약성'이라는 주제로 적응에 대한 논의가 본격화 되면서 적응 개념의 기후변화 대응이 논의되기 시작됐고, 이후 유럽연합의 기후변화 적응 백서(white paper, 2009)등 세계 각지에서 기후변화 적응 전략 및 적응 계획을 수립하고 있다. 국내에서도 2008년 국가 기후변화 적응 종합계획을 수립한 이후 인천광역시, 제주도 등 일부 광역 지자체에서 기후변화 적응계획 수립이 진행 중이다.⁵⁾

김정곤(2012)은 기후변화 적응도시를 '기후변화의 영향에서 오는 피할 수 없는 부정적인 측면을 최소화하여 기후변화 영향으로부터 안전하고 건강하게 살 수 있도록 하는 도시'로 정의하면서 1회성 건축자재, 탄소 배출 집약형 화석에너지원등을 사용하면서 성장한 현재의 도시는 오히려 기후변화 문제의 원인을 제공하고 있고 밀집된 도로, 산림의 파괴, 자동차 중심의 콘크리트 도시는 기상이변과 같은 현상에 대응하기 보다는 오히려 직접적인 피해에 가장 노출이 되어 있기 때문에 도시 기후변화의 원인을 차단하고 기상이변과 같은 현상에 피해를 최소화할 수 있는 적응 능력을 향상시키는 것이 가장 시급함을 강조하였다. 특히 우리나라의 도시 노후 주거지는 산업화 과정에서 주거 난을 해소하기 위해 공급 위주의 주거 정책의 영향을 받아 형성되었고, 이로 인해 발생된 공간적 특성 등이 기후 변화에 더욱 취약한 요소로 작용하고 있다. 따라서 기후변화의 속도와 크기를 감소시키면서도 기후변화에 취약한 도시 공간의 적응력을 향상시켜 이미 변화한 기후로 인한 피해를 최소화 하고, 미래에 발생할 영향 또한 예측하여 대비하고 관리할 수 있도록 하는 대응이 중요하다 할 수 있다.

2.2. 서울시 도시공간구조의 형성과 다가구주택 밀집지역 공간 변화 양상

서울의 과거 주거 정책은 급격한 산업화 및 도시화로 야기된 주거 난을 감당하기 위한 주택의 양적 보급에 초점이 맞춰져 있었다. 1960-70년대 토지구획정리사업을 중심으로 '가로블럭' 단위로 구획된 단독주택 격자형 주거지가 대규모로 공급되면서 서울시 기개발지의 절반에 해당하는 면적 5,855만 905㎡의 땅이 이를 통해 개발되었다. 그러나 여전히 주택공급량이 부족하고, 단독주택에 불법적으로 세를 주는 행태가 성행하는 등의 문제가

지속되었다. 이때 주택공급정책의 일환으로 각각 1984년, 1990년에 다세대주택, 다가구주택이 제도화 및 양성화 되었고, 민간 주택업자에 의해 대규모로 공급되자 주택공급에 긍정적인 역할을 하며 대표적 서민주거 유형으로 정착하게 되었다.

격자형 주거지의 다가구주택은 심각한 주택난을 해소하고 경제적 사정이 어려운 도시 이주민에게 지불 가능한 주거(Affordable Housing)로서 우리나라 도시의 대표적인 주거유형으로 정착하였으나, 당시 심각한 주택난을 해소하기 위해 최대한의 용적 확보를 통해 많은 가구 수를 수용하고자 한 정책방향 및 규제완화가 다가구주택의 공간 형태에 상당한 영향을 끼치게 되면서 주거환경 적 측면에서 많은 문제점을 드러내게 된다. 1980-90년대의 단독주택들이 재개발 가능연한이 되면서 기존 단독주택용으로 계획된 토지에 다가구가 거주하는 주택 유형이 자리 잡게 되고, 또한 공동이 거주하는 유형임에도 개별필지의 개별개발로 도시 계획적인 고려가 부족했기 때문에 기반시설과 외부 공간에 대한 계획이 미흡하였다. 정책변화에 따른 다가구주택 밀집 격자형 주거지의 공간적 변화양상과 특징은 다음 <표 1>과 같다.

다가구주택 밀집 격자형 주거지의 공간특징으로 인한 환경적 영향을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 높은 피복률로 인한 열의 과도한 축적이 우려되며 통합적 단지계획이 존재하지 않아 블록 내 녹지나 가로환경이 열악하여 온도 상승에 영향을 끼칠 우려가 있다. 둘째, 가장 열을 많이 받는 지붕 등이 축열량이 높은 콘크리트로 마감되어 있고, 건축물의 구성 또한 벽돌 및 시멘트로 이루어져 있어 축열량을 더욱 증가시킨다. 셋째, 과밀화된 공간과 협소한 건물간격 등으로 인공배열이 증가하고 이를 적절하게 통풍시키기가 어려워 열의 발산이 어렵다. 틈 공간에 노대와 발코니 등이 계획되어 있고, 옆 건물 간 인동간격이 좁아 사생활 침해로 인해 노대, 발코니 등이 조망과 통풍을 위한 반외부적 공간 보다는 주로 창고나 냉방기구의 실외기를 두는 공간으로 사용하고 있어 기계에서 발생하는 배열이 열환경을 더욱 악화시키는 요소로 작용하고 있다. 셋째, 노대, 외부계단, 지하, 옥탑, 담 등이 형성하는 주거복합성은 축적된 열이 빠져나가기 위한 통풍을 어렵게 하여 열환경 악화를 심화시키는 또 하나의 요소로 작용하고 있다.





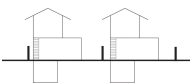
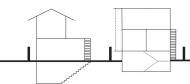
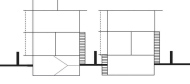
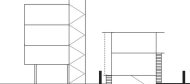
더불어 '서울시 기후변화 고도적응 방안 연구(김운수 외 1명)'에서 노인연령층, 불량한 주택형태, 질병, 냉방설비 작동 가능성의 유무 등의 취약성 요소가 폭염과 도시열섬현상으로 인한 피해를 더욱 가중시키며 2020년에는 고령자 비율 14.9%, 2030년에는 20%로 증가하면서 초 고령화 사회에 진입하게 되면 이와 같은 피해는 더욱 심각해질 것임을 지적하였는데, 노인의 경우 28.1℃ 이상인 날이 하루 증가할 때 마다 초과사망자는 11명 증가하며 32℃에서 1℃ 증가할 때마다 사망자는 9명씩 증가하는 경향이 있으며, 또한 저소득층일 경우 기후 변화에 즉각적으로 대처하기 어렵기 때문에 초 고령화 사회에 대비하여 적응 대책이 적극적으로 고려되어야 함을 강조하였다. 노후 주거지의 경우 대규모의 공간구조 변경이나 기반시설 확충 등의 도시환경 개선이 즉각적으로 이루어지기 어렵기 때문에 노후 주거지에 열환경 취약성과 악화 요인을 분석하고 이를 개선하여 노후 주거지의 적응 능력을 향상시키는 것이 더욱 중요하다 할 수 있다.

4) 김정곤, 기후변화 적응도시 모델개발을 위한 계획기법 및 사례 분석, 한국생태환경건축학회논문집, Vol.12 no.4, pp.13-19, 2012
5) 이무춘, 손승민, 강민지, 주시 기후변화 적응 계획을 위한 취약성 평가 연구, 한국환경정책학회 학술대회논문집, pp. 3-15 2010

Table 1 Changes in laws and policies

		1970s	1980s	1990s	2000s
Background		<ul style="list-style-type: none"> •Housing shortage caused by urbanization - Housing Supply through 'land compartmentalization and rearrangement projects' and 'Housing site development Promotion Act' 	<ul style="list-style-type: none"> •Housing shortage persists - Low multi-family housing effectiveness - Continuation of renting single-family type multi-family housing(single-family housing converted into a multi-family housing for rent) 	<ul style="list-style-type: none"> •Increases of Multi-family housing construction by private businesses caused by the legalization of multi-family rental housing 	<ul style="list-style-type: none"> •Increases of Multi-household housing construction caused by relaxation of regulation relevant to pilotis
Alteration of housing type			<ul style="list-style-type: none"> •1984 : The legalization of multi-household housing 	<ul style="list-style-type: none"> •1990 : The legalization of multi-family rental housing and mitigation of total floor area and the number of floor of multi-household housing 	
Details relevant to floor area	Building area	<ul style="list-style-type: none"> •The mitigation of calculation Building area : prominent part such as eaves, awnings, Buyeon and similar things like those was included in the area calculation except for the portion exceeding 1m setback line from the end of building. 	<ul style="list-style-type: none"> •1985 : Excluding outdoor staircases' area from building area of single-family and multi-household housing 	<ul style="list-style-type: none"> •1993 : Including outdoor staircases' area in Building area again 	<ul style="list-style-type: none"> •1999 : Mitigating building area of the balcony(1m except)
	Floor area	<ul style="list-style-type: none"> •1973 : Nodae(balcony) or etc, - If that area is less than one-half of the vertical surface from the outline of the bottom ranging to roof or other similar things, it may be excepted. •1978 : Underground parking lot and the space not used for staying on a permanent basis(居室) was excluded from floor area calculation. 	<ul style="list-style-type: none"> •1986 : Nodae(balcony) or etc, - The value obtained by multiplying the longest length of the nodae in contact with the outer wall and 1.5m may be excluded from the floor area. •1981 : Excluding floor area of basement floor from the gross area 	<ul style="list-style-type: none"> •1990 : Excluding floor area of the portion of ground floor used for parking lot from the gross area 	<ul style="list-style-type: none"> •2000 : If one or more extra flower bed is installed for 15/100 of area of Nodae(balcony or etc.), the value multiplied by 2m may be excluded.
Details relevant to height and the number of floor		<ul style="list-style-type: none"> •1973 : Excluding Basement floor from the number of floor 	<ul style="list-style-type: none"> •1985 : Mitigating the standard of basement floor - The height from basement floor surface to ground level ; 2/3 of the whole basement floor height→1/2 	<ul style="list-style-type: none"> •1990 : Deregulation Number of floors of multi-household housing ; can be constructed up to 3rd floor → 4th floor 	<ul style="list-style-type: none"> • 2000 : Excluding ground floor constructed as pilotis form the number of floor

Table 2 The space changes of multi-family housing block in accordance with direction of the laws and regulations

		1970s	1980s	1990s	2000s
Flow		<ul style="list-style-type: none"> • Housing development in the traditional way 	<ul style="list-style-type: none"> •The emergence of underground dwelling and Ensuring individual units' independence - Increased residential complex 	<ul style="list-style-type: none"> •The rate of increase in multi-family rental housing 	<ul style="list-style-type: none"> •Increases of the number of piloti-type housing
Feature		<ul style="list-style-type: none"> - Non-residential purposes in the basement(briquet, boiler room, warehouse) - South-facing yard placement or placement including the yard 	<ul style="list-style-type: none"> - Increased residential density - Transitional arrangement in a volume securing escape from a south-facing placement - Interior volume secured through external stairs - Outer space reduced to a relaxation of regulations such as Nodae 	<ul style="list-style-type: none"> - Floor height has heightened the first floor, second floor caused from appearance of underground dwelling -External stairs and gates installed underground dwellings separately - Continuous reduction of the Separation distance : Mitigating building area of the balcony(1m except) - Increased development density because of mitigation of the number of floors and households - Developed for ensuring the maximum volume : The occurrence of marrow empty space, decrease in area of outdoor space, continued reduction of green 	<ul style="list-style-type: none"> - Increases of Multi-household housing including indoor stair hall - The emergence of piloti-type housing due to easing regulations relevant to pilotis : piloti-type ground floor used for parking - The increased interest in infrastructure like parking lot, but considerations on site planning still not been made due to individually developing multi-family housing(ex. neighborhood park)
Changes in building arrangement					
Changes in cross section of buildings					
Floor Area Ratio and the number of households ⁶⁾		77%/1.3 households	87%/3.9 households	130%/4.8 households(2-story) 158%/6 households(3-story)	(unit building basis)

3. 사례조사를 통한 계획요소 도출

table 3. Planning techniques for the analysis of heat island phenomenon adaptation

Heat island Phenomenon	Title (Author, Year)	Planing Technique	Application Method
Land Utilization	Simulation of Changes in Nearby Thermal Environment According to Green Roof in Low-Rise Residential Area of Daegu (Kim, Dae Wuk et al., 2013)	Rooftop Gardening	If conduct a lightweight green roof in the low-rise residential, which gives the effect of reducing the ambient temperature, the thermal environment improvement.
	An Analysis of Rational Green Area Ratio by Land Use Types for Mitigating Heat-Island Effects(Song, Bong Geun et al., 2015)	Provision for Green space	Greening ratio for effective residence temperature reduction is 40-50%. When creating green space, it is possible to secure the wind passage.
	Development of Small HSSF Constructed Wetland for Urban Green space (Lee, Jeong Young et al., 2011)	Creating Artificial wetlands	HSSF artificial wetlands technology is applicable to small sites, being considered to help solve the city's temperature and reduce heat island phenomenon.
	Effects of Green Wall System Controlling Indoor Thermal Environments and Carbon Dioxide(Sin, Jung Hwan et al., 2014)	Wall greening	wall greening to the south-facing wall makes the temperature, humidity, carbon dioxide concentration in a stable manner.
Artificial heat	A Study on Properties of Retentive Asphalt Concrete (Jang, Seck Soo et al., 2006)	Using Retentive Asphalt	When using the retentive asphalt, surface temperature is lower and the thermal environment is improved.
	Case Study of Building Heating and Cooling using Photovoltaic Power and Geothermal Heat Pumps (Kim, Jin Sang et al., 2005)	Installing solar and geothermal heat pump	Electric produced by solar cells operates the geothermal pump. artificial heat is suppressed by storing hot and cool water to thermal storage.
Overcrowding and high-rise in the city	Comparative Evaluation for Indoor Summer Temperature of Top Floor according to Rooftop's Color(Ryu Hyoung Teak et al., 2011)	Roof color Change	White based roof can reduce the cooling energy and cool down the temperature inside the building
	Evaluation of Thermal Environment of External Space following the Fence Demolition Campaign in Detached Housing Area(Ryu, Ji won et al., 2012)	breaking down the fences	Removing the fence is possible to secure the space and it can lower the temperature as the tree planted in that space.
Air pollution	A study on Classification and Expression Characteristics of Intelligent Skin Design for Reduce of Energy Load(Seo, Won Duck et al., 2008)	Installation Double Skin in shade system	Awning adjustment to climate change can be applied to the renovated building because of natural ventilation.
	A Study on An Installment of Cool Corridors Reducing Urban Heat Island Phenomenon in Daegu, Korea(Kim, Soo Bong et al., 2004)	Ensuring Wind road	It is necessary to make way of the wind for not blocking the flow of air the surrounding area.
Greenhouse effect	Estimation of C Storage and Annual CO2 Uptake by Street Trees in Gyeonggi-dol(Park, Eun Jin et al., 2010)	Greening with Roadside trees	Roadside trees mitigate the heat-island phenomenon by absorbing co2 and having evapotranspiration. also, the shade formed from trees provides a healthy environment.

6) 국토해양부, 단독주택용지 내 다세대·다가구주택의 계획적 관리방안, 2008

3.1. 사례조사 계획요소 도출 방법

사례조사는 앞선 이론적 고찰에서 언급한 도시열섬현상의 원인과 각각의 기후변화 대응방안 요인을 기준으로, 열섬현상의 원인과 그 대응 방안 주제로 하는 논문의 계획기법을 분류하고 해당 연구내용을 조사하여 아래 <Table 3>에 정리하였다.

3.2. 계획요소 도출

선행연구의 고찰 결과 도시열섬현상의 원인을 크게 ‘토지이용’, ‘인공배열’, ‘도시의 과밀화 고층화’, ‘대기오염’으로 나눌 수 있었다. 도시의 높은 토지이용률과 불 투수면적 비율은 도시의 온도를 높이며, 집중된 인구가 배출하는 인공배열은 도시열섬현상을 더욱 가중시킨다. 기반시설과 건축물의 집중 분포는 도시의 유체 흐름을 방해하며 대기오염 물질의 장시간 체류로 온실효과를 초래해 도시지역을 도시열섬과 폭염에 상대적으로 취약하게 만든다.

연구에서 제시한 계획 요소를 살펴보면 토지이용에 관한 대응 방안으로는 옥상녹화로 인한 녹지를 향상, 인공습지로 인한 온도 저감 효과, 보수성 아스팔트로 인한 불 투수면적 비율 감소 방안이 있으며, 인공배열에 관한 대응 방안은 도시 소비에너지 감소를 위한 태양광 및 지열히트펌프 설치 그리고 지붕색 변화에 따른 실내 온도 감소효과 등이 있다. 도시의 과밀화에 관한 내용은 담장 허물기를 통한 지표면 요철 감소 및 수목 추가 방안이 있으며 통풍과 환기를 위한 바람길 조성 방안이 있다. 마지막으로 도시 가로수를 이용한 이산화탄소 흡수 및 증발산작용으로 대기오염을 막고 열섬효과를 완화하고자한 방안이 있다.

table 4. Grouping of similar planning techniques

division		Planning Elements
land utilization	Spatial structure	Provision for Green space
		Creating Artificial wetlands
Infrastructure	Road	Ensuring Wind road
		Using conservative asphalt
Building	Placing the building	Greening with Roadside tree
		breaking down the fences
	building construction	Rooftop Gardening
		Wall greening
construction facilities plan	roof color change	
	Installation Double Skin in shade system	

4. 대상선정과 분석

4.1. 대상지 선정

대상지는 서울시 광진구 군자동 345번지일대로 군자동은 1960년대 말, 1970년대 초 화양지구, 중곡지구의 토지구획정리 사업의 영향을 받아 1970년대부터 순차적으로 단독주택지가 공급되었고, 주택공급정책과 강남과 강북을 잇는 입지적 이점 등

로 다가구주택 중심으로 주거가 밀집되어 있는 공간이다. 주로 1970-1990년대의 다가구주택이 밀집되어 있고 대상지인 345일 대 또한 1980-90년대의 다가구주택이 밀집되어있다.



Fig. 1. House deterioration and Housing type in Gunja-dong



Fig. 2. House deterioration and Housing type in Site

4.2. 현장조사 및 열환경 악화 요소 도출

현장조사 결과 도출된 345번지 일대의 현황과 열환경 악화 요소는 다음과 같다.

table 5. Space configuration and condition in site

Space Configuration			
Ground fences	floor level (G.L±1.500)	basement (G.L±3.500)	floor The second floor (G.L±6.500)
Site condition			
Land use and cover	Artificial heat	Ventilation	Air pollution
<ul style="list-style-type: none"> covered surface without urban green space planning. Materials having high storage of heat (cement, bricks, ect) 	<ul style="list-style-type: none"> Overcrowded household. Air conditioning equipment located between buildings. 	<ul style="list-style-type: none"> Balconies, stairs between the buildings. Difficulties in problem of privacy. Using a verand -a with storage. - not available in using the window. 	<ul style="list-style-type: none"> The fenestra and the external structure are concentrated in a small space. Make it difficult to ventilate.

4.3. ENVI-met 모델링

도출된 계획기법 중 담장 허물기와 협소공간의 장애물 제거,

가로녹화, 옥상녹화, 피복 포장재의 제거를 적용하여 군자동 345번지의 정비 방안 모델링을 진행한 후 ENVI-met을 통해 열환경 변화 중 지표면 온도와 1.2m 상 대기온도를 기준으로 변화 정도를 측정하였다. ENVI-met은 도시의 공간을 격자 형태로 나누고 지표면, 구조물, 식생 등의 정보를 입력하여 유체의 흐름, 온도, 습도, 복사에너지 등의 분포를 2-3차원 형태로 예측할 수 있는 미기후 분석 프로그램이다. 독일에서 개발한 ENVI-met은 세밀한 CDF 모델 표현과 입체적인 식생 및 지표면 피복 특성 모델링을 지원해(Huttneret., al., 2009) 옥상녹화와 같이 좁은 공간에서 식생의 변화로 인해 발생하는 대기환경 변화를 모사하고 대기환경의 기여도를 평가하는데 있어 수치적인 정보를 비교 분석할 수 있다는 이점이 있다. 오규식(2009)은 ENVI-met을 이용하여 아파트 단지의 배치유형과 단지구성요소의 조합에 따라 바람길 변화와 온도변화를 분석하여 그 결과를 토대로 회귀분석을 실시, 원활한 통풍과 온도 저감에 효과적인 단지계획 방안을 제시했다. 이와 같이 ENVI-met은 단지규모, 단지 내 상세 기법 등의 열환경 분석 연구의 실효성 검증 도구로서 미기후 조절 및 계획기법 도출 연구에서 주로 사용되고 있다.

ENVI-met 모델링 입력 자료는 Area input file과 Configuration file로 구성되어 있는데, Area input file은 대상지역의 지리적 위치와 건물의 배열 및 높이, 지표면 피복 재질 유형, 식생 유형 등을 나타낼 수 있으며 Configuration file은 모델링 초기의 기상상태와 모델링 시기 등을 지정할 수 있다.

4.4. 적용 계획기법을 도출한 샘플 모델링 작성

본 연구에서는 '가로블럭' 내 다가구 주택들의 담장과 가로를 개선과 함께 옥상녹화를 적용하여 ENVI-met 모델을 작성하였으며 노후 주택지 내 담장 표현이 필요한 모델링으로 사용한 Area input file은 1×1×3m 스케일에 100×100×20 그리드로 input file을 작성하였다. Configuration file 값은 초기 모델링 시기 데이터로, 분석 일자인 서울시에 폭염 경보가 발효된(특보발효현황 사진) 2014년 8월 7일 한 낮 기준으로 12시 30분부터 1시 30분까지의 기상상태를 5분 간격으로 측정하였다. 모델링의 결과는 지표면 레벨에서 측정한 지표면 온도와 1.2m 높이에서 측정한 온도를 적용 전인 case1와 적용 후인 case2로 비교하여 표로 나타내었다. 온도 단위는 절대 온도로 295K를 초기 온도로 설정하여 0.6step씩 증가하는 방식으로 일괄 적용하였으며 작성된 모델의 개요는 다음과 같다.

table 6. ENVI-MET Modeling Overview

Before	After
An existing residence	<ul style="list-style-type: none"> Rooftop Gardening breaking down the fences Planting trees Surface improvement of site - change to soil surface Greening and planning trees in space between the residence
<ul style="list-style-type: none"> 1×1×3m scale. 100×100×20 grid Using the Climate date released on August 7th, 2014 from 12:30 to 1:30 being announced Heat-wave alert. It was measured at 5-minute intervals. Using climate data in 345 Gunja-dong, Gwangjin-gu, seoul The initial temperature of 295K, increases by 0.6 step 	

5. 시뮬레이션 분석

5.1. 시뮬레이션 결과 및 분석

table 7. ENVI-MET Modeling Results

Time	Surface Temperatures	
	case 1	case 2
12:35		
13:05		
Time	G.L+1200mm Temperatures	
	case 1	case 2
12:35		
13:05		
legend**	294.60K 이하 294.60~295.20K 295.20~295.80K	295.80~296.40K 296.40~297.00K 297.00~297.60K

시뮬레이션 결과 case1과 case2의 지표면 온도와 1.2m 높이 측정 기온 값을 <table10>과 같이 정리하였으며 두 경우를 비교하였을 때 전체적으로 적게는 1°C에서 많게는 2°C가량 온도차가 있음을 확인할 수 있었다.

먼저, 지표면 온도에서 case 1은 건물 사이의 협소한 공간을 중심으로 지표면 온도가 높았으며 이는 앞서 도출되었던 다가구주택지의 밀집도와 협소한 틈이 통풍을 방해하여 열 환경 악화 요소로 작용했음을 유추할 수 있었다. 반면 case2 경우에는 담과 협소공간의 장애물을 허물고 남향과 서향으로 심은 식재와 비포장도로의 영향으로 기존 담장부분에 비교적 낮은 지표면 온도 분포를 보이고 있었다.

1.2m지점의 기온을 비교해보면 case1에 넓게 분포해 있는 열이 case2에서는 그 면적이 감소되었으며 시간에 따라 기온이 증가하면서 열 분포 면적 차이가 크다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 요인으로는 담장이 제거된 부분에 조성된 비 포장된 마당과 수목의 식재가 증발산 작용이 기온을 낮추며 또한 통풍을 원활하게 해 다가구주택 지역의 열환경에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 예상된다. 더불어 사이 공간의 온도 저감이 주변의 열 분포에도 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다.

5.2. 연구의 한계 및 연구과제 검토

ENVI-met을 통한 시뮬레이션 결과, 담장 허물기와 녹화라는 계획기법의 적용을 통해 지표면 온도 값이 감소하는 것을 볼 수 있었으며 이를 통해 도출된 적응 계획기법이 실제적인 열환경 개선에 효과가 있음을 판단할 수 있었다.

그러나 본 시뮬레이션 모델링은 주택의 외부환경에 대한 계획요소만 고려하여 적용하였으며, 계획기법 또한 녹화와 담장 허물기로 한정되어 아쉬움으로 남는다. 또한 ENVI-met은 프로그램 특성상 녹지와 옥상녹화, 지표면 피복 등의 표현은 비교적 간단하고 쉽게 할 수 있으나 주택의 외피와 관련된 재료 등의 표현은 제약이 있고, 또한 실내 환경변화에 대한 측정이 어렵다는 한계점이 있다.

본 연구에서는 노후 주거지의 열환경 악화 요소를 도출하고 '담장 허물기'와 '녹화'라는 두 계획기법의 조정 전·후의 온도 변화를 비교하여 열환경 악화 요소의 제거를 통한 열환경 개선의 가능성을 입증할 수 있었으나 각각의 개별적인 적응 기법에 대한 효과와 온도 저감 정도를 검증하지 못한 것이 한계점으로 남는다. 후속 연구로 ENVI-met 뿐만 아니라 ECOTECT 등의 환경 분석 프로그램 등을 통해 건축 외피 등의 재료적 요소, 각종 설비로 인한 인공배열 등의 설비 요소, 주거 복잡성 완화, 통풍·환기 개선 등의 공간적 요소 등을 세부적으로 분류하여 개별적인 실효성 검증을 진행하는 것과 또한 재실자의 열적 쾌적(thermal comfort) 상태에 직접적으로 영향을 미치는 실내온열환경을 실내온도와 열저감 효과와 구분해 결과 값을 도출하여 이에 대한 분석을 진행해야 할 것이다.

6. 결론

본 연구는 노후 주거지인 다가구주택 밀집지역이 폭염 및 도시 열섬현상에 취약하고 적응능력이 현저히 낮으며 이는 다가구주택이 밀집되는 과정에서 나타난 공간적 특성과 연관이 있음을 지적하고 대대적인 개선이 어려운 노후 주거지의 열환경 악화 요소를 제거 및 개선함으로써 노후 주거지의 기후변화 적응 능력을 향상시킬 수 있는 계획 기법의 가능성을 제시한 점에 의의가 있다.

다가구주택 밀집지역은 대부분의 주택이 80년대와 90년대에 지어진 것으로 토지 이용 및 피복 측면에서 높은 축열량을 가진 재료의 사용과 현저히 낮은 녹지 비율 등이 열환경을 악화시키는 원인으로 작용하고 있다. 또한 높은 인구밀도와 노대, 발코니, 담, 외부계단 및 각종 설비 등이 형성하는 주거복잡성은 주거지 내 온도를 더욱 상승시키며 통풍과 환기가 어려워 열의 발산을 어렵게 한다. 서울시 광진구 군자동은 대표적 노후 주거지로 이와 같은 특성을 가지고 있다.

위와 같은 열환경 악화 요인을 제거 및 개선하여 노후 주거지의 적응능력을 향상시킬 수 있는 계획 요소들은 다음과 같다. 첫째, 유휴 공간의 녹화 및 축열량이 낮은 포장재의 이용 등으로 지표면의 온도를 낮추는 것이다. 가로녹화, 부분 녹지조성과 보수성 아

스팔트 등을 활용해 축열량을 낮추고 기화열 작용으로 온도를 낮출 수 있다. 둘째, 냉방부하의 가중 원인을 개선하는 것이다. 옥상과 벽면녹화는 녹지 확보가 어려운 도시공간의 녹지율을 높이면 서도 축열량 감소에 도움을 주고 냉방 기기의 사용으로 야기되는 인공배열 발생량을 낮춘다. 셋째, 환기와 통풍을 통해 열의 발산과 오염물질 배출을 할 수 있다. 불필요한 구조물은 제거하고 기존의 노대나 발코니에 차양형 이중외피를 설치하면 프라이버시를 확보하면서 통풍을 유도할 수 있다. 또한 담장 허물기는 주변으로부터의 공기 유입을 돕고, 확보된 공간에 인공습지 및 녹지조성이 가능해 온도를 저감할 수 있다. 이에 더불어 도시적 측면에서 수경시설과 녹지 확충을 통해 대기오염물질과 이산화탄소의 배출량을 점진적으로 개선할 수 있도록 해야 한다.

이와 같이 도출된 정비 계획기법을 적용한 군자동 345번지 일대 모델링 시뮬레이션 결과 옥상녹화, 담장 허물기 및 지표면 개선, 수목식재 등의 요소를 통해 열 환경이 개선될 수 있음을 확인할 수 있었다. 전체적으로 적게는 1°C에서 많게는 2°C가량 개선 전과 개선 후의 온도 차가 확인되었다. 지표면 온도를 비교한 결과 협소 공간을 중심으로 포장재 대신 흙을 이용하고 식재를 추가한 것이 열환경에 긍정적인 영향을 미쳤다. 1.2m 높이 관측 값에서도 이러한 틈 공간을 중심으로 온도 차에 상당한 변화가 있었는데 이는 틈 공간의 식재가 증발산 작용을 통해 축열량을 낮추고 동시에 담으로 인해 다소 어려웠던 통풍과 환기가 가능해져 온도 저감 효과를 가지고 온 것으로 유추할 수 있었고, 더불어 사이 공간의 온도 저감이 주변 열 분포에도 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 대대적 정비가 어려운 노후 주거지에 기후변화 적응 방안의 적용 가능성을 제고할 수 있었다.

본 연구에서는 포장재 개선과 수목 식재, 옥상녹화, 담장 허물기 등을 통한 노후 주거지의 열환경 개선의 가능성을 입증할 수 있었으나 각각의 개별적인 적응 기법의 열 저감 요인과 온도의 저감 정도, 실내 기온 저감 정도를 측정하지 못한 점 등이 기술적 한계가 남아있다. 그러나 본 연구는 폭염 및 도시열섬현상에 대한 노후 주거지의 적응 계획의 필요성과 가능성을 제고하고 이에 대한 적응 계획기법을 종합적으로 고찰한 점에서 의의를 가진다. 추후 재료, 설비, 공간적 요소의 계획기법을 세분화 하여 개별적인 실효성 검증을 진행하고, 실외 온도 뿐 아니라 실내온열환경의 개선 정도를 구분해 분석하는 좀 더 세부적이고 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 본 연구의 결과는 노후 주거지의 폭염 및 도시열섬현상 적응 상세 계획 기법 개발과 함께 노후 주거지의 주거환경 개선을 위한 관련 정책, 기존 도시형 u-city, u-green 모델 개발의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

This work is financially supported by Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) as 「U-City Master and Doctor Course Grant Program」

Reference

- [1] 김정근, “기후변화 적응도시 모델개발을 위한 계획기법 및 사례 분석”, 한국생태환경건축학회논문집, 2012 // (Kim, Jong-kon, “The Analysis of planning method and case study for Model ‘Climate Change Adaptation City’”, The Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2012)
- [2] 구혜정, 김연희, 최병철, “서울시 도시 열섬 구조의 변화에 관한 연구”, 기후연구 제2권 제2호, 2007 // (Koo, Hae-Jung, Kim, Yeon-Hee, Choi, Byoung-Cheol, “A Study on the Change of the Urban Heat Island Structure in Seoul”, KU Climate Research Institute, 2007)
- [3] 류지원, 정은호, 시미즈 아키, 오상학, 호야노 아키라, “담장허물기로 인한 주택지 외부공간의 열환경 평가”, 한국주거학회 논문집, vol.23(1) // (Ryu, Ji-Won, Jung, Eung-Ho, Shimizu, Aki Oh, Sang-Hak, Hoyano, Akira, “Evaluation of Thermal Environment of External Space following the Fence Demolition Campaign in Detached Housing Area”, Journal of the Korean Housing Association, 2012)
- [4] 박기범, 최찬환, “건축법규 변화에 따른 다가구주택의 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 vol.19(4), 2003 // (Park, Ki-Bum, Choi, Chan-Hwan, “A Study on the Characteristics of Multifamily Housing in accordance with the Change of Building Code”, Journal of the Architectural of Korea Planning & Design, 2003)
- [5] 이철희, 정재희, “기후변화 대응 주거단지 계획기법에 대한 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 제34권 제1호, 2014 // (Lee, Cheol-Hee, Jung, Jae-Hees, “A study on the housing design for climate change response - focused on extreme heat and heat island effect”, Architectural Institute of Korea, 2014)
- [6] 임재성, 박현신, 유승환, 강준모, “가로주택정비사업 대상지 선정을 위한 서울시 공간구조 분석”, 한국도시설계학회 추계학술대회 발표논문. 2012 // (Im, Jae-Seoung, Park, Hyun-Sin, Lew, Seung-Hwan, Kang, Jun-mo, “Spatial Structure Analysis for a Site Selection of Small-sized Block Maintenance Project - In Case of Land Readjustment Project Area Except Urban Regeneration Areas”, Urban Design Institute of Korea, 2012)
- [7] 임희준, “다가구주택 외부공간의 공공성에 관한 연구”, 석사학위취구논문, 2014 // (Im, Hui-Jun, “A study on the Public Outdoor Space of Multi-Family Housing”, University of Seoul, 2014)
- [8] 추장민, 공성용, 백승아, “저소득계층의 기후변화 적응역량강화를 위한 정책방안 연구 I”, 한국환경정책평가연구원 연구보고서, 2010 // (Chu, Jang-Min, Kong, Seong-Yong, Baek, Seung-A, “Policies to Enhance the Capacity of Climate Change Adaptation on the Low-income People I”, Korea Environment Institute, 2010)
- [9] 송봉근, 박경훈, “도시열섬완화를 위한 토지 이용 유형별 합리적 녹지율 분석”, 한국지리정보학회지, 2015, pp.59-74 // (Song, Bong-Geun, Park, Kyung-Hun, “An Analysis of Rational Green Area Ratio by Land Use Types for Mitigating Heat-Island Effects”, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 2015)
- [10] 김준호, 이현정, “이끼를 이용한 벽면녹화시스템의 열환경 평가 연구”, 한국건축친환경설비학회 논문집, 2012, 10, pp. 187-190 // (Kim, Jun-Ho, Lee, Hyun-Jung, “A Study on Thermal Environment Evaluation of Green Wall System Using Moss”, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2012)
- [11] 신정환, 김환이, 김석환, 김수민, “벽면녹화가 온열환경 및 이산화탄소 농도 조절에 미치는 영향”, 한국가공학회지 vol. 25, 2014, pp.148-153 // (Sin, Jung-Hwan, Kim, Hwan-Yi, Kim, Sug-Hwan, Kim, Su-Min, “Effects of Green Wall System Controlling Indoor Thermal Environments and Carbon Dioxide”, Journal of the Korea Furniture Society, 2014)
- [12] 김수봉, 정은호, 김용범, “도시열섬현상 완화를 위한 대도시 바람길 도입 및 조성방안에 관한 연구”, 환경과학논문집 vol. 9, 2004. 12, pp.143-156 // (Kim, Soo-Bong, Jung, Ho-Eung, Kim, Yong-Bum, “A Study on An Installment of Cool Corridors Reducing Urban Heat Island Phenomenon in Daegu, Korea”, Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute, 2004)
- [13] 김진상, “태양광 및 지열히트펌프를 적용한 건물냉난방 사례”, 대한전기학회 논문집, 2005. 7, pp.18-20 // (Kim, Jin-Sang, “Case Study of Building Heating and Cooling using Photovoltaic Power and Geothermal Heat Pumps”, The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, 2005)
- [14] 장석수, 이승환, 정용욱, “보수성 아스팔트 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 2005. 5, pp.565-568 // (Jang, Seck-soo,

- Lee, Seung-Han, Jung, Yong-Wook, "A Study on Properties of Retentive Asphalt Concrete", Journal of the Korea Concrete Institute, 2005)
- [15] 박은진, 강규이, "경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량 산정", 한국환경생태학회지 vol.24, pp. 591-600, 2010. 10 // (Park, Eun-Jin, Kang, Kyu-Yi, "Estimation of C Storage and Annual SCO2 Uptake by Street Trees in Gyeonggi-do", Korean Journal of Environment and Ecology, 2010)
- [16] 김대욱, 정응호, 차재규, "대구광역시 저층주거지역의 옥상녹화 조성에 따른 주변 열환경 변화 모의실험", 한국주거학회 논문집 vol.24, 2013. // (Kim, Dae-Wik, Jung, Eung-Ho, Cha, Jae-Gyu, "Simulation of Changes in Nearby Thermal Environment According to Green Roof in Low-Rise Residential Area of Daegu", Journal of the Korea Housing Association, 2013)
- [17] 국토해양부, "단독주택용지 내 다세대·다가구주택의 계획적 관리방안", 2008 // ("A Study on the Management of Multi-household and Multifamily Housing Area in detached housing area", The Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2008)
- [18] 이무춘, 손승민, 강민지, "월주시 기후변화 적응 계획을 위한 취약성 평가 연구", 한국환경정책학회 학술대회논문집, 2010. 2, pp. 3-15 // (Lee, Mu-Choon, Son, Seung-Min, Kang, Min-Ji, "A Research of Vulnerability Assesment for the Planning of Climate Change Adaptation of the Wonju Local", Korea Environmental Policy And Administration Societ, 2010)
- [19] 김운수, 최유진, "서울시 기후변화 고도적응 방안 연구". 서울시정개발 연구원, 2010 // (Kim, Woon-Soo, Choi, Yu-Jin, "A Study on Strategies of Climate Change Adaptation in Seoul", 2010)