도심부와 교외지역의 장·단파 복사와 상관도 분석 (I)

- 대구지역의 동·하절기 장·단파 복사 관측과 해석 -

Long and Short Wave Radiation and Correlation Analysis Between Downtown and Suburban Area (I)

- Observation of the Long and Short Wave Radiation
in Summer and Winter Season of Daegu -

최동호* · 이부용**

Choi, Dong-Ho*, Lee, Bu-Yong**

(Submit date : 2013. 7. 9., Judgment date : 2013. 7. 11., Publication decide date : 2013. 8. 26.)

Abstract : The objective of this study was to compare and analyze for seasonal long-short-wave radiation characteristics between downtown area and suburban area in Daegu through field observations. This study was confirmed the regional and seasonal radiation environments and it can utilize as basic data for the analysis of the urban radiation environment and the effects of urbanization.

The followings are main results from this study. 1) The downward shortwave radiation showed the similar value of the radiation generally in the downtown area and the suburban area of the city during the winter and summer season. but, long-wave radiation is always higher in downtown area. 2) In case of the long-wave radiation at two stations, we observed 230~270 W / m² in the winter season and 415~470 W / m² in summer season. As a result, we can see summer season is higher than winter about two times in long-wave radiation. 3) In case of short wave radiation, there is high correlation between two stations in winter season but very low correlation between two stations in summer season because of local atmosphere unstability and etc.

Key Words : 장파복사(Long-wave radiation), 단파복사(Short-wave radiation), 관측(Observation), 도시복사환경(Urban radiation environment), 복사 상관성(Radiation correlation)

1. 서 론

기존에 수행된 도시 열환경 관련 관측연구

는 기온 중심의 관측데이터를 바탕으로 해석, 발표된 사례가 주류를 이루어온 가운데, 최근 들어 도시 열환경을 복사해석의 관점에

*최동호(교신저자) : 대구가톨릭대학교 건축학부
E-mail : dhchoi2@cu.ac.kr, Tel : 053-850-2733
**이부용 : 대구가톨릭대학교 환경과학과

*Choi Dong-Ho (corresponding author) : Department of Architecture, Catholic University of Daegu.
E-mail : dhchoi2@cu.ac.kr, Tel : 053-850-2733
**Lee Bu-Yong : Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu.

서 접근한 연구가 발표되기 시작하였다^{1~3)}. 도시연구에서 태양복사를 비롯하여 도시를 형성하는 구성인자들의 복사열 전달과 같이 복사현상이 도시고유의 기후를 형성하는 중요 영향인자로 인식되면서 현장관측을 통한 복사해석의 중요성이 한층 부각되고 있다. 지금까지 복사관측을 통한 도시화효과 해석 연구는 하절기에 집중되어 도심과 교외지역간의 복사환경 상호비교 관점에서 수행되었으며, 이와 같은 연구를 통해 도심과밀지역과 교외지역간의 기초적인 장·단파 복사의 분포특성을 파악할 수 있었다⁴⁾.

본 연구는 이들 연구의 후속연구로써 하절기와 동절기에 걸친 현장관측을 통해 수집된 복사관측데이터를 바탕으로 도심과밀지역과 교외지역간의 계절별 장·단파 복사특성에 대해 시계열 분석과 상관도 분석을 실시하였다. 이와 같은 두 관측지점에 대한 동시관측비교를 통해 얻어진 자료와 해석결과는 도시화 효과와 계절별 지역별 복사환경 특성을 해석하는 기초 자료로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 관측 개요

2.1 관측장소와 관측환경

관측대상지역은 대구광역시 중심부에 위치한 수성구 수성동의 도심과밀지역(대구·경북 본부 송변전지원센터)과 비교적 인공적인 환경효과가 적은 대구광역시 외곽의 교외지역을 관측대상지점으로 선정하였다. 도심과밀지역은 관측지점 인근에 아파트와 같은 고층건물, 인공지면 등으로 인공구조물의 밀도가 상대적으로 높은 지역적 특성을 나타내고 있으며, 교외지역은 도심과밀지역에서 약 20km 동쪽 외곽(경산시 하양읍)에 위치해 있으며, 주변은 논과 밭, 그리고 낮은 산 등의 자연적인 환경

효과가 우세한 전원지역의 특성을 띠고 있다. 관측기간은 하절기의 경우 2010년 7월 23일~8월 20일(총 29일간), 동절기는 2011년 1월 13일~2월 28일(총 47일간)까지 수행되었다. 이상과

Fig. 1 관측지점의 위치

같은 관측조건 하에서 도심과 외곽지역간의 장·단파복사에 대한 특성을 비교하기 위해 관측을 하였다.

2.2 관측요소 및 관측장비

두 지점에서의 관측항목은 기온, 상대습도, 장파복사, 단파복사의 4가지 요소에 대해 관측하였다. 단파복사와 장파복사는 대기의 투과도에 따라, 장파복사는 상층 대기의 온도에 따라 그 값이 각각 달라질 것으로 추정되는 상공에서 지면으로 향하는 하향의 복사성분에 대해 지점별, 계절별 장·단파복사 특성을 비교 분석하였다. 이들 두 지점에서의 기온과 상대습도 관측은 지상 1.5m 높이에서, 장·단파복사는 지상 1.0m 높이에서 관측이 이루어졌다(Fig 1[관측전경사진참조]). 관측에 사용된 측정기기의 상세제원은 Table 2에 나타내었다. 온·습도센서는 국제적으로 센서의 신뢰성이 확보된 VAISALA사의 HMP45C-L34모델을 사용하였고, 복사장비 중 단파복사계는 기상청에서 채택하고 있는 국제관측표준장비인 Kipp&Zone사의

CMP6모델(스펙트럼 범위: 285~2800 nm)을 사용하였다.

Table 1. 각 관측지점별 공간녹지분포율

항 목	교외지역	도심과밀지역
위 치	경북 경산시 하양읍 대구가톨릭대학교	한국전력공사 대구·경북본부 송변전지원센터
공간녹지 분포율	40%	0%
항공사진 에서의 녹지면적
관측지점 전경

※ 공간녹지분포율은 각 관측지점을 중심으로 반경 500m 이내의 영역에 있는 녹지면적의 비율을 정의

장파복사계와 데이터로거 또한 널리 사용되고 있는 CGR3모델(스펙트럼 범위: 4500~42000 nm)과 Campbell Scientific사의 CR1000모델을 사용하였습니다. 또한 복사계는 상호 비교하는 캘리브레이션을 통해 오차를 보정하여 신뢰성을 높였다. 보정 전 복사계 간의 최대오차는 2%이하로 충분한 신뢰성이 있는 것으로 확인하였다.

Table 2. 관측장비의 제원

항목	관측기기
기온·상대습도	HMP45C - L34 / VAISALA
단파복사	CMP6 / Kipp & Zonen Campbell Scientific
장파복사	CGR3 / Kipp & Zonen
기록장치	Data Logger : CR1000 Campbell Scientific

3. 관측결과 및 고찰

3.1 관측기간의 기상상태

본 연구에서는 대구시내 중심부(도심과밀지역)와 인근 교외지역에서의 지역과 계절 간 복사특성을 알아보기 위해 단파복사와 장파복사를 관측하고 분석하였다. 먼저, 동절기의 경우 총 47일의 관측기간 중 대구기상대에서 관측한 강수일 8일을 제외한 39일간의 대구지역 기온은 최고 18.7 °C, 최저 -13.1 °C, 평균 1.0 °C를 나타내었다. 상대습도는 평균 44 %, 최저 12 %, 총 강수일(강수량 4.5 mm이상)은 6일로 확인되었고, 수평면 일사량의 일평균 적산 값은 11.06 MJ를 나타내었다.

한편, 하절기 관측의 경우에는 총 29일중 강수일 10일을 제외한 19일의 관측기간에 대한 기온은 최고 35.7 °C, 최저 23.3 °C, 평균 29.1 °C, 상대습도 평균 66 %, 최저 34 %, 수평면 일사량의 일평균 적산 값은 17.68 MJ로 파악되었다.

위 관측기간 동안 대구지역의 예년(30년 평균) 기온은 동절기 평균기온 1.7 °C(최고기온 6.9°C, 최저기온 -2.7 °C), 하절기 평균기온 27.1 °C(최고기온 31.8 °C, 최저기온 23.5 °C), 본 연구에서 관측한 동절기 평균기온 1.2 °C(최고기온 6.4 °C, 최저기온 -3.3 °C), 하절기 평균기온 29.0 °C(최고기온 34.1 °C, 최저기온 25.0 °C)로 예년과 근사한 값을 나타내었다. 이상과 같이 관측기간의 기상상태는 전형적인 그 지역의 계절별 특성을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 복사관측자료

본 논문의 복사관측데이터는 강수에 의한 영향을 배제하기 위하여 강수일(일강수량 4.5mm 이상)을 제외한 나머지 관측데이터 중심으로

분석하였다. 동절기는 강수일 6일과 관측 자료의 이상이 확인된 2일을 제외한 39일 간의 데이터, 하절기는 강수일 10일을 제외한 19일 간의 데이터를 분석대상으로 하였으며, 본 논문에서 시각 자료는 기상대의 데이터 분석방법과 동일하게 1분 간격으로 관측된 데이터를 합산하여 평균한 값(1시간 평균치)을 그 시각의 관측 값으로 하였다. 관측지점 주변 환경의 영향을 최소화하기 위하여 본 연구에서는 하루 관측 데이터 중 태양고도가 가장 높아 인근건물 등의 영향이 최소화되는 시간대인 10:00~14:00시의 4시간 데이터만을 분석 자료로 활용함으로써 두 지점 간 복사환경의 객관적인 비교가 가능하도록 하였다.

3.3 복사환경

3.3.1 장·단파복사의 시계열 분석

동절기의 교외지역과 도심과밀지역의 평균 단파복사량 시계열분포를 Fig 2, 3에 나타내었다. 두 지역 모두 최대복사 값은 약 500 W/m^2 을 나타내었으며 전 시간대에 걸쳐 매우 유사한 복사 값을 나타내었고, 태양고도가 높은 12~14시 사이에서는 도심과밀지역이 교외지역보다 다소 높은 것으로 확인할 수 있다.

Fig 2. 평균 단파복사량 (동절기)

Fig 3. 평균 단파복사량 (하절기)

한편, 하절기의 경우에는 인근 구조물들과 기타 요인의 영향으로 15시 이후 시간대에는 도심과밀지역의 단파복사 값이 급속히 낮아지는 현상이 나타났다. 동절기에는 전형적인 종모양의 매끈한 커브를 나타낸 반면, 대기가 상대적으로 불안정한 하절기에는 태양고도가 높은 남중시간대를 전후하여 대기의 영향으로 두 지역 모두 시각대별로 다소 큰 복사량의 변화를 나타내었다.

그 다음으로 평균 장파복사량 시계열분포를 Fig 4, 5에 나타내었다. 평균 장파복사량은 동절기와 하절기 모두 주간시간대가 야간시간대보다 상대적으로 높게 나타났으며 두 계절 모두 전 시간대에서 도심과밀지역이 교외지역보다 높은 장파복사량을 나타내었다. 동절기 두 관측지점에서의 장파복사값은 최저 약 230 W/m^2 , 최고 약 270 W/m^2 으로 관측된 반면, 하절기는 이보다 현저한 차이로 최저 약 415 W/m^2 , 최고 약 470 W/m^2 으로 관측되어 두 계절 간에는 약 2배 정도의 복사값 차이가 확인되었다. 동절기 장파복사의 일변화 폭은 약 30 W/m^2 정도 이고, 하절기는 약 50 W/m^2 의 일변화 폭을 나타냄으로써 하절기의 장파복사 일변화 폭이 동절기 보다 더욱 크게 형성된 것으로 확인되었으며, 동절기의 장파복사량 최저값은 두드러지게 나타나지 않는 반면 하절기 장파복사 최저값은 6:00시경에 뚜렷

하게 나타나는 특징이 있었다. 이러한 현상은 태양고도각이 높은 하절기에는 지표면 도달 단파복사량이 증가하고 지표면에서의 많은 수분이 대기 중으로 증발하여 지표에서 상공으로 향하는 장파복사를 쉽게 흡수 할 수 있을 뿐만 아니라 단파복사에 의한 대기온도의 상승으로 하절기 대기에서 지면으로 향하는 하향 장파복사량은 동절기에 비해 매우 큰 값을 나타낸 결과로 해석된다.

Fig 4. 평균 장파복사량 (동절기)

Fig 5. 평균 장파복사량 (하절기)

3.3.2 장·단파복사의 시간대별 분석

상층대기의 특징을 파악하기 위하여 대기의 투과경로가 최소화 되고, 인근 인공구조물의 영향이 적은 10:00~14:00시 사이 시간대의 관

측 자료에 대해서 분석을 하였다(Table 3, 4). 동절기 시간대별 복사수지 분포를 살펴보면 단파복사의 경우 일변화는 비교적 크게 나타났으나 동일 시각에서는 도심과밀지역과 교외지역은 비슷한 복사 값을 나타내었으며, 13:00시의 도심과밀지역의 단파복사 값이 교외지역보다 19 W/m² 정도(교외지역 대비 3.8 %) 높은 값이 관측되었다(Table 3). 반면, 장파복사는 검토대상 4시간 동안은 도심과밀지역이 교외지역보다 조금 높은 복사 값(평균 4.5 W/m²)을 나타내었다. 장파복사에 대한 단파복사의 비율은 앞서 언급한 바와 같이 도심과밀지역의 단파복사 값이 현저히 높았던 13:00시(비율 1.88)를 제외하고는 교외지역이 도심과밀지역보다 장파에 대한 단파의 비율이 일관되게 높은 것으로 파악되었다(Table 3).

Table 3. 관측지점에 대한 시간대별 복사수지 비교(동절기)

관측지점	항 목 (단위:W/m²)	11:00시	12:00시	13:00시	14:00시
도심과밀지역	단파복사량(하향)	388	467	499	489
	장파복사량(하향)	257	263	266	267
	단파 / 장파 비율	1.51	1.78	1.88	1.83
	하향 총복사량	645	730	765	756
교외지역	단파복사량(하향)	389	465	480	490
	장파복사량(하향)	251	259	262	263
	단파 / 장파 비율	1.55	1.80	1.83	1.86
	하향 총복사량	640	724	742	753

Table 4. 관측지점에 대한 시간대별 복사수지 비교(하절기)

관측지점	항 목 (단위:W/m²)	11:00시	12:00시	13:00시	14:00시
도심과밀지역	단파복사량(하향)	642	598	658	580
	장파복사량(하향)	457	463	469	472
	단파 / 장파 비율	1.40	1.29	1.40	1.23
	하향 총복사량	1,099	1,061	1,127	1,052
교외지역	단파복사량(하향)	617	655	635	654
	장파복사량(하향)	451	455	459	460
	단파 / 장파 비율	1.37	1.44	1.38	1.42
	하향 총복사량	1,068	1,110	1,094	1,114

마지막으로 Table 3에서 상부대기에서 지면으로 향하는 하향 총복사량(단파+장파)은 검토 대상 시간대에서 교외지역보다 도심과밀지역이 높은 값을 나타내었다.

한편, 하절기의 단파복사량은 시간대에 따라 도심과밀지역과 교외지역의 하향 복사 값이 높은 지역이 각각 달리 나타났다. 교외지역과 도심과밀지역간의 장파복사값 차이는 동절기(평균 4.5 W/m^2), 하절기(평균 9 W/m^2)로 하절기가 동절기보다 2배 높은 복사값을 나타내었다(Table 3, 4).

하절기 하향 총복사량(단파+장파)에서는 두 관측지점간의 높고 낮은 특징이 확인되지 않았다(Table 4). 두 관측 지점에서의 매 시각대별 장파복사에 대한 단파복사값의 비율(단파/장파)을 살펴보면 동절기 도심과밀지역의 최대값(1.88)은 13:00시에, 교외지역의 최대값(1.86)은 14:00시에 나타났다. 한편 하절기에는 도심과밀지역의 경우에는 11:00시와 13:00시, 교외지역은 12:00시에 나타나 계절에 따라 장·단파 복사비율의 최대값은 서로 다른 시각에 나타난 것으로 확인되어 추후 연구를 통해 해석할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3.3.3 장·단파복사의 상관도 분석

상관관계 분석은 하절기와 동절기의 지역별 복사량변화의 정도를 기울기로 나타낸 것으로 그 기울기는 해당지역의 주변 환경 영향을 종합적으로 반영한 복사환경 특성을 알아볼 수 있는 분석방법이다(Fig 6, 7). 강수일을 제외한 분석결과, 하절기의 경우 관측기간 총 29일 중 19일, 동절기는 총 47일 중 39일을 상호비교하였다. 이것으로부터 각 계절별 상관성 분석에서 기울기 값에 대해 살펴보면 먼저, 동절기의 단파복사 분포의 상관도(R^2)는 0.9419로 아주 높게 나타낸 반면에 하절기의 단파복사 분포의 상

관도는 -0.036으로 매우 낮게 나타났고(Fig 6), 동절기의 경우 같은 시간대에서는 두 지점간에는 비슷한 대기조건을 갖는 것으로 파악되나, 하절기는 국지적인 대기의 불안정요인에 의해 같은 시각 두 지점간의 대기 상태가 각각 달라 매우 낮은 상관도로 분석되었다. 이 같은 동절기의 매우 높은 상관도는 하절기와는 달리 대기가 매우 건조하여 국지적인 대기 불안정요인이 발생하지 않아 두 지점간의 대기의 상태는 유사하기 때문이다.

Fig 6. 단파복사 상관도

Fig 7. 장파복사 상관도

한편, 동절기의 장파복사 분포의 상관도는 0.9704로 높은 상관성 기울기를 나타낸 반면에 하절기의 장파복사 분포의 상관도는 0.5804로 동절기에 비해 많이 낮은 상관성을 나타내었다(Fig 7). 이것은 장파복사의 경우 구름양이 증가할수록 그 값이 높아지는 특성이 있으므로 하절기의 국지적인 대기 불안정의 영향을 받아 상관도가 낮아진 것으로 해석된다.

4. 결 론

- (1) 장파복사의 경우 동절기와 하절기 모두 교외지역보다는 도심과밀지역이 높은 복사값을 나타내었다.
- (2) 상부대기에서 지면으로 향하는 하향 총복사량(단파+장파)은 동절기의 경우 도심과밀지역이 교외지역보다 높은 값을 나타내었고, 하절기는 두 지점간의 높고 낮은 경향성이 확인되지 않았으나 그 원인에 대해서는 추후 연구를 통해서 규명할 필요가 있을 것으로 사료된다.
- (3) 장파복사량의 하절기 일 변화폭은 동절기의 약 2배로 하절기 상층대기의 온도변화가 동절기보다 큰 것을 확인하였다.
- (4) 계절에 따른 두 관측지점에서의 동절기 장파복사값은 $230 \sim 270 \text{ W/m}^2$ 으로 관측된 반면, 하절기는 이보다 현저히 많은 $415 \sim 470 \text{ W/m}^2$ 으로 관측되어 두 계절간에는 약 2배정도의 복사값 분포의 차이가 확인되었다.
- (5) 교외지역과 도심과밀지역간의 장파복사값 차이는 동절기, 하절기 각각 평균 4.5 W/m^2 와 9 W/m^2 로 하절기가 동절기보다 2배 높은 복사값을 나타내었다.
- (6) 단파복사의 경우 동절기는 두 지점간의 상관도가 높게 나타났고, 하절기는 국지적인 대기불안정 요인으로 상관도가 매우 낮게 나타났다.
- (7) 장·단파복사의 지역별, 계절별 상관성해석에서 기존보다 높은 수준의 해석결과를 도출하기 위해서는 종래의 동·하절기 상관성 분석법과는 차별화 될 수 있는 새로운 분석기법에 대한 검토도 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2011-0023594).

아울러 본 연구 수행과정에서 관측에 도움을 주신 한국전력공사 대구경북본부 송변지원센터 관계자에게 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. Choi.Dong-Ho, Lee.Bu-Yong, 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, 2008, pp.35~44.
2. Choi.Dong-Ho, Lee.Bu-Yong, 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, 2010, pp.71~80.
3. Jung.Im-Soo, Choi.Dong-Ho, Lee.Bu-Yong, Analysis of Radiative Characteristics at Urban Area by Observation in Summer Season, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.31 No.3, 2011, pp.133~144.
4. Choi.Dong-Ho, Lee.Bu-Yong, Oh.Ho-Yeop, Observation and Analysis of the Long and Short Wave Radiation According to Different Altitudes and Locations in Daegu During Summer, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32 No.4, 2012, pp.71~81.