

# GMS-5 가시영역 자료를 이용한 해면 일사량 추정

박경원<sup>1\*</sup> · 권병혁<sup>2</sup> · 김영섭<sup>3</sup>

## Estimation of the Sea Surface Radiation from GMS-5 Visible Data

Kyung-Won PARK<sup>1\*</sup> · Byung-Hyuk KWON<sup>2</sup> · Young-Sup KIM<sup>3</sup>

### 요 약

해상에서 1997년 1월부터 12월까지 맑은 날과 구름이 많은 대기상태에서 GMS-5에 장착된 VISSR(visible and infrared spin scan radiometer) 자료를 이용하여 5km×5km 격자의 공간 분해능에서 태양복사를 추정하였다. 섬에 설치되어 있는 기상청의 pyranometer 자료로 추정 일사량을 검증하였다. 추정된 시간별 일사량의 RMSE(root mean square error)는 104W/m<sup>2</sup>이고, 상관계수는 0.91이었다. 한반도 부근의 해상에서 조사된 시간별 태양복사의 최대값은 황해와 동해에서 6월에 나타나고, 남해에서는 8월에 나타나는데, 이는 6월에 저기압과 전선에 의한 기상 악화에 기인한다.

주요어: 태양복사, GMS-5

### ABSTRACT

Surface solar radiation over the sea is estimated using the visible and infrared spin scan radiometer (VISSR) data onboard Geostationary Meteorological Satellite(GMS)-5 from January 1997 to December 1997 in clear and cloudy conditions. The hourly insolation is estimated with a spatial resolution of 5km×5km grid. The island pyranometer operated by the Japan Meteorological Agency(JMA) is used to validate the estimated insolation. The root mean square error of the hourly estimated insolation is 104W/m<sup>2</sup> with 0.91 of the correlation coefficient. In the variability of the hourly solar radiation investigated around the Korean Peninsula, the maximum value of solar radiation is found in June at the Yellow Sea and the East Sea, while in August at the South Sea because of low pressure conditions and front in June.

KEYWORDS: Solar Radiation, GMS-5

2003년 3월 10일 접수 Received on March 10, 2003 / 2003년 5월 27일 심사완료 Accepted on May 27, 2003

<sup>1</sup> 부경대학교 위성정보과학연구소 Institute of Satellite Information Science, Pukyong National University

<sup>2</sup> 부경대학교 환경대기과학과 Department of Environmental Atmospheric Science, Pukyong National University

<sup>3</sup> 부경대학교 위성정보과학과 Department of Satellite Information Science, Pukyong National University

\* 연락처 E-mail: parkkw@mail1.pknu.ac.kr

## 서 론

일사는 대기를 포함한 모든 지구유체의 운동을 유발하는 원동력일 뿐만 아니라 동식물의 성장, 태양에너지의 이용 등에 중요한 변수이기 때문에 그 시공간적 분포에 관한 정밀도 높은 정보를 획득하는 것은 대단히 중요하다. 대기의 상단에 입사하는 일사량은 천문학 법칙에 의해 비교적 간단히 계산된다. 그러나 태양 빛이 대기상단으로부터 지표에 이르는 동안 대기 중의 공기분자, 에어로졸, 구름 등에 의해 산란, 반사, 흡수되기 때문에 지표면에서 일사량의 시공간적 분포를 정확도 높게 추정하는 것은 쉽지 않다. 밀도 높은 관측망으로 직접 관측하는 것이 바람직하나 예산과 관리의 측면에서 쉬운 문제는 아니며, 특히 해상에서는 직접 관측이 거의 불가능하다. 따라서 비교적 관측이 용이한 운량과 같은 다른 기상요소를 이용하여 해면상의 일사량을 추정하는 여러 가지 경험식이 제안되었다(Bunker와 Worthington, 1976). 이들 경험식에 필요한 운량 자료는 선박통보로부터 얻어지고 있으나 자료의 양과 질뿐만 아니라 시공간적으로 균일하지 못하다는 문제점을 가지고 있다. 더구나 이들 경험식들은 원래 특정 장소의 자료를 근거로 만들어졌기 때문에 세계 어느 곳에서나 이용 가능하다고 보기는 어렵다.

검증이 비교적 용이한 내륙에서 구름 효과를 고려하여 추정된 일사량이 검증되었다. 김유근(1992)은 구름의 형태를 상, 중, 하층운으로 구분하고, 구름의 양을 다섯으로 구분하여 지형조건과 구름효과에 의한 대기투과도의 변화를 고찰하였다. 김유근 등(1998)은 모수화식을 이용하여 지표 일사량을 추정하여 지상에서 관측된 운형과 운량 등의 자료를 기초로 구름효과를 추정하여 일사량 모델에 활용하였다. 이들 연구는 통계적 방법으로 이루어져서 지역적인 일사량 추정에는 유용할 수 있지만 해상이나 전구적인 일사량 변화를 감시하기에

는 적절하지 않기 때문에 위성자료를 활용하는 연구가 필요하다.

최근에는 구름효과를 고려하기 위해 위성자료를 활용하고 있다(Cess 등, 1995; Greenwald와 Christopher, 1999). 기상위성으로부터 얻는 자료를 이용한 일사량 추정에 관한 연구가 활발해지면서 경험식을 이용했을 때의 문제점들이 점차 해결되어 가고 있다. 정지기상위성의 가시채널 자료를 이용하여 지표에 도달하는 일사량을 추정할 수 있는데(Gautier 등, 1980; Gautier와 Landsfeld, 1997), 이 방법은 정지기상위성의 가시채널에서 얻어지는 반사량을 토대로 하여 청천역에서는 대기중 일사의 산란과 흡수를 파라미터화 하고, 운역에서는 구름에 의한 반사와 흡수효과를 고려하여 지표에 도달하는 일사량을 추정한다. VISRR/GMS-5를 이용한 일평균 일사량 추정은 현장 관측자료와의 비교로 일평균 20%, 월평균 10%의 RMSE로 각각 검증되었다(Kizu, 1995; Kawamura 등, 1998). 정지기상위성과 극궤도위성에 의한 전구 운량 분포 자료(ISCCP: International Satellite Cloud Climatology Project)를 이용하여 전구의 일사량 분포 추정도 연구된 바 있다(Bishop과 Rossow, 1991; Rossow와 Schiffer, 1991).

위성자료를 활용하는 연구의 장점은 넓은 범위에서 정기적으로 자료를 얻을 수 있다는 것이다. 해양과학뿐만 아니라 지구환경 규명에도 크게 도움이 될 양질의 위성자료로부터 정확도 높은 일사량을 추정하기 위하여, 본 연구에서는 GMS-5에 장착된 VISSR 자료를 섬에서 운용되고 있는 지상 전천일사계의 자료와 비교하여 검증하고, 한반도 주변 해역에서 해수면 일사량의 변화를 조사하였다.

## 자료 및 방법

### 1. 위성 자료

1995년에 발사된 일본의 정지기상위성인

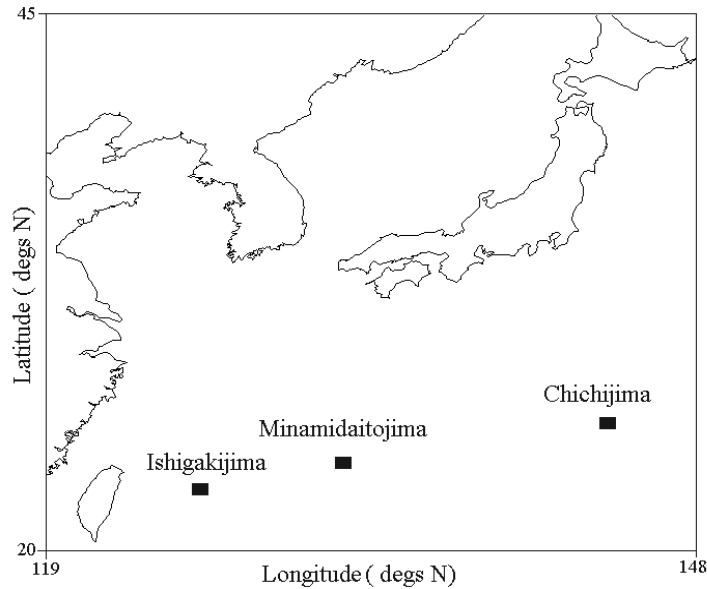


FIGURE 1. Positions of JMA Pyranometers

GMS-5 위성은 5개의 채널로 구성되어 있으며, 각각의 채널은 가시영역( $0.55\sim 0.90\ \mu\text{m}$ ), 수증기 흡수 관측역( $6.5\sim 7.0\ \mu\text{m}$ ), 적외 관측역( $10.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$ )으로 나뉘어져 있다. 본 연구에서 주로 사용된 가시 자료는 한반도를 중심으로 아시아 지역을 관측한 자료로 공간 분해능은  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 이며 기간은 1997년 1월 1일부터 1997년 12월 31일까지이다. 과거의 연구들은 위성자료의 공간분해능을 크게 보정하여 사용하였으나 보다 정확한 값의 추정을 위해서 픽셀(pixel)의 분해능을 그대로 사용하였다. 이 GMS자료는 기상청으로부터 제공되었으며 각 자료의 시각은 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC로 3시간 간격으로 되어있다. 하루의

모든 시간대 자료를 얻을 수 있으나 3시간 간격의 자료로 일 평균값을 계산하기에는 무리가 있기 때문에 일사량 값을 얻을 수가 있는 00, 03, 06 UTC 자료를 이용하여 시간 자료 일사량을 구하여 검증에 이용하였다.

## 2. 지상자료

추정된 해면 일사량의 검증을 위한 자료로 필요한 해면에서의 일사량은 일본기상청(JMA)이 일본 남쪽에 위치하고 있는 세 지점에서 전천일사계로 관측하는 일사량 자료를 이용하였다. 이들 지역의 기상자료는 여러 가지 기상요소를 담고 있는데 이중 일사량은 시간별, 일별, 월별 자료가 있다. GMS 자료와

TABLE 1. 3 Pyranometer station of JMA used for the validation of the retrieval solar radiation

Possessor	Position No.	Latitude( $^\circ$ N)	Longitude( $^\circ$ E)
JMA pyranometer	918	24.199	124.098
	945	25.497	131.136
	971	27.050	142.110

검증하기 위해 시간별 자료를 이용하였고 각 지역의 위치를 그림 1과 표 1에 나타내었다.

### 3. 알고리즘

위성의 가시영역 관측자료를 이용한 일사량 추정에는 현재까지 가시 관측으로 얻어지는 반사량과 실제 일사량과의 통계적인 관계에 기초해서 회귀식으로 추정하는 방법과 복사의 물리과정을 고려해서 만든 모델에 위성자료를 대입해서 일사량을 추정하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 Kawamura 등(1998)이 제시한 모델을 이용하여 물리적 추정에 의한 방법으로 일사량을 추정하였다. 먼저 구름을 분류하기 위해서 각 가시·적외 채널을 이용하여 구름이 있을 때와 구름이 없을 때를 구분하였다. 구름 유무를 확인하기 위해서 일반적으로 위성 픽셀의 값을 그대로 이용할 수 있으나 위성영상에서 얻어지는 정보가 대부분 순간적인 값이므로 그 순간의 픽셀 값으로 구름 유무를 판단하기에는 무리가 있다. 따라서 이 모델에서는 Kawamura 등(1998)이 제시한 구름분류법에 따라 위성의 한 픽셀에 따른 그 주위의 8개의 픽셀 값을 더해 이 값들로 평균값으로 취하고 구름판단에 사용하였다. 그리고 판단한 근거에 따라 구름이 있을 때와 없을 때로 나누어서 모델을 구축하였다. 구름이 없는 경우에

$$S_T = S_I + S_R + S_A \quad (1)$$

여기서  $S_T$ 는 해면 총 일사량,  $S_I$ 는 직달 일사량,  $S_R$ 는 산란 일사량이고  $S_A$ 는 에어로졸에 의한 레일리(Rayleigh) 산란 일사량이다.

$$S_I = S \cdot \tau_0 \cdot \tau_R \cdot (1 - \alpha_w) \cdot \tau_A \quad (2)$$

$$S_R = S \cdot \tau_0 \cdot (0.5 \cdot (1 - \tau_R)) \cdot \tau_A \quad (3)$$

$$S_A = S \cdot \tau_0 \cdot \tau_R (1 - \alpha_w) \cdot F_c \cdot W_0 (1 - \tau_A) \quad (4)$$

각 식의 요소는 대기에 의해 흡수, 반사, 산란되는 값들로  $\tau_0$ 는 오존 흡수에 의한 투과

도,  $\tau_R$ 는 레일리 산란에 의한 투과도,  $\alpha_w$ 는 수증기에 의한 흡수율,  $\tau_A$ 는 에어로졸에 의해 감소되는 투과도,  $F_c$ 는 에어로졸 산란에 있어서 전방산란의 비율,  $W_0$ 는 단일산란 알베도이다. 이들 각각의 요소를 구하는 연구는 이전에 많이 행해져 왔다.  $\tau_0$ ,  $\tau_R$ ,  $\alpha_w$ ,  $\tau_A$ 는 각각 Lacis와 Hansen(1974), Bird와 Hulstorn(1981) 그리고 Mächer(1983)가 제안한 식을 사용하였다.

구름이 있는 경우는 앞의 식에서 구한 일사량 값에서 구름에 의한 흡수, 반사값 효과를 고려하여 식을 얻었다.

$$S = (S_I + S_R + S_A) \cdot (1 - a) \cdot A \quad (5)$$

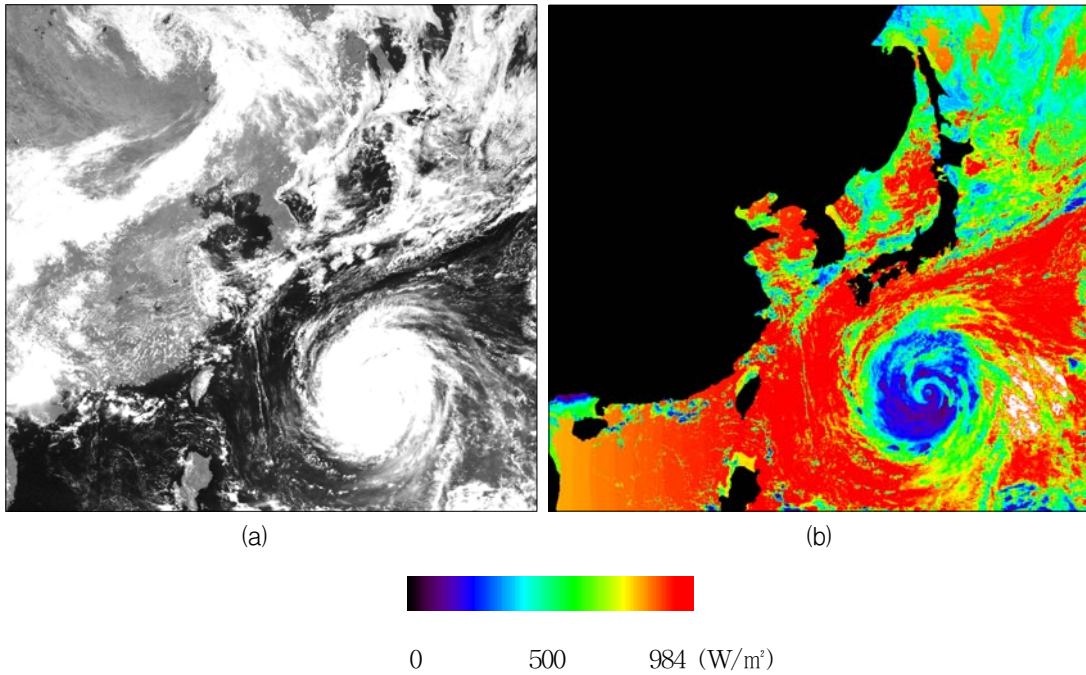
$$A = \frac{R}{\cos \theta}$$

여기서 R은 구름에 의한 반사값이고 a는 구름에 의한 흡수값을 나타낸다. 본 연구에서는 구름에 의한 흡수값을 Liou(1976)에 의해 각 운형별로 분류된 흡수값을 선택해서 경험적인 방법으로 구했다.

## 결과 및 고찰

### 1. 추정 해면 일사량의 유효성 검증

그림 2는 GMS-5의 구름의 분포와 그 때의 일사량 분포를 나타낸 것이다. 영상에서 구름의 분포에 따른 일사량의 지역적 차이를 뚜렷이 알 수 있으나, 이것은 단지 정성적인 비교로 일사량 추정의 정확도를 평가하기는 어렵다. 일사량 추정의 정확도를 평가하기 위하여 VISSR/GMS-5로부터 얻은 가시영역 자료를 입력하여 모델에 의한 계산으로 추정된 해면 일사량은 1997년 1월부터 12월까지의 지상의 JMA 전천일사계 자료와 비교 검증하였다.



**FIGURE 2.** Hourly fields of the solar radiation around East Asia (a) GMS-5/VIS imagery (b) Calculated sea surface solar radiation from the GMS-5/VIS imagery at August 15, 1997

물리적 방법으로 설계된 일사량 모델에 의한 추정값과 실측치간의 상관을 그림 3에 나타내고, 통계적인 분석 결과를 표 2에 나타내었다. 추정 결과와 관측 결과와의 오차 및 상관정도를 조사하기 위하여 RMSE와 MBE (mean bias error)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad (7)$$

여기서  $y_i$ 는 관측 일사량,  $x_i$ 는 위성으로 추정된 일사량을 나타낸다. 표 2에 대한 결과를 살펴보면 위성에서 산출한 일사량 평균값과 지상 관측 일사량의 평균값이 각각 450W/m<sup>2</sup>과 448W/m<sup>2</sup>으로 비슷한 값을 나타내며 상

**TABLE 2.** Statistical comparison of the hourly retrieved data with the JMA pyranometer data. R is the correlation coefficient

	Satellite mean	JMA pyranometer	RMSE	MBE	r
Ishigakijima	425	417	105	- 8	0.92
Minamidatojima	442	463	108	20	0.90
Chichijima	484	467	99	- 17	0.91
Total	450	448	104	- 1	0.91

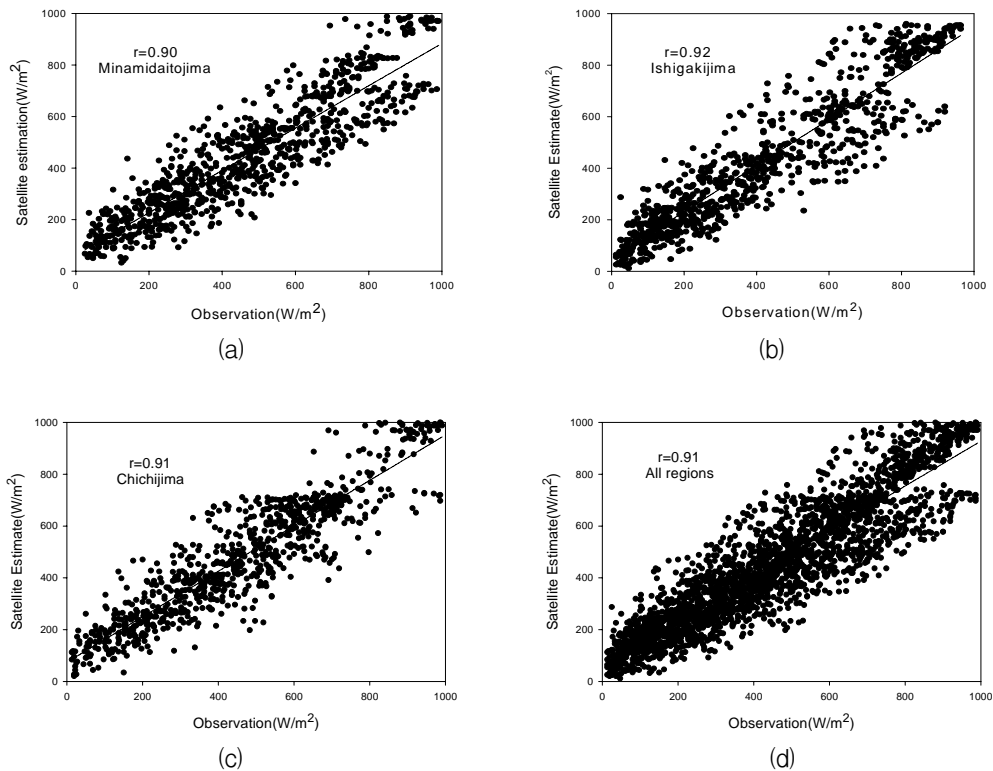


FIGURE 3. Solar radiations derived from GMS-5 satellite measurements and measured by JMA pyranometers at the (a) Minamidaitojima region (b) Ishigakijima region (c) Chichijima region (d) all regions

관계수와 RMSE는 지역에 따라 차이를 보이지 않고 전체적으로 0.91과  $104\text{W}/\text{m}^2$ 로서 지상 관측 일사량에 비교적 잘 일치하는 추정값을 얻었다. 일사량이 많은 지역에서 차이가 나타나는 이유는 모델에서 구름 영역의 처리는 좋은 결과를 나타낸 반면 구름이 없는 경우에는 위성자료의 분해능이 작아서 구름의 유무를 선택하기 어렵고, 육지의 온도가 주위 해면에 비해 매우 높아서 해양의 온도로 구름 유무를 선택하게 되어있는 모델의 영향이라고 볼 수 있다. RMSE는 지상 관측 일사량의 약 20~25%로 Kizu (1995)가  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  격자의 GMS-3의 VISSR에서 얻은 자료를 지상 관측 일평균 일사량과 비교하여 산출한 RMSE

20%와 유사한 오차를 보이며, 월평균 일사량과의 RMSE 10%와는 다소 차이를 나타낸다. 일평균 RMSE에서 나타나는 작은 차이는 대상 지역 격자의 크기뿐만 아니라 지역적인 차이도 고려하여 평가해야 한다. Kizu(1995)의 경우는 선박 자료와 비교하였기 때문에 섬에 위치한 지상관측 장비가 받을 수 있는 지표면 가열에 의한 장파복사 효과가 크지 않았을 것으로 사료된다. MBE가 지역에 따라 음과 양의 값으로 다소 차이는 있으나 전체적으로는 약 2%의 미세한 차이를 보인다는 것은 구름의 유무에 관계없이 추정값의 유효성을 입증한다고 볼 수 있다.

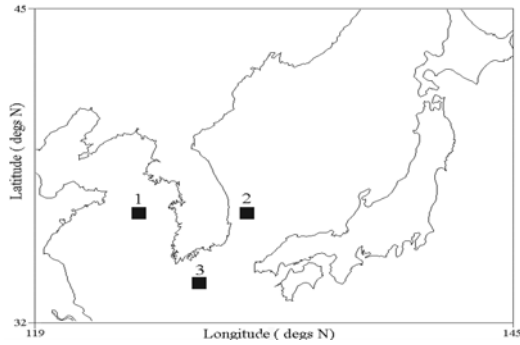


FIGURE 4. Definition of 3 regions around the Korean Peninsular

## 2. 한반도 주변의 해상 일사량의 변화

해상에서는 대기와 해양관련 자료를 현장 관측을 통하여 얻기 어렵기 때문에 위성자료의 검증에 위한 알고리즘 개발은 매우 중요한 분야가 되고 있다. 한반도 주변 해역에서 GMS-5 위성자료와 모델을 이용하여 산출한 월평균 일사량의 변화를 KMA의 부이 자료를 이용하여 산출한 열수지와 비교하였다. 그림 5에서 09, 12 그리고 15 LST에 GMS-5의 VISSR 자료로 추정된 일사량의 월평균을 동해, 서해와 남해로 나누어 시계열을 보여주고 있다. 동해와 서해에서 추정된 일사량의 연변화는 유사한 경향을 보이고 있다. 태양고도가 가장 높은 6월에 최대 일사량이 나타나며 월별 일사량은 12월과 1월을 제외하고 서해에서 다소 높게 나타나고 있다. 겨울에 동해에서 일사량이 증가하는 것은 동해난류의 유입과 대마난류의 영향으로 인한 해수면 온도의 상승에 기인하며, 이 현상은 대마난류가 통과하는 남해에서도 나타난다. 남해에서는 전체적으로 동해와 서해에서 보다 많은 일사량이 추정되고, 8월에 약  $700 \text{ W/m}^2$ 의 최대 일사량이 나타나며, 6월에도 동해와 서해에서의 최대 일사량보다 약  $100 \text{ W/m}^2$  높은  $600 \text{ W/m}^2$ 의 일사량을 보인다. 6월과 7월 빈도 높은 저기압의 영향으로 서해와 남해보다 구름이 많이 생성되어 일사량이 년중 최대값에 이르지 못하는 것으로

보인다. 8월에 나타나는 일사량의 최대값은 Park 등(2003)이 남해상에서 계류부이의 기상인자를 이용하여 산출한 현열, 잠열, 장파복사 그리고 단파복사로 이루어지는 열수지의 결과에서도 나타난다. 해상에서 열의 평형은 현열에 많은 영향을 받고 현열의 변화는 대기 수증기의 변화에 민감하게 반응한다. 건조해지는 가을철(8~10월)이 현열이 증가하고 태양의 단파복사는 6월을 기점으로 감소하기 시작하기 때문에 두 인자의 합은 8월경에 최대가 된다 (그림 6).

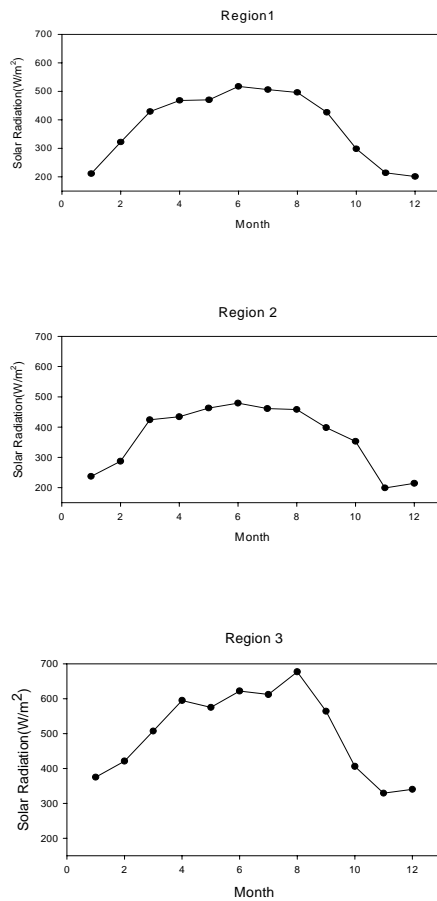


FIGURE 5. Time series of the 3-hourly solar radiation from Jan. 1997 to Dec. 1997

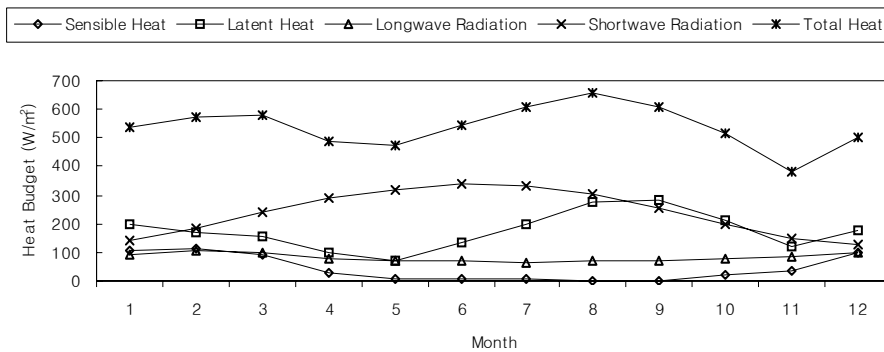


FIGURE 6. Seasonal variation of the monthly mean fluxes over the South Sea from 1996 to 2002

## 결 론

GMS-5 위성의 VISSR을 이용하여 구름이 있을 때와 없을 때로 나누어서 해상 일사량을 추정하고 JMA가 섬에서 관측한 전천일사계 관측 자료와 비교하여 검증하였다. GMS-5 자료로 추정된 일사량과 섬 지역의 일사량의 상관도는 0.91이고 RMSE는  $104\text{W/m}^2$ 로 약 20%의 오차를 보여서 해상 일사량을 위성자료로 추정할 수 있음을 확인하였다. 한반도 주변 해상에 적용하여 일사량의 연 변화를 동해와 서해, 남해 지역으로 나누어서 분석하였다. 동해와 서해에서는 유사한 변화 경향과 크기를 보였고 남해에서는 이들 지역보다 높은 일사량이 추정되었으며, 특히 연 변화 중 최고치가 6월이 아닌 8월에 나타났다. 태양고도에만 의존하지 않고 구름 유무뿐만 아니라 기상과 해양의 상태에 따라 변화하는 해상 일사량에 대한 보다 구체적인 연구가 필요하며, 이를 위성 자료를 이용한 일사량 추정 알고리즘에 적용하면 해역별 열수지 해석을 위한 기초 자료로도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 기상청에서 주관하는 기상지진

기술개발사업 중 원격기상탐사기술개발의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 김유근. 1992. 운량과 지형조건에 의한 대기투과도의 변화. 한국지구과학회지 13(3) :342-354.
- 김유근, 차주완, 이화운, 이용섭, 문운섭. 1998. 모수화식을 이용한 지표일사량의 추정에 관한 연구(I) - 구름이 없는 날의 일사량 추정. 한국기상학회지 34(3):410-421.
- Bird, R.E. and R.L. Hulstrom. 1981. A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation horizontal surface SERI/TOR-642-761. Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, 220pp.
- Bishop, J.K. and W.B. Rossow. 1991. Spatial and temporal variability of global surface solar irradiance. Journal of Geophysic Research 96:16839-16858.
- Bunker, A.F. and L.V. Worthington. 1976. Energy exchange charts of the North Atlantic Ocean. Bulletin of the American Meteorological Society 57(6) :670-678.
- Cess, R.C., H. Zhang, P. Minnis, L.



- Corsetti, E.G. Dutton, B.W. Forgan, D.P. Garber, W.L. Gates, J.J. Hack, E.F. Harrison, X. Jing, J.R. Kiehl, C.N. Long, J. Morcrette, G.L. Potter, V. Ramanathan, B. Subasilar, C.H. Whitelock, D.F. Young and Y. Zhou. 1995. Absorption of solar radiation by cloud: observations versus models. *Science* 267:496-499.
- Gautier, C. and M. Landsfeld. 1997. Surface solar radiation flux and cloud radiative forcing for the Atmospheric Radiation Measurement(ARM) of Southern Great Plains(SGP): Satellite, surface observations, and radiative transfer model study. *Journal of Atmospheric Sciences* 54(10):1289-1306.
- Gautier, C., G. Diak and S. Masse. 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal of Applied Meteorology* 19:1005-1020.
- Greenwald, T.J. and S.A. Christopher. 1999. Daytime variation of marine stratocumulus properties as observed from Geostationary satellite. *Geophysical Research Letters* 26:1723-1726.
- Kawamura, H., S. Tanahashi and T. Takahashi. 1998. Estimation of insolation over the Pacific Ocean off the Sanriku Coast. *Journal of Oceanography* 54 :457-464.
- Kizu, S. 1995. A study on thermal response of ocean surface layer to solar radiation using satellite sensing. Doctoral Thesis, Tohoku University, 100pp.
- Lacis, A.A. and J.E. Hansen. 1974. A parameterization for the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. *Journal of Atmospheric Sciences* 31 :118-133.
- Liou, K.N. 1976. On the absorption, reflection and transmission of solar radiation in cloudy atmosphere. *Journal of Atmospheric Sciences* 33:798-805.
- Mächler, M. 1983. Parameterization of solar irradiance under clear skies. MS. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 140pp.
- Park, M.J., Y.S. Kim, B.H. Kwon and Y.H. Han.(in press) Characteristics of heat fluxes and turbulent kinetic energy over the Yellow Sea and the South Sea. *Korean Journal of the Atmospheric Sciences*.
- Rossow, W.B. and R.A. Schiffer. 1991. ISCCP cloud data products. *Bulletin of the American Meteorological Society* 72(1) :2-20. [KAGIS](#)