

GMS/S-VISSR 자료로부터 Bispectral Thresholds 기법을 이용한 운량 분석에 관하여

서명석 · 박경운
한국과학기술연구원
시스템공학연구소

(1993년 5월 10일 받음; 1993년 5월 18일 수리)

Cloud Cover Analysis from the GMS/S-VISSR Imagery Using Bispectral Thresholds Technique

Myoung-Seok Suh and Kyoung Yoon Park
System Engineering Research Institute

Korea Institute of Science and Technology

(Received May 10, 1993 ; Accepted May 18, 1993)

Abstract

A simple bispectral threshold technique which reflects the temporal and spatial characteristics of the analysis area has been developed to classify the cloud type and estimate the cloud cover from GMS/S-VISSR(Stretched Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) imagery.

In this research, we divided the analysis area into land and sea to consider their different optical properties and used the same time observation data to exclude the solar zenith angle effects included in the raw data. Statistical clear sky radiance(CSRs) was constructed using maximum brightness temperature and minimum albedo from the S-VISSR imagery data during consecutive two weeks. The CSR used in the cloud analysis was updated on the daily basis by using CSRs, the standard deviation of CSRs and present raw data to reflect the daily variation of temperature. Thresholds were applied to classify the cloud type and estimate the cloud cover from GMS/S-VISSR imagery. We used a different thresholds according to the earth surface type and the thresholds were enough to

resolve the spatial variation of brightness temperature and the noise in raw data. To classify the ambiguous pixels, we used the time series of 2-D histogram and local standard deviation, and the results showed a little improvements. Visual comparisons among the present research results, KMA's manual analysis and observed sea level charts showed a good agreement in quality.

1. 서론

기상위성 영상자료는 광범위한 지역을 짧은 시간에 연속적으로 관측하여 실시간에 제공되므로 종관규모 현상에서부터 중·소규모 대류현상에 이르기까지 기상현상을 이해하고 예보하는 데 매우 중요한 자료로 사용되고 있다. 기상위성 영상자료로부터 구한 전 지구적인 운량과 운형 자료는 지구대기 복사 수지와 기후변화 모델 결과의 검증에 유용하게 활용되고 있다. 특히 정지기상위성(GMS, GOES 등)에서 관측한 영상자료는 관측주기가 짧고(30분) 관측영역은 전 지구적이어서 객관적 구름분석(운량, 운고, 운형, 구름운동벡터)에 매우 중요하게 이용되고 있다. 국내에서는 1989년부터 기상청에 기상위성 자료 수신 및 분석시스템이 도입 운용되면서부터 위성자료를 이용한 객관적 구름분석이 시도되고 있다(서애숙 외, 1990; 박경윤, 1990).

기상위성의 여러 가지 관측자료 중 대기의 창에 해당되는 파장대를 이용한 관측값으로부터 객관적 구름분석을 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이들 구름분석기법은 개략적으로 다음과 같이 3가지로 나눌 수가 있다(Rossow et al., 1985; Sellers, 1984):

- 첫째는, threshold 방법으로 구름의 온도와 알베도(albedo)가 지면이나 해수면의 값들과 다른 성질을 이용하는 것으로(Reynolds and Vonder Haar, 1977; Schiffer and Rossow, 1983; Inoue, 1987; Chou et al., 1986), 가시영상과 적외영상 자료의 관측값을 동시에 이용할 수 있는 주간에는 분석결과가 비교적 정확하나 야간과 지면에 안개나 눈이 있는 경우에는 하층운이나 반 투과성의 권운을 분석하지 못하는 단점이 있다.
- 둘째는, clustering 방법으로 분석영역을 구성하는 여러 가지 요소들(구름, 안개, 육지, 바다 등등)은 각각 고유한 속성(properties)을 갖는다는 점을 전제로 하여 위성영상자료를 분석하는 방법으로 주로 운형분류에 많이 이용된다(Desbois et al., 1982; Seze and Desbois, 1987).
- 셋째는, 위성에서 지구를 관측할 때 관측값에 영향을 주는 대기의 기온과 수증기량의 연직구조, 지면과 구름의 반사율 및 대기 내에서의 여러 가지 감쇠효과를 고려하여 복사전달 방정식(radiative transfer equation)의 해를 구하는 방법이다(Chahine, 1977a, 1977b; Platt, 1983).

위의 3가지 운량분석기법은 각각 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 위성관측자료에 영향을 주는 요소들이 많고(지표면의 종류, 태양고도각, 관측센서의 특성, 구름의 구조, 대기의 상태), 또한 이들 요소들의 시공간에 따른 변화량이 크기 때문에 시공간에 관계 없이 활용하기에는 해결해야 할 문제점들이 많은 것이 현실이다(Sellers, 1984).

Rossow et al.(1985)는 ISCCP(International Satellite Cloud Climatology Project)에서 여러 가지 운량분석 알고리즘을 동일 위성 영상자료에 적용한 결과가 같지 않은 원인에 대해서 분석하였다. 그 결과에 의하면, 운량분석이 다르게 나타난 여러 원인 중 구름이 없는 화소의 복사휘도(Clear Sky Radiance : CSR)를 구하는 방법의 차이가 가장 중요하다고 하였다. 또한 그는 반 투과성 권운, 운정온도가 지표면의 온도와 유사한 하층운 및 순간시각(Instantaneous Field of View : IFOV) 내에 부분적으로 구름이 있는 경우에는 구름분석이 쉽지 않음을 보였다. 이 점에 대해서는 Platt(1983)의 이론적 연구에서도 비슷한 결과를 보인 바 있다.

본 연구의 목적은 GMS/S-VISSR(Stretched Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) 관측자료로부터 극동아시아 지역에서의 객관적 구름분석을 위한 bispectral thresholds 기법을 개발하는 데 있다. Bispectral thresholds 운량분석 기법을 개발하는 과정에서 Rossow et al.(1985)이 지적한 문제점을 보완하기 위하여 시·공간에 따른 각 단위분석영역의 복사특성을 구름분석 알고리즘에 반영하였으며, 또한 관측값만으로는 분류하기가 어려운 반투과성 권운과 지표면을 분류하기 위하여 적외선역과 가시광선역 관측값의 국지 표준편차(Local Standard Deviation : LSD)를 이용하였다. 운량분석 결과는 일기예보나 지구 기후변화 모델에서 효율적으로 활용할 수 있도록 위색상 영상과 수치자료로 하였다.

2. 자료 및 분석 방법

가. 자 료

본 연구에서 사용된 자료는 기상청의 MESDAS(Meteorological Satellite Data Analysis System)에서 수신된 극동아시아 지역에서의 1990년 12월 3일부터 20일까지 1500 LST의 GMS/S-VISSR 관측자료, 각 단위분석영역을 육지와 바다로 구분하는 지표면 분류자료 및 S-VISSR의 관측값(count value)을 휘도온도와 알베도로 바꾸어 주는 look-up table 등이다. 그리고 본 연구의 결과를 질적으로 검증하기 위하여 기상청에서 작성된 구름분석도와 동 예보실에서 작성된 극동아시아 지역의 지상일기도를 사용하였다.

VISSR는 가시광선역($0.5\sim 0.7\mu\text{m}$)과 적외선역($10.5\sim 12.5\mu\text{m}$)에서 지상분해능(spatial resolution)이 위성직하점에서 각각 1.25 및 5.0km로 매 30분마다 지구를 관측한다. 여기서 가시영상과 적외영상 자료의 지상분해능이 다른 것을 보정하기 위하여 가시광선역의 자료 중 매 4 화소

(pixel)마다 1화소를 추출하여 사용하였다. S-VISSR 자료는 VISSR 관측값으로부터 직접 알베도와 휘도온도로 계산할 수 있도록 이미 검증(calibration) 과정을 거쳤기 때문에 GMS USER'S GUIDE(1989)에서 제공하는 look-up table을 이용하여 휘도온도와 알베도로 쉽게 변환될 수 있다.

지표면 분류자료는 운량 분석영역을 20×20 화소를 갖는 단위영역으로 나눈 후 각 단위영역을 육지와 바다로 분류한 자료이며(Fig. 1), 이 과정에서 해안선은 분류의 단순화를 위하여 육지로 하였다. 하지만 해안선 지역의 복사특성은 매우 복잡하고 시공간에 따른 변화도 다양하기 때문에 이 부분에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다고 본다. 위와 같이 운량 분석영역을 단위분석영역으로 나누고 각 단위분석영역을 육지와 바다로 구분한 것은 GMS의 관측영역이 광범위하기 때문에 구름이 없는 경우에도 위치와 시간에 따라서 지표면의 상태(온도, 알베도)가 다른 경우가 많기 때문이다.



Fig. 1. Cloud cover analysis area and the code of partitioned areas.

Fig. 2는 전 분석기간에 대한 분석영역의 크기에 따른 VIS-IR histogram의 분포상태를 나타낸 것으로 분석영역의 크기는 좌측부터 400×400 , 100×100 , 50×50 및 20×20 화소이다. 여기서 각각의 지리적 위치는 Fig. 1에서 전 분석영역, 7번지역, 7번지역에서 좌측하부 및 좌측하단지역 등이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 분석영역이 크면 클수록 histogram을 분류하기가 곤란하며 어떠한 방법으로 분류하더라도 분석결과에 민감도가 클 수밖에 없음을 알 수 있다. 따라서, 광범위한 지역에서 일관성 있고 정확하게 구름을 분석하기 위해서는 단위분석영역의 크기를 신중하게 선택할 필요가 있다. 본 연구에서는 위의 결과를 기초로 하여 단위분석영역의 크기를 20×20 화소의 크기로 하였다. 그러나 이 부분에 대해서는 좀더 많은 사례에 대하여 연구할 필요가 있다고 보며, 또한 지표면의 종류에 따라서 단위분석영역의 크기를 다르게 하는 것이 바람직할 것이다.



Fig. 2. VIS-IR histograms according to the analysis area size for the period of 4~16 December 1990.

나. 분석 방법

Fig. 3은 본 연구에서 각 단위영역별로 사용된 운량 분석과정을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 운량 분석과정은 CSR 계산 과정 및 운량 분석과정으로 나눌 수가 있으며 운량 분석과정을 단순화하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다 :

- IFOV 내에서는 구름이 전혀 없거나 구름으로 완전히 차 있는 상태
- 구름과 지표면은 흑체(black body)

실제 대기 상태하에서 기상위성이 지구를 관측할 때 관측 값(radiance : R)은 다음 식으로 나타낼 수 있다 :

$$R = (1-n) R_s + n ((1-e) R_s + e R_c)$$

윗식에서

- n : IFOV 내에서의 운량,
- R_s : 구름이 없는 지표면에서 나오는 복사휘도(radiance),
- R_c : 구름에서 나오는 복사휘도,
- e : 방출률(emissivity)

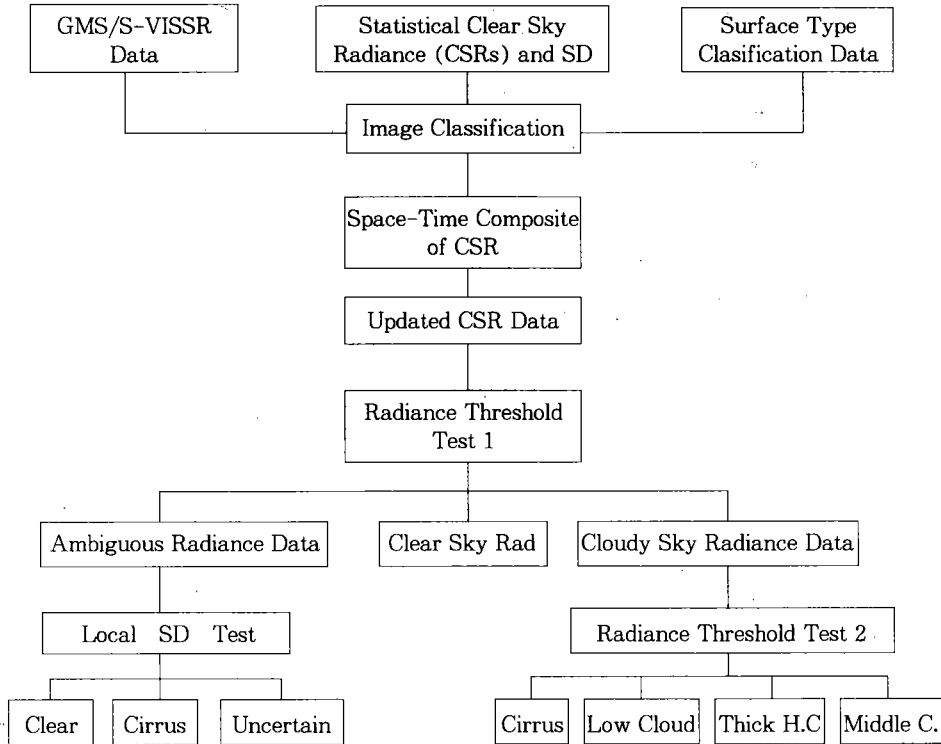


Fig. 3. General flow chart of the cloud cover analysis process.

이다. 여기서 위의 가정을 적용하면 $e=1$ 이므로, $n=0$ 이면 $R=R_s$, $n=1$ 이면 $R=R_c$ 가 되므로 각각의 화소를 맑음(clear) 또는 구름(cloud)으로 양분할 수가 있다. 이러한 성질을 일정한 크기의 분석영역에 적용하면 다음식에 의하여 운량(P: 단위 %)을 구할 수 있다.

$$P = \frac{\text{구름 화소 수}}{\text{총 화소 수}} \times 100$$

1) CSR의 계산

Bispectral thresholds 운량 분석기법의 운량 분석 결과는 CSR과 thresholds의 정확성에 따라 좌우되기 때문에 CSR을 다음과 같이 두 단계로 계산하였다. 먼저 각 관측점에서 구름이 전혀 없는 상태의 복사휘도를 구하기 위하여 연속적인 2주간의 자료(12월 3일~16일 1500 LST)에서 최소 알베도(최고 휘도온도) 값을 추출하였으며, 이를 통계적 CSR(즉, CSRs)로

하였다. 이것은 어떠한 구름의 온도도 지면의 온도보다는 낮으며 어떠한 구름의 알베도도 지면의 알베도보다는 크다는 가정을 기초로 한 것이다. 또한 3×3 화소에 대한 국지표준편차를 연속적으로 계산하였으며 가시광선역과 적외선역 CSRs 자료와 이들의 국지표준편차 자료를 시각적 효과를 위하여 막대그래프(histogram) 정규화를 한 후 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4. Minimum brightness and maximum IR radiance images at 1500 LST for the period of 3~16 December 1990, and corresponding LSD images.

여기서 연속적인 2주간의 위성자료를 사용한 것은 위성의 관측값에 영향을 주는 지속적인 구름, 태양고도각 및 대기 중의 수증기 영향을 최소화한 CSR를 구하기 위해서였으며 Seze and Desbois(1987)는 20일간의 자료를 이용하였다. Fig. 4에서 한반도 중부와 북부지역의 일부와 만주지방은 12월 1과 10일에 내린 눈의 영향으로 특히 적외선 영상에서 휘도온도가 매우 낮게 나타났음을 볼 수가 있다. 또한, 중국 연안 해역에서의 알베도가 육지와 유사하게 나타나고 있는데, 이는 황해상의 부유물질에 의한 것으로 보이며 계절적 영향으로 중국대륙에서 알베도가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 국지표준편차 값은 주로 육지 및 해안선에서 크게 나타나고 있으며, 눈이 있거나 구름이 있는 지역(한반도, 오키나와 부근)의 경계에서도 또한 큰 값을 보이고 있으며, 바다와 같이 균일한 지역에서는 매우 작게 나타났다. 앞에서도 언급한 바와 같이 위성 관측값에는 여러 가지 오류(error)의 소지가 있기 때문에 오류의 영

향을 최소화하기 위하여 최종 CSR 값은 단위분석영역에 대하여 평균(CSR_m)을 취하였다.

다음은 단위분석영역에서 동일 시간에서의 CSR 일변화량은 구름에 의한 복사휘도 변화량보다 작다는 일반적 속성(Rossow et al., 1985)을 이용하여 CSR을 구하는 과정이다. 구름이 없는 경우에 알베도의 일변화는 크지 않지만 휘도온도는 그 지역을 지배하는 기상상황에 따라서 변화량이 큰 경우가 있다. 따라서, 정확한 CSR을 구하기 위해서는 휘도온도의 일변화를 고려하여야 한다. 휘도온도의 일변화를 CSR에 반영하기 위하여 위에서 구한 CSR_m, CSR_s의 표준편차 및 분석날자의 관측자료를 이용하였다. 즉, 각 화소의 관측값과 CSR_m를 비교하여 각 화소의 관측값이 구름이 없는 부분으로 판단되면 그 화소의 관측값을 새로운 CSR_s로 하여 앞에서 구한 CSR_s과 교체한 후 다시 평균을 하여 운량 분석시 이용하였다.

2) 2차원 막대그래프(2-D histogram) 분석

가시영상과 적외영상 자료의 2차원 막대그래프상에서 여러 가지 구름의 개략적인 복사특성을 시각적으로 분석하기 위하여 Fig. 5와 같이 육지, 해안선 및 바다에 대하여 histogram을 작성하였다. Fig. 5에서 맨 왼쪽은 앞에서 구한 CSR_s를 나타낸 것이고 그 외는 각 날자의 관측값을 나타낸 것이다. 바다에서의 CSR_s는 histogram 분포가 아주 단순하게 나타난 반면 해안선과 육지의 경우에는 지형구조의 영향으로 휘도온도 분포가 넓게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그리고 각 날자의 histogram 또한 CSR_s과 유사하게 바다와 같이 지표면이 단순하면 histogram 분포도 비교적 단순하고 해안선과 육지와 같이 지표면이 복잡하면 histogram 분포도 넓게 퍼져 있음을 볼 수가 있다. 즉, 지표면의 복사특성이 복잡하면 할수록 구름분류가 어려움을 나타낸다고 볼 수 있을 것이다.

Fig. 5와 12월 4일로부터 16일까지의 구름영상을 시각적으로 분석한 결과는 아래와 같다 (괄호 안의 숫자는 분석영역-날자를 의미함):

- 구름이 없는 경우: 알베도가 작고 휘도온도가 높으며 각각의 변화폭이 작음(6-4, 6-7, 16-6, 16-7)
- 반투과성 권운: 알베도와 그 변화폭은 작으나 휘도온도의 변화폭이 큼(6-5, 9-12)
- 하층운: 휘도온도는 지표면의 온도와 유사하나 알베도가 큼(6-13, 6-15, 9-6)
- 잘 발달된 적운: 휘도온도가 매우 낮고 알베도는 큼(9-14, 16-9, 16-15, 16-16)

2-D histogram에서 구름으로 분류하기가 어려운 부분은 각 지류가 합쳐져 구름이 없는 부분과 만나는 부분이다. 이 부분은 주로 순간시각 내에 부분적으로 구름이 있거나 반투과성 권운 또는 아주 낮은 하층운에 기인하기 때문에 구름분류시 어느 특정의 구름으로 분류하기가 곤란하다.

3) 국지표준편차 분석

앞의 2-D histogram 분석에서 특정의 구름으로 분류하기 곤란한 부분의 구름을 분석하기

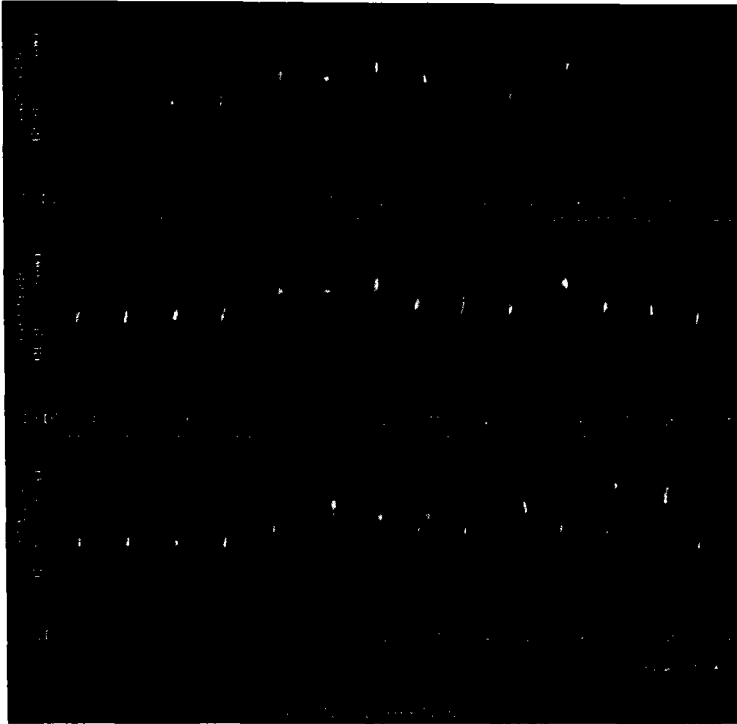


Fig. 5. Time series of VIS-IR histograms for the period 4~16 December 1990.
Upper, middle and lower part are represent for the area 6, 9
and 16 in Fig. 1., respectively.

위하여 Seze and Desbois(1987)와 같이 국지표준편차를 분석하였다. 여기서 국지표준편차는 각 channel 관측값을 이용하여 매 3×3 화소씩 표준편차를 연속적으로 계산하였으며 계산결과는 중심점에 두었다. Fig. 6은 분석영역에서의 구름영상과 국지표준편차 영상으로 각 영상은 시각적 효과를 위하여 histogram 정규화를 하여 영상처리한 것이다. 여기서 가시영상과 적외 영상 자료를 비교해 보면 서로 다른 양상을 보이는 부분이 있음을 알 수 있다. 그 예로 12월 16일에는 발해만, 화남지방 및 일본 남쪽 지역을, 그리고 18일에는 화남지방과 일본 남쪽 지역을 들 수가 있다. 즉, 낮은 하층운이나 반투과성 권운은 가시영상과 적외영상에서 동시에 구름으로 관측되지 않을 수도 있음을 보이고 있다.

국지표준편차의 값은 주로 경계부분, 즉 해안선이나 구름과 지면이 접하는 곳에서 대체적으로 크게 나타나고 지면이나 구름과 같이 관측값이 비교적 균질한 곳에서는 작게 나타나고 있다. 그리고 국지표준편차의 영상에서도 초기 위성영상에서와 같이 가시영상과 적외영상에

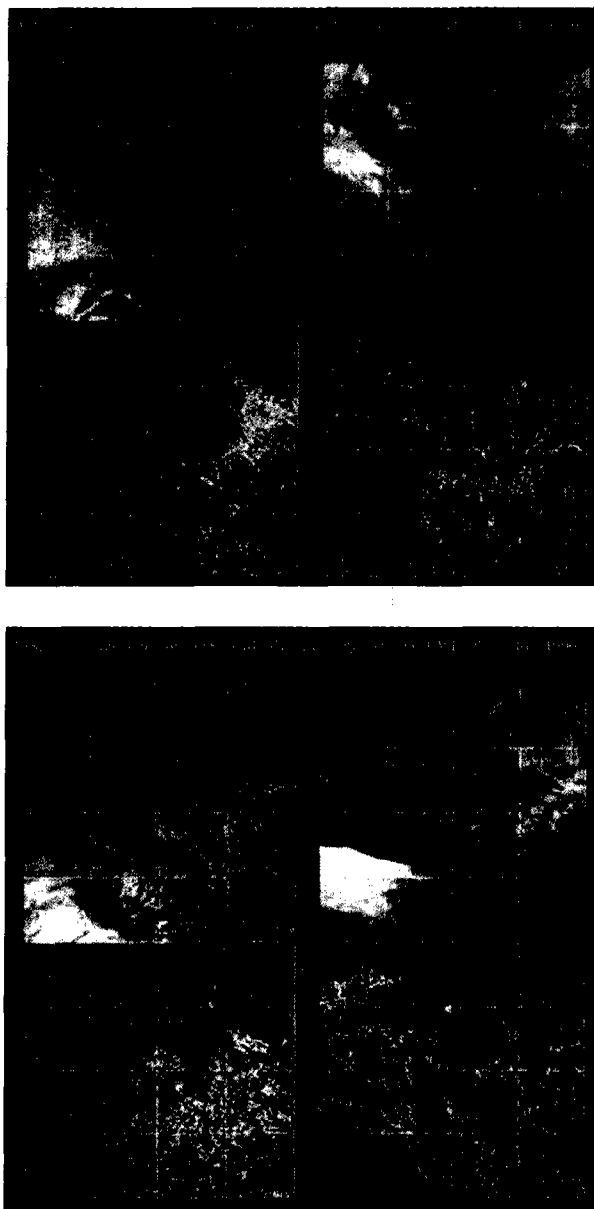


Fig. 6. VIS and IR images at 1500 LST on 16 and 18 December, and corresponding LSD images.

서 서로 다른 양상을 보이는 부분이 있으며 대체적으로 그 부분들은 초기 위성 영상에서의 위치들과 일치하고 있음을 볼 수가 있다. 국지표준편차를 분석한 결과 2-D histogram에서는 분류하기가 곤란했던 부분 중 반투과성 권운과 구름이 없는 지표면을 분류할 수 있었다. Fig. 6에서 발해만의 구름영상을 보면 가시광선에서는 거의 구름이 없으나 적외선에서는 구름이 있음을 볼 수가 있으며 화남지방의 경우에는 그 반대 현상을 볼 수가 있다. 즉 Fig. 6에서 보는 바와 같이 반투과성 권운의 경우 적외선 관측값의 국지표준편차는 크게 나타난 반면 가시광선의 국지표준편차는 매우 작게 나타났으며, 순간시각 내 부분적으로 있는 중층운 또는 하층운의 경우에는 국지표준편차의 값이 대체적으로 크게 나타났다.

4) Thresholds를 이용한 각 화소의 분류

앞에서 구한 단위분석영역의 CSRm과 S-VISSR 영상자료를 직접 비교하여 각 화소를 구름(또는 맑음)으로 분류할 수도 있다. 하지만 합리적인 구름분류를 위해서는 CSRm의 부정확성 또는 분석영역의 대표값으로서의 적정성 문제와 S-VISSR 관측값의 공간적으로 다양한 분포 등을 고려하여야 한다. 위성영상 자료로부터 구름을 분석하는 과정에서 위와 같은 성질을 고려하는 방법으로 일정한 크기의 thresholds를 CSRm에 적용하여 왔다(Rossow, 1983, Rossow et al., 1985 ; Lilijas, 1983 ; Reynolds and Vonder Haar, 1977).

Thresholds의 크기는 CSRm 값과 같이 운량 분석의 정확성에 지대한 영향을 미치기 때문에 많은 자료와 분석지역의 특성을 면밀히 분석하여 구하여야 한다. 하지만 여기서는 Rossow(1988)가 ISCCP에서 사용했던 thresholds을 12월 3~20일 자료에 적용하여 1차적으로 운량을 분석하여 보았다. ISCCP에서 사용된 휘도온도상의 thresholds는 육지와 바다에서 각각 8과 3K이고, 알베도에서는 6과 3.5%이었다. 운량 분석 결과를 S-VISSR 영상과 시각적으로 비교하여 본 결과 육지와 바다에서의 thresholds 차로 인하여 운형이 해안선에서 불연속하게 나타났으며 바다와 고위도 지역에서 운량을 실제보다 많이 분석하였다. 이를 보정하기 위하여 본 연구에서는 육지와 바다에서 각각 알베도와 휘도온도의 분포와 표준편차를 분석하였다(Table 1). Table 1에서 Area 번호는 Fig. 1에서의 번호이며 분석기간이 초겨울이어서

Table 1. Average and standard deviations of the albedo and brightness temperature according to surface types

Area- Number	Land				Sea			
	Albedo		Temperature		Albedo		Temperature	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1~4	4.59	.97	281.11	3.26	2.63	.37	282.42	2.68
5~8	4.76	1.20	287.55	2.87	2.99	.60	286.63	2.13
9~12	4.22	1.24	292.55	1.77	2.66	.61	291.14	2.48
13~16	4.10	.38	294.12	1.61	2.68	.57	292.45	1.32

육지와 바다에서의 휘도온도와 휘도온도의 표준편차가 거의 같음을 볼 수 있다. Table 1의 결과로부터 바다에서의 thresholds 크기를 0.5K씩 증가시키면서 운량의 정확성과 육지와 바다에서 구름분석 결과의 연속성에 대해서 분석하였다. 그 결과 바다에서의 thresholds 크기를 3K에서 5K하였을 때 구름분석의 연속성 및 운량이 비교적 정확하게 분석되었다.

실제분석에서는 아래와 같이 각 화소의 복사휘도(pixel radiance : PR)와 CSRm 사이의 관계에 따라 다음과 같이 코드화(TD=Temp. Diff., AD=Albedo Diff.)하였으며 바다에서의 TD (5K)를 제외하고는 ISCCP에서 사용한 값을 이용하였다.

VIS-code = 1	$PR \leq (CSRm-AD)$
VIS-code = 2	$(CSRm-AD) < PR \leq CSR$
VIS-code = 3	$CSRm < PR \leq (CSRm+AD)$
VIS-code = 4	$(CSRm+AD) < PR \leq (CSRm+2AD)$
VIS-code = 5	$(CSRm+2AD) < PR \leq (CSRm+3AD)$
VIS-code = 6	$(CSRm+3AD) < PR$
IR-code = 1	$PR > (CSRm+TD)$
IR-code = 2	$(CSRm-TD) \geq PR > CSRm$
IR-code = 3	$CSRm \geq PR > (CSRm-TD)$
IR-code = 4	$(CSRm-TD) \geq PR > (CSRm-2TD)$
IR-code = 5	$(CSRm-2TD) \geq PR > (CSRm-3TD)$
IR-code = 6	$(CSRm-3TD) \geq PR$

위의 코드값으로부터 단위분석영역에서의 각 화소를 Fig. 7과 같이 분류하였다. Fig. 7에서 HC, MC는 VIS와 IR 두 영상자료에서 동시에 구름으로 판단된 것으로 HC는 지상에서의 운정고도가 약 5km 이상인 구름이고 MC는 약 3~5km인 구름이다. LC는 VIS에 의하여, CC는 IR에 의하여 구름으로 판단된 것이다. 즉 LC는 구름의 온도가 지표면의 온도와 유사한 하층운을, CC는 알베도가 지표면과 큰 차이가 없는 cirrus류의 구름(Inoue, 1987 ; Desbois et al., 1982)을 의미한다.

UC(Uncertain-Cloudy-pixel)는 각 화소의 복사휘도와 CSRm과의 차이가 threshold 값보다는 크고 threshold 값을 두 배 한 양보다는 작은 값을 갖는 화소들이다. 즉 UC는 순간시각 내에 구름이 부분적으로 있거나, 분석영역이 매우 복잡한 지역일 경우, 운정온도가 지면과 유사한 하층운 및 반투과성 권운에 해당된다. 따라서 이 부분이 많으면 구름분석 결과의 정확성도 감소할 것이다.

LEGEND

CR	Clear	UC	Uncertain-Cloudy
LC	Low-Cloudy	MC	Middle-Cloudy
CC	Cirrus	HC	Thick-High-Cloudy

VIS-code

6	LC	LC	LC	MC	MC	HC
5	LC	LC	LC	MC	MC	HC
4	UC	UC	UC	UC	MC	MC
3	CR	CR	CR	UC	CC	CC
2	CR	CR	CR	UC	CC	CC
1	CR	CR	CR	UC	CC	CC
	1	2	3	4	5	6

Fig. 7. Schematic presentation of cloud analysis code values in the bispectral thresholds method.

5) Uncertain-cloudy 화소의 분석

구름분석 결과의 정확성을 높이고 유용성을 향상시키기 위해서는 uncertain-cloudy 화소를 다시 분류할 필요가 있다. Table 2는 각 운형에 따른 국지표준편차 값을 전 분석기간(12월 3~16일)에서 추출한 것으로 국지표준편차의 값이 운형에 따라서 상이함을 알 수 있다. 반투과성 권운의 경우 국지표준편차값이 적외선역에서 크고 가시광선역에서 작지만 구름이 없는 경우에는 두 영상자료 모두에서 아주 작음을 알 수 있다. 여기서는 이들 평균값을 threshold 값으로 하여 UC로 분류된 화소에 적용하여 권운과 구름이 없는 지표면을 다시 추출한 후 그 외는 UC로 하였다. 그 결과 경우에 따라 차이는 있지만 UC의 양을 조금씩은 줄일 수 있었다(Table 3 참조).

Table 2. Average and standard deviations of the LSD according to cloud types

Cloud type	B. T. (K)		Albedo (%)		Number of Pixels
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	
Thick high	3.42	1.56	3.69	1.66	2487
Middle	3.23	1.53	3.94	1.76	7506
Low level	4.38	2.49	3.86	1.75	7440
Cirrus	7.87	6.85	3.98	2.31	7452
Uncertain	9.07	6.00	3.97	2.25	41759
Clear	3.28	3.10	4.20	2.42	28334

Table 3. Cloud cover(%) analysis results for the same period in Fig. 8

1990. 12. 16. 1500 LST									
AREA	HC	MC	LC	CC		UC		Total	
				NO. SD	SD	NO. SD	SD	NO. SD	SD
1	3.2	9.5	.1	53.0	53.0	18.7	17.0	84.6	82.8
2	.0	.9	.0	13.6	13.9	18.5	12.8	32.9	27.5
3	.0	5.4	.0	.9	1.1	49.8	47.0	56.2	53.7
4	5.9	27.3	3.1	31.0	31.6	10.9	9.8	78.8	77.8
5	42.3	11.6	.0	35.5	35.5	3.2	2.7	92.1	92.1
6	.3	11.9	4.1	21.7	25.5	18.7	11.2	56.9	53.0
7	.0	4.9	3.4	4.1	4.7	23.5	22.2	36.0	35.2
8	5.2	26.8	12.7	28.2	30.2	17.6	15.8	91.2	90.7
9	24.7	73.1	.4	1.8	1.8	.0	.0	100.0	100.0
10	1.1	51.3	3.5	23.5	25.3	14.3	10.3	93.2	91.6
11	.0	38.1	18.6	12.3	13.9	21.2	19.7	90.6	90.3
12	.0	16.5	11.1	10.1	13.1	23.5	20.6	61.8	61.4
13	1.1	24.2	73.9	.3	.3	.4	.4	100.0	100.0
14	1.2	35.8	37.5	13.3	16.3	9.4	5.1	96.5	95.9
15	.0	29.2	25.6	6.2	9.1	26.3	23.7	87.9	87.7
16	.1	35.8	28.3	11.0	13.1	15.0	13.1	90.5	90.4
1990. 12. 18. 1500 LST									
AREA	HC	MC	LC	CC		UC		Total	
				NO. SD	SD	NO. SD	SD	NO. SD	SD
1	.0	3.6	.3	.2	.0	14.9	13.4	18.8	18.5
2	.0	.0	.0	.0	.0	1.9	1.3	1.9	1.3
3	.0	4.7	.8	2.6	2.5	28.2	27.6	36.2	35.6
4	.0	30.1	2.5	13.6	13.2	8.6	7.9	54.9	54.1
5	.2	2.9	.3	3.3	2.8	20.5	16.3	26.1	22.9
6	.0	13.0	6.0	5.7	1.8	15.7	10.6	36.9	35.3
7	.0	13.6	5.1	3.8	2.3	24.6	22.7	45.9	45.3
8	11.1	40.3	7.2	33.2	32.0	8.2	6.3	98.2	98.1
9	27.4	5.0	.0	14.4	13.8	22.1	16.7	68.2	63.5
10	2.0	22.3	18.2	16.3	13.6	17.6	11.4	74.4	70.2
11	1.3	49.8	20.5	19.5	19.2	7.8	7.2	98.4	98.4
12	.4	25.6	15.6	28.0	23.8	20.8	16.6	86.3	86.3
13	36.9	8.8	38.0	16.2	16.1	.0	.0	99.9	99.8
14	.2	31.0	45.5	16.9	14.0	8.0	5.1	99.2	98.8
15	.0	33.9	35.5	10.6	8.8	18.2	16.1	96.2	96.1
16	.0	27.5	36.2	13.2	8.7	20.6	16.3	93.4	93.2

3. 분석 결과 및 토의

Bispectral thresholds 구름분석 기법을 12월 3~20일의 S-VISSR 영상자료에 적용하였다. 그 중 16, 18일의 구름분석 결과를 일기예보 등에서 활용이 용이하도록 칼라 영상처리하여 Fig. 8에 나타내었으며 각 분석영역에서의 운형에 따른 운량을 정량화(Table 3)함으로써 운량의 통계적 분석(cloud climatology)이나 기후모델 연구에 사용할 수 있게 하였다. Table 3에서 단순히 threshold 값만으로 구름을 분류한 것이 No. SD 값이고 그 상태에서 UC에 대하여 국지표준편차 값을 적용한 결과가 SD 아래의 값들이다. 기상위성의 관측자료를 이용하여 기상인자를 분석할 때 공통적으로 갖는 문제점 중의 하나가 분석결과를 검증할 자료가 없다는 데 있을 것이다. 그 중에서도 구름과 같이 지상에서 관측할 때와 위성에서 관측할 때 관측면이 다르고 시간에 따라 변화의 양이 큰 경우에는 더욱 그러하다. 운량 분석 결과의 질적 검증을 위하여 기상청에서 본 연구에서와 동일한 위성 자료를 주관적으로 분석한 구름분석도를 이용하였다(Fig. 9).

Fig. 6, Fig. 8 및 Fig. 9를 비교하여 보면 본 연구에서 분석한 결과가 비교적 양호함을 알 수 있다. 그 예로 비교적 분석하기가 용이한 상층운이나 중층운을 제외하고도 12월 16일의 발해만 권운이나 화남지방 하층운, 17일의 북한 지방의 권운 및 18일의 화남지방과 일본 남해의 하층운이 잘 분석되었음을 볼 수가 있다. 또한, 구름의 경계에서 순간시각 내에 부분적으로 구름이 있는 경우는 불확실한 구름으로 분류하였으며 그 외 18일의 동해와 남해의 층적운은 중층운으로 분류하였다. 16, 18일의 한반도지역이 불확실한 구름으로 분류되었는데, 이는 앞에서도 지적한 바와 같이 지표면의 눈을 잘 못 분류한 것으로 이 부분은 앞으로 더 연구가 필요하다고 본다. Table 3의 각 분석영역에서의 운량과 Fig. 6을 시각적으로 비교하여 보면 구름이 아주 많거나 거의 없는 경우, 그리고 바다에서의 운량은 영상과 잘 일치함을 알 수 있다. 그러나 분석영역이 복잡한 해안선이 포함된 영역(6, 7, 10)과 지면에 눈이 있거나 복사특성이 복잡한 영역(3, 5)의 운량은 실제보다 약간 많게 분석하였다. 해안선에서 운량이 실제보다 많게 분석된 것은 분석영역을 구분하는 과정에서 육지로 분류한 단위 분석영역 중에는 바다를 포함한 곳이 많아서 상대적으로 CSR 값이 부정확하기 때문으로 본다.

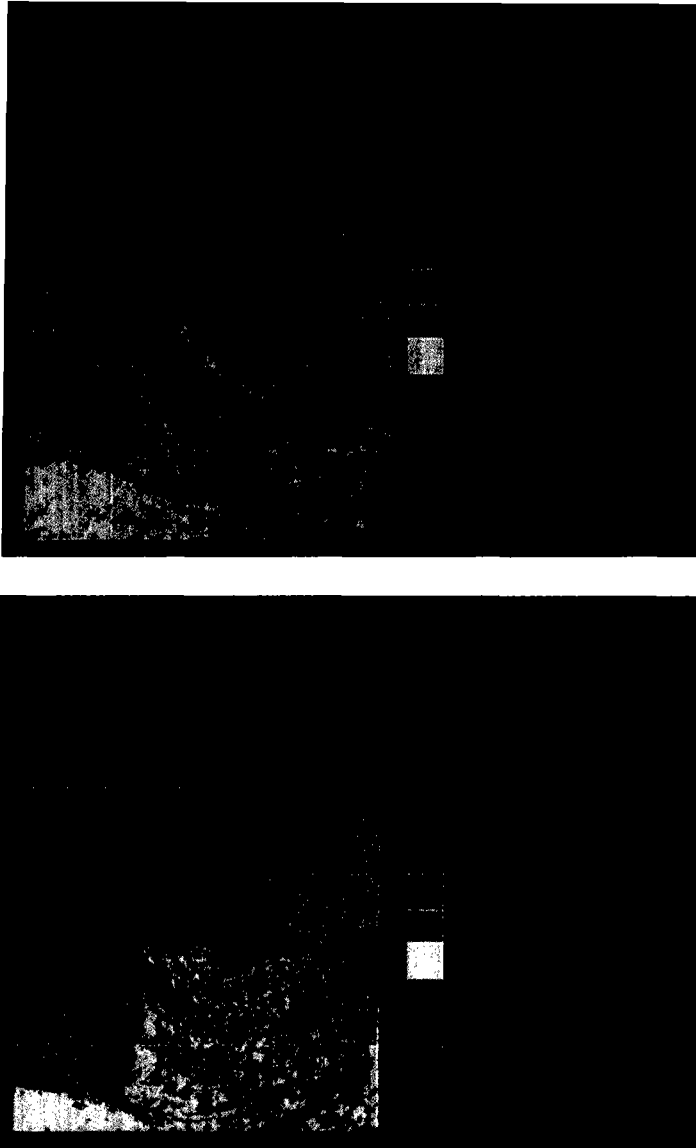
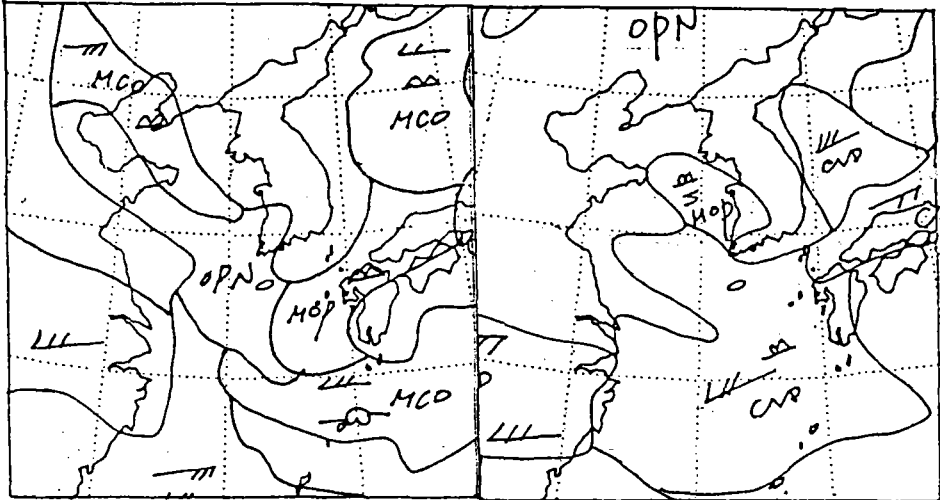


Fig. 8. False color images of the cloud type classification results at 1500 LST, 16 and 18 December 1990.

구름 분석도
(기상청 기상연구소 위성기상부)
1990년 12월 16일 15:00 LST 1990년 12월 18일 15:00 LST



- 〈약어 및 기호 설명〉
- | | | |
|----------------|--------------|------------------|
| ☞ : 두꺼운 권운형 구름 | ☞ : 층적운형 구름 | OPN : 운량이 20% 미만 |
| ☞ : 얇은 권운형 구름 | ☞ : 층운 또는 안개 | MOP : 운량이 20~50% |
| ☞ : 중층운 | ☞ : 적란운 | MCO : 운량이 50~80% |
| ☞ : 발달이 안된 적운 | | CVD : 운량이 80% 이상 |

Fig. 9. The Nephanalyses map drawn by experts in the Korea Meteorology Administration for the same period in Fig. 8.

4. 결 론

본 연구에서는 극동아시아 지역에서의 객관적인 운량을 분석하기 위한 bispectral thresholds 운량 분석기법을 개발하여 GMS/S-VISSR 자료에 적용하여 보았다. 운량분석 영역이 광범위 하기 때문에 구름이 없는 경우에도 지리적 위치와 지표면의 종류에 따라서 지표면의 CSR 크기가 일정치 않으므로 이를 운량 분석 알고리즘에 반영하여야 하는데, 이를 위하여 운량분석영역을 단위분석영역으로 나누고 지표면을 육지와 바다로 구분하였다.

Bispectral thresholds 기법에 의한 운량분석 결과는 CSR과 thresholds의 정확도에 따라서 주로 결정된다. CSRs과 분석날자의 관측값을 이용함으로써 CSR 값에 영향을 주는 태양 고도각의 영향, 지속적인 구름 및 대기의 영향을 최소화하였으며 CSR의 일변화도 고려하였다.

분석기간에 나타났던 구름의 종류에 따라서 histogram 분포 특성을 분석하였으며 그 결과 상층운, 중층운, 하층운 및 권운에 해당되는 개략적인 복사특성을 볼 수 있었다. 또한, 관측값만으로는 분류하기가 곤란한 반투과성 권운을 추출하기 위하여 가시영상과 적외영상 자료에서 운형에 따른 국지표준편차를 분석하였으며 그 결과를 운형분류에 적용한 결과 반투과성 권운과 구름이 없는 지표면을 잘 분리해 낼 수 있었다. 본 연구에서 운량분석 결과를 기상청의 주관적 분석결과와 비교한 결과 운량 및 운형에서 비교적 정확한 결과를 보였다. 따라서 본 연구에서 개발한 bispectral thresholds 구름 분석 기법의 결과는 현업 예보에서 기상현상의 이해를 돕기 위한 보조자료나 극동아시아 지역에서 운량 분석 결과를 축적함으로써 기후변화 연구모델의 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

구름분석 알고리즘 개발을 위하여 지표면과 구름을 흑체로, 순간시각 내에서는 항상 구름이거나 맑음으로 가정을 하였는데, 실제 대기에서는 지표면과 구름이 흑체가 아닌 경우가 많고 순간시각 내에서도 부분적으로 구름이 있는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서 개발한 알고리즘은 근본적으로 추출하지 못하는 구름이 있을 수가 있다. 특히 야간에는 가시광선역에서의 관측값이 없는 관계로 지면과 유사한 휘도온도를 갖는 하층운은 더욱 그러하다. 이 부분에 대한 연구는 앞으로도 많은 사례를 이용한 사례 연구와 이론적 연구가 동시에 이루어져야 할 것으로 본다.

사 사

본 논문은 과기처에서 시행한 1989년도 특정연구 개발사업에 의하여 연구되었다. 본 논문이 수행될 수 있도록 위성자료와 구름분석도를 제공해 준 기상청 위성실의 서애숙, 이희훈 연구관님께 감사드립니다.

참고문헌

- 과학기술처, 1990 : 기상위성자료 응용기술 개발연구(Ⅲ). 시스템공학연구소 주관 특정연구과제 최종보고서, 210pp.
- 서애숙, 김금란, 1990 : 선형판별법에 의한 GMS 영상의 객관적 운형분류, 대한원격탐사 학회지, 6(1), 11~24.
- Chahine, M. T., 1977 : Remote sensing of cloudy atmospheres. II. Multiple cloud atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, 34, 744~757.
- _____, H. H. Aumann and F. W. Taylor, 1977 : Remote sensing of cloudy atmos-

- pheres. III. Experimental verifications. *J. Atmos. Sci.*, 34, 758~765.
- Chou, M. D., J. Childs and P. Dorian, 1986 : Cloud cover estimation using bispectral satellite measurements. *J. Climate Appl. Meteor.*, 25, 1280~1292.
- Desbois, M., G. Seze and G. Szejwach, 1982 : Automatic classification of clouds on METEOSAT imagery : application to high level clouds. *J. Appl. Meteor.*, 21, 401~412.
- Inoue, T., 1987 : A cloud type classification with NOAA-7 split-window measurements. *J. Geophys. Res.*, 92, 3991~4000.
- Japan Meteorological Satellite Center, 1989 : *The GMS user's guide*, 2nd ed. 222pp.
- Platt, 1983 : On the bispectral method of cloud parameter determination from satellite VISSR data : separating broken cloud and semi-transparent cloud. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 429~439.
- Reynolds, D. W. and T. H. Vonder Harr, 1977 : A bi-spectral method for parameter determination. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 44~457.
- Rossow, W. B., 1988 : *Preliminary documentation for ISCCP c1 data*. 1~13.
- Rossow, W. B., F. Moshier, E. Kinsella, A. Arking, M. Destois, E. Harrison, P. Minnis, E. Ruprecht, G. Seze, C. Simner and E. Smith, 1985 : ISCCP cloud algorithm intercomparison. *J. Climate Appl. Meteor.*, 24, 877~903.
- Schiffer, R. A. and W. B. Rossow, 1983 : The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) : The first project of the World Climate Research Programme. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 64, 779~784.
- Sellers, H. A., 1984 : *Satellite sensing of a cloudy atmosphere*, Taylor and Francis Ltd., 330pp.
- Seze, G. and M. Desbois, 1987 : Cloud cover analysis from satellite imagery using spatial and temporal characteristics of the data. *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 287~303.
- Vonder Harr, T. H. and D. W. Hillger, 1986 : Lecture notes on the applications of meteorological satellite services and data, Education and Training Programme ETR-1, MD/TP NO. 151, 381pp.