

## 대구지역의 고도와 위치에 따른 하절기 장·단파복사 관측과 해석

최동호\*, 이부용\*\*, 오호엽\*\*\*

\*대구가톨릭대학교 건축학부(dhchoi2@cu.ac.kr)  
\*\*대구가톨릭대학교 환경과학과(bylee@cu.ac.kr)  
\*\*\*대구가톨릭대학교 대학원 건축학과(ohy1@hanmail.net)

### Observation and Analysis of the Long and Short Wave Radiation According to Different Altitudes and Locations in Daegu During Summer

Choi, Dong-Ho\* Lee, Bu-Yong\*\* Oh, Ho-Yeop\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu(dhchoi2@cu.ac.kr)  
\*\*Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu(bylee@cu.ac.kr)  
\*\*\*Dept. of Architecture, Graduate School, Catholic University of Daegu(ohy1@hanmail.net)

#### Abstract

This study for the understanding of the radiation environment according to the altitude in urban area in the summer observes the long and short wave radiation environment at the 4 urban areas with different height and the 1 suburban area. The results of this study are as follows. (1) When the altitude was high, the more short wave radiation was observed. (2) As the altitude was high, the temperature of atmosphere got lower. And because of that the downward long wave radiation was also lower. This general trend was confirmed through the study. (3) Through the observation of long wave radiation, the upper atmosphere of suburban area had the atmosphere characteristic which the temperature was rising and decreasing faster. Therefore, the difference radiation characteristics between the urban and suburban area were confirmed. (4) The result of the ratio of short wave radiation to long wave radiation(short wave radiation/long wave radiation) according to the altitude and location, the value was increased when the distance was far from the artificiality structure or a heat source, and the urban effect became smaller. Thus, it is expected that the ratio will be an evaluation index for evaluating urbanization effect.

Keywords : 복사(Radiation), 복사관측(Radiation observation), 장파복사(Long wave radiation), 단파복사(Short wave radiation), 도시복사(Urban radiation), 열섬(Heat island)

submit date: 2012. 4. 30, judgment date: 2012. 5. 1, publication decide date : 2012. 7. 25  
communication author : Choi, Dong-Ho(dhchoi2@cu.ac.kr)

## 1. 서 론

도시의 열환경에 관련된 기존의 관측연구들은 도시화와 이에 따른 열적효과를 평가한 것으로 주로 기온관측을 중심으로 이루어졌다. 이렇게 기온을 중심으로 한 도시 열환경 관측연구<sup>1)-6)</sup>는 도시 혹은 지역간의 상대적인 기온비교와 해석이 주류를 이루었으며, 이것과는 다른 접근과 해석방법으로 도시화의 영향에 기인한 단파복사와 장파복사의 각 성분별 관측데이터를 바탕으로 하여 복사환경 관점에서 도시화 효과를 해석하고 평가한 연구를 들 수 있다. 기온관측 데이터를 바탕으로 한 기존의 도시 열환경 해석에서는 지표면 부근의 지역적인 기온분포에 대해서는 알 수가 있으나, 이 기온을 지배하는 구성요소인 복사환경에 대한 관측 없이는 도시화에 대한 영향을 정량적으로 해석하고 접근하는 데는 한계가 있었다. 이러한 복사환경 관점에서 수행된 연구로는 특정도시의 계절별 단파복사수지 연구<sup>7)</sup>와 특정지역을 대상으로 지면 피복재료별 장·단파 복사수지를 관측한 연구<sup>8)-10)</sup>, 지역별 복사수지에 대해 관측한 연구<sup>11)</sup> 등이 있다. 이러한 연구는 지면 부근의 고정점에서 복사환경을 관측한 연구들이며, 특정도시를 에워싸고 있는 도시상부대기의 고도별 열복사특성을 관측한 연구는 관측의 난이도로 인하여 지금까지 거의 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 도시상부대기는 도시를 구성하는 여러 인공구조물들과 인공배열의 복합적인 효과로 도시상부의 대기특성이 상이할 것으로 추정되어 고도별 복사환경특성에 대한 연구는 도시 열환경 해석의 새로운 접근방법이 될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 도시상부 대기의 특성을 고도별 하향 장·단파복사량을 관측하여 하절기 도시대기의 열환경 형성특성을 해석하고 분석코자 하였다. 도시지역의 고도

별 복사환경특성 관측을 위해 도시 내 높이가 상이한 3곳의 지점을 선정하여 관측하였으며, 이에 대한 보다 객관적인 해석을 위해 이들보다 동일 도시 내의 현저히 높은 위치(산 정상)와 도시외곽지(교외지역)에서 관측을 병행하였다. 그리고 복사의 특징을 보다 면밀하게 조사하기 위해 관측지점을 크게 둘로 양분하여 도시를 중심으로 한 관측과 도시와 교외를 비교한 관측으로 구성하여 진행하였다.

## 2. 관측 개요

### 2.1 관측장소

본 연구는 대구광역시 중심부 과밀지역 내에 위치한 3곳과 이들보다 현저히 높은 위치(도시 내 산 정상) 1곳, 그리고 도시고유의 복사열특성을 파악하기 위한 비교대상지역으로서 교외지역 1곳을 관측장소로 추가하여 총 5곳을 관측지점으로 선정하였다. 먼저, 도심과 밀지역 내 관측지점 3곳은 아스팔트로 포장된 지상주차장(한국전력, 해발고도 51m, 이하 '도심1'로 칭함)과 주변이 열려 있고 일사 관측조건이 양호한 공동주택 옥상1(현대하이페리온, 해발고도 144m, 이하 '도심2'로 칭함), 공동주택 옥상2(대구 수성 두산위브더제니스, 해발고도 240m, 이하 '도심3'으로 칭함)를 선정하였다. 그리고 이들 3곳은 반경 500m 범위 안에 있으며 이들로부터 약 6km 떨어져있고 상대적으로 고도가 높은 대덕산 정상(해발고도 520m, 이하 '도심4'로 칭함)으로 구성하였다. 다음으로 이 도심관측지점들로부터 약 20km 동쪽의 도시외곽에 위치한 교외지역(경북 경산시 하양읍 소재 대학캠퍼스, 이하 '교외1'로 칭함)을 관측대상지로 선정하였다. 아울러 이들 관측에 대한 비교해석으로 대구기상대 관측자료를 참조자료로 서 활용하였다. 각 관측위치에 대한 자세한 내용은 Fig. 1에 나타내었다.

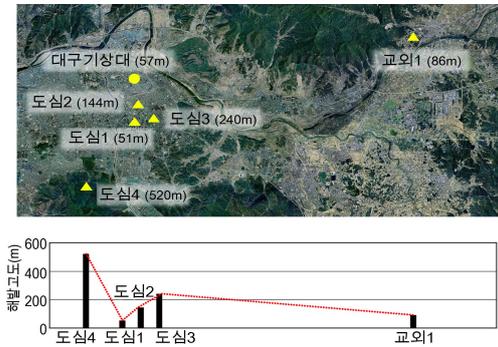


Fig. 1 Location of observation site and altitude

## 2.2 관측항목

관측지점별로 조립식 철제앵글로 받침대를 제작하고 그 위에 기온, 상대습도, 단파복사, 장파복사 장비를 설치하였다. 기온과 상대습도 관측을 포함하여 주야간 대기의 열적 상태를 포함한 종합적인 복사환경을 알아보기 위하여 대기에서 지면으로 향하는 하향의 단파복사 성분과 장파복사 성분을 계측할 수 있도록 장비를 배치하였다. 그리고 관측데이터에 대한 신뢰성 확보를 위하여 관측장비에 대한 일괄적인 보정을 실시하였으며, 각 장비에 대한 상세제원을 Table 1에 나타내었다. 아울러, 대기상태의 확인을 위해 도심4(대덕산 정상)에 고정식 카메라를 설치, 시간대별 사진을 촬영하였다.

Table 1. Composition of observation instruments

항목	관측위치	관측기기
기온	지상 1.5m	HMP45-L34 / VAISALA
습도		Globe 0420 / SATO 온습도로거 (SK-L200THII)
상대습도		HMP45C -L34 / VAISALA 온습도로거 (SK-L200THII)
단파복사		CMP6 / Kipp & Zonen Campbell Scientific
장파복사		CGR3 / Kipp & Zonen
고정장치		1m×1m×1.5m(가로×세로×높이)조립식 철제앵글
표면온도	각 지점 표면	T-type 열전대
기록장치		Data Logger : CR1000 Campbell Scientific

## 2.3 관측환경

관측장소는 총 5개의 지점을 선정하였고, 도시 복사환경을 효과적으로 비교, 분석하기 위하여 각각 4개의 관측지점들로 짜여진 2가지 구성(구성A, 구성B)조건으로 관측이 이루어졌다. 구성A는 도시 내의 고도에 따른 복사환경특성 해석을 위하여 도심1~도심4의 4개의 도시 내부 관측지점들로 구성하였다. 그리고 구성B는 도시와 교외의 복사환경 비교를 위해서 도심1,3,4, 교외1의 관측지점을 선정하였다. 관측데이터는 1분 단위로 로거에 저장하였으며, 본 논문에서는 관측데이터의 신뢰성 확보와 변화 경향을 알기 쉽게 하기 위해 각 시각에서의 30분(전후 15분) 이동 평균한 값으로서 분석하였다.

관측기간에 대해서는 구성A가 2011.07.21~09.17의 59일간, 구성B는 2011.09.18~09.30의 13일간 관측이 이루어졌다. 본 논문에서는 이들 관측기간 중 비교적 고온의 하절기 기상특징이 나타난 9월 7일(구성A)과 9월 22일(구성B)을 각각의 대표일로 선정하여 해석하였다.

## 3. 관측결과 및 고찰

### 3.1 관측기간의 기상상태

일반적으로 기상대 관측데이터가 그 지역의 기후를 대표하므로, 본 연구에서는 대구지역의 기상대 관측데이터와 지점별 관측데이터를 동시에 상호비교 하였다. 대구기상대 관측자료에 의한 기상상태는 관측기간(2011.07.21~09.30)중의 강우일은 전체72일 중 13일, 운량 3 이하의 맑은 날은 16일 이었다. 본 연구에서는 고온의 하절기 기상특징이 파악될 수 있게 구성A에서는 맑은 날 8일중 하루(9월 7일)를 대표일로 선정하였으며, 구성B에서는 맑은 날 8일중 그 하루(9월 22일)를 대표일로 하였다.

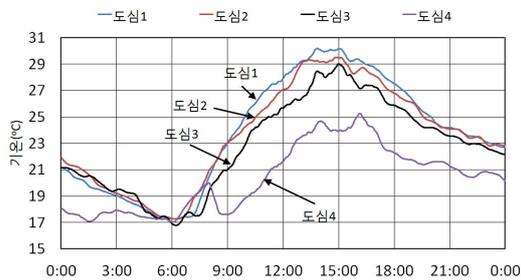


Fig. 2 Daily air temperature distribution (type A)

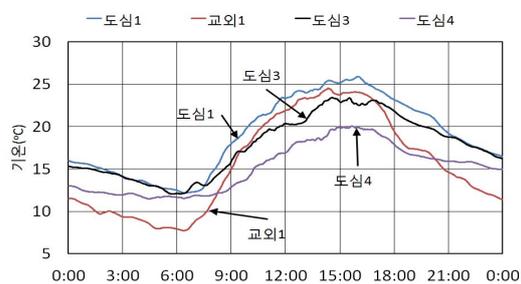


Fig. 3 Daily air temperature distribution (type B)

### 3.2 기온 및 상대습도 분포

각 지점에서의 기온과 상대습도의 시계열 관측 자료를 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 8, Fig. 9에 나타내었다. 먼저, 기온에 대한 시계열 분포에서는 고도가 낮을수록 기온이 높고, 고도가 높을수록 기온은 낮아지는 일반적인 대기의 고도와 기온과의 관계를 본 연구를 통해서 확인할 수 있었다. 각 관측지점과 대구기상대 관측 기온데이터의 시계열 특성은 고도가 높을수록 최고기온이 낮게 나타나는 특징이 있었으며, 주간의 경우 도심1(고도 51m)과 도심2(고도 144m)의 중간정도에서 대구기상대(고도 57m)기온이 형성되었고, 야간에는 이들보다 약간 높은 경향을 나타내었다. 기온의 시계열 분포에서 알 수 있는 바와 같이 주간의 경우 도심1(고도 51m), 도심2(고도 144m), 도심3(고도 240m), 도심4(고도 520m)의 순으로 고도가 높을수록 기온이 낮게 나타났으며, 야간은 주간에 비해 기온차이가 작았다(Fig. 4). 도시와 교외의 기온 비교(구성B)에서는 교외

1을 제외한 지점들의 일반적인 변화경향은 구성A와 유사하게 나타났으나 교외지역인 교외1은 도시와는 차별화된 형태로 최고기온은 도시보다 빨리 나타났고 그 시각 이후에는 기온의 하강패턴이 빠르게 나타났으며 야간에는 도심4 보다 고도가 크게 낮음에도 불구하고 현저히 낮은 기온을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

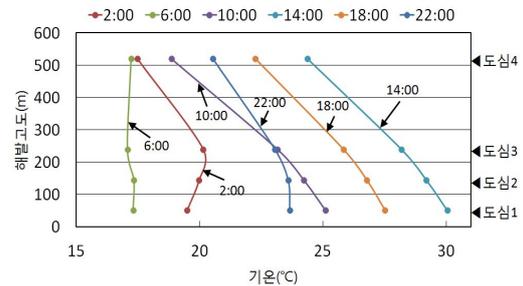


Fig. 4 Hourly air temperature trend by altitude (type A)

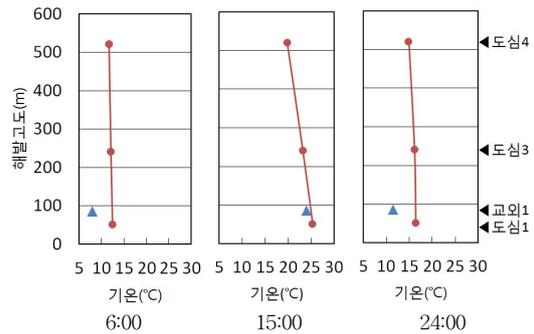


Fig. 5 Hourly air temperature trend by altitude (type B)

이것은 인공화된 도시의 지표면 열적효과가 도시 상공까지도 영향을 주고 있는 결과로 해석할 수 있다.

대구기상대와 각 지점별 기온의 상관관계를 Fig. 6, Fig. 7에 나타내었다. 먼저, 도시내부 관측지점을 비교한 구성A에서는 관측고도가 가장 낮은 도심1의 경우 그 관계식( $y=1.11x-250$ )에서 알 수 있는 바와 같이 기온의 변화정도를 나타내는 x의 기울기는 1보다 큰 1.11로 나타나 대구기상대의 기온변화율보다 큰 것

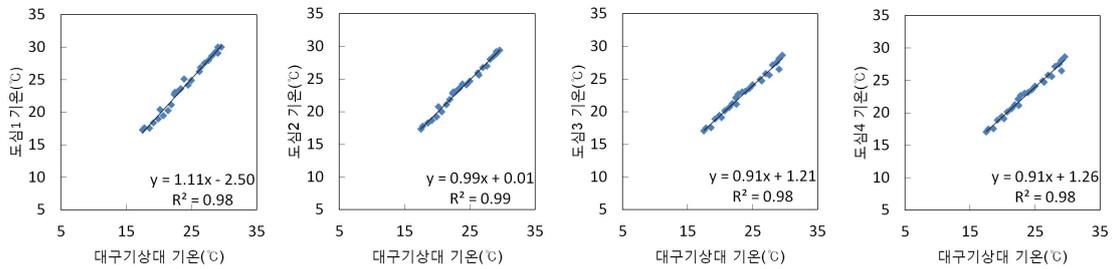


Fig. 6 Relation of air temperature between Daegu weather station and each sites (type A)

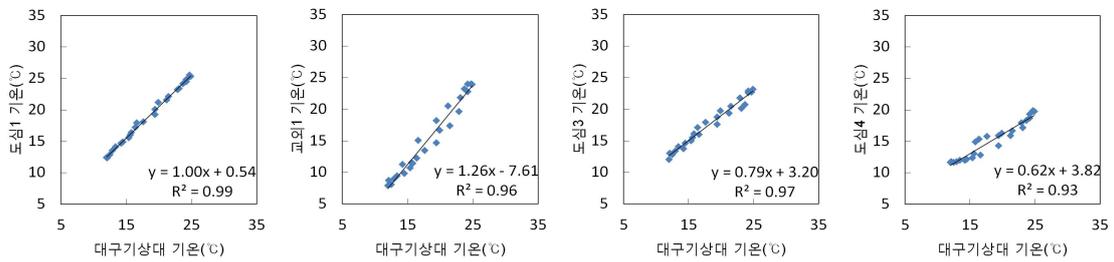


Fig. 7 Relation of air temperature between Daegu weather station and each sites (type B)

으로 해석되었다. 그 나머지 관측지점들의 분석에서 고도가 증가함에 따라 기온이 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. 각각의 상관분석에서 고도가 증가함에 따라 절편값이 커지는 것은 고도가 높아짐에 따라 기온이 낮아진다는 일반적인 이론과 일치하는 해석의 결과를 도출하였다(Fig. 6).

그리고 도시와 교외간의 복사환경을 비교한 구성B에서도 그 패턴은 구성A와 유사하였으며, 기온의 변화 정도를 나타내는 기울기 값은 교외1, 도심1, 도심3, 도심4 순으로 높게 나타났다(Fig. 7). 즉, 교외지역의 경우 주간에는 기온이 도시보다 빠르게 상승하고, 반대로 야간에는 빠르게 하강하여 도시와는 상이한 기온의 일변화 특성을 나타내었다. 이와 같이 본 관측을 통해 고도차에 따른 기온변화 특성을 명확히 확인할 수 있었다.

구성A의 지점별 상대습도 관측결과를 Fig. 8에 나타내었다. 일반적인 경향은 야간에는 상대습도가 높고 주간에는 낮은 특징이 잘 나타나고 있으며, 특히 도심1, 2, 3 관측지점의 값은 매우 유사한 변화 경향을 나타내었다. 그러나 구성A

의 도심4의 경우 온도가 낮아지는 야간시간대에도 도심1, 2, 3과는 달리 상대습도가 현저히 낮아지는 현상이 확인되었다(Fig. 10). 이것은 일반적인 경향과는 다르게 나타난 현상으로 추후 바람에 대한 관측을 통해 기류의 유입 경로에 대한 검토가 있어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 9는 구성B의 시간에 따른 상대습도 변화를 나타낸 것으로 기온이 상승하면 상대습도가 낮아지고 기온이 낮아지면 상대습도가 높아지는 일반적인 대기현상과 잘 일치하였다. 교외의 경우 도시관측지점에 비해 낮은 야간기온의 결과로 높은 상대습도를 나타내었다(Fig. 11).

대구기상대와 도시관측지점들 간의 상대습도 상관관계를 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다. 이것은 기준관측소인 대구기상대 상대습도에 대해 도시관측지점의 상대습도 변화 경향을 객관적이고 정량적인 해석을 위해 분석한 것이다. 구성A의 경우 고도가 높아질수록 그 기울기 값은 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 12). 이것은 고도가 높아질수록 기온의 일변화가 감소하는 것과 같이 상대습도의 일변화

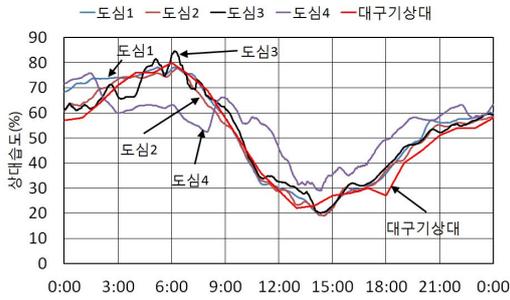


Fig. 8 Daily relative humidity distribution (type A)

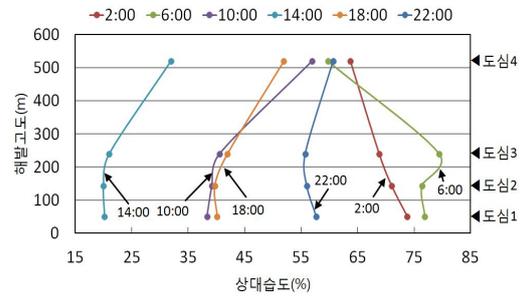


Fig. 10 Hourly relative humidity trend by altitude (type A)

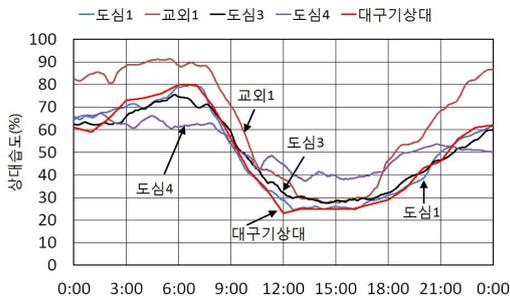


Fig. 9 Daily relative humidity distribution (type B)

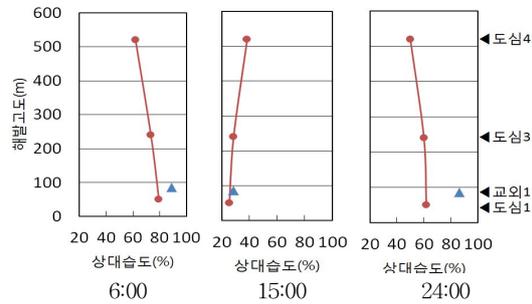


Fig. 11 Hourly relative humidity trend by altitude (type B)

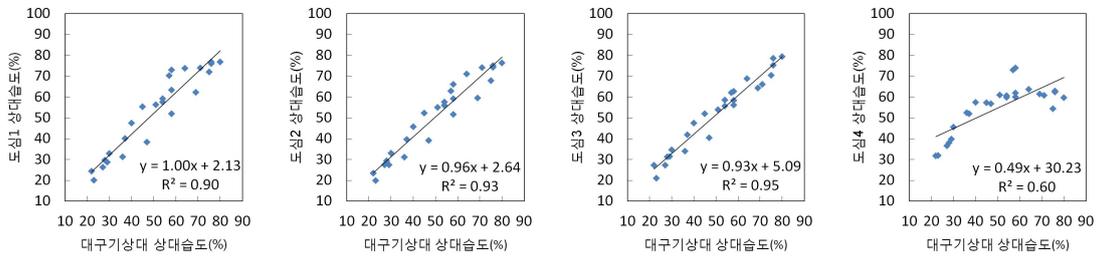


Fig. 12 Relation of relative humidity between Daegu weather station and each sites (type A)

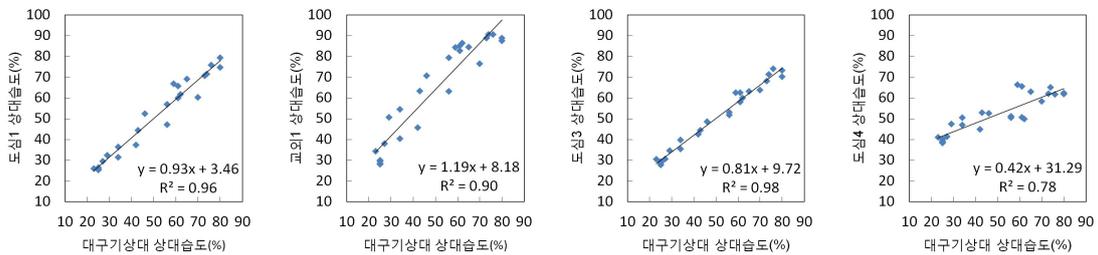


Fig. 13 Relation of relative humidity between Daegu weather station and each sites (type B)

도 고도가 낮은 지표면의 변화 폭에 비해 작게 나타나는 경향이 확인되었다. 한편, 고도가 높고 주변이 자연생태적으로 조성된 도심4(산 정상)의 상관계수( $R^2$ )는 0.60으로 인공화 비율이 높고 고도가 낮은 다른 도시의 관측지점 도심1(0.90), 도심2(0.93), 도심3(0.95)에 비해 크게 낮게 나타났다. 이것은 고도와 지표면의 인공화 비율에 따른 결과로 해석된다. 또한, 도시와 교외의 비교(구성B)에서는 교외1이 다른 도시관측지점들에 비하여 상대습도의 기울기가 가장 큰 1.19로 분석되어, 도시의 상대습도의 변화에 비해 더 급속하게 상승하고 급속하게 하강하는 특징을 나타내었다(Fig. 13).

### 3.3 복사환경

#### 3.3.1 단파복사

대표일의 도시 내 관측지점간의 단파복사(구성A) 관측결과를 Fig. 14에 나타내었으며, 정오를 기준으로 한 전후 15분간(총 참조시간 30분)의 적산일사량은 도심4(1.67MJ), 도심3(1.63MJ), 도심2(1.62MJ), 도심1(1.59MJ)로 나타나 고도가 증가할수록 일사량도 함께 증가하는 것이 확인되었다. 정오기준 1분간의 고도별 단파복사량에서도 도심4(934W/m<sup>2</sup>), 도심3(919W/m<sup>2</sup>), 도심2(908W/m<sup>2</sup>), 도심1(886W/m<sup>2</sup>)의 순으로 높게 나타나, 고도에 따른 차이가 확인되었다. 또한, 도시관측지점과 교외지역간의 단파복사 비교(구성B)에서는 교외1은 도심1과 유사한 수준의 복사량이 관측되었으며 고도가 높은 도시의 두 지점들에 비해서는 상대적으로 낮은 값을 나타내었다(Fig. 15).

#### 3.3.2 장파복사

##### (1) 장파복사의 시계열 분포

대표일의 도시 내 관측지점별 장파복사(구성A) 관측결과를 Fig. 16에 나타내었다. 장파복사의 최고값은 13:00~14:00시 사이에서 나타났으

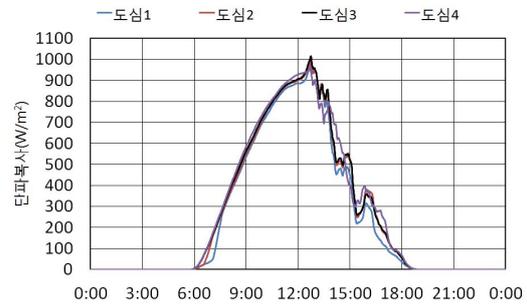


Fig. 14 Distribution of daily short wave radiation (type A)

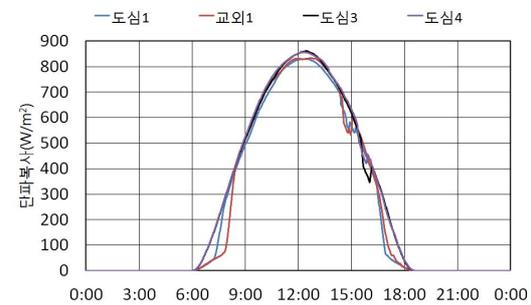


Fig. 15 Distribution of daily short wave radiation (type B)

며 도심1(632W/m<sup>2</sup>, 고도51m), 도심2(582W/m<sup>2</sup>, 고도144m), 도심3(551W/m<sup>2</sup>, 고도240m), 도심4(521W/m<sup>2</sup>, 고도520m)의 순으로 고도가 높아짐에 따라 그 값은 낮게 나타났다. 이것은 고도가 높아짐에 따라 대기의 온도가 낮아지고 그 결과 대기의 하향 장파복사량은 감소하여 고도에 따른 장파복사량은 낮게 나타나는 것으로 해석된다. 한편, 일몰이후 야간시간대에는 주간과는 달리 각 지점 간에 큰 차이가 나타나지 않았으며, 일출직전에는 거의 동일한 값을 나타내었다. 태양복사의 영향을 받아 일변화를 하는 단파복사처럼 장파복사도 이와 유사한 일변화 형태로 태양복사의 영향을 받고 있는 것으로 확인되었다. 도심1의 경우 그 최대값이 632W/m<sup>2</sup>로서 그 순간의 단파복사값(925W/m<sup>2</sup>) 대비 68%로 그 에너지의 절대값 또한 도시의 열환경 형성에 큰 비중을 차지하고 있어 도시 열환경 평가시 반드시 고려해야할 대기환경요소임을 확인할 수 있었

다(Table 2). 아울러 도심2, 도심3, 도심4에서도 각각 57%, 55%, 46%로 나타나 도시에서 장파복사량은 도시의 열수지 계산에 필수적으로 도입해야할 중요 인자로 판단된다.

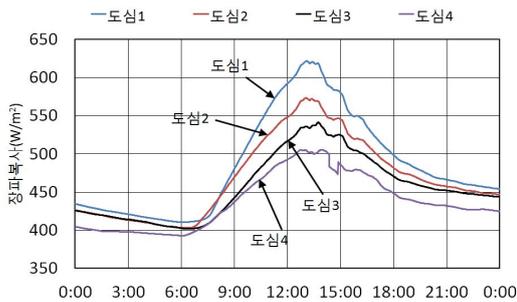


Fig. 16 Distribution of daily long wave radiation (type A)

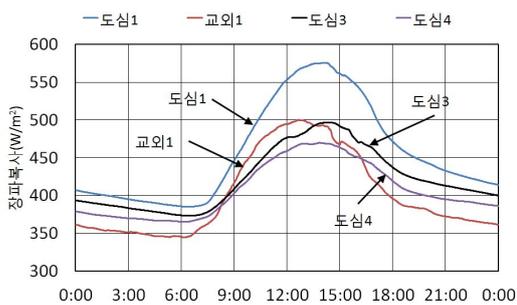


Fig. 17 Distribution of daily long wave radiation (type B)

한편, 도시와 교외 간을 비교한 구성B에서는 유사 고도인 도심1과 교외1의 비교에서 교외1(500W/m²)의 하향장파복사량은 도심1(576W/m²)에 비해 현저히 낮은 값을 나타내었다(Table 2). 그리고 단파에 대한 장파의 비율(장파/단파)은 교외1이 0.58로 도시관측지점들에 비해 작게 나타났다. 이러한 결과를 통해 도시와 교외의 대기특성에 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

(2) 시각대별 장파복사

시각대별 적산 장파복사량을 Table 3에 나타내었다. 도시 내 관측지점(구성A)의 경우

앞서 언급한 바와 같이 장파복사의 적산 값에서도 고도가 높아짐에 따라 장파복사량의 뚜렷한 감소경향을 확인할 수 있었다. 고도가 다른 4곳의 관측지점들 모두 일출 무렵(07시)

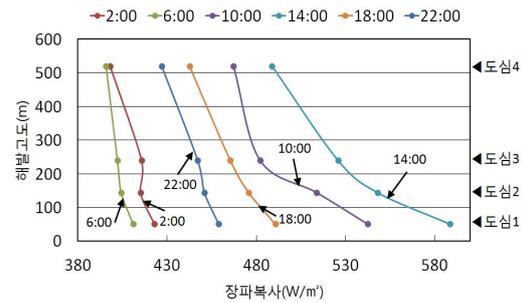


Fig. 18 Hourly long wave radiation trend by altitude (type A)

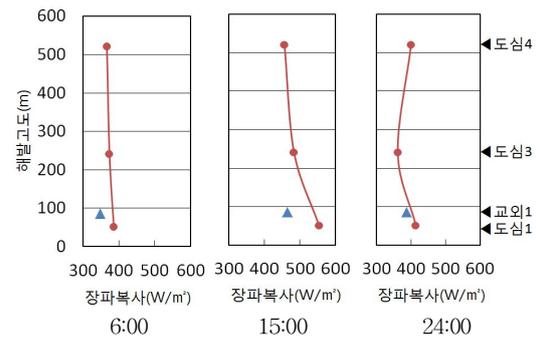


Fig. 19 Hourly long wave radiation trend by altitude (type B)

에 일중 최저값이 관측되었으며, 1시간 적산 장파복사량의 최대값은 14시로 각 지점별 고도차이가 있음에도 불구하고 시간지연효과 없이 모두 동일시각대에 나타났다. 이것은 도시대기 전체가 같은 영향권 내에서 변화하고 있음을 입증한 것이다(Fig. 18).

한편, 도시와 교외간의 적산 장파복사량 비교(구성B)에서는 교외1은 도시에 비해 최대값에 도달하는 시각이 약 1시간정도 빨리 나타나고 그 이후 도시관측지점들에 비해 하강추세 또한 급속하게 나타났으며, 이렇게 낮은 장파복사값은 일출이후 08시까지 지속되었다(Fig. 19). 이것은 도시지역에 비해 교외지역

Table 2. The ratio between long wave and short wave radiation at the highest state of long wave radiation

구성A [단위: W/m <sup>2</sup> ]					구성B [단위: W/m <sup>2</sup> ]				
구분	장파	단파	단파/장파	장파/단파	구분	장파	단파	단파/장파	장파/단파
도심1	632	925	1.46	0.68	도심1	576	738	1.28	0.78
도심2	582	1,029	1.77	0.57	교외1	500	857	1.71	0.58
도심3	551	1,000	1.81	0.55	도심3	497	657	1.32	0.76
도심4	521	1,121	2.15	0.46	도심4	470	749	1.59	0.63

Table 3. Average and accumulate value of long wave radiation each hour

구성A [단위: W/m <sup>2</sup> (MJ/m <sup>2</sup> )]					구성B [단위: W/m <sup>2</sup> (MJ/m <sup>2</sup> )]				
시각	도심1	도심2	도심3	도심4	시각	도심1	교외1	도심3	도심4
0:00	438(1.58)	431(1.55)	429(1.55)	408(1.47)	0:00	411(1.48)	364(1.31)	398(1.43)	382(1.38)
3:00	424(1.53)	417(1.50)	417(1.50)	399(1.44)	3:00	398(1.43)	354(1.28)	387(1.39)	372(1.34)
7:00	412(1.48)	406(1.46)	403(1.45)	397(1.43)	7:00	412(1.48)	406(1.46)	403(1.45)	397(1.43)
11:00	544(1.96)	517(1.86)	484(1.74)	469(1.69)	11:00	507(1.82)	475(1.71)	448(1.61)	439(1.58)
12:00	581(2.09)	541(1.95)	508(1.83)	488(1.76)	12:00	541(1.95)	492(1.77)	471(1.70)	455(1.64)
13:00	608(2.19)	564(2.03)	529(1.91)	502(1.81)	13:00	565(2.03)	501(1.80)	481(1.73)	467(1.68)
14:00	620(2.23)	573(2.06)	579(1.94)	504(1.82)	14:00	575(2.07)	497(1.79)	493(1.78)	470(1.69)
15:00	589(2.12)	550(1.98)	527(1.90)	491(1.77)	15:00	471(2.06)	484(1.74)	497(1.79)	469(1.69)
19:00	492(1.77)	478(1.72)	467(1.68)	444(1.60)	19:00	462(1.66)	391(1.41)	431(1.55)	412(1.48)
24:00	457(1.64)	450(1.62)	446(1.61)	428(1.54)	24:00	411(1.48)	359(1.29)	397(1.43)	383(1.38)

주) 상기 표에 표시된 값은 그 시각의 1시간 이전부터 그 시각까지의 평균값과 적산값이다.

Table 4. The ratio between long wave and short wave radiation calculated by accumulate radiation

구성A 11:00~12:00 [단위: MJ/m <sup>2</sup> ]				구성B 11:00~14:00 [단위: MJ/m <sup>2</sup> ]			
구분	장파	단파	단파/장파	구분	장파	단파	단파/장파
도심1	2.12	3.17	1.50	도심1	6.06	8.71	1.44
도심2	1.97	3.22	1.63	교외1	5.36	8.83	1.65
도심3	1.85	3.25	1.75	도심3	5.21	9.03	1.73
도심4	1.78	3.30	1.85	도심4	5.02	9.00	1.79

의 상층대기 온도가 빨리 상승하고 빨리 하강하는 특성을 띠고 있음을 확인한 것이다. 이러한 현상은 일반적으로 고도에 따른 기온의 감소 효과보다는 도시 상층대기와 교외 상층대기가 가진 각각의 장파복사특성에 의한 영향이 더 지배적이라는 의미로 해석할 수 있다. 특히, 고도가 현저히 높은 도심4(산 정상)에 비해 고도가 현저히 낮은 교외1이 상당히 낮은 야간기온(일출직전 시점기준 약 4~5°C의 기온차)을 나타내고 있는 결과에서도 이러한 현상을 확인할 수 있다(Fig. 16).

### 3.3.3 장파와 단파복사 해석

각 관측지점별 단파복사와 장파복사를 비교해보면, 구성A의 경우 관측자료가 안정적인 11:00~12:00 사이의 복사량으로부터 장·단파복사에 대한 비율을 계산하였다(Table 4). 각 관측지점별 장파복사에 대한 단파복사의 비율(단파/장파)은 도심4(1.85), 도심3(1.75), 도심2(1.63), 도심1(1.50)의 순으로 높게 나타나 고도가 높아질수록 그 비율은 낮은 것으로 파악되었다. 이것은 도시를 구성하고 있는 인공구조물이나 열원으로부터 거리가

떨어질수록 그 비율은 크게 산정되어, 도시의 인공화 정도를 상대적으로 평가할 수 있는 하나의 주요한 척도로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 도시와 교외간을 비교한 구성B의 경우 관측자료가 안정적인 11:00~14:00 사이의 관측 값으로 부터 장파복사에 대한 단파복사의 비율(단파/장파)을 계산한 결과 도심4(1.79), 도심3(1.73), 교외1(1.65), 도심1(1.44)의 순으로 높게 나타나 장·단파복사 비율에서는 도시와 교외에 따른 수평적인 분포에 대한 효과보다는 고도에 따른 연직방향에 의한 효과가 더 큰 것으로 확인되었다. 이런 결과로부터 도시와 교외지역간의 장·단파 복사특성의 뚜렷한 차이를 1차적으로 해석할 수 있었으며, 이에 대한 현상규명과 정량화된 분석 결과를 얻기 위해서는 지속적인 연구를 수행할 필요가 있는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통해 도출된 결론을 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) 도시의 관측지점별 기온분포는 도심1에서 도심4의 순으로 고도가 높아질수록 기온이 낮게 나타나는 것으로 확인되었으며, 주간이 야간에 비해 기온차이가 더 크게 형성되었다. 한편, 도시와 교외지역간의 비교에서 교외지역은 도시와는 다른 형태로 최고기온은 도시보다 일찍 도달하고 그 시각 이후의 하강은 급속하게 진행되었으며, 야간에는 고도가 낮은 교외1이 고도가 높은 도심4(산 정상)보다 상대적으로 매우 낮은 고도임에도 불구하고 이보다 현저히 낮은 기온을 나타내었다. 이것은 도시화의 영향으로 인공화된 도시의 열적효과를 설명할 수 있는 하나의 좋은 사례가 될 수 있을 것이다.
- (2) 고도에 따른 단파복사는 정오기준 도심

4(934W/m<sup>2</sup>, 고도 520m), 도심3(919W/m<sup>2</sup>, 고도 240m), 도심2(908W/m<sup>2</sup>, 고도 144m), 도심1(886W/m<sup>2</sup>, 고도 51m)의 순으로 높게 나타나, 고도가 높을수록 더 많은 단파복사량이 관측되었다.

- (3) 일반적으로 고도가 높아짐에 따라 대기의 온도가 낮아지고 이에 따라 대기복사에 의한 하향 장파복사량 또한 고도가 높아짐에 따라 감소하는 일반화된 경향성을 본 연구에서도 명확히 확인할 수 있었다.
- (4) 도심1의 장파복사량은 그 최대값이 632W/m<sup>2</sup>로서 그 순간의 단파복사값(925W/m<sup>2</sup>) 대비 68%로 그 에너지의 절대값 또한 도시의 열환경 형성에 큰 비중을 차지하고 있어 반드시 고려해야할 대기환경요소임을 확인할 수 있었다. 아울러 도심2, 도심3, 도심4에서도 각각 57%, 55%, 46%로 나타나 도시에서 장파복사량(도시대기층의 재복사)은 도시의 열환경 평가에 필수적으로 반영되어야 할 중요인자로 판단된다.
- (5) 본 연구의 장파복사 관측을 통해 교외지역의 상층대기는 도시지역에 비해 온도가 빨리 상승하고 빨리 하강하는 대기특성을 띠고 있어, 도시와 교외간의 상층대기의 복사특성은 서로 다름을 확인할 수 있었다.
- (6) 도시에서의 장·단파복사비율을 관측지점별로 살펴본 구성A에서는 도심4(1.85), 도심3(1.75), 도심2(1.63), 도심1(1.50)의 순으로 나타나 도시를 구성하고 있는 인공 구조물이나 열원으로부터 거리가 멀어질수록 장파복사에 대한 단파복사의 비율(단파복사/장파복사)이 낮은 것으로 확인되었고, 도시와 교외간을 비교한 구성B의 장파복사에 대한 단파복사의 비율은 교외1(1.65), 도심1(1.44)로 도시효과가 커질수록 그 값은 작게 나타나 장파복사에 대한 단파복사의 비율은 도시화에 대한 정량적 평가척도로서 활용할 수 있을 것이다.

## 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0071898).

아울러 본 연구 수행과정에서 관측에 도움을 주신 한국전력공사 대구경북본부 송변전 지원센터, 대구앞산공원 관리사무소, 대구 수성 두산위브더제니스, 현대 하이페리온 관계자 분께 감사의 뜻을 표합니다.

## References

1. 김원도, 부산지역의 도시기온의 수평분포에 관한 연구, 부산대학교 교육대학원 석사학위 논문, 1984
2. 박석봉, 광주지역의 여름철 열섬현상 측정 및 분석, 태양에너지학회 논문집, (24권 4호), 65-75, 2004.12
3. 윤재욱, 중소도시(아산시)의 중간기와 동절기 도시열환경 실측 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, (25권 12호), 453-460, 2009.12
4. 정임수, 최동호, 이부용, 미기상 관측을 통한 하절기 도시와 외곽의 열환경 비교, 한국태양에너지학회 논문집, (29권 6호), 8-16, 2011.06
5. Maria Kolokotroni, Renganathan Giridharan, Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer, Science Direct Solar Energy, (Vol.82 Issue.11), 986-998, 2008.11
6. 정임수, 최동호, 이부용, 하절기 관측을 통한 도시의 지역별 공간녹지분포율에 따른 열환경 특성 연구, 한국태양에너지학회 논문집, (31권 3호), 2011.06
7. Lan G.Hamilton, Michael Davies, Philip Steadman, Andrew Stone, Lan Ridley, Stephen Evans, The significance of the anthropogenic heat emissions of London's buildings: A comparison against captured shortwave solar radiation, (Vol.44), 807-817, 2009
8. Fred Meier, Dieter Scherer, Jochen Richters, Determinatio of persistence effect in spatio-temporal patterns of upward long-wave radiation flux density from an urban courtyard by means of Time-Sequential Thermography, Remote Sensing of Environment, (Vol.114), 21-34, 2010
9. 최동호, 이부용, 하절기 복사환경 관측을 통한 석재, 목재, 알루미늄 바닥재의 열특성 평가, 한국태양에너지학회 논문집, (28권 3호), 35-44, 2008.06
10. 최동호, 이부용, 하절기 실험을 통한 건물 녹화용 피복재료의 복사수지 해석, 한국태양에너지학회 논문집, (30권 3호), 71-80, 2010.06
11. Yinka R. Adebayo, Aspects of the variation in some characteristics of radiation budget within the urban canopy of Ibadan, Atmosphere Environment, (Vol.24 No.1), 9-17, 1990