

MTSAT-1R 정지기상위성 자료를 이용한 전운량 산출 알고리즘 개발

이병일 · 김윤재* · 정주용 · 이상희 · 오성남

기상연구소 원격탐사연구실

(2007년 2월 20일 접수; 2007년 5월 14일 승인)

Development of Cloud Amount Calculation Algorithm using MTSAT-1R Satellite Data

Byung-Il Lee, Yoonjae Kim*, Chu-Yong Chung, Sang-Hee Lee and Sung-Nam Oh

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute

(Manuscript received 20 February 2007; in final form 14 May 2007)

Abstract

Cloud amount calculation algorithm was developed using MTSAT-1R satellite data. The cloud amount is retrieved at $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ over the Korean Peninsula and adjacent sea area. The algorithm consists of three steps that are cloud detection, cloud type classification, and cloud amount calculation. At the first step, dynamic thresholds method was applied for detecting cloud pixels. For using objective thresholds in the algorithm, sensitivity test was performed for TBB and Albedo variation with temporal and spatial change. Detected cloud cover was classified into 3 cloud types (low-level cloud, cirrus or uncertain cloud, and cumulonimbus type high-level cloud) in second step. Finally, cloud amount was calculated by the integration method of the steradian angle of each cloud pixel over 3° elevation. Calculated cloud amount was compared with measured cloud amount with eye at surface observatory for the validation. Bias, RMSE, and correlation coefficient were 0.4, 1.8, and 0.8, respectively. Validation results indicated that calculated cloud amount was a little higher than measured cloud amount but correlation was considerably high. Since calculated cloud amount has $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ resolution over Korean Peninsula and adjacent sea area, the satellite-driven cloud amount could show the possibility which overcomes the temporal and spatial limitation of measured cloud amount with eye at surface observatory.

Key words: Digital Forecast, Cloud Cover, Cloud Types, Cloud Amount, Dynamic Thresholds, Integration of Steradian Angle, Validation

1. 서 론

전운량은 기상 예보에 있어서 가장 기본이 되는 구름에 대한 정보를 담고 있으므로 지표 및 대기 온도, 대기 순환, 그리고 지표면 알베도 등의 과정에 영향을 미치는 중요한 기상요소이다. 그러나 현재 기상예보에서는 지상관측소가 위치하고 있는 지점에서의 목측자료

만을 이용함으로써 시·공간적인 제약이 많다. 이러한 제약을 극복하기 위한 방법으로 위성 자료를 이용한 운량 산출 방법이 시도되었다. 정지궤도위성 자료를 활용하여 운량을 산출하게 되면, 한반도와 인근 해역에서 관측 공백없이 24시간 지속적으로 운량 산출이 가능하다는 장점이 있다.

현재 위성자료를 이용한 운량산출 알고리즘으로는 ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) 프로그램의 일환인 ISCCP 알고리즘, AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)에서 제공되는 스펙트럼 정보를 모두 활용한 화소단위 구름 탐지 (pixel-level cloud mask)인 CLAVR-1 (Clouds from AVHRR-Phase 1) 알고리즘, CLAVR-1을 향상시킨 CLAVR-x 알고리즘, 극궤도 위성자료를 활용한 MODIS

*Corresponding Author: Yoonjae Kim, Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute Korea Meteorological Administration, Sindaebang2-dong, Dongjak-gu, Seoul 156-720.
Phone : +82-2-841-2786, Fax : +82-2-841-2787
E-mail: yoonjae@metri.re.kr

(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 알고리즘 등이 있다 (Stowe *et al.*, 1991; Rossow and Garder, 1993; Akerman *et al.*, 1998). 이러한 알고리즘들은 위성 산출운량의 개선을 가져왔지만 구름탐지 결과로부터 구름의 존재 유무 정보를 이용하여 단위 면적당 구름양을 %로 산출하는 한계가 있다. 또한, 각 화소의 청진신뢰수준을 고려하여 3 X 3 화소군 또는 5 X 5 화소군 단위로 평균화 과정을 거치게 됨으로써 운량 산출의 해상도를 구름탐지 정보의 1/9 또는 1/25로 줄어든게 만들고 단순히 주변 몇몇 화소만을 고려함으로써 실제 지상 관측자가 보는 운량과 많은 차이를 나타내는 단점이 있다.

이러한 기존 연구들의 단점을 보완하고 기상청에서 대국민 서비스의 일환으로 수행되고 있는 디지털예보에 실시간으로 하늘상태 정보를 제공하기 위하여 본 연구에서는 새로운 운량산출 알고리즘을 개발하였다. 2장에서는 본 연구에서 알고리즘 개발을 위하여 이용한 위성자료에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 운량산출 알고리즘에 대하여 자세히 기술하였다. 알고리즘의 정확도는 4장에 설명하였으며, 마지막으로 5장에서 요약과 결론을 기술하였다.

2. 자료

본 연구에서는 일본의 정지기상위성인 MTSAT-1R (Multi-functional Transport Satellite-1 Replacement) 자료를 이용하였다. MTSAT-1R은 2005년 2월에 성공적으로 발사되어 시험운행을 거친 후 미국의 정지기상위성인 GOES-9 (Geostationary Operational Environmental Satellite-9)을 대신하여 아시아 태평양 지역의 관측 업무를 담당하고 있다. MTSAT-1R 정지기상위성에 탑재되어 있는 JAMI (Japanese Advanced Meteorological Imager) 센서는 새롭게 진보된 망원경과 탐지기, 냉각 장치를 도입하였고, 4개의 적외채널과 1개의 가시채널로 GOES-9과 유사하다. 그러나 단파적외채널은 3.75 μm 로 더 많은 하층구름 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 한국 기상청에서는 2005년 7월부터 미국의 정지기상위성인 GOES-9을 대체하여 현업에 활용하고 있다.

3. 알고리즘

위성자료를 활용하여 전운량을 산출하기 위해서는

구름 탐지가 우선 되어야 한다. 본 연구에서는 구름탐지와 운형 분류, 그리고 운량 계산의 세 단계로 전운량 산출 알고리즘을 구분하였다. 구름탐지는 위성에서 관측되는 화소단위별로 구름의 존재 유무를 결정하는 것으로서 각 화소별 가시채널, 단파적외, 그리고 적외채널의 복사 특성을 이용하여 구름의 존재 유무를 결정하게 된다. 1차적으로 탐지된 구름역을 기반으로 2차 검사를 수행하여 간단하게 하층운, 적란운, 권운 등의 구름으로 구름의 형태를 3가지로 분류하였다. 이는 구름탐지 결과를 이용하여 운량을 산출하는 단계에서 상층운과 하층운을 구분하여 보다 현실적인 운량을 산출하기 위함이다. 생산된 구름탐지 결과를 이용하여 픽셀의 고도와 구름의 형태에 따라 픽셀당의 가중치 설정, 시야각(steradian)의 크기를 분석하였고, 각 시야각에 존재하는 구름의 양을 적분하여 0 ~ 10사이의 운량값으로 나타내었다. Fig. 1은 본 연구를 통하여 개발된 전운량 산출 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

3.1 구름탐지

일반적으로 위성자료를 이용한 구름탐지 방법은 크게 세 가지로 구분되어 진다. 이는 경계값 방법과 히스토그램 방법, 그리고 신경망 기법 등을 활용하는 통계적 방법이며, 이 중 위성자료를 실시간으로 활용하기 위한 목적으로는 수행시간이 빠르고 비교적 간단한 개념인 경계값 방법이 사용되어지고 있다 (Minnis and Harrison, 1987). 경계값 방법은 해당하는 사례에 대해 정해진 경계값을 주는 정적 경계값 방법과 시간과 계절, 위도에

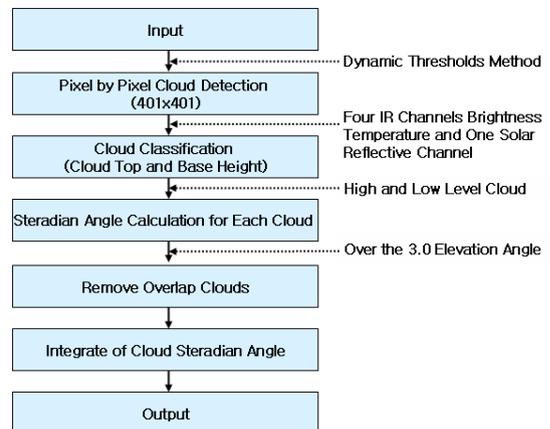


Fig. 1. Flowchart for estimation of cloud amount using MTSAT-1R data.

따라 달라지는 반사도 및 휘도온도의 특성을 고려하여 청천일 때의 참고값을 생산하고 이에 대한 여유 (margin)를 부여함으로써 그 경계값을 정하여 적용하는 동적 경계값 방법이 있다. 최근의 구름탐지 알고리즘에서는 동적 경계값을 이용하는 추세에 있다 (Vermury *et al.*, 2001; Dybbroe *et al.*, 2005). 본 연구에서도 구름 탐지를 위하여 동적 경계값을 이용하였으며, 주간에는 가시채널과 적외1 (10.8 μm)채널을, 야간의 경우는 적외1채널과 단파적외 (3.75 μm)채널을 이용하였으며, 황혼/새벽 (Twilight)에는 적외1채널만을 이용하였다.

청천을 가정한 가상의 자료를 생산하기 위하여 MTSAT-1R의 정지궤도 관측 특성을 이용하여 같은 시각에 대한 전일 10 ~ 16일의 합성장을 이용하였다. 즉 가시채널의 경우 탐지하고자 하는 scene에 해당하는 청천반사도를 결정하기 위하여 전일 계절에 따라 10 ~ 16일간의 가시채널 반사도를 합성하여 최소값을 구했으며, 적외채널과 단파적외채널에 대해서는 10 ~ 16일간의 최대값을 합성하여 청천시의 참고값으로 간주하였다. 이 단계에서 몇 일간의 합성값을 이용하는가에 대한 결정 또한 상당한 논란의 여지를 갖는다. 왜냐하면, 청천값을 구하기 위해서는 구름의 오염을 최소화하기 위하여 여름철의 장마전선이 같은 위치에 오래 머무는 경우에 대해서는 가급적 장기간의 자료를 이용하는 것이 유리한 측면이 있지만 봄/가을과 같이 기온의 변화가 심한 경우에 대해서는 장기간의 자료를 사용하는 경우 청천 참고값에 있어 의미가 줄어들 가능성이 있다. GHCC (Global Hydrology and Climate Center)는 GOES자료를 이용한 구름탐지 방법에서는 단파적외 및 적외채널의 채널 차이값과 적외채널 경계값 검사에 있어 20일간의 합성값을 이용한 바 있다 (Jedlovec and Laws, 2003).

본 연구에서는 합성장의 기간을 결정하기 위하여 MTSAT-1R의 자료를 본격적으로 사용하게 된 2005년 7월부터 2006년 8월까지 1년 동안의 자료를 이용하여 Fig. 2와 같이 합성 실험을 수행하였다. Fig. 2는 1년간 7일 ~ 17일간의 합성장을 생산하여 각 시기별 민감도 실험을 수행한 결과이다. 이러한 민감도 실험을 통해 본 연구에서는 시기별로 실제 관측된 각 채널의 반사도 및 휘도온도와 가장 근접하도록 합성기간을 설정하였다.

합성장을 이용한 구름탐지를 위하여 각 화소별 태양 천정각을 기준으로 주·야간과 황혼/여명으로 구분

하였으며, 각각에 대하여 육지와 해양으로 구분하여 서로 다른 경계값을 적용하였다. 즉, 각 화소별 태양 천정각을 기준으로 85°이하의 경우 주간 화소로 간주하여 가시채널 검사 및 적외1채널 검사를 수행하고, 85°이상의 경우 야간에 해당되는 화소로 간주하여 적외1채널 검사와 단파적외채널 검사를 통해 구름을 탐지하였다. 또한 주·야간에 대하여 서로 다른 채널 사용으로 구름탐지 결과에 대한 불연속을 해결하기 위하여 주간과 야간을 구분 짓는 태양천정각 85°선이 포함되는 80°~90°에 해당하는 화소는 황혼/여명으로 간주하고 주간에서만 활용되어지는 가시채널 검사와 야간에 서만 활용되어지는 단파적외채널 검사를 배제하고 적외1채널 검사만을 수행하여 구름을 탐지 하였다.

다음은 육지와 해상에서의 차별화된 구름 탐지를 수행하였다. 해상의 경우 해수면의 온도 변화의 폭이 크지 않고 균질하여 비교적 구름탐지가 수월한 반면, 육지의 경우 지표의 구성에 따라 가시채널의 반사도 및 적외채널의 휘도온도가 상당히 이질적인 값을 갖는 특성이 있다 (Fig. 2 참조). 이를 바탕으로 해상의 경우 청천 참고값에 비해 여유를 줄여 구름탐지의 정확도를 높이는 반면, 육상에서의 구름탐지는 그 여유를 충분히 부여하였다. Fig. 3은 본 연구에서 고려된 합성기간과 육지에서의 주간과 야간, 황혼/여명 시간대의 적외1과 단파적외채널의 구름탐지를 위한 경계값 설정의 변화를 나타내고 있다. 먼저 주간과 야간 (Thr. IR1_DN: 구름탐지용 적외1채널의 주야간 공통 임계값)의 경우 적외1채널에 대해서는 12 ~ 16 K로 시기별 변화를 주었으며, 황혼/여명 (Thr. IR1)시간대에는 7 ~ 15K로 경계값을 크게 두어 구름탐지 오류를 최소화 하였다. 또한, 야간(Thr. IR4)의 단파적외채널에 대해서는 여유를 7 ~ 12 K로 설정하였다. 해상의 경우 육지에 비하여 지표 반사도 및 온도 변화가 크지 않음으로 정적 경계값을 적용하였다. 주간의 경우 적외1채널은 5K, 가시채널은 5로 설정하였고 야간의 경우 적외1 및 단파적외채널 모두 7K로 경계값을 설정하였다.

3.2 운영 분류

본 연구의 구름탐지 알고리즘은 1차적으로 탐지된 구름역을 기반으로 2차 검사를 수행하여 간단하게 3가지 구름 형태를 결정하였다. 이는 다음절에 설명할 운량 산출 알고리즘에서의 활용을 위한 것으로 MTSAT-1R의 각 채널 특성을 이용하여 하층운, 적란운, 권운 등 3가

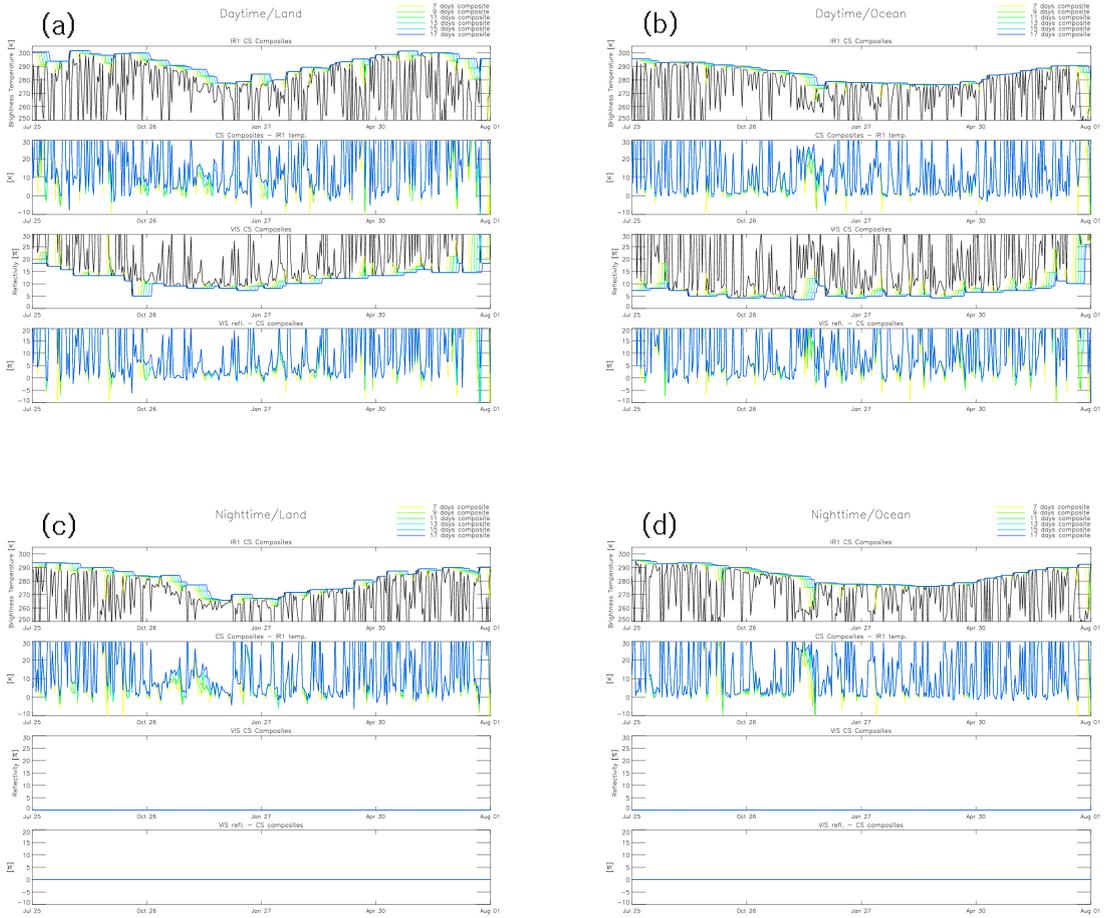


Fig. 2. Sensitivity test of composite periods and thresholds for the brightness temperature and albedo over land and ocean from Jul. 25, 2005 to Aug. 1, 2006: (a) The first figure indicate IR1 clear scene brightness temperatures (MCTBs, yellow to blue line) and measured brightness temperature (Tb, black line) from MTSAT-1R, second figure is the difference between MCTBs and Tb, third figure is the same as first figure but visible channel, and forth figure is the difference of MCVis from Vis in land at daytime. (b), (c), and (d) are the same as (a) except for daytime/ocean, nighttime/land, and nighttime/ocean, respectively.

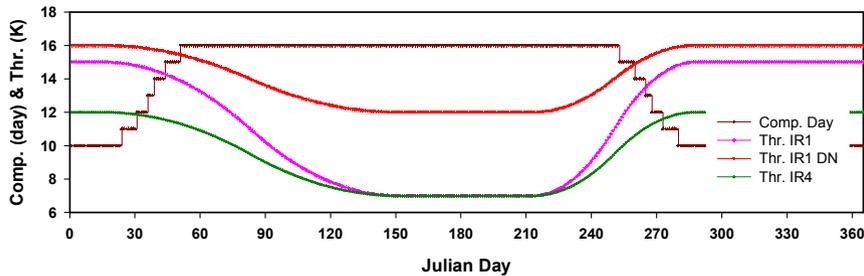


Fig. 3. The value of composite periods and thresholds at each channel in land for MTSAT-1R cloud detection algorithm. Pink line (Thr. IR1): IR1 thresholds value at twilight, red line (Thr. IR1_DN): IR1 thresholds value at day and night time, green (Thr. IR4): IR4 (SWIR) thresholds value at night time.

지 종류로 구름의 운형을 분류하였다. 우선 잘 발달된 적란운(Cld3) 형태의 구름을 분류하기 위하여 적외1 채널과 수증기채널의 채널차 검사와 적외1채널 경계 값 검사를 수행하였다. 적란운의 경우 운정고도가 높고 온도가 낮기 때문에 적외1채널의 휘도온도가 낮다. 그러므로 청천일 때의 값에 비해 상당한 낮은 휘도온도를 나타낸다. 또한 청천일 경우 적외1채널과 수증기 채널 값의 차이가 비교적 크게 나타나는 반면 적란운인 경우 그 차이가 상당히 줄어든다는 특성을 이용하였다. 이 검사에 사용되는 채널인 적외1채널과 수증기 채널이 주간, 야간, 황혼/여명에 그 특성의 변화가 없기 때문에 모든 시간에 대하여 적용하였다. 다음으로 권운 및 얇은 구름(Cld2)을 분류하기 위하여 주간에는 수증기채널 경계값 검사와 적외1과 2채널의 적외차 검사를 수행하였고, 야간에는 적외1과 2채널의 적외차 검사와 함께 적외1채널과 단파적외채널의 적외차 검사를 수행하였다. 한편 황혼/여명에 해당하는 시간대에 대해서는 적외1과 2채널의 적외차 검사만을 수행하였다. 이는 권운 및 얇은 구름의 경우 위성에서 관측된 한 화소가 구름으로 탐지되어지기는 하나 지상에서의 운량 산출시 overcast가 나타나지는 않는 점을 감안하

기 위함이다. 권운이 있을 경우 수증기 채널 값은 낮아지며, 적외1채널과 적외2채널의 차이값은 증가하게 된다. 특히 야간의 경우에는 단파적외채널을 이용할 수 있으며, 단파적외채널은 권운이 존재할 때 적외1채널보다 투과율이 좋으므로 위성에서 관측되는 복사휘도가 적외1채널보다 값이 커지게 되고, 하층운이 존재할 경우 구름에서의 방출율이 낮아 적외1채널보다 값이 작아지는 특성을 이용하였다. 다만 단파적외채널의 경우 위성에 따라 그 특성이 다르고, 검정 성능에 따라 그 값의 변화가 크기 때문에 사용시 유의하여야 한다. 탐지된 구름역에서 권운 및 얇은 구름 또는 적란운의 조건에 해당하지 않는 영역을 하층운(Cld1)으로 결정하였다.

본 연구에서 개발된 구름탐지 및 간단한 운형 분류에 사용된 알고리즘의 흐름도를 Fig. 4에 요약하였으며, 단파적외채널 휘도온도 값이 8.5 K 정도의 bias를 가지고 있는 2006년 2월 15일 이전의 자료에 대해서는 bias를 고려한 임계값을 사용하였다.

3.3 운량산출

본 연구에서는 시야각 적분 방식을 도입하여 좀 더

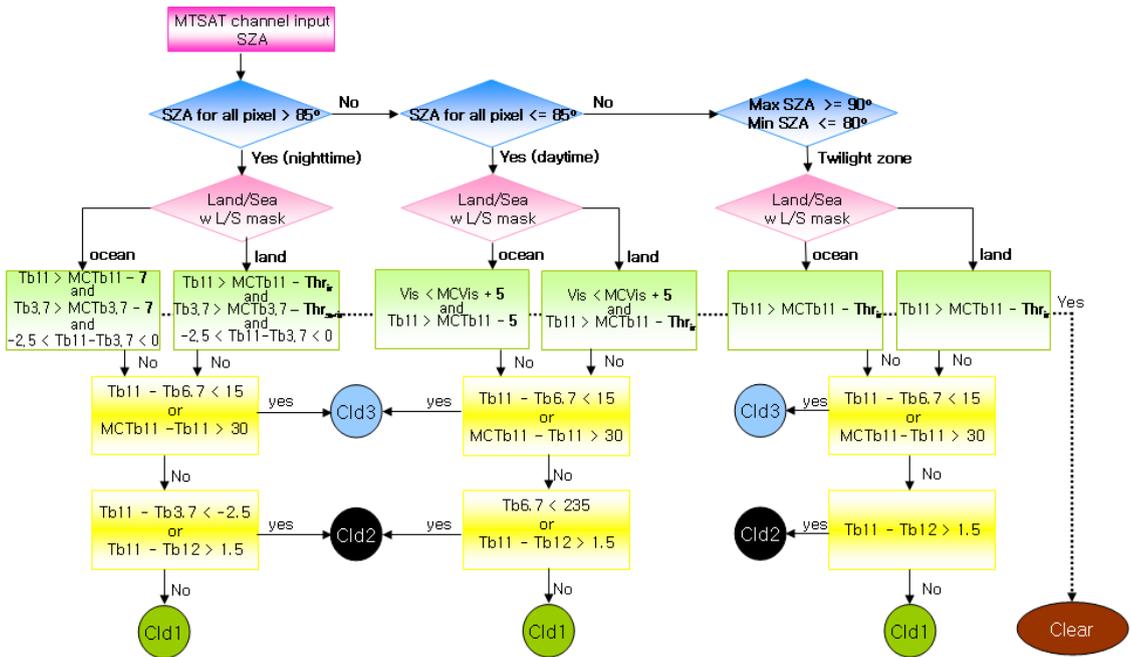


Fig. 4. Flowchart for MTSAT-1R cloud detection algorithm. Cld1: low-level cloud, Cld2: high-level cloud such as cirrus, Cld3: Cumulo-Nimbus type cloud, MCTb: maximum composite brightness temperature, MCVis: minimum composite for visible channel albedo.

실측치에 가까운 운량을 모사하는 새로운 알고리즘을 구성하였다. 이는 전운량 계산 시 관측자가 관측하는 방식을 활용한 것으로 같은 화소의 크기일지라도 관측자의 위치로부터의 거리에 따라 바라보는 시야각이 달라진다는 것에서 착안되었다. 이것을 그림으로 살펴보면 Fig. 5와 같다. Fig. 5는 머리 위에 있는 A 구름에 고려된 시야각과 A 구름이 없을 시 보이게 되는 상층운 B의 시야각, 머리 위가 아닌 인접 화소(구름 C, D)에서의 구름 유형에 따라 고려된 시야각이 각각 다를 수 있다. 이렇게 서로 다른 시야각에 의해 구름의 크기 및 두께가 같을지라도 관측자와의 거리에 따라 다르게 가중치를 주는 방식이 채택되었다.

또한, 본 연구에서 도입한 운량 산출 알고리즘은 구름을 하층운과 상층운 두 개의 층으로 가정한 것이다. 이러한 개념은 아직 위성을 통한 전운량 산출에서 처음 시도되는 것이며, 운량 산출에 한 몫을 차지할 것으로 기대된다. 하지만, 이러한 구름 고도 할당 방식은 아직은 처음 시도된 방법이며, 고도할당에 대해서는 향후 지속적으로 개선되어야 할 여지를 지니고 있다. 아래 Fig. 6은 구름을 두 개의 층으로 가정한 그림이다.

본 연구에서 운량 계산 알고리즘의 특징 중 하나는

입력 자료로써 쓰이는 구름의 분류를 기존의 0(clear), 1(cloud)에서 Table 1과 같이 4가지로 분류 하였다는 것이다. 이는 구름 분류를 단순히 구름의 존재유무로만 분류하던 방식에서 개선된 것으로 구름 존재 시 이를 하층운, 적란운, 상층운 등으로 분류하여 운량 산출 시 유형 및 운고에 따라 시야각을 계산하고 각각의 시야각을 적분하기 위함이다.

현재 산출되는 운량은 디지털예보를 위하여 한반도 및 주변 해상 영역으로 한정되어 산출된다. 디지털예보 영역은 한반도를 중심으로 동서로 149 화소, 남북으로 253 화소로 구성되며, 단위 화소당 5 km x 5 km 해상도를 가진다. 이러한 영역에서 산출되는 구름탐지 정보를 바탕으로 고도각 3도 이상의 구름에 대하여 하층운이 존재할 경우는 하층운의 운량 정보를 그렇지

Table 1. Inputs for the computation of Cloud Amounts.

Input Data	Units	Resolution
	0	
CLD	1	pixel
	2	
	3	

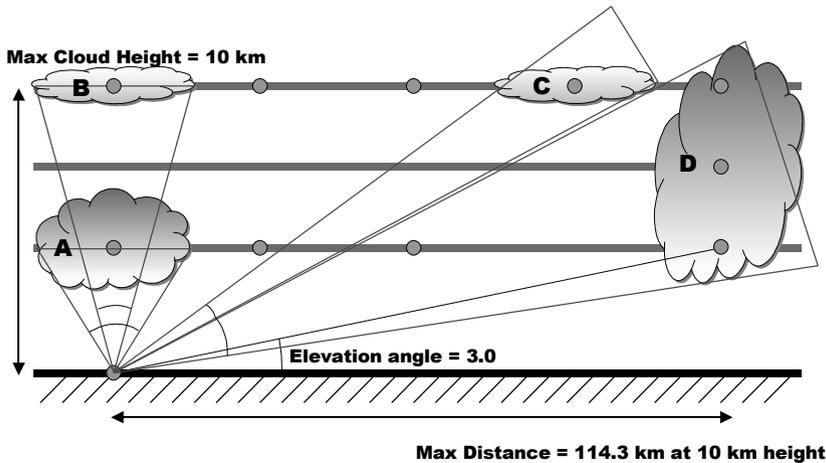


Fig. 5. Cloud amounts calculation using integration of steradian angles.

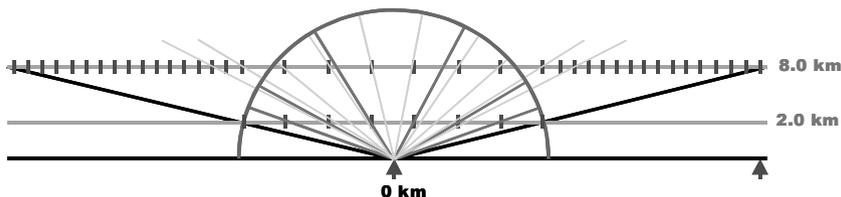


Fig. 6. Assumed cloud layer for the cloud amounts calculate algorithm.

않을 때는 상층운의 정보를 고려하여 각 화소별 전운량이 산출되게 된다. 이것은 목측운량 관측 시 관측자의 시야각을 고려한 방법을 최대한 적용한 것으로 선행연구들의 알고리즘보다 진보된 운량 산출 방식이다. 이러한 과정을 거쳐 0 ~ 10 사이의 운량값으로 최종 결과를 산출한다. Fig. 7은 본 연구의 결과물인 운량이 산출되는 한반도 및 주변 해상 디지털 예보 영역을 나타내고 있다.

4. 전운량 산출 결과 검증

구름탐지와 운량 산출 알고리즘을 이용하여 산출된 전운량에 대한 정확도를 평가하기 위하여 지상관측소에서 하루 8회 3시간(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 LST) 간격으로 관측된 목측운량 자료와 비교를 수행

하였다. 비교를 위하여 한반도에 전국적으로 분포하고 있는 90여개의 지상관측소중 특정지역에 치우치지 않도록 대표적인 14개 지상관측소를 선정하였다. 선정된 각 지점의 지점번호와 위치는 Table 2에 나타내었다. 지상관측지점의 격자 간격이 일정하지 않음으로 격자화된 MTSAT-1R 위성 자료와의 직접적인 비교에는 어려움이 있다. 그러므로 본 연구에서는 지상관측소의 위·경도를 중심으로 위성자료의 1화소(5km)에 해당하는 반경 내에 포함되는 화소들의 평균값을 산출하였고, 이를 산출된 운량의 대푯값으로 하였다. 검증을 위하여 이용한 자료의 기간은 2005년 7월 10일부터 2006년 12월까지 18개월이다.

Table 3은 2005년 7월부터 2006년 12월까지 월별 지상관측소의 목측 운량과 위성산출 전운량에 대하여 평균, 표준편차, BIAS, RMSE 그리고 상관계수를 나

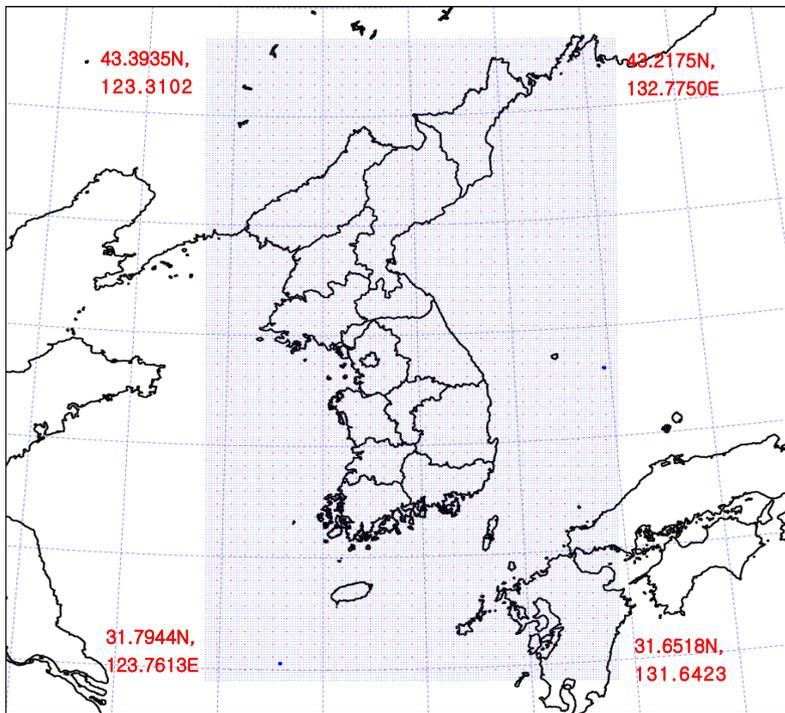


Fig. 7. Grid map for the digital forecast.

Table 2. Station number and name for the surface observatory.

Station Number	101	108	112	119	131	133	138
Station	Chuncheon	Seoul	Incheon	Suwon	Cheongju	Daejeon	Pohang
Station Number	143	146	152	155	156	159	184
Station	Daegu	Jeonju	Ulsan	Masan	Gwangju	Busan	Jeju

타낸 것이다. 검증기간의 지상관측소 평균 운량은 5.04, 위성 산출운량의 평균은 5.42로 위성 산출 운량이 약 0.4 정도로 높게 BIAS가 나타났고, RMSE는 1.8 정도로 낮게 나타났다. 2005년 12월, 2006년 2월과 12월의 경우 상관계수가 각각 0.47, 0.68 그리고 0.66으로 낮게 나타났으며, 상관계수의 평균은 0.81로 위성 산출 운량이 지상관측소의 목적운량과 상관성이 높음을 알 수 있다. 상관계수가 낮게 나타난 2006년 2월의 경우는 단파적외채널 휘도온도의 보정으로 인한 결과로 사료된다. 2005년과 2006년 12월에 대해서는 구름

탐지 알고리즘에 적용된 경계값에 대한 조사를 재수행하여 해당 월에 대한 경계값을 신중히 고려해야 될 것으로 사료된다.

0 ~ 10 사이의 실수값으로 산출되는 운량의 검증을 위하여 디지털예보에서 제공되는 하늘상태별 (맑음, 구름조금, 구름많음, 그리고 흐림)로 구분하여 정확도를 분석하였다. 디지털예보에 있어서 정확도는 상당히 중요한 부분이므로 하늘상태별 지상 목적운량과의 정확도 검증을 수행하였다. Table 4는 위성 자료를 이용하여 산출된 운량과 지상관측 운량과의 하늘상태에 따

Table 3. Mean, standard deviation, and correlation coefficient. GR: observed cloud amount at ground, SAT: calculated cloud amount from MTSAT-1R.

Year	Month	Mean (GR.)	Std (GR.)	Mean (SAT.)	Std (SAT.)	BIAS	RMSE	R
2005	7	5.91	2.49	5.65	2.34	-0.26	1.28	0.87
	8	6.51	2.49	6.69	2.49	0.18	1.50	0.82
	9	6.67	2.11	6.28	2.22	-0.39	1.38	0.81
	10	4.29	2.82	4.09	2.70	-0.20	1.44	0.87
	11	2.92	2.60	3.08	2.30	0.16	1.72	0.76
	12	3.16	2.04	4.53	1.88	1.37	2.44	0.47
2006	1	4.64	3.28	4.86	2.77	0.22	2.12	0.77
	2	4.56	3.26	5.48	2.72	0.92	2.60	0.68
	3	3.83	2.91	4.76	2.62	0.93	1.82	0.85
	4	5.53	3.37	6.58	2.93	1.05	2.14	0.83
	5	5.66	3.16	6.59	2.82	0.92	1.90	0.85
	6	5.95	2.73	7.18	1.93	1.22	2.04	0.81
	7	8.31	1.74	8.04	1.63	-0.27	1.16	0.78
	8	5.19	2.34	5.57	2.36	0.38	1.70	0.75
	9	5.47	3.09	5.10	3.00	-0.37	1.41	0.90
	10	3.42	2.74	3.73	2.80	0.31	1.51	0.86
	11	4.69	2.76	4.89	2.57	0.20	1.72	0.80
	12	3.98	2.70	4.53	2.33	0.55	2.18	0.66

Table 4. Number and percent accuracy on sky condition in digital forecast.

		Cloud Amount from MTSAT-1R satellite				
		Clear (%)	Scatter (%)	Broken (%)	Overcast (%)	Total (%)
Cloud Amount from Surface	Clear	3594 (15.46)	1729 (7.44)	843 (3.63)	1077 (4.63)	7243 (31.15)
	Scatter	1299 (5.59)	1094 (4.70)	816 (3.51)	1231 (5.29)	4440 (19.09)
	Broken	932 (4.01)	958 (4.12)	979 (4.21)	2101 (9.04)	4970 (21.37)
	Overcast	425 (1.83)	849 (3.65)	995 (4.28)	4332 (18.63)	6601 (28.39)
	Total	6250 (26.88)	4630 (19.91)	3633 (15.62)	8741 (37.59)	23254 (100)

른 정확도를 나타내고 있다. 표에서 괄호 안에 있는 숫자는 목측운량과 비교한 전체 자료 중에서 각각이 차지하고 있는 정도를 백분율로 나타낸 것이다. 지상관측 운량이 맑음에 해당할 때 위성산출 운량이 맑음으로 산출되면 “Perfect”, 지상관측운량이 맑음일 때 위성산출 운량이 구름조금이면 “Reliable”이라고 했을 때 perfect와 reliable이 각각 43.00%, 33.96%로 두 값의 합은 76.96%로 신뢰할 수 있는 운량이 산출되었다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 위성자료를 활용하여 전운량을 산출하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 전운량 산출 알고리즘은 구름탐지, 운형분류, 운량계산의 세단계로 구성되어 있다. 구름탐지를 위해서 객관적인 합성기간 적용과 경계값 결정을 위한 민감도 검사를 수행하였으며, 계절 및 태양의 고도각에 따라 각각 다른 경계값을 적용하여 구름을 탐지하였다. 탐지된 구름은 각 채널별 특성을 고려하여 3가지 형태로 구름을 분류하였다. 마지막으로 분류된 구름을 두개의 층으로 구분하여 각각의 층에 존재하는 구름에 대한 시야각을 계산하고 이를 적분하여 0 ~ 10 사이의 운량을 산출하였다.

본 연구에서 개발된 전운량 산출 알고리즘의 정확도 검증에 위하여 MTSAT-1R 자료를 수신하기 시작한 2005년 7월부터 2006년 12월까지 18개월 동안 산출된 전운량을 14개의 지상관측소 목측운량자료와 비교하였다. 지상관측소의 목측운량과 위성 산출운량 사이의 BIAS가 0.38, RMSE가 1.78, 그리고 상관계수가 평균 0.81 정도로 위성 산출운량이 약간 높게 산출되기는 하였으나, 지상관측 운량과의 높은 상관관계를 나타내어 본 연구의 전운량 산출 알고리즘이 신뢰할 수 있음을 보여 주었다.

기상청에서는 대국민 서비스의 일환으로 디지털예보가 시험적으로 이루어지고 있다. 본 연구의 결과물인 한반도 및 주변 해양에서의 5 km × 5 km 격자간격의 운량은 대국민을 상대로 하는 디지털예보에 하늘상

태 정보를 제공하고 있으며, 한반도 및 주변 영역에 대한 전운량에 대한 기후값을 생산하는데도 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

감사

이 연구는 국립기상연구소 지구환경시스템연구팀의 주요사업 “위성자료 처리기술 개발”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Ackerman, S. A., K. I. Strabala, W. P. Menzel, R. A. Frey, C. C. Moeller, and L. E. Gumley, 1998: Discriminating clear sky clouds with MODIS. *J. Geophys. Res.*, **103**, 32141-32157.
- Dybbroe A., K. G. Karlsson, and A. Thoss, 2005: NWCSAF AVHRR cloud detection and analysis using dynamic thresholds and radiative transfer modeling. Part I: Algorithm description. *J. Applied Meteor.*, **44**, 39-54.
- Jedlovec, G. J., and K. Laws, 2003: GOES cloud detection at the global hydrology and climate center. Preprints, *12th conference on satellite meteorology and oceanography*, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., 1-21.
- Minnis, P., and E. F. Harrison, 1987: Cloud cover over the equatorial eastern Pacific derived for July 1983 International Satellite Cloud Climatology Project Data using a hybrid bispectral threshold method. *J. Geophys. Res.*, **92**, 4051-4073.
- Rossow, W. B., and L. C. Garder, 1993: Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. *J. Climate*, **6**, 2341-2369.
- Stowe, L. L., E. P. McClain, R. Carey, P. Pellegrino, G. G. Gutman, P. Davis, C. Long and S. Hart, 1991: Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operational satellite data. *Advances in Space Research*, **11**, 51-54.
- Vermury, S., L. L. Stowe, and V. R. Anne, 2001: AVHRR Pixel level clear-sky classification using dynamic thresholds (CLAVR-3). *J. Atmos. and Ocean. Tech.*, **18**, 170-186.