

시간규모가 다른 Angstrom-Prescott 계수가 남한의 일별 일사량 추정에 미치는 영향

최미희¹ · 윤진일^{2*} · 정유란¹ · 문경환³

¹국기농림기상센터, ²경희대학교 생태시스템공학과, ³국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터

(2010년 11월 22일 접수; 2010년 12월 27일 수정; 2010년 12월 29일 수락)

Performance of Angstrom-Prescott Coefficients under Different Time Scales in Estimating Daily Solar Radiation in South Korea

Mi-Hee Choi¹, Jin I. Yun^{2*}, Uran Chung¹ and Kyung-Hwan Moon³

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

³National Institute of Subtropical Agriculture, RDA, Jeju 690-150, Korea

(Received November 22, 2010, Revised December 27, 2010; Accepted December 29, 2010)

ABSTRACT

While global solar radiation is an essential input variable in crop models, the observation stations are relatively sparse compared with other meteorological elements. Instead of using measured solar radiation, the Angstrom-Prescott model estimates have been widely used. Monthly data for solar radiation and sunshine duration are a convenient basis for deriving Angstrom-Prescott coefficients (a, b), but it is uncertain whether daily solar radiation could be estimated with a sufficient accuracy by the monthly data - derived coefficients. We derived the Angstrom-Prescott coefficients from the 25 years observed global solar radiation and sunshine duration data at 18 locations across South Korea. In order to figure out any improvements in estimating daily solar radiation by replacing monthly data with daily data, the coefficients (a, b) for each month were derived separately from daily data and monthly data. Local coefficients for eight validation sites were extracted from the spatially interpolated maps of the coefficients and used to estimate daily solar radiation from September 2008 to August 2009 when, pyranometers were operated at the same sites for validation purpose. Comparison with the measured radiation showed a better performance of the daily data - derived coefficients in estimating daily global solar radiation than the monthly data - derived coefficients, showing 9.3% decrease in the root mean square error (RMSE).

Key words : Angstrom-Prescott coefficient, Global solar radiation, Sunshine duration, Atmospheric transmission

I. 서 론

지표면이 받는 일사량은 지구-대기 시스템의 에너지 평형과 식생의 일차생산에 지극히 중요한 역할을 하므

로 일사량의 시공간분포는 대기뿐 아니라 육상생태계와 관련된 모든 수치모형에서 중요한 입력 변수이다. 하지만 일사측정장비는 보정과 유지에 어려움이 있기 때문에 대부분의 나라에서 기온이나 강수량에 비해 관



* Corresponding Author : Jin I. Yun
(jiyun@khu.ac.kr)

측밀도가 낮다(Podesta *et al.*, 2004). 따라서 관측자료가 없는 지점을 위한 추정기법으로서 위성자료를 이용하거나, 확률이론에 근거한 통계적 모형, 혹은 다른 기상요소와의 경험적 관계로부터 일사량을 추정하는 방법이 개발되어왔다(Podesta *et al.*, 2004; Iziomon and Mayer, 2002).

그 가운데 가장 널리 쓰이는 것이 일사-일조 관계식이며, 그 원형은 태양복사의 대기투과율에 근거한 Angstrom-Prescott 모형이다(Iziomon and Mayer, 2002; Trnka *et al.*, 2005; Podesta *et al.*, 2004; Almorox and Hontoria, 2004). 이 모형을 이용하면 기상관서의 기본관측요소 중 하나인 일조시간으로부터 전천일사량을 간편하게 추정할 수 있다. 이 모형이 정립된 후 일사추정의 정확도를 높이기 위해 지리인자나 다른 기상요소를 변수로 추가하고 차수를 늘리는 등 변형된 모형을 만들었지만 그 효과는 크지 않았다(Yorukoglu and Celik, 2006). 다만 대기투과율과 밀접한 관계가 있는 Angstrom-Prescott 모형의 계수(이하 A-P 계수)가 지역과 계절에 따라 변하는 데 착안하여 ‘지역 맞춤형’(region-specific) 모형으로 발전해 왔다. 우리나라에서는 Cho *et al.*(1987)이 1982-1986기간 중 일사량 관측자료가 축적된 남한 18개 기상대에 대해 일조-일사 관계 회귀모형을 작성하였는데, 측정신뢰도가 향상된 1982년 이후 자료에 근거한 A-P 계수를 발표한 것으로서 이 분야 연구의 효시라 할 수 있다. Jo and Kang(2008)은 같은 위도 상에 분포하는 일사량은 서로 유사성이 있다는 점에서 전국을 4개의 지대로 나눈 다음 각 지대의 A-P 계수를 월별로 제시하였으며, Lee and Sim(2010)은 6개 도시에 대하여 각각 A-P 계수를 도출하였다. 이들 연구의 공통점은 A-P 계수도출 시 모두 일별자료의 월평균을 이용하기 때문에 추정 일사량 역시 월별 평균 혹은 적산값에 한정된다는 점이다.

최근 기후변화에 따른 육상생태계 영향평가에 사용되는 반응예측모형들은 거의 일 단위 자료의 입력을 요구하므로 이에 부응하기 위해서는 신뢰성 있는 일간 일사량 추정법이 필요하다. 월 단위 자료를 사용하여 도출된 A-P 계수로 일간 적산일사량을 추정하는 기존 방법에 비해 일 단위 자료에 근거한 A-P 계수로 일간 일사량을 추정할 경우 신뢰성이 향상되었다는 보고가 있지만(Xiaoying *et al.*, 2009), 아직 국내에서는 유사한 연구가 수행된 적이 없다. 본 연구에서는 남한

지역의 일사-일조 동시관측 기상대를 대상으로 일 단위 및 월 단위 자료를 이용하여 각각 A-P 계수를 도출하고 서로 다른 시간단위 자료에 의해 도출된 A-P 계수가 일간 적산일사량의 추정값에 미치는 영향을 실측자료에 의해 비교, 검증하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 자료수집

일사량을 관측하는 18개 기상대를 대상으로 기상청으로부터 일사량과 일조시수 자료를 수집하였다(Fig. 1). 기상청에서 일사관측자료의 신뢰성 확보를 위해 1982년 3월부터 새로운 측기로 교체한 점을 고려하여(Jo *et al.*, 2000), 자료기간은 1983년도부터 2007년 도까지로 하였다.

일사계의 기종은 청주, 전주, 안동, 대구, 진주 등 5개에서는 CM6b(Kipp & Zonen, Netherlands)로서 내구성이 $\pm 1.0\%/yr$ 이고, 나머지 13개 기상대는 CM21(Kipp & Zonen, Netherlands)로 $\pm 0.5\%/yr$ 의 내구성을 갖는

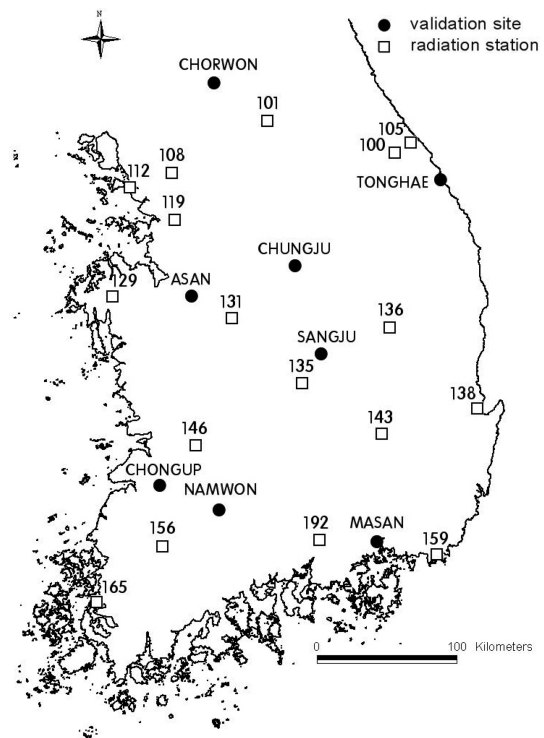


Fig. 1. Locations of 18 Korea Meteorological Administration solar radiation stations and eight sunshine duration stations where pyranometers were installed for the validation purpose.

다. 파장범위는 305-2800 nm로 동일하다.

일조시간 관측의 경우도 오래 동안 사용해오던 Campbell-Stokes 일조계와 Jordan 일조계를 1992년부터 전자식 일조계로 교체하기 시작하여 2000년에 완료하였지만, 자료의 연속성에는 문제가 없는 것으로 판단된다(기상청, 2007).

2.2. Angstrom-Prescott 모형

일조시간에 근거하여 일사량을 추정하기 위해 널리 사용되는 Angstrom-Prescott 모형은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad (1)$$

이 식에서 Q 는 지면일사량, Q_0 는 대기외일사량, S 는 일조시수, S_0 는 가조시수이다. a 와 b 가 바로 A-P 계수이며 경험적으로 얻게 된다. 이 실험에서는 일 단위 및 월 단위 자료로 구분하여 A-P 계수를 얻었다. 일 단위 계수 산출을 위해 먼저 18개 기상대의 1983-2007기간 매일 일사량 자료를 수집하여 해당날짜의 대기외일사에 대한 비율(일사율, Q/Q_0)을 계산하고 이를 종속변수로 두었다. 다음에는 매일 일조시간 자료를 수집하여 가조시간에 대한 비율(일조율, S/S_0)을 계산하여 독립변수로 두고 회귀식을 도출하였다. 월 단위 계수는 계산된 대기외일사량의 월별 평균값과 관측된 적산일사량의 월별 평균값을 이용하여 월 평균 일사율을 계산하여 종속변수로 두고, 월 평균 가조시간과 일조시간으로부터 구한 월평균 일조율을 독립변수로 둔 회귀식으로부터 도출하였다.

2.3. 검증

2008년 9월부터 2009년 8월까지 1년간 일사미관측 기상관측소 8개 지점에 일사센서(Model SP-110, Apogee, USA)를 설치하여 1분 간격으로 일사량을 측정하고 자료집록기(Model STL, STA, Korea)에 의해 수집하였다. SP-110은 광전효과(photovoltaic effect)에 근거한 태양전지(solar cell) 일사계이며 제작사의 사양에 따르면 측정값의 정확도는 준기 대비 $\pm 5\%$ 이내이고 내구성은 $\pm 0.5\%/yr$ 이다.

18개 지점에서 일 단위 및 월 단위로 도출된 A-P 계수 a 와 b 를 각각 거리역산가중법(Inverse distance weighting)에 의해 남한 전역 가중평균분포를 제작하고, 여기에서 8개 지점에 해당하는 계수를 추출하여 검증

에 사용하였다. 일간 일사량은 일 단위 및 월 단위 계수에 일별로 정리한 대기외일사, 가조시수, 일조시수를 이용하여 추정하였고, 월간 일사량은 일 단위 및 월 단위 계수 값에 월별로 평균한 대기외일사, 가조시수, 일조시수를 이용하여 추정하였다.

8개 지점에서 수집된 실측일사량과 상기 방법에 의해 추정된 일간 일사량 및 월간 일사량의 추정오차를 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 일조율, 일사율, A-P 계수

일사관측지점 18개소에서 25년간 관측된 일조율과 일사율의 변동범위를 일 단위자료와 월 단위자료로 나누어보면 양자 간 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 먼저 일 단위 일조율(가조시수에 대한 일조시수의 비율)은 최소값이 당연히 0이지만 월 단위 일조율은 평균값이므로 0이 될 수 없으며 최소값은 2006년 7월의 0.15이었다. 일조율의 최대값 역시 일 단위 자료에서는 0.9에 달하나 월 단위자료에서는 1991년 10월의 0.72에 그쳤다. 일사율의 경우 일 단위 관측자료에서는 최대값이 0.7을 상회하여 지표면 적산일사량이 대기외 일사량의 70%를 넘는 날도 있음을 보여준다. 일사율의 최소값은 0.1에 근접하여 산란일사만으로 구성된 아주 흐린 날은 지면일사량이 대기외일사량의 10%에 해당함을 알 수 있다. 하지만 월 단위 평균자료에서는 일사율의 최대값이 0.57, 최소값이 0.26 정도로 변동폭이 크게 줄어들었다. 관측자료의 단순비교만으로도 변동폭이 좁은 월 단위 자료에 근거해서 변동폭이 훨씬 넓은 일간 일사량을 추정하기에는 무리가 있음을 짐작할 수 있다.

18개 기상대에서 수집된 일조시간과 일사량 관측자료를 일 단위와 월 단위로 구분하여 각각 일조율과 일사율을 계산하고 이들 간의 선형관계를 비교해보았다(Fig. 2). 먼저 일 단위 자료로 도출된 직선회귀식의 결정계수는 0.93인 반면 월 단위 자료로 도출된 회귀식은 0.79의 결정계수를 나타낸다. Xiaoying *et al.*(2009)이 중국 내 31개 지점을 대상으로 시간규모를 달리하여 도출한 회귀식에서도 비슷한 결과를 얻었다. 이들이 중국 황하유역의 일사관측소 31개를 대상으로 40년간 수집한 자료를 분석하여 일 단위 자료로 유도할 경우 0.82, 월 단위 자료의 경우 0.64의 결정

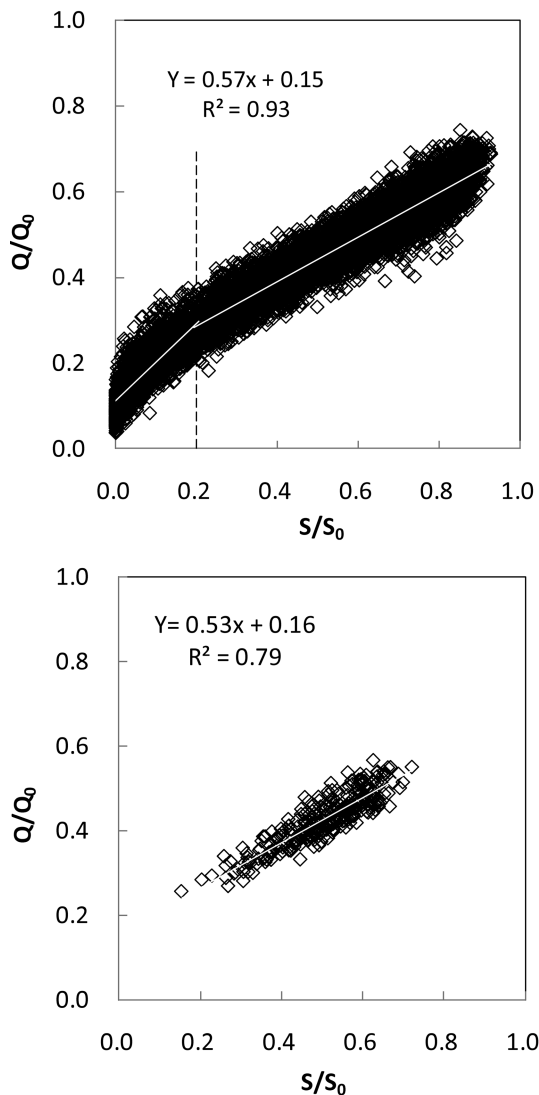


Fig. 2. Relationship between the S/S_0 (the surface to extra-terrestrial radiation ratio) and Q/Q_0 (the sunshine duration to photoperiod ratio) observed at 18 locations in South Korea during 1983-2007: (top) daily temporal scale; (bottom) monthly temporal scale (here, monthly data were averaged using daily observation).

계수를 얻었다. 이러한 차이의 가장 큰 원인은 자료개수의 차이(365대 12)이기도 하지만, 일 단위 자료의 경우 일조율의 전 범위에 걸쳐 일사율의 변동폭이 거의 일정한 반면, 월 단위 자료에서는 일조율이 클수록 일사율의 변동폭이 커지는 양상에도 기인한다. 즉 월 단위 자료를 이용한다면 흐린 날이 많은 계절에 비해 맑은 날이 많은 계절의 일사량 추정이 더욱 어려울

것임을 암시한다. 이것은 일간 일사량 추정이 아니라 월간 일사량 추정에 해당되는 것이어서 더 장기간의 자료가 축적된 후 다시 분석해 볼 필요가 있다. 반면 일 단위자료에서는 일조율의 전 구간에 걸쳐 일사율이 $-0.1 \sim +0.1$ 정도 범위에서 고르게 변동하는 모습을 보인다. 직선회귀식의 기울기는 0.57이지만 일조율이 0.2 이하로 낮은 구간과 0.7 이상으로 높은 구간에서는 기울기가 더 커지는 양상이 나타난다. 이것은 일 단위 일조시간자료에 근거한 일사량 추정시 아주 흐린 날이나 아주 맑은 날은 일조시간 한 단위 변화에 따른 일사량의 변화속도가 평균에 비해 더 커질 수 있음을 보여준다.

Fig. 2에 나타난 일 단위 및 월 단위 일조율과 일사율자료에 근거하여 A-P 계수를 각각 도출한 결과, 일 단위자료의 경우 a 는 대관령의 0.175에서 목포의 0.230까지 변하며 평균은 0.203이었다. 반면 월 단위 자료로 도출한 a 의 변이는 대관령의 0.135에서 광주 0.217로서 평균이 0.175로 작았지만 지점간 변이는 더 컸다. b 의 경우에는 일 단위자료와 월 단위자료에서 평균은 0.486과 0.500으로 비슷하였지만, 지점간 변동폭은 역시 월 단위자료에서 더 컸다(Table 1).

계수 a 와 b 의 합은 일조율이 1인 맑은 날 대기 중에서 산란, 흡수되지 않고 지표면에 도달할 수 있는 대기외일사량의 최대값, 즉 대기투과율을 가리킨다. 관측지점에 따라 일 단위 자료로 추정된 대기투과율은 서울의 0.648에서 진주의 0.743 범위로 평균 0.690이었다. 월 단위 자료로 추정된 대기투과율은 역시 서울에서 가장 낮은 0.586을, 진주에서 가장 높은 0.745를 보여 지점간 변이가 일 단위자료로 추정할 때보다 더 커지는 것을 알 수 있다.

3.2. 추정 일사량의 신뢰성

일 단위 자료로 도출한 계수를 이용하여 8개 검증 지점의 일간 일사량을 추정한 결과 추정오차(RMSE)는 계절에 따라 겨울의 1.13에서 여름의 2.34 MJ/m^2 의 범위로서 연평균 1.66 MJ/m^2 값을 보였다. 월 단위 자료로 도출한 계수를 이용할 경우 RMSE는 겨울의 1.22에서 여름의 2.73 MJ/m^2 범위로서 연평균 1.83 MJ/m^2 값을 보여, 일 단위자료로 일간 일사량을 추정하는 것이 월 단위자료로 추정하는 것에 비해 평균 9.3%의 개선효과가 있었다(Table 2). 본 연구 외에도 월 단위자료로부터 도출된 A-P계수는 여럿 있는

Table 1. Angstrom-Prescott coefficients derived from the observed sunshine duration and solar radiation at 18 locations in South Korea for the recent 25 years (1983-2007). Both daily observations and the monthly mean data were used to derive the coefficients, respectively

Station ID	Station Name	Elevation (m)	Daily data			Monthly mean data		
			a	b	a+b	a	b	a+b
100	TAEGWALLYONG	843	0.175	0.559	0.734	0.135	0.591	0.727
101	CHUNCHON	77	0.207	0.476	0.684	0.210	0.426	0.636
105	KANGNUNG	26	0.217	0.482	0.699	0.173	0.518	0.691
108	SEOUL	89	0.197	0.452	0.648	0.213	0.373	0.586
112	INCHON	69	0.192	0.476	0.661	0.164	0.489	0.653
119	SUWON	34	0.199	0.459	0.658	0.149	0.518	0.678
129	SOSAN	26	0.222	0.484	0.706	0.200	0.485	0.684
131	CHONGJU	57	0.198	0.491	0.689	0.178	0.484	0.662
135	CHUPUNGNYONG	243	0.181	0.485	0.666	0.138	0.528	0.666
136	ANDONG	141	0.200	0.471	0.671	0.154	0.523	0.677
138	POHANG	2	0.201	0.493	0.694	0.138	0.571	0.709
143	TAEGU	58	0.204	0.463	0.667	0.177	0.477	0.654
146	CHONJU	54	0.206	0.470	0.676	0.197	0.442	0.640
156	KWANGJU	71	0.211	0.495	0.706	0.217	0.444	0.660
159	PUSAN	69	0.200	0.471	0.671	0.171	0.483	0.654
165	MOKPO	38	0.230	0.500	0.729	0.198	0.520	0.718
184	CHEJU	20	0.197	0.506	0.703	0.155	0.544	0.699
192	CHINJU	21	0.194	0.477	0.743	0.174	0.571	0.745
Mean			0.203	0.486	0.690	0.175	0.500	0.674

Table 2. Seasonal estimation errors for daily solar radiation at the eight validation sites by Angstrom-Prescott model with the coefficients derived from daily and monthly data, respectively (D was daily data - derived coefficients and M was monthly data - derived coefficients)

Station Name	RMSE									
	Winter		Spring		Summer		Fall		Annual	
	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M
CHORWON	0.78	0.97	1.87	2.68	1.93	2.71	1.02	1.32	1.40	1.92
TONGHAE	0.98	1.00	1.97	1.96	2.38	2.41	1.12	1.04	1.61	1.60
CHUNGJU	1.44	1.57	1.76	1.81	1.79	1.92	1.17	1.16	1.54	1.61
SANGJU	1.51	1.46	2.83	2.89	3.35	3.91	1.67	1.63	2.34	2.47
MASAN	0.93	1.16	1.79	1.67	2.54	3.20	0.93	1.12	1.55	1.79
ASAN	1.36	1.38	2.32	2.33	2.04	2.33	1.15	1.15	1.72	1.80
CHONGUP	1.09	1.19	1.83	1.60	-	-	1.07	1.28	1.33	1.36
NAMWON	0.92	1.02	1.62	1.81	2.36	2.63	1.26	1.48	1.54	1.73
Mean	1.13	1.22	2.00	2.09	2.34	2.73	1.17	1.27	1.66	1.83

데, 그 가운데 Jo and Kang(2008)은 남한을 4개의 지역으로 구분하여 월 단위 자료로부터 A-P 계수를 월별로 도출함으로써 시공간적으로 정밀한 추정을 시도한 바 있다. Jo and Kang(2008)의 월별 계수를 이용한 결과와 비교하기 위해 8개 검증관측소를 4개 지역으로 나누고 월별 해당 계수를 적용하여 각 지점

의 일간 일사량을 추정해 보았다. 이 경우 RMSE가 평균 1.81 MJ/m²로서 본 연구에서 얻은 값(1.83 MJ/m²)과 비슷하였다. 월 단위 계수로 추정할 경우의 일간 일사량 추정오차가 서로 다른 두 연구에서 도출했음에도 불구하고 모두 일 단위 계수로 추정하는 경우보다 큰 오차를 보인 것은 연구결과의 보편성을 뒷

받침한다. 뿐만 아니라 외국의 연구에서도 유사한 결과를 확인할 수 있는데, Xiaoying et al.(2009)이 중국 황하유역을 대상으로 31개 지점의 40년간 자료를 이용하여 일 단위 및 월 단위자료로 일간 일사량을 추정하고 일 단위 계수로 추정한 일간 일사량의 추정오차가 평균 1.99 MJ/m²로서 월 단위 계수의 추정오차 2.08 MJ/m²에 비해 약간 개선되었다. 따라서 일간 일사량의 추정신뢰도를 높이기 위해서는 기존 월 단위자료에 근거한 A-P 계수의 사용을 지양하고 일 단위자료에 근거한 A-P 계수의 도출과 적용방법을 개발해야 할 것이다.

적 요

작물모형의 필수 입력자료인 일간 누적일사량은 다른 기상요소들에 비해 관측밀도가 낮아 대안으로서 일조시간을 기반으로 한 Angstrom-Prescott 모형 추정값이 널리 사용되고 있다. 추정의 간편성 때문에 월 단위 일사량 및 일조시간 자료가 모형의 계수(Angstrom-Prescott coefficients, 이하 A-P 계수) 도출에 사용되고 있지만 작물생육모형에서 요구하는 일간 일사량을 추정하는 데는 한계가 있다. A-P 계수 도출에 월 단위 자료 대신 일 단위 자료를 사용함으로써 기대되는 개선효과를 판정하기 위해 일사량과 일조시간을 동시에 관측하는 국내 18개 기상대의 25년 간(1983~2007) 일 단위 및 월 단위 자료로부터 A-P 계수를 각각 도출하였다. 이 계수들의 공간분포로부터 일사 미관측 기상대 8곳의 A-P 계수를 추출하고 지점별 일 단위 및 월 단위 계수를 실측 일조시간자료에 적용하여 2008년 9월부터 2009년 8월까지 일사량을 일별로 추정하였다. 같은 기간 중 이들 일사 미관측기상대에 검증용 일사계를 설치하여 얻은 실측 일사량자료와 비교한 결과 일 단위자료 기반의 추정오차가 월 단위자료 기반 오차에 비해 평균 9.3% 적었다.

감사의 글

이 연구는 2009년도 농촌진흥청 농업과학기술개발공

동연구사업(과제명: 기후변화에 따른 주요 작물별 재배 적지변동 연구)의 지원으로 이루어졌다.

REFERENCES

- Almorox, J., and C. Hontoria, 2004: Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management* **45**, 1529-1535.
- Cho, H. M., K. W. Chung, and C. H. Cho, 1987: The relationship between the amount of solar radiation at ground level and related meteorological parameters. *Journal of Korean Meteorological Society* **23**, 26-34.
- Iziomon, M. G., and H. Mayer, 2002: Assessment of some global solar radiation parameterizations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **64**, 1631-1643.
- Jo, D. K., and Y. H. Kang, 2008: A study on estimating solar radiation in relation to meteorological parameters. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **28**, 1-6.
- Jo, D. K., I. S. Chun, and T. K. Lee, 2000: A study on accuracy evaluation of horizontal global radiation data in Korea. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **20**, 31-43.
- Kim, Y. H., H. J. Koo, J. C. Nam, and S. N. Oh, 2004: Characteristics of sunshine and cloudiness in Seoul. *Journal of Korean Meteorological Society* **40**, 571-586.
- Lee, K. H., and K. Y. Sim, 2010: Analysis and calculation of global hourly solar irradiation based on sunshine duration for major cities in Korea. *Journal of the Korean Solar Energy Society* **30**, 16-21.
- Podesta, G. P., L. Nunez, C. A. Villanueva, and M. A. Skansi, 2004: Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas. *Agricultural and Forest Meteorology* **123**, 41-53.
- Trnka, M., Z. Zalid, J. Eitzinger, and M. Dubrovsky, 2005: Global solar radiation in Central European lowlands estimation by various empirical formulae. *Agricultural and Forest Meteorology* **131**, 54-76.
- Xiaoying, L., M. Xurong, L. Yuzhoung, Z. Yanqing, W. Qingsuo, J. R. Jens, and P. R. John, 2009: Calibration of the Angstrom-Prescott coefficients (a, b) under different time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. *Agricultural and Forest Meteorology* **149**, 697-710.
- Yorukoglu, M., and A. N. Celik, 2006: A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. *Energy Conversion and Management* **47**, 2441-2450.
- 기상청, 2007: 최적 일사관측망 구축운영에 관한 연구. 기상청, 85pp.