Journal of Environmental Science International
26(9); 1101~1110; September 2017

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2017.26.9.1101

TECHNICAL NOTE

함평만 갯벌에서 순복사에 의한 토양열 플럭스와 기온의 변동 분석

박호선 · 권병혁 · 김일규[1] · 소윤환[2] · 오세봉[3] · 강동환[4]*

부경대학교 환경대기과학과, [1]부경대학교 환경공학과, [2]부경대학교 지구과학연구소, [3]한국농어촌공사
[4]부경대학교 환경연구소

Analysis of Variations in Soil Heat Flux and Air Temperature by Net Radiation at a Mud Flat in Hampyeong Bay

Ho-seon Park, Byung Hyuk Kwon, Il-Kyu Kim[1], Yoon Hwan So[2], Se Bong Oh[3], Dong-hwan Kang[4]*

Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea
[1]Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea
[2]Geo-Sciences Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Korea
[3]Korea Rural Community Corporation, Naju 58327, Korea
[4]Environmental Research Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract

In this study, we analyze changes in soil heat flux and air temperature in August (summer) and January (winter) according to net radiation, at a mud flat in Hampyeong Bay. Net radiation was observed as -84.2~696.2 W/m^2 in August and -79.4~352.5 W/m^2 in January. Soil heat flux was observed as -80.7~139.5 Wm^{-2} in August and -49.09~137 W/m^2 in January. Air temperature was observed as 24.2~32.9˚C in August and -1.5~11.1˚C in January. The rate of soil heat flux for net radiation (H_G/R_N) was 0.17 in August and 0.34 in January. Because the seasonal fluctuation in net radiation was bigger than the soil heat flux, net radiation in August was bigger than in January. We estimated a linear regression function to analyze variations in soil heat flux and air temperature by net radiation. The linear regression function and coefficient of determination for the soil heat flux by net radiation was $y=0.19x-7.94$, 0.51 in August, and $y=0.39x-11.69$, 0.81 in January. The time lag of the soil heat flux by net radiation was estimated to be within ten minutes in August 2012 and January 2013. The time lag of air temperature by net radiation was estimated at 160 minutes in August, and 190 minutes in January.

Key words : Mud flat, Net radiation, Soil heat flux, Air temperature

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 특히 서해안과 남해안은 해안선이 복잡하고 갯벌이 넓게 발달해 있다. 갯벌은 조간대에 해당되는 곳으로서 육지와 바다의 경계면에 위치하고 있는 영역을 일컫는다.

Received 14 June, 2017; **Revised** 25 August, 2017;
Accepted 28 August, 2017
***Corresponding author**: Dong-hwan Kang, Environmental Research Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Korea
Phone : +82-51-629-7393
E-mail : dhkang@pknu.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

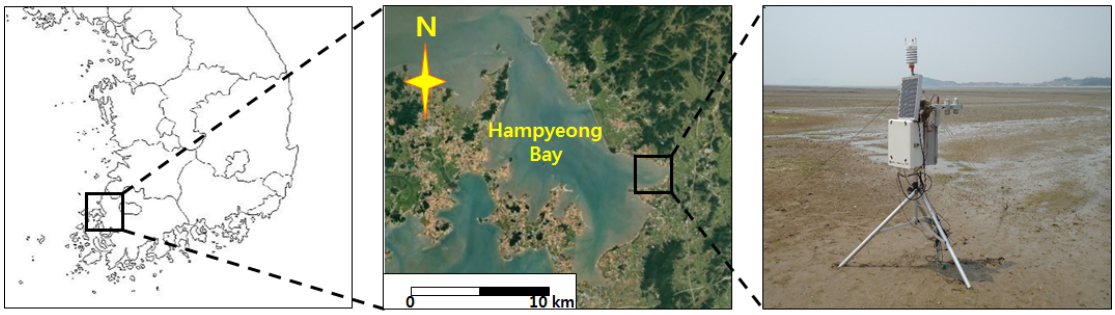

Fig. 1. AWS observation site at Hampyeong and monitoring point.

지금까지 쓸모없는 땅으로 버려져 왔던 갯벌이 지구가 간직한 마지막 자연의 보고이고 생명체의 모태라는 사실이 알려지면서 갯벌의 보존과 현명한 활용에 대한 관심이 높아지고 있다(Park, 2000). 이러한 갯벌은 단순한 토지 자원뿐만 아니라 홍수 억제, 침식 조절, 수질 정화 등의 역할을 수행할 뿐 아니라 많은 생물들의 서식지이기도 하다(Kim, 2003).

지표층은 지면으로부터 수십 m까지 지표면의 영향을 직접적으로 받는 층이다. 따라서 지표층 연구에 있어서 지표 특성의 측정은 필수적이다(Kim et al., 2006). 지표층의 열에너지 수지에서 토양열 플럭스는 지표면 온도 예측에 중요한 인자이며 현열 플럭스와 잠열 플럭스에 영향을 미친다(Dearorff et al., 1987). 지면 온도 변화의 주요 인자는 태양복사 강도의 변화이므로 토양열 플럭스는 순복사량과 매우 밀접한 관계가 있다(Santanello and Friedl, 2003). 국내에서 토양열 플럭스에 관한 연구들은 진행된바 있다. 광릉수목원 혼합림에서 토양열 플럭스의 변화(Park et al., 2003), 침엽수림에서 토양열 플럭스의 공간 변화(Park et al., 2003), 광릉수목원 혼합림에서 복사 에너지의 계절 변화 특성(Kim et al., 2003), 광릉수목원 침엽수림에서 토양열 플럭스의 시공간적 변화(Kim et al., 2002), 감자밭의 재생종이 및 흑색 플라스틱 필름멀칭에 따른 지표면 에너지 수지와 토양온도의 변화(Cui and Lee, 2001) 등 국내에서도 토양열 플럭스에 관한 연구들이 이미 진행된 바가 있다. 대부분의 연구가 수목원이나 농경지에서 연구가 수행되었으며, 갯벌에서 토양열 플럭스의 연구는 장비 설치 및 접근의 어려움으로 인해 미진한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 서남해안의 복잡한 해안을 대표하는 함평만 갯벌에서 8월과 1월의 순복사와 토양열 플럭스, 기온을 관측하여 일/계절별 순복사에 따른 토양열 플럭스와 기온의 변동을 분석하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 전라남도 함평군, 무안군 및 영광군에 접해 있는 함평만 갯벌에서 수행되었다. 함평만 갯벌의 면적은 약 10,000 ha 정도이며 우리나라 서남해안의 리아스식 해안을 대표한다. 함평만 갯벌은 육지부의 낮은 구릉지 및 평야와 연결되어 매우 완만한 경사를 이루고, 연안역 수심이 거의 5 m 이하로 낮고 조위가 평균 4.38 m로 저조 시 넓은 갯벌이 드러난다(Fig. 1). 갯벌에서의 변화를 알아보기 위해 함평만에서도 식생이 자라지 않는 지역을 대상으로 선택하였다. 선정된 연구지역에 AWS (Automatic Weather Station)를 구축하여 미기상적 환경 변화를 관측하였고, 순복사계(CNR 1)와 토양 열 플럭스 플레이트(soil heat flux plate, HFT3)를 설치하였다. 순복사계에는 단파와 장파를 각각 상향과 하향으로 측정하는 센서가 내장되어 있고, 토양 열 플럭스 플레이트는 아랫면과 윗면의 온도차를 차등 열전도로 측정한다. 실제 관측은 2012년 8월 6~9일 및 2013년 1월 28~31일 동안 수행되었으며, 본 연구에서는 관측 자료의 연속성(0~24시)과 관측기기 설치 및 철수에 따른 오차를 고려하여 2012년 8월 7~8일(이후 '8월'로 표기) 및 2013년 1월 29~30일(이후 '1월'로 표기)의 자료만을 이용하여

분석하였다.

순복사(R_N)는 단파복사(R_S)와 장파복사(R_L)의 차로 설명할 수 있다. 단파복사의 대부분은 태양으로부터 직접 오는 것이고, 일부는 지표면과 구름에 의한 반사 복사, 대기분진 또는 에어로졸로 부터 산란된 산란복사가 있다. 장파복사는 지표로부터 나가는 지구 복사와 구름이나 대기에서 다시 지표로 들어오는 대기복사가 있다(Aria, 2001). 단파복사는 식(1)로 표현되고 장파복사는 식(2)로 표현된다.

$$R_S = R_{S\downarrow} + R_{S\uparrow} \tag{1}$$

$$R_L = R_{L\downarrow} + R_{L\uparrow} \tag{2}$$

여기서 $R_{S\downarrow}$는 대기에서 지표로 향하는 하향 단파복사(W/m^2), $R_{S\downarrow}$는 지표에서 반사되어 대기로 향하는 상향 단파복사(W/m^2)를 의미한다. 그리고 $R_{L\uparrow}$는 지표에서 방출되어 대기로 향하는 상향 장파복사(W/m^2), $R_{L\uparrow}$는 구름을 포함한 대기로부터 지표로 오는 하향 장파복사(W/m^2)를 의미한다. 그리고 맑은 날 낮과 밤 중의 순복사는 식(3)와 식(4)로 표현된다.

$$R_N \approx R_S \tag{3}$$

$$R_N = R_L = R_{L\downarrow} + R_{L\uparrow} \tag{4}$$

맑은 날 낮에는 $R_S \gg R_L$으로서 장파복사는 단파복사에 비해 무시할 수 있을 정도로 작고, 밤에는 태양으로부터 오는 단파복사(R_S)가 없기 때문에 식(3)과 식(4)와 같이 순복사를 표현 할 수 있다.

순복사계에서 측정된 4개의 복사 성분은 식(5)에 의해 순복사를 계산할 수 있다.

$$R_N = R_{S\downarrow} + R_{S\uparrow} + R_{L\downarrow} + R_{L\uparrow} \tag{5}$$

토양의 열전도도는 변동이 심하고 측정이 쉽지 않다. 지표면 부근의 공기와 토양 매질 사이에 나타나는 온도경도는 크다. 온도 센서의 한정된 성능과 지표면에 설치된 센서를 통풍시키고 보호하기에는 어려움이 많기 때문에 야외에서 지표면 온도를 직접 측정하는 것이 쉽지 않으므로, 토양열 플럭스를 직접적으로 측정하는 것도 어렵다(Arya, 2001). 지표면에서의 토양열 플럭스를 측정하는 경우, 토양의 열전도도와 최소한 두 깊이에서 지중온도를 측정하여 온도의 연직경도를 산출하여야 하며(Kim et al., 2007), 주어진 방향에서의 열 플럭스는 그 방향에서의 온도경도에 비례한다(Arya, 2001). 즉, 연직 방향의 열 플럭스는 식(6)로 표현된다.

$$H = -k\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right) \tag{6}$$

만약 체적 내의 에너지의 생성원과 흡원이 존재하지 않는다면 에너지 보존 법칙에 따라 체적 내의 열류순 변화율은 체적 내의 내부 에너지 변화율과 동일해야만 한다. 이는 식(7)로 표시할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(C_s T) = -\frac{\partial H}{\partial z} \tag{7}$$

여기서 C_s는 토양의 열용량(J/m^{3}K), T는 토양 온도(K)를 의미한다. 위 식을 $z=0$에서 D까지 적분하여 시간의 함수인 토양 온도의 측정으로부터 에너지 평형 방정식의 토양열 플럭스(H_G)의 식(8)을 구할 수 있다.

$$H_G = H_D + \int_0^D \frac{\partial}{\partial t}(C_s T)dz \tag{8}$$

여기서 D는 토양열 플럭스가 0 이거나 쉽게 추정될 수 있는 기준 깊이이다. 매설 깊이에서의 측정값 H1으로부터 H_G를 추정하기 위해서는 $D = z_1$인 식(9)를 사용한다(Arya, 2001).

$$H_G = H_1 + \int_0^{z_1} \frac{\partial}{\partial t}(C_s T)dz = H_1 + \triangle H_s \tag{9}$$

여기서 $\triangle H_s$는 토양층 깊이 z_1에서의 열저장률(W/m^2)이다.

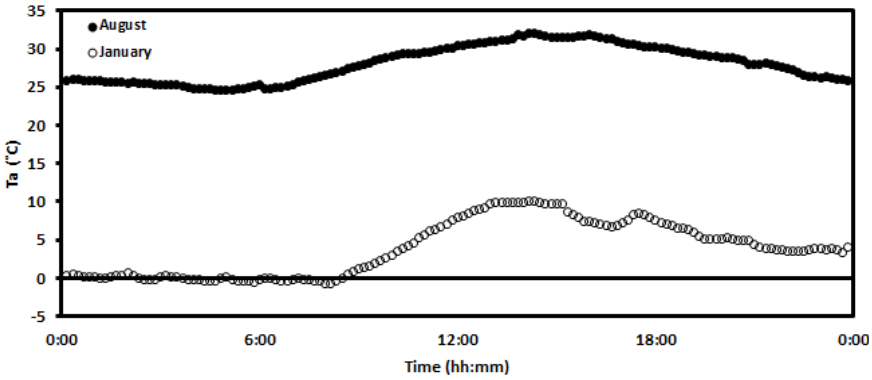

Fig. 2. Diurnal variation of air temperature.

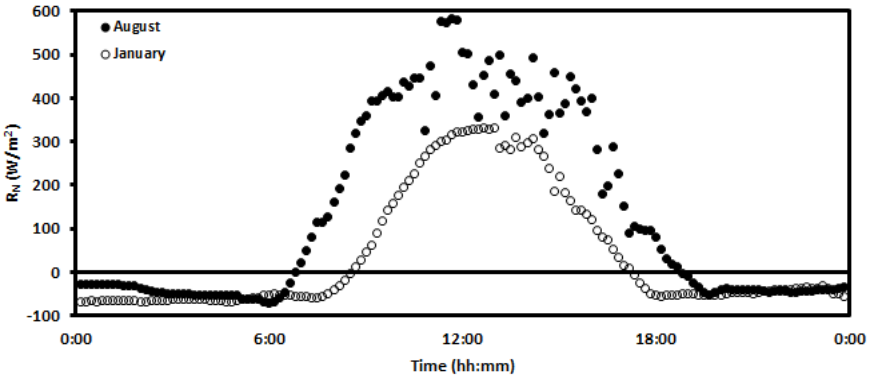

Fig. 3. Diurnal variation of net radiation.

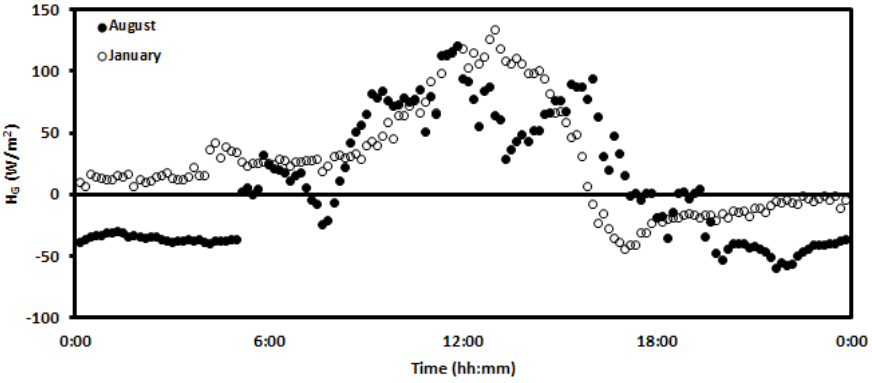

Fig. 4. Diurnal variation of soil heat flux.

3. 결과 및 고찰

기온과 순복사, 토양열 플럭스의 8월과 1월 평균값을 이용하여 일 변동 그래프를 작성하였다. 기온의 증감은 태양고도와 직접적인 관련이 있다. 기온은 일출 직전 최솟값을 보였으며, 일출 후 서서히 증가하여 정오를 지난 오후 중 최댓값이 나타난 후 다음날 아침까지 서서히 감소하였다(Fig. 2). 순복사는 기온과 유사한

Table 1. Descriptive statistics of air temperature and net radiation, soil heat flux in August

Component	Date	Avg.	Max.	Min.	S.D.	C.V.
Temp. (˚C)	Aug 7	28.4	32.9	24.9	2.5	0.1
	Aug 8	27.8	31.7	24.2	2.4	0.1
RN (Wm^{-2})	Aug 7	141.3	696.2	-61.5	217.5	1.5
	Aug 8	129.4	583.7	-84.2	219.2	1.7
HG (Wm^{-2})	Aug 7	12.1	139.5	-80.7	49.9	4.1
	Aug 8	6.2	110.4	-79.6	55.7	8.9

Table 2. Descriptive statistics of air temperature and net radiation, soil heat flux in January

Component	Date	Avg.	Max.	Min.	S.D.	C.V.
Temp. (˚C)	Jan 29	3.1	9.7	-1.5	3.7	1.2
	Jan 30	4.7	11.1	-0.1	3.6	0.8
RN (Wm^{-2})	Jan 29	30.1	334.6	-79.4	130.1	4.3
	Jan 30	33.2	352.5	-64.0	131.8	4.0
HG (Wm^{-2})	Jan 29	29.7	137.0	-42.9	43.1	1.5
	Jan 30	23.4	130.5	-49.1	45.2	1.9

변화를 보였다. 전체적으로 일출 이후 증가하다가 태양고도가 최대인 정오에 최댓값을 나타낸 후 감소하는 형태를 보였으며, 8월이 1월에 비해 낮 시간동안 변동이 크게 나타났다(Fig. 3). 토양열 플럭스는 대체로 순복사의 증감에 따라 같이 증감하는 형태를 보였으며, 밤에는 8월이 1월보다 더 작게 나타났다(Fig. 4). 토양열 플럭스의 최대가 나타난 시각은 순복사의 최대가 나타난 시각과 유사하였으나 기온은 그 보다 더 늦은 시각에 최댓값을 나타냈다. 기온과 순복사, 토양열 플럭스는 8월과 1월에 각각 24.2~32.9˚C와 -1.5~11.1˚C, -84.2~696.2 W/m^2와 -79.4~352.5 W/m^2, -80.7~139.5 W/m^2와 －49.1~137.0 W/m^2의 범위로 나타났다(Table 1, 2). 기온의 여름과 겨울의 평균의 차이가 24.1˚C로 나타났다. 순복사는 여름과 겨울의 평균의 차이가 103.7 W/m^2로 나타났으며, 그에 비해 토양열 플럭스는 약 －17.3 W/m^2로 오히려 겨울이 여름보다 더 크게 나타났다.

갯벌에서 순복사와 토양열 플럭스의 일 변동을 분석하기 위해, 8월과 1월의 평균값으로 일 변동을 나타내었다(Fig. 5, 6). 순복사는 일출 이후 증가하고 정오를 기점으로 다시 감소하는 형태를 보였고, 토양열 플럭스도 같은 경향을 보였다. 낮 시간동안의 순복사 중 토양열 플럭스가 차지하는 비율을 의미하는 순복사와 토양열 플럭스의 비(H_G/R_N)를 Fig. 7에 나타내었다. 본 연구에서 낮 시간이란 일출 이후의 순복사와 토양열 플럭스 모두 양의 값을 가진 시간으로 정의하였다. 순복사와 토양열 플럭스의 비는 8월에 약 0.17, 1월에는 약 0.34로 나타났다. 순복사와 토양열 플럭스의 비는 토양의 종류와 수분 함유량 정도에 따라 0.1에서 0.5까지 변하고(Kim et al., 2007), 일반적으로 0.3 정도이고 캐노피의 공간적 분포에 따라 0.15에서 0.4까지 변하기도 하며(Humes et al., 1994; Santanello and Friedl, 2002), 낮 시간 동안 온도, 수분 함유량, 식생에 영향을 받아 0.05에서 0.5까지 변한다(Kustas et al., 1993). 토양열 플럭스는 8월과 1월에 비슷한 값을 보였지만, 순복사의 차이 때문에 순복사와 토양열 플럭스의 비는 8월이 1월보다 더 작게 나타났다.

갯벌에서 순복사와 기온의 일 변동 분석을 위해, 8월과 1월의 평균값으로 일 변동을 나타내었다(Fig. 8, 9). 기온은 순복사와 같이 일출 이후 증가하고 오후 중에 감소하는 일 변동의 형태를 보였다. 순복사가 최대인 시각과 기온이 최대인 시각이 일치하지 않았으며,

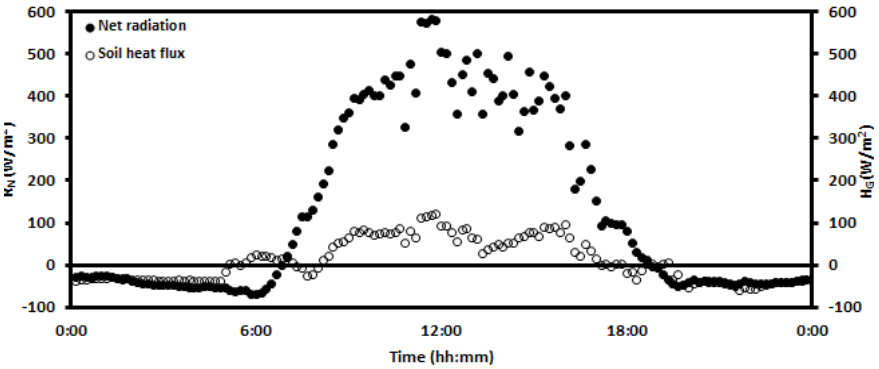

Fig. 5. Diurnal variation of net radiation and soil heat flux in August.

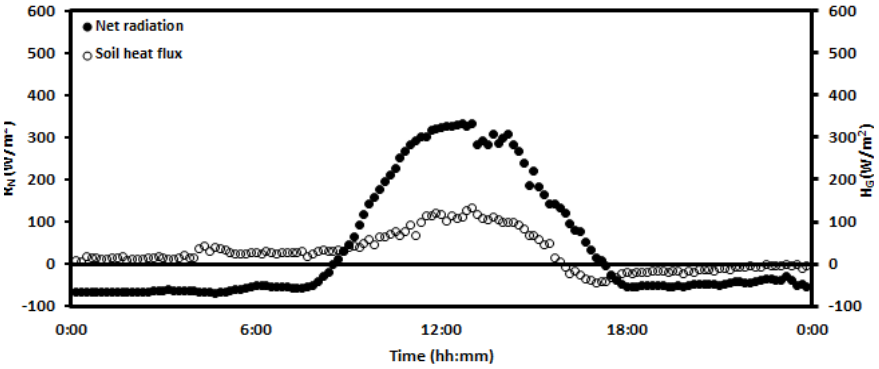

Fig. 6. Diurnal variation of net radiation and soil heat flux in January.

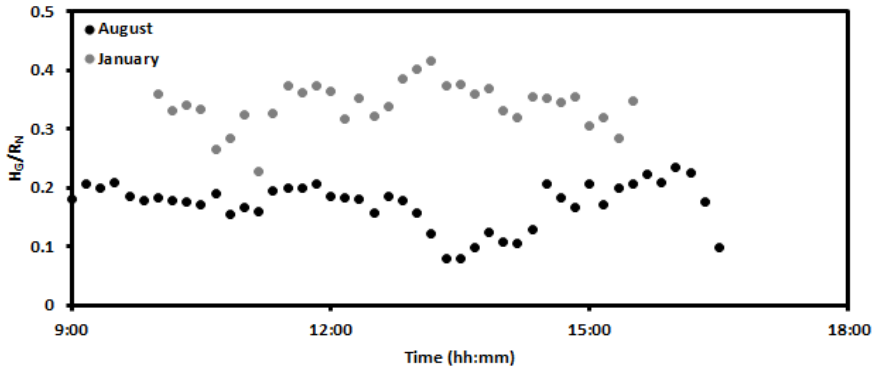

Fig. 7. Ratio of soil heat flux for net radiation during daytime.

8월과 1월 모두 순복사의 최대가 나타난 후 일정 시간 이후 기온의 최대가 나타났다. 순복사의 최대가 나타나는 정오 이후 복사의 강도는 감소하지만 오전 중 과잉되었던 에너지에 의해 온도의 최고값은 상당히 지연된다. 정오와 오후 사이 기온의 최고점 발생 지연은 최고 기온의 지연이라 부른다(An et al., 2016).

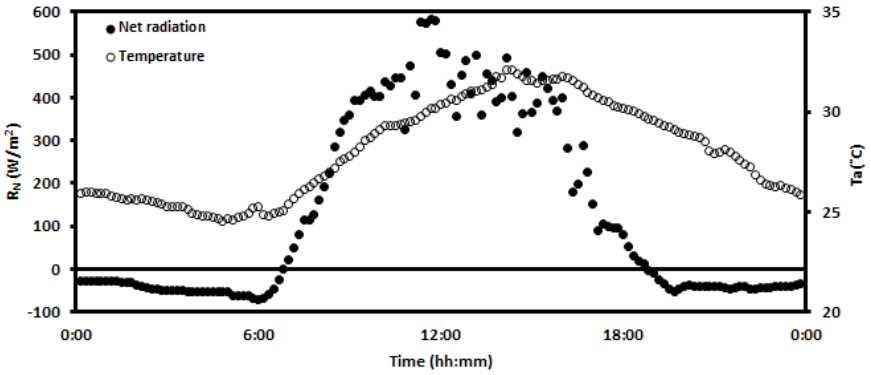

Fig. 8. Diurnal variation of net radiation and air temperature in August.

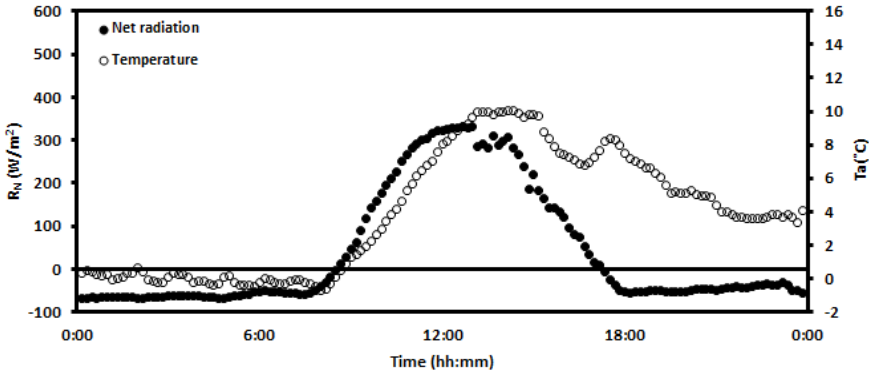

Fig. 9. Diurnal variation of net radiation and air temperature in January.

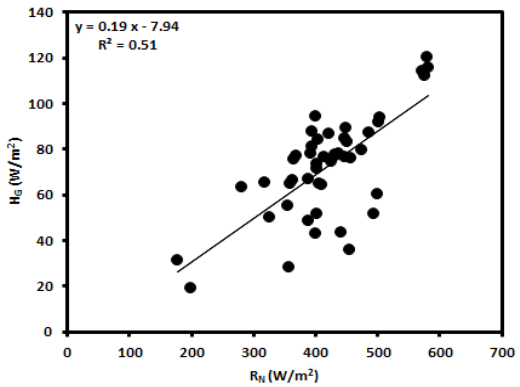

Fig. 10. Linear regression function of soil heat flux as net radiation in August.

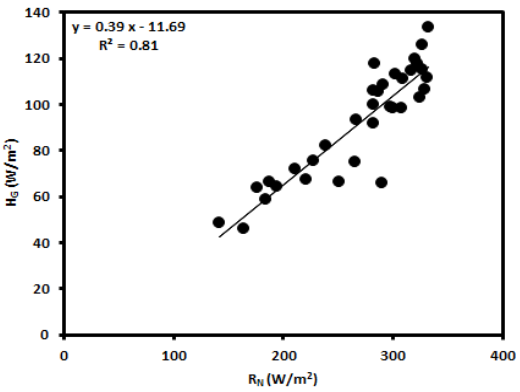

Fig. 11. Linear regression function of soil heat flux as net radiation in January.

순복사와 토양열 플럭스의 관계를 분석하기 위해 8월과 1월의 낮 시간 동안의 회귀함수와 결정계수를 추정하였다(Fig. 10, 11). 최적의 선형회귀함수는 8월에는 $y=0.19x-7.94$이고 결정계수는 0.51, 1월에는 $y=0.39x-11.69$이고 결정계수는 0.81이었다. 회귀함수의 기울기는 8월에 0.19, 1월에는 0.38로 1월이 8월

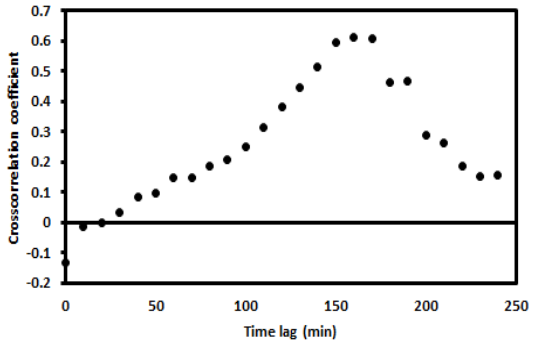

Fig. 12. Cross-correlation coefficients between net radiation and air temperature in August.

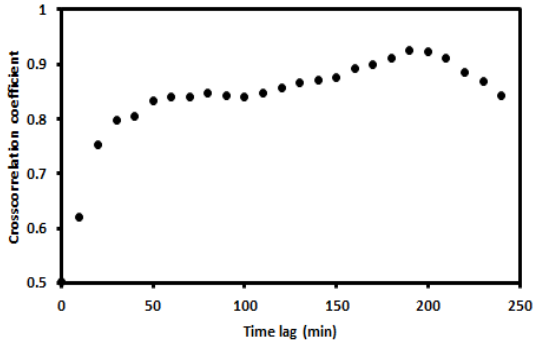

Fig. 13. Cross-correlation coefficients between net radiation and air temperature in January.

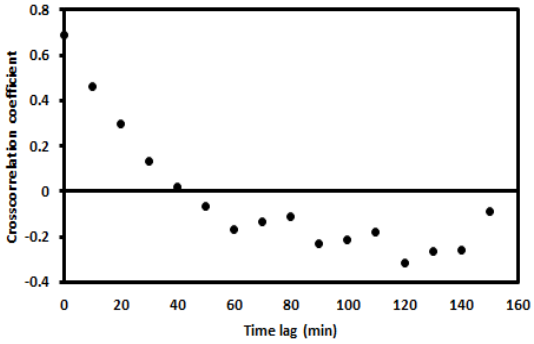

Fig. 14. Cross-correlation coefficients between net radiation and soil heat flux in August.

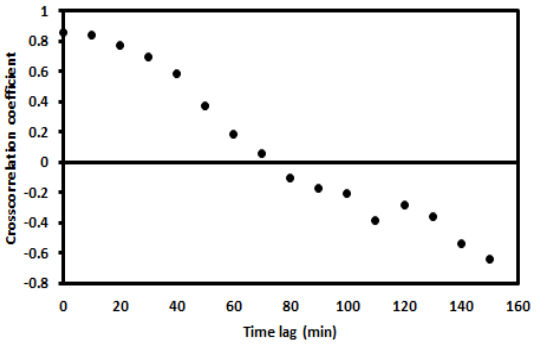

Fig. 15. Cross-correlation coefficients between net radiation and soil heat flux in January.

보다 두 배 더 높게 나타났으며, 이는 8월과 1월에 비슷한 값을 보인 토양열 플럭스에 비해 순복사의 8월과 1월의 차이 때문이다. 결정계수는 낮 시간 동안 8월에 순복사가 불규칙한 변동을 보여 0.51로 낮게 나타났고, 1월에 순복사는 불규칙한 변동을 보이지 않아 결정계수가 0.81로 높게 나타났다.

순복사와 기온의 선형회귀함수를 추정하여 구한 결정계수는 낮은 값을 보였다. 이는 순복사의 최댓값이 나타난 시각과 기온의 최댓값이 나타난 시각이 차이를 보였기 때문이다. 순복사의 최댓값이 나타나는 시각과 기온의 최댓값이 나타나는 시각의 간격, 시간이 지연된 정도를 시간 지연(time lag)이라 정의하고 이를 추정하기 위해 낮 시간의 데이터를 10분 간격으로 교차 상관분석을 하였고, 순복사와 기온의 시간 지연 정도에 따른 교차 상관계수를 산정하였다(Fig. 12, 13). 교차 상관계수는 8월과 1월에 약 160분, 190분 지연 시 0.61, 0.94로 가장 높게 나타났기 때문에 순복사에 대한 기온의 시간 지연은 8월에 약 160분, 1월에는 약 190분으로 추정하였다. 서울 도심에서 일사량과 기온의 시간 지연은 약 2시간 정도로 보고하였으며(Jeon and Woo, 1999), 이는 도시지역의 지면과 건물의 영향을 받아 기온이 상대적으로 빠르게 증가하였기 때문이다. 갯벌에서는 도시지역보다 시간 지연 효과가 길게 나타났으며, 이는 갯벌이 물로 포화되어 있어 도시지역에 비해 일사량에 의한 기온 상승 속도가 느리기 때문이다.

순복사에 의한 토양열 플럭스의 시간 지연을 추정하기 위해 같은 과정을 시행하고 토양열 플럭스의 시간 지연에 따른 교차상관계수를 나타냈다(Fig. 14, 15). 순복사와 토양열 플럭스의 시간 지연은 8월과 1월 모두 10분 이내에 0.69와 0.86으로 교차 상관계수가 가장 높게 나타났다. 따라서 시간 지연이 10분 이내인

것으로 추정하였다. Arya(2001)에서 물로 포화되어있는 점토질 토양의 열전도도는 1.58 W/m^{2}이고, 공기의 열전도도는 0.025 W/m^{2}으로 점토질 토양보다 공기의 열전달 속도가 더 느리기 때문에 기온과 토양열 플럭스의 시간 지연이 차이가 나는 것으로 판단된다.

4. 결 론

함평만 갯벌에서 순복사와 토양열 플럭스, 기온의 관계를 분석하였다. 순복사는 일출 이후 증가 하였고 정오에 최대를 보였으며 이후 점차 감소하였다. 토양열 플럭스와 기온은 순복사에 종속적으로 증감하였다. 기온과 순복사, 토양열 플럭스는 모두 시간별로 변화를 보이는 일주기 특성을 갖고 있었다. 기온과 순복사, 토양열 플럭스는 8월과 1월에 각각 24.2~32.9˚C 및 -1.5~11.1˚C, -84.2~696.2 W/m^2 및 -79.4~352.5 W/m^2, -80.7~139.5 W/m^2 및 -49.1~137.0 W/m^{2}의 범위로 나타났다. 8월과 1월의 토양열 플럭스는 거의 비슷하게 관측되었지만, 순복사는 8월이 1월보다 더 크게 관측되었다. 따라서 낮 시간 동안의 순복사와 토양열 플럭스의 비(H_G/R_N)는 순복사의 차이에 의해 8월에 약 0.17, 1월에는 약 0.34로 차이를 보였다. 8월과 1월의 낮 시간 동안의 순복사와 토양열 플럭스의 회귀함수와 결정계수를 추정하였고, 추정된 최적의 선형회귀함수는 8월에 $y=0.19x-7.94$이고 결정계수는 0.51, 1월에는 $y=0.39x-11.69$이고 결정계수는 0.81 이었다. 선형회귀함수의 기울기가 8월과 1월에 차이가 나는 것은 순복사와 토양열 플럭스의 비와 같은 의미로 볼 수 있다. 순복사의 최댓값과 토양열 플럭스의 최댓값이 나타난 시각은 일치하지만 기온의 최대가 나타난 시각은 순복사가 최대가 나타난 시각과 일치하지 않는다. 순복사에 대한 기온의 시간 지연을 알아보기 위해 교차 상관분석을 수행하였다. 순복사에 대한 기온의 시간지연은 8월과 1월에 교차 상관계수가 0.61 및 0.94로 가장 높게 나타난 160분 및 190분으로 추정하였다. 순복사에 대한 토양열 플럭스의 시간 지연도 알아보기 위해 같은 방법으로 교차 상관분석을 수행하였다. 기온과는 달리 8월과 1월에 10분 이내의 교차 상관계수가 각각 0.69와 0.86으로 가장 높게 나타났다. 이는 공기와 갯벌의 열이 전달되는 속도, 즉 열전도도가 다르기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2016R1A6A3A11932747).

REFERENCES

An, J. B., Kim, J., Ryu, C. S., Park, S. K., Seo, M. S., Lee, H. W., Chung, I. U., Chung, H. B., 2016, The atmosphere, 13th ed., Sigmapress, 72-74.

Arya, S. P., 2001, Introduction to micrometeorology, 1st ed., Academic Press, 38-40, 50-57.

Cui, R. X., Lee, B. W., 2001, Soil surface energy balance and soil temperature in potato field mulched with recycled-paper and black plastic film, Korean Journal of Crop Science, 46, 229-235.

Deardorff, J. W., 1978, Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation, American Geophysical Union, 83, 1889-1903.

Humes, K. S., Kustas, W. P., Moran, M. S., 1994, Use of remote sensing and reference site measurements to estimate instantaneous surface energy balance components over a semiarid rangeland watershed, Water Resources Research, 30, 1363-1373.

Jeon, E. C., Woo, J. H., 1999, Statistical analysis of the meteorological elements for ozone and development of the simplified model for ozone concentration, J. of Korean Society for Atmospheric Environment, 15, 257-266.

Kim, G. G., 2003, Wetland and environment, 1st ed., Academysujuk, 174-179.

Kim, H. J., Kim, D. S., Yoon, I. H., Lee, D. I., Kwon, B. H., 2007, Net radiation and soil heat fluxes measured on coastal wetland covered with reeds, Journal of the Environmental Sciences, 16, 223-239.

Kim, H. T., Park, Y. H., Kim, Y. H., Um, H. H., Choi, B. C., 2002, Temporal and spatial variation of soil heat flux within coniferous canopy in Kwangneung arboretum, Proceeding of the 34th Meeting of KOSAE(2002) Korean Society for Atmospheric

Environment, 430-431.

Kim, Y. H., Cho, K. S., Kim, H. T., Um, H. H., Choi, B. C., 2003, Characteristics of the seasonal variation of the radiation in a mixed forest at Kwangneung arboretom, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 19, 285-296.

Kustas, W. P., Daughtry, C. S. T., van Oevelen, P. J., 1993, Analytical treatment of the relationships between soil heat flux/net radiation ratio and vegetation indices, Remote Sensing of Environment, 46, 319-330.

Park, S. Y., 2000, Current issues: Last report of nature, look again the wetlands, Local Forum, 5, 84-85.

Park, Y. H., Kim, H. T., Lee, B. L., Kim, Y. H., Um, H. H., Choi, B. C., Ryoo, S. B., 2003, The variation of soil heat flux within mixed forest in Kwangneung arboretum, Journal of the Atmospheric Sciences, 39, 621-629.

Park, Y. H., Lee, B. L., Cho, K. S., 2003, Spatial variability of soil heat fluxes in a conifer forest, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 5, 81-86.

Santanello, J. A., Friedl, M. A., 2003, Diurnal covariation in soil heat flux and net radiation, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 42, 851-862.