

기상청에서 운용 중인 지역별 지표 홍반자외선 (EUV-B) 복사의 특성

Characteristics of Erythemal Ultraviolet Irradiance operating at Korea Meteorological Administration

홍 기 만* · 최 병 철

기상청 기상연구소 지구대기감시관측소
(2005년 12월 2일 접수, 2006년 3월 2일 채택)

Gi-Man Hong* and Byoung-Cheol Choi

*Korea Global Atmosphere Watch Observatory / Meteorological Research Institute /
Korea Meteorological Administration*

(Received 2 December 2005, accepted 2 March 2006)

Abstract

We analyzed the monthly and seasonal mean of the daily Erythemal Ultraviolet-B (EUV-B, 280~320 nm) irradiance operating in Pohang, Anmyeon, Gosan, Mokpo and Kangnung with UV-Biometer (Solar Light Co., Model No. 501) at clear-sky noon during the period from 1999 to 2004. Also, we investigated the seasonal and regional characteristics for the UV index over the Korean Peninsula. The daily maximum occurred near solar southing time and the highest monthly accumulated EUV-B irradiance appeared in July and August at each regional observatory. The monthly mean value of the clear-sky EUV-B irradiance in Pohang, Anmyeon, Gosan, Mokpo and Kangnung showed 196.6, 161.8, 221.9, 171.5 mWm^{-2} and 179.7 mWm^{-2} near noon in July respectively. The annual mean value of the daily accumulated EUV-B irradiance in Pohang, Anmyeon, Gosan, Mokpo and Kangnung were 1.8, 2.1, 2.2, 1.8 kJm^{-2} and 1.8 kJm^{-2} respectively. The UV Index (UVI) showed above UVI 7 (High) more than 90 days during one year over the Korean Peninsula.

Key words : Erythemal ultraviolet (EUV) irradiance, UV index, Minimal erythemal dose (MED)

1. 서 론

성층권 오존의 감소에 따른 지표 유해 자외선의 증가는 피부암, 백내장, DNA 손상 등을 유발시켜 인

간에게 큰 피해를 줄 뿐만 아니라 대기의 광화학반응에도 영향을 주어 대기환경을 변화시킨다 (Herman *et al.*, 1996). 따라서 지표 유해 자외선은 전 파장의 태양복사에 비해 아주 작은 양이지만, 생물학적 측면이나 환경학적인 측면에서 볼 때 매우 중요한 복사 영역이라 말할 수 있다.

한편 태양 자외선 복사는 생물학적으로 UV-A,

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)41-674-6420, E-mail : hongkm@kma.go.kr

UV-B, UV-C의 세 부분으로 구분된다(WHO, 1994; Tevini, 1993). UV-A는 320~400 nm 파장 영역으로 오존층에 거의 흡수되지 않아 오존층의 변동과 관계 없이 지상에 도달하며 인체의 비타민 D 합성에 도움이 된다. UV-C의 파장 영역은 100~280 nm로 식물과 동물에 매우 해롭지만 현 오존층과 그 밖의 산소 분자와 흡수기체에 완전히 흡수되어 지표면에 도달하지 않는다. 마지막으로 본 연구의 관심 영역인 UV-B는 280~320 nm의 파장 영역으로 오존층의 오존량 변동에 크게 영향을 미쳐 그 결과 인간 뿐만 아니라 동·식물에 큰 피해를 준다. 지표 유해 자외선 복사의 증가와 관련된 연구는 최근 많이 수행되고 있다(Taalas *et al.*, 2000; 조희구 등, 1998; Weiler and Penhale, 1994; Madronich, 1993). 지표 자외선 복사의 변화는 태양과 지구간의 거리, 태양천정각의 기하학적 요소 외에 주로 오존전량(McKenzie *et al.*, 1996), 구름, 에어로솔과 지표면 알베도에 의해 많은 영향을 받는다.

현재 한반도 지역의 지표에 도달하는 유해 자외선을 감시하기 위하여 기상청은 1994년부터 연차적으로 포항, 목포(2001년부터 무안에서 이관하여 관측), 안면도, 제주 고산, 강릉 등에 Robertson-Berger형 UV-Biometer (Solar Light Co. Model 501)를 설치하여 운용 중에 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재 기상청에서 운용하고 있는 UV-Biometer에 의해 그동안 관측된 지표 홍반 자외선 복사(erythemal ultraviolet irradiance) 자료를 이용하여 지역별 지표 홍반자외선의 일변화, 연변화, 계절변화 및 지역별 분포 특징을 밝히고자 한다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1 지표 홍반자외선 복사(erythemal ultraviolet irradiance)

기상청에서는 1994년부터 UV-Biometer를 포항, 목포(무안), 안면도, 제주 고산, 그리고 강릉 등에 설치하여 운용 중에 있다. 일반적으로 지표에 도달하는 자외선 복사량은 대기 밖 일사량(extraterrestrial solar radiation), 태양천정각(solar zenith angle: SZA), 구름상태(cloud condition), 오존전량(total ozone), 지표알베도(surface albedo)와 대기혼탁도(atmospheric turbidity)

등에 의하여 시·공간적 변화를 한다.

파장 범위가 280~320 nm인 UV-B는 인체나 생물에 특히 해가 되는 것으로 알려져 있다(WCRP, 1997). 자외선 복사는 파장에 따라 생물에 미치는 효과가 다르기 때문에 생물의 종류에 따라 다른 파장별 효과를 나타내는 분광함수의 가중 값을 사용하게 된다(Madronich *et al.*, 1991, 작용 스펙트럼; action spectrum). 위의 자외선 파장 영역을 적분한 홍반 가중 UV-B 복사(erythemally weighted ultraviolet B radiation)(이후 본문에서는 EUV-B로 함)는 다음의 식으로 표시된다.

$$EUV-B = \int_{280\text{nm}}^{320\text{nm}} E(\lambda) W(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$E(\lambda)$: 파장별 자외선 복사 세기($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$)

$W(\lambda)$: 작용 스펙트럼의 가중 상대값

여기에서 $E(\lambda)$ 는 파장별 자외선 복사 세기($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$)이고, $W(\lambda)$ 는 작용 스펙트럼의 가중 상대값이다. 그러므로 식(1)의 가중된 UV-B 복사의 세기는 Wm^{-2} 의 단위를 갖는다(조희구 등, 2001).

본 연구에서 사용된 EUV-B 복사 자료는 지역별로 관측 시기가 다소 차이가 있지만 사용된 자료는 전체적으로 1999년 1월부터 2004년 12월까지 UV-Biometer(미국 Solar Light Model 501)를 이용하여 10분마다 자동 관측된 자료이다. 측정단위는 최소홍반점(minimum erythemal dose; MED)(이후 본문에서 MED로 함)이고, 1 MED는 수평면에서 210 Jm^{-2} 에 해당된다(WMO, 1994; Solar Light, 1993). 한편 자외선 관측 기기인 UV-Biometer의 정기 검정은 2년에 한번씩 미국 Solar Light 제조회사에 보내어 검정을 받고 있다.

자료 분석을 위해 일변화와 연변화 및 계절변화를 위한 자료 처리는 하루를 기준으로 10분마다 관측된 144개의 MED 관측 자료를 EUV-B 자료로 변환하여 EUV-B 복사량이 최대인 값을 일 자료 값으로 선택하여 사용하였으며, 맑은 날 EUV-B 복사량의 선택은 일변화 경향을 확인한 후 복사량의 곡선이 코사인 곡선 형태로 잘 나타나는 날을 선택하여 분석에 사용하였다(송병현 등, 2005).

표 1과 그림 1은 현재 기상청에서 운용하고 있는 EUV-B 관측 지역의 정보 및 위치를 나타내고 있다.

Table 1. Description of EUV-B monitoring sites operating at KMA.

Site	Lat. & Lon.	Starting time	Parameter
Pohang	36.02° N, 129.23° E	1994	UVB (280~320 nm)
Anmyeon	36.32° N, 126.19° E	1997	UVB (280~320 nm)
Gosan	33.17° N, 126.10° E	1997	UVB (280~320 nm)
Mokpo	34.49° N, 126.23° E	2000	UVB (280~320 nm)
Kangnung	37.45° N, 128.54° E	2001	UVB (280~320 nm)

Table 2. UV Index (UVI) range used in KMA.

Categories	UVI range	Average time to burn
Extremely High	≥9	Less than 20 minutes
High	7.0~8.9	Around 30 minutes
Moderate	5.0~6.9	Around 60 minutes
Low	3.0~4.9	Around 100 minutes
Very Low	0.0~2.9	2~3 hours or more

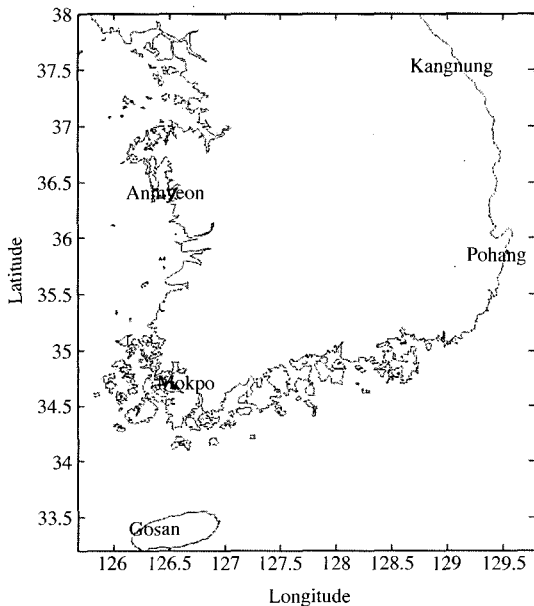


Fig. 1. Location of EUV-B monitoring site.

포항기상대에서 오존층 감시와 더불어 1994년부터 설치하여 운용되어 연차적으로 목포(무안), 안면도, 고산, 그리고 강릉 등 5개 지역에서 EUV-B를 관측하고 있다.

2.2 자외선 지수

세계기상기구(WMO)에서는 전 지구적 표준 자외선 지수를 설정하기 위하여 캐나다, 핀란드, 독일, 뉴질랜드, 스웨덴, 미국 등 각국의 방법을 검토해 왔으며 이들 나라의 자외선 지수 예측 방법은 거의 공통적으로 태양의 남중시간을 중심으로 오존전량을 먼저 예측하고 이 오존전량으로 EUV-B 복사량을 계산한 후 자외선 지수를 예측하고 있다.

본 연구에서는 현재 기상청에서 사용하고 있는 자외선 지수 계산방법(2)을 이용하여 자외선 지수를 계산하였으며, 식(2)는 아래와 같다(기상연구소, 1998).

$$UVI = K \int_{280\text{ nm}}^{320\text{ nm}} E(\lambda) W(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

여기서 K=40이고, 태양남중시간을 중심으로 10분 평균 EUV-B 복사속밀도(mWm^{-2})에 지수 1에 해당하는 $25 mWm^{-2}$ 로 나누어 표시한다(Long *et al.*, 1996). 이러한 방법으로 각 지역의 EUV-B 복사 관측값으로부터 자외선 지수를 각각 계산하였다. 표 2는 현재 기상청에서 사용하고 있는 자외선 지수(UV Index, UVI)의 범위별 자외선 강도와 피부 민감도가 보통인 사람의 경우 평균 홍반 생성시간을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 토의

포항, 안면도, 고산, 목포, 그리고 강릉 지역에서 관측된 EUV-B 복사 자료를 이용하여 이들의 일변화(diurnal variation), 월변화(monthly variation), 계절변화(seasonal variation) 및 지역별 자외선 분포 특징을 밝혔다.

3.1 일변화

그림 2는 포항, 안면도, 제주 고산, 강릉, 목포 등 5개소에서 관측한 EUV-B 복사 자료 중 여름철 지표 유해 자외선 복사량의 일변화를 나타낸 그림이다. EUV-B 복사량은 관측지점의 위도와 경도, 태양고도의 변화, 관측소 상공의 오존전량, 대기 중 구름 및 에어로솔 양 등에 따라 지표에 도달하는 양이 달라진다. 그림 2에 나타난 바와 같이 하루 중 태양고도

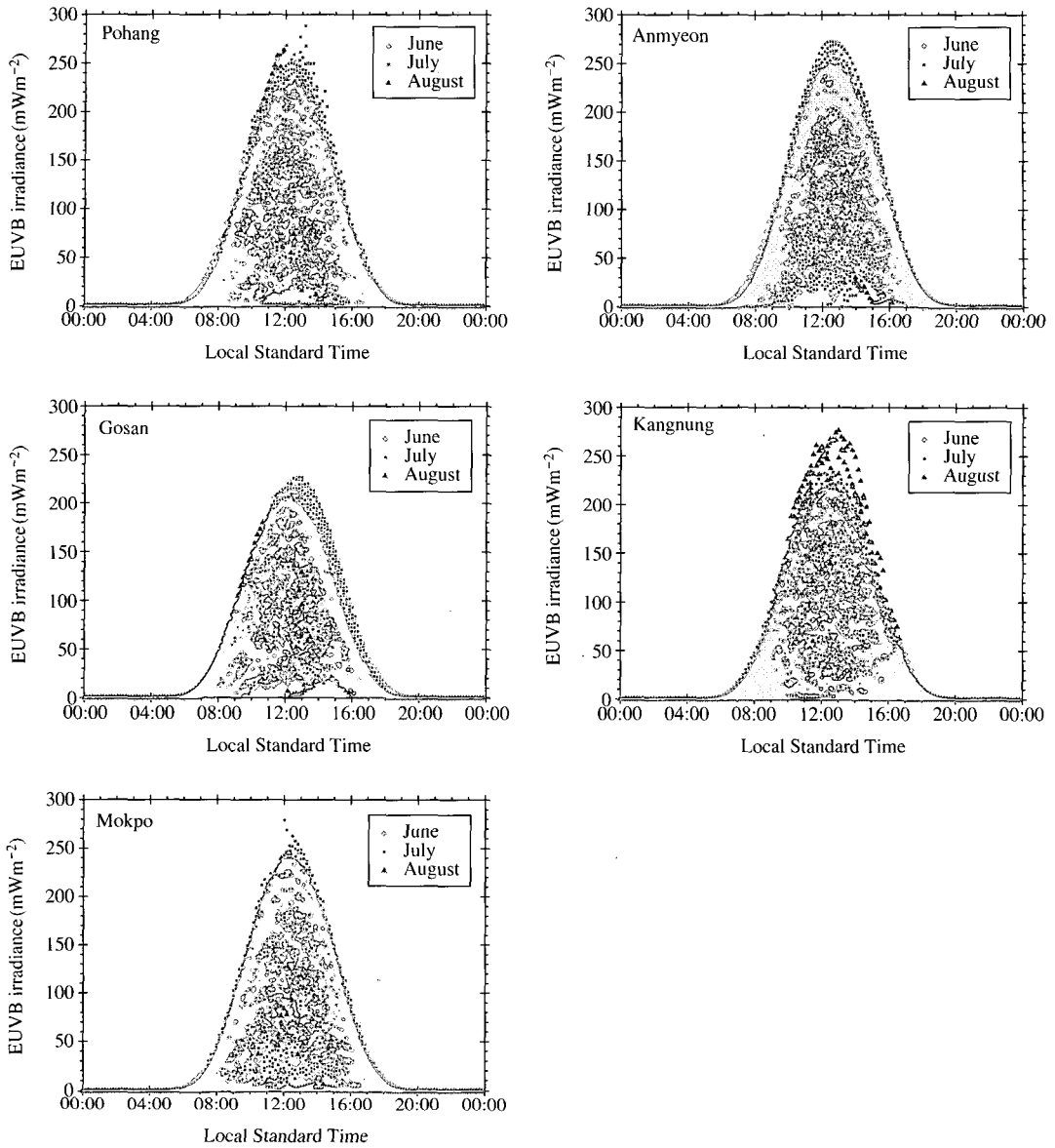


Fig. 2. Diurnal variations of the Erythemal Ultraviolet-B (EUV-B) irradiance at Pohang, Anmyeon, Gosan, Kangnung and Mokpo in summer season.

가 가장 높은 남중시간 부근에서 EUV-B 복사량이 가장 높게 나타났다. 관측 결과 포항, 목포 그리고 안면도에서 280 mWm^{-2} 이상의 높은 값을 나타내었다. 이는 현재 기상청이 적용하고 있는 자외선 지수에 적용시키면 “매우 높음 (Extremely High)”에 해당되며 20분간 피부가 태양에 노출된 경우 홍반이 나타

날 수 있음을 의미한다. 또한, 강릉을 제외한 포항, 안면도, 고산, 목포의 경우는 6월과 8월에 비해 7월의 EUV-B 복사량이 상대적으로 강하게 관측되었다.

그림 3은 수평면 홍반자외선 B (EUV-B) 복사량의 일적산값을 지역별로 나타낸 것이다. 이 그림에서 나타나는 큰 특징은 EUV-B 복사량은 태양 천정각이

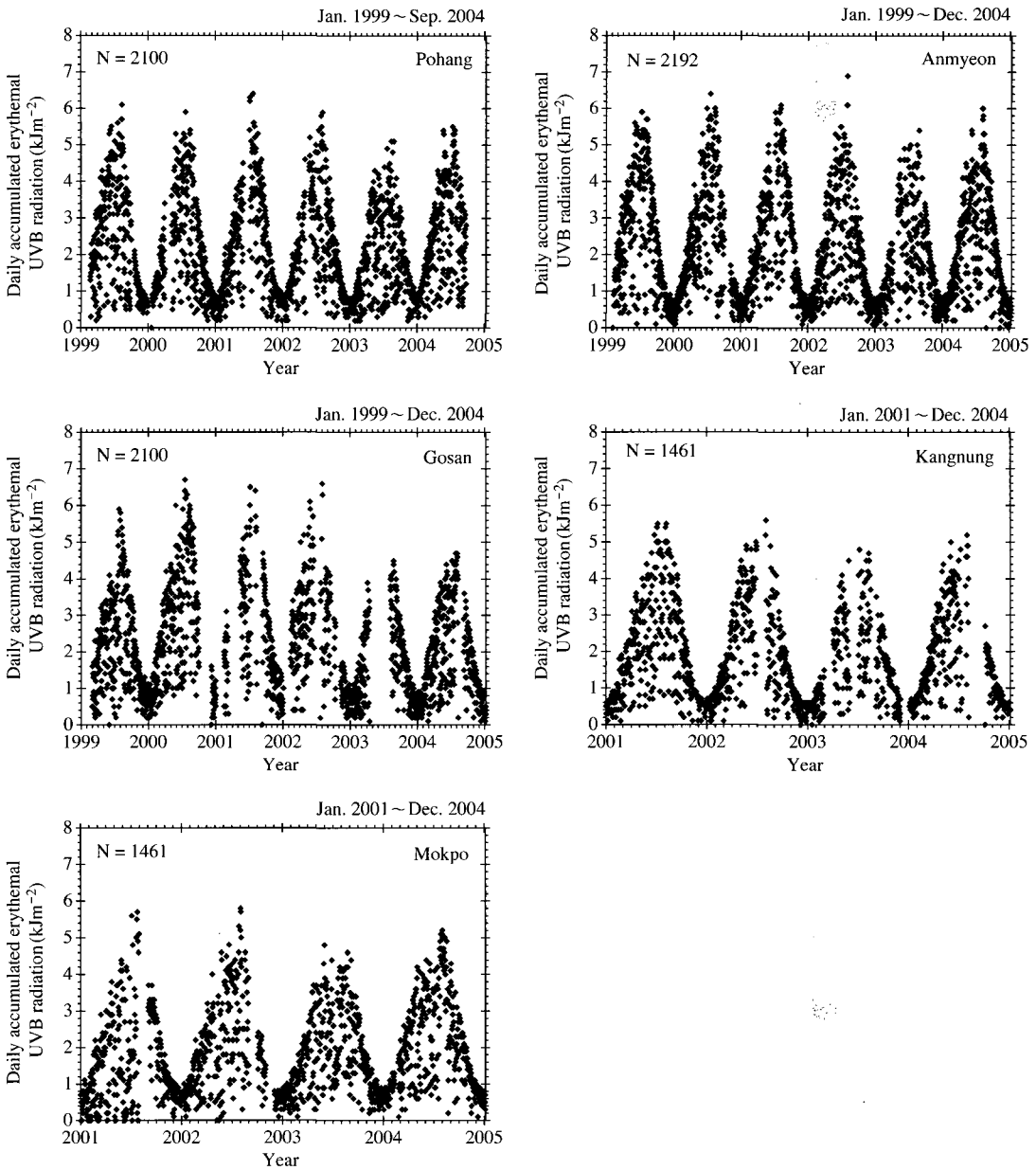


Fig. 3. Time series of the daily accumulated EUV-B irradiance at Pohang, Anmyeon, Gosan, Kangnung and Mokpo.

비교적 작은 여름에 많고 천정각이 큰 겨울에 적은 뚜렷한 계절변화를 나타내고 있다. 지역별로 연평균 수평면 홍반 자외선 B 복사량을 살펴보면 제주 고산에서 2.2 kJm^{-2} 로 가장 높게 관측되었으며, 안면도, 포항, 목포 그리고 강릉은 각각 $2.1, 1.8, 1.8, 1.8 \text{ kJm}^{-2}$

로 관측되었다. 이 결과는 조희구 등(2001)이 서울(연세대) 자료를 중심으로 분석했던 결과(1.6 kJm^{-2})와 유사한 값을 나타냈지만, 연평균 0.2 kJm^{-2} 의 차이를 보였다(표 3 참조). 특히 여름철 최대값이 나타났던 고산(3.5 kJm^{-2})과 최저값이 나타났던 강릉(2.8

Table 3. Seasonal mean values of the EUV-B for clear sky noontime (mWm^{-2}) and the daily accumulated EUV-B for all skies (kJm^{-2}).

Site (period)	Unit	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
Pohang ('99~'04)	Mean (mWm^{-2})	117.9	163.8	91.5	46.0	106.5
	Mean (kJm^{-2})	2.1	2.9	1.5	0.7	1.8
Anmyeon ('99~'04)	Mean (mWm^{-2})	131.4	191.7	105.4	51.3	120.6
	Mean (kJm^{-2})	2.4	3.5	1.8	0.8	2.1
Gosan ('99~'04)	Mean (mWm^{-2})	138.8	211.9	136.9	63.6	137.3
	Mean (kJm^{-2})	2.4	3.4	1.9	0.9	2.2
Mokpo ('01~'04)	Mean (mWm^{-2})	125.0	177.2	88.9	43.6	104.1
	Mean (kJm^{-2})	2.3	3.0	1.4	0.7	1.8
Kangnung ('01~'04)	Mean (mWm^{-2})	119.5	163.5	105.4	53.3	109.9
	Mean (kJm^{-2})	2.0	2.8	1.7	0.8	1.8
*Seoul ('94~'00)	Mean (mWm^{-2})	128.2	174.3	90.4	46.5	109.8
	Mean (kJm^{-2})	2.0	2.6	1.3	0.6	1.6

* Cho Hi-Ku *et al.* (2001).

kJm^{-2})의 지역적 차이는 $0.7 kJm^{-2}$ 였다. 제주 고산과 강릉의 위도 차이가 약 5° 정도인 점을 감안하면 수평면 홍반자외선 B 복사량의 지역에 따른 공간적 차이는 위도 1° 에 따라 약 $0.15 kJm^{-2}$ 의 차이가 나타남을 알 수 있다. 따라서 고산, 안면도, 포항, 목포, 강릉 등 지역별 EUV-B 복사량은 관측 지역에 따라 다소 차이가 있었으며 대체적으로 위도가 낮은 지역이 위도가 상대적으로 높은 지역에 비해 큰 것으로 나타났다. 또한 관측소의 위도와 경도를 고려해본다면 경도에 따른 EUV-B 복사량의 값보다 위도에 따르는 EUV-B 복사량의 변화가 더 큰 것을 알 수 있다.

3. 2 월변화

그림 4는 각 지역 관측소에서 관측한 EUV-B 복사량의 월평균 변화 및 표준편차를 나타낸 것이다. EUV-B 복사의 세기는 앞서 언급했듯이 태양의 천정각과 상층 오존량에 의해 가장 크게 영향을 받는데 태양 천정각에 의한 영향은 맑은 날을 기준으로 하였을 때 이론적으로 하지를 정점으로 최대값이 나타난다. 월별 평균 EUV-B 복사 최대값은 고산에서 7월에 $221.9 mWm^{-2}$, 최소값은 강릉에서 12월에 $33.8 mWm^{-2}$ 로 나타났다. 지역별로 살펴보면 포항, 안면도, 고산, 강릉 그리고 목포에서의 EUV-B 복사량의 연평균 값은 각각 $120.7, 104.2, 131.9, 108.5 mWm^{-2}$ 그리고 $110.9 mWm^{-2}$ 로 관측되었다. 지역에 따른 월별 EUV-B 복사의 최대 표준편차는 포항, 안면도, 강릉 그리고 목포는 7월에 각각 $28, 34.8, 27.2, 21.2$

mWm^{-2} 로 나타남에 비해 제주 고산은 8월에 $51.2 mWm^{-2}$ 로 나타났다. 따라서 한반도 지역에서 EUV-B 복사량의 월별 형태는 7월에서 8월 사이에 최대값이 나타남을 확인 할 수 있었다. 이는 우리나라 상층 오존전량의 계절변화가 7월에서 10월 사이에 오존전량이 제일 적으므로 오존전량에 대응해서는 이 때 EUV-B가 최대값이 나타나는 것과 일치한다. 또한 여름철 EUV-B 복사량의 편차가 겨울철보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 이유는 여름에 장마철과 더불어 흐리거나 비가 많이 오는 경우가 다른 계절에 비해 상대적으로 빈번하여 EUV-B 복사량의 변화 폭이 커졌기 때문이다.

3. 3 계절변화

그림 5는 각 지역에서 관측된 EUV-B 복사량의 계절별 특성을 박스 그래프로 나타낸 것이다. 박스 그래프에서 아래로부터 EUV-B 복사량은 5-, 10-, 25-, median, 75-, 90-, 95-percentile을 나타낸 것이다. 전체적으로 보면 여름에 최대값을 보이고, 봄, 가을 그리고 겨울 순으로 그 값이 나타나게 된다. 그림에서도 알 수 있듯이 여름에는 EUV-B 복사량의 편차가 크고, 상대적으로 겨울에는 편차가 적게 나타났으며, 여름에 복사량의 편차가 큰 것은 앞서 설명한 이유가 원인이 될 것으로 판단된다. 또한 지역별 EUV-B 복사량의 연평균값은 $135.9 mWm^{-2}$ (고산)에서 $104.0 mWm^{-2}$ (강릉)으로 약 $31.9 mWm^{-2}$ 의 지역적 차이를 보였으며, 이는 EUV-B 복사량은 저위도일수록 크다

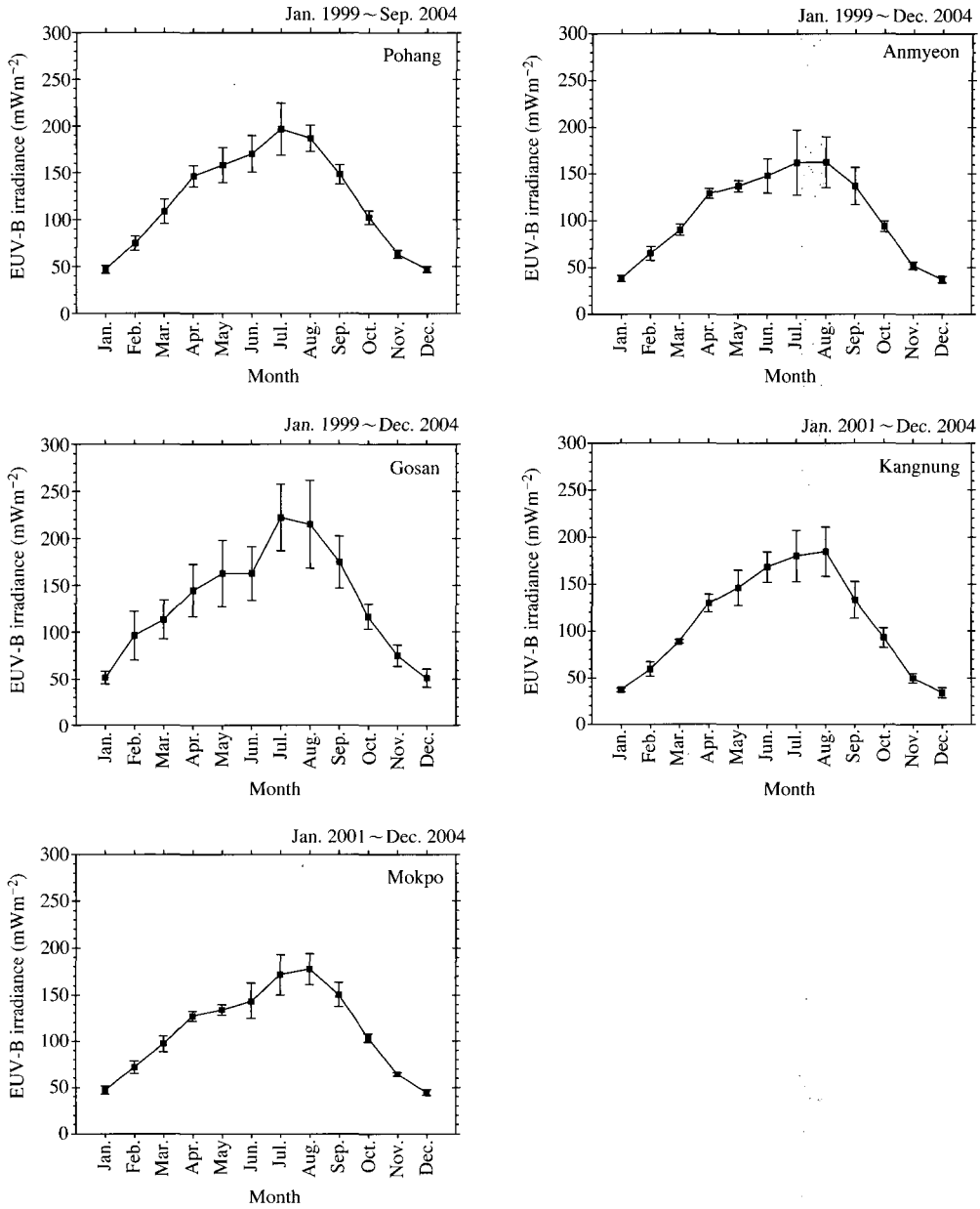


Fig. 4. Monthly mean values of the EUV-B for all-sky in Pohang, Anmyeon, Gosan, Kangnung and Mokpo. The error bars represent a standard deviation.

는 일반적인 사실을 잘 반영하고 있는 것이다(표 3 참조).

그림 6은 EUV-B 복사량의 지역별 변화 경향을 나타낸 그림이다. 지역별 평균 EUV-B는 고산이 127.6

mWm⁻², 안면도는 120.7 mWm⁻²으로 나타났고, 목포, 포항, 강릉지역은 각 109.9, 106.5, 104.0 mWm⁻²으로 나타났다. 전체적으로 위도가 낮은 고산지역에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 위도가 가장 높은 강릉지

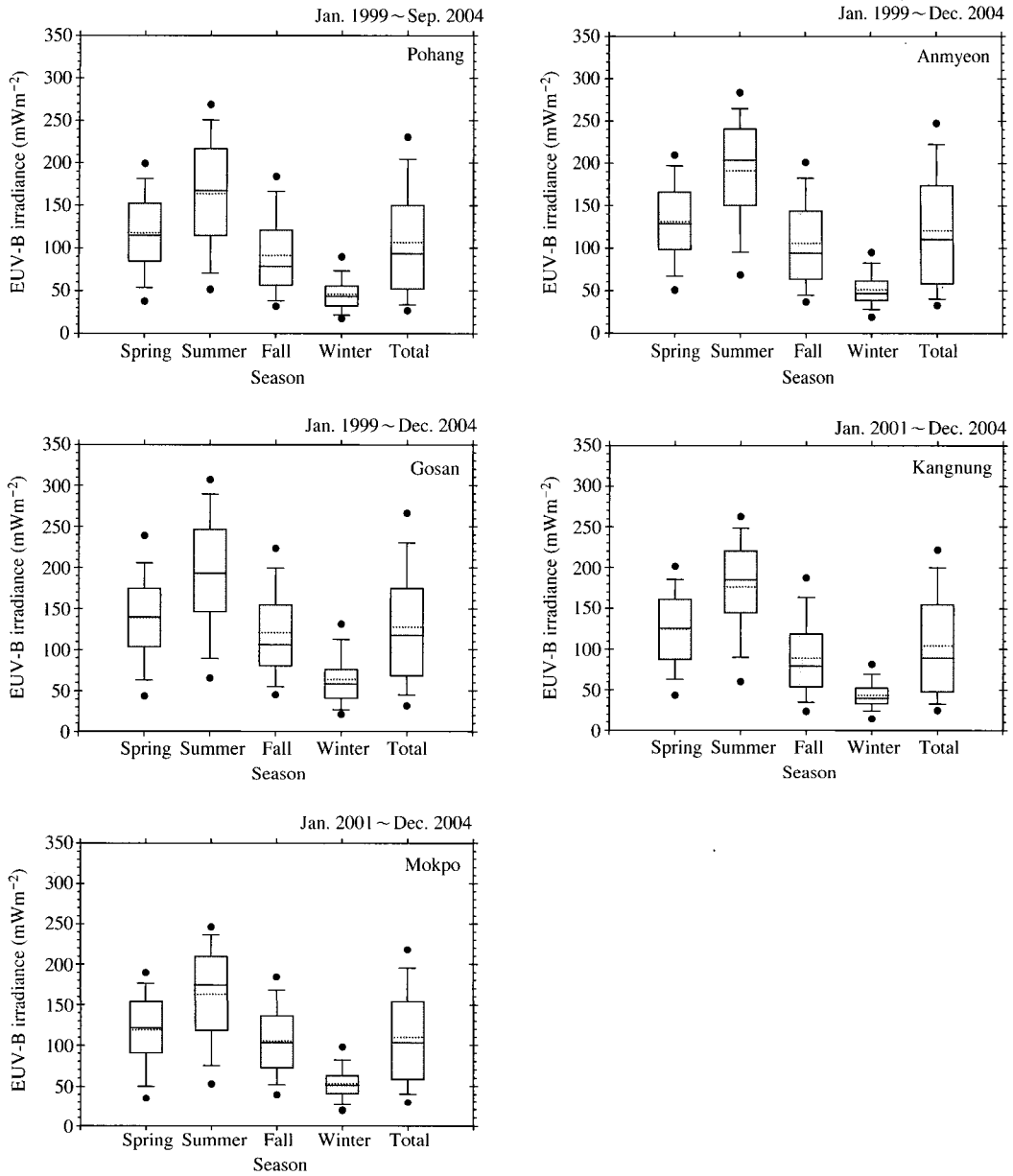


Fig. 5. Seasonal variations of the EUV-B irradiance in Pohang, Anmyeon, Gosan, Kangnung and Mokpo. The dot lines indicate an average.

역에서 가장 낮은 값을 보였다.

3. 4 자외선지수 변화

각 지역에서 10분마다 관측된 EUV-B 복사 자료

의 시간별, 일별 평균을 구하여 EUV-B가 가장 강한 시각인 12시에서 13시 사이의 자료를 이용하여 자외선 지수를 구하였다. 전체적으로 지수가 7 이하로 나타나는 달은 10월에서 이듬해 3월까지이며 피부 노

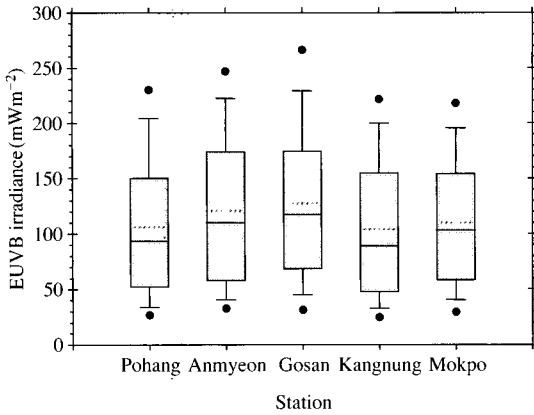


Fig. 6. Local variations of the EUV-B irradiance. The dot lines indicate an average.

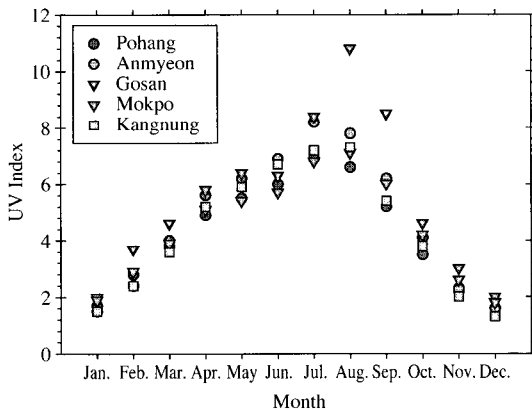


Fig. 7. Monthly mean variations of the UV Index in Pohang, Anmyeon, Gosan, Kangnung and Mokpo.

출이 많은 휴가철이 집중된 6~8월 사이에는 지수 7 이상(높음: High)의 값이 빈번하게 나타났다.

그림 7은 자외선 지수(UV Index) 계산에 의해 각 지역에서 관측된 EUV-B 복사 자료를 이용하여 월별 자외선 지수를 계산하여 나타낸 그림이다. 월평균 자외선 지수는 4월부터 9월까지의 자외선 지수 5 이상으로 나타났다. 그러나, 여름철 맑은 날씨인 경우에는 자외선 지수가 9~12로 매우 높다. 이는 피부 민감도를 고려한 자외선의 영향에 대한 표 2의 기준에 적용시켜 남중시간에 피부 민감도를 모든 날씨의 조건에서 평균을 취하면 4, 5월 그리고 9월은 약 60분,

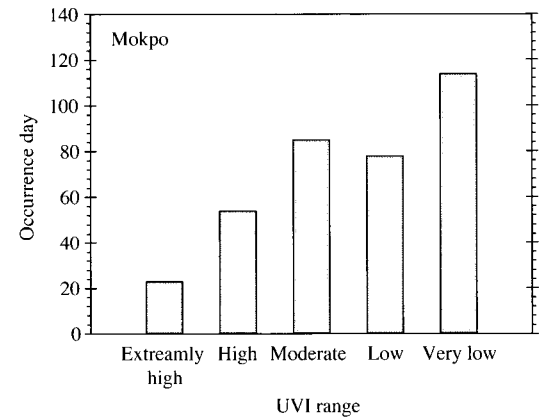
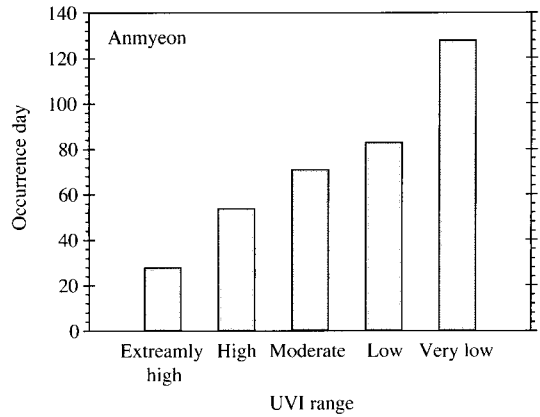


Fig. 8. Occurrence days of the UV Index range in Anmyeon and Mokpo.

7월에서 8월까지의 약 20분 이내만 태양에 노출 시켜도 홍반이 나타나는 것으로 분석되었다. 특히 제주 고산에서는 다른 지역에 비해 여름철 자외선 지수가 평균 9 이상(매우 높음: Extremely High)으로 매우 높은 값이 나타났다.

한편 그림 8은 EUV-B 관측 지역 중 관측 자료가 비교적 안정적으로 얻어진 안면도와 목포 지역에서 2004년 일년 중 자외선 지수의 범위별 발생 빈도를 나타낸 그림이다. 그림을 살펴보면 일년 중 약 100일이 이상이 자외선 지수 7 이상(High)으로 나타났으며, 이 수치는 4월에서 9월까지 약 180일을 기준으로 했을 때 55% 이상을 차지하는 것이어서 이 기간 동안에 5일 중 3일은 외부 활동시 30분 이내에 피부 홍반이 생성될 수 있음을 보여주고 있다.

4. 결 론

기상청에서 운영하고 있는 UV-Biometer에 의해 관측된 지표 홍반자외선 복사(erythemal ultraviolet-B irradiance) 자료를 이용하여 각 지역에서의 일변화, 월변화, 계절변화 및 지역 변화를 분석하였다. 지표 자외선 복사량은 하루 중 태양고도가 가장 높은 낮 중시간 부근(12~13시)에서 가장 높게 나타났고 포항, 목포 그리고 안면도에서는 약 280 mWm^{-2} 정도의 높은 값이 나타났다.

수평면 홍반 자외선 B (EUV-B) 복사량의 일적산 값은 태양 천정각이 비교적 작은 여름에 많고 천정각이 큰 겨울에 적어 뚜렷한 계절변화가 나타났으며 지역별로는 포항, 고산, 안면도의 값이 목포와 강릉 지역에 비해 큰 것으로 나타났다.

지표 자외선 복사량의 월변화는 여름철(7~8월)에 가장 크게 나타났으며 또한 여름철 지표 자외선 복사량의 편차가 크게 나타난 것은 장마철과 겹쳐서 흐리거나 비가 많이 올 경우 복사량의 변화 폭이 컸기 때문이다.

마지막으로 지역별 계절변화에 있어서 5개 관측 지역 모두에서 여름에 최대값을 보이고, 봄, 가을 그리고 겨울 순으로 그 값이 나타났으며, 연평균 값은 135.9 mWm^{-2} (고산)에서 104.0 mWm^{-2} (강릉)로 약 31.9 mWm^{-2} 의 지역적 차이를 보였다. 지역별 변화 경향은 위도가 낮은 고산지역에서 지표 자외선 복사량이 높게 나타났고, 위도가 높은 강릉지역에서 낮은 값을 보였다. 또한, 일년 중 자외선 지수의 범위별 발생 빈도를 살펴 본 결과 일년 중 약 90일 이상이 자외선 지수 7 이상(High)으로 높게 나타났다.

지표에서 관측된 지역별(포항, 안면도, 제주 고산, 목포, 강릉) EUV-B 복사 자료는 자외선 지수의 예보 및 검증 뿐만 아니라 생활 기상정보로서 다양하게 활용될 수 있으며 더 나아가 기후변화 감시에 있어서 근간 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상연구소 지구대기감시관측소 기본사업비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 기상연구소(1998) 자외선 지수 예보 실용화 연구, 기상연구소 기본연구보고서, MR980F18, 113pp.
- 송병현, 홍기만, 최병철, 조희구(2005) 지구대기감시관측소에서의 최근 EUV-B 관측 결과, 한국기상학회지, 41(3), 461-471.
- 조희구, 권효정, 최치영(1998) 오존층 감소에 따르는 지표 홍반 자외선 복사의 증가, 한국기상학회지, 34(2), 272-281.
- 조희구, 이방용, 이준석, 박선옥(2001) 한국 전역의 홍반 자외선 복사의 계절기후, 한국기상학회지, 37(5), 525-539.
- Herman, J.R., P.K. Bhartia, Z. Ahmad, and D. Larko (1996) UV-B increases (1979-1992) from decreases in total ozone, *J. Geophys. Res.*, 23, 16, 2117-2120.
- Long, C.S., A.J. Miller, H.T. Lee, J.D. Wild, R.C. Pazywarty, and D. Hufford (1996) Ultraviolet Index Forecast Issued by the National Weather Service, *Bill. of Amer. Met. Soc.*, 77, 7, 729-748.
- Madronich, S., L.O. Bjorn, M. Ilyas, and M.M. Caldwell (1991) Change in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *Environmental Effects of Ozone Depletion: 1991 Update*, UNEP, Nairobi, Kenya, 1-13.
- Madronich, S. (1993) UV radiation in the natural and perturbed atmosphere. p. 17-69. In: *Environmental effects of UV (ultraviolet) radiation*, ed. by M. Tevini. Lewis Publisher, Boca Raton.
- McKenzie, R.L., M. Kotkamp, and W. Ireland (1996) Upwelling UV spectral irradiances and surface albedo measurements at Lauder, New Zealand, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1757-1760.
- Solar Light (1993) UV-Biometer User's Manual, Solar Light Co. 459pp.
- Taalas, P., J. Kaurola, A. Kylling, D. Shindell, R. Sausen, M. Dameris, V. Grewe, J. Herman, J. Damski, and B. Steil (2000) The impact of greenhouse gases and halogenated species on the future solar UV radiation doses, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1127-1130.
- Tevini (1993) Effects of enhanced UV-B radiation on terrestrial plants in UV-B Radiation and Ozone Depletion, *Lewis Pub.*, 1-15.
- WCRP (1997) Proceedings of the First Sparc General Assembly. Vol. 2, WCRP-90, WMO/TD-No. 814, 669pp.
- Weiler, C.S. and P.A. Penhale (editor). (1994) *Ultraviolet*

Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects. American Geophysical Union Antarctic Research Series Vol. 62., 270pp.

WHO (1994) Ultraviolet Radiation, Environmental Health Criteria 160, World Health Organization, Geneva,

352pp.

WMO (1994) Report of the WMO meeting of experts on UV-B measurements, data quality and standardization of UV-indices, *WMO report* No. 25, Les Diablerets, Switzerland.

