Jour. Korean Earth Science Society, v. 30, no. 2, p. 185-195, April 2009

삼림파괴로 인한 미기후 환경변화에 관한 관측적 연구

임정섭[1] · 이부용[2] · 김해동[1,*] · 김학윤[1] · 황수진[3]

[1]계명대학교 환경방재시스템학과, 704-701, 대구광역시 달서구 신당동 1000
[2]대구가톨릭대학교 환경과학과, 712-830, 경상북도 경산시 하양읍 금락리 330
[3]부산대학교 지구과학교육과, 609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30

An Observational Study on the Change of Micro-meteorological Environment due to Deforestation

Jung-Sub Lim[1], Bu-Yong Lee[2], Hae-Dong Kim[1,*], Hak-Yoon Kim[1], and Soo-Jin Hwang[3]

[1]Department of Environment Conservation and Disaster Prevention, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
[2]Department of Environment, Daegu Catholic University, Gyeongbuk 712-830, Korea
[3]Department of Earth Education, Pusan University, Busan 609-735, Korea

Abstract: We investigated the change of several meteorological variables due to deforestation. We established two sets of automatic weather observation system: one on a hill where forest was destructed by lumbering (Point 1) and the other in a neighboring district (Point 2) of fairly preserved forest. The observations were continued for one year (2006. 12-2007. 12). In this study, we analysed the data observed for one week from the next day after summertime rainfall. The results showed that the air temperatures of Point 1 were about 1.5°C higher than those of Point 2 during the daytime. But there were small gaps between the two points during the nighttime. The relative humidities also differed greatly between the two during the daytime. It was as high as about 10% at Point 2. The surface and underground (15 cm in depth) soil temperatures were also greatly different between the two points during the daytime. They were 3-10°C higher at Point 2 than those of Point 1. And the gaps reduced drastically during the nighttime. The averaged soil moistures were 7.1% at Point 1 and 19.5% at Point 2 during the observation period, respectively. The differences of wind direction were small, but the wind speeds differed between the two points. The observed wind speeds during the observation period were roughly estimated to be about 0.5 m/s at Point 1 and 0.3 m/s at Point 2. The heat budget analysis was also performed based on the observation data.

Keywords: micro-meteorological, soil moisture, heat budget, relative humidity

요 약: 이 연구의 목적은 삼림파괴로 유발되는 몇 가지 기상학적 요소의 변화를 관측을 통해서 조사하였다. 이 연구를 위해서 기상관측 장치를 숲이 파괴된 곳과 숲이 보존되어 있는 곳에 설치하여 1년간(2006. 12.-2007. 12) 연속 관측하였다. 이 후로 숲이 파괴된 지점을 point 1 그리고 숲이 보존되어 있는 지점을 point 2라고 지칭하기로 한다. 이 연구에서는 여름철에 강우가 있은 다음 날부터 1주일 동안 관측된 두 지역의 자료를 비교분석하였다. 관측 자료의 분석을 통하여 야간에는 두 지역의 온도분포가 비슷하였지만, 낮에는 지점 1에서 관측된 기온이 지점 2보다 약 1.5°C 높게 나타났다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 야간에는 두 지점 간의 차이가 작았다. 상대습도도 숲의 보존지역(지점2)에서 높게 나타났는데, 그 차이는 한낮에 10%정도에 이르렀다. 지표와 지중 15 cm 깊이의 온도도 두 지역 사이에 큰 차이를 보였다. 그 차는 낮에 크고 야간에는 작았는데, 대체로 지점 1에서의 값이 3-10°C 더 높게 나타났다. 토양수분은 지점 1에서 7.1%, 지점 2에서 19.5%로 나타나서 지점 2에서의 토양 수분이 지점 1보다 훨씬 높았다. 두 지점에서 풍향은 주로 북서-북동풍으로 거의 차이가 없었지만, 풍속은 지점 2(0.3 m/s)에서 지점 1(0.5 m/s)보다 작게 관측되었다. 이러한 관측 자료를 바탕으로 두 지점 사이에 존재하는 열수지적 차이에 대해서도 분석하였다.

주요어: 미기후, 토양수분, 열수지, 상대습도

*Corresponding author: khd@kmu.ac.kr
Tel: 82-53-580-5930
Fax: 82-53-580-5908

서 론

지구온난화에 따른 기후변화에 대한 대응은 지구온난화의 원인물질인 온실가스를 지구적으로 감축(mitigation)하여 기후변화를 감소시켜 기후변화에 대한 자연 및 인간시스템을 보호하고자하는 국제적인 노력과 기후변화에 대한 영향을 미리 파악하여 예상되는 영향을 최소화하고자하는 지역적인 적응(adaptation) 차원의 노력으로 대별할 수 있다.

지구온난화에 대한 대응책으로 지역적인 적응 노력이 필요한 이유는 기후시스템의 관성이 매우 크다는 사실에 있다. 이러한 이유로, 기후변화협약이 성공적으로 이행되어 온실가스 감축 목표가 달성되어진다고 하더라도 큰 관성을 갖는 기후시스템의 특성상 기후변화의 영향을 회피할 수 없다. 즉 이산화탄소 배출량을 국제협력을 통해 향후 수십 년 내에 대폭적인 감축에 성공하여 대기 중 이산화탄소 농도를 일정 수준으로 안정화시키는 시나리오 하에서도 대기 중 이산화탄소 농도는 대기 중에서의 긴 체류시간으로 인하여 50-300년 후에나 안정화되기 시작하며 지구 표면온도의 안정화는 수백 년 정도 걸리는 것으로 평가된다(Smit et al., 1999).

기후변화에 대한 대응대책 중에서 온실가스 감축문제는 본질적으로 지구규모의 환경문제의 성격을 띠고 있으나 그 영향은 지역적, 국가적 차원의 문제로 나타난다. 그러므로 기후변화 영향에 대해서는 개별 국가적 차원에서 대비하여야 하는데, 가장 주요한 대응노력은 계획적인 적응전략인데, 각 지역의 특성을 고려한 적절한 적응전략 개발 및 수립은 국제적 협력을 통한 온실기체 저감 방안이 해결하지 못하는 문제를 보완할 수 있는 필수적인 행동으로 평가되고 있다(Smit et al., 1999; 조광우 외, 2004). 이에 따라 기후변화협약 4조 1항에서도 "기후변화에 대한 적절한 적응을 용이하게 하는 조직, 협력, 실행방법"을 개별 국가(당사국)에 위임한다. 또한 교토의정서(10조)는 협약당사국들에게 기후변화를 다루기 위한 적응의 촉진 및 장려와 적응기술의 전개를 위임하고 있다.

이러한 배경에서, 이 연구는 국지적 규모에서의 기후변화에 대한 적응 방안의 하나로서, 열적 환경보전에 삼림보전이 기여하는 바를 평가해 보고자 한다. 국지적 규모에서의 장기적 열적 환경변화는 지구온난화뿐만 아니라, 인간 활동에 수반된 토지피복의 변화에 큰 영향을 받는다. 지구의 평균 기온은 지난 100년 동안에 약 0.74°C 상승하였다(IPCC 제3차 평가보고서, 2001). 그런데 이러한 기온상승은 전 지구적으로 균질하게 나타나는 것이 아니라, 지역적으로 큰 편차를 보인다. 대체적으로 저위도 지역보다 고위도 지역, 해안지역보다 내륙지역이 그리고 저지대보다 고지대에서 더 크게 나타난다(Harazawa and Nishioka, 2003). 그리고 개발행위로 삼림녹지대가 훼손되어 나대지나 도시지역으로 바뀌는 경우에는 기온과 지온에 더욱 큰 상승이 유발된다(Okamoto, 1997).

그래서 중고위도 지역에 위치한 삼림생태계는 저위도 지역에 비하여 더 빠르게 기후변화의 위험에 노출 될 것으로 우려된다고 한다(전성우 외, 2002). 최근에 실제로 우리나라에서도 대나무, 동백나무 등의 북상이 확인되고 있고, 사과나무를 포함한 각 종 과실수의 북상도 활발히 이루어지고 있다. 그런데 이들 식생대의 북상은 지구온난화로 인한 기온 상승에 원인이 있지만, 한편으로는 새로운 과수원을 조성하기 위한 삼림 벌채와 산불로 인한 삼림파괴로 인해 기온과 지온의 상승이 가중된다는 사실도 제기되고 있다(Takahashi et al., 1989, Harazawa and Nishioka, 2003). 이러한 배경에서 일본에서는 개발이나 재해로 인한 산지의 삼림훼손에 따른 국지적 기후변화 효과를 평가하는 연구가 활발하게 수행되고 있다(Harazawa and Nishioka, 2003).

이러한 배경에서 이 연구에서도 산지의 삼림보전 상태에 따른 기온과 지중 환경의 차이를 현장 관측을 통하여 평가해 보고자 하였다. 이 연구를 수행하기 위해서, 대구 계명대학교 구내에 접해 있는 산지에서 소나무 재선충 방재를 위해 벌목이 이루어진 곳과 그에 이웃하면서 삼림이 잘 보존되어 있는 지역에 각각 자동 관측 장치를 설치하여 기상요소와 토양온도 및 토양수분을 관측하여 그 결과를 비교분석하였다. 그리고 이때 얻어진 기후환경의 차이를 분석하는 방법으로 열수지 분석을 수행하였다.

연구방법

관측

산지의 삼림보전 정도에 따른 토지피복도의 변화가 기온변화에 미치는 영향을 평가하기 위하여 계명대학교 교내에 자동기상관측장치(AWS, Automatic Weather System)를 설치하여 2006년 12월 이래로 계속 관측을 수행해 오고 있다. AWS가 설치된 장소는 2005년

Table 1. Weather condition of observation day in Daegu

observation days	cloud amount (/10)	daily mean temp. (°C)	humidity (%)	wind direction (16 direction)	wind speed (m/s)
23/Aug.	2.8	27.9	68.9	E	2.1
24/Aug.	3.3	28.6	68.3	SE	1.6
25/Aug.	1.5	30.4	58.1	WSW	1.3
26/Aug.	4.5	28.6	72.8	WSW	1.4

소나무 재선충 피해로 기존의 소나무가 강제로 벌채된 장소(이하, 나대지라 지칭함)와 그에 인접하고 비슷한 고도와 방향성을 가지면서 나무가 벌채되지 않은 곳(이하, 숲속이라 지칭함)을 각각 선정하였다. 두 지역의 열적특성을 조사하기 위하여 나대지와 숲속의 기상요소와 지표온도, 지중온도 및 토양수분을 1시간 단위로 측정하였다. 기온, 상대습도, 풍향풍속, 일사량, 토양수분, 지중온도, 강우량은 자료집록장치(CR-10, 미국 Campbell)에 연결하여 10분 및 1시간 평균값이 자동적으로 관측되어 저장되게 하였다. 지표면 온도는 디지털온도계(FLUKE54)를 사용하여 관측하였다.

본 연구에서는 전형적으로 맑은 고온의 여름 날씨를 보인 2007년 8월 23일 18시에서 8월 26일 17시까지 관측된 자료(71시간 연속 관측)를 분석하였다. 관측이 이루어진 두 지점간의 고도차는 10 m 내외로 매우 작고, 수평거리도 50미터 이내로 인접해 있으며 산자락은 남북으로 나란하게 위치하고 있다. 그래서 두 지점은 숲의 보전 여부에 따른 차이를 제외하고는 동일한 기상 조건의 영향을 받는 것으로 간주할 수 있다. 대구지방 기상대에서 관측된 자료 분석 대상일의 기상조건을 Table 1에 제시하였다.

관측일(8월23일-26일)의 대구지역의 날씨는 북태평양 고기압의 영향으로 대체로 맑음과 구름 조금 상태가 수시로 교차되었고 습도가 높았으며, 평균기온은 28.9°C, 평균습도는 67%, 평균풍속은 1.6 m/s 내외로 약했다. 관측일 동안의 기상조건은 쾌청하였고, 낮 동안의 에너지 저장효과를 충분히 평가할 수 있는 조건을 만족하였다. 참고로 자료 분석 기간 동안 지상일기도를 Fig. 1에 제시하였다.

열수지 해석방법

두 지점에서 관측된 기상자료를 이용하여 지면조건에 따른 두 지점의 열 환경 형성의 차이를 평가하기 위하여 Tamiya(1981)의 방법을 따라서 다음과 같이 열수지 각 항을 계산하였다. 지표면의 열수지 관계는 Fig. 2에 제시한 바와 같이 성립한다.

즉 지표면은 태양복사에너지((1-α)S)와 대기장파복사에너지(L)를 흡수하고, 현열(H), 잠열(lE) 및 지구장파에너지(σT_s^4)의 형태로 대기 중으로 에너지를 재방출한다. 그리고 남은(부족한) 에너지는 지중 전달열(G)로 저장(방출)한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$(1-\alpha)S+L=H+lE+G+\sigma T_s^4 \quad (1)$$

여기서, α는 지면의 알베도, S는 지면도달 일사량, L은 대기장파복사량, H는 현열, lE는 잠열, G는 지중전달열 그리고 σT_s^4은 지면에서 대기 중으로 방출되는 지구장파복사에너지이다. 대기장파복사량(L)은 Kondo (1994)를 따라서 다음과 같이 계산하였다.

$$\frac{L}{\sigma T_s^4}=1-(0.49-0.066\times e^{0.5})(1-n\times C\times h) \quad (2)$$

여기서, C와 h는 (3)과 (4)로 주어진다.

$$C=0.75-0.005\times e \quad (3)$$

$$h=[(n_1+0.85\times n_2+0.5\times n_3)/n]+0.1\times N_r/N \quad (4)$$

여기서, e는 일평균의 수증기압(hPa)인데, 아래에서 제시하는 Tetan의 방법으로 구하였다. 그리고 N_r/N은 하루 중에서 강수가 지속된 시간, n, n_1, n_2, n_3는 각각 10분위로 나타낸 전운량, 하층, 중층 및 상층운량이다. 이 연구에서는 대구지방기상대에서 관측된 3시간 간격의 자료를 이용하였다. 또, 중층운과 상층운 자료의 부족을 해결하기 위하여, Ishi and Kondo (1987)에 의해 제안된 다음의 근사관계를 적용하였다.

$$n_2=n_3=(n-n_1)/2 \quad (5)$$

$$N_r/N=0, \text{ for } n_1<1$$
$$=0.5, \text{ for } n_1=1 \quad (6)$$

현열과 잠열수송량은 bulk식을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

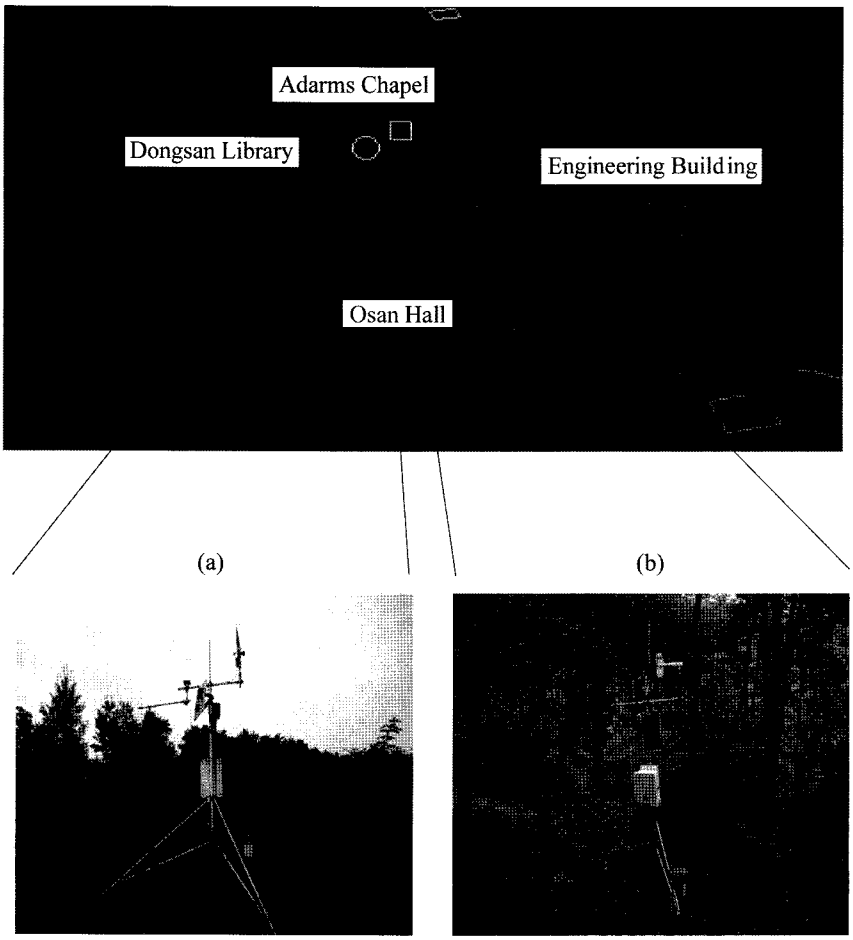


Fig. 1. Location of Automatic Weather System (a) Bare Soil and (b) Forest respectively.

$$H=Cp\rho C_H U(T_s-T_a) \quad (7)$$

$$lE=l\rho\beta C_H U(q_{sat}(T_s)-q_a) \quad (8)$$

단, Cp는 공기의 정압비열(1004 J/(kg · deg)), ρ는 공기의 밀도(127 kg/m^3) C_EU는 현열의 수송속도, l은 증발잠열(2.51×10^6 J/kg), β는 지표면의 습윤도(증발효율), T_s는 지표면온도(K), T_a는 기온(K), q_a는 대기 중의 비습, $q_{sat}(T_s)$는 T_s에 대한 포화비습이다. 비습의 계산은 김해동과 양성기(1995)를 포함한 여러 연구에서 널리 사용하고 있는 Tetan의 공식으로 계산된 포화수증기압을 이용하였다.

$$e_s = 6.11\times\exp\left(\frac{12.27*T_c}{T_c+273-35.86}\right) \quad (9)$$

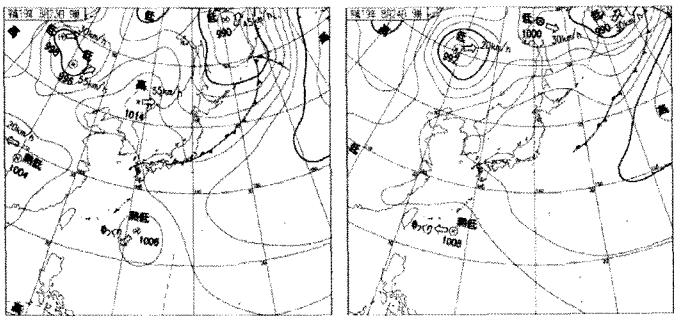
여기서, e_s는 포화수증기압이고, T_c는 기온에 대한 섭씨온도(℃)이다. 그리고 실제로 공기가 포함한 수증기가 나타내는 수증기압은 위에서 계산한 포화수증기압에 자동기상관측장치(AWS)에서 측정한 상대습도를 곱하여 구할 수 있다.

$$e = e_s\cdot RH\div100 \quad (10)$$

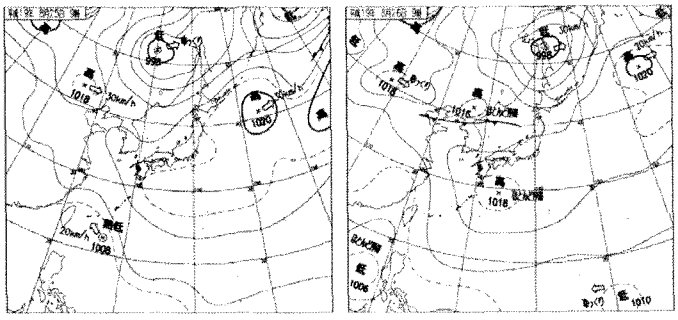
여기서, e는 수증기압(hPa), RH는 상대습도(%)이다. 이렇게 구한 수증기압을 이용하면, 비습은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q\cong0.622\frac{e}{P} \quad (11)$$

여기서 P는 대기압(hPa)이다. 열수지계산에 이용된 기상관측자료는 일사량, 운량, 기온, 지표면온도, 대기압 및 대기의 상대습도이다. 그리고 지표면 파라메타로는, 알베도(α), 현열의 수송속도(C_EU), 지표면의 습윤도(β) 및 지중의 열물리계수(비열(cg)×밀도(ρ_g)×열전도율(l_g))이다. 이들 지표면 파라메타는 일변화를



<09LST 23 Aug. 2007> <09LST 24 Aug. 2007>



<09LST 25 Aug. 2007> <09LST 26 Aug. 2007>

Fig. 2. Synoptic weather charts during observation.

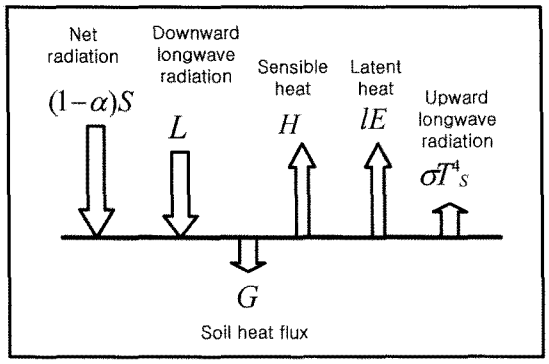


Fig. 3. Conceptual diagram on the het budget relation over ground surface.

Table 2. Several surface parameters used in the study

	Bare soil	Tree
α	1	0.09
β	0.1	0.3
$C_g\rho_g\lambda_g$	0.39×10^6	1.0×10^6

하지 않는 하루 중의 일정값을 가정하였다. 이를 Table 2에 정리하여 제시하였다. 그리고 지중전달열(G)은 열수지방정식의 잔차항으로 구하였다.

결과 및 고찰

관측 결과

기온, 지표면 온도 및 지중온도: 두 관측지점은 인접해 있음에도 불구하고, 기온에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 자료 분석 기간 중 최고기온은 나대지에서 35.3°C, 숲에서는 32.9°C이고 최저 기온은 나대지에서 24.0°C, 숲에서 23.9°C로 나타났다. 즉, 야간에는 두 지점 간의 차이가 작지만 낮에는 나대지 쪽의 기온이 숲보다 최대 약 2.4°C나 높게 나타났다. (Fig. 3.) 또한 일교차(기온 일변화의 폭)는 나대지(11.4°C)가 숲속(약 9°C)보다 크게 나타났는데, 이는 주로 숲속의 일최고기온이 나대지보다 낮은 것에 기인하였다.

두 지점에서 지표면온도는 기온보다도 현저히 큰 차이를 보였다(Fig. 4). 나대지에서 최고온도는 51.6 °C, 숲은 39.3°C, 최저온도는 나대지에서 23.6°C, 숲은 25.1°C의 분포를 보였다. 기온의 경우 야간에는 두 지역에서 거의 같은 값을 나타내었지만, 지표면 온도는 나대지가 숲보다 약 1.5°C 낮게 나타났다. 이는 나대지에서 방출되는 장파복사는 상공으로 쉽게

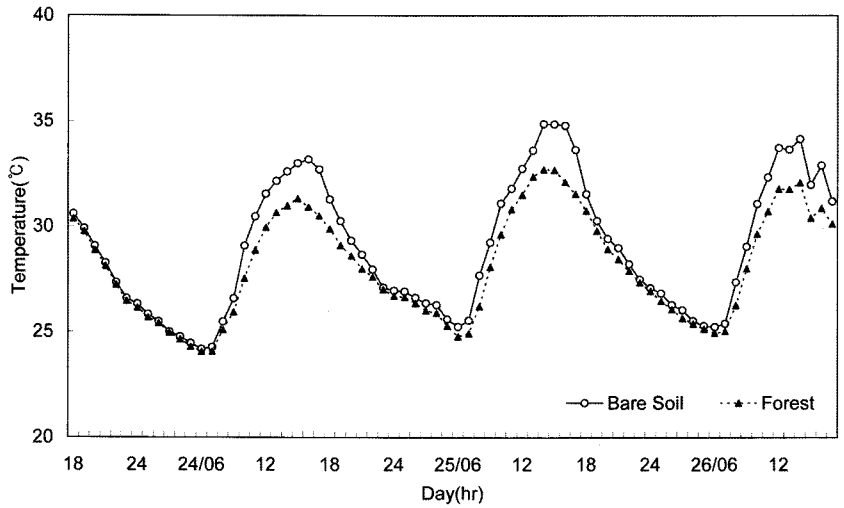


Fig. 4. Time variation of air temperatures at Bare soil and Forest respectively.

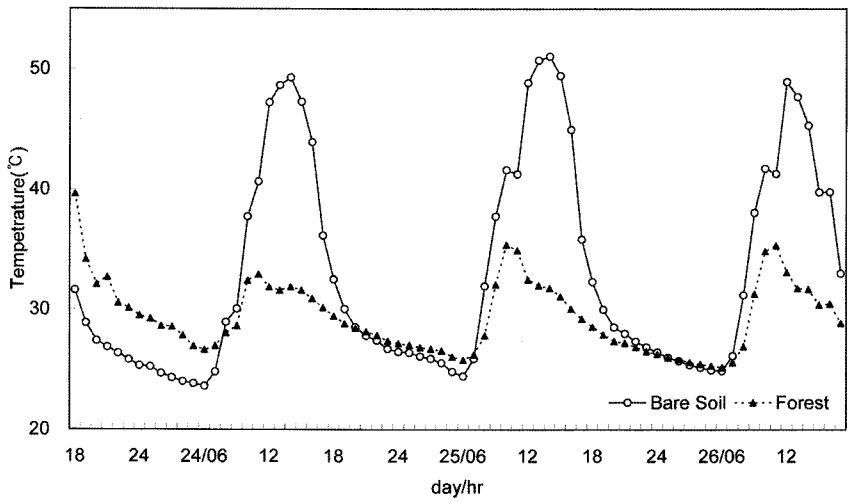


Fig. 5. Time variation of surface temperatures at Bare soil and Forest respectively.

빠져나가지만, 숲속에서는 지표면이 방출하는 장파복사가 숲에 의해 차단되는 것에 주로 기인하는 것으로 판단된다(Kondo, 1994). 두 지점 간의 일교차는 나대지(28.0°C)가 숲속(14.2°C)보다 작았는데, 일교차 자체는 기온차보다 2.5배 이상 크게 나타났다.

지표에서 지중 15 cm에 설치하여 얻은 지중온도의 시간변화를 Fig. 5에 제시하였다. 나대지의 최고온도는 36.4°C, 숲은 25.6°C로 나타났고, 최저온도는 나대지에서 26.8°C, 숲속에서 23.7°C로 나타났다. 나대지의 경우 7-10°C 정도의 일교차를 보였지만 숲속에서는 일교차가 1-2°C 정도에 지나지 않았다.

관측이 이루어진 숲은 소나무 군락지로서 낮에 태양복사에너지가 어느 정도 지표에까지 도달할 수 있는 조건에 있어 울창한 삼림지대에 비하여 숲의 역할이 작을 것으로 평가됨에도 불구하고, 재선충 방재를 위해 숲이 벌채된 나대지에 비하여 기온과 지표온도, 지중온도에서 큰 차이를 보였다.

상대습도 및 토양수분: 두 지점의 상대습도 차이를 Fig. 6에 제시하였다. 관측기간 중 가장 높은 상대습도는 두 지역 모두 일출 후 06시를 전후해서 나타났는데, 나대지의 경우 94.5%, 숲의 경우는 92.0%로 숲에서 조금 낮게 나타났다. 상대습도가 가장 낮은 시간대는 14시경이었고, 나대지에서 42.0%, 숲에서

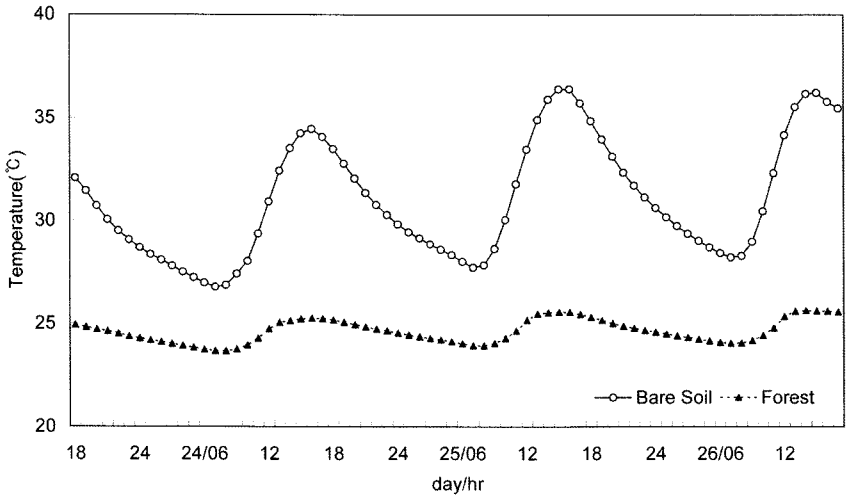


Fig. 6. Time variation of under-ground temperatures at Bare soil and Forest respectively.

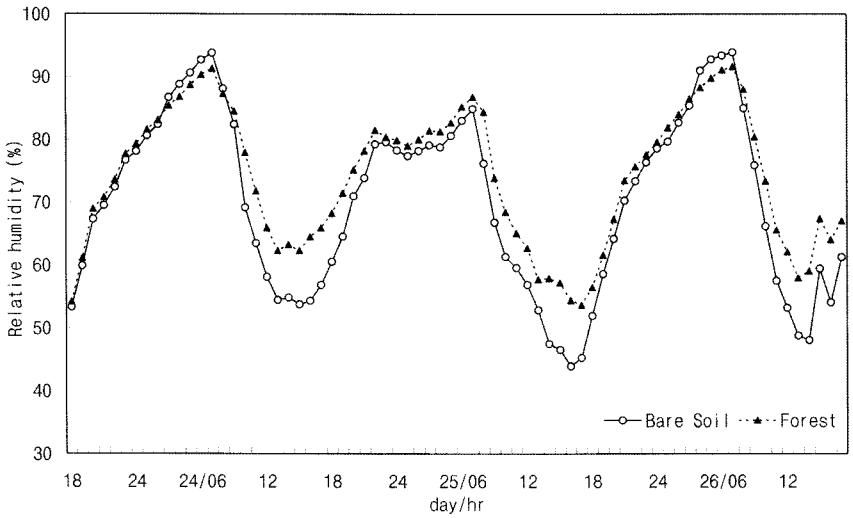


Fig. 7. Time variation of relative humidity at Bare soil and Forest respectively.

52.0%로 나타났다. 그래서 그 차이는 10%에 달하였다. 이러한 차이는 두 지역 간의 공기 중에 포함되어 있는 수증기량의 차이보다는 기온 차이에 주로 기인하는 것으로 평가된다. 토양 수분이 충분할 경우에 나대지는 숲속보다 바람이 강하고 대기가 건조하기 때문에 토양수분의 증발이 훨씬 활발하게 나타나는 것으로 판단된다.

두 지점의 토양수분 차이는 지표로부터 15 cm 아래에 토양수분계를 설치하여 얻은 토양수분의 시간변화를 Fig. 7에 나타내었다.

한편, 토양수분의 경우는 1 m^3 기준으로 숲속이 나대지보다 12% 정도나 높은 것으로 관측되었다(Fig. 7) 숲속은 나대지에 비하여 일최고기온이 낮게 나타나고 일교차가 작을 뿐만 아니라, 지표면과 지중온도 변화가 작고 토양수분이 잘 보존되는 것을 확인할 수 있었다.

일사량: 두 지점의 지표면에 도달하는 일사량을 Fig. 8에 나타내었다. 나대지에서는 최고 836 W/m^2, 숲속에서는 112 W/m^2가 관측되었다. 숲 속에는 나무의 영향으로 일사가 최고로 많은 시각에도 나대지의 18시나 08시 정도의 일사만 전달되는 것을 알 수 있었다. 이러한 지면 도달일사량의 차이가 두 지점 간에 존재하는 환경의 차이를 결정하는 가장 큰 요인

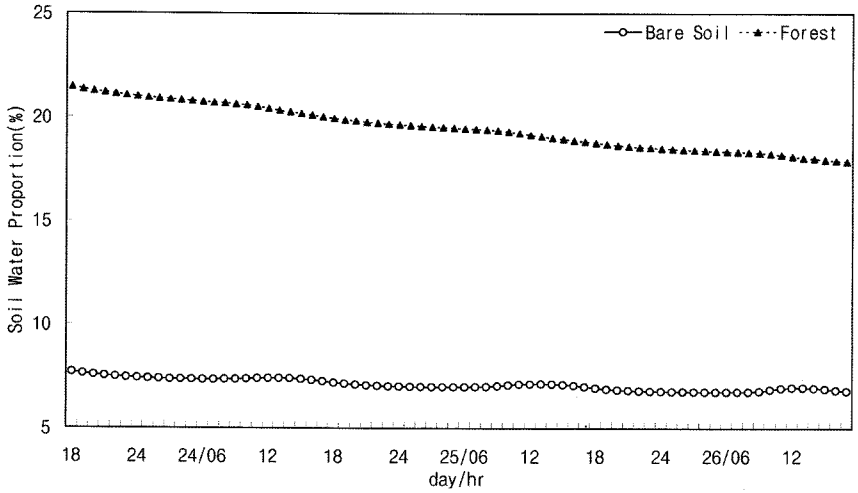


Fig. 8. Time variation of soil water proportion at Bare soil and Forest respectively.

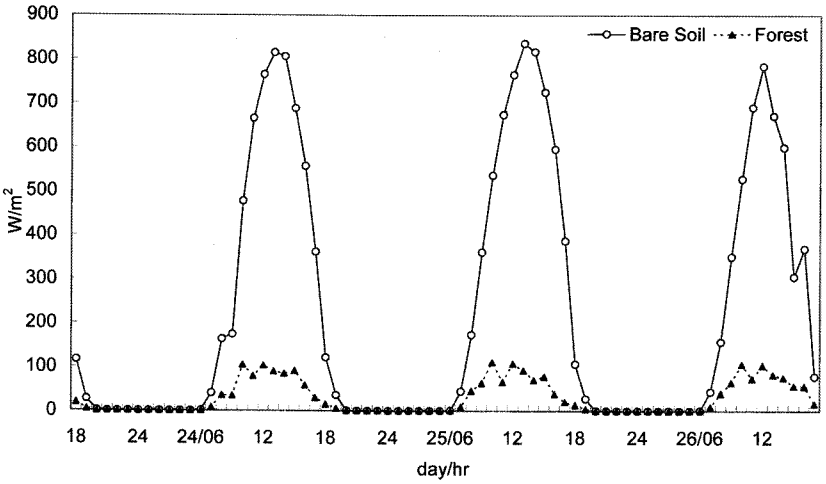


Fig. 9. Time variation of insolation at Bare soil and Forest respectively.

으로 판단된다.

풍향 및 풍속: 관측을 실시한 두 지점은 모두 동쪽 경사면에 위치해 있으며, 해발고도가 유사하고 수평 이격거리도 50 m 이내로 근접되어 있어서 풍향은 거의 같은 것으로 관측되었다(주풍향은 북서-북동풍) (Fig. 9). 반면에 풍속은 나대지의 경우 최고 풍속은 3 m/s에 이르렀고, 자료 분석기간 내내 숲속에 비하여 훨씬 강한 값을 보였다(Fig. 10). 숲속에서는 나무로 인하여 풍속이 약하고 지표면 온도가 낮게 형성되기 때문에 열수지 분석에서 제시되는 바와 같이 지표와 대기간의 열교환량이 나대지보다 훨씬 작은 것으로 판단된다.

열수지 분석

본 연구에서는 Tamiya의 방법을 이용하여 지표면 변화에 따른 열적 환경변화 특성을 이해하기 위해 나대지와 숲에서 관측된 기상자료를 이용하여 열수지 해석을 수행하였다. 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 여기서 $R^{\downarrow}$는 지면흡수 일사에너지와 하향의 대기장파복사에너지의 합이다. 이것과 지표면이 스테판-볼쯔만 방정식에 따라서 방출하는 지구장파복사에너지의 양(σT_s^4 (T_s는 지면온도))과의 차이가 지표면에서의 순복사량이 된다. 그리고 열수지 각 항을 계산함에 있어서 부호는 열이 대기에서 지면으로 향하는 경우에 양의 값(-), 그 반대인 경우에 음의 값(+)을 갖도록 하였다.

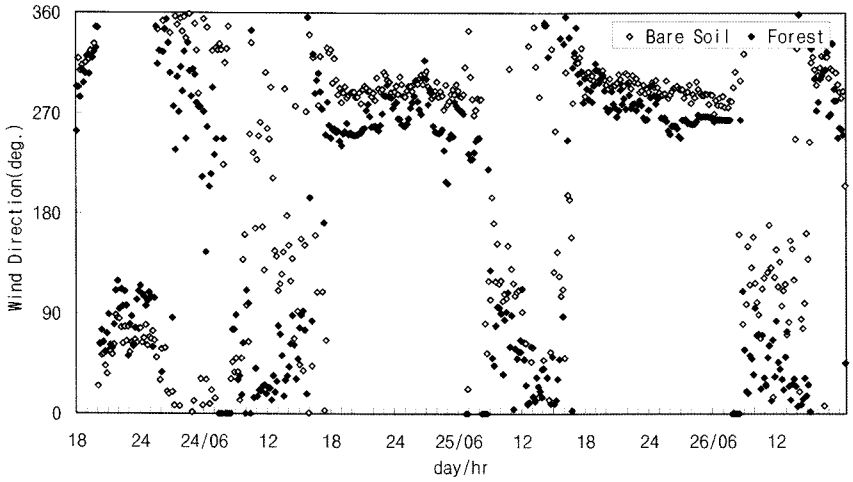


Fig. 10. Time variation of wind direction at Bare soil and Forest respectively.

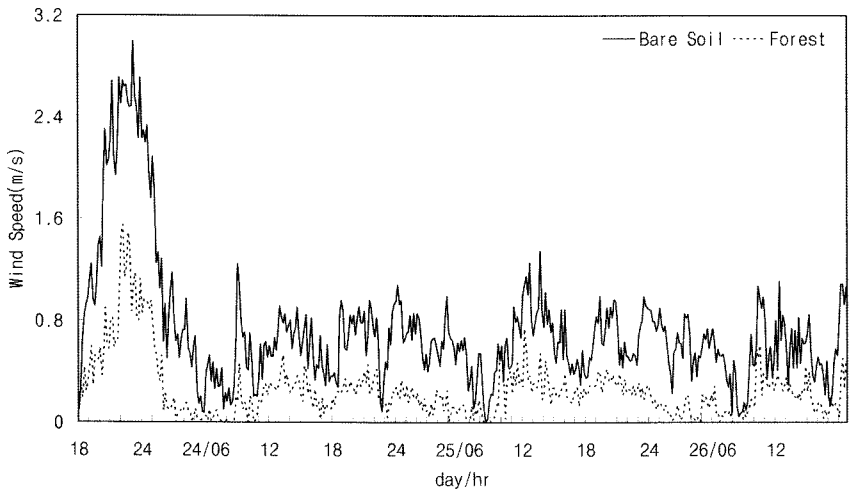


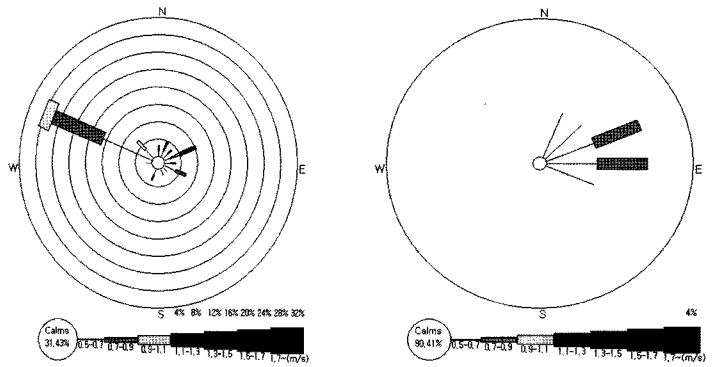
Fig. 11. Time variation of wind speed at Bare soil and Forest respectively.

나대지는 숲속에 비하여 태양일사의 도달량이 훨씬 많았기 때문에 $R^{\downarrow}$가 나대지에서 훨씬 크게 나타난다. 반면에 지표면이 상공으로 방출하는 장파복사의 양은 지표면온도의 절대온도의 4제곱에 비례하기 때문에 두 지역 사이에 큰 차이가 없다. 그 결과 순복사량의 절대 값이 나대지가 숲속보다 큰 것으로 평가되었다. 그리고 순복사량은 나대지 상에서는 주로 지중 저장열과 토양에서 대기로의 수증기 증발에 수반된 잠열로 전환되었다. 반면에 숲속에서는 현열과 잠열의 추정에 사용되는 풍속과 지표면과 대기간의 온도와 포화수증기압의 차이가 작아서 순복사량이 현열과 잠열로 전환되는 양이 작은 것으로 평가되었다. 그래서 숲속에서는 순복사량이 대부분 지중 저장열의 형태로 전환됨을 알 수 있었다.

요약 및 결론

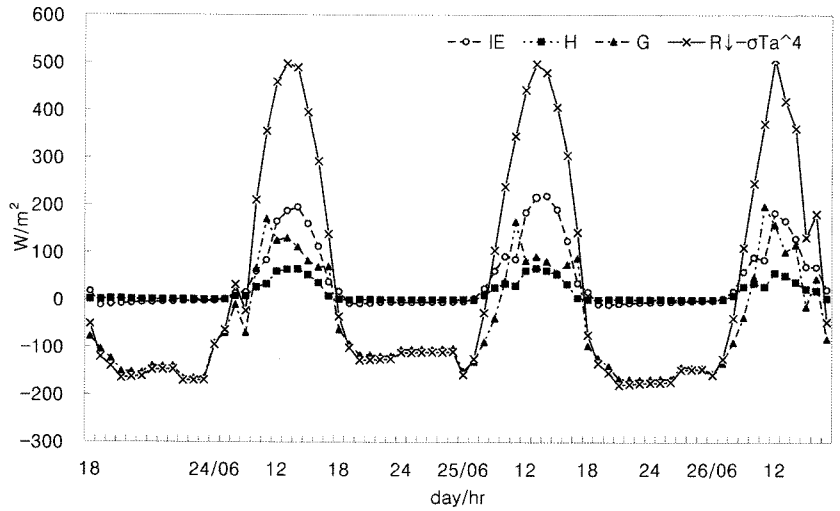
산지의 삼림보전의 정도에 따른 열환경 변화를 알아보기 위하여 계명대학교 내에 위치한 삼림 파괴지역과 보전지역에 자동기상관측장치를 설치하여 관측을 수행하고 자료를 분석하여 보았다. 그 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

첫째, 삼림이 파괴된 나대지가 숲이 보전된 숲속에 비하여 낮의 일최고기온이 약 2.4℃ 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이것은 Takahashi et al.(1989)이 중국 대흥안령(大興安嶺) 지역에서 화재로 삼림이 파

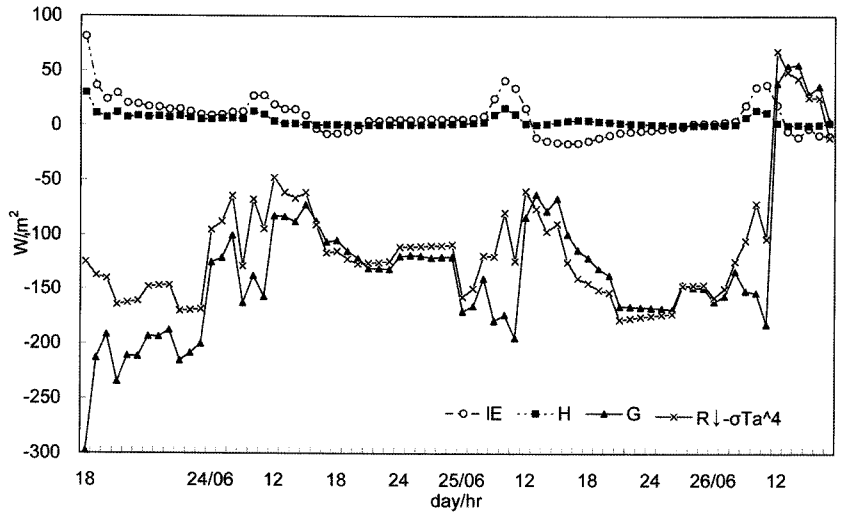


(a) Bare Soil Wind Rose (b) Forest Wind Rose

Fig. 12. Frequency of wind speed and wind direction at Bare soil and Forest respectively.



(a) bare soil



(b) forest

Fig. 13. Time variations of the heat budget terms estimated over (a) the bare soil surface and (b) its forest area.

괴된 지역과 삼림이 보존되어 있는 지역을 비교 관측한 결과(삼림 파괴지역의 기온이 1-2℃ 정도 높게 나타남)와 대체로 비슷하게 나타났다.

둘째, 지표면의 최고온도는 나대지에서 51.6℃, 숲속에서 39.3℃로 나타났고, 최저온도는 나대지에서 23.6℃, 숲속에서는 25.1℃의 분포를 보였다. 나대지와 숲속간의 지표면온도 차이는 Takahashi et al. (1989)의 결과에 비하여 2℃ 정도 작게 나타났는데, 그 이유는 본 연구에서 대상으로 잡은 숲속이 상대적으로 왜소한 소나무 군락지여서 숲이 태양에너지의 차단과 야간 복사냉각 차단에 미치는 영향이 작았기 때문이었을 것으로 판단된다.

셋째, 열수지 평가에 있어서는, 태양일사량과 대기장파복사량이 숲속보다 나대지에서 훨씬 컸다. 그래서 지표면과 대기간의 열교환량도 숲속보다 나대지에서 훨씬 크게 나타났다. 즉 숲속은 나대지에 비하여 기온과 토양온도의 일교차가 작고 토양수분도 높게 유지되었다. 이러한 숲속의 조건은 토양 생태계의 유지에 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

이 연구를 통하여 산지의 삼림보전은 토양환경의 보전뿐만 아니라, 지구온난화 시기에 기온상승을 억제하는 데에도 중요한 역할을 한다는 사실을 확인할 수 있었다. 이런 점에서 최근 우리나라에서 활발하게 진척되고 있는 과수단지의 북쪽 산지로의 이동이 국지적 기온상승을 유발하고 토양환경 보전에 악영향을 미칠 가능성이 시사되었고, 이 연구는 이러한 문제를 과학적으로 평가하는 데에 활용될 수 있다는 점에서 가치를 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단(과제번호 R01-2006-000-10104-0)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

김해동, 양성기, 1995, 제주도 북부해역의 표면열수지 해석 -1993년과 1994년 하계의 경우-. 한국환경과학회지, 4, 197-206.

조광우, 맹준호, 오영민, 김동선, 김무찬, 윤종휘, 2004, 기후변화 적응방안 연구-해수면상승을 중심으로-. 해양환경안전학회지, 10, 81-88.

전성우, 박용하, 정휘철, 이동근, 2002, 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구 III-삼림부분을 중심으로. 한국환경정책평가연구원 연구보고서, 255 p.

Harazawa, H. and Nishioka, S., 2003, 地球温暖化と日本. 古今書院, 411 p.

IPCC, 2001, Climate change 2001: The Scientific basic. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 881 p.

Ishi, T. and Kondo, J., 1993, Seasonal Variation of Heat Balance in the East China Sea and Its Vicinity-Ocean heat Transport and Ocean storage of heat-. Tenki, 40, 309-324. (in Japanese)

Kondo, J., 1994, 水環境の氣候學. 朝倉書店, Japan, 184 p.

Kondo, J. and Yamazawa, H. 1986, Aerodynamic roughness over an inhomogeneous ground surface. Boundary Layer Meteorology, 35, 331-348.

Okamoto, K., 1997, 將來の地表氣溫上昇 - 生態係との關聯. Study Group for Climate Impact and Application Newsletter, 13, 67-71.

Smit, B., Burton, I., Kelin, R.J.T., and Street, R., 1999, The Science of adaptation: A framework for assessment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 4, 199-213.

Tamiya, H., 1981, 都市の環境とHeat Island. 地域, 20, 18-23. (in Japanese)

Takahashi, H., Yoshida, M., Sohn., O., and Mann., C., 1989, 中國大興安嶺の森林大火災 と 林內氣候變化. WCIP and WCAP Newsletter, 6, 80-82.

2008년 5월 29일 접수
2008년 8월 27일 수정원고 접수
2009년 1월 7일 채택