Journal of Environmental Science International
26(4); 467~481; April 2017

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2017.26.4.467

ORIGINAL ARTICLE

가을철 교통조건에 따른 가로공간 열확산 분포 영향

윤용한 · 김정호*

건국대학교 녹색기술융합학과

Effect of Thermal Diffusion on Autumn Traffic in Street Space

Yong-Han Yoon, Jeong-Ho Kim*

Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

This study sought to determine the changes in weather conditions in urban streets, along with conditions of traffic and roads in urban areas. The variations in weather conditions depending on traffic differed according to distance. First, the temperature difference measured by traffic results is as follows: T1 point 1.03℃, T2 point 1.04℃, T3 point 0.9℃, T4 point 1.01℃, and T5 point 0.31℃. The average difference between the measured temperatures by the point of measurement was 0.86℃. The changes in wind velocity according to traffic volume results of the measurements is T1 point 1.32 m/s, T2 point 0.80 m/s, T3 point 0.29 m/s, T4 point 0.04 m/s, and T5 point 0.09 m/s. The difference between the average wind speeds was 0.51 m/s and traffic jams caused substantial differences in distance. The relative humidity tended to be inversely proportional to temperature. The measurements results ares T1 point 2.29%, T2 point 2.67%, T3 point 2.47%, T4 point 2.16%, and T5 point 0.91% The difference between the average relative humidity was 7.3%. In case of independent sampling T test according to traffic volume, changes in wind velocity and temperature were directly proportional to the level of statistical significance($p<0.01$). On the other hand, relative humidity tended to be inversely proportional; however, there was no statistical significance.

Key words : Meteorological factors, Air temperature, Distance, Street

1. 서 론

도시 확장으로 인한 도시기온의 상승은 열대야 및 도시 열섬, 폭염과 같은 독특한 도시기후를 형성하였다. 이러한 열대야 및 도시 열섬 현상의 주요 원인은 건축물 및 인공배열의 증가, 불투수 포장면적의 증가 등으로 규정하고 있다(Armson et al., 2012; Jung et al., 2015). 특히 도로는 도심지 불투수 면적 중 약 50%를 차지하고 있어 도시기온 상승에 주된 요인으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라 도로의 면적이 증가함에 따라 교통량이 증가하게 되며(Cho and Lim, 2011; Lee et al., 2013), 도심지 도로의 경우 도로를 중심으로 고층 건물이 연속적으로 배치되어 있는 구조(Park et al., 2005)이기 때문에 도시 열오염 및 대기오염, 도시

Received 6 February, 2017; **Revised** 29 March, 2017;
Accepted 29 March, 2017
***Corresponding author**: Jeong-Ho Kim, Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone : +82-43-840-3531
E-mail : hoya1209@kku.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.

열섬 등을 더욱 심화시킨다. 도심지의 열환경 및 대기환경악화는 도시민의 건강을 위협하는 요소로서(Her, 2013), 폭염, 열대야 환자 및 호흡기질환자가 지속적으로 증가하는 등의 인명피해로 이어지고 있는 실정이다(Kim et al., 2011).

도시 열섬을 포함한 도시기온완화 및 인명피해를 줄이기 위해 건물에너지 소비 및 인공배열 저감, 녹지면적의 증가, 도시 바람길 확보, 가로녹지 확대 등에 대한 다양한 방안이 제시되고 있다(Yoon and Kim, 2013). 특히 도심지 도로 공간에서 발생하는 열확산을 차단 효과를 검증하기 위해 가로녹지 및 완충녹지와 도로조건에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며 그 연구는 다음과 같다.

가로공간 열환경 개선을 위한 연구는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫째, 도로표면 온도 저감에 관한 연구, 둘째, 가로공간 기온저감 연구 등이다. 도로 및 포장재를 중심으로 한 표면온도 저감에 관한 연구의 경우 도로포장의 개선에 따른 국지적 도시열섬 저감 연구(Lee, 2010)와 고반사 도료를 사용한 차열성 아스팔트 도로포장에 따른 온도저감(Hong, 2013) 등의 도로 아스팔트의 도료를 이용한 기온저감 및 표면온도 저감 연구가 진행되었다. 적극적 도로 열환경 저감연구로는 여름철 도로 표면 물분사가 열환경 저감에 미치는 영향(Kim et al., 2013) 등의 연구가 진행되었는데, 이는 증발 잠열을 이용하여 기온 저감을 실현한 실험적인 연구라고 할 수 있다. 가로공간에 관한 연구로는 생태적 가로경관의 확대를 위한 입체녹화 네트워크 모델(Jung, 2009; Yang et al., 2011)과 같은 경관성 및 생태적 관점의 연구와 더불어 도심 가로수 및 가로녹지의 온도 저감 효과와 기능 향상(Yoon, 2002; Jung, 2014)에 관한 연구 등이 진행되었다. 지금까지 진행된 도로표면 온도 저감에 관한 연구의 경우 인공배열의 감소 방안과 함께 피복 재료의 변화를 통한 열환경 저감 연구 중심으로 진행되었고 도로조건 및 교통특성을 고려한 가로공간 열환경 특성에 관한 연구는 Lee et al.(2013), Park et al.(2012), Narita et al.(2008) 등에 의해 일부 진행되었다. 그러나 도로환경 및 가로공간 조성에 따른 기온저감 효과에 관한 연구는 상대적으로 미비하였으며, 도로지점부터 가로공간 내부까지 거리별 미기상 및 열환경 변화에 대한 연구는 부족한 상황이다. 또한 조경분야의 경우 도로의 현열 및 도로 교통량에 따른 가로 공간의 영향이 크다(Yang, 2011)는 것을 인지하고 있으나, 가로수 식재구조에 따른 보도 및 도로의 표면 온도 저감효과에 관한 연구가 주를 이루어 교통량 등의 교통조건 등의 다양한 변수를 고려한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 도시 내에서 불투수 포장 면적이 높은 도로를 중심으로 도로의 현열이 차량통행에 의해 가로공간에 비산되는 영향 범위를 파악하고자 하였으며, 이를 위하여 교통량측정과 동시에 도로변 기상현황측정을 실시하였다. 특히 교통량 및 가로공간의 기하조건이 도로주변부 기상현황에 미치는 영향을 파악하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 연구 방법

2.1. 연구대상지 및 측정지점

본 연구는 교통량 증가에 따른 열확산 및 기상 변화를 측정을 주목적으로 실시하였으며, 증발잠열 및 증산과 같은 식물생육에 의한 기온저감 검증이 아닌 도로의 열확산 효과 검증을 위해 일사가 강하고 가로수 생육에 의한 기상변화를 최대한 제어할 수 있는 가을철을 측정시기로 선정하였다. 조사시기는 2015년 10월 6일부터 20일까지 총 14일간 실시하였으며 연구주제와 부합하지 않은 날은 제외하였다. 연구대상지는 서울시 송파구 문정동 로데오거리 인근 가로공간 중 연구조건에 적합한 구간을 선정하였다(Fig. 1). 대상지의 도로현황으로는 중앙버스전용차로를 포함하여 왕복 12차선 도로로 제한속도는 60 km/h이다.

가로공간에 식재된 수종은 소나무, 잣나무, 메타세쿼이아, 느티나무, 사철나무, 회양목, 맥문동 등이며 교통량에 따른 열확산 및 미기상 변화를 측정하기 위해 측정지점을 총 5개 지점으로 선정하였는데, 도로변을 T1, 가로공간 T2, 보도공간 T3, 완충녹지 초입 T4, 완충녹지 내부 T5 등으로 각각 설정하였다(Fig. 2).

2.2. 조사분석방법

2.2.1. 교통조건

교통량의 경우 영상 검지를 통해 측정하였으며 사거리의 신호에 따라 분당 평균 교통량을 산출하였으며,

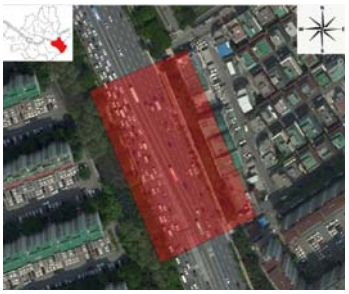


Fig. 1. Location map of the research site.

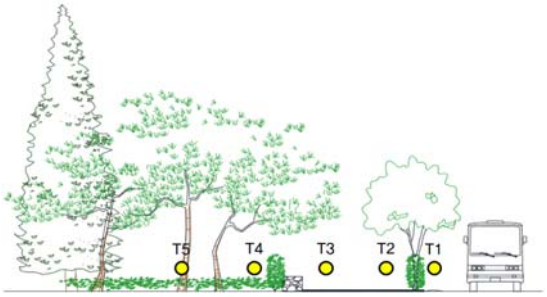


Fig. 2. Measuring point for effects range.

교통량은 신호체계에 따라 두 개 유형으로 구분하였다. 즉, 교통량이 많은 직진 신호 시 평균 교통량 140±29 대/min에 해당하는 유형 Case 1, 정지 신호 시 교통량이 적은 유형으로 평균 교통량 20±3 대/min에 해당 되는 Case 2로 구분하였다. 통행속도는 조사시간별 통행속도를 조사하여 평균속도로 환산하였는데, 본 연구에서는 통행속도에 의한 변수를 제어하기 위해 제한속도(60 km/h)를 기준으로 60±10 km/h 내의 속도가 형성되는 교통량만을 도출하여 분석에 사용하였다. 일반적으로 교통량은 도로의 한 지점을 일정시간에 통과한 차량의 수이고 통행속도는 단위시간에 대한 거리 변화율로서 도로에서의 대표적인 교통특성인 교통량과 통행속도는 도로 및 가로공간 기온과 대기현황에 큰 영향을 미친다(Lee et al., 2013). 특히 자동차로부터의 인공폐열은 도시 환경에서의 3대 주요 인공폐열 중 하나로 도시열섬 현상의 중요한 요인이다.

2.2.2. 기상 및 열환경

가을철 교통조건에 따른 가로공간의 열확산 분포를 분석하기 위해 기상측정 항목은 기온, 풍속, 상대습도, 표면온도, 일사량, 복사량으로 선정하였다. 측정시기는 지표열의 영향이 적은 가을철에 14일간 반복 측정한 데이터 중 연구목적에 부합한 날을 도출하여 분석하였다. 측정시간은 오전(11:00～12:00), 오후(13:00～15:00), 저녁(17:00～18:00) 시간으로 구분하여 실시하였다. 측정 장비는 기온과 풍속, 상대습도의 경우 열선 풍속계(Air velocity meter 9545, TSI, USA)를 활용하여 교통량에 따른 측정지점의 기온, 풍속, 상대습도를 측정하였고 일사량과 복사량은 각각 일사계(LP02-LI19, Hukseflux, Netherlands)와 복사계(NR-LITE2, Hukse -flux, Netherlands)를 활용하여 측정지점의 일사량과 복사량을 측정하였다. 표면온도는 적외선 온도계(JT502C)를 이용하여 비접촉식 측정방식으로 측정하였다. 표면온도를 제외한 모든 기상측정항목은 지표면에서 방사되는 복사열의 영향을 최소화하기 위하여 지상에서 1.5 m지점에 설치하여 5반복으로 측정을 진행하였다. 측정높이를 1.5 m 설정한 이유는 사람이 숨을 쉬는 코의 높이이기도 하고 지표면의 열대류 현상의 영향을 최소화 할 수 있는 높이가 1.5 m이기 때문이다.

2.2.3. 교통량에 따른 측정지점별 기상특성

교통량에 따른 측정지점별 기상 특성분석을 위해 통계분석을 실시하였다. 분석은 SPSS PASW Statistics 18.0을 활용하였으며, 교통량과 기상특성 간 분석을 위해 독립검정 t분석을 실시하였고 독립변수를 교통량으로, 종속변수를 기온, 풍속, 상대습도로 설정하여 차량 통행량에 따른 기상변화 항목을 분석하였다. 차량통행량에 따른 기상요소 간 상관성분석을 통해 기상요소간의 상관성 분석 및 도로로부터의 거리 즉, 측점지점 간 기상변화 값의 유의성에 대해 분석하였다. 마지막으로 회귀분석을 실시하여 측정지점 간 통행량에 따른 기온, 풍속, 상대습도의 확산범위를 회귀직선을 통해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일간 기온차이

3.1.1. 오전기간(11:00～12:00)

오전기간의 측정지점별 기온은 평균적으로 Case 1

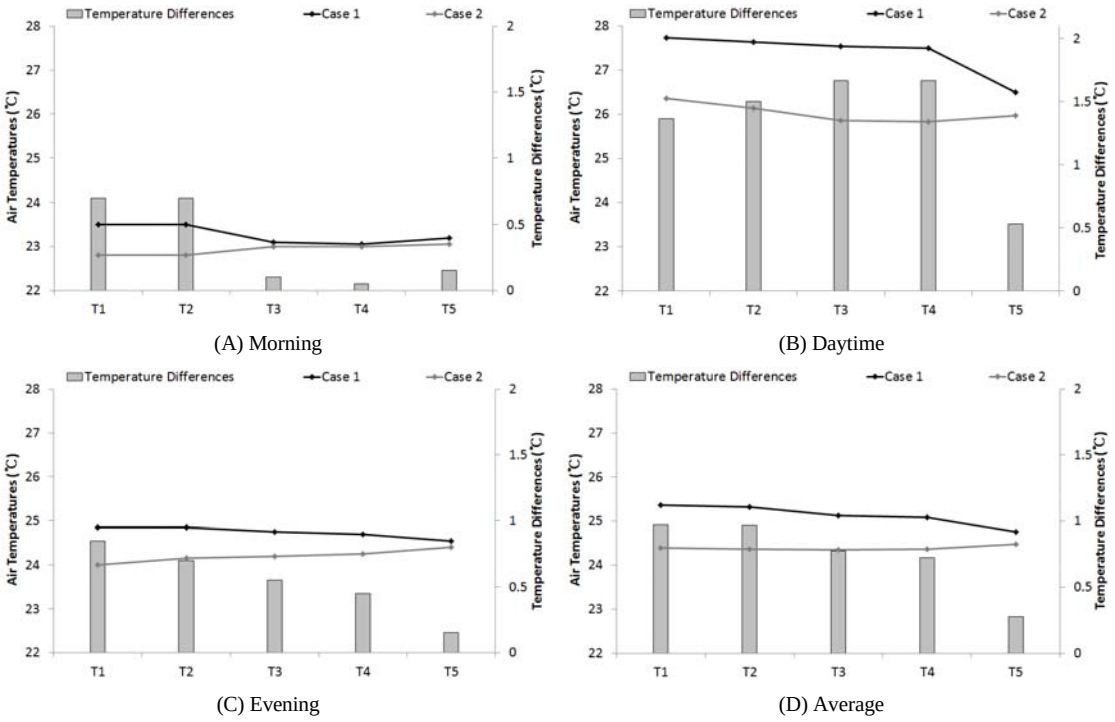


Fig. 3. Temperature difference for traffic.

(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(23.5℃) = 가로녹지 T2(23.5℃) > 완충녹지 T5(23.2℃) > 보도 T3(23.1℃) = 녹지초입 T4(23.1℃) 순으로 측정되었으며, 보도와 녹지 초입에 비해 완충녹지의 기온이 높게 나타난 것은 다층구조로 형성된 완충녹지의 특성상 유입된 열이 정체되어 생긴 결과로 사료되었다(Yoon, 2002). Case 2(교통량 20±3대/분) 일 때, 기온은 완충녹지 T5(23.1℃) > 녹지초입 T4(23.0℃) = 보도 T3(23.0℃) > 가로녹지 T2(22.8℃) = 도로 T1(22.8℃) 순으로 측정되었다. 통행량이 적은 Case 2의 경우 도로기온이 녹지 기온보다 낮게 측정되었는데, 이는 오전의 경우 다른 시간에 비해 도로에서 발생한 열이 적어 기온 변화가 상대적으로 적게 나타난 것으로(Hong, 2013; Lee et al., 2013) 사료되었다.

교통량에 따른 Case 1과 2의 기온차이는 도로 T1(0.7℃) = 가로녹지 T2(0.7℃) > 완충녹지 T5(0.2℃) > 보도 T3(0.1℃) = 녹지초입 T4(0.1℃) 순으로 나타나 교통량의 증가가 주변부 기온상승에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 통행량에 따른 기온차이는 평균적으로 약 0.36℃의 차이를 보였으며, 이는 통행량의 증가가 도로변 기온상승에 영향을 주는 것으로 나타난 선행연구와 유사한 경향을 보였다(Lee et al., 2013; Jung, 2014).

3.1.2. 오후기간(13:00～15:00)

오후기간의 측정지점별 기온은 Case 1(교통량 140±29대/분) 일 때, 도로 T1(27.7℃) > 가로녹지 T2(27.6℃) > 보도 T3(27.5℃) = 녹지초입 T4(27.5℃) > 완충녹지 T5(26.5℃) 순으로 측정되었다. 완충녹지 T5를 제외한 모든 측정지점에서 약 27.5℃ 전후의 기온분포를 보였으며, 완충녹지 T5의 기온은 26.5℃로 약 1.0℃의 기온차이를 보였다(Fig. 3B). Case 2(교통량 20±3대/분) 일 때, 기온은 도로 T1(26.4℃) > 가로녹지 T2(26.1℃) > 완충녹지 T5(26.0℃) > 보도 T3(25.9℃) > 녹지초입 T4(25.8℃) 순으로 교통량이 감소함에 따라 열확산이 현저하게 감소하는 경향을 보였다.

교통량에 따른 측정지점별 기온차이는 보도 T3(1.7℃) = 녹지초입 T4(1.7℃) > 가로녹지 T2(1.5℃) > 도로 T1(1.4℃) > 완충녹지 T5(0.5℃)순으로 나타났다. 교통량에 따른 기온차이는 녹지초입인 T4지점까지 증가하였으며, T5에서 급격히 감소하는 경향을 보였다.

오전기간과 같이 오후기간 또한 교통량과 기온이 정비례로 증가하는 경향을 보였으며, 측정지점간 기온차이 또한 크게 나타났다. 이는 일사가 강하고 기온이 높을수록 녹지에서 기온저감 효과가 크게 나타난 선행연구와 동일한 결과를 보였다(Yoon, 2000; Kim et al., 2016).

3.1.3. 저녁기간(17:00~18:00)

저녁기간의 측정지점별 기온은 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(24.9℃) = 가로녹지 T2(24.9℃) > 보도 T3(24.8℃) > 녹지초입 T4(24.7℃) > 완충녹지 T5(24.6℃) 순으로 측정되었다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 기온은 완충녹지 T5(24.4℃) > 녹지초입 T4(24.3℃) > 보도 T3(24.2℃) = 가로녹지 T2(24.2℃) > 도로 T1(24.0℃) 순으로 측정되었다. 이는 오전기간과 동일한 경향으로 다층구조로 형성된 완충녹지의 특성상 나지와 아스팔트보다 열순환이 어려워 생긴 결과로 사료되었다(Yoon, 2002).

교통량에 따른 측정지점별 기온차이는 도로 T1(0.9℃) > 가로녹지 T2(0.7℃) > 보도 T3(0.5℃) > 녹지초입 T4(0.4℃) > 완충녹지 T5(0.1℃) 순으로 저녁기간 또한 교통량의 증가가 기온상승에 영향을 미치고 있었다. 열확산 효과는 녹지초입인 T4 지점까지 나타나 오후기간과 비슷한 경향을 보였다.

3.1.4. 일간 평균기온

측정지점별 일간 평균기온은 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(25.4℃) > 가로녹지 T2(25.3℃) > 보도 T3(25.1℃) = 녹지초입 T4(25.1℃) > 완충녹지 T5(24.6℃) 순으로 도로와 가까울수록 기온이 높아지는 것으로 나타났다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 기온은 완충녹지 T5(24.5℃) > 도로 T1(24.4℃) = 가로녹지 T2(24.4℃) = 보도 T3(24.4℃) = 녹지초입 T4(24.4℃) 순으로 측정되었다. 기온은 약 24.4℃로 나타났으며 T5에서 24.5℃로 약 0.1℃ 높게 측정되었다.

교통량에 따른 측정지점별 기온차이는 도로 T1(1.0℃) = 가로녹지 T2(1.0℃) > 보도 T3(0.8℃) > 녹지초입 T4(0.7℃) > 완충녹지 T5(0.3℃) 순으로 측정되었다. 기온의 변화를 분석 결과와 선행연구(Lee et al., 2013)와 같이 교통량의 증가는 기온의 증가로 이어지는 것으로 분석되었다. 현열의 확산으로 인한 기온 변화는 평균적으로 T4 지점인 녹지초입까지 영향을 미치는 것으로 사료되었으며, 교통량증가로 인한 기온차이는 전체 평균 약 0.8℃로 분석되었다. 그러나 교통량에 따른 기온의 감소는 주로 오후 시간에 나타난 것으로 분석되었다.

3.2. 일간 풍속변화

3.2.1. 오전기간(11:00~12:00)

오전기간의 측정지점별 풍속은 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(1.80 m/s) > 가로녹지 T2(0.70 m/s) > 보도 T3(0.40 m/s) > 녹지초입 T4(0.31 m/s) > 완충녹지 T5(0.29 m/s) 순으로 도로와 가까울수록 풍속이 높아지는 것으로 나타났다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 풍속은 도로 T1(1.01 m/s) > 가로녹지 T2(0.35 m/s) = 보도 T3(0.35 m/s) > 녹지초입 T4 (0.28 m/s) > 완충녹지 T5(0.24 m/s) 순으로 측정되었다.

교통량에 따른 측정지점별 풍속차이는 도로 T1(0.80 m/s) > 가로녹지 T2(0.36 m/s) > 보도 T3(0.06 m/s) = 완충녹지 T5(0.06 m/s) > 녹지초입 T4(0.03 m/s) 순으로 나타나 교통량의 증가가 풍속에 영향을 미치고 있었다(Chen et al., 2009; Lee et al., 2013). 교통량에 따른 풍속은 가로녹지로 설정한 T2 지점까지 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

3.2.2. 오후기간(13:00~15:00)

오후기간의 측정지점별 풍속은 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(2.73 m/s) > 가로녹지 T2(1.38 m/s) > 보도 T3(1.16 m/s) > 녹지초입 T4 (0.46 m/s) > 완충녹지 T5(0.32 m/s) 순으로 전체적으로 오전보다 높게 측정되었다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 풍속은 도로 T1(0.86 m/s) > 녹지초입 T4 (0.49 m/s) > 보도 T3(0.44 m/s) > 완충녹지 T5(0.21 m/s) >

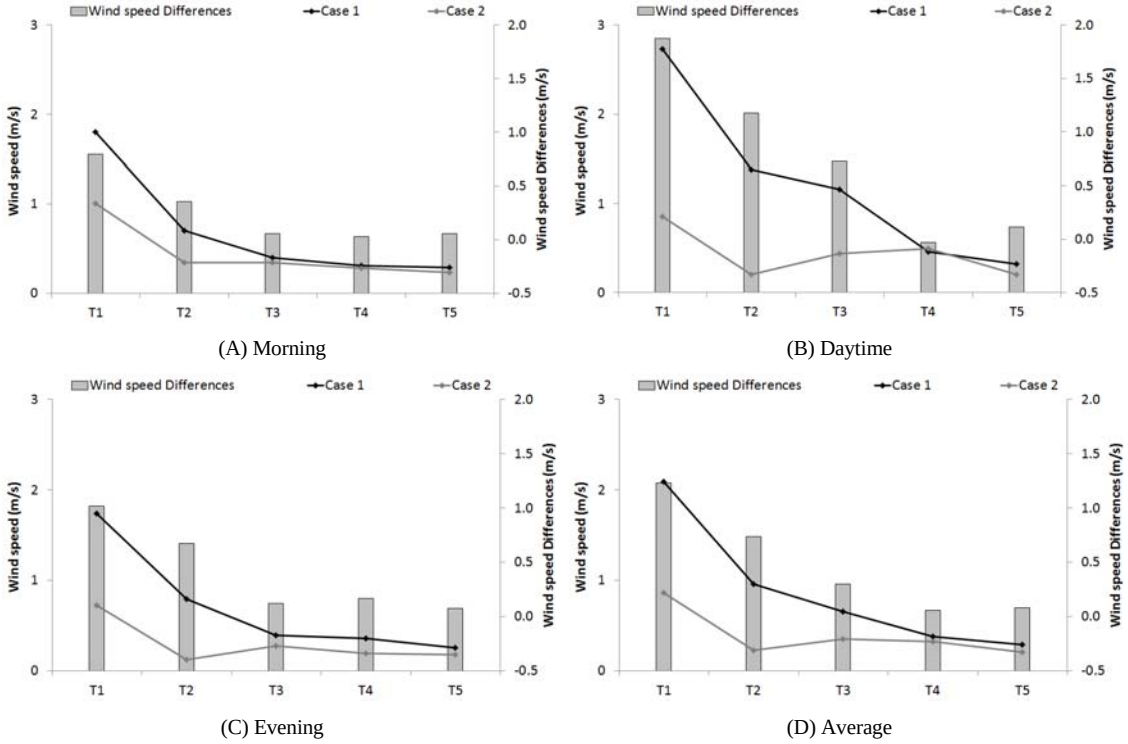


Fig. 4. Wind speed difference for traffic.

가로녹지 T2(0.20 m/s) 순으로 측정되었으며 일정한 상관성을 보이지 않았다.

교통량에 따른 측정지점별 풍속차이는 도로 T1 (1.87 m/s) > 가로녹지 T2(1.18 m/s) > 보도 T3(0.72 m/s) > 완충녹지 T5(0.11 m/s) > 녹지초입 T4(-0.03 m/s) 등의 순이었다.

3.2.3. 저녁기간(17:00~18:00)

저녁기간의 측정지점별 풍속은 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(1.74 m/s) > 가로녹지 T2 (0.80 m/s) > 보도 T3(0.40 m/s) > 녹지초입 T4(0.36 m/s) > 완충녹지 T5(0.26 m/s) 순으로 저녁기간 Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 풍속은 도로 T1(0.72 m/s) > 보도 T3(0.28 m/s) > 녹지초입 T4(0.20 m/s) > 완충녹지 T5(0.18 m/s) > 가로녹지 T2(0.13 m/s) 순으로 측정되었으며 오후기간과 마찬가지로 일정한 상관성을 보이지 않았다.

교통량에 따른 측정지점별 풍속차이는 도로 T1 (1.02 m/s) > 가로녹지 T2(0.67 m/s) > 녹지초입 T4 (0.17 m/s) > 보도 T3(0.12 m/s) > 완충녹지 T5(0.08 m/s) 순으로 나타났다. 저녁기간의 경우 교통량에 따른 풍속은 오전기간과 마찬가지로 가로녹지(T2) 지점까지 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

3.2.4. 일간 평균풍속

측정지점별 일간 풍속은 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 도로 T1(2.09 m/s) > 가로녹지 T2(0.96 m/s) > 보도 T3(0.65 m/s) > 녹지초입 T4(0.38 m/s) > 완충녹지 T5(0.29 m/s) 순으로 저녁기간 Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 풍속은 도로 T1(0.86 m/s) > 보도 T3(0.35 m/s) > 녹지초입 T4(0.32 m/s) > 가로녹지 T2 (0.22 m/s) > 완충녹지 T5(0.21 m/s) 순으로 측정지점별로 일정한 상관성을 보이지는 않았다.

교통량에 따른 측정지점별 풍속차이는 도로 T1 (1.23 m/s) > 가로녹지 T2(0.73 m/s) > 보도 T3(0.30 m/s) > 완충녹지 T5(0.08 m/s) > 녹지초입 T4(0.05 m/s)

순으로 나타났다. 저녁의 경우 교통량에 따른 풍속은 오전과 같이 가로녹지로 설정된 T2까지 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 기온에 이어 풍속 또한 교통량과 일정한 관계가 있음을 확인하였으며, 이는 가로공간에서 풍속에 의한 기온 확산이 열확산으로 이어지는 것으로 사료되었다. 또한 교통량과 상관없이 기온이 높았던 T1 지점의 경우 오후기간에 풍속이 소폭 상승하는 경향을 보였는데, 이는 아스팔트의 열류량에 의한 기온상승이 기압에 영향을 주어 생긴 결과(Yoon et al., 2007)로 사료되었다.

3.3. 일간 상대습도변화

3.3.1. 오전기간(11:00~12:00)

오전기간의 측정지점별 상대습도는 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 완충녹지 T5(40%) = 녹지초입 T4(40%) = 보도 T3(40%) > 가로녹지 T2(39%) = 도로 T1(39%) 순으로 통행량이 증가함에 따라 상대습도는 감소하는 경향을 보였다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 상대습도는 완충녹지 T5(41%) = 녹지초입 T4(41%) = 도로 T1(41%) > 보도 T3(40%) = 가로녹지 T2(40%) 순으로 측정되었다.

교통량에 따른 측정지점별 상대습도 차이는 도로 T1(2%) > 가로녹지 T2(1%) = 녹지초입 T4(1%) = 완충녹지 T5(1%) > 보도 T3(0%) 순으로 오전기간의 상대습도의 경우 일반적으로 그 차이가 크지 않았으며 약 2%내외의 차이를 보였다. 특히 교통량이 적은 경우 측정지점 간 상대습도변화는 미미한 수준이었으며 전체적으로는 기존 연구결과(Yoon, 2001)와 마찬가지로 기온과 상대습도가 반비례하는 경향을 보였다.

3.3.2. 오후기간(13:00~15:00)

오후기간의 측정지점별 상대습도는 Case 1(교통량 140±29대/분) 일 때, 완충녹지 T5(32%) > 녹지초입 T4(30%) > 보도 T3(30%) > 가로녹지 T2(30%) > 도로 T1(29%) 순으로 기온과 반비례하게 측정되었다. Case 2(교통량 20±3대/분) 일 때, 상대습도는 완충녹지 T5(34%) = 녹지초입 T4(34%) = 보도 T3(34%) = 가로녹지 T2(34%) > 도로 T1(32%) 순으로 측정되었다.

교통량에 따른 측정지점별 상대습도차이는 가로녹지 T2(4%) = 보도 T3(4%) = 녹지초입 T4(4%) > 도로 T1(3%) > 완충녹지 T5(2%) 오후시간의 상대습도의 경우 평균적으로 그 차이는 약 2% 수준이었다. 오전기간과 같이 상대습도는 기온과 반비례 하였으며, 교통량이 적을 경우 상대습도의 차이는 크지 않았으나, T1지점의 상대습도는 상대적으로 낮게 측정되었다.

3.3.3. 저녁기간(17:00~18:00)

저녁기간의 측정지점별 상대습도는 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 완충녹지 T5(35%) = 녹지초입 T4(35%) > 보도 T3(34%) = 가로녹지 T2(34%) = 도로 T1(34%) 순으로 기온과 반비례 하게 측정되었다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 상대습도는 보도 T3(36%) > 도로 T1(35%) = 가로녹지 T2(35%) = 녹지초입 T4(35%) > 완충녹지 T5(34%) 순으로 기온과 반비례 하는 경향을 보였다.

교통량에 따른 측정지점별 상대습도 차이는 보도 T3(2%) > 도로 T1(1%) = 가로녹지 T2(1%) = 완충녹지 T5(1%) > 녹지초입 T4(0%)로 측정되었다. 오후시간의 상대습도의 경우 평균적으로 그 차이는 약 2%의 차이를 보였다. 저녁시간의 상대습도변화는 Case 2(교통량 20±3대/분)일 때 T1 지점 보다 T5 지점의 상대습도가 더 낮게 측정되었으나 이는 기온차이에 따른 상대습도변화에 기인한 것으로 볼 수 있다(Yoon, 2001).

3.3.4. 일간 평균상대습도

측정지점별 일간 상대습도는 Case 1(교통량 140±29대/분)일 때, 완충녹지 T5(36%) > 녹지초입 T4(35%) = 보도 T3(35%) = 가로녹지 T2(34%) = 도로 T1(34%) 순으로 기온과 반비례하게 측정되었다. Case 2(교통량 20±3대/분)일 때, 상대습도는 보도 T3(37%) = 녹지초입 T4(37%) > 도로 T1(36%) = 가로녹지 T2(36%) = 완충녹지 T5(36%) 순으로 기온과 반비례하는 경향을 보였다.

교통량에 따른 상대습도 차이는 도로 T1(2%) = 가로녹지 T2(2%) = 보도 T3(2%) = 녹지초입 T4(2%) > 완충녹지 T5(1%)로 측정되었다. 오후시간의 상대습도의 경우 평균적으로 그 차이는 약 2%의 차이를 보였다. 저녁시간의 상대습도변화는 Case 2(교통량 20±3대/분)일 때 T1 지점 보다 T5 지점의 상대습도가

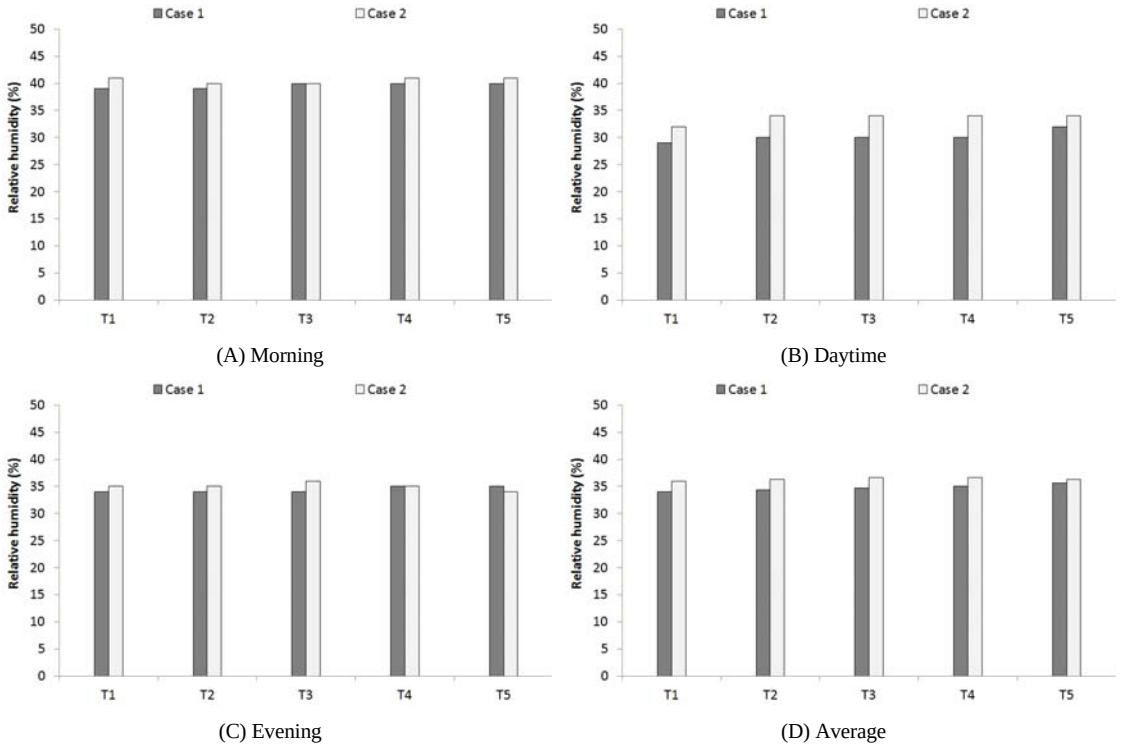


Fig. 5. Relative humidity difference for traffic.

더 낮게 측정되었으나 이는 기온차이에 따른 상대습도변화에 기인한 것으로 볼 수 있다(Yoon, 2001). 통상적으로 기온과 상대습도는 반비례하는 경향을 보였으며 기온에 영향을 미치는 풍속과 교통량이 습도변화에 주된 요인으로 사료되었다(Yoon, 2001).

3.4. 일간 일사량, 순복사량변화

3.4.1. 오전기간(11:00~12:00)

조사 기간 중 측정지점의 오전 시간의 일사량 변화는 도로에 설정한 T1 지점 427 W/m^2, 가로공간에 설정한 T2 지점 112 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점 99 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점 120 W/m^2, 완충녹지에 설정한 T5 지점은 75 W/m^{2}이었으며 평균적으로 166 W/m^{2}로 분석되었다. 일사량의 경우 T1 지점에서 T5 지점까지 교목에 의한 일사 차폐로 인해 줄어드는 경향을 보였으나, T4 녹지초입의 측정지점에서 높게 측정되었다. 이는 태양의 남중고도 변화로 교목에 의한 일사 차폐가 일어나지 않아 생긴 결과로 사료되었다(Lee and Ryu, 2014).

순복사량은 식물의 광합성이나 증발잠열 및 현열로 사용된 복사에너지의 총량으로 어떤 대상에 입사하는 복사에너지(하향단파+하향장파)와 반사 또는 사출되는 복사에너지(상향단파+상향장파)의 차로서 주어진다(Mon et al., 2001). 일사량이 높은 경우 대부분 양의 값을, 들어오는 일사와 방출되는 복사가 같거나 일사가 없을 경우 0 W/m^2 또는 음의 값을 나타낸다. 순복사량의 경우, 도로에 설정한 T1 지점 419 W/m^2, 가로공간에 설정한 T2 지점 52 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점 75 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점 38 W/m^2, 완충녹지에 설정한 T5 지점 4 W/m^2 등으로 측정되었다. 평균 순복사량은 117 W/m^{2}로 측정되었다. T1 측정지점인 도로에서 순복사량이 가장

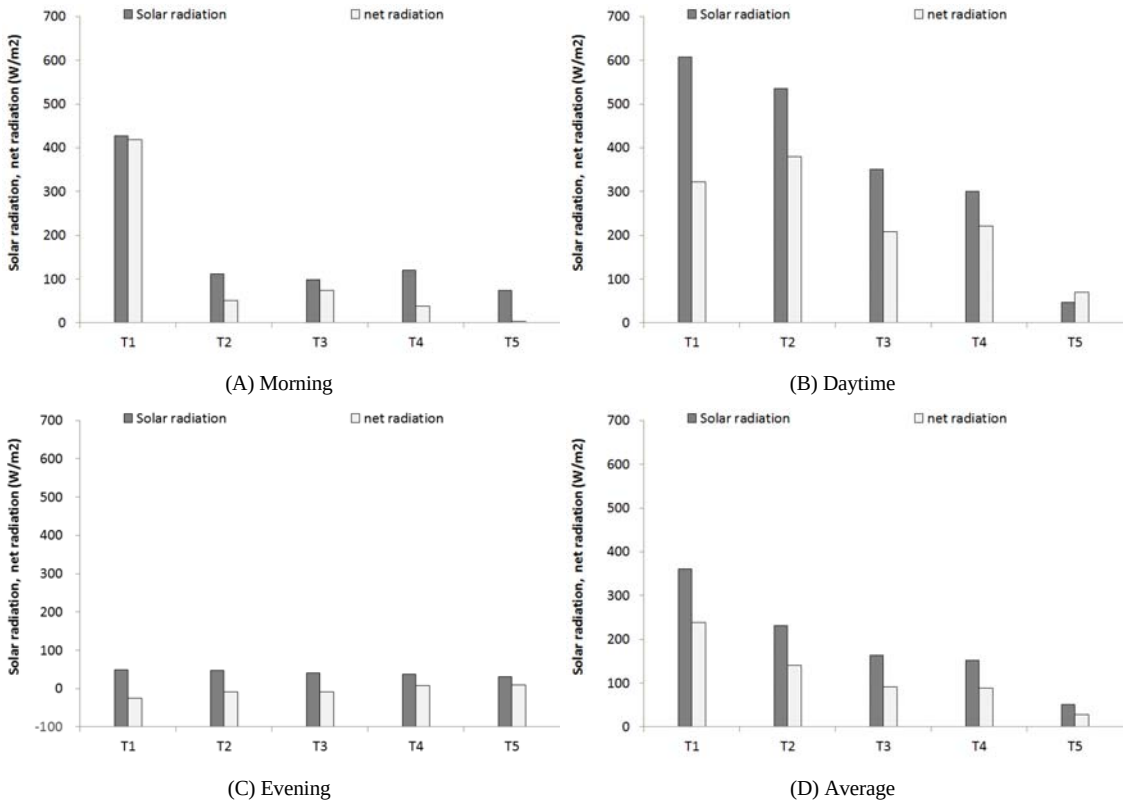


Fig. 6. Solar radiation and net radiation difference.

높았으며, 이는 일사로 인한 아스팔트의 축열이 순복사량에 영향을 준 것으로 사료되었다.

3.4.2. 오후기간(13:00~15:00)

오후시간의 일사량 변화는 도로에 설정한 T1 지점에서 607 W/m^2, 가로공간에 설정한 T2 지점은 536 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점은 351 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점은 301 W/m^2, 완충녹지에 설정한 T5 지점은 46 W/m^{2}이었으며 평균적으로 166 W/m^{2}로 분석되었다. 오후의 일사량 변화는 오전 일사량과 비슷한 경향으로 도로에서 완충녹지로 갈수록 일사량이 감소하는 경향이었다.

순복사량의 경우 도로에 설정한 T1 지점에서 322 W/m^2, 가로공간에서 설정한 T2 지점은 389 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점에서 208 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점은 221 W/m^{2}로 측정되었고 완충녹지에 설정한 T5 지점은 70 W/m^{2}로 측정 되었으며 평균 순복사량은 379 W/m^{2}로 측정되었다. 이는 아스팔트의 표면온도가 올라감에 따라 방출되는 현열이 높아져 생긴 결과(Kim, 2009)로 사료되었다.

3.4.3. 저녁기간(17:00~18:00)

저녁시간의 일사량 변화는 도로에 설정한 T1 지점에서 50 W/m^2, 가로공간에 설정한 T2 지점은 47 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점은 41 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점은 37 W/m^2, 완충녹지에 설정한 T5 지점에서 31 W/m^{2}이었다. 5개 지점의 평균값은 41 W/m^2 이었다. 저녁시간의 일사량은 완충녹지에 가까울수록 줄어드는 경향을 보였으나, 그 차이가 오전과 오후 대비 미미한 것으로 나타났다. 일사가 줄어드는 저녁시간부터 기온이 현저히 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다(Yoon, 2001).

순복사량의 경우 도로인 T1 지점에서 -25 W/m^2, 가로공간인 T2 지점은 -8 W/m^2, 보도인 T3 지점에서

Table 1. Independent sample t-test

	Variable	M	S·D	T	P
Morning	Temperature 140 EA/m	22.493	1.844	.353	.726
	Temperature 20 EA/m	22.343	1.426		
	Wind Speed 140 EA/m	.916	.804	4.115	.002**
	Wind Speed 20 EA/m	.420	.288		
	Relative Humidity 140 EA/m	43.233	8.641	-1.748	0.902
	Relative Humidity 20 EA/m	42.967	7.985		
Daytime	Temperature 140 EA/m	26.500	1.336	3.834	.000**
	Temperature 20 EA/m	25.267	1.148		
	Wind Speed 140 EA/m	1.058	.715	3.264	.002**
	Wind Speed 20 EA/m	.571	.396		
	Relative Humidity 140 EA/m	30.333	5.384	-1.083	.197
	Relative Humidity 20 EA/m	32.000	6.486		
Evening	Temperature 140 EA/m	24.247	1.397	.876	.384
	Temperature 20 EA/m	23.957	1.155		
	Wind Speed 140 EA/m	.659	.503	2.293	.025*
	Wind Speed 20 EA/m	.407	.330		
	Relative Humidity 140 EA/m	35.100	7.208	-.307	.760
	Relative Humidity 20 EA/m	35.667	7.092		
Average	Temperature 140 EA/m	24.588	2.03	2.22	.005**
	Temperature 20 EA/m	24.009	1.637		
	Wind Speed 140 EA/m	0.861	0.679	4.976	.000**
	Wind Speed 20 EA/m	0.48	0.358		
	Relative Humidity 140 EA/m	35.58	8.661	-1.063	0.745
	Relative Humidity 20 EA/m	36.85	8.327		

**p<0.01, *p<0.05

-10 W/m^2, 녹지초입인 T4 지점에서 7 W/m^2, 완충녹지인 T5 지점은 10 W/m^{2}로 평균 순복사량은 -5 W/m^{2}로 측정되었다. 순복사량은 T4 지점과 T5 지점을 제외하고 모두 음의 값을 보였는데 이는 일사에 의해 가열된 불투수포장지에서 흡수된 일사에너지가 저녁시간에 방출하여 생긴 결과로 하향 장·단파보다 상향 장·단파가 많아 음의 값을 보이는 것으로 사료되었다(Kim et al., 2007).

3.4.4. 일간 평균일사량, 순복사량

측정지점별 일평균 일사량 변화는 도로에 설정한 T1 지점에서 361 W/m^2, 가로공간에 설정한 T2 지점은 232 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점에서 164 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점은 153 W/m^2, 완충녹지에 설정한 T5 지점은 51 W/m^{2}이었으며, 5개 지점의 평균값은 192 W/m^2 이었다. 일반적으로 식재된 수목의 녹적량에 따라 일사의 차폐율이 높아지는데(Lee and Ryu, 2014), 본 연구에서도 식재된 수목의 양이 많아질수록 즉, T5 지점에 가까워질수록 일사가 줄어드는 경향을 보였다.

일평균 순복사량의 경우 도로에 설정한 T1 지점 239 W/m^2, 가로공간에 설정한 T2 지점 141 W/m^2, 보도에 설정한 T3 지점 91 W/m^2, 녹지초입에 설정한 T4 지점 89 W/m^2, 완충녹지에 설정한 T5 지점은 28 W/m^2

Table 2. Correlation analysis

	Distance	Temperature(℃)	Wid speed(m/s)	Relative humidity(%)	Surface temperature(℃)	Solar radiation(W/m^2)
Temperature(℃)	-.228*					
Wid speed(m/s)	-.513**	.246*				
Relative humidity(%)	.075	-.599**	-.329**			
Surface temperature(℃)	-.362**	.378**	.486**	-.411**		
Solar radiation(W/m^2)	-.452**	.442**	.408**	-.253*	.600**	
Net radiation(W/m^2)	-.425**	.332**	.454**	-.215*	.486**	.828**

**p<0.01, *p<0.05

등 이었으며 5개 지점의 평균 순복사량은 117 W/m^2 이었다.

3.5. 교통량에 따른 측정지점별 기상특성

3.5.1. 교통량에 따른 기상환경 독립표본 t검정

교통량과 기상요소간 통계적인 유의성을 확인하기 위해 독립표본 t검정을 실시하였다. 변수설정은 독립변수를 교통량으로 종속변수를 기온, 풍속, 상대습도로 설정하였으며, 이를 통해 교통량에 따른 기상변화의 유의성을 분석하였다.

오전시간의 독립표본 t검정의 분석 결과, 교통량에 따른 기온차이는 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 반면, 풍속의 경우 교통량에 따라 유의한 수준으로 증가하는 경향을 보였다(p<0.01). 상대습도의 경우 교통량에 따라 반비례하는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의하지 않았다.

오후시간의 경우 기온과 교통량에서 정의 상관관계로 통계적 유의성을 보였으며(p<0.01), 풍속 변화 또한 통계적으로 정비례하는 경향을 보였다(p<0.01). 오후시간의 상대습도는 교통량과 기온에 반비례하는 경향을 보였으나, 통계적인 유의성은 없는 것으로 분석되었다.

저녁시간의 경우 교통량이 증가함에 따라 기온이 증가하는 정의 상관관계를 보였으나, 통계적인 유의성은 보이지 않았다(p>0.01). 교통량과 풍속의 경우에는 유의한 수준에서 정의 상관관계가 나타났다(p<0.05). 상대습도는 교통량에 따라 반비례하는 경향을 보였으며 통계적인 유의성은 없는 것으로 분석되었다.

교통량에 따른 기상요소의 일 평균값은 교통량이 증가함에 따라 기온이 증가하는 정의 상관관계를 보였고 그 변화는 유의한 것으로 분석되었다(p<0.01). 풍속 또한 정의 상관관계를 보이며 통계적으로 유의한 결과를 보였다(p<0.01). 반면 상대습도의 경우 교통량에 따라 반비례하는 경향을 보였으나, 통계적인 유의성은 없는 것으로 분석되었다.

교통량에 따른 기상요소의 독립표본 t 검정의 경우 기온의 경우 오전기간을 제외하고 교통량과 통계적인 유의성이 분석되었으며, 차량의 증가는 기온이 증가로 이어지는 선행연구 결과와 일치하는 경향을 보였다(Lee et al., 2013). 풍속의 경우 저녁기간을 제외하고(p<0.05) 오전기간과 오후기간 그리고 평균값에서 모두 교통량과 높은 상관성을 나타내었다(p<0.01).이는 도로의 차량통행이 풍속에 미치는 영향이 현저한 것으로 사료되었다.

3.5.2. 측정지점간 기상환경 상관성분석

측정지점간 기상환경의 상관성 분석을 위해 측정지점에 가변수를 입력하여 분석하였으며, 가변수설정은 [T1 : 1] [T2 : 2] [T3 : 3] [T4 : 4] [T5 : 5]로 설정하였다.

측정지점에 따른 기상의 상관성은 Table 2와 같이 분석되었다. 측정지점에 따른 기상분석은 기온과 풍속에서 음의 상관관계를 보였으며(p<0.05), 상대습도의 경우 측정지점 간 상관성은 없었다. 표면온도의 경우 측정지점에 따라 상관성을 보였다(p<0.01). 일사량과

Table 3. Regression curve

R	R-squared	The modified R-squared	f	Sig
.609	.371	.328	8.634	.000

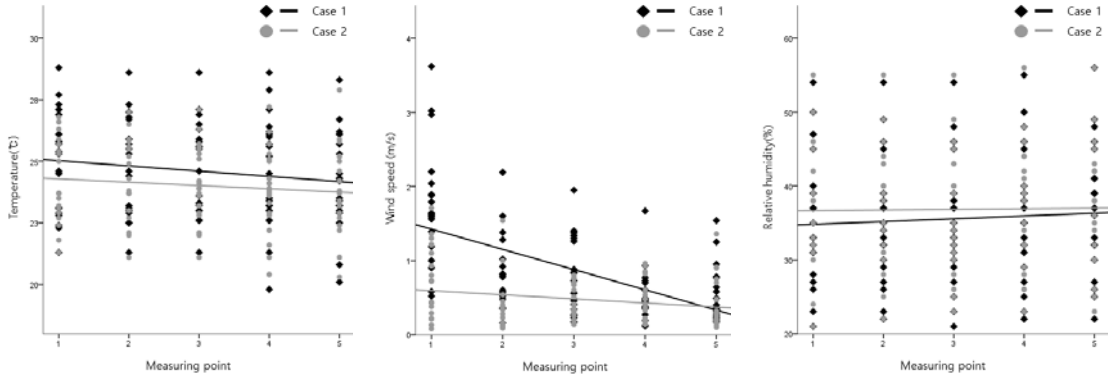
순복사량은 측정지점에 따라 음의 상관관계를 보였다 ($p<0.01$).

기온의 경우 풍속에서($p<0.05$)양의 상관관계를 보였는데, 이는 도로에서 불어오는 바람이 기온을 증가시키는 것으로 판단되었다. 상대습도의 경우 기온과 음의 상관관계를 보였으며($p<0.01$) 기온이 상승함에 따라 상대습도가 낮아지는 선행연구(Yoon, 2001) 결과와 동일했다. 표면온도의 경우 $p<0.01$ 수준에서 유의한 경향으로 분석되었다. 일사량 또한 $p<0.01$ 수준에서 유의성을 보였으며, 이는 일사의 증가가 기온의 증가로 이어지는 선행연구(Kim et al., 2016)와 같은 경향을 보였다. 순복사량 또한 기온과 통계적인 유의성을 보였다($p<0.01$). 풍속의 경우 상대습도에서 음의 상관관계를 보였다($p<0.01$). 표면온도의 경우 양의 상관관계를 보였으며($p<0.01$), 일사량과 순복사량 또한 양의 상관성을 보였다($p<0.01$). 상대습도의 상관관계는 표면온도에서 음의 상관관계를 보였으며($p<0.01$), 일사량과 순복사량 또한 음의 상관관계로 분석되었다 ($p<0.05$). 표면온도는 일사량과 순복사량에서 양의 상관관계를 보였다($p<0.01$).

3.5.3. 교통량에 따른 측정지점간 회귀분석

교통량에 따른 기온, 풍속, 상대습도의 확산범위를 산출하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 분석결과, 결정계수(The modified R-squared)값은 0.328로 나타났으며 직진성은 유의수준 0.1% 수준에서 통계적으로 유의성이 인정되었다(Table 3).

회귀곡선의 경우 Fig. 7과 같이 나타났으며 교통량에 따른 열확산은 완충녹지로 설정된 T5 지점까지 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이는 통행량이 도로기온을 증가시키는 주요 요인으로 보고한 선행연구와 일치하는 결과를 보였다(Lee et al., 2013). 풍속의 경우 기본적으로 도로측이 높게 측정되었으며 도로측정점인 T1 지점부터 녹지초입인 T4 지점까지 교통량에 영향을 받는 것으로 분석되었다. 상대습도의 경우 Case 2(교통량 20±3대/분)일 때 측정지점별 평이한 수준이었으며 Case 1(교통량 140±29대/분)의 경우 회귀곡선은 기온과 정반대의 경향을 보였다. 이는 기온이 상승함에 따라 습도가 낮게 나타난 선행연구와



(A) Temperature(℃) (B) Wid speed(m/s) (C) Relative humidity(%)

Fig. 7. Regression curve in measuring point to type.

일치하는 결과를 보였다(Yoon, 2001).

4. 결 론

도시 기온상승의 주된 요인 중 하나인 도로는 도시민의 건강 및 삶의 질이 크게 악화하고 있다. 이러한 부정적인 요인을 파악하기 위해 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다. 그러나 조경분야의 경우 도로의 현열 및 도로 교통량에 따른 가로공간 그리고 녹지간의 특성의 연관성에 대한 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 도로 기하구조의 특성을 고려하여 사람들이 많이 이용하는 가로 보행공간을 중심으로 가로녹지에 의한 단순 기온저감 효과 검증이 아닌 교통량 및 가로공간의 기하조건에 따른 도로 주변부 기상 특성 및 그 영향력을 규명하고자 하였다.

이를 위해 도로로부터 가로공간에 5곳의 측정지점을 설정한 후 각 지점별, 기상현황으로 기온, 풍속, 상대습도, 일사량, 복사량 등을, 도로현황으로 도로조건과 교통량을 측정하였다. 도출된 데이터를 통계 처리하여 교통량과 측정지점별 기상요소간의 관계를 규명하였다.

분석결과, 교통량 따른 기온변화는 평균적으로 약 0.7℃의 기온차이를 나타내면서 도로와 인접한 지점일수록 기온차이가 큰 것으로 분석되었다. 즉 도로와 멀어질수록 기온은 감소하는 경향을 보였다. 전반적으로 교통량이 증가할 경우 도로부근의 기온이 더욱 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 교통량이 적을 경우에는 오히려 완충녹지의 기온이 약 0.3℃ 높게 측정되는 반대의 경향이 나타나기도 했다. 이는 도로로부터의 열 확산이 녹지대에 의해 정체된 결과로 판단되지만, 추후 정밀한 연구가 필요한 실정이었다.

풍속의 경우 평균적으로 약 0.48 m/s의 차이를 보였으며 통행량이 많고 도로에 인접할수록 그 차이가 컸다. 상대습도의 경우 측정지점별 및 교통량에 따른 차이가 크기 않았으나, 전반적으로 기온과 반비례하는 경향을 보였다.

교통량에 따른 독립표본 T검정의 경우, 평균적으로 교통량에 따른 풍속($p<0.01$)과 기온($p<0.01$)은 유의한 수준에서 정의 상관성을 나타내었고 상대습도는 교통량에 따른 유의성이 나타나지 않았다.

측정지점에 따른 상관성 분석은 거리에 따라 기온($p<0.05$)과 상대습도($p>0.05$)를 제외한 모든 항목에서 $p<0.01$수준의 음의 상관관계가 입증되었다. 기온의 경우 풍속에서 $p<0.05$의 양의 상관관계를 보였으며 이를 제외한 모든 항목에서 $p<0.01$수준의 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 풍속의 경우 상대습도와 표면온도, 일사와 순복사량에서 $p<0.01$수준에서 유의성을 보였다. 상대습도의 경우 표면온도와 일사량, 순복사량에서 모두 음의 상관관계를 보였고 표면온도 $p<0.01$를 제외한 항목에서 $p<0.05$의 유의성을 보였다. 표면온도의 경우 일사량과 순복사량에서 $p<0.01$의 상관성이 분석되었다. 일사와 순복사량 또한 $p<0.01$ 수준에서 상관성이 입증되었다.

교통량에 따른 기온, 풍속, 습도의 확산범위를 분석한 결과, 기온의 경우 완충녹지 인근에 설정한 T5지점까지 교통량에 의한 열확산 효과가 유의한 것으로 나타났다. 풍속의 경우 기온과 같이 도로측이 높게 측정되었으며 도로측정점인 T1 지점부터 녹지초입인 T4 지점까지 교통량에 영향을 받는 것으로 분석되었다. 상대습도의 경우 교통량의 차이가 거의 없는 것으로 분석 되었으며, 회귀곡선은 기온과 정반대의 경향을 보였다.

본 연구는 열환경 악화가 심화되는 도심지의 대표적인 불투수포장지인 도로를 중심으로 열확산 효과를 관측하고 그 요인을 예측하기 위해 실시하였다. 그 결과, 교통량에 따라 기온과 풍속이 영향을 받았으며, 특히 오후기간의 경우 일사에 의해 가열된 아스팔트 위의 공기가 차량이동에 따라 비산되어 약 T4까지 열확산이 나타난 것으로 보여졌다. 기온에 영향을 미치는 기상요소로는 풍속, 상대습도, 표면온도, 순복사량, 복사량 모두에서 유의성이 검증되었다. 그러나 본 연구에서는 교통량 통제에 있어 단순 교통량의 많고 적음의 두 조건으로 진행하여 연구결과의 한계가 있었다. 향후 교통조건을 제어하여 다양한 조건으로 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임.

REFERENCES

Armson, D., Stringer, P., Ennos, A. R., 2012, The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area, Urban Forestry & Urban Greening, 11, 245-255.

Chen, S. R., Smasce, J. W., 2010, Dynamic performance simulation of Long-Span Bridge under combined loads of stochastic traffic and wind, Journal of Bridge Engineering, 15(3), 219-230.

Cho, H. J., 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, 39(3), 107-116.

Her, J. H., 2013, Reduction of the urban temperature using the pavement material lowering the heat island effect, Seoul National University of Science and Technology, Korea.

Hong, C. W., 2013, Properties of temperature reduction of cooling asphalt pavements using high-reflectivity paints, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 33(1), 317-327.

Jung, C. K., 2009, A Study on three-dimensional greenery network model for the expansion of ecological streetscape, Department of Architecture Engineering, The Graduate School, Pukyong National University, Korea.

Jung, H. E., 2014, A Study on the temperature reduction effect and functional improvement of street green area in Seoul, Korea, Department of The Graduate School of University of Seoul, Korea.

Jung, H. E., Han, B. H., Kwak, J. I., 2015, A Study on air temperature reduction effect and the functional improvement of street green areas in Seoul, Korea, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 43(4), 37-49.

Kim, H. J., Kim, D. S., Yoon, I. H., Lee, D. I., Kwon, B. H., 2007, Net radiation and soil heat fluxes measured on coastal wetland covered with reeds, Journal of Environmental Science International, 16(2), 233-239.

Kim, J. H., Choi, W. J., Yoon, Y. H., 2016, A Study on verifying the effect of thermal environment control of Street Canyons based on application of green wall system, Journal of Environmental Science International, 25(1), 41-56.

Kim, S. R., Jung, E. H., Kim, H. D., 2013, Evaluation on the effect of air quality improvement due to the employment of clean-road system in Daegu, Journal of Environmental Science International, 23(12), 2029-2034.

Kim, Y. J., Kang, D. H., Ahn, G. H., 2011, Characteristics of urban heat-island phenomena caused by climate changes in Seoul, and alternative urban design approaches for their improvements, Urban Design Institute of Korea, 12(3), 5-14.

Lee, C. S., Ryu, N. H., 2014, The comparison of the solar radiation and the Mean Radiant Temperature (MRT) under the shade of landscaping trees in summertime, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 42(5), 22-30.

Lee, S. O., 2010, A Study to mitigate urban heat island according to the improvements of pavement of road, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Keimyung University Department of Environmental Science Graduate School, Korea.

Lee, Y. W., Yang, I. C., Kim, D. G., Lim, J. H., 2013, A Study on the factors affecting air temperature on roadside : Focusing on road conditions and traffic characteristics, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 33(4), 1619-1629.

Mon, B. G., Kim, J., Ryu, S. B., Yoon, Y. H., Lim, J. H., 2001, Anmyeondo monitoring the Earth's atmosphere compared to net radiation radiometer observations and correction of the Observatory, Korea Meteorological Society, 11(1), 176-180.

Narita, K. I., Sugawara, H., Hirofumi, T., 2008, Effects of roadside trees on the thermal environment within a street canyon, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, (43), 41-48.

Park, M. S., Hagishima, A., Tanimoto, J., Narita, K. I., 2012, Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field measurement at a scale model site, Building and Environment, 56(2012), 38-46.

Park, S. G., Kim, S. D., Lee, H. K., 2005, Development of empirical model for the air pollutant dispersion in urban street canyons using wind tunnel test, Environmental Engineering Research, 27(8), 852-858.

Yang, C. H., Park, M. S., Yoon, D. G., 2011, A Road surface temperature prediction modeling for road weather information system, Korean Society of Road Engineers, 28(2), 123-131.

Yoon, Y. H., 2000, Thermal effect of open space in urban area, Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture, 18(4), 83-90.

Yoon, Y. H., 2001, Effect between radiation difference and air temperature condition surround green space, Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture, 3(37), 72-80.

Yoon, Y. H., 2002, lnfluencing degree to the air temperature of stratification in the urban green space, Korea Turfgrass Science, 16(2), 107-114.

Yoon, Y. H., Bae, B. H., Kim, W. T., Park, B. J., Cho, S. M., Cho, H. S., 2007, Effects of land use pattern on urban heat island in Chungju City, Journal of Environmental Science International, 16(9), 1063-1069.

Yoon, Y. H., Kim, H. J., 2013, The effect of anions concentration on summer and autumn by green area, The Seoul Institute, 14(3), 105-116.