

WISE 관측자료를 이용한 수도권지역의 복사에너지수지 분석

지준범[†] · 이한경 · 민재식 · 채정훈 · 김상일

한국외국어대학교 차세대도시농림융합기상사업단

Analysis of Radiation Energy Budget Using WISE Observation Data on the Seoul Metropolitan Area

Jee Joon-Bum[†] · Lee Hankyung · Min Jae-Sik · Chae Jung-Hoon · Kim Sangil

Weather Information Service Engine, Hankuk University of Foreign Studies

[†]Corresponding author: rokmcjb717@gmail.com

Abstract

Radiation energy budget was analyzed using observation data from the Weather Information Service Engine (WISE) energy flux tower on the Seoul metropolitan area. Among observation data from the 13 energy flux towers, we used meteorological variables, radiation data (upward and downward short wave, upward and downward long wave, net short wave, net long wave and net radiation), albedo and emissivity for 15 months from July 2016 to September 2017. Although Gajwa (205) and Ttuksumm (216) sites located in urban, the albedo was relatively high due to the surround environment by glass wall buildings and the Han river around the sites. And Bucheon (209) site located in the suburb represented generally low emissivity. As a result, the albedo decreased and the emissivity increased in the city center. In the Seoul metropolitan area, the net radiation energy is 73.9 W/m² that the radiation budget of the surface is absorbed into the atmosphere. According to WISE observation data, it can be seen that observation at each sites are influenced by the surrounding environment.

Keywords: 에너지타워관측(Energy flux observation), 알베도(Albedo), 방출률(Emissivity), 복사에너지수지(Radiation energy budget), 차세대도시농림융합기상사업단(Weather Information Service Engine)

기호설명

- T : 온도 (°C)
- S : 태양복사에너지 or 단파복사에너지 (W/m²)
- L : 장파복사에너지 (W/m²)
- N : 순복사에너지 (W/m²)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.37, No.6, pp.103-114, December 2017
<https://doi.org/10.7836/kses.2017.37.6.103>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 06 November 2017

Revised: 15 December 2017

Accepted: 29 December 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.

그리스 문자

α : 알베도 [무차원 변수]

ε : 방출률 [무차원 변수]

하첨자

up : 상향 (지표면에서 대기방향)

dn : 하향 (대기에서 지표면방향)

net : 순 (상향-하향 또는 순단파 - 순장파)

s : 지표면

1. 서론

태양복사에너지는 대기로 입사되면서 단파복사, 장파복사 형태로 변환되어 지표면에 도달된다. 지표면에 입사된 단파복사에너지는 지표에 의해 반사되거나 방출되어 장파복사, 현열 또는 잠열에너지로 대기로 방출되고 대기 중으로 흡수된다¹⁾. 이러한 복사에너지의 전달과정을 통하여 지표면 특성에 따라 열과 수분 등의 교환이 일어나고 도시 또는 교외지역과 같이 지표면 특성에 따라 서로 다른 특징이 나타난다^{2,3)}. 도시지역은 시멘트 또는 아스팔트와 같이 인공 구조물 등으로 피복되어 있기 때문에 알베도 및 방출률의 변화가 복사수지에 영향을 미치면서 도시만의 열적 특성을 가진다^{4,5)}. 이러한 도시 복사에너지수지의 특성은 도시 열섬 및 강수현상을 발생시켜 예상치 못한 피해를 일으킨다^{6,7)}.

복사에너지수지관점에서 도시와 교외지역을 대상으로 다양한 관측이 수행되었고 이를 이용하여 다양한 분석연구가 수행되었다. Kounouhewa et al. (2013)²⁾은 서아프리카 베냉 지역의 관측자료를 이용하여 월과 계절에 대한 복사에너지를 분석하였고 맑은 날과 흐린 날의 단파복사에너지를 비교분석하였다. Feigenwinter et al. (2017)⁸⁾은 스위스 바젤의 현열과 잠열의 공간적 분포에 대하여 연구하였다. 국내에서는 강릉지역과 기상청 복사관측자료를 이용하여 지역적인 복사특성을 분석하였고 구름과 관련된 관측자료를 이용하여 복사에너지 특성을 규명하였다^{9,10,11,12,13,14)}. 그리고 대구지역을 대상으로 장파, 단파복사 및 기온, 상대습도 등의 관측자료를 이용하여 도시와 교외지역의 복사에너지 특성과 열 환경에 대하여 분석하였고 관측된 장파 및 단파복사에너지를 이용하여 도시의 열 특성을 분석하였다^{15,16,17,18)}.

그러나 대부분의 연구들에서는 한정된 관측소의 자료와 짧은 기간의 사례 중심으로 연구가 수행되어 결과도출에 제한점이 있었다. 차세대도시농림융합기상사업단(Weather Information Service Engine (WISE), 이하 WISE)은 수도권 지역을 대상으로 융합적인 기상 서비스 제공을 위해 도시기상 관측시스템을 구축하였다¹⁹⁾. 이들 중 에너지수지관측은 2012년 관측소 구축을 시작으로 2016년 수도권지역에 총 14개의 에너지수지관측망을 구축

하였고 지속적인 관측을 수행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 관측자료를 수집할 수 있는 2016년 7월 이후의 자료들을 이용하여 관측자료에 나타난 수도권지역의 복사에너지를 분석하고 지표면 알베도와 방출률을 산출하여 분석하였다. 관측자료 분석을 위하여 일, 월 그리고 시간변화에 따른 특성을 시계열 분석을 수행하였고 전체지점의 자료들을 이용하여 공간분석을 시도하였다. 그리고 관측지점의 관측환경에 따른 복사에너지의 공간 분포를 분석하여 수도권 지역의 복사에너지와 복사수지의 특징을 논하였다.

2. 관측자료 및 분석방법

2.1 WISE 관측자료

WISE에서는 수도권 지역의 에너지수지를 관측하기 위하여 2012년부터 관측소를 구축하기 시작하여 2016년 7월부터 총 14소의 관측소를 운영 중이다(Fig. 1 참조). 에너지수지관측소의 관측요소는 관측소에 따라 차이는 있으나 기상관측센서의 기상변수(기압, 기온, 풍향, 풍속, 습도, 지표면온도)와 KIPP&ZONEN CNR4 센서²⁰⁾의 복사에너지 변수들(상하향 단파복사, 상하향 장파복사) 그리고 대기질 변수(CO_2 , H_2O)를 포함한다²⁾. 관측소의 위치는 수도권의 상업, 공업, 주거지, 농림 등 지표이용도의 특성에 따라 위치한다. 대부분의 관측소는 상업, 공업, 주거지 등의 도심에 위치하고 있으며 부천(209), 일산(211), 용인(212)은 교외지역에 위치하였고 여의도(208), 독섬(216)은 한강 가까이에 위치하여 주변 환경에 영향을 받을 것으로 사료된다. 그리고 복사관측자료가 없는 광화문지점(202)의 관측자료는 분석에서 제외하였으며 13소의 자료를 전체적으로 분석할 수 있는 기간은 2016년 7월부터 2017년 9월까지 15개월이다. 각 관측소의 지리적 위치 그리고 관측소 주변의 지표이용도와 복사에너지 관측에 영향을 미치는 요소들을 Table 1에 정리하였다. 관측소들은 대체로 높은 건물의 옥상이나 넓은 공터에 설치되어 주변 지형지물에 의하여 차폐가 발생되지 않았으나 일부 지점에서 태양의 고도가 낮은 겨울에 전신주, 빌딩 등에 의하여 단시간 차폐가 발생되었다.

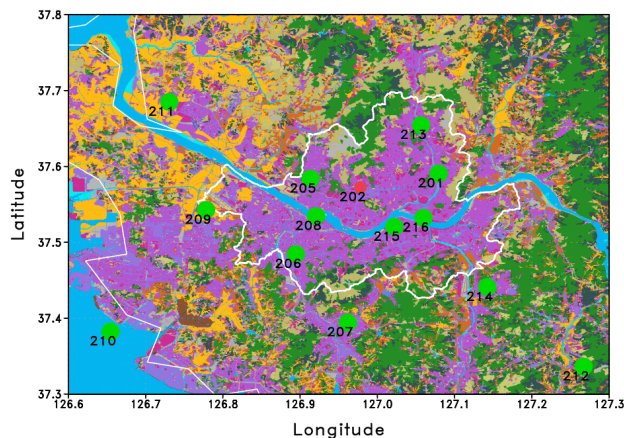


Fig. 1 Geolocations of WISE energy budget observations. Green dot and black number represent WISE observation sites and thick white line represents Seoul area

Table 1 Summary of WISE observation sites

Site id	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Alt. (m)	Land use (%) (within a radius of 500 m)	Remark shading materials (direction)
201	37.59	127.08	45	traffic 41.4/residence 30.9/commerce 19.7	electric pole (ESE)
202	37.57	126.98	114	traffic 59.6/commerce 17.4/bare 9.4	none of radiation data
205	37.58	126.91	44	traffic 46.1/residence 35.0/commerce 11.1	-
206	37.48	126.89	81	traffic 56.9/commerce 40.3/public facility 2.3	-
207	37.39	126.96	101	traffic 56.9/commerce 33.0/public facility 5.2	-
208	37.53	126.92	17	water 54.5/traffic 22.7/grassland 19.1	glass wall building (ESE)
209	37.54	126.78	20	agriculture 82.1/grassland 10.4/traffic 3.2	-
210	37.38	126.65	14	traffic 61.0/grassland 22.5/commerce 11.8	building (SW)
211	37.68	126.73	13	agriculture 53.2/traffic 11.9/bare 11.6	-
212	37.33	127.27	110	forest 53.8/grassland 16.0/traffic 14.2	mountain (E)
213	37.65	127.06	76	traffic 64.6/grassland 16.6/commerce 9.0	electric pole (SW)
214	37.44	127.14	84	residence 47.0/traffic 30.2/commerce 19.3	-
215	37.52	127.02	47	traffic 35.8/commerce 35.4/residence 27.0	building (W)
216	37.53	127.06	15	water 35.2/traffic 36.9/grassland 24.3	-

2.2 분석방법

WISE 에너지수지 관측자료를 이용하여 복사에너지의 시간, 월, 연 그리고 공간적인 분포 특성을 분석하였다. 도시와 교외지역을 대표하는 중랑지점(201)과 부천지점(202)의 시계열분석을 수행하였고 2016년 7월부터 2017년 6월까지 1년간의 자료를 이용하여 공간분석을 수행하였다. 지표면 근처의 에너지수지(순복사에너지 (N))는 상하향 단파복사에너지(S_{dn}, S_{up})와 상하향 장파복사에너지(L_{dn}, L_{up})를 이용하여 계산할 수 있다.

$$N = S_{dn} + S_{up} + L_{dn} + L_{up} \tag{1}$$

복사에너지수지 분석에 추가하여 상향과 하향의 태양에너지를 이용하여 지표면 알베도를 산출하였고 지표면온도와 상향 장파복사에너지를 이용하여 방출률을 산출하여 지표면 복사수지와 비교분석하였다. 지표면 알베도(α)는 복사계의 특성을 고려하여 태양의 고도가 10° 이상의 복사에너지를 고려하여²⁰⁾ 하향단파복사에너지가 60 W/m² 이상일 때 상향단파복사에너지와의 비율로 계산하였다. 그리고 지표면 방출률(ϵ)은 지표면온도(T_s)를 기반으로 계산된 지표면 장파복사에너지($L_{up}(T_s)$)와 관측된 상향장파복사에너지(L_{up})의 비율로 계산하였다. 지표면 알베도와 방출률은 식 (2)~(3)과 같이 정리할 수 있다.

$$\alpha = \frac{S_{up}}{S_{dn}} \tag{2}$$

$$\epsilon = \frac{L_{up}}{L_{up}(T_s)} \tag{3}$$

여기서, $L_{up}(T_s)$ 는 스테판-볼츠만 법칙²¹⁾에 의하여 σT_s^4 으로 계산될 수 있으며 σ 는 스테판-볼츠만 상수 ($= 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$)이다. 지표면 알베도와 방출률은 관측소 주변의 지표이용도와 복사에너지를 차폐하는 장애물 등의 영향을 받을 수 있다. 관측소 주변은 Table 1과 같이 복잡한 지표특성이 반영되기 때문에 산출 결과와 관측된 복사에너지의 비교를 통하여 분석할 수 있다.

3. 관측결과 및 고찰

WISE 관측자료 중 2016년 7월부터 2017년 9월까지 15개월의 관측자료를 분석하였다. 관측된 복사에너지 자료의 일변화 경향을 파악하기 위하여 맑은 날(2017년 6월 18일)과 강수가 있었던 날(2017년 6월 25일)의 중량지점(201)의 시계열을 나타내었다(Fig. 2 참조). 맑은 날(2017년 6월 18일)의 경우 8시경 증상층운의 영향으로 하향과 상향 태양에너지의 급격한 감소가 나타났다. 단파복사에너지는 정오까지 증가하다가 야간에 0 W/m^2 로 감소되었으며 순단파복사에너지는 항상 주간에 지표로 복사에너지가 전달된다. 상향 장파복사는 하향 장파복사보다 대체로 크게 관측된다. 장파복사에너지는 지표면에서 대기로 전달되지만 대기의 온도가 높을 때는 대기에서 지표로 장파복사에너지가 전달된다. 알베도는 다소 낮은 값을 보였고 관측소 주변의 영향과 하향 태양에너지의 감소로 일출과 일몰시 급격한 알베도 변화가 나타난다. 방출률은 주간에 태양에너지의 증가로 방출률이 급격히 감소되었다. 지표면에서 방출되는 장파복사에너지($L_{up}(T_s)$)는 주간에 지표면온도에 민감하게 반응하며 지표면과 대기의 기온차로 인하여 센서에서 관측되는 상향 장파복사에너지(L_{up})보다 크게 나타난다.

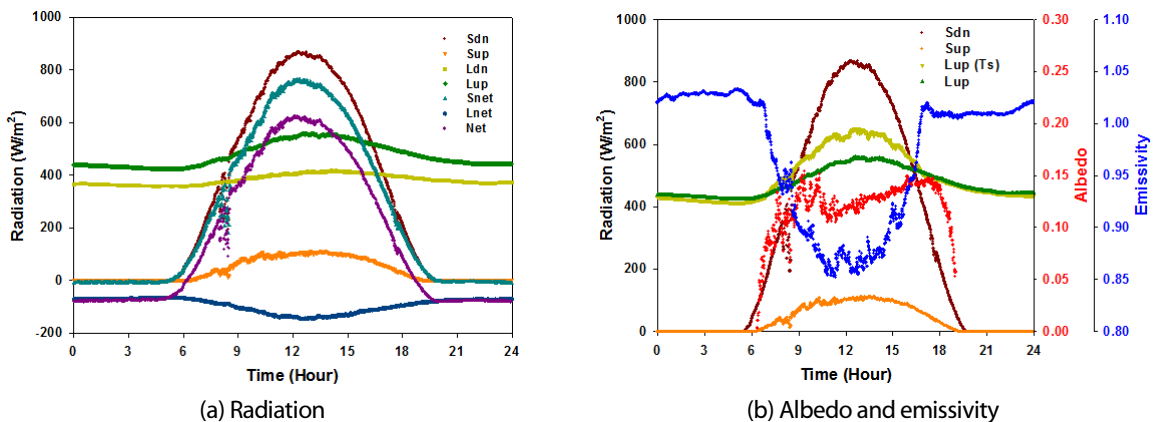


Fig. 2 Radiation variables at Jungnang site (201) on clear day (June 18 2017)

2017년 6월 25일은 구름과 강수의 영향으로 태양복사에너지가 급격하게 감소되는 것을 볼 수 있다(Fig. 3 참조). 이로 인하여 순태양복사, 순복사에너지도 유사한 감소 경향을 보였으며 강수가 있을 때 알베도의 감소와 방출률의 증가가 나타났다. 이러한 이유는 도시지역의 특성으로 인한 것으로 도시지역에서는 구름 또는 강수에 의한 지표면온도 변화가 있어도 지표면온도가 대기온도보다 높고 지표면에서 방출되는 장파복사에너지 ($L_{up}(T_s)$)가 관측소 주변의 매질의 영향과 대기를 통과하여 관측되는 상향복사에너지(L_{up})보다 크기 때문이다.

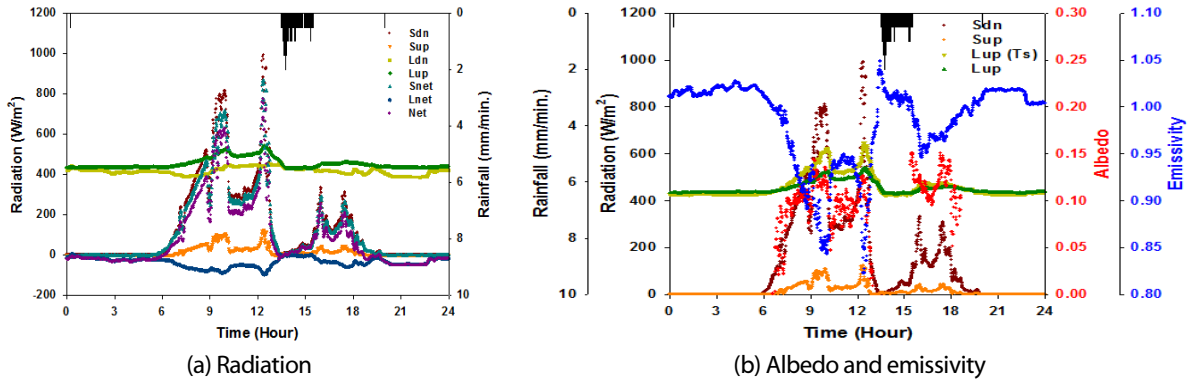


Fig. 3 Same as Fig.2 except for rainy day (June 25 2017)

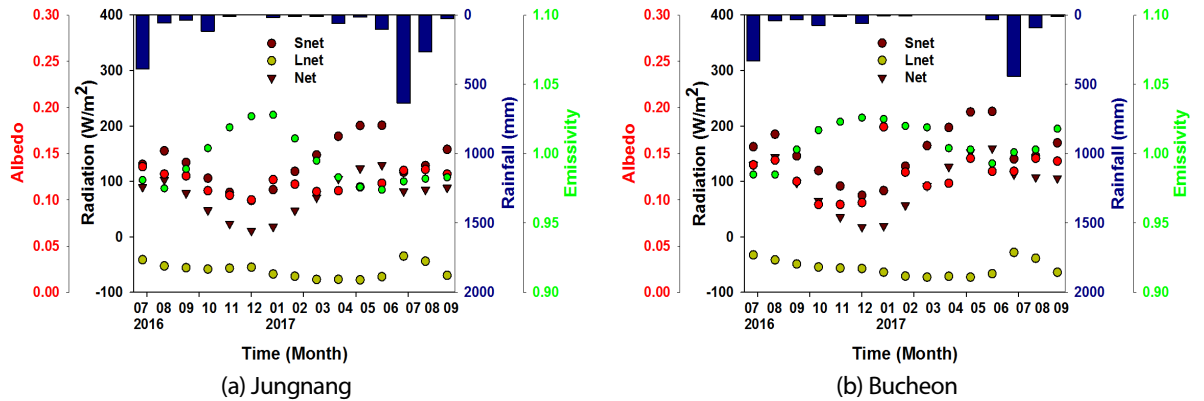


Fig. 4 Monthly mean radiation, albedo and emissivity at Jungnang and Bucheon sites from July 2016 to September 2017

관측지점의 주변 환경과 노면 상태가 복사에너지 변화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 중랑과 부천시점의 월평균 복사에너지를 분석하였다(Fig. 4 참조). 분석기간 동안의 월누적 강수량은 중랑지점에서 다소 크게 나타나고 있으나 월평균 복사에너지의 차이는 두 지점에서 뚜렷이 나타나지 않았다. 그러나 여름철인 7월을 살펴 보면 2017년의 강수량이 2016년과 비교하여 2배 이상 증가되어 태양복사에너지와 순복사에너지의 감소가 나타났다. 2017년 1월의 경우 부천시점의 알베도가 다른 월보다 높게 계산되었으나 도시지역인 중랑지점은 대부분 포장된 도로와 주거지로 구성되어 있고 눈과 같이 알베도를 상승시키는 요인들이 유지되지 않았기 때문에 상대적으로 상승이 나타나지 않았다. 여름철에는 하향단파복사에너지가 증가하고 지표면온도가 상승하여 방

출률이 감소하는 반면 겨울철에는 하향단파복사에너지가 줄어들고 지표면온도가 낮아지면서 방출률이 증가하였다. 따라서 교외지역의 식생과 같은 자연적인 표면 상태는 태양복사에너지를 반사하여 도심지역보다 알베도가 높고 식생 등에 의하여 방출되는 상향장파복사에너지를 증가시켜 방출률이 낮았다.

2016년 7월부터 2017년 6월까지 복사에너지, 알베도 그리고 방출률의 연평균을 분석하였다(Fig. 5 참조). 관측지점에 따라 복사에너지의 차이는 있었으나 관측소사이의 거리가 짧아 차이는 크지 않았다. 순태양복사에너지는 연평균 160 W/m²로 대기에서 지표면으로 복사에너지가 유입되었고 순 장파복사에너지는 -80 W/m²로 지표면의 장파복사가 대기로 방출되었다. 따라서 수도권지역에서는 지표면 근처의 순복사에너지는 연평균 80~90 W/m²로 지표면이 에너지를 받아 지표면 근처의 복사에너지는 과잉상태가 되어 기온이 상승되는 것으로 분석된다. 산출된 알베도와 방출률의 지점별 차이는 비교적 뚜렷이 나타났다. 대체로 알베도가 높은 지점에서 방출률이 낮게 나타났다. 방출률은 구로(206), 안양(207), 부천(209), 일산(211) 그리고 노원(211)에서 대체로 낮은 값(0.96 이하)이 나타났고 여의도(208), 용인(212) 그리고 성남(214)에서 높은 값(0.98 이상)이 나타났다. 그리고 알베도는 가좌(205), 일산(211), 독섬(216)에서 0.2 이상의 높은 값을 보였고 한강 주변의 공원에 위치한 여의도(208)에서 가장 낮은 0.1의 알베도가 나타났다. 대체로 도심지에서 인공피복으로 높은 방출률을 나타냈으며 주변 농경지가 포함된 지역에서 식생의 영향으로 방출률이 낮게 나타났다^{22,23}. 그리고 유리벽 건물 등이 많이 분포한 변화한 도심지역에서 높은 알베도가 나타났다.

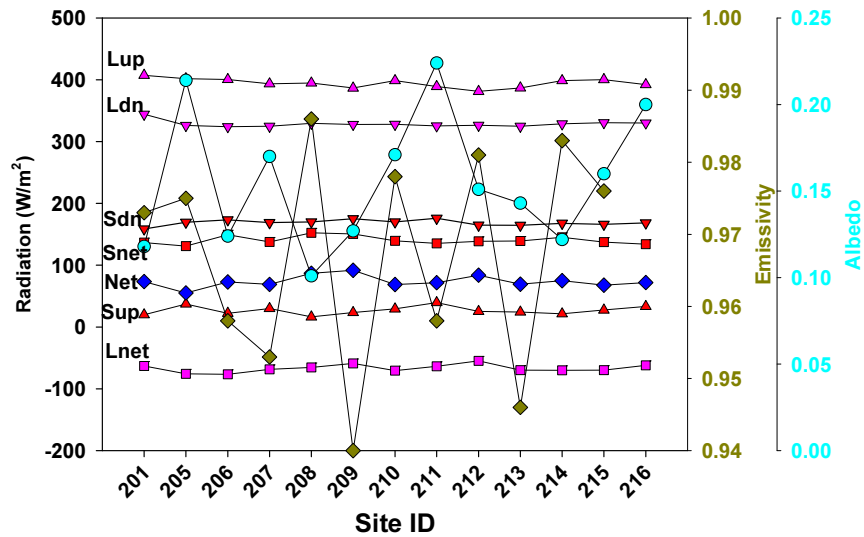


Fig. 5 Yearly mean radiation, albedo and emissivity with WISE observation sites from July 2016 to June 2017

지점별 연평균 값들을 지도위에 표출하여 공간분석을 수행하였다(Fig. 6 참조). 하향단파복사에너지는 지역별로 큰 차이를 보이지는 않았으나 서울을 중심으로 서쪽에서 높게 나타났고 동쪽에서 낮게 나타났다. 상향장파복사에너지는 지표면 방출률에 따라 나타나는 값으로 대체로 서울 중심부에서 높은 장파복사에너지를 방출

하였다. 순복사에너지는 부천에서 가장 큰 값이 나타났고(91.80 W/m²) 광화문지점에서 가장 낮은 값이 나타났다(55.22 W/m²). 대체로 서울을 중심으로 순복사에너지가 낮았고 서울의 주변지역에서 높은 순복사에너지가 나타났다. 전지구 지표면 복사수지의 특성에 따라 우리나라는 북반구 중위도에 위치하여 복사에너지가 평형에 가까울 것으로 생각되나 서울 지역의 순복사에너지 분포를 보면 전체적으로 100 W/m² 이하로 복사에너지가 대기 중에 흡수되는 것으로 분석된다. 알베도와 방출률은 지점에 따라 큰 차이를 보이지는 않았으나 서울 중심부의 알베도 분포는 주변지역보다 낮게 나타났고(최대값 0.22(일산(211)), 최소값 0.10(여의도(208))) 방출률은 주변지역보다 서울 중심부에서 높게 나타났다(최대값 0.98(여의도(208)), 최소값 0.94(부천(209))). 이는 도심지일수록 알베도는 감소하였고 방출률은 증가하는 것으로 분석된다.

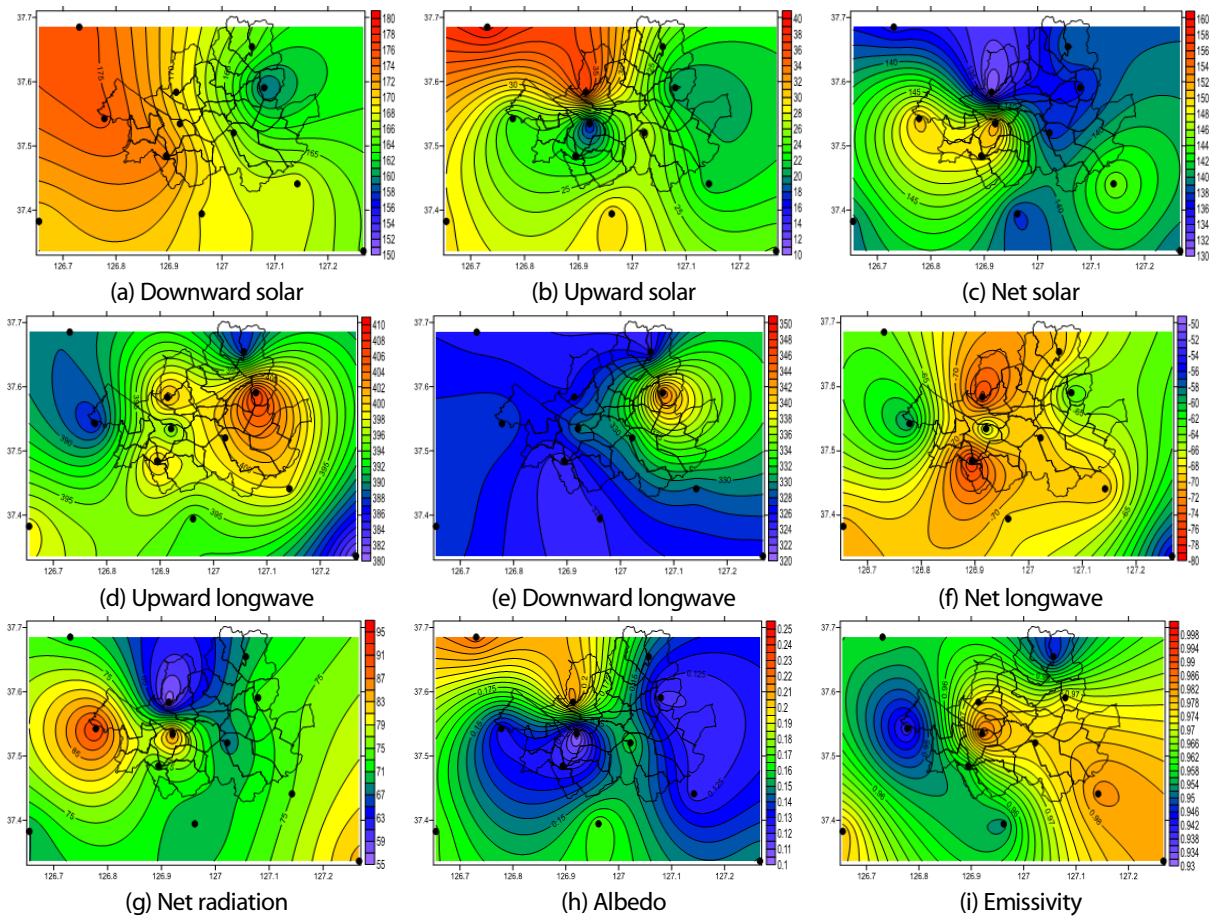


Fig. 6 Spatial distribution of yearly mean radiation, albedo and emissivity from July 2016 to June 2017. And black dots are represented WISE observation sites

지점별 순단파복사, 순장파복사, 순복사에너지를 Fig. 7에 나타내었다. 전체 지점에 대한 순단파복사에너지의 평균은 141.1 W/m²이었고 구로(206), 여의도(208), 부천(209), 성남(214)지점이 상대적으로 지표면에 도달하는 순단파복사에너지가 크며 가좌(205), 일산(211)지점에서 작았다. 순장파복사에너지의 평균은 -67.2

W/m^2 로 지표면에서 대기로 장파복사에너지가 방출되었다. 상대적으로 가좌(205), 구로(206)지점의 순장파복사가 컸으며 부천(209), 용인(212)지점이 작았다. 순복사에너지의 평균은 $73.9 W/m^2$ 이었으며 전지점에서 복사에너지가 지표면근처로 유입되어 복사에너지의 과잉을 나타낸다. 지점별 순복사에너지 분포는 순단파복사에너지의 분포특성과 동일하게 나타났으며 순단파복사에너지가 수도권의 복사에너지수지(순복사에너지)에 영향을 미치는 것으로 분석된다.

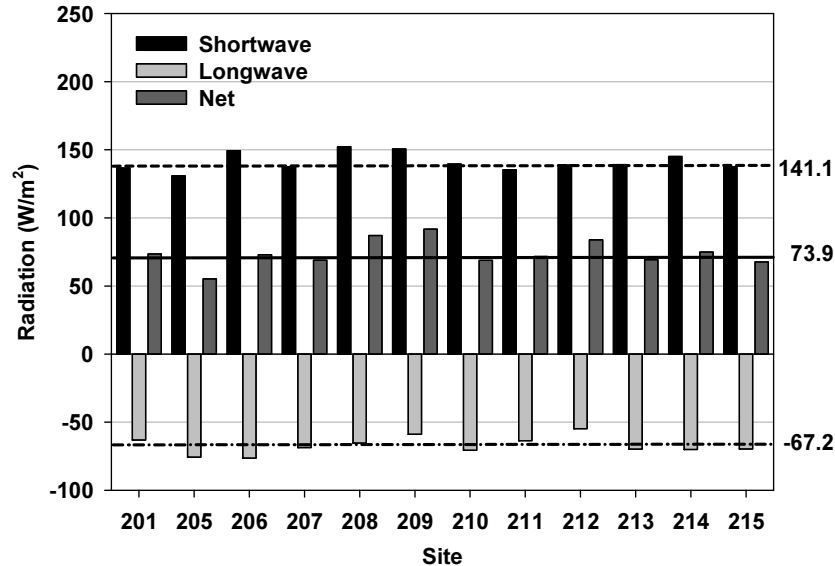


Fig. 7 Net shortwave, net longwave and net radiation with WISE observation sites from July 2016 to June 2017. Values on right y-axis mean the average of each radiation

5. 결론

본 연구에서는 WISE 에너지수지 관측자료를 이용하여 수도권지역의 복사특성에 대하여 분석하였다. 수도권에 위치한 총 13개 에너지수지 관측자료 중 2016년 7월부터 2017년 9월까지 15개월 동안의 강수량, 복사에너지(상하향 단파, 상하향 장파, 순단파, 순장파, 순복사)와 복사에너지로부터 산출된 알베도와 방출률을 분석하였고 결론은 다음과 같다.

- (1) 맑은 날 태양복사에너지는 기온과 지표면온도를 상승시켰고 야간에는 지표면에서 방출된 장파복사가 대기온도의 하강을 완화하였다. 지표면온도는 기온과 유사한 경향을 보였으나 주간동안 태양에너지에 의한 상승이 크게 나타났다. 순복사에너지는 주간에 양의 값으로 지표면을 가열하였고 야간에는 음의 값으로 지표면에서 대기로 복사에너지를 방출하였다.
- (2) 중랑지점(201)의 알베도는 월별 차이가 크지 않았고 방출률은 여름에 감소하고 겨울에 증가하는 경향을 나타냈다. 부천지점(209)은 관측지점 주변이 논과 밭으로 상향장파에너지가 중랑지점보다 작게 관측되

있고 특히 겨울철 적설의 영향으로 2017년 1월의 알베도가 크게 증가되었다. 자연적인 지표 상태는 태양 복사에너지를 반사하여 대부분 중랑지점보다 부천지점이 알베도는 높았고 방출률은 낮았다.

- (3) 2017년 여름철 강수는 2016년과 비교하여 2배 이상 증가되었고 흐린 날이 많아 단파복사에너지가 50 W/m^2 이상 감소가 발생되었으며 이에 따라 순복사에너지가 감소되었다. 그러나 장파복사에너지의 변화는 크지 않았다.
- (4) 공간분포를 분석하였을 때 도심에 위치하고 있는 지점(201, 205, 206, 207, 208, 213, 214, 215, 216)에서 알베도가 대체적으로 낮게 분포되었다. 가좌지점과 뚝섬지점은 기온이 높았지만 관측소 주변 유리벽 건물 및 한강으로 둘러싸인 환경으로 알베도가 비교적 높게 나타났다. 교외지역에 위치하는 지점(209,210,211,212)에서 대체로 방출률이 낮게 나타났다. 부천지점에서는 가장 낮은 방출률이 나타났고 관측지점 주변이 논과 밭으로 구성되어 있고 도심의 관측지점보다 지표면온도가 상대적으로 낮기 때문인 것으로 분석된다.
- (5) 관측소 주변 환경과 단파복사에너지와 관련성이 높은 알베도는 일산지점(211)에서 최대값(0.22)이 계산되었고 여의도지점(208)에서 최소값(0.10)이 나타났다. 관측환경과 지표면 특성과 관련성이 높은 방출률은 여의도지점(208)에서 최대값(0.98)이 나타났고 부천지점(209)에서 최소값(0.94)이 나타났다. 수도권지역은 중위도에 위치하고 있으며 평균 순복사에너지는 73.9 W/m^2 로 지표면의 에너지가 대기 중으로 방출되어 누적되는 것으로 분석된다.
- (6) WISE 에너지수지 관측자료를 분석 한 결과, 관측소 주변 환경과 지표면의 특성은 상향단파복사에너지와 상향장파복사에너지에 민감하게 영향을 주는 것으로 분석된다. 요소별로 분리하여 관측된 복사에너지는 지표면 복사에너지수지 분석에 중요한 자료로 활용될 수 있으며 알베도와 방출률 등 세부적인 지표면 특성을 산출할 수 있다. 이를 통하여 관측소 주변의 기상 특성과 관측환경 분석 등의 기초자료로 활용이 가능하다.

후기

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임니다(과제번호: 2017R1E1A1A03070224).

REFERENCES

1. Arya, S. P. 2001: Introduction to Micrometeorology, Academic press, New York, USA, pp. 79, 2001.
2. Kounouhéwa, B., Mamadou, O., N’Gobi, G. K., and Awanou, C. N., Dynamics and Diurnal Variations of Surface Radiation Budget Over Agricultural Crops Located in Sudanian Climate, Atmospheric and Climate Sciences, Vol. 3 No. 1, pp. 121-131, 2013.
3. Park, M. S., Park, S. H., Chae, J. H., Choi, M. H., Song, Y., Kang, M., and Rho, J. W., High-resolution Urban

- Observation Network for User-specific Meteorological Information Service in the Seoul Metropolitan Area, South Korea, Atmospheric Measurement Techniques, Vol. 10, 1575-1594, 2017.
4. Oke, T.R., The energetic basis of the urban heat island, Quarterly, Journal of Royal Meteorological Society, Vol. 108, pp. 1-24, 1982.
 5. Song, Y., Chae, J. H., Choi, M. H., Park, M. S., and Choi, Y. J., Standardization of Metadata for Urban Meteorological Observations, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 30, No. 6, pp. 600-618, 2014.
 6. Lee, S. H., Park, M. H., and Kim, H. D., Study on the Variation of Nighttime Cooling Rate Associated with Urbanization, Journal of Korean Society Atmospheric Environment, Vol. 24, No. 1, pp. 83-90, 2008.
 7. Grimmond, C. S. B., Progress in Measuring and Observing the Urban Atmosphere, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 84, No.1-3, pp. 3-22, 2006.
 8. Feigenwinter, C., Parlow, E., Vogt, R., Schmutz, M., Chrysoulakis, N., Lindberg, F. and del Frate, F., Spatial Distribution of Sensible and Latent Heat Flux in the URBANFLUXES Case Study City Basel (Switzerland), In Urban Remote Sensing Event (JURSE), Joint, 1-4, 2017.
 9. Jee, J. B., Kim, Y. D., Lee, W. H., and Lee, K. T., Temporal and Spatial Distributions of Solar Radiation with Surface Pyranometer Data in South Korea, Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 31, No. 7, pp. 720-737, 2010.
 10. Lee, K. T., Zo, I. S., Jee, J. B., and Choi, Y. J., Temporal and Spatial Distributions of the Surface Solar Radiation by Spatial Resolutions on Korea Peninsula, New & Renewable Energy, Vol. 7, No 1, pp. 22-28, 2011.
 11. Jee, J. B., Lee, S. W., Choi, Y. J., and Lee, K. T., The Generation of Typical Meteorological Year for Research of the Solar Energy on the Korean Peninsula, New & Renewable Energy, Vol. 8, No. 2, pp. 14-23, 2012.
 12. Kim, B.Y., Jee, J. B., Jeong, M.J., Zo, I. S., and Lee, K.T., Estimation of Total Cloud Amount from Skyviewer Image Data, Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 36, No. 4, pp. 330-340, 2015.
 13. Ahn, S. H., Zo, I. S., Jee, J. B., Kim, B. Y., Lee, D. G., and Lee, K. T., The Estimation of Monthly Average Solar Radiation using Sunshine Duration and Precipitation Observation Data in Gangneung Region, Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 37, No. 1, pp. 29-39, 2016.
 14. Park, H. I., Zo, I. S., Kim, B.Y., Jee, J. B., and Lee, K. T., An Analysis of Global Solar Radiation using the GWNU Solar Radiation Model and Automated Total Cloud Cover Instrument in Gangneung Region, Journal Korean Earth Science Society, Vol. 38, No. 2, pp. 129-140, 2017.
 15. Jung, I. S., Choi, D. H. and Lee, B. Y., Analysis of Radiative Characteristics at Urban Area by Observation in Summer Season, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 3, pp. 133, 2011.
 16. Choi, D. H., Lee, B. Y., and Oh, H. Y., 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, pp. 71-81, 2012.
 17. Choi, D. H., Lee, B. Y., and Oh, H. Y., Comparison and Analysis of Radiation Environment between Downtown and Suburban Area during Summer Season, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 1, pp. 105-116, 2014.
 18. Baek, C. H., Choi, D. H., Lee, B. Y., and Lee, I. G., Analysis of Cloudiness and Radiation Characteristics during Summer in the Greater Daegu Area, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 37, No. 4, pp. 13-22, 2017.
 19. Chae, J. H., Park, M. J. and Choi, Y. J., The WISE Quality Control System for Integrated Meteorological Sensor Data, Atmosphere, Vol. 24, No. 3, pp. 445-456, 2014.

20. Kipp&Zonen, CNR 4 Net Radiometer Instruction Manual, Kipp & Zonen, Netherlands, pp. 35, 2014.
21. Iqbal, M., An Introduction to Solar Radiation, Academic press, New York, USA, pp. 391, 1983.
22. Steyaert, L. T. and Knox, R. G., Reconstructed historical land cover and biophysical parameters for studies of land-atmosphere interactions within the eastern United States, Journal of Geophysical Research, Vol. 113, D02101, pp. 1-27, 2008.
23. U. S. Environmental Protection Agency, AERSURFACE User's Guide, EPA-454/B-08-001, North Carolina, USA, pp. 35, 2008.