

대구지역의 하절기 운량과 장·단파 복사 특성 분석

백창현* · 최동호*** · 이부용*** · 이인규****

*대구가톨릭대학교 대학원 건축학과
**대구가톨릭대학교 건축학부
***대구가톨릭대학교 환경과학과
****대구가톨릭대학교 대학원 환경조경학과

Analysis of Cloudiness and Radiation Characteristics during Summer in the Greater Daegu Area

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

*Dept. of Architecture, Graduate School, Catholic University of Daegu
**Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu
***Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu
****Dept. of Environmental Science and Landscape Architecture, Graduate School, Catholic University of Daegu

†Corresponding author: dhchoi2@cu.ac.kr

Abstract

In this study, long and short-wave radiations were observed in urban and suburban areas during the summer season, and frequency analysis was performed for each radiation intensity by a new analysis method. The following results were obtained. ① Long-wave radiation values were found to be larger in the afternoon than in the morning, in both urban and suburban areas, unlike short-wave radiation values. ② Short-wave radiation showed a right-skewed frequency distribution. In the high energy area greater than 900 W/m², the frequency was significantly higher in the suburbs than in the urban areas. ③ Long-wave radiation was in the range of 290 ~ 479 W/m², its frequency distribution resembled a normal distribution, and the frequency of 410, 420 W/m² was the highest.

Keywords: 단파복사(Short-wave radiation), 장파복사(Long-wave radiation), 운량(Cloudiness), 도시 복사환경(Urban radiation environment), 상관도분석(Correlation analysis), 빈도분석(Frequency analysis)

1. 서론

도시기후 연구에서 복사는 그 지역 열환경을 지배하는 중요한 기상 요소로 작용하여, 관측을 통한 복사 분석 연구는 도시 열환경 해석의 유력한 방법으로 인식되고 있다. 이러한 도시 복사관측 연구의 경우 해외에서는 도시 복사량의 경년변화를 비롯하여 장기간에 걸친 도시 효과 해석을 위한 다양한 관측연구¹⁾²⁾가 수행되고 있으나, 국내³⁾에서는 활성화



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.37, No.4, pp.13-22, August 2017
<https://doi.org/10.7836/kjes.2017.37.4.013>

pISSN : 1598-6411
eISSN : 2508-3562

Received: 15 May 2017

Revised: 22 August 2017

Accepted: 28 August 2017

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.

되지 않은 초기단계에 머물고 있다.

최근 국내 도시지역 복사 관측 연구⁴⁾에서는 시간에 따른 복사량의 변화 추이를 해석하고자 한 시계열 중심의 분석기법을 활용하여 두 지역간의 복사특성을 상호 비교 분석하였다. 이와 같은 분석기법을 활용함으로써 시간 경과에 따른 복사의 형태와 특징을 용이하게 분석할 수 있었다. 그러나 이러한 분석법으로는 지역 고유의 복사 강도 분포 해석인 매시간 단위의 복사에너지 출현 빈도 해석이나 대기상태와 복사량 관계에 대한 상관성을 해석하는데 한계가 있어 새로운 분석기법에 의한 접근이 요구되고 있다.

본 연구에서는 하절기 광역시 도심지역과 교외지역의 장·단파 복사를 관측하여 새로운 분석기법에 의해 복사강도별 빈도 분석을 하였으며, 오전과 오후의 복사량 특징을 분석하기 위해 남중시각 기준으로 각 시각대별 복사량을 비교하였다. 또한 구름에 의한 장·단파 복사 차폐 효과를 해석하기 위해 운량별 복사특성에 대해서도 분석하였다. 본 연구에서는 이러한 분석을 통해 지역고유의 복사특성을 해석하고자 한다.

2. 관측 개요

2.1 관측장소와 관측환경

본 연구의 관측지점은 기존의 연구⁴⁾와 동일하게 도심지역(대구광역시 수성구 소재 황금초등학교 옥상)과 이곳에서 약 20 km 동쪽의 교외지역(경북 경산시 하양읍 소재 대구가톨릭대학교 옥상)을 선정하였다(Fig. 1). 이들 두 관측지점의 주변 환경은 Table 1과 같이 도심지역은 주거전용지역으로 저층의 건축물로 밀집되어 인공적 환경특성이 강하고, 교외지역은 도심지역과 달리 그 주변은 논과 밭, 하천, 산 등이 넓게 분포하여 자연 환경의 특징이 잘 나타나는 곳이다. 이러한 두 지역의 인공적인 요소와 자연적인 요소의 차이를 복사관측을 통해 효과적으로 비교할 수 있을 것이다. 두 관측지점의 주변 환경특성에 대한 내용은 기존의 연구⁴⁾에 자세히 기술하였다.

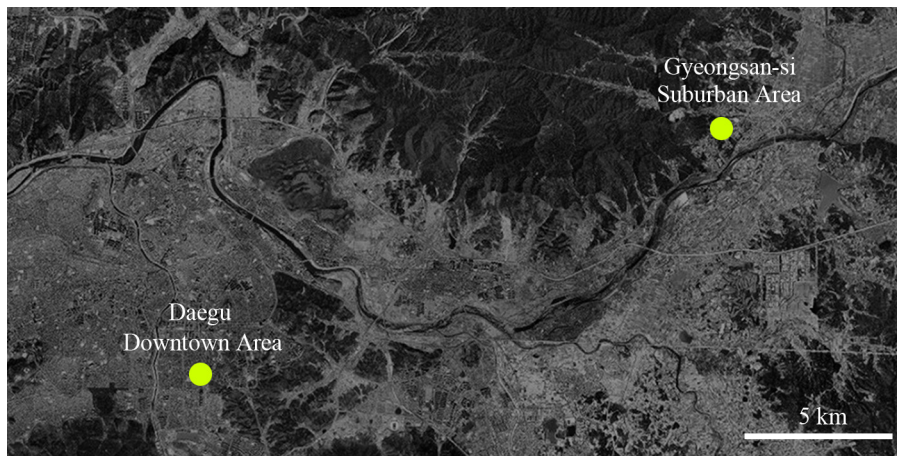


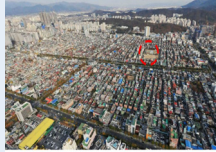



Fig. 1 Location of observation sites

Table 1 Distribution of the green area around observation sites

Category	Downtown area	Suburban area
Location	Hwanggum-dong, Suseong-gu, Daegu (Hwanggum Elementary School)	Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do (Catholic University of Daegu)
Space green area distribution ratio	0%	40%
In aerial photography green area		
Observation spot foreground (Aerial photograph)		

※ The spatial green area distribution ratio is defined as the ratio of green area within a radius of 500 m around each observation point.

2.2 관측항목과 관측현황

관측장비들의 모델명과 파장의 측정 범위를 Table 2에 나타내었다. 관측항목은 기온, 상대습도, 장·단파복사, 자외복사(UV)이며, 이들 항목에 대해 1분 간격으로 관측이 이루어졌다. 복사는 상공에서 지면으로 향하는 하향 성분에 대해 관측하였다. 자체 관측한 복사 데이터 이외에 대구기상지청에서 관측된 운량과 강수량, 그리고 경산시 하양읍 AWS에서 관측된 강수량 데이터를 분석에 활용하였다. 운량은 지표면에 도달하는 복사량과 밀접한 상관관계가 있을 것으로 사료되어, 본 연구에서는 중하층운량과 복사의 상관성을 분석하였다.

Table 2 Composition of observation instruments

Category	Model / Manufacturer
	Wavelength range
Temperature·Relative Humidity	HMP45C - L34 / VAISALA
Short-wave radiation	CMP6 / Kipp & Zonen
	Wavelength Range: 285~2,800 nm
Long-wave radiation	CGR3 / Kipp & Zonen
	Wavelength Range: 4,500~42,000 nm
UV radiation	CUV5 / Kipp & Zonen
	Wavelength Range: 280~400 nm
Recording device	Data Logger : CR1000 / Campbell Scientific

2.3 관측과 분석방법

관측은 2016년 6월 1일부터 동년 8월 31일까지 하절기 3개월간 수행하였다. 이들 관측기간 동안 도심지역에 서의 기상은 맑은 날 78일, 강수일 14일, 교외지역은 맑은 날 80일, 강수일 12일로 파악되었다. 강수일의 기준은 기존 연구⁴⁾에서와 같은 기준(강수량 4.5 mm/day 이상)으로 설정하여 분석하였다.

Table 3 Transit time table at Daegu (2016)

Date	June	July	August
1	12: 23' 28"	12: 29' 30"	12: 31' 59"
2	23' 38"	29' 41"	31' 55"
3	23' 48"	29' 53"	31' 50"
4	23' 58"	30' 04"	31' 45"
5	24' 08"	30' 14"	31' 39"
6	24' 19"	30' 24"	31' 33"
7	24' 30"	30' 34"	31' 26"
8	24' 42"	30' 44"	31' 18"
9	24' 54"	30' 53"	31' 10"
10	25' 06"	31' 01"	31' 01"
11	25' 18"	31' 10"	30' 51"
12	25' 30"	31' 17"	30' 42"
13	25' 43"	31' 25"	30' 31"
14	25' 55"	31' 31"	30' 20"
15	26' 08"	31' 38"	30' 08"
16	26' 21"	31' 43"	29' 56"
17	26' 34"	31' 48"	29' 43"
18	26' 46"	31' 53"	29' 30"
19	26' 59"	31' 57"	29' 16"
20	27' 12"	32' 01"	29' 02"
21	27' 25"	32' 04"	28' 47"
22	27' 38"	32' 06"	28' 32"
23	27' 51"	32' 08"	28' 17"
24	28' 04"	32' 09"	28' 00"
25	28' 17"	32' 10"	27' 44"
26	28' 29"	32' 10"	27' 27"
27	28' 42"	32' 10"	27' 10"
28	28' 54"	32' 09"	26' 53"
29	29' 06"	32' 07"	26' 35"
30	29' 18"	32' 05"	26' 17"
31	-	32' 02"	25' 58"

오전 오후의 복사량 비교(Fig. 7)에서는 일자에 따른 태양 남중시각이 12시 23분~12시 32분 사이에 분포하고 있어 그 남중시각을 기준으로 계산하였다(Table 3 참조). 그리고 관측지점에 따른 장·단파복사의 계급별 빈도분석을 통해 그 특징을 조사하였다. 단파복사의 계급 단계는 50 W/m², 장파복사의 계급 단계는 10 W/m²로 설정하였다.

3. 측정결과 및 고찰

3.1 강수량과 복사특성

두 지점에 대한 복사특성을 보다 면밀하게 이해하기 위해 각 지점의 관측자료를 최댓값에서 최솟값으로 순위⁴⁾를 정하여 두 지점간의 관계를 분석하였다(Figs. 3, 4). 분석 결과 두 지점간의 상관도(R²)는 단파복사 0.9909, 장파복사 0.9899로 매우 높은 상관성을 나타내었다. 기울기는 단파복사 1.0545, 장파복사 0.9864로 단파복사는 교외지역이 높게, 장파복사는 도심지역이 높게 나타났다.

관측기간에 대한 강수의 특징을 알아보기 위해 강수의 시계열 누적분포를 Fig. 2에 나타내었다. 누적강수량은 교외지역 310.0 mm, 도심지역 434.2 mm로 도심지역이 교외지역보다 124.2 mm 더 높게 나타났다. 이러한 특징을 보다 면밀하게 분석하기 위해 기존의 논문⁴⁾에서 제시한 강수일 기준(4.5 mm/day 이상)을 적용하여 Table 4를 만들었다.

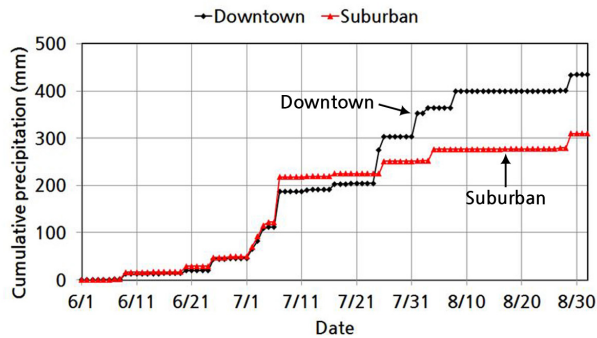
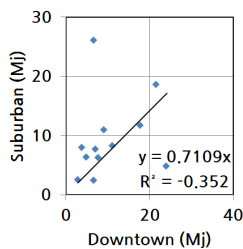
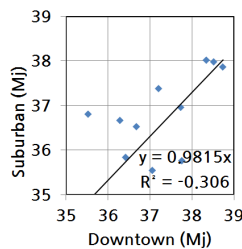


Fig. 2 Cumulative precipitation at two observation sites

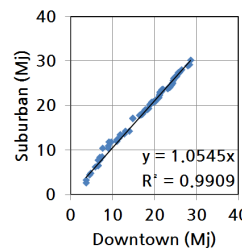


(a) Short-wave radiation

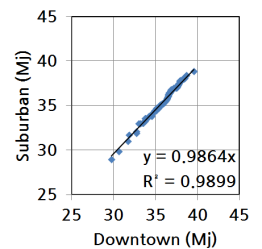


(b) Long-wave radiation

Fig. 3 Radiation characteristics by precipitation rank



(a) Short-wave radiation



(b) Long-wave radiation

Fig. 4 Radiation characteristics by rank

Table 4 Precipitation Day Checklist

Category	Downtown	Suburban
	Day (Amount of precipitation, mm)	
June	8 (11.5)	8 (14.5)
	19 (5.5)	19 (11.5)
	24 (24.5)	24 (18.0)
Accumulation	41.5	44.0
July	1 (19.5)	1 (20.5)
	2 (17.5)	2 (21.5)
	3 (26.0)	3 (23.5)
		4 (7.0)
	6 (74.5)	6 (95.5)
	16 (12.0)	16 (5.5)
August	24 (71.0)	
	25 (28.0)	25 (26.0)
	31 (49.5)	
Accumulation	298.0	199.5
August	2 (11.0)	
		3 (24.0)
	7 (35.0)	
Accumulation	28 (33.0)	28 (31.0)
	79.0	55.0
Accumulated precipitation	418.5	298.5
Total precipitation	434.2	310.0

전 관측기간 중의 강수현황을 Table 4에 나타내었으며, 도심지역과 교외지역의 전체강수일 수는 각각 14일, 12일로 도심지역이 교외지역보다 더 많은 것으로 확인되었다. 월별 강수분포를 살펴보면, 6월은 두 지점간 2.5 mm의 근소한 차이가 있는 반면, 7월과 8월은 98.5 mm, 24.0 mm로 차이가 크게 나타났다. 특히 7월에 두 지점 간 강수량 차이가 현저한 것은 도심지역에 이틀간 많은 비가 국지적으로 집중하여 내렸기 때문이다.

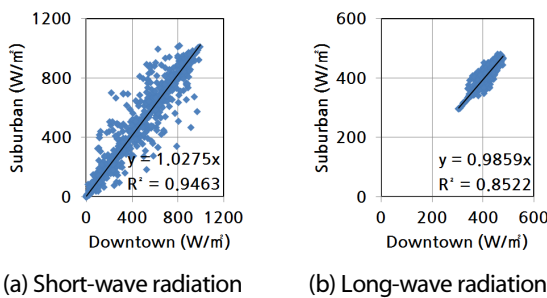


Fig. 5 Radiation correlation except for precipitation day

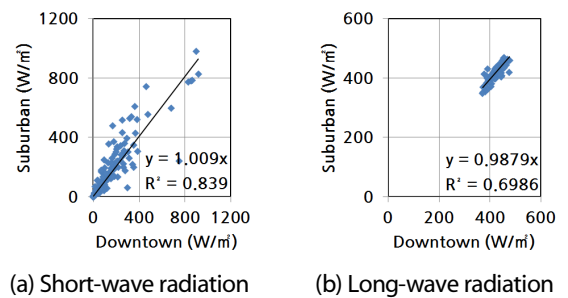


Fig. 6 Radiation correlation on the precipitation day

비강수일(Fig. 5)과 강수일(Fig. 6)의 두 지역간 복사상관도를 살펴보면, 강우시 단파복사는 도심에서 구름에 의한 차단효과가 상대적으로 크게 나타났다. 강수일의 두 지역간 단파복사 상관도(0.8390)는 비강수일(0.9463)보다 낮게 나타났다. 한편 장파복사는 강우시(0.9879)와 비강수시(0.9859) 모두 두 지역간 기울기는 거의 동일하며, 상관도는 비강수일이 높게 나타났다.

3.2 시각대 별 복사특성

일중 복사의 변화에 대한 특징을 살펴보기 위해 남중시각을 기준으로 같은 시각 차이가 있는 오전과 오후 시간대 각각 1시간 동안의 장·단파 복사량을 비교하였다(Table 5, Figs. 7, 8). 관측지점의 남중시각은 날짜에 따라 변화하는 것으로 실제 계산에서는 Table 3에 제시한 대구지역의 남중시각표⁵⁾를 적용하였다. 다만, Table 5에서는 표기의 편의상 남중시각 기준을 12시 30분으로 하여 표현하였다.

Table 5 The amount of radiation before and after transit time

Category	Short-wave radiation (Mj)		Long-wave radiation (Mj)	
	Downtown	Suburban	Downtown	Suburban
1 Hour before transit time [A] (10:30~11:30)	2.19	2.32	1.54	1.53
1 Hour after transit time [B] (13:30~14:30)	1.97	2.15	1.58	1.55
[A]-[B]	0.22 (11.2%)	0.17 (7.9%)	-0.04 (2.5%)	-0.02 (1.3%)
3 Hour before transit time [E] (08:30~09:30)	1.50	1.55	1.49	1.48
3 Hour after transit time [F] (15:30~16:30)	1.31	1.40	1.57	1.55
[E]-[F]	0.19 (14.5%)	0.15 (10.7%)	-0.08 (5.1%)	-0.07 (4.5%)
5 Hour before transit time [G] (06:30~07:30)	0.45	0.49	1.46	1.43
5 Hour after transit time [H] (17:30~18:30)	0.46	0.46	1.53	1.51
[G]-[H]	-0.01 (2.2%)	0.03 (6.5%)	-0.07 (4.6%)	-0.08 (5.3%)

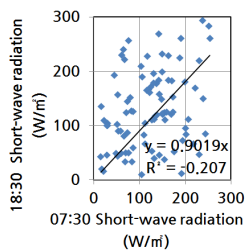


Fig. 7 Radiation correlation at downtown (07:30, 18:30)

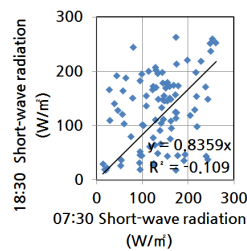
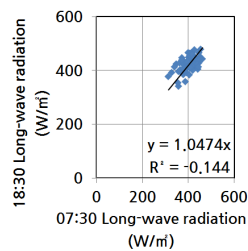
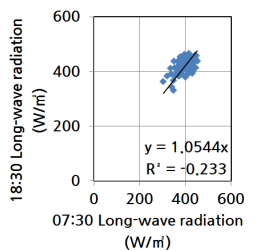


Fig. 8 Radiation correlation at suburban (07:30, 18:30)



남중시각을 기준으로 한 3쌍의 오전오후 시간 구간의 단파복사 값은 대부분 오후보다는 오전이 크게 나타났으나, 남중시각 5시간 전후의 도심지역에서만 오전보다 오후가 근소하나마 크게 나타났다. 한편 장파복사 값은 단파복사와 달리 교외와 도심 모두 오전보다는 오후가 크게 나타났다. 그 차가 가장 큰 시각대는 도심지역의 경

우 남중 3시간 전후에 0.08 MJ, 교외지역은 5시간 전후에 0.08 MJ로 확인되었다. 이상의 결과에 대한 원인분석은 지속적인 연구를 통해 규명될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 단파복사와 장파복사의 두 지역간 비교에서는 단파복사의 경우 교외지역, 장파복사는 도심지역이 상대적으로 높게 관측되었다.

3.3 장·단파복사의 빈도분석

장·단파복사에 대한 에너지 분포 특성을 보다 면밀하게 알아보기 위해 1시간 동안의 복사량을 기준으로 그 계급 빈도를 조사하였다(Figs. 9, 10). 단파복사는 50 W/m²으로 장파복사는 10 W/m² 구간을 단계로 설정하여 각각의 구간에 대한 빈도를 나타내었으며, 단파복사의 경우 50 W/m² 이하의 값은 상대적으로 작은 값이어서 빈도 계산에서 제외하였다. Fig. 9의 x축 단파복사 값은 50단위를 기준으로 절삭(예시: 850~899를 850으로 표기)하여 그 구간 값으로 표기하였으며, Fig. 10의 x축 장파복사 값은 1단위 값을 절삭(예시: 410~419를 410으로 표기)하여 표시하였다.

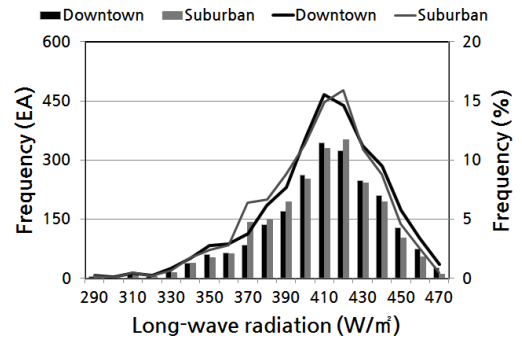
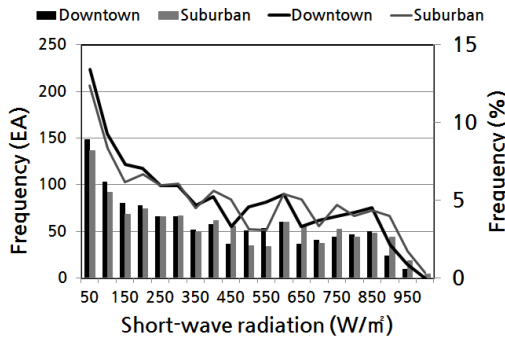


Fig. 9 Frequency analysis of short-wave radiation (June-August) **Fig. 10** Frequency analysis of long-wave radiation (June-August)

빈도 분석 결과를 살펴보면 단파복사는 낮은 값의 빈도가 많고 순차적으로 적어지는 형태인 Long tail (right-skewed frequency distribution) 분포를 나타내었다(Fig. 9). 단파복사는 900 W/m² 이상의 높은 에너지 영역에서는 도심지역보다는 교외지역에서 그 빈도가 현저히 높게 나타났다. 250 W/m² 미만의 구간은 높은 에너지 구간과는 달리 교외지역보다는 도심지역에서 그 빈도가 높게 나타났다. 장파복사는 정규분포와 유사한 형태를 나타내고 있으며, 410, 420 W/m² 구간에서 빈도가 가장 높았다(Fig. 10).

3.4 운량과 복사특성

중하층운량에 따른 단파복사와 장파복사의 관계를 Figs. 11, 12에 나타내었다. 운량 자료는 대구기상지청의 일기상 통계표 자료를 활용하였다. 두 지점간 운량과 복사량의 관계에서 그 변화의 형태는 매우 유사하게 나타난 것으로 사료된다. 일반적으로 단파복사는 구름이 많으면 많을수록 복사량이 감소하고, 장파복사는 증가하는

경향⁶⁾이 본 연구에서도 확인되었다.

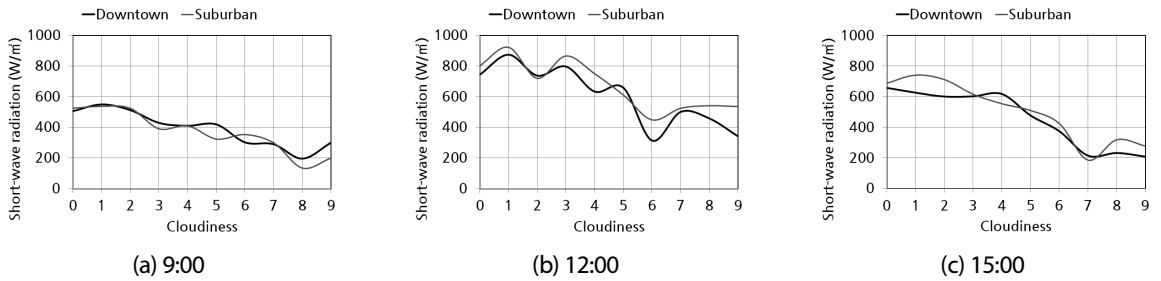


Fig. 11 Relation between lower-middle class cloudiness and short-wave radiation

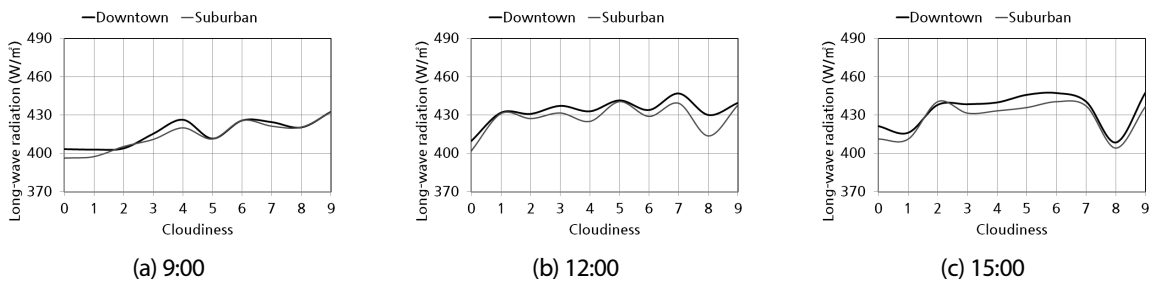


Fig. 12 Relation between lower-middle class cloudiness and long-wave radiation

운량은 목적에 의해 관측되지만 보다 면밀한 해석을 위해서는 영상에 의한 객관적인 분석과 관측시각을 보다 세분화하여 측정할 필요가 있는 것으로 판단된다. 그리고 유형의 분포와 형태에 따른 복사효과는 추가적인 연구를 통해 규명해야 할 과제로 인식된다.

4. 결론

- (1) 하절기 두 관측 지점간의 순위별 분석기법에 의한 복사 상관도(R^2)는 단파복사 0.9909, 장파복사 0.9899로 매우 높은 상관성을 나타내었으며, 단파복사는 교외지역이 높게, 장파복사는 도심지역이 상대적으로 높게 나타났다.
- (2) 남중시각을 기준으로 한 3쌍의 오전오후 시간 구간의 단파복사 값은 대부분 오후보다는 오전이 크게 나타났다. 한편 장파복사 값은 단파복사 값과 달리 교외와 도심 모두 오전보다 오후가 크게 나타나는 경향이 확인되었다.
- (3) 단파복사는 낮은 값의 빈도가 많고 순차적으로 적어지는 Long tail (right-skewed frequency distribution) 형태의 빈도분포를 나타내었다. 900 W/m^2 이상의 높은 에너지 영역에서는 도심지역보다는 교외지역에서 그 빈도가 현저히 높게 나타났고, 250 W/m^2 미만의 구간은 높은 에너지 구간과는 달리 교외지역보다는 도심지역에서 그 빈도가 높았다.

- (4) 장파복사는 290~479 W/m² 범위에 있었으며, 그 빈도분포는 정규분포에 유사한 형태를 나타내었고, 410, 420 W/m² 구간의 빈도가 가장 높게 나타났다.
- (5) 본 연구에서 운량과 복사관계에 대해서 분석을 해본 결과 목적에 의한 관측자료와 긴 관측시간 간격으로 인해 면밀한 분석에 어려움이 있었다. 이러한 애로사항을 해결하기 위해 영상자료에 의한 객관적인 분석과 면밀한 해석에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 2016년 대구가톨릭대학교 연구년 중 수행한 것임. 아울러 본 연구 수행과정에서 관측에 도움을 주신 황금초등학교 관계자에게 감사의 뜻을 표합니다.

REFERENCES

1. Abakumova, G. M., Feigelson, E. M., Russak, V., and Stadnik, V. V., Evaluation of Long-term Changes in Radiation, Cloudiness, And Surface Temperature on The Territory of The Former Soviet Union. *Journal of Climate*, Vol. 9, No. 6, pp. 1319-1327, 1996.
2. Hamilton, I. G., Davies, M., Steadman, P., Stone, A., Ridley, I., and Evans, S., The Significance of The Anthropogenic Heat Emissions of London's Buildings: A Comparison Against Captured Shortwave Solar Radiation, *Building and Environment*, Vol. 44, No. 4, pp. 807-817, 2009.
3. Choi, D. H., Lee, B. Y., and Jeong H. S., Observation and Analysis of Radiation Characteristics According to the Type of City During the Summer Season, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 35, No. 2, pp. 21-31, 2015.
4. Choi, D. H., Lee, B. Y., and Jeong H. S., Analysis On Daily Variation Mechanism of Short-Wave Radiation Between Downtown and Suburban Area During Summer Season, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 34, No. 4, pp. 111-122, 2014.
5. <http://astro.kasi.re.kr/Life/SunriseSunsetForm.aspx?MenuID=109>
6. Sohn B. J., The Impact of Clouds on the Surface Longwave Radiation Budget, *Korean Meteorological Society*, Vol. 32, No. 2, pp. 229-242, 1996.