

하절기 단일건물 주변 외부공간의 장·단파 복사관측과 해석

백창현* · 최동호*** · 이부용*** · 이인규*

*대구가톨릭대학교 대학원 환경조경학과, 박사과정

**대구가톨릭대학교 건축학부, 교수

***대구가톨릭대학교 환경과학과, 교수

The Observation and Interpretation of Long and Short Wave Radiation of the External Environment Surrounding a Single Building in the 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

In this study, we analyzed the relationship between four elements: long-wave radiation, the direction of the building, BVR (Building View Ratio), and cloud amount. We examined how long-wave radiations surrounding a building influences the perception of heat in the summer. The results are as follows. ① Long-wave radiation and BVR are highly correlated regardless of geographical direction. ② Especially, during dawn in a clear day, areas with high BVR observed high levels of long-wave radiation. ③ This correlation suggests that higher BVR in urban areas will result in a greater number of tropical nights.

Keywords: 도시열환경(Urban thermal environment), 장파복사(Long-wave radiation), 단파복사(Short-wave radiation), 운량(Cloudiness), BVR (Building view ratio), 열대야(Tropical night)

1. 서론

폭염현상과 열대야 현상은 하절기 도심과 교외지역 모두에서 나타나며, 이러한 현상들은 사람들의 삶의 질에 영향을 주고 있다. 2018년 하절기의 폭염과 열대야 출현일수는 기상관측이 시작된 이래 111년만에 최고치를 경신하고 있고, 그 원인과 현상해석에 대한



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.1, pp.41-49, February 2019
<https://doi.org/10.7836/kSES.2019.39.1.041>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 31 December 2018

Revised: 15 February 2019

Accepted: 18 February 2019

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.

다양한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 도시열섬현상¹⁾과 폭염 및 열대야에 대한 해석은 주로 기온과 습도가 주요인자^{2,3)}로 해석되어, 복사에너지의 영향에 대한 연구는 부족한 상황이다.

복사에너지는 열환경에 있어 매우 중요한 인자이며, 인체가 느끼는 온열감과 밀접한 관계를 가진다. 인간의 활동 영역에서는 자연적인 에너지뿐만 아니라 인공구조물에서 반사되고 방출되는 복사에너지가 포함되어 있다. 이와 관련된 연구로는 건물 옥상에서 다양한 외피재료와 건물녹화용 피복재료의 알베도와 복사율에 따른 관계연구^{4,5)}와 위도별 건물 외피에 따른 태양반사율 및 장파방사율과 건물 공조에너지와의 관계연구⁶⁾가 수행되었다. 이러한 기존의 연구로는 건물 주변에서 태양복사의 입사에 따른 재복사효과를 파악하기에는 한계가 있다. 이처럼 옥외의 쾌적한 열환경 조성을 위해서는 인공구조물에 의한 복합적인 복사효과의 영향에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

도심지역 복사관련 기존연구^{7,8)}에서는 이동관측을 통한 관측연구가 수행된 바 있지만, 시계열적인 건물의 영향력을 파악하기에는 매우 부족하였다. 또한 선행연구⁹⁾에서 부족했던 건축물의 효과를 보다 정량적으로 해석하기 위해 단일 건축물 주변의 연속적인 시계열 관측과 운량, 건물의 향 그리고 시간에 따른 변화 특징을 심도 있게 분석하였다. 따라서 본 연구는 하절기 단일 건축물에서 주변으로 방사되는 복사에너지를 건물 향별로 관측하여 보행환경에서의 복사에너지 영향을 확인하고자 하였다. 이러한 관측연구를 통해 건축물 외부 열환경을 객관화하고 인공 건축물과 폭염 그리고 열대야와의 관계를 정량적으로 밝히고자 한다.

2. 관측 개요

2.1 관측장소 및 관측요소

본 연구의 관측지점은 경북 경산시 하양읍 소재 대구가톨릭대학교 교내 종합강의동 옥상 1개소(RP)와 참인재관 주변(SW, SE, N)를 선정하였다(Fig. 1). 이들 관측지역의 환경 및 요소는 도시지역에 비해 논, 밭, 하천, 산 등 넓게 분포하며, 관측지점 주변 녹지비율은 선행연구⁹⁾와 같다.

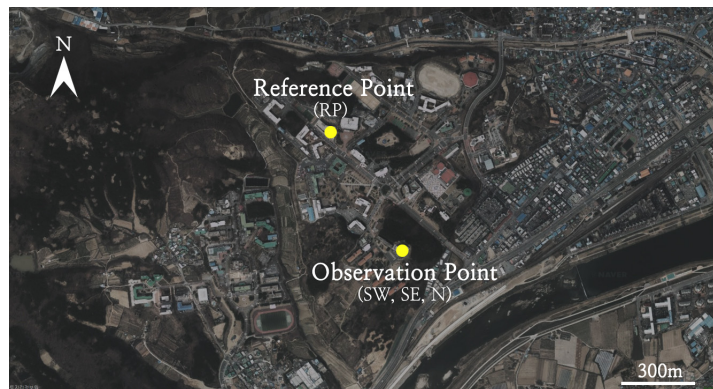


Fig. 1 Location of observation sites

2.2 관측과 분석방법

본 연구는 단일건물 외부의 복사환경을 해석하기 위하여 진행하였으며, 하절기 2018년 7월 6일~8월 2일, 29일간 관측을 실시하였다. Fig. 2는 연구 관측지점인 대구가톨릭대학교 참인재관(경북 경산시 소재) 외부공간 3지점 남서(SW), 남동(SE), 북(N)과 조감도를 나타내었다. 관측요소는 운량, 장·단파복사, 기온, 상대습도이고 각 장소에서 건축물의 영향정도를 객관화하기 위하여 어안렌즈로 촬영한 건물의 비율(BVR: Building View Ratio)을 Table 1에 나타내었다.

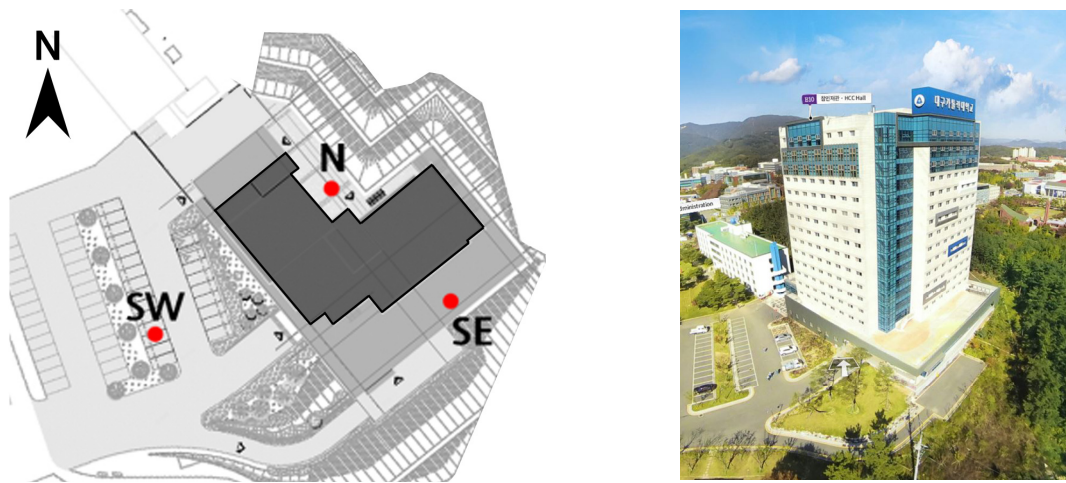


Fig. 2 Observation site and bird's-eye view

Table 1 BVR (Building View Ratio) for each point

Location	Catholic University of Daegu (Gyeongsan-city, Kyungbuk)			
	Reference Point	Observation point		
	RP	SW (SouthWest)	SE (SouthEast)	N (North)
Upper direction Fisheye view				
BVR(%)	1	16	35	66
Total floor area (m ²)	-	14,234		
Floors (height)	6F (27 m)		15F (53 m)	
distance from building (m)	-	23	7	4

Fig. 3의 a, b, c는 복사관측스테이션과 자동운량관측시스템의 모습이며, 관측장비들의 모델명과 제원을 Table 2에 나타내었다. 복사관측스테이션에 설치된 장비들의 관측항목은 장파복사, 단파복사, 기온, 상대습도

이다. 관측지점(SW, SE, N)과 비교기준점(RP)은 동일한 관측장비를 사용하였으며, 최근 도입한 자동구름관측 시스템(Automatic cloud observation system, ACOS-2018)은 비교기준점(RP)에 설치되어 24시간 자동운량 관측이 가능한 장비이다.

복사관측자료는 매 1분 자료를 1시간(60분) 평균하여 사용하였고, 운량자료는 매 시각 촬영된 천공사진을 분석하여 구름의 양을 산출한 자료를 활용하였다. 이를 토대로 각 장소별 특정 시간대 장파복사와 운량과의 관계 해석과 장파복사 시계열 분석을 하였다. 단, 기온이 높은 하절기 특징을 연구하기 위해 최저기온이 20°C 이하로 내려가는 저온일(7월 6일~10일)은 분석에서 제외하였다.

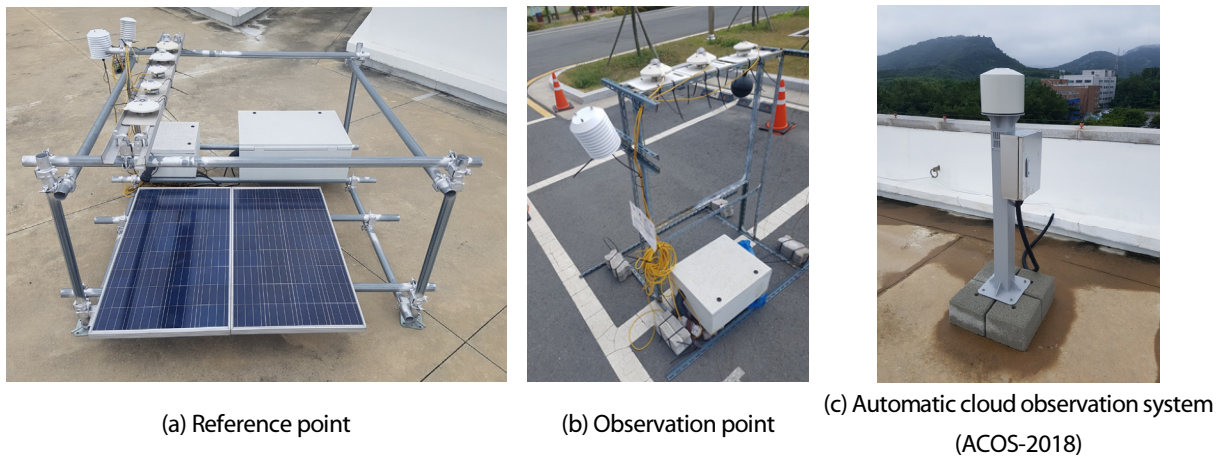


Fig. 3 Installation of observation equipment

Table 2 Composition of observation instruments

Category	Model / Manufacturer
	Wavelength range
	Sato / SK-L200TH II α
Temperature · relative humidity	Temperature: -15 ~ 65.0°C Relative Humidity: 10%RH ~ 99.9%RH
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
Cloud	ACOS-2018 / A&D · system Observation Range: 0 ~ 100%, Shooting Range: 180°, Usage Range : 140°
Recording device	Data Logger : CR1000 / Campbell Scientific

3. 관측결과 및 고찰

3.1 장파복사의 시계열 분포

Fig. 4는 모든 관측기간 동안의 장파복사 자료를 나타낸 것이고, Fig. 5는 Fig. 4의 자료 중 저온에 해당하는 특이일(7월 6~10일)을 제외하고 나타낸 시계열이다. 관측지점에서 BVR이 높을수록 장파복사의 시계열 상·하한값 모두 높아지는 경향을 확인 할 수 있었고, 남서쪽과 기준점은 상·하한값이 유사하게 나타났다. 그리고 남동쪽과 북쪽은 기준점보다 전체적으로 높은 장파복사량이 관측되었다. 특히 BVR이 가장 큰 북쪽은 대부분의 시간대에서 가장 높은 장파복사량을 나타내었다. 따라서 장파복사와 BVR는 양(+)의 상관관계를 가지는 것을 확인하였다.

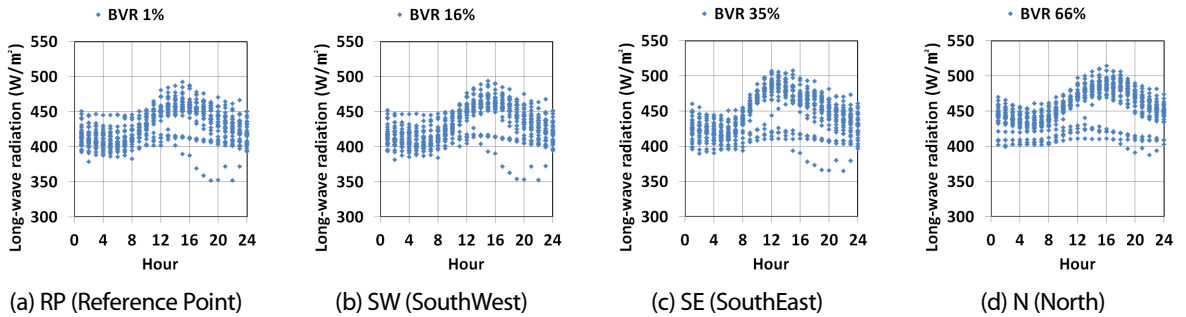


Fig. 4 Time series of long-wave radiation (all observation period)

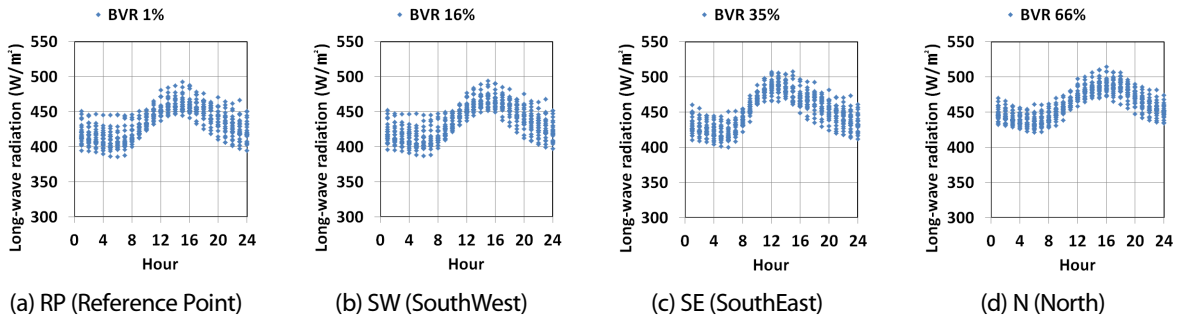


Fig. 5 Time series of long-wave radiation (except lower temperature days)

Table 3은 각 지점의 일출시간(05:00)부터 장파복사가 감소하기 시작하는 시간(17:00)의 장파복사량을 나타냈으며, 지점별 장파복사의 최고값 출현 시각은 비교기준점과 남서쪽이 각각 15:00, 남동쪽 13:00, 북쪽 16:00로 나타났다. 일반적으로 좁은 공간에서는 기온차이가 크지 않음에도 불구하고 장파복사량에서 차이가 나타나는 것은 건물에서 방사되는 효과가 반영된 것으로 사료된다. 또 북쪽과 같이 직사광선을 받지 않는 건축물도 낮 시간 동안 공기의 대류에 의해 건물로 유입된 열에너지가 야간 및 심야시간에 장파복사로 방출되는 것이 확인되었다.

Table 3 Hourly long-wave radiation during daytime

Time	RP	Diff.	SW	Diff.	SE	Diff.	N	Diff.
5:00	409.3		410.2		420.5		436.7	
6:00	409.5	0.2	409.8	-0.3	420.0	-0.4	435.8	-0.9
7:00	411.7	2.2	411.4	1.6	426.1	6.0	437.3	1.5
8:00	417.1	5.4	416.0	4.5	439.4	13.3	441.9	4.6
9:00	427.0	9.9	425.2	9.2	455.9	16.5	449.3	7.4
10:00	436.1	9.1	434.4	9.2	470.5	14.7	456.6	7.3
11:00	446.4	10.3	445.7	11.3	481.4	10.9	465.7	9.1
12:00	454.1	7.7	454.8	9.2	486.5	5.0	474.2	8.6
13:00	458.7	4.6	461.4	6.6	486.9	0.5	479.9	5.7
14:00	460.3	1.6	464.5	3.0	484.6	-2.4	483.6	3.7
15:00	462.2	1.9	466.9	2.4	478.1	-6.5	487.8	4.2
16:00	460.3	-1.9	465.3	-1.6	470.0	-8.1	489.1	1.3
17:00	455.7	-4.6	460.6	-4.6	466.4	-3.5	487.8	-1.2

[Unit : W/m²]

3.2 건물방향별 장파복사와 운량 분석

(1) 시간대별 단파복사량

Fig. 6은 각 지점별 운량과 단파복사의 관계를 해석하기 위해 맑은날(운량 2이하)과 흐린날(운량 8이상)로 구분하여 나타내었다. 분석시간은 남중시각 전후인 12:00~14:00와 서쪽으로 해가 기울어 남동쪽 관측지점에 일

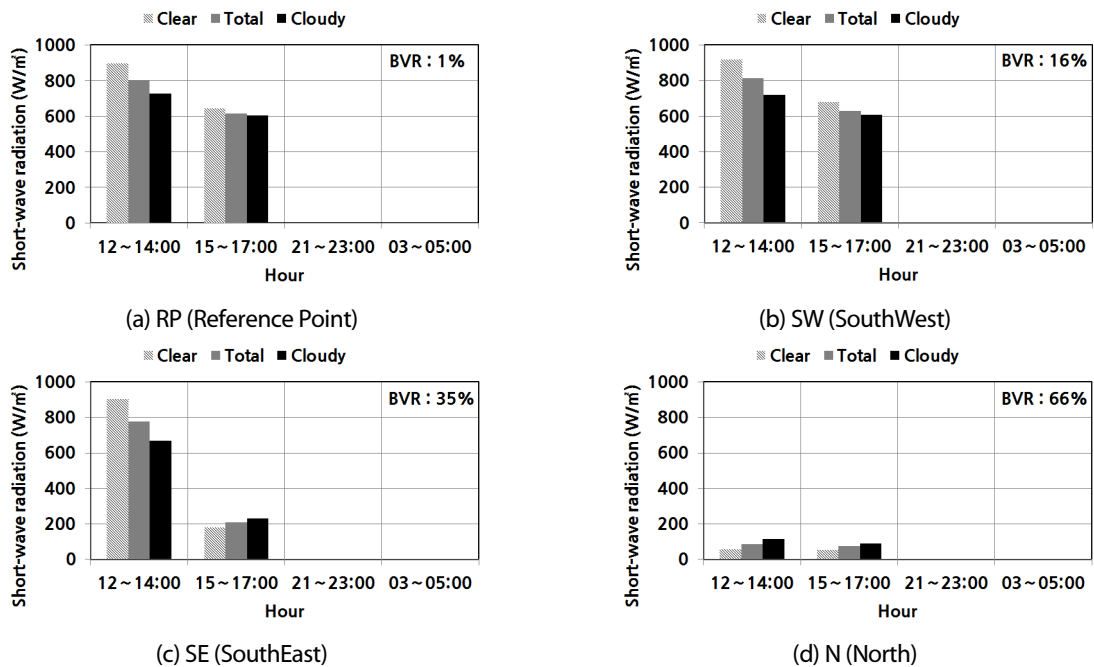


Fig. 6 Short-wave radiation amount according to time

부 단파복사가 건물에 의해 차단되는 15:00~17:00를 대상으로 하였고, 일몰 후 21:00~23:00와 복사냉각효과가 가장 큰 03:00~05:00를 선정하였다. 남동쪽 15:00~17:00의 경우 서쪽으로 해가 지고 급격하게 줄어든 단파복사의 영향 확인할 수 있었다. 북쪽의 경우 주간시간대에도 단파복사의 직접적인 영향이 적어 BVR에 의한 장파복사의 영향을 명확히 확인할 수 있다.

(2) 시간대별 장파복사량

Fig. 7은 각 지점별로 운량과 장파복사의 관계를 해석하기 위해 작성하였다. 운량의 효과는 선행연구⁹⁾와 같이 건물효과와 무관하게 운량이 많을 때 장파복사량이 증가되어 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 모든 시간대에서 운량이 많을 때 장파복사량이 높게 나타났다.

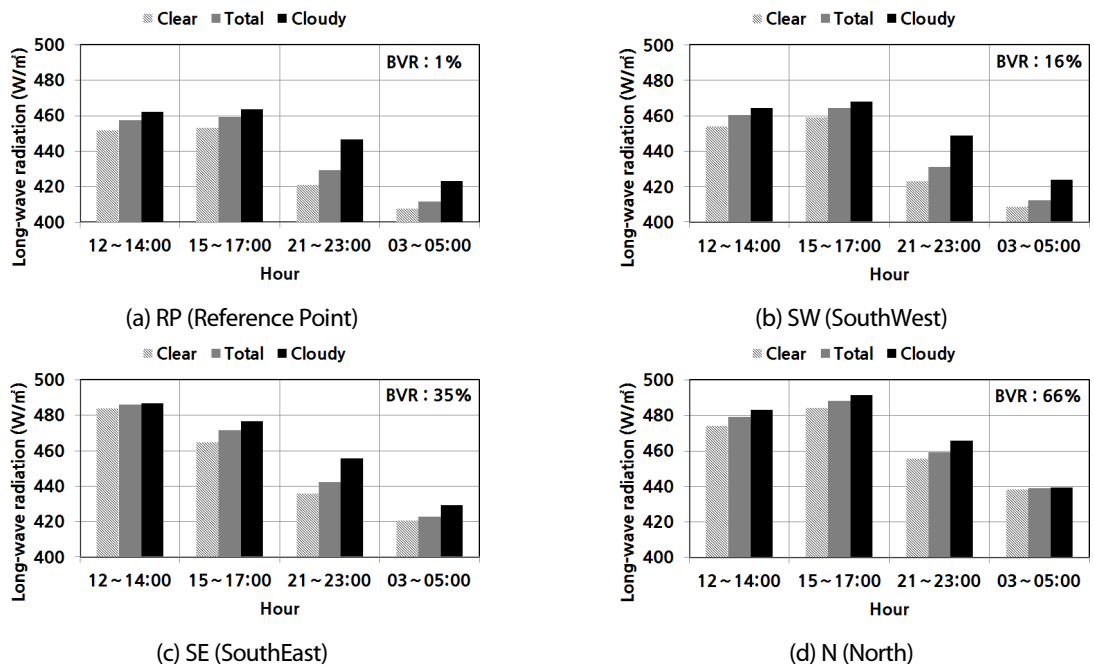


Fig. 7 Long-wave radiation amount according to times

한편, BVR이 가장 큰 북쪽은 남동쪽의 장파복사량이 높은 12:00~14:00를 제외한 시간대에서 가장 높았다. 남동쪽 12:00~14:00가 가장 높은 장파복사량을 나타낸 것은, 벽면으로 많은 태양복사가 입사되고 비교적 높은 BVR로 인한 효과에 따른 결과로 사료된다. 특히 BVR이 가장 높은 북쪽 03:00~05:00는 운량에 상관없이 다른 세 지점보다 확연히 높은 장파복사량이 나타나, 이는 야간시간대 건축물에서 방사되는 열복사는 열대야 현상에 직접적인 영향을 주는 하나의 요인임을 명확하게 확인할 수 있었다. 따라서 장파복사는 BVR과 깊은 상관성이 있음을 확인하였고 벽면 온도의 영향이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 Fig. 7의 각 지점별 운량에 따른 장파복사량을 동일한 시간대로 하여 작성한 그래프이다. Fig. 8의 (a)

는 남중시각 전후로 태양복사량이 가장 많은 12:00~14:00의 운량과 장파복사의 관계 그래프이며, 태양복사가 많은 남동쪽의 장파복사 만큼 북쪽의 장파복사도 많은 양이 관측되어 태양복사에 의한 것보다는 BVR에 의한 효과가 크음을 확인할 수 있었다. Fig. 8의 (b)는 복사냉각효과가 가장 큰 03:00~05:00의 운량과 장파복사의 관계를 나타낸 그림이며, 선행연구⁹⁾와 같이 운량에 따라 높은 장파복사가 관측되었다. 그리고 BVR이 가장 높은 북쪽은 운량에 상관없이 높은 장파복사가 관측되어, 장파복사는 운량보다는 BVR의 효과가 더 크게 작용한다는 것을 확인하였다. 또한 야간시간에도 주간시간과 유사한 분포를 나타내었으나, 북쪽의 경우는 운량과는 관계없이 비슷한 값들을 나타냈다.

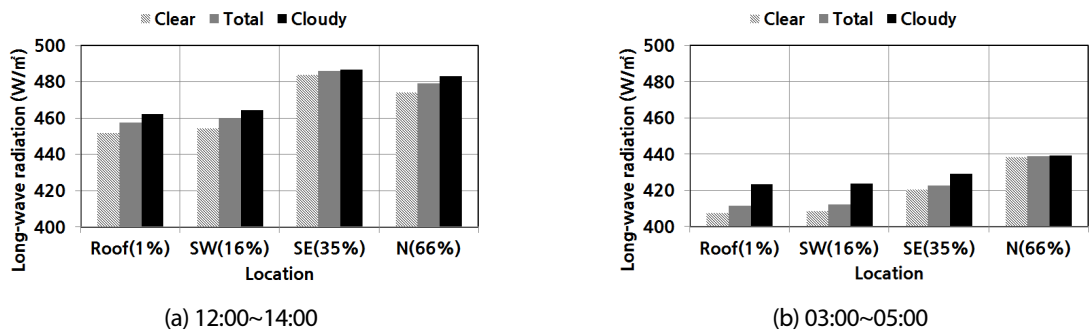


Fig. 8 The amount of long-wave radiation

4. 결론

본 연구를 통하여 밝혀진 사항을 요약하면 아래와 같다.

- (1) 장파복사는 BVR(Building View Ratio)이 높을수록 상한값과 하한값 모두 높아지는 경향을 확인할 수 있었다. 남서쪽과 기준점은 상한과 하한값에서 유사한 값으로 나타났으며, 남동쪽과 북쪽은 기준점에 비해 전체적으로 높은 값이 관측되었다.
- (2) 지점별 장파복사의 최고값 출현 시각은 기준점과 남서쪽이 각각 15:00, 남동쪽이 13:00, 북쪽이 16:00로 나타났다.
- (3) 각 지점별 03:00~05:00의 경우 운량에 따라 높은 장파복사가 관측되었으나, BVR이 가장 높은 북쪽 03:00~05:00는 운량에 상관없이 높은 장파복사가 관측되어, 장파복사는 운량보다는 BVR의 효과가 더 크게 작용한다는 것을 확인하였다.
- (4) 야간 복사냉각효과가 가장 큰 일출 전 시간대(03:00~05:00)에서 BVR이 가장 높은 북쪽은 다른 세 지점보다 확연히 높은 장파복사량이 관측되었다. 이로부터 야간시간대 건축물에서 방사되는 열복사는 도심 열대야 현상에 직접적인 영향을 주는 하나의 요인임을 명확하게 확인할 수 있었다.
- (5) 본 논문을 통해 건축물 표면의 열적효과와 BVR과의 상관관계를 규명하였다. 이들 요소는 폭염과 열대야

현상에 영향을 주는 주요 요소임을 확인하였다.

(6) 추후 BVR 뿐만 아니라 피복 재료와 거리, 복합건물 영향에 대한 연구가 필요하다.

후기

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호: 2017080052).

REFERENCES

1. M. Nunez, and Oke, T. R. Long-wave Radiative Flux Divergence and Nocturnal Cooling of the Urban Atmosphere, *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 10, No. 2, pp. 121-135, 1976.
2. Jeong, Y. J., Kim, J., Lee, T. G., Lee, B. Y., and Jo, H. G., 하향 장파 복사의 변화에 비습 · 기온 · 운량이 미치는 효과, *Proceedings of the Spring Meeting of KMS*, pp. 186-187, 2006.
3. Jo, E. S., Kim B. Y., Lee, G. T., Lee, S. H., Jeong, H. S., and Jeong, Y. D., 기온 · 습도 · 운량 자료를 이용한 지표면 하향장파복사 추정, *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*, pp. 668-669, 2015.
4. Choi, D. H. and Lee, B. Y., A Study of the Thermal Characteristics of Flooring Materials, Wood, Rock Aluminum through Observation of its Radiant Environment in the Summer, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 28, No. 3, pp. 35-44, 2008.
5. Choi, D. H. and Lee, B. Y., An Experimental Study of Surface Materials for Planting of Building Surface by the Radiant Heat Balance Analysis in the Summer, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 30, No. 3, pp. 71-80, 2010.
6. Shi, Z. and Zhang, X., Analyzing the Effect of the Longwave Emissivity and Solar Reflectance of Building Envelopes on Energy-saving in Buildings in Various Climates, *Solar Energy*, Vol. 85, No. 1, pp. 28-37, 2011.
7. Blankenstein, S. and Kuttler, W., Impact of Street Geometry on Downward Longwave Radiation and Air Temperature in an Urban Environment, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13, No. 5, pp. 373-379, 2004.
8. Song, B. G. and Park, K. H., Effects of Physical Environmental Factors on Radiation Fluxes in Urban Areas, *J. Environ. Impact Assess*, Vol. 23, No. 6, pp. 447-491, 2014.
9. 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.