

도로 주변부 기온에 영향을 미치는 요인에 관한 연구: 도로조건과 교통특성을 중심으로

이유화* · 양인철** · 김도경*** · 임지현****

Lee, Yuhwa*, Yang, Inchul**, Kim, Do-Gyeong***, Lim, Ji Hyun****

A Study on the Factors Affecting Air Temperature on Roadside : Focusing on Road Conditions and Traffic Characteristics

ABSTRACT

It turned out that there was a direct or an indirect relationship among global warming, urban heat island effects, urban and traffic environments, and public's health. In particular, unusual climate phenomena such as frequent heavy rainfall and scorching heat in a row that had rarely happened before have a negative effect on quality of life for people living in urban areas. This study focuses on the effects of roadway geometric design and traffic conditions on air temperature of roadside in Seoul Metropolitan Areas, controlling of roadway micro-climate environment. Five roadway segments containing different roadway and traffic conditions in terms of traffic median with trees, street trees, traffic volume and average travel speeds were surveyed. According to statistical results(t-test) from three roadway air temperature regression model estimations, air temperature is found to be different from one another in three periods-morning, afternoon and evening. Regarding roadway geometric design, air temperature of urban roads with vegetated median strips is lower about 1.3~2.2 degrees in celcius. Higher traffic volumes per lane and lower average travel speeds will tend to increase roadside air temperature, and efficient traffic operation policies can protect from increasing roadside air temperature in urban areas.

Key words : Roadway geometric design, Air temperature on roadside, Urban heat island effects

초 록

지구 온난화와 도시 열섬 현상, 그리고 도시 및 교통 환경과 도시민의 건강은 상호 직·간접적인 관계로 이어져 있다. 특히 도시 폭염 및 폭우 등과 같은 이상 기온현상은 도시민의 삶의 질과 관련되어 부정적인 영향을 미치고 있어 그 현상을 파악하기 위한 연구가 최근 다양하게 수행되고 있다. 본 연구에서는 도시 피복율이 높은 도로의 기하구조 및 교통조건이 도로 주변부 기온에 미치는 영향을 파악하기 위하여 서울시 도로 5개의 서로 상이한 도로 기하구조를 가지고 있는 지점의 기온, 습도, 풍속, 교통량, 평균 통행속도, 중앙분리대 설치 여부, 가로 식재 설치 여부 등 도로의 환경(미기상적) 조건과 더불어 도로 및 교통 현황을 조사하였다. T-test 분석 결과 기온의 특성상 오전, 낮, 밤의 기온이 서로 상이하다고 밝혀졌기 때문에 도로 주변부 기온 분석 모형은 시간대별로 각각 구축되어 타당한 결과가 도출되었다. 도로 기하구조면에서는 시간대와 상관없이 식재 중앙분리대가 설치된 도로의 경우는 설치하지 않은 도로에 비해 1.3~2.2℃ 정도의 기온 저감효과를 보이는 것으로 나타났다. 교통조건면에서는 평균통행속도가 낮아질수록, 차로당 교통량이 많을수록 도로 주변부 기온이 올라가는 것으로 밝혀졌다. 따라서 교통 운영면에서 소통을 원활하게 하는 정책을 수행한다면 도로 주변부 기온을 낮추는 효과도 가질 수 있다고 판단된다.

검색어 : 도로 기하구조, 도로 주변부 기온, 도시 열섬현상

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (ylee@kict.re.kr)

** 정희원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (**Corresponding Author** · Korea Institute of Construction Technology · ywinter75@kict.re.kr)

*** 정희원 · 서울시립대학교 부교수 (dokkang@uos.ac.kr)

**** 한국건설기술연구원 전임연구원 (jhlum@kict.re.kr)

Received November 30 2012, Revised February 5 2013, Accepted April 25 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

지구 온난화 현상에 대한 이슈는 연일 화제가 되어왔다. 석탄, 석유와 같은 화석연료 에너지 소비는 1900년 이래, CO₂ 등 온실가스 증가로 바로 이어져 왔고 이로 인한 기후 변화, 특히 도시 폭염, 폭우와 같은 도시 이상기후 현상으로 이어져 왔다. 일본 도쿄의 연평균 기온은 지난 세기 동안 3℃ 증가하였고, 이는 지구 온난화 속도의 5배나 된다고 한다(Narita et al, 2008). 우리나라도 예외가 아니다. 1960년 이래, 서울은 1.19℃, 울산은 1.26℃ 상승하였고, 이는 도시화와 통계학적으로 관계가 있다고 밝혀졌다(김현철 등, 2011). 또 다른 연구에서는 1908~1917년의 10년 동안의 평균 기온보다 1998년~2007년의 10년 동안의 평균 기온이 2.4℃가 상승하여 세계 평균 기온 상승의 6배가 넘는 수치라고 밝혔다.

전 세계적으로 보편화된 도시 기온 상승은 도시 열섬 현상(과 직결된다. 도시 열섬 현상은 19세기 런던에서 처음 인식하기 시작한 이래, 1990년대부터 미국, 일본 등을 중심으로 도시확장, 피복면적 증가 등을 도시 열섬의 주요 요인으로 규명하고, 이를 해결하기 위한 해결책 마련에 힘쓰고 있다. 최근 유가 급증과 함께 “저탄소 녹색성장”에 대한 관심이 커지면서, 도시에서 소비되는 냉방 에너지를 절감하기 위한 방안으로서 도시열섬현상 감소 방안을 위한 연구가 이뤄지고 있다(김용진 등, 2011).

우리나라 건축, 도시 분야에서는 건물에너지 소비와 인공배열을 줄이는 방법과 함께, 피복 변화로 인한 복사 및 에너지 수지 변화, 바람길과 시가지 형태 변화, 도시 내 녹지축 공급 등에 대한 연구 등을 중심으로 열섬문제 해결을 위해 다양한 전문가들이 노력하고 있다. 이에 비해 도로 및 교통 분야에서는 도시 피복, 즉 콘크리트와 아스팔트와 같은 건설 재료가 품는 잠열과 야간 열 배출이 도시 열섬에 미치는 영향이 매우 크다는 것은 인지하고 있지만, 일본과 우리나라에서는 도로 노상, 혹은 가로 식재의 온도 변화 및 현열(Heat flux)의 정도를 컴퓨터 시뮬레이션 분석을 통해, 혹은 위성, 항공사진을 이용한 원격 열환경 측정을 통해, 혹은 현장 실측 자료를 통해 대부분 열섬 현황을 파악하고, 현실 가능한 대책을 제시하는 수준에 있다.

따라서 본 연구는 도시 내에서 아스팔트 포장 면적 등 피복율이 높은 도로에서 환경(미기상) 조건과 함께 도로 기하구조와 교통여건이 도로 주변부의 기온에 미치는 영향을 파악하는 것을 그 목적으로 한다. 특히 도시부 도로의 아스팔트 포장도로가 노면 온도를 상승시킨다는 현상 파악보다 한 단계 나아가, 도로의 기하구조와 도로

교통조건이 도로 주변부 기온에 미치는 한계 효과(Marginal effect)를 파악하는 것을 주요 목적으로 한다.

1.2 연구의 흐름

본 연구는 도시부 도로 기하구조 및 교통 조건이 기온에 미치는 영향을 분석하기 위해 Figure 1과 같은 순서로 연구를 수행하였다. 그 중 통계적 모형을 활용하여 도시부 도로의 시간대 별 기온 변화에 대한 요인 및 한계 효과를 파악하였다.

2. 기존문헌 고찰

선행 연구는 건축·도시 및 도로·교통 분야 중 도시 열섬효과 현상 현황 파악 및 도시부 도로 기하구조 및 교통 조건이 기온에 미치는 영향과 관련된 문헌을 살펴본 후 한계점 및 연구의 착안점을 도출하였다.

2.1 건축·도시분야

이은엽(1996)은 도시녹지의 기온 및 지온 완화효과에 관한 연구를 실시하였다. 여름철의 지표온도는 잔디면 < 나지(메타세콰이어) < 인터록킹블럭(백합나무) < 콘크리트의 순서로 높게 나타나, 지표재료의 선정이 지온에 미치는 효과가 지대하다는 것을 확인할 수 있었다. 나지와 잔디면 등 자연재료의 기온 최고·최소 온도차이가 인공재료에 비해 적게 나타나 일교차의 완화효과가 확인되었으

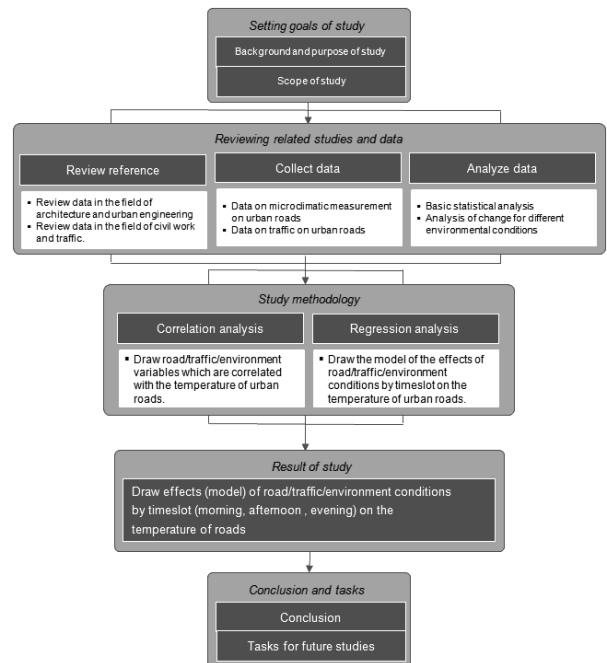


Fig. 1. Study Flowchart

1) 도시 열섬 현상(Urban Heat Island)이란, 도시 내 특정 지역이 주변 교외지역에 비해 더 높은 기온을 나타내는 현상을 의미함(김용진 등, 2011)

며, 잔디면과 같은 식물체 등은 낮에는 복사열을 흡수하는 작용을 통해 온도를 저감시키고, 밤에는 축적된 잠열을 발산하는 열순환의 작용을 통해 기온을 약간씩 상승시켜 일교차의 폭을 완화시키고 있음을 확인할 수 있었다.

윤용환(2001)은 녹지에 의한 열섬현상의 저감효과 중 풍속과의 관련성에 관한 연구를 수행하였다. 그 결과 녹지 내·외의 기온 및 상대습도분포도로부터, 녹지 내는 어떤 풍속이라도 주변 시가지 보다 저온의 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 녹지 내의 고온역은 포장면 및 나지 주변에서, 저온역은 수림지 주변에서 인정되었으며, 상대습도는 기온분포에 거의 대응하는 형태로 고온역이 저습역이고, 저온역이 고습역으로 나타났다. 토지피복비율, 기온, 풍속과의 관계에서 수림지율, 초지율은 어떤 풍속이라도 기온저감효과에 유효하였으며, 그 강도는 풍속이 약할 때, 강할 때, 가장 약할 때의 순으로 나타났다.

김수봉, 김해동(2002)은 도시 열섬현상을 완화하기 위한 방법으로 인공폐열 발생 억제와 도시 내 녹지를 증가하는 방법을 주장하였으며, 도시의 수목이 기온의 조절에 미치는 영향을 규명하였다. 가로수가 주변 기온 저하에 미치는 효과를 정량적으로 평가하기 위하여, 대표적인 가로수 중의 하나인 플라타너스를 대상으로, 측정대상을 선정하였는데, 야외관측결과 일사가 강한 시간동안(2~5시)의 기온은 식피층 기온보다 1~2.5℃ 높았고, 엽면 온도는 식피층보다 1~2℃ 낮은 것을 관찰할 수 있었다. 이는 엽면의 증산작용이 활발하여 식피층 내 저온이 형성되며, 이는 식피층 내의 열을 빼앗아 기온저하를 유발시키는 것으로 밝혔다.

김학열, 김운수(2003)는 서울시 도시기온 변화에 관한 모델 연구를 위해 서울시에 위치한 자동기상측정망(AWS:Automatic Weather System) 23개 지점의 온도와 그 주변 일정거리 내의 토지이용유형별 면적을 추출하여 분석하였다. 연구 결과 500m 반경 내의 교통시설지 면적의 1% 증가는 그 공간의 온도를 0.016~0.021% 증가시키는 것으로 나타났으며, 녹지 및 오픈스페이스의 1%의 증가는 그 공간의 대기온도를 0.017~0.046%정도 감소시키는 것으로 확인되었다.

해의 연구는 주로 일본을 중심으로 도시 내 녹지면적과 열환경, 상업·주거지역에서의 도시 열환경 평가 등이 수행되어 왔다. Saito et al.(1990)은 도시지역(구마모토 시)에서의 기상적 요소와 녹지 분포의 관계에 대해서 조사하였다. 도시지역 규모를 구분해서 기상적 요소 중 대기 온도(대규모 지역)와 dry-bulb & wet-bulb 온도, 흑구 온도, 풍향, 풍속(소규모 지역)를 조사하였고, 피복 조건과 표면 온도가 비행기를 통해 원격 센서 자료(remote-sensing data)을 통해 추정되었다. 그 결과, 도시 대기온도는 녹지 면적 분포와 매우 밀접한 관계에 있고, 2~3℃의 온도저감효과가 있다고 밝혔다.

Ohashi et al.(2009)은 WBGT(wet-bulb globe temperature) index를 사용하여 일본 오카야마시의 상업과 주거지역에서의 도시 열환경을 평가하였다. 상업지역(고층 오피스 빌딩으로 구성)에서의 평균 WBGT는 주거지역(1~2층 주거 건물로 구성)보다 더 높게 나타났으며(최고 온도 차이는 2.0℃, 19시 Japanese Standard Time), 그 차이는 통계학적으로 유의한 것으로 나타났다.

2.2 도로·교통분야

조혜진, 임지현(2011)은 도시부 도로 녹지의 도로 표면온도 저감 효과를 분석하기 위해 서울시 도로 18개 지점을 선정하여 도로 횡단구성요소(도로주변 토지이용, 차도, 보도, 식수대, 중앙분리대)별로 열화상카메라를 사용하여 표면온도를 조사하고, 도로의 녹지 면적을 측정하였다. 도로 녹지의 도로 표면온도 저감에 미치는 영향을 분석한 결과 도로 주변 토지이용이 주로 녹지 및 오픈스페이스일 경우 도로 온도에 미치는 영향이 가장 크며, 식생중앙분리대의 면적, 식수대의 면적 순으로 도로 표면온도를 저감시켜 주변 녹지면적 뿐만 아니라, 식수대, 중앙분리대 등의 녹지면적 증가는 도로의 표면온도 저감에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Yoshida 등(2000)은 여름의 도로 열환경이 보행자와 주민에게 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 보행자의 인식(consciousness) 관점에서 여름에는 일사량과 도로 표면온도로 인해 보행자들은 불쾌감을 느끼고, 자동차 폐열 등 인공폐열로 도로 열환경을 악화시킨다고 느끼고 있다. 따라서 도로계획단계에 보행자와 도로변 주민의 의식을 포함한 열환경 평가를 수행하여 열환경 개선 방안을 수립해야 할 필요가 있다고 결론을 내리고 있다.

Narita 등(2008)은 여름동안에 도로 주변의 가로수 형태가 미기후와 현열이 미치는 영향을 연구하였다. 연구 결과 가로수가 도로의 위를 가려주는 지붕형태로 형성된 경우가 그렇지 않은 경우 보다 기온, 열부하, 장파복사가 낮게 측정되어 도로 표면이 태양복사에너지로부터의 명확한 차폐효과를 나타내어 온도저감에 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

마지막으로 Park et al.(2012)에서는 도시 식재가 외부 열환경에 미치는 효과를 분석하였는데, 1.5m 높이의 콘크리트 큐브의 배열로 구성된 도로 모의 실험적 모형을 통해 여름철 외부 환경을 측정할 결과, 가로변 식수대는 풍속을 51% 저감시키는 효과가 있었으며, 가로변 식수는 흑구 온도를 떨어뜨리고, 그늘을 통해 그 효과가 나타난다고 결론지었다. 이 연구에서 식생 중앙분리대는 주목할만한 관측결과가 없었다고 밝혔는데, 통계학적인 분석 결과가 아니라 모의실험 측정결과임을 유념해야 한다.

2.3 시사점

선행연구를 정리하면, 건축도시 분야에서는 도시의 열섬현상에

대한 현황 파악과 함께 그 완화대책을 위한 연구가 다수 이루어졌으나, 도로·교통 분야는 아직 현황 파악의 수준이며, 정량적인 효과 규명을 통한 정책적 활용은 아직 미비한 실정이다. 특히 도로 설계요소에 관하여, 수목 공간 포함 도시부 도로의 다양한 횡단면 구조와 교통량과 평균 통행속도로 대표되는 교통조건이 도로의 온도 증가에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 도시화로 인해 변화되는 다양한 지표면의 변화 중 대표적인 것은 도로 면적의 증가이며, 서울시의 경우 전체면적의 약 70%가 불투수 면적이고, 이중 50%를 차지하는 것이 도로이다. 이러한 도로면적의 증가는 교통량 증가로 이어져 자동차로부터의 폐열이 도시의 온도 상승에 미치고 있음을 간과해서는 안된다. 따라서 본 연구에서는 도로 기하구조와 교통조건이 도로 주변부 기온에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 것에 연구의 주안점을 두었다.

3. 자료수집 및 기초 통계

3.1 변수의 선정 및 조사방법

본 연구에서는 기존 연구 고찰에 근거해서 도시부 도로 주변부 온도에 영향을 미치는 주요 변수로 도로 기하구조 조건 중 피복으로 녹지인 식수대와 식생 중앙분리대를 구분하고, 불투수 포장면적의 proxy변수로 차로수(양방향)를 가정하였다. 도로교통 조건으로는 교통량(단위시간당), 평균 통행속도(km/h)를 선정하여 도로상 자동차 폐열과 교통 혼잡상태가 도로 주변부 온도에 미치는 영향을 설명할 변수로 지정하였으며, 환경(미기상) 조건은 기온, 습도, 풍속을 선정하였다.

3.1.1 식수대

노면 식수대의 도로 주변부 기온 저감효과를 살펴보기 위하여 식수대를 설명변수로 선정하였다. 문헌연구에서 살펴본 바와 같이 도시 내 녹지의 규모가 크면 클수록 녹지 내외에 미치는 기온의 저감효과가 크다(윤용한 2001). 따라서 본 연구에서는 도로의 식수대의 존재가 기온에 미치는 영향을 고려하기 위해 식수대가 설치되어 있는 경우와 설치되어있지 않은 경우로 구분하였다.

3.1.2 식생 중앙분리대

중앙분리대는 차도를 통행의 방향에 따라 분리하고 노측의 여유를 확보하기 위하여 도로의 중앙에 설치하는 분리대와 측대를 말한다. 중앙분리대의 유형 중 녹지형태의 중앙분리대를 식생 중앙분리대라고 한다(국토해양부, 2000). 식생 중앙분리대는 야간 차량의 주행 시 전조등의 불빛을 방지할 뿐만 아니라 차도에 그늘을 제공하여 도로 온도의 저감을 가져온다. 본 연구에서는 이러한 식생 중앙분리대의 존재가 도로의 주변부 온도저감에 미치는 영향

을 분석하고자 식생 중앙분리대가 설치되어 있는 경우와 설치되어 있지 않은 경우로 구분하였다.

3.1.3 차로수

세 번째 변인으로 도로 차로수를 선정하였다. 도로는 공공의 통행을 위하여 제공되는 것으로, 차로수는 도로의 폭원을 대표하는 값이다. 도시 부 도로의 경우 포장면적에 따라 온도상승의 효과가 있다는 선행 연구에 따라(김학열 외, 2003) 왕복 2, 4차로의 두 가지 수준을 고려하였다.

3.1.4 교통량 속도

교통량은 도로의 한 지점을 일정 시간에 통과한 차량의 수이고 통행속도는 단위 시간에 대한 거리 변화율이다. 도로에서의 대표적인 교통특성인 교통량과 통행속도가 도로 주변부 온도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선정되었다. 자동차로부터의 인공폐열(anthropogenic heating)은 도시 환경에서의 3대 주요 인공 폐열 중 하나로 도시 열섬효과 현상의 주요한 요인이며, 이는 VKT(vehicle kilometers traveled)와 EV(energy release per vehicle per meter of travel)와의 관계식에 의해 산출된다(Sailor and Lu, 2004). 본 연구에서는 인공 폐열을 정확히 산출하는 것이 목적이 아니므로, 대체변수로 도로 차로당 교통량을 사용하였으며, 도로의 혼잡상태로 인한 도로 주변부 온도로의 영향을 파악하기 위해 평균속도를 설명변수로 사용하여 자동차로부터의 폐열과 도로의 온도와의 관계를 알아보고자 하였다. 교통량은 미국 NU-Metric사의 NC97 검지기를 이용하여 전 차로를 종일 측정하였으며, 평균 통행속도는 조사지점의 차로별 통행속도를 각각 조사하여 평균속도로 환산한 값을 사용하였다.

3.1.5 기온·습도·풍속

본 연구에서는 도로 및 교통조건과 함께 미기후 환경의 영향을 반영하기 위하여 기온·습도·풍속 변수를 함께 고려하였다. 미기후 자료는 전문업체에 의뢰하여 AWS를 이용하여 측정하였는데, 기온은 대기의 온도로 보통 지면으로부터 1.5m높이의 백엽상 속에 놓인 온도계로 젠 온도(°C)로 정의한다. 습도는 일정 부피의 공기 속에 실제로 포함되어 있는 수증기 양과 포함할 수 있는 최대한의 수증기 양과의 비율(%)이며, 풍속은 바람의 속도(m/s)이다.

도로 기하구조, 교통, 환경조건에 영향을 받는 종속요인으로 기온을 종속변수로 선정하였으며, 습도·풍속은 기온에 영향을 미치는 주요 요인이므로 독립변수로 선정하였다.

3.2 조사대상지 선정

도시 열섬현상은 인구와 건물이 밀집되어 있는 도심지에서 일반

적으로 다른 지역보다 온도가 높게 나타나는 현상이다. 주변의 온도보다 높은 특별한 기온현상을 나타내는 지역을 열섬이라 한다.

열섬현상은 건축물, 포장도로 증대에 따른 지표면 열수지의 변화, 연료소비에 따른 인공폐열, 오염물질의 방출량 증가, 대기오염물질에 의한 온실효과, 고층건물의 요철에 따른 환기의 어려움 등이 주요인으로 꼽힌다. 서울시는 이러한 요인을 모두 갖추었기 때문에 본 연구에 가장 적합한 대상지로 판단하여 선정하였다.

서울시 중 도시 열섬현상이 특히 많이 나타나는 지역인 종로구, 서대문구, 강남구, 영등포구, 용산구를 대상으로 Table 1과 같이 선정하였으며, 5개의 실험대안과 이와 가장 유사한 도로 5개 지점을 선정하여 조사하였다. 도로의 기하구조와 교통조건이 도로 주변부

기온에 미치는 정량적 효과를 파악하기 위하여 위에서 기 선정된 변인과 자료의 수준을 근거로 최종적으로 선정된 5개 지점의 조사지 일반적 현황과 실제 현장조사 사진을 정리한 결과는 Table 1과 같다.

3.3 자료 수집 및 측정

도로 및 교통 조건이 도시부 도로 주변부 기온에 미치는 영향을 분석하기 위하여 차로수/식생 중앙분리대/식수대 유무를 포함하는 5개 지점에서 도로 주변부 기온분포와 교통량, 평균 통행속도는 실시간으로 자료를 측정하였다. 실험대상지 모두 차도의 포장 재질은 아스팔트포장이고 검은색이었으며, 보도의 재질은 인터록킹블록으로 동일한 재질이었다.

Table 1. Characteristics of Survey Sites











No.	Location	No. of lanes	Planted median strip	Vegetated median strip	Measuring point	AWS measurement point
1	The road in front of the National Folklore Museum of Korea in Hyoja-dong, Jongro-gu, Seoul, Korea	4	Yes	Yes		
2	The road in front of Yonsei University in Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea	2	Yes	No		
3	96, Samseongro-, Gangnam-gu, Seoul, Korea	2	No	No		
4	The road near the Daerim station in Daerim 3-dong, Yeongdeungpo-gu, Seoul, Korea	4	No	No		
5	The road near the Itaewon station in Itaewon 1-dong, Yongsan-gu, Seoul, Korea	4	Yes	No		

Table 2. Descriptive Statistics of Survey Sites

Item		Gyeongbokgung	Yonsei Univ.	Samseong-ro	Daerim station	Itaewon
No. of samples		60	60	60	60	60
No. of lanes		2	2	2	4	4
Vegetated median strip		Yes	No	No	No	No
Planted roadside strip		Yes	Yes	No	No	Yes
Species of trees in the planted median strip		Ginkgo, zelkova, yellow poplar	Ginkgo, zelkova	No street tree	Platanus	Ginkgo, platanus
Temperature (°C)	Average	22.7	23.4	22.3	23.1	22.4
	Standard deviation	2.58	2.42	2.20	2.02	2.18
Humidity (%)	Average	63.8	62.4	64.9	62.2	65.1
	Standard deviation	12.16	13.1	11.8	10.3	13.7
Wind speed (m/s)	Average	0.615	0.599	0.932	0.531	0.876
	Standard deviation	0.18	0.28	0.53	0.27	0.39
Traffic volume (cars/h)	Average	888.2	494.6	175.9	665.9	861.3
	Standard deviation	120.6	54.1	32.7	114.0	110.2
Speed (km/h)	Average	42.3	26.5	31.7	34.5	35.4
	Standard deviation	5.37	3.73	6.28	3.68	4.70

도시의 열섬현상, 고온화, 열대야 현상은 여름에 최고조에 달하기 때문에 조사의 시간적 범위는 7~9월 중 연속으로 5일간 비가 오지 않는 기간을 선정하여 중간 3일을 선정하여 조사하였다. 온도 측정시간은 선행 문헌에 따라 온도의 변화가 가장 민감하게 나타내는 시간대를 중심으로 측정하였는데, 하루 중 오전 7시부터 오후 10시까지 15시간을 연속적으로 측정하였다.

온도 측정을 위한 조사도구는 AWS를 사용하였는데, AWS의 측정 주기는 매 10분 단위로 설정하여 3일간 연속으로 15시간씩 측정하여 저장하였다. 교통량 측정은 NC-97을 통하여 AWS와 동일한 시점에 차로별로 따로 설치하여 동시에 3일간 연속적으로 교통량을 측정하였으며, 이후 단위시간으로 집계하였다. 평균 통행 속도도 교통량 수집 방법과 같은 방법으로 측정하였으며, 최종적으로 차로별 통행속도를 평균으로 산출하여 변수로 사용하였다.

3.4 수집 자료 기초통계

3.4.1 기초통계분석

분석을 위해 10분 단위로 수집된 자료를 30분 단위로 집계하여 지점별 표본수는 (60개²⁾, 5개 지점의 조사표본수는 총 300개였다. 기온의 평균은 대략 22.3도에서 23.4도 사이인 것으로 나타났으며, 기온의 편차도 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 교통량은 지점별로 큰 차이를 보였는데, 교통량이 제일 적은 지점은 삼성동(175.9대/h),

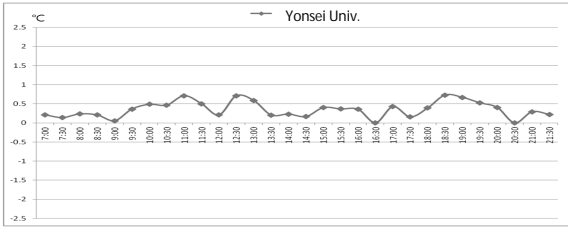
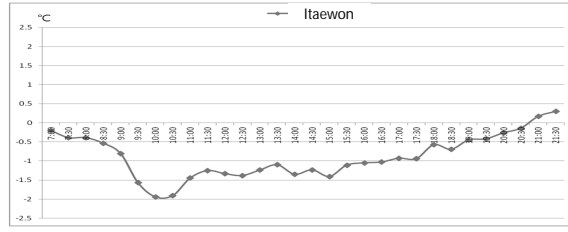
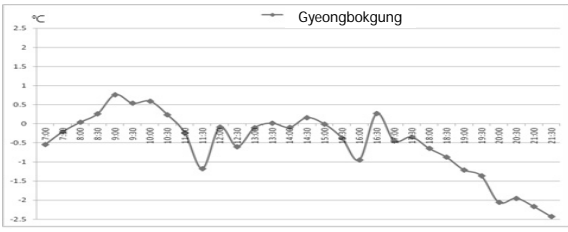
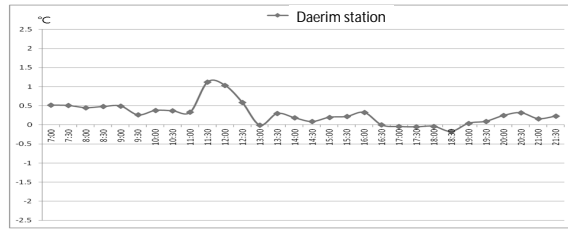




제일 많은 지점은 경복궁(888.2대/h)인 것으로 나타났고, 평균 통행속도의 경우 연세대 구간이 26.5km/h로 제일 낮은 것으로 나타난 반면, 경복궁 구간이 42.3km/h로 제일 높은 것으로 나타났다 (Table 2 참조).

3.4.2 지점별 온도 변화 시계열 분포

차로수 증가와 식수대/식생 중앙분리대 존재 요인이 도시부 도로 주변부 온도 변화에 미치는 영향을 시계열적으로 파악하기 위하여 기온변화 분포를 그려보았다. 조사기간 동안의 기온자료를 30분 단위 시간대별로 정리하고, 5개 조사지점 시간대별 평균기온과의 편차를 계산하여 그림으로 나타내었다(Table 3). 그래프별로 어떤 지점의 값이 양의 값으로 나타나는 것은 조사지점이 평균보다 상대적으로 기온이 높다는 것을, 음의 값이 나타나는 것은 상대적으로 낮다는 것을 의미한다. 우선 2차로 도로인 연세대 앞 도로와 4차로 도로인 이태원 도로를 비교하면 이태원 도로가 전반적으로 평균보다 기온이 낮은 것으로 나타났다. 이는 Table 3에서 제시하는 사진에서 알 수 있듯이 식수대의 푸르름 정도가 이태원 도로가 그들은 보다 더 형성하기 때문이라고 추측된다. 4차로 도로 중 낮과 저녁에 가장 기온이 낮은 도로는 예상대로 경복궁 앞 도로로써 식수대와 식생 중앙분리대가 모두 설치되어 있어 기온저감효과를 가장 크게 나타내는 것으로 생각된다. 대림역 앞 도로는 다른 지점에 비해 온도가 0.5°C 정도 수준으로 높은 것으로 나타났다. 그래프를 종합적으로 정리해보면, 차로수가 많을수록, 식수대와 중앙분리대가 존재한 경우에 도로 주변부 기온이 낮아지는 것을 알 수 있었다.

2) 총 3일간 조사하였으나 일부 지점에서 누락된 자료가 있어 2일간 자료를 30분 단위로 집계하여 지점별 60개의 표본을 사용하였음(2개/시간×15시간×2일)

Table 3. Comparison of Air Temperature Distribution at Survey Sites

<p style="text-align: center;">Yonsei Univ. (No. of lanes: 2, with planted median strip)</p> 		<p style="text-align: center;">Itaewon (No. of lanes: 4, without planted median strip)</p> 	
<p style="text-align: center;">Gyeongbokgung (No. of lanes: 4, with planted median strip and vegetated median strip)</p> 		<p style="text-align: center;">Daerim station (No. of lanes, without planted median strip and vegetated median strip)</p> 	
2-lane road with planted median strip (Yonsei Univ.)	4-lane road with planted median strip (Itaewon)	4-lane road with both planted median strip and vegetated median strip (Gyeongbokgung)	4-lane road without planted median strip and vegetated median strip (Daerim station)
			

4. 모형 구축 및 해석

본 장에서는 수집된 자료를 활용하여 t-test와 회귀분석을 차례로 수행하였다. 그 결과를 반영하여 도시부 도로 주변부 기온 모형을 시간대별로 구축하고 각 모형에 대한 구축결과와 해석을 정리하였다.

4.1 자료 1차 통계 분석

앞서 도로 주변부 기온 시계열 분포도 결과를 바탕으로 시간대별 기온 자료의 변화와 차이를 통계적으로 확인하기 위해 Two-sample test와 회귀분석을 실시하였다. 먼저 각 시간대별 평균 기온이 서로 같은지 여부를 검토하기 위해 Two-sample t-test를 수행하였다 (Table 4). 시간대는 교통량 특성을 반영하기 위해 크게 3가지로 구분하였고(오전: 7~10시, 낮: 10~17시, 저녁: 17~22시) 95% 유의수준에서 검정한 결과, 각 시간대별 평균 기온이 서로 다른 것으로 나타났다. 이미 기온 분포 결과를 통해 예상한 대로 이처럼

시간대별 평균 기온이 다르기 때문에 기온에 미치는 영향을 분석할 때 시간대별 기온의 차이성을 고려하지 않는다면 왜곡된 결과를 도출할 가능성이 있다. 따라서 개별적인 모형으로 분석하는 것이 바람직하다. 이어서 본격적인 시간대별 모형을 구축하기 전에 전체 자료를 사용하여 회귀모형을 우선 예측하였다. 첫 번째 모형은 모든 독립변수를 사용하였고, 두 번째 모형은 모형 1 중 유의한 것으로 나타난 습도와 평균 속도만을 변수로 사용하였으며, 세 번째 모형은 독립변수간 상관관계분석을 실시하여 서로 상관관계가 낮은 변수만을 사용한 것이다. Table 5 내 볼드체로 표시된 변수는 95% 유의수준에서 유의한 변수이며, 최종적인 결과에 의하면 습도는 기온과 음의 상관관계를 가지는데, 이는 아침보다는 오후에 습도가 낮아지면서 기온이 올라가는 경향이 있기 때문에 타당한 결과라고 판단된다. 식수대, 식생 중앙분리대, 차로수와 교통량은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 종합적으로 t-test와 회귀모형 예측 결과를 토대로 시간대별 개별 도로 주변부 기온 모형을 구축하는 것이 옳다고 판단하였다.

Table 4. Results of Two-sample T-test

Time slot	t-statistic	p-value	95% confidence interval	
			Min.	Max.
Morning vs. daytime	-24.5	0.000	-5.214	-4.437
Morning vs. evening	-14.8	0.000	-3.699	-2.828
Daytime vs. evening	9.44	0.000	1.236	1.888

Table 5. Results of Roadside Temperature Prediction Models(Based on Full Data)

Variable	Model 1 (Using all the independent variables)		Model 2 (Using significant variables only from Model 1)		Model 3 (Using independent variables with low correlation)	
	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value
Constant	34.4647 (0.571)	0.000	34.217 (0.426)	0.000	33.514 (0.381)	0.000
Humidity	-0.1612 (0.005)	0.000	-0.1625 (0.005)	0.000	-0.1657 (0.005)	0.000
Wind speed	-0.2596 (0.170)	0.128			-0.3344 (0.168)	0.048
Traffic volume (AADT)	0.0003 (0.001)	0.646				
Average speed	-0.0435 (0.013)	0.001	-0.0315 (0.009)	0.001		
No. of lanes	-0.0095 (0.351)	0.978			-0.0421 (0.133)	0.753
Vegetated median strip	0.1890 (0.426)	0.658				
Planted median strip	0.0565 (0.225)	0.802			0.1444 (0.133)	0.280
No. of samples	300		300		300	
R^2	0.781		0.775		0.770	
Adj_R^2	0.776		0.773		0.767	

4.2 자료 2차 통계분석: 도로 주변부 기온 모형 구축방법

앞서 분석 결과, 기온은 하루 추이 특성상 오전 및 야간에는 낮고 오후에는 높기 때문에 1일 평균 기온을 사용할 경우 시간대별 특성이 반영되지 않는 모형 추정 결과를 초래할 수 있다. 따라서 시간대별 기온의 분포를 그래프로 도식화한 결과 오전 7시부터 10시까지는 하루 중 제일 낮은 기온을 나타내고, 낮 시간대인 12시부터 3시사이의 기온이 제일 높으며, 그 이후 기온이 낮아지기 시작하는 것으로 나타났는데, 늦여름의 영향으로 아직 밤 9시경 기온이 오전 시간대보다는 높았다. 이러한 결과를 토대로 도로의 기하구조 및 교통 조건이 도로 주변부 기온에 미치는 영향을 분석할 때 시간대별로 모형을 구축하고 분석하는 것이 합리적이라 판단되었다. 교통량의 경우, 2차로와 4차로 도로 모두 AADT를 사용하였기 때문에 차별되지 않아, 교통량을 차로수로 나눈 차로별 교통량을

최종적 변수로 사용하였다.

모형예측을 위해 사용된 자료는 각 지점마다 동 시간대 수집된 것이기 때문에 계층적 구조(하위단계: 30분 단위로 수집된 자료, 상위단계: 지점별 특성자료)로 이루어져 있다. 계층자료를 일반 선형회귀모형으로 예측하게 되면 동일 지점의 관측값들 간에 상관관계가 발생하기 때문에 각 관측값의 오차항이 서로 독립이어야 한다는 기본가정을 위배하게 되고, 그 결과 예측된 회귀계수는 편의(biased)되는 현상이 발생하게 된다(Bryk and Raudenbush, 1992; Kim et al., 2007). 이런 문제는 계층적 선형회귀모형(Hierarchical Linear Model)으로 해결할 수 있는데, 일반적으로 ICC(Intra-Class Coefficient Correlation) 값이 0.09보다 작으면 일반 선형회귀모형을 적용해도 문제가 없다(이호상 등, 2009). 본 모형을 예측하기 전 계층 선형회귀모형의 적용 여부를 검토한

결과, 오전, 낮, 저녁 시간대 모두 ICC의 값이 0.09보다 적은 것으로 나타나 시간대별 기온 모형으로 일반 선형회귀모형을 적용하여 예측하였다.

또한, 각 모형별로 변수간의 다중공선성을 검토한 결과 일부 변수에서 다중공선성이 존재하는 것으로 나타나 이를 해결하기 위해 90% 유의수준에서 유의한 변수만을 독립변수로 사용하여 모형을 개발하였다. 다음은 시간대별 모형예측 결과를 정리한 내용이다.

4.3 모형 결과 1: 도로 주변부 기온 오전 모형

오전 모형의 경우 95% 유의수준에서는 습도, 평균속도 및 차로당 교통량이 유의한 변수로 나타났으며, 90% 유의수준으로 확장할 경우에는 중앙분리대 유무도 유의한 것으로 나타났다.

도로 상의 습도는 기온과 음의 관계를 가지는 것으로 나타났는데, 기온이 상승함에 따라 습도가 낮아지므로 타당한 결과라 생각된다 (윤용환, 2001).

평균 통행속도의 경우 속도가 높을수록 기온이 낮은 것으로 나타났는데, 상대적으로 아침 피크시간은 오후시간보다 속도가 낮는데, 교통 혼잡으로 인하여 자동차로부터의 열기 등이 속도가 높으면 해당 구간에 지속적으로 덜 배출되기 때문에 음의 상관관계를 보이는 것이 타당하다. 회귀계수의 절대값을 비교해보면 오후 모형보다 변화폭이 더 큰 것으로 나타났는데, 이는 오전 시간대가

혼잡이 심할수록 도로 주변부 온도가 상대적으로 더 높아진다고 해석할 수 있다.

식생 중앙분리대가 설치된 구간의 기온이 미설치된 구간의 기온보다는 동일한 아침시간대라도 -1.3℃ 더 낮은 것으로 나타났는데 (회귀분석모형에서 더미변수의 계수 값은 바로 한계 효과임), 그 이유는 중앙분리대에 식재된 나무, 나지, 잔디로 인해 주변 기온이 다소 낮아지는 경향 때문인 것으로 판단된다. 아쉽게도 도로변 식수대에 대한 변수는 다른 변수와의 다중공선성이 발생하여 최종 모형에서는 배제되었다.

차로당 교통량은 교통량이 많아질수록 주변 기온이 증가하는 결과를 보이는데, 이는 교통량이 많을 경우 자동차로부터 배출되는 폐열 등으로 인해 도로 주변부 기온이 높아지기 때문인 것으로 판단된다. 오전시간대 모형의 조정된 결정계수(Adj_R^2)는 65.6%로 예측력이 양호한 것으로 판단된다.

4.4 모형 결과 2: 도로 주변부 기온 낮 모형

낮 모형의 경우 95% 유의수준에서 습도, 풍속, 평균 속도 및 차로당 교통량이 유의한 변수로 나타났다. 습도의 경우 오전 모형과 비슷한 계수가 예측되었는데, 기온과 음의 관계를 가지는 것이 오전과 비슷한 조건이기 때문이라고 판단된다. 오전과 달리 풍속이 유의한 변수(기온과 음의 상관관계)로 나타났는데, 이는 일반적으로 바람이 불 때 더운 공기를 이동시킴으로써 시원해지는 효과와

Table 6. Results of Roadside Temperature Prediction Models (Based on Data Divided by Time-of-day)

Variable	Morning		Daytime		Evening	
	Regression coefficient	p-value	Regression coefficient	p-value	Regression coefficient	p-value
Constant	31.102 (1.330)	0.000	34.003 (0.493)	0.000	24.426 (1.589)	0.000
Humidity	-0.1316 (0.015)	0.000	-0.1583 (0.007)	0.000	-0.0376 (0.013)	0.007
Wind speed	-	-	-0.3432 (0.131)	0.010	-	-
Average speed	-0.0558 (0.022)	0.013	-0.0175 (0.008)	0.037	-	-
Vegetated median strip	-1.3007 (0.734)	0.081	-	-	-2.2557 (0.493)	0.000
Planted median strip	-	-	-	-	-	-
Traffic per lane	0.0059 (0.002)	0.007	0.0013 (0.0004)	0.004	0.0050 (0.0016)	0.003
No. of samples	60		140		100	
R^2	0.676		0.800		0.354	
Adj_R^2	0.656		0.794		0.331	

Note) Standard errors of coefficients are within parentheses.

비슷하다고 판단된다. 오전 모형과 마찬가지로 평균 통행속도 역시 속도가 높을수록 기온이 낮은 것으로 나타났는데, 그 효과정도는 오전 모형보다는 낮다(-0.0558(오전) VS. -0.0175(낮)). 식생 중앙 분리대의 경우 오전 모형에서는 유의한 변수로 나타난 반면 낮 모형에서는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

차로당 교통량 변수는 오전 모형보다 효과가 더 낮아졌으나 교통량이 많아질수록 온도 상승효과를 내는 것은 자명한 사실이라고 생각된다(0.0059(오전) VS. 0.0013(낮)). 조정된 결정계수 값은 0.79로 높게 나타났다.

4.5 모형결과 3: 도로 주변부 기온 저녁 모형

마지막으로 도로 주변부 기온 저녁 모형에 대해서 살펴보면, 오전 모형과 비슷한 변수(습도, 식생 중앙분리대, 차로당 교통량)가 유의한 것으로 나타났으며 평균 속도는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 특히 식생 중앙분리대의 온도저감 효과가 저녁 모형이 2.25℃ 정도로 가장 크게 나타나서 식생 중앙분리대가 열대야 효과를 줄일 수 있다고 사료된다(회귀분석모형에서 더미변수의 계수 값은 바로 한계 효과임). 또한 차로당 교통량도 증가할수록 도로 주변부 온도 상승효과가 큰 것으로 나타났다. 저녁 시간대의 모형은 유의한 변수가 제일 적은 관계로 조정된 결정계수가 33.1%로 나타나 다른 시간대 모형과 비교할 때 예측력이 떨어지나, 앞서 설명한 세 변수는 모두 통계학적으로 유의하다고 판명되었다.

5. 결론

지구 온난화 현상에 대한 이슈는 연일 화제가 되어왔다. 석탄, 석유와 같은 화석연료 에너지 소비는 1900년 이래, CO2 등 온실가스 증가로 바로 이어져 왔고 이로 인한 기후 변화, 특히 도시 폭염, 폭우와 같은 도시 이상기후 현상으로 이어져 왔다. 도시 열섬 현상, 그리고 도시 및 교통 환경과 도시민의 건강은 상호 직·간접적으로 밀접한 관계가 있다. 도시 폭염 및 폭우 등과 같은 이상 기온현상은 도시민의 삶의 질과 관련되어 부정적인 영향을 미치고 있어 그 현상을 파악하기 위한 연구가 최근 다양하게 수행되고 있다.

특히 우리나라 도로 및 교통 분야에서는 도시 피복, 즉 콘크리트와 아스팔트와 같은 건설 재료가 품는 잠열과 야간 열 배출이 도시 열섬에 미치는 영향이 매우 크다는 것은 인지하고 있지만 연구 범위가 크지 않았다. 도로 노상, 혹은 가로 식재의 온도 변화 및 현열(Heat flux)의 정도를 컴퓨터 시뮬레이션 분석, 위성, 항공사 진원적 열환경 측정, 현장 실측 자료 등을 통해 열섬현황을 파악하여 현실적 대책을 제시하는 수준에 있다.

따라서 본 연구에서는 도시 피복율이 높은 도로의 기하구조

및 교통조건이 도로 주변부 기온에 미치는 영향을 파악하기 위하여 서울시 도로 5개의 서로 상이한 도로 기하구조를 가지고 있는 지점의 교통량, 평균 통행속도, 중앙분리대 설치 여부, 가로 식재 설치 여부를 기온, 습도, 풍속 등 도로의 환경(미기상) 조건과 더불어 조사하였다. 회귀분석과 Two-sample t-test 분석 결과 기온의 특성상, 오전, 낮, 밤의 기온이 서로 상이하다고 밝혀졌기 때문에, 도로 주변부 기온 모형은 시간대별로 각각 구축되었으며 타당한 결과가 도출되었다. 도로 기하구조면에서는 오전과 저녁 시간대에 식생 중앙분리대가 설치된 도로의 경우는 설치하지 않은 도로에 비해 1.3~2.2℃ 정도의 기온 저감효과를 보이는 것으로 나타났다. 교통조건 측면에서는 평균통행속도가 낮아질수록, 차로당 교통량이 많을수록 도로 주변부 기온이 올라가는 것으로 밝혀졌다. 이는 도로 정체시나 교통량이 많은 때에는 차량으로부터 발생하는 인공 폐열이 도로 주변부 기온에 직접적으로 영향을 미쳐 온도변화를 일으키는 것이라고 판단된다.

모형 결과에 따르면 식생 중앙분리대는 도로 주변부 온도를 저감시키는 효과가 상대적으로 크며, 저녁에 도로 주변부 온도를 저하시키는 주요 변인으로 밝혀졌다(회귀분석모형에서 더미변수의 계수 값은 바로 한계 효과임). 또한 식생으로 인하여 도로 경관도 향상시켜, 도로 주변 거주민과 이용자의 쾌적감을 향상시킬 것이라고 판단된다. 특히 보행량이 많은 도로의 경우 식수 공간의 설치를 반드시 의무화하고 특히 가능하다면 자동차 교통량과 보행량이 모두 많은 도로에서는 식생 중앙분리대를 설치하여 도로 주변부 온도를 저하시키고 도시민의 여름철 통행 건강을 보호하는 것이 필요하다. 또한 도로교통 운영 측면에서 보행량이 많은 도로는 도로 주변부 온도 상승에 영향을 주는 차로당 교통량을 줄이고, 평균 속도를 적정하게 유지시키는 차로 운영을 유도하는 보행자 중심 도로교통 운영방안계획 및 실행이 보다 필요하다고 판단된다.

도시부 도로 주변부 온도는 보행환경 조성의 연관이 크다. 보행자들에게 쾌적하고 편안한 보행환경을 조성하기 위해서, 최근 선진 외국에서는 상가변 캐노피(canopy) 공간을 조성해서 기후변화로 인한 보행환경 저해를 최대한 방지하고, 도로 공간에 정주기능을 향상시켜 승용차 수요를 보행 수요로 전환시키려는 움직임이 대도시 상업지구 중심으로 퍼지고 있다. 현재 우리나라 국가기준에 따르면, 법정 최소 보도폭 1.5m, 식수대 포함 2.5m(식수공간 1m 추가) 기준이 적용되고 있지만, 식수대와 식재 중앙분리대 설치에 대한 명확한 가이드라인이 없기 때문에 도시 환경 차원에서 다각적인 보행환경 조성의 연계 없이 단순히 도로의 필수 조경설계 요소로만 설계하고 있어서 아쉬운 부분이 있다. 이는 본 논문의 한계점과도 연계되는데, 도로 포장재질로 인한 복사 및 에너지 수지변화, 식수대의 특성이 도로 주변부 온도에 영향을 미친다고 선행연구에서는 밝혔지만, 본 논문에 반영하지 못하였다. 또한

도로 연변 토지이용이 도로 주변부 온도에 미치는 영향을 파악하지 못한 점도 아쉽다.

따라서 도시 열섬효과 완화, 더 나아가 기후변화에 대응하기 위하여 도시부 도로 설계가 열, 에너지, 대기환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 종합적이고 체계적인 연구가 수행되어 기후변화 대응 온도 저감형 도로 설계에 이바지하는 것이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원(구 건설교통기술평가원) R&D사업 “탄소중립형 도로 기술 개발 연구단” 중 “녹색도로기술 투자평가시스템 개발”의 연구 지원으로 작성되었습니다. 논문에 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

References

- Bryk, A. and Raudenbush, S. (1992). *Hierarchical linear models*, Sage, Beverly Hills, CA.
- Cho, H.-J. and Lim, J.-H. (2011). “The effect of urban road vegetation on a decrease of road surface temperature.” *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, KILA*, Vol. 39, No. 3, pp. 107-116 (in Korean).
- Kim, D., Lee, Y., Washington, S. and Choi, K. (2007). “Modeling crash outcome probabilities at rural intersections: application of hierarchical binomial logistic models.” *Accident Analysis and Prevention, ELSEVIER*, Vol. 39, pp. 125-134.
- Kim, H.-Y. and Kim, U.-S. (2003). “Statistical models of air temperatures in Seoul.” *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, KILA*, Vol. 31, No. 3, pp. 74-82 (in Korean).
- Kim, H.-C., Choi, S.-K. and Yoon, B.-R. (2011). “A statistical analysis on temperature change and climate variability in Korea.” *Journal of Korean Statistical Society, KSS*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-12 (in Korean).
- Kim, S.-B. and Kim, H.-D. (2002). “Influence of urban trees on the control of the temperature.” *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, KILA*, Vol. 30, No. 3, pp. 25-24 (in Korean).
- Kim, Y.-J., Kang, D.-W. and Ahn, K.-H. (2011). “Characteristics of urban heat-island effects caused by climate changes in Seoul, and alternative urban design approaches for their improvements.” *Urban Design, UDIK*, Vol. 12, No. 3, pp. 5-14 (in Korean).
- Lee, E.-Y., Moon, S.-K. and Shim, S.-R. (1996). “A study on the effect of air temperature and ground temperature mitigation from several arrangements of urban green.” *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, KILA*, Vol. 61, pp. 65-78 (in Korean).
- Lee, H.-S., Kim, D.-G., Kim, Y.-C. and Hwang, K.-S. (2009). “Identifying key factors to affect bus headway deviation using hierarchical linear model (Seoul case study).” *Journal of the Korean Society of Transportation, KST*, Vol. 27, No. 6, pp. 119-127 (in Korean).
- Narita, K., Sugawara, H. and Honjo, T. (2008). *Effects of roadside trees on the thermal environment within a street canyon*, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, NIT, Vol. 43, pp. 41-48.
- Ohashi, Y., Kawabe, T., Shigeta, Y., Hirano, Y., Kusaka, H., Fudeyasu, H. and Fukao, K. (2009). “Evaluation of urban thermal environments in commercial and residential spaces in Okayama city, Japan, using the wet-bulb globe temperature index.” *Theoretical and Applied Climatology, SPRINGER*, Vol. 95, pp. 279-289.
- Park, M. Hagishima, A., Tanimoto, J. and Narita, K. (2012). “Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field Measurement at a Scale Model Site.” *Building and Environment, ELSEVIER*, Vol. 56, pp. 38-46.
- Sailor, D. and Lu, L. (2004). “A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas.” *Atmospheric Environment, Elsevier*, Vol. 38, pp. 2737-2748.
- Saito, I., Ishihara, O. and Katayama, T. (1991). “Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area.” *Energy and Building, ELSEVIER*, Vol. 25-26, pp. 493-498.
- Yoon, Y.-H. (2001). “The study of cooling effect on heat island by parks.” *Journal of the Korea Planners Association, KPA*, Vol. 113, pp. 187-196 (in Korean).
- Yoshida, N., Nishimura, T. and Hino, Y. (2000). “An analysis on evaluation for thermal condition of urban road space by pedestrian consciousness.” *Infrastructure Planning Review, ACP*, Vol. 17, pp. 107-112 (in Japanese).