

하절기 대구지역의 대기상태에 따른 장파복사 특징 분석

백창현* · 최동호*** · 이부용*** · 이인규*

*대구가톨릭대학교 대학원 환경조경학과, 박사과정

**대구가톨릭대학교 건축학부, 교수

***대구가톨릭대학교 환경과학과, 교수

Analysis of Long-wave Radiation Characteristics According to Atmospheric Conditions in Daegu Area During Summer

Baek Chang-Hyeon* · Choi Dong-Ho*** · Lee Bu-Yong*** · Lee In-Gyu*

*Dept. of Environmental Science and Landscape Architecture, Graduate School, Catholic University of Daegu, Doctor's Course

**Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu, Professor

***Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Professor

†Corresponding author: dhchoi2@cu.ac.kr

Abstract

The purpose of this study is to analyze the urban heat island ultimately by analyzing long-wave radiation which is the dominant factor of night minimum temperature formation. We observed during two months with four elements which is long and short wave radiation, temperature, relative humidity. And we analyzed the correlation between the four factors of long-wave radiation, temperature, cloud form, and cloud amount during the summer two months on the night time. Observations were carried out at two sites in Daegu and nearby. The results are as follows. ① Long-wave radiation change per 1°C in summer was larger than winter. ② Long-wave radiation amount is affected by temperature change when the amount of cloud is small. ③ Low cloud was analyzed to have more influence on long-wave radiation than high cloud.

Keywords: 장파복사(Long-wave radiation), 복사관측(Radiation observation), 운량(Cloudiness), 운형(Cloud type), 기온(Air temperature)

1. 서론

급속한 도시화는 도시 표면 및 대기 속성에 많은 변화를 수반하였다. 도시화에 따른 가
장 큰 지표면 변화로는 인공화 된 구조물과 피복이 증가하고, 인간 활동에 따른 다량의 인
공열이 동반되어 주변지역보다 고온인 도시열섬(UHI : Urban Heat Island)현상이 나타
난다. 여름철보다 겨울철에, 주간보다 야간에 강하게 나타나는 도시열섬현상을 평가하기



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.5, pp.1-9, October 2018
<https://doi.org/10.7836/kSES.2018.38.5.001>

pISSN : 1598-6411
eISSN : 2508-3562

Received: 26 April 2018

Revised: 23 August 2018

Accepted: 23 August 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

위해서 먼저 대기요소 중 기온을 중심으로 한 연구가 시작되었다. 이러한 선행연구의 국외사례로는 T.R OKE (1973)¹⁾ 등이 있으며, 국내사례로는 현장관측을 통한 도심 기온 분석^{2,3,4)} 사례가 있다.

기온 이외의 요소에 대한 해석으로는 복사관측을 통한 접근법이 있다. 복사는 지표면 기온 형성에 가장 큰 영향을 주며, 이러한 복사는 태양으로부터의 태양복사(단파복사)와 지표면에서 흡수된 에너지를 재방출하는 지구복사(장파복사)로 구분된다. 대기의 조성상태에 따라 복사에너지는 차단되거나 증가하는 현상이 나타나며, 도시 상공에 분포하는 에어로졸 입자에 의해 단파복사 일부 차단⁵⁾되는 경우와 야간에 상향 장파복사를 에어로졸이 흡수·재복사하여 야간 하향 장파복사가 증가⁶⁾한다는 연구가 있다. 도시화에 따른 지표면의 열용량 증가는 야간시간대 상향복사를 증가시키고 그 결과가 하향 장파복사 증가⁷⁾로 이어진다. 도시 상부대기의 온도 상승은 하향의 장파복사를 증가시킨다는 연구 결과에서 하향 장파복사는 야간기온에 밀접한 관계가 있음을 기존연구^{2,3,4,5,6,7)}를 통해 확인할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 대구지역을 중심으로 한 장파복사 관측을 통해 도심지역 장파복사의 하절기(6, 7월) 변화 추이와 기상요소와의 관계(장파복사-기온, 장파복사-구름, 장파복사-기온-구름), 그리고 야간시간대 장파복사와 구름(구름의 고도와 형태)에 따른 효과를 분석하였다. 이를 통해 도시 기후와 열환경에 대한 현상학적 메커니즘을 해석하고, 궁극적으로 도시의 특징에 따른 야간시간대 기온 변화과정을 이해하여 도시의 쾌적한 열환경 조성을 위한 기초자료를 제공하고 활용하고자 한다.

2. 관측 개요(수정전)

2.1 관측장소 및 관측요소

본 연구의 관측지점은 도심지역(대구광역시 서구 소재 북비산초등학교 옥상) 1개소와 이곳에서 동쪽으로 22 km 떨어진 교외지역(경북 경산시 하양읍 소재 대구가톨릭대학교 옥상) 1개소를 선정하였다(Fig. 1). 이들 관측지점의 환경 및 요소는 기존연구⁸⁾와 같다.



Fig. 1 Location of observation sites

2.2 관측과 분석방법

관측은 2017년 6월 1일부터 동년 7월 31일까지 하절기 2개월간 수행하였다. 본 연구에서는 기온, 중하층운량, 장파복사 3요소 간의 상관성을 중심으로 분석하였다. 상관성에 대해서는 장파복사-시간, 장파복사-기온, 장파복사-운량, 장파복사-기온-운량의 각 요소간의 관계를 분석하였으며, 그 중 장파복사-구름과의 관계는 단파복사의 영향을 완전히 배제할 수 있는 야간시간대를 중심으로 분석하였다. 데이터 분석은 매 1분 간격으로 관측된 자료를 1시간 평균하여 사용하였다. 한편 관측 데이터의 수집과 관리의 효율성을 극대화하기 위하여 원격통신시스템을 구축하였으며, 관측지점 데이터로거에 연결된 소형PC (PIPO x8)와 PC원격 제어 소프트웨어 (Teamviewer ver.13)를 이용하여 관측자료를 원격으로 송수신하였다.

3. 관측결과 및 고찰

3.1 장파복사의 시계열 분포

Fig. 2의 (a), (b), (d), (e)는 6월과 7월 두 관측지점의 일별 장파복사값을 시간단위의 시계열로 나타낸 것(6월의 경우 30일, 7월의 경우 31일 동안의 자료)이고, 그림의 가운데 선은 그 평균값을 표시한 것이다. 7월이 6월보다 장파복사값이 뚜렷하게 높게 나타난 것으로 확인되었다. 두지점 모두에서 7월의 장파복사 하한값이 확연히 분리되어 나타나 이것을 Fig. 2의 (c), (f)에 나타내었다. 하한값 또한 평균값과 마찬가지로 6월보다 7월이 높게 나타났다.

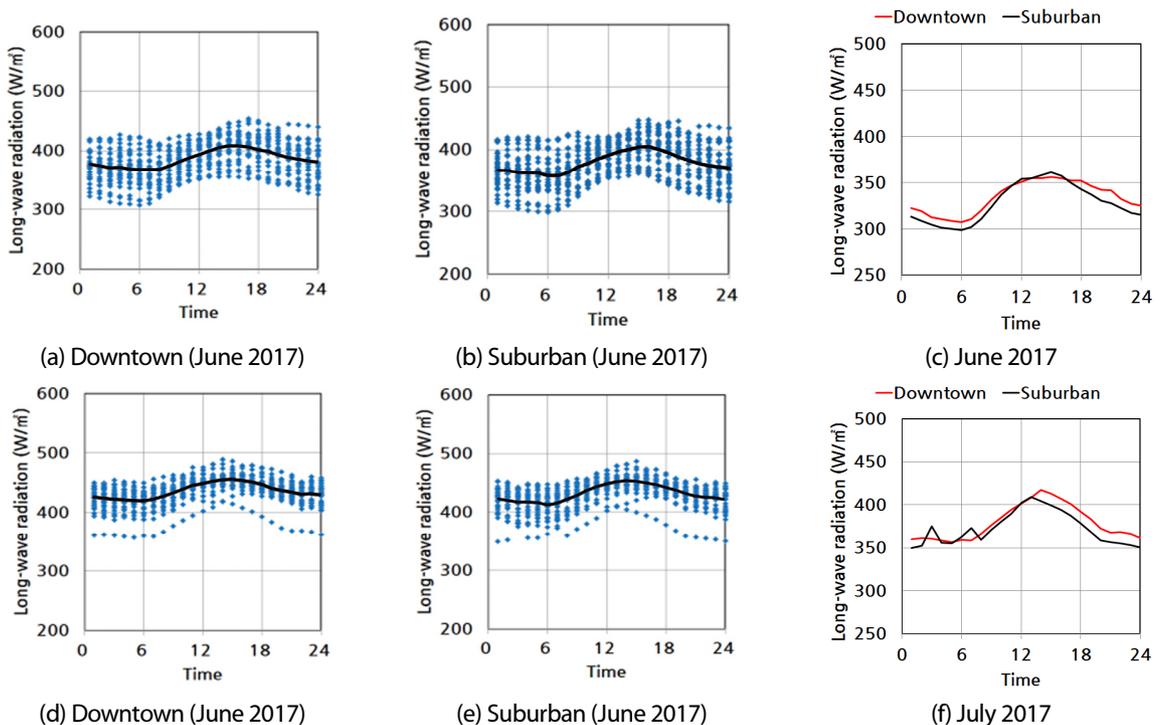


Fig. 2 Time series distribution of long-wave radiation

최고최저의 변동값을 살펴보면 도심 6월과 7월은 각각 40.8, 36.0 W/m², 교외 6월, 7월은 각각 47.9, 40.8 W/m²의 차이값을 나타내었다. 이와 같이 두 지역에서의 변동치는 6월이 7월보다 크게 나타났고, 교외지역이 도심지역보다 크게 형성되고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1은 Fig. 2에 제시된 자료를 시각대별로 평균한 값과 일중 최고·최저값, 시각에 따른 장파복사 값의 차이를 표로 정리한 것이다. 6월 도심의 경우 최저값은 08시에 366.1 W/m²이고, 7월에는 06시에 419.1 W/m²로 나타났 다. 한편 6월 교외의 경우 최저값은 07시에 357.3 W/m²이고, 7월에는 06시에 411.6 W/m²로 나타나 월별 장파복 사량의 최저값은 두 지점에서 6월보다 7월이 빠른 시간대에 나타나는 것으로 확인되었다. 최고값은 최저값의 추이 와 같이 6월보다 7월이 빠른 시간대에 나타났다. 따라서 장파복사의 최고값과 최저값은 두 지역에서 6월보다 7월이 빠른 시간에 출현하는 것으로 확인되었으며, 그 값의 차이는 약 50 W/m²이다. 또한 전후시각대의 장파복사의 차이 값이 최대로 나타난 시각은 09:00와 10:00로 확인되었으며, 도심보다는 교외지역에서 그 값이 크게 나타났다.

Table 1 Distribution of Long-wave Radiation

Time	Downtown [W/m ²]				Suburban [W/m ²]			
	June ave.	Diff.	July ave.	Diff.	June ave.	Diff.	July ave.	Diff.
5:00	367.6	-2.3	420.2	-0.4	362.1	0.0	414.8	-1.1
6:00	366.2	-1.4	419.1	-1.1	357.4	-4.7	411.6	-3.2
7:00	366.5	0.3	421.9	2.8	357.3	-0.1	414.0	2.4
8:00	366.1	-0.4	426.0	4.1	362.5	5.2	420.4	6.4
9:00	371.8	5.7	431.6	5.6	371.9	9.4	427.5	7.1
10:00	379.8	8.0	438.9	7.3	377.9	6.0	436.0	8.5
11:00	386.3	6.5	445.2	6.3	385.0	7.1	442.7	6.7
12:00	392.0	5.7	447.7	2.5	390.6	5.6	446.6	3.9
13:00	397.3	5.3	451.4	3.7	396.0	5.4	450.5	3.9
14:00	403.8	6.5	454.7	3.3	400.4	4.4	452.4	1.9
15:00	406.5	2.7	455.1	0.4	404.1	3.7	451.6	-0.8
16:00	406.9	0.4	453.2	-1.9	405.2	1.1	449.2	-2.4
17:00	404.6	-2.3	450.4	-2.8	400.0	-5.2	445.7	-3.5
Max-min	40.8		36.0		47.9		40.8	
Ave.	385.8		439.6		382.3		435.6	

3.2 장파복사와 기온

3.2.1 월별 장파복사와 기온

Fig. 3은 월별 장파복사와 기온의 상관도를 나타내었다. 그래프에 표시한 +표시는 해당 월의 장파복사와 기온의 평 균값을 나타낸 것이다. Fig. 4는 2017년 1~3, 6, 7월의 월별 장파복사와 기온의 평균값의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 3은 기존의 연구⁸⁾와 같이 평균온도가 높은 월에 장파복사도 높게 나타났다. 따라서 월별 평균온도와 월별 장파복사량

과의 관계는 매우 밀접함을 확인할 수 있다. 보다 명확하게 보기 위해 Fig. 4에 1~3, 6, 7월까지의 자료로 두 요소간의 추세선을 작성하였다. 추세선은 2차함수로 표현이 되었으며, 두 요소간의 상관도는 매우 높은 것으로 확인되었다.

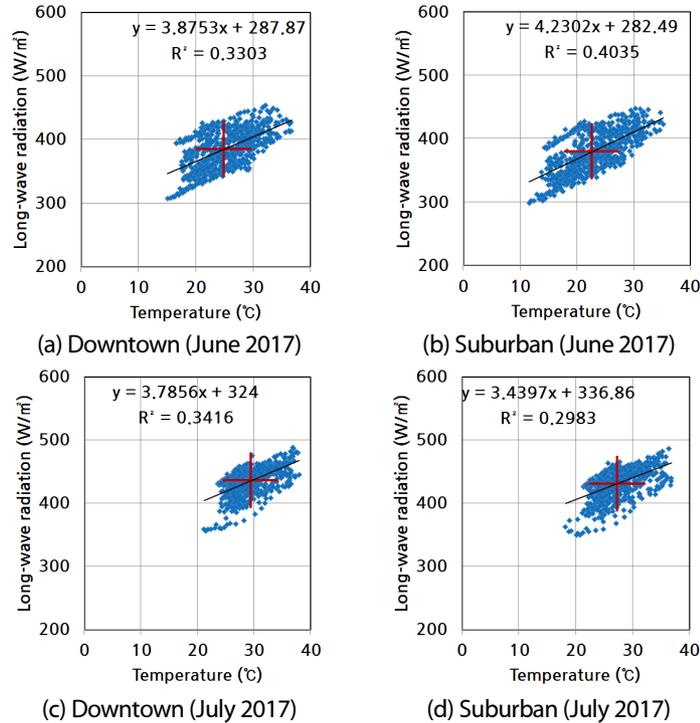


Fig. 3 Correlation between monthly long-wave radiation and temperature

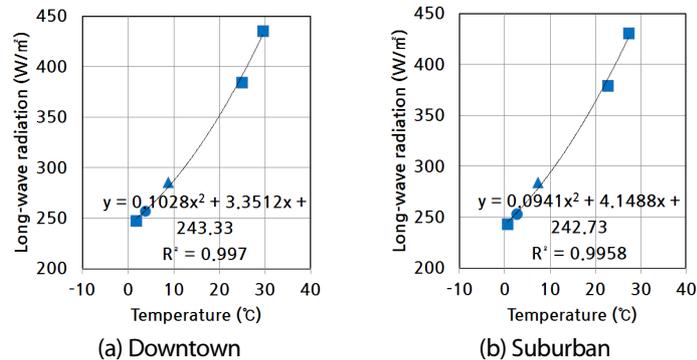


Fig. 4 Time series of monthly long-wave radiation distribution

Table 2는 6월과 7월의 평균온도와 장파복사값을 나타낸 것으로, 교외지역보다 도심지역에서 온도와 장파복사량이 모두 높게 나타났다.

도심의 경우 2월과 3월의 기온변화 5°C, 장파복사량 변화 28.5 W/m²로 변하였으며, 6월에서 7월의 기온변화 4.6°C, 장파복사량 변화 50.9 W/m²로 나타나 동절기 기온변화에 대한 장파복사량보다 하절기 기온변화에 대한 장파복사량이 더 크게 나타났다.

Table 2 Monthly long-wave radiation and temperature average

Category		Jan.	Feb.	Mar.	Jun.	Jul.
Downtown	Temperature [°C]	1.8	3.8	8.8	24.9	29.5
	Long-wave radiation [W/m ²]	247.6	256.9	285.4	384.6	435.5
Suburban	Temperature [°C]	0.6	2.7	7.3	22.8	27.3
	Long-wave radiation [W/m ²]	243.6	253.0	284.1	379.0	430.7

3.3 장파복사와 기온, 운량 분석

3.3.1 월별 장파복사와 기온, 운량의 관계

월별 장파복사와 기온 상관도(Fig. 3)에서 운량 5이하(청색(×))와 6이상(적색(□))으로 구분하여 Fig. 5를 작성하였다. 6월과 7월의 상관도에서 운량 6이상은 주로 그래프의 상부(적색)에 위치하고, 5 이하는 하부(청색)에 분포하였다. 이러한 분포는 장파복사와 운량간은 서로 밀접한 양(+)의 관계에 있음을 확인할 수 있고, 기온이 증가함에 따라 장파복사량도 선형적으로 증가하는 형태로 확인되었다.

Table 3에서 도심과 교외지역 운량별 장파복사 평균값은 6, 7월 모두 운량 5 이하일 때보다 운량 6 이상일 때가 더 높게 나타났고, 기온 평균값은 운량 5이하일 때가 높게 나타났다. 도심에서 운량 5이하의 경우 월 평균 값 차이는 장파복사가 52.1 W/m², 기온이 4.4°C로 그 비율(장파복사/기온)은 11.84 W/m²/°C 이고, 6이상인 경우

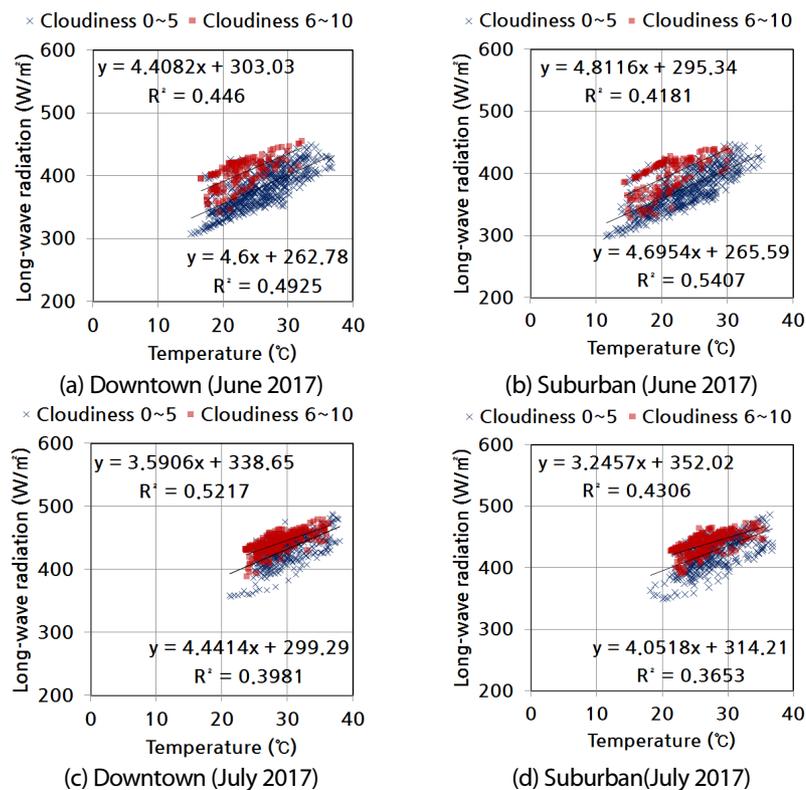


Fig. 5 Correlation of monthly long-wave radiation and temperature according to cloudiness

장파복사가 37.7 W/m², 기온이 5.8°C로 그 비율은 6.5 W/m²/°C로 나타났다. 즉 기온 1°C대비 장파복사 증가량은 온량이 많을 때 보다 온량이 적을 때가 높게 나타났으며, 이러한 효과는 교외에서도 동일하게 확인되었다.

Table 3 Monthly averaged long-wave radiation and temperature according to cloudiness

Category		Jun.	Jul.	Jul.-Jun.	Ratio [W/m ² /°C]		
Downtown	Cloudiness 0~5	Long-wave radiation [W/m ²]	379.9	432.0	52.1	11.84	
		Temperature [°C]	25.5	29.9	4.4		
	Cloudiness 6~10	Long-wave radiation [W/m ²]	404.0	441.7	37.7		6.5
		Temperature [°C]	22.9	28.7	5.8		
Suburban	Cloudiness 0~5	Long-wave radiation [W/m ²]	374.8	426.7	51.9	11.53	
		Temperature [°C]	23.3	27.8	4.5		
	Cloudiness 6~10	Long-wave radiation [W/m ²]	396.1	438.0	41.9	7.5	
		Temperature [°C]	20.9	26.5	5.6		

3.3.2 장파복사와 온량, 장파복사와 온형의 관계

장파복사와 온량, 장파복사와 온형의 관계를 보다 명확하게 알아보기 위하여 단파복사의 영향이 없는 야간시간대(20:00~06:00) 자료를 바탕으로 Fig. 6을 작성하였다. 구름에 의한 영향을 해석하기 위해 먼저 고도에 따른 차이로 중층운과 하층운으로 구별하고, 구름의 형태에 따라서는 적운형과 층운형을 적용하였다. 형태에 따른 차이로 적운형에서는 Ac (고적운)와 Sc (층적운)로, 층운형에서는 As (고층운)와 St (층운)로 각각 비교하였다. 적운형의 경우 Ac (고적운)와 Cu (적운)를 비교해야 하나, Cu (적운)가 해당 시간대에 관측이 되지 않아 Sc (층적운)와 비교 분석하였다. 층운형(As, St)은 관측 사례가 매우 적어 본 연구에서는 분석에서 제외하였다.

적운형 구름 Ac와 Sc의 비교에서 도심과 교외지역 모두 온량이 4일 때를 제외하고는 하층운인 Sc일 때 장파복사값이 더 크게 나타났다. 또 추세선에서 기울기 상수는 중층운인 Ac는 음(-)으로, 하층운인 Sc는 양(+)으로 나타났다. 그리고 추세선의 절편값은 Sc가 더 크게 나타나, Sc가 장파복사와 관계가 더 깊은 것으로 확인되었다. 따라서 하층운이 중층운보다 장파복사에 주는 영향력이 큰 것으로 확인되었다. 온량에 따른 장파복사량을 알아보기 위해 Table 4를 작성하였다.

Table 4에서 장파복사량의 평균값은 도심과 교외지역 모두 하층운인 Sc인 경우가 중층운 Ac인 경우보다 높게 나타났다. 동일 온량일 때 장파복사량의 차이(Sc-Ac)는 도심과 교외지역 모두 온량 2, 3, 9일 때 50 W/m²이 상으로 크게 나타났으며, 이 값은 온량 5, 6, 8일 때 차이 25 W/m² 미만보다 2배 이상으로 크다. 따라서 이러한 현상을 명확하게 해석하기 위해서는 관측지점에서 장기간 장파복사 관측과 함께 관측자에 의한 구름 관측이 아닌 영상에 의한 객관적인 온형과 온량 관측이 필요하다.

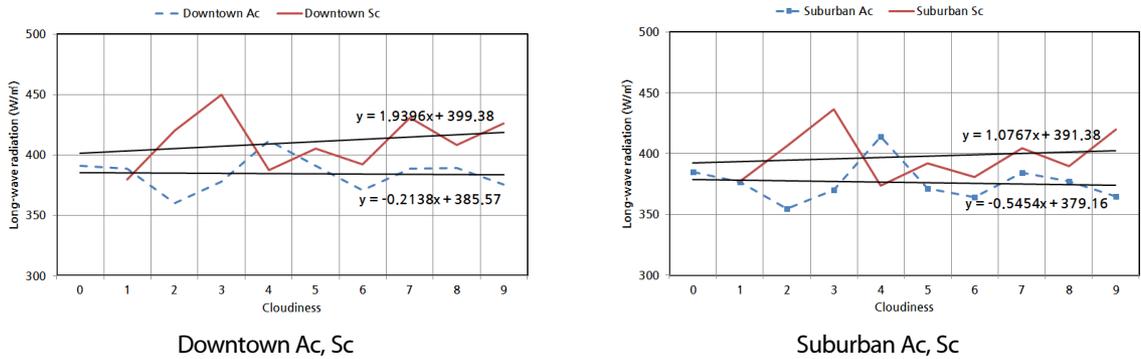


Fig. 6 Long wave radiation according to Cloudiness with middle height cloud and lower height cloud

Table 4 Long-wave radiation in downtown area by cloudiness and cloud type (Ac, Sc)

Cloudiness	Downtown [W/m^2]			Suburban [W/m^2]		
	Ac	Sc	Sc-Ac	Ac	Sc	Sc-Ac
1	388.4	379.6	-8.7	376.7	377.3	0.6
2	360.0	420.2	60.1	354.8	406.0	51.1
3	378.0	449.9	72.0	369.9	436.5	66.6
4	411.7	387.3	-24.4	413.8	373.9	-39.9
5	391.2	405.2	13.9	371.2	392.2	20.9
6	370.8	392.1	21.2	364.2	380.5	16.2
7	388.8	430.6	41.7	384.1	404.5	20.4
8	388.9	408.3	19.4	377.0	389.6	12.6
9	375.2	426.1	50.9	365.0	420.1	55.2
Average	383.7	411.0	27.3	375.2	397.9	22.7

4. 결론

하절기 도심과 교외지역에서 관측을 통해 장파복사와 기온, 장파복사와 구름(운형, 운량)의 관계에 대해 정량적으로 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 장파복사의 시각대별 평균의 최고값은 6월에 도심과 교외에서 16:00시, 7월의 도심은 15:00시, 교외는 14:00시에 나타나 6월보다 7월이 1~2시간 더 빠른 시간대에 나타났고, 최저값의 경우도 최고값과 같이 6월보다 7월이 1~2시간 더 빠른 시간대에 나타났으며, 월별 차이는 약 $50 W/m^2$ 였다.
- (2) 도심지역은 6월에서 7월로 가면서 월 평균 기온 $4.6^{\circ}C$ 증가에, 장파복사량 $50.9 W/m^2$ 가 증가하여 기존 연구에서 분석된 2월에서 3월로 가면서 기온 $5^{\circ}C$ 증가에 장파복사량 $28.5 W/m^2$ 증가한 것과 비교하면, 하절기 기온변화에 대한 장파복사 변화량은 동절기보다 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 장파복사와 기온의 월 평균값 차의 비율(장파복사/기온)은 도심에서 운량 5이하일 때 $11.84 W/m^2/^{\circ}C$ 로, 6 이상일 때 $6.5 W/m^2/^{\circ}C$ 로 나타났다. 이를 통해 기온 $1^{\circ}C$ 대비 장파복사 증가량은 운량이 적을 때가 운량이 많을 때 보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 교외지역에서도 이와 같은 현상을 확인할 수 있었다.

- (4) 적운형 구름의 추세선에서 기온기 상수는 중층운인 Ac (고적운)는 음(-)의 추세로, 하층운인 Sc (층적운)는 양(+)의 추세를 나타냈다. 그리고 추세선의 절편값은 Sc가 더 크게 나타나, Sc가 Ac보다 장파복사와의 관계가 더 밀접한 것으로 확인되었다. 따라서 하층운이 중층운보다 장파복사에 주는 영향이 더 큰 것으로 분석되었다.
- (5) 이상의 결과를 통해 장파복사-기온, 장파복사-구름, 장파복사-기온-구름에 대한 연관성은 수치적으로 해석이 가능한 것으로 확인이 되었다. 따라서 관측지점에서의 구름에 대한 객관적인 관측의 필요성을 인식할 수 있었다.

위와 같이 도시지역의 열쾌적성 향상과 도시 열환경 관점에서 현상학적으로 접근한 연구로, 본 연구는 궁극적으로 도시지역에서의 쾌적한 열환경 조성에 기여 할 수 있는 기초 연구이다.

후기

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호 : 2017080052). 아울러 본 연구 수행과정에서 관측에 도움을 주신 북비산초등학교 관계자에게 감사의 뜻을 표합니다.

REFERENCES

1. OKE, Tim R. City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, Vol. 7, No. 8, pp. 769-779, 1973.
2. Kim, B.Y, Prediction and Field Measurement for a Thermal Environment of Medium-sized Town, Department of Architectural Engineering, The Graduate School Hoseo University, 2009.
3. Jung, I. S., Choi, D. H., and Lee, B. Y., Study on Field Observations of the Thermal Environment in the Downtown Location and Outskirt side, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 2009, Vol. 29, No. 2, pp. 21-25, 2009.
4. Oh, H. Y., Choi, D. H., and Lee, B. Y., Characteristics of Thermal Environment Through Seasonal Air Temperature Analysis in Daegu Area, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 2 , pp. 145-149, 2012.
5. RAMACHANDRAN, S.; KEDIA, Sumita. Black Carbon Aerosols Over an Urban Region: Radiative Forcing and Climate Impact. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 115, D10202, 2010.
6. Panicker, A. S., Pandithurai, G., Safai, P. D., Kewat, S., Observations of Enhanced Aerosol Longwave Radiative Forcing Over an Urban Environment. *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, L04817, 2008.
7. AIDA, Masaru; YAJI, Masataka. Observations of Atmospheric Downward Radiation in the Tokyo Area. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 16, No. 3, pp. 453-465, 1979.
8. Baek, C. H., Choi, D. H., Lee, B. Y., and Lee, I. G., Characteristics of Meteorological Elements and Long-wave Radiation in the Greater Daegu Area During Winter, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 37, No. 6, pp. 93-102, 2017.