

# NOAA/AVHRR 주간 자료로부터 지면 자료 추출을 위한 구름 탐지 알고리즘 개발

서명석 · 이동규  
서울대학교 대기과학과

## Development of Cloud Detection Algorithm for Extracting the Cloud-free Land Surface from Daytime NOAA/AVHRR Data

Myoung-Seok Suh and Dong-Kyu Lee

Department of Atmospheric Science, Seoul National University

**Abstract :** The elimination process of cloud-contaminated pixels is one of important steps before obtaining the accurate parameters of land and ocean surface from AVHRR imagery. We developed a 6-step threshold method to detect the cloud-contaminated pixels from NOAA-14/AVHRR daytime imagery over land using different combination of channels. This algorithm has two phases : the first is to make a cloud-free characteristic data of land surface using compositing techniques from channel 1 and 5 imagery and a dynamic threshold of brightness temperature, and the second is to identify the each pixel as a cloud-free or cloudy one through 4-step threshold tests. The merits of this method are its simplicity in input data and automation in determining threshold values. The threshold of infrared data is calculated through the combination of brightness temperature of land surface obtained from AVHRR imagery, spatial variance of them and temporal variance of observed land surface temperature. The method detected the cloud-contaminated pixels successfully embedded in the NOAA-14/AVHRR daytime imagery for the August 1 to November 30, 1996 and March 1 to July 30, 1997. This method was evaluated through the comparison with ground-based cloud observations and with the enhanced visible and infrared imagery.

**Key Words :** AVHRR, Dynamic Threshold, Cloud-free, Cloudy

### 1. 서 론

극궤도 기상위성인 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 탐사자료로부터

구한 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)는 식생의 양, 상태 등 지면의 특성과 밀접하게 관련되어 있기 때문에 지역적 또는 전 지구적 기후변화 및 지면 피복(land cover) 변화 등의 연구에 가장 널리 이용되는 위성 탐사자

료중의 하나이다(Eidenshink and Faundeen, 1994; DeFries et al., 1995; Gutman et al., 1995; Friedl, 1996). NOAA/AVHRR 탐사자료가 지면특성 연구에 중요한 자료로 이용되는 이유는 탐사영역이 종관 규모이고 수평 해상도가 적절한 점(1.1 km)과 주기적인 탐사가 이루어지고 있는 점, 그리고 탐사 방법상의 일관성이 있는 점등이다(Sellers et al., 1990; Nemani et al., 1993; Norman et al., 1995).

NOAA/AVHRR을 포함한 기상위성 탐사자료로부터 구름을 분석하기 위한 연구는 이미 많이 이루어졌으며 이러한 연구들은 분석 목적에 따라서 크게 두 가지로 분류할 수가 있다. 첫째는 위성 탐사자료로부터 구름의 종류, 고도 및 운정 온도와 같은 구름의 특성을 분석하기 위한 연구이고(e.g., Reynolds and Vonder Haar, 1977; Coakley and Bretherton, 1982; Schiffer and Rossow, 1983; Seze and Desbois, 1987; Suh and Park, 1993), 두 번째는 위성 탐사자료로부터 지면의 특성을 연구하는 과정에서 구름 낀 화소를 제거하기 위한 연구이다(e.g., Saunders and Kriebel, 1988; Derrien et al., 1993; Simpson and Gobat, 1996). 즉, 후자의 구름 탐지 목적은 정확한 지면의 상태 정보를 분석하기 위한 것이다.

NOAA/AVHRR과 같은 광학 센서로 탐사한 자료는 지면 복사 특성 값과 여러 가지 요소들(구름, 대기상태, 태양-지표-위성 기하학 등)의 복합적 작용의 결과이기 때문에 정확한 지면 복사 특성 값의 추출을 위해서는 이러한 요소들의 영향을 최소화해야 한다(Saunders and Kriebel, 1988; Derrien et al., 1993; Lee, 1994; Tateishi and Kajiwara, 1994). 이 중에서도 구름은 파장에 관계없이 탐사 결과에 많은 영향을 주기 때문에 구름 낀 화소는 반드시 제거하여야 한다. 위성탐사자료에서 구름 낀 화소를 제거하기 위해서는 지면 복사 특성 값(밝기 온도, 반사율)과 구름이 있을 때의 탐사 값을 구별할 수 있는 임계치(threshold)가 필요하다. 즉, 지면 밝기 온도나 반사율과 같은 지면 복사특성 값을 알고 있으면 이들 값을 이용하여 위성 탐사자료에 포함된 구름 낀 화소를 탐지

하는 것은 가능하다. 그러나 지면의 복사 특성은 지리적 위치, 피복 상태 및 고도에 따라 시·공간적으로 이질적이기 때문에 구름 탐지에 필요한 수준의 지면 복사특성 값을 구하는 것은 현재로서는 거의 불가능하다. 또한 구름의 복사 특성도 구름의 종류, 고도 및 크기 등에 따라 다양하기 때문에 위성자료에 포함된 구름 낀 화소를 정확히 탐지하는 것은 매우 복잡하고 어려운 일 중의 하나이다(Simpson and Gobat, 1996). 이러한 이유로 지금까지는 주로 일정 기간(예 : 10, 15, 30일)의 연속적인 자료에 최대치 합성법(Maximum Value Composite : MVC)을 적용하여 구름의 영향을 최소화하였다(e.g., Holben, 1986). 하지만 지역 및 계절에 따라 구름의 분포 특성이 다르기 때문에 최대치 합성법으로 구름의 영향을 최소화하려면 합성기간을 길게 하여야 하는데 합성기간이 길어질수록 식생의 상태 변화(phenological change)에 대한 정보 손실 가능성은 커지게 된다.

Saunders와 Kriebel(1988)은 NOAA/AVHRR 자료에 포함된 구름 낀 화소를 정확히 탐지하기 위하여 임계치 방법을 개발하였다. 그들은 지면의 복잡한 특성을 반영하기 위하여 분석영역을 지면, 바다 및 해안지역으로 구분하고 지면의 기준자료를 작성하는 과정에서 전문가의 지식과 경험을 활용하였으며 각 분석영역의 종류에 따라 다른 분석기준(임계치)을 적용하였다. 또한 Derrien et al.(1993)은 앞의 Saunders와 Kriebel(1988)의 알고리즘에 기초하여 지표 종류 및 분석시간(낮과 밤)에 따라 구름 탐지 방법의 세분화 및 기준자료 작성 방법 등을 수정보완(위성자료 대신 중규모 수치모델 자료 이용)하여 프랑스 기상청에서 운용중인 기상위성 수신 및 분석 시스템에 적용하였다. 위의 두 가지 구름 탐지 방법들은 많은 장점을 가지고 있지만 Saunders와 Kriebel(1988)의 방법은 위성탐사자료로부터 구름 낀 화소를 탐지하기 위해서는 관련분야 전문가가 매 탐사자료마다 수동으로 분석하여야 하는 문제점이 있고, Derrien et al.(1993)의 방법에는 위성탐사 시간, 영역 및 해상도에 부합되는 정확한 수치예보 자료가 있어야 하

는 등의 문제점을 갖고 있다.

본 연구에서는 NOAA/AVHRR 탐사자료로부터 식생지수와 같은 지면 특성 자료를 추출하는 과정에서 반드시 필요한 구름 낀 화소의 탐지(이하 구름 탐지) 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 구름 탐지 알고리즘은 Saunders and Kriebel(1988)과 Derrien et al.(1993)의 방법에 기초한 6단계 임계치 방법으로 두 방법에서 문제되는 전문가의 도움과 수치예보 자료가 필요한 점을 위성 탐사자료만을 이용하여 지면 복사 자료와 임계치를 역학적으로 계산하는 방법으로 개선한 것이다. 특히 지면 밝기 온도의 시·공간적 변동성을 구름 탐지에 반영하기 위하여 밝기온도의 임계치를 각 소구역별로 밝기온도의 공간적 변동성과 시간적 변동성의 조합으로 작성하였다. 본 알고리즘을 1996년 8월 1일부터 1997년 7월 31일까지의 NOAA-14/AVHRR 자료에 적용하여 구름 낀 화소를 탐지하였으며 구름 탐지 알고리즘의 검증은 지상 관측 운량과의 비교 분석으로 하였다.

## 2. 자료 및 전처리

이 연구에서 사용된 위성 탐사자료는 (구)시스템공학연구소의 기상위성 수신 및 처리 시스템에서 수신한 1996년 8월 1일부터 1996년 11월 30일, 1997년 3월 1일부터 1997년 7월 31일까지 NOAA-14가 매일 낮 시간(오후 3시 전후)에 한반도 상공을 선회하면서 AVHRR로 탐사한 1.1km 해상도의 9개월간의 자료이다. 수신된 초기자료는 Kidwell (1991)의 방법을 이용하여 복사 교정을 한 후 분석 영역(한반도 : 600 x 1000화소)에 해당되는 자료들을 수신 시스템에 탑재된 응용 소프트웨어를 이용하여 투영하였다. 다중 시간의 위성 자료를 동시에 분석하는 과정에서 중요한 것은 정확한 기하학적 보정이다. 하지만 위성궤도의 시간에 따른 표류 또는 위성의 자세 이상 등으로 인하여 위성-지구의 기하학적 원리만으로는 각 화소의 정확한 지리적 위치를 결정하는 것은 불가능하기 때문에

이 연구에서는 구름이 없는 지역의 해안선과 위성 영상과의 시각적 비교를 통하여 보정하였으며 구름이 없는 해안선을 찾기가 어려운 날의 자료는 전후의 보정치를 내삽하여 보정하였다. 각 구름 탐지 과정에서 적용된 임계치는 Saunders와 Kriebel(1988)등 기존의 연구 결과로부터 인용하였다. 또한 기상청의 72개 관측소(대)에서 1996년 8월 1일부터 1997년 7월 31일까지 관측한 지상 온도와 운량 자료 중 NOAA-14가 한반도를 통과하는 시간과 거의 일치하는 12시와 15시의 관측자료를 이용하였다.

본 연구에서는 지면 복사 특성 값을 작성하는 과정에서 NOAA-14/AVHRR의 채널 1(0.58 - 0.68 $\mu\text{m}$ )과 5(11.5 - 12.5 $\mu\text{m}$ )의 반사율과 밝기온도를 이용하였다. 여기서 지면 반사율로 채널 1을 선택한 것은 지면에서 채널 1의 반사율이 채널 2(0.72 - 1.1 $\mu\text{m}$ )의 반사율보다 낮아서 구름과 지면과의 반사율 차를 크게 하는 특성 때문이며 (Saunders and Kriebel, 1988), 지면 밝기온도로 채널 5를 이용한 것은 구름의 광학 두께가 채널 4의 값보다 크기 때문이다(Olesen and Grassl, 1985).

## 3. 지면 복사 특성

### 1) 위성 탐사자료의 특성

NOAA/AVHRR 탐사자료에 포함된 지면과 구름의 복사 특성을 분석하기 위하여 반사율(채널 1)과 밝기 온도(채널 5)의 분포특성을 사례 분석하였다. 지면 복사 특성은 위성 영상의 시각적 분석으로부터 한반도 전역에 구름이 거의 없었던 날인 9월 21일의 자료로 분석하였으며, 지면과 구름의 지리적/시간적 복사 특성은 5월, 7월 그리고 9월의 각각 17일의 자료를 사례로 분석하였다(Fig. 1). Fig. 1은 중심위치를 한반도의 중앙(서울지역)으로 하고 소구역의 크기를 40x40 화소에서부터 200x200화소로 20x20화소씩 증가시키면서 반사율(Y축)과 밝기온도(X축)의 2차원 분포를 나타낸 것이다. 전체 분포에서 좌측상단이 40x40화소에

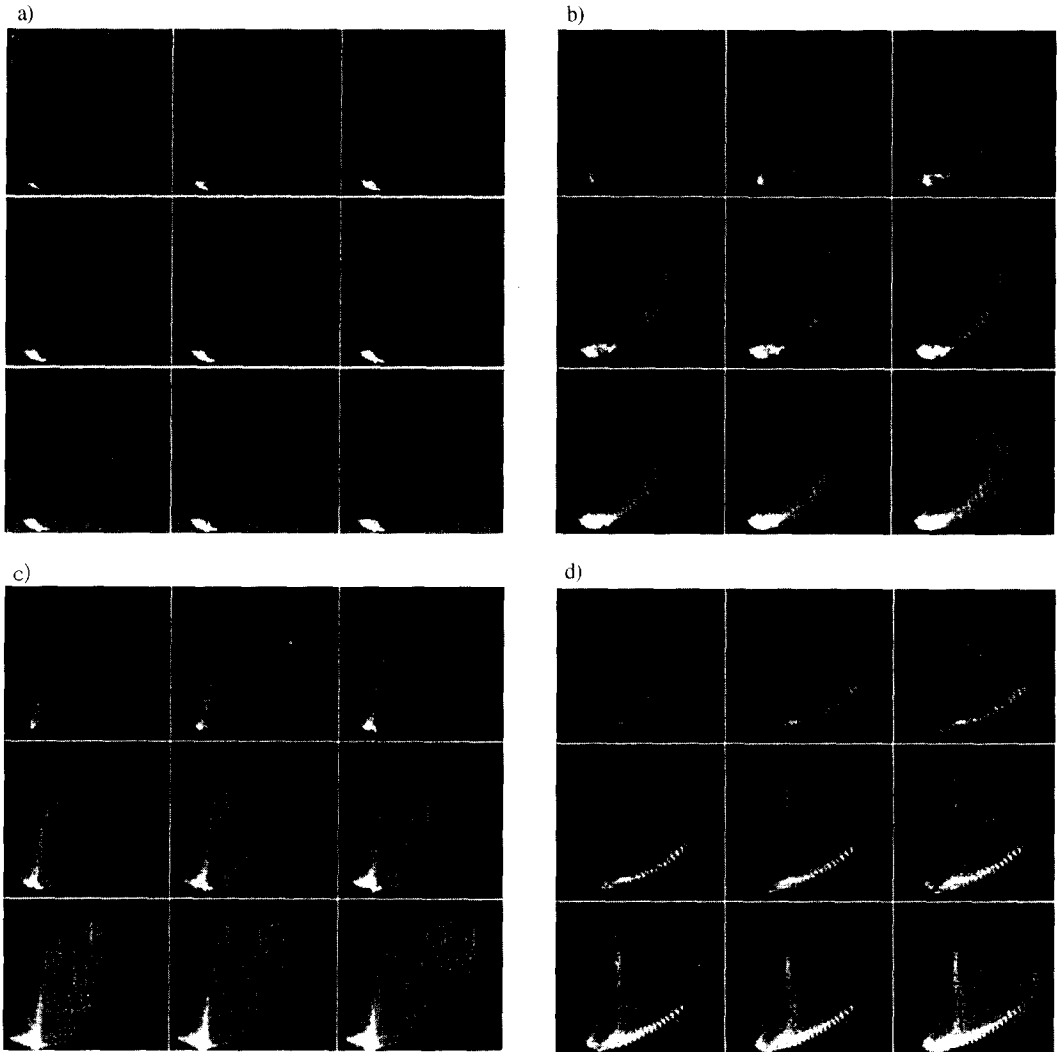


Fig. 1. Scatter plots of channel 1 and 5 data according to the sub-area size  
 a : 21 September, b : 17 May, c : 17 July, d : 17 September 1997

대한 분포를, 우측 하단이 200x200화소의 분포를 나타낸 것이다. 그리고 각 분포에서 반사율은 하단에서 상단으로 갈수록 커지고 밝기온도는 좌측에서 우측으로 갈수록 낮아진다. 따라서 각 돛수 분포에서 반사율이 낮고 온도가 높은 상태를 나타내는 좌측 하단은 지면에 해당되고 좌측 하단에서 벗어날수록 구름일 가능성이 높아진다.

구름이 없었던 9월 21일(a)의 돛수 분포는 다른

날들의 분포에 비해 비교적 한곳에 집중되어 있으나 소구역의 크기가 커질수록 분포가 다양해지고 있다. 특히 밝기온도의 분산은 소구역의 크기에 비례해서 커지고 있어 정확한 구름 탐지를 위해서는 소구역의 크기를 적당하게 선택하여야 할 것이다.

구름이 산재해 있던 다른 날들의 돛수 분포는 해당일의 구름분포 특성과 계절에 따라 다양한 돛수 분포를 나타내고 있을 뿐만 아니라 소구역의

크기가 커질수록 구름과 지면을 구분하기가 쉽지 않음을 보이고 있다. 한반도 중부지역에 중층운이 산재해 있던 5월 17일(b)의 경우 지면과 구름의 특성을 비교적 단순하게 나타내고 있으며 소구역의 크기가 작을 때에는 지면과 구름의 구별이 가능하지만 소구역의 크기가 커질수록 지면과 구름이 중첩되는 빈도가 증가하고 있다. 또한 하층운과 중층운이 한반도 남부지역에 그리고 작은 크기의 적운들이 중부지역에 산재해 있던 7월 17일(c)의 경우에는 소구역의 크기가 커질수록 매우 복잡한 형태의 돛수 분포를 나타내고 있다. 즉, 하층운에 의한 반사율의 증가와 중·상층운에 의한 반사율 증가 및 온도감소가 나타나고 있을 뿐만 아니라 작은 규모의 적운들에 의한 전이영역의 빈도가 증가하고 있다. 한반도 북, 중부 및 남부지역에 비교적 두꺼운 권운이 있고 동해 중부지역에 하층운이 있었던 9월 17일(d)의 경우에는 반투과성 권운에 의한 온도감소가 다양하게 나타나고 있을 뿐만 아니라 하층운에 의한 반사율 증가도 보이고 있어 권운은 온도차로, 하층운은 반사율 차로 지면과 분리가 가능함을 나타내고 있지만 돛수 분포가 연속적으로 나타나고 있어 소구역의 크기에 관계없이 지면과 구름을 구별하기가 쉽지 않음을 보이고 있다.

## 2) 시간적 변동성

지면 온도의 시간적 변동성을 기상청에서 운용 중인 72개의 기상관측소(대)에서 1996년 8월 1일부터 1997년 7월 31일까지 매 15시에 관측한 지면 온도를 이용하여 분석하였다. 여기서 지면 온도로 위성 탐사자료가 아닌 기상청의 관측자료를 이용한 이유는 위성 탐사자료에는 연속적으로 10일 이상 구름이 없는 자료가 없었기 때문이다. 지면 온도의 시간적 변동성은 1일에서 15일의 시간 간격에 대하여 연속적으로 이동하면서 평균 절대 차로 계산하였으며 전체 72개 관측소 평균값과 최대 및 최소 평균 절대 차를 Fig. 2에 나타내었다. 평균 절대 차의 크기는 지역에 따라 큰 차이를 보이고 있는데 주로 고흥과 같은 해안가에서는 작고, 대

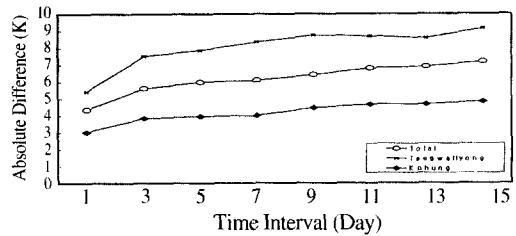


Fig. 2. Changes of mean absolute differences of observed land surface temperatures against increasing time intervals.

관령 같은 산악지역과 도시지역에서는 크게 나타났다. 또한 전체적으로 처음 3일간은 평균 절대 차의 크기가 급격히 증가하다가 그 이후로는 점차 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

## 3) 공간적 변동성

지면 복사특성의 공간적 이질성 분석에 사용된 자료는 1996년 8월부터 1997년 7월까지의 NOAA-14/AVHRR로 낮 시간에 탐사한 한반도 지역의 채널 1과 5의 자료이다. 지면 복사특성 값의 대표성은 소구역별 표준편차의 크기로, 공간적인 연속성은 인접 3 x 3 소구역간 특성 값들의 평균 절대 차로 분석하였다. 각 소구역간의 평균 절대 차는 각 소구역을 이루는 화소의 비율에 따라 지면(총 화소의 70% 이상이 지표인 지역), 바다(총 화소의 70% 이상이 바다인 지역) 및 해안가(그외)로 분류하여 중심 소구역에서의 지면 복사 특성 값과 인접 3 x 3 소구역의 복사특성 값과의 차로 계산하였다. 소구역의 크기에 따른 대표성과 공간적 연속성을 분석하기 위하여 소구역의 크기를 20 x 20 - 70 x 70 화소까지 10 x 10 화소씩 증가시키면서 소구역의 크기에 따른 지면 밝기온도의 평균 절대 차와 표준편차의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 소구역의 크기에 따른 대표 값과 공간적 연속성을 실험하는 과정에서 구름의 영향을 최소화하기 위하여 합성기간은 15일로 하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 소구역의 크기에 따른 평균 절대 차와 표준편차의 변화 경향은 크게 3 종류로 나누어지고 있다. 즉, 평균 절대 차 및 표준편차가 소

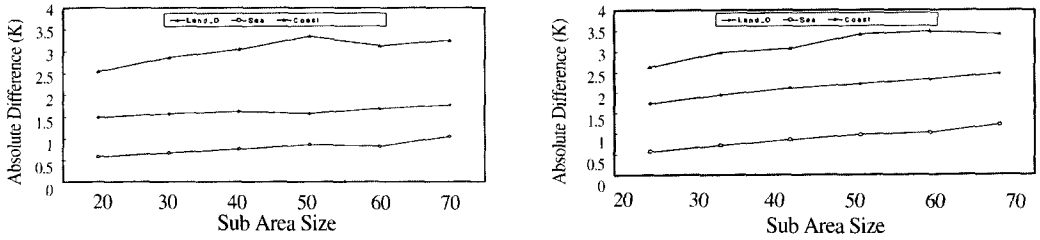


Fig. 3. Changes of absolute differences(left panel) and standard deviations(right panel) of land surface brightness temperatures against increasing sub-area sizes.

구역의 크기에 관계없이 크게 나타나고 있는 지역(해안가 지역)과 반대로 작게 나타나는 지역(바다), 그리고 중간 지역(지면)으로 구분할 수가 있다. 지면에서의 소구역간 평균 절대 차는 소구역의 크기에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타나고 있으나 표준편차의 크기는 소구역의 크기에 비례해서 증가함으로 소구역의 크기를 크게 하면 할수록 지면 특성 값의 대표성이 감소한다고 할 수 있다. 그림에는 보이지 않았지만 반사율의 평균 절대 차와 표준편차의 평균도 전체적으로 값은 작지만 경향은 지면 밝기온도의 경향과 유사하게 나타났다.

#### 4. 구름 탐지 알고리즘

임계치 방법은 위성탐사자료로부터 객관적으로 구름정보를 추출해내는 가장 단순하면서도 가장 널리 이용되는 방법중의 하나이다. 임계치 방법의 원리는 임의의 화소 값을 구름이 없는 상태하에서의 지면 특성 값과 비교하여 차이가 나면 그 원인을 구름에 의한 것으로 보는 것이다. 즉, 임의의 화소 반사율(밝기 온도)이 지면 반사율(밝기 온도)보다 크거나(낮으면) 그 화소는 구름에 의하여 오염된 것으로 간주하는 것이다. 따라서 임계치 방법으로 구름을 탐지하는 과정에서 기본적으로 발생하는 문제는 임계치를 어떻게 정하는나 하는 문제이다. 임계치는 지면 종류(육지, 바다, 빙하), 표면 상태(식생, 토양수분, 눈), 최근의 기상 및

현재의 기상상태(안개, 기온역전)등 여러 가지 변수들의 영향을 받기 때문에 정확히 결정하기가 힘들다. 따라서 임계치 방법을 이용하여 시·공간적으로 연속성이 있는 구름 탐지를 위해서는 적어도 공간적으로 이질적인 지면의 복사 특성과 시간적 변동 경향을 임계치에 반영하여야 한다. 본 연구에서는 Saunders와 Kriebel(1988), 그리고 Derrien et al.(1993)의 구름 탐지 방법을 기본으로 하여 시·공간적으로 연속성이 있는 구름 탐지를 위한 임계치 방법을 개발하였다. 본 임계치 방법은 크게 6단계로 구성되었으며 앞의 두 단계는 구름에 의하여 최소한 오염된 밝기 온도와 반사율의 임계치를 작성하는 단계이고, 나머지 4단계는 지면 임계치를 이용하여 각 화소별로 구름 또는 맑음을 판정을 하는 단계이다(Fig. 4 참조).

첫 번째 단계는 AVHRR 자료로부터 각 소구역별로 구름에 의하여 최소한 오염된 대표값을 작성하는 것이다. 앞에서 분석한 지면 복사특성의 공간적 이질성을 반영하기 위하여 전체 분석영역(600 x 1000 화소)을 15 x 25 개의 소구역(40 x 40 화소)으로 구분하였다. 여기서 소구역의 크기를 40 x 40화소로 정한 것은 지면 특성 값의 공간적 연속성과 지면의 이질적인 특성을 최대한 반영하기 위함이다(Fig. 1, 3 참조).

각 소구역별 지면 대표값은 크게 두 단계로 작성하였다. 제 1단계에서는 연속적인 10일간의 위성탐사자료로부터 각 화소별로 반사율(채널 1)이 최소인 날의 반사율과 밝기온도가 최고인 날의 밝기온도(채널 5) 값을 선택하여 지면의 합성 반사

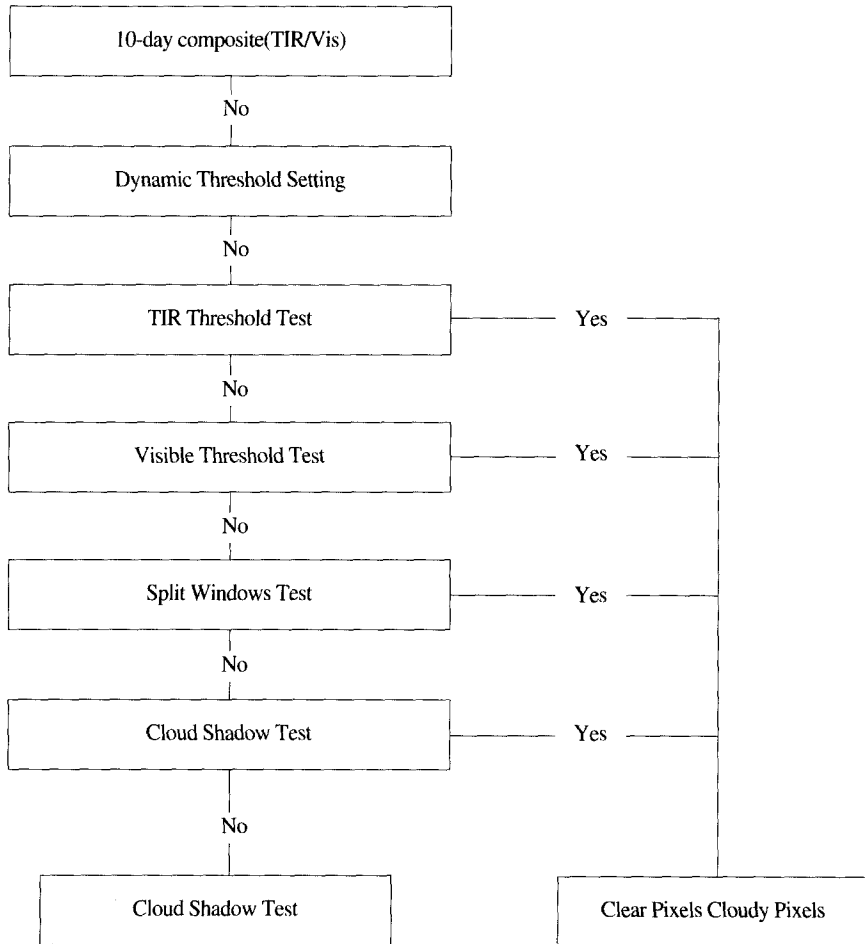


Fig. 4. Block diagram of the cloud detection process for NOAA/AVHRR data

을 및 밝기온도 자료를 작성하였다. 이 방법은 구름에 의하여 최소한 오염된 식생지수 자료를 작성하는 과정에서 많이 이용되고 있는 최대치 합성법의 원리를 응용한 것이다(Holben 1986). 두 번째 단계에서는 앞에서 작성한 합성 지면 특성자료로부터 각 소구역별 대표값은 평균으로, 공간적 이질성은 표준편차로 계산하였다. 여기서 합성 기간은 Eindsink와 Faundeen(1994)이 1km 해상도의 전지구 식생지수 자료 작성 과정에서 사용한 10일로 하였다.

두 번째 단계는 동적 임계치를 정하는 과정이

다. 즉, 본 연구에서 사용한 지면 대표값들은 과거 10일간의 자료로부터 합성과정을 통하여 작성되었기 때문에 분석당일의 실제 지면 대표 값들과 다를 확률이 높다. 본 연구에서는 지면 밝기온도의 시·공간적 변동성을 임계치에 반영하기 위하여 임계치( $T_{th}$ )를 각 소구역별로 공간적 이질성( $T_{sv}$ ), 시간적 변동성( $T_{tv}$ )의 조합으로 결정하였다(식 1). 여기서 지면 밝기 온도의 공간적 이질성은 각 소구역별로 계산한 표준편차( $\sigma$ )의 크기로 하였으며, 각 소구역별 공간적 이질성을 99.77% 수준에서 반영하기 위하여 각 소구역별로 대표값( $Tr$ )에서 표

준편차의 2배(2σ)를 빼도록 하였다. 또한 지면 밝기 온도의 시간적 변동성은 기상청 관측자료로부터 분석한 결과를 이용하였다. 즉, 시간적 변동성의 크기는 각 소구역별 합성자료(40x40 화소)중 가장 많은 비율을 차지하는 날자(Dm)가 분석당일, 1일전, 2일전 및 그 외에 따라 각각 2.0, 4.0, 5.0 및 6.0 °C로 하였다(Fig. 2).

$$T_{th} = T_r - 2 * T_{sv} - T_{iv}(D_m) \quad (1)$$

반사율의 경우에는 지면 밝기 온도에 비하여 시·공간적으로 변화가 작을 뿐만 아니라 대기(산란, 흡수), 지표 피복(land cover) 및 태양과 위성의 위치(고도각, 방위각)등에 영향을 받아서 정확히 정의하기가 힘들기 때문에 10%로 고정하였다(Derrien et al. 1993).

세번째 단계는 채널 5에서 관측한 각 화소별 밝기온도와 앞의 2단계에서 구한 소구역별 지면 밝기 온도 임계치( $T_{th}$ )와의 비교를 통해서 중층 또는 상층운과 같이 상대적으로 온도가 낮은 구름을 탐지해내는 단계이다. 즉, 임의의 화소 밝기온도가 해당 소구역의 온도 임계치보다 낮은 온도를 갖는 경우 그 화소는 구름 낀 화소로 탐지한다.

네번째 단계는 채널 1에서 관측한 각 화소별 반사율과 앞의 2단계에서 구한 소구역별 지면 반사율과의 비교를 통해서 하층운과 같이 상대적으로 반사율이 높은 구름을 탐지해내는 단계이다. 즉, 임의의 화소 반사율이 해당 소구역의 반사율 임계치보다 큰 반사율을 갖는 경우 그 화소는 구름으로 탐지한다.

다섯번째 단계는 권운과 같은 반투과성 구름을 탐지하기 위한 단계이다. 권운은 채널 1과 2의 파장대에 대해서는 반투과성이기 때문에 구별이 쉽지가 않지만 Inoue(1985, 1987)등이 밝힌 바와 같이 채널 4와 5에서의 방출율 차로 인한 두 채널간의 온도차를 이용하면 탐지가 가능하다. 여기서는 Saunders와 Kriebel(1988)이 적도와 중위도 지역의 117개 사례의 연직 대기 구조 자료로부터 계산한 채널 4의 밝기 온도와 주사각에 따른 온도차 표를 이용하였다. 즉, 각 화소의 휘도 온도차( $T_4 - T_5$ )가

기준 온도차 보다 큰 값을 갖는 화소는 구름으로 탐지하였다.

여섯번째 단계는 앞의 분석과정에서 탐지하지 못한 구름가장자리나 구름의 그림자 등 나머지 구름을 탐지하는 과정이다. 구름의 그림자는 태양의 위치뿐만 아니라 구름의 고도 및 종류에 따라서 그림자의 위치 및 크기 등이 다르기 때문에 이것을 정량적으로 다루는 것은 본 연구의 범위를 넘는다. 여기서는 각 화소별로 주위의 3 x 3 화소중 중심화소를 제외한 8개 화소에서 적어도 3개 이상이 구름으로 분류되어 있으면 그 화소는 구름의 가장자리 또는 구름의 그림자에 영향을 받는 것으로 간주하여 구름으로 분류하였다.

## 5. 구름 탐지 결과 및 토의

### 1) 사례 분석

본 연구에서는 본 알고리즘의 질적 검증을 구름 탐지 결과 영상과 가시 및 적외 영상과의 시각적 비교를 통해서 질적으로 분석하였다. 구름 탐지 결과의 객관성을 나타내기 위하여 5. 7월의 특정한 날(17일)의 사례 영상을 Fig. 5에 나타내었다. 구름 탐지 결과의 시각적 검증이 가능하도록 구름 탐지 결과와 히스토그램 정규화로 강조한 가시영상 및 적외 영상을 동시에 나타내었다. 구름 탐지 영상에서 우측의 5단계 계조표는 앞의 구름 탐지 과정에서 각 단계별로 탐지된 구름을 나타낸 것이다.

5월 17일에는 구름이 북쪽지역, 동해안지역 및 남한의 중부 일부지방에 분포한 구름을 잘 탐지하였으나 일부 해안가 지역(몽골포, 인천, 일본 후쿠오카)에서는 구름이 없는 지역을 구름으로 잘못 탐지하였다. 7월 17일은 남부지역에 동서로 확장된 두 개의 구름대를 포함하여 한반도 전체가 작은 규모의 구름들로 덮인 날로 구름의 종류가 비교적 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있으며(가시 및 적외 영상) 이러한 현상은 구름 탐지 결과



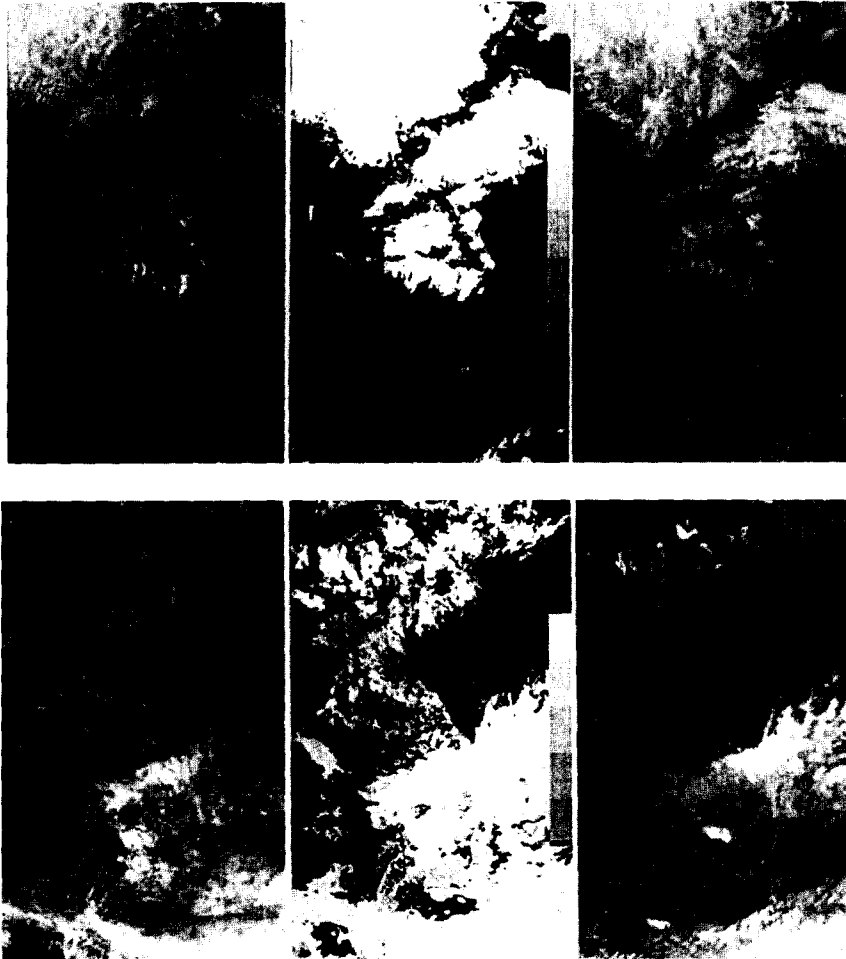


Fig. 5. Sample images(Upper : 17 May, Lower : 17 July) of the cloud detection results(Left : Visible, Middle : detected cloud, Right : Infrared).

에서도 잘 나타나고 있다. 특히 남해상에 분포한 하층운은 밝기온도 시험에서는 맑은 것으로 판정되었으나 반사율 시험에서 구름으로 판정되었음을 알 수 있다.

## 2) 민감도 분석

임계치 방법을 이용한 구름 탐지 알고리즘의 정확도는 각 단계별 임계치의 크기에 영향을 받을 수밖에 없다. 본 연구에서는 지면 복사 특성자료를 과거 10일간의 위성 탐사자료로부터 구하였으므로 지면 복사 특성자료의 값은 합성기간 및 동

일기간 동안의 기상특성에 영향을 받을 수밖에 없다. 또한 공간적으로 이질적인 지면의 특성을 반영하기 위하여 전체 분석영역을 소구역(40x40화소)으로 구분하여 지면 특성 자료를 작성하였기 때문에 구름 탐지 결과는 소구역의 크기도 영향을 받을 수 있다.

합성기간 및 소구역 크기가 구름 탐지 결과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음과 같이 2개의 경우에 대하여 민감도 시험을 하였다. 사례 1은 합성기간이 구름 탐지 결과에 미치는 영향을 보기 위한 것으로 소구역의 크기는 40x40 화소로

Table 1. The detection results of cloudy pixels for different compositing periods and sub-area sizes.

Case	Condition					
1	Compositing Period	7 - day	9 - day	11 - day	13 - day	15 - day
	Cloudy Pixels(%)	58.74	59.15	59.43	59.71	59.87
2	Sub-area Size(Pixel)	20 × 20	30 × 30	40 × 40	50 × 50	60 × 60
	Cloudy Pixels(%)	59.85	59.86	59.87	59.88	59.90

하고 합성기간은 7 - 15일로 하였으며, 사례 2는 소구역 크기의 영향을 분석하기 위한 실험으로 합성기간은 10일로 하고 소구역의 크기는 20x20 - 60x60화소로 하였다. 민감도 실험에 사용된 자료는 1997년 3월부터 7월까지이며 실험결과는 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 합성기간 및 소구역의 크기가 구름 탐지 결과에 미치는 영향은 비교적 크지 않게 나타나고 있다. 합성기간이 구름 탐지에 큰 영향을 주지 않는 것은 합성기간이 길어지면 각 소구역별 대표값( $T_r$ )은 높아지지만 시간적 변동성( $T_{tv}$ )은 증가하게 되어 서로 상쇄작용에 의한 것으로 사료된다. 또한 소구역의 크기가 구름 탐지에 큰 영향을 주지 않는 것은 앞에서 분석한 소구역의 크기에 따른 지면 특성 값들의 공간적 연속성 분석 결과와 일치한다고 할 수 있다(Fig. 3).

### 3) 구름 탐지 및 토의

본 연구에서 개발한 구름 탐지 알고리즘을 1996년 8월부터 1997년 7월까지의 NOAA-14/AVHRR가 낮 시간에 탐사한 9개월간의 한반도 지역 자료에 적용하여 분석한 구름 탐지 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 구름 탐지 값(%)이 운량이 아닌 구름 낀 화소가 차지하는 비율이어서 기상청의 관측 운량보다 항상 크게 나타났다. 왜냐하면 본 연구에서 구름 낀 화소로 탐지한 화소 중에는 화소전체가 구름으로 완전히 덮인 경우도 있지만 화소의 일부만이 구름으로 덮인 경우도 있기 때문이다. 위의 분석결과로 볼 때 한반도 지역의 평균 약 60%가 항상 구름 낀 화소로 덮여 있음을 알 수 있으며 한반도 지역의 계절적 기후 특성에 따라 구름 낀 화소율이 봄·가을에는 상대적

으로 적게 나타나고 늦봄에서 여름철에 많은 것으로 나타나고 있다. 구름 탐지 결과를 연속적으로 분석한 결과 구름 탐지 결과 중 3, 4, 11월의 자료에는 북한지역의 고산지대를 덮은 눈을 구름으로 탐지한 결과도 포함된 것으로 판단되었다. 이것은 앞에서도 설명한 바와 같이 본 알고리즘에 눈과 구름을 구별하는 과정이 없기 때문이다. 각 단계별 구름 탐지의 효율성은 전체적으로 밝기온도 임계치 시험, 반사율 임계치 시험, 밝기 온도차 시험 및 구름 그림자 시험이 각각 전체구름 탐지량의 약 53%, 43%, 15% 및 3%를 차지하는 것으로 나타났다.

구름 탐지 결과의 개략적 검증을 위하여 기상청의 72개 관측소(대)에서 1997년 3월 1일부터 7월 31일까지 매일 12시와 15시에 관측한 운량(0 - 10) 자료를 이용하였다. 지상관측 운량과 위성자료로부터 탐지한 구름 탐지 값을 상호 비교하기 위해서는 우선 시간과 공간적으로 일치하는 자료들을 작성하는 것이 중요하다. 이를 위하여 1차적으로 구름 탐지 자료중 지상의 관측지점에 해당되는 화소들의 자료들을 추출하였다. 지상에서의 관측이 관측소를 중심으로 반경 약 10km 수준에서 이루어졌다는 가정하에 구름 탐지 자료 중 지상 관측소를 중심으로 동서 및 남북방향으로 10화소(약 11km)내에 해당되는 화소 값들을 추출하여 구름 낀 화소율을 계산하였다. 다음은 NOAA-14가 한반도를 통과한 시간에 해당되는 지상 관측운량을 12시와 15시의 운량에 선형 내삽법을 적용하여 계산하였으며 두 시간대 자료 중 어느 한 자료가 결측인 경우에는 결측이 아닌 관측자료를 이용하였다. 지상관측 운량(0 - 10)에 해당되는 구름 탐지율을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보는

Table 2. The monthly mean(%) of cloudy pixels detected by each step in southern area of Korean peninsula.

Month	ST1*	ST2	ST3*	ST4*	Cloudy Pixel(%)	KMA(%)
'97 3	47.8	34.8	13.2	2.0	51.7	42.26
'97 4	48.4	35.6	13.8	2.3	51.6	46.71
'97 5	67.5	54.0	18.9	2.5	72.2	61.25
'97 6	55.2	40.8	21.0	3.0	60.5	57.39
'97 7	61.8	58.3	16.7	3.0	73.6	66.56
'96 8	54.3	50.0	19.3	5.0	67.3	59.86
'96 9	45.7	34.9	13.8	2.6	50.3	46.35
'96 10	45.8	40.6	11.2	2.4	60.3	45.55
'96 11	48.8	38.6	13.3	2.5	59.9	49.72
Total	52.8	43.0	15.7	2.8	60.8	52.85

\*ST1 : Brightness Temperature Test, ST2 : Reflectance Test

\*ST3 : Split-Window Test, ST4 : Shadow Test

바와 같이 지상관측 운량과 구름 탐지 결과는 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나고 있다. 하지만 지상관측 운량이 0인 경우에 5월과 7월의 구름 탐지 값이 각각 20% 및 24%로 큰 값으로 나타나고 있는데 이것은 상대적으로 5월과 7월에 구름이 많아서(Table 2) 운량이 0에 해당되는 관측 경우가 작은 것과 합성 지면 특성 값에 내재된 구름의 영향을 충분히 제거하지 못한 것에 의한 것으로 사료된다. 또한 전체적으로 구름 탐지 값은 지상관측 운량이 적은 경우 (< 5)에는 과대 탐지률, 운량이 많은 경우 (> 5)에는 과소 탐지하고 있음을 알 수 있다. 이것은 구름 탐지 및 지상관측에 포함된

오차 외에도 관측 방법차이에 의한 것으로 사료된다. 또한 운량의 시간적 변화 경향(약 5%/시간)도 두 결과사이의 차를 유발한 주요 원인 중의 하나일 것이다.

본 연구에서는 기하학적 보정 오차를 자동으로 보정하는 기술이 없어서 앞에서 언급한 바와 같이 매 영상에 해안선을 중첩하여 시간적으로 구름이 없는 해안선 지역의 오차를 이용하여 보정하였다. 여름철과 같이 대규모의 구름들이 지속적으로 있는 경우에는 이 방법의 적용이 어려울 뿐만 아니라 실제 적용과정에서 많은 노력이 필요하므로 본 구름 탐지 알고리즘을 현업적으로 적용하기 위해

Table 3. The percentage of cloudy pixels(C.P. : %) detected by threshold method corresponding to the ground-observed cloud amount(C.A.) (# : Number of observation cases).

Month	3		4		5		6		7		Total	
	C. A.	#	C. P.	#	C. P.	#	C. P.	#	C. P.	#	C. P.	
0	700	7.98	583	7.02	247	20.15	291	14.53	77	24.04	1898	10.93
1	51	20.63	64	27.79	31	29.39	64	24.32	53	25.50	263	25.28
2	87	22.58	103	27.91	61	32.99	106	29.71	87	36.39	444	29.66
3	64	33.61	123	35.75	80	52.64	128	38.40	94	44.03	489	40.52
4	82	46.80	117	48.12	83	53.04	123	42.51	128	47.19	533	47.17
5	70	54.57	88	60.69	82	58.11	114	50.82	109	56.24	463	55.83
6	99	67.59	119	58.82	128	69.97	151	59.50	148	63.42	645	63.59
7	107	76.88	96	71.30	128	77.45	169	71.05	144	71.20	644	73.36
8	108	81.09	128	77.20	156	80.85	184	75.17	203	75.81	779	77.63
9	127	87.65	92	85.90	153	86.78	127	78.90	187	80.90	686	83.76
10	535	95.86	517	93.53	741	94.09	503	95.78	870	92.93	3166	94.25

서는 일차적으로 기하학적 보정 오차를 적어도 1-2km 이내의 수준에서 자동으로 보정할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 이러한 자동 보정 기술은 AVHRR 영상자료로부터 구름 탐지뿐만 아니라 해수면 온도, 식생지수 및 눈과 같은 응용 정보의 질을 향상시키는데도 기본적인 요소이다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 NOAA/AVHRR 탐사자료로부터 식생지수와 같은 지면 특성 자료를 추출하는 과정에서 반드시 필요한 구름 낀 화소의 탐지를 위하여 6단계 임계치 방법을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 구름 탐지 방법은 Saunders and Kriebel(1988)과 Derrien et al.(1993)의 방법에 기초한 방법으로 구름 탐지 결과의 시·공간적 연속성을 위하여 1) 전체 분석 영역을 일정한 크기의 소구역(sub-area, 40x40 화소)으로 구분하였고, 2) 지면 밝기 온도의 임계치를 각 소구역별로 밝기 온도의 공간적 변동성과 시간적 변동성의 조합으로 작성하였다. 본 연구에서 개발한 구름 탐지 방법을 1996년 8월 1일부터 1996년 11월 30일 그리고 1997년 3월 1일부터 1997년 7월 31일까지 NOAA-14/AVHRR이 낮 시간에 탐사한 한반도 지역의 자료에 적용하여 구름 낀 화소를 탐지하였다. 또한 구름 탐지 결과의 검증은 가시 및 적외 영상의 시각적 분석과 기상청의 지상관측 운량과의 비교 분석으로 하였다.

구름 탐지 결과의 사례 분석, 민감도 시험 및 지상 관측자료와의 비교 결과에서 보는 바와 같이 본 연구에서 개발한 구름 탐지 임계치 방법은 지리적 위치 및 계절, 그리고 구름의 종류에 관계없이 구름 낀 화소를 비교적 정확히 탐지해 내고 있다고 생각된다. 따라서 본 연구에서 개발한 구름 탐지 알고리즘은 NOAA/AVHRR 자료로부터 지면의 특성 자료(예: 식생지수, 지면 온도)를 분석하는 과정에서 반드시 필요한 구름 낀 화소의 객관적 탐지에 충분히 활용될 수가 있을 것이다. 하지만 일부 해안가 지역에서 맑은 부분을 구름으로

판정되는 경우가 있을 뿐만 아니라 고산지대의 눈도 구름으로 판정되고 있어 이 부분에 대한 보완이 필요하다. 또한 본 연구에서는 주로 위성탐사 자료 중 낮 시간의 구름 탐지에 대해서만 조사하였다. 따라서 향후에는 시간적으로 뿐만 아니라 공간적으로도 연속적인 구름 탐지를 위해서 야간 및 바다에도 적용이 가능한 구름 탐지 알고리즘의 개발이 필요하다. 또한 구름 탐지 결과로부터 한반도를 포함한 동북아시아 지역에 대한 운량, 운정 고도, 운정 온도 등과 같은 구름의 특성 분석도 연구할 필요가 있는 과제라고 본다.

## 감사의 글

본 연구를 수행하는 과정에서 많은 조언을 해 준 경희대학교 박 경운 교수님, 강릉대학교 권 태영 교수님, 광주 과학원의 장 광미씨 그리고 많은 양의 NOAA/AVHRR 자료의 전처리를 도와 준 충남대학교 해양학과 김 응 학생에게 감사드립니다. 또한 본 논문의 개선에 큰 도움을 준 두 심사분에게 감사한다.

## 참고문헌

Coakley, J. A., and F. P. Bertherton, 1982 : Cloud cover from high resolution scanner data : Detection and allowing for partially filled fields of view. *J. Geophys. Res.*, 87, 4917-4932.

DeFries, R. S., M. Hansen, and J. R. Townshend, 1995 : Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR Pathfinder data. *Remote Sens. Environ.*, 54, 209-222.

Derrien M., B. Farki, L. Harang, H. LeGleau, A. Noyalet, D. Pochic and A. Sairouni, 1993, Automatic cloud detection applied to NOAA-11/AVHRR imagery. 46, 246-267.

- 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.
- Eidenshink, J. C., and Faundeen, J. L., 1994 : The 1-km AVHRR global land data set : first stages in implementation, *Int. J. Remote Sens.* 15, 3443-3462.
- Friedl, 1996 : Relationship among remotely sensed data, surface energy balance, and area-averaged fluxes over partially vegetated land surfaces. *J. Appl. Meteor.*, 35, 2091-2103
- Gutman G., D. Tarpley, A. Ignatov, and S. Olson, 1995 : The enhanced NOAA global land dataset from the AVHRR, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 76(7), 1141-1156
- Holben, B. N., 1986 : Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.* 7, 1417-1434
- Inoue, T., 1985, On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus clouds by bi-spectral measurements in  $10\mu$  window region, *J. Meteor. Soc. Japan*, 63, 88-98
- \_\_\_\_\_, T., 1987, A cloud type classification with NOAA-7 split-window measurements, *J. Geophys. Res.*, 92, 3991-4000.
- Kidwell, K. 1991, NOAA Polar Orbiter Data User's Guide, NCDC/SDSD, National Climatic Data Center, Washington, DC.
- Lee, K. S., 1994 : Vegetation cover type mapping over the Korean peninsula using multi-temporal AVHRR data, *J. Korean Forestry*, 83-4, 441-449.
- Nemani, R., L. Pierce, and S. Running, 1993 : Developing satellite-derived estimates of surface moisture status, *J. Appl. Meteor.*, 32, 548-557
- Norman, J. M., M. Divakarla, and N. S. Goel, 1995: Algorithm for extracting information from remote thermal-IR observations of the Earth's surface. *Remote Sens. Environ.* 51, 157-168.
- Olesen, F. S., and Grassl, H., 1985, Cloud detection and classification over oceans at night with NOAA-7. *Int. J. Remote Sensing*, 6, 1435.
- Reynolds, D. W. and T. H. Vonder Haar, 1977, Abi-spectral method for cloud parameter determination, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 446-457.
- Saunders, R. W., and K. T. Kriebel, 1988, An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, 9, 123-150.
- Schiffer, R. A., and W. B. Rossow, 1983, The ISCCP : The first project of the world climate research programme. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 64, 779-784.
- Sellers, P. J., S. I. Rasool, and H. J. Bolle, 1990 : A review of satellite data algorithms for studies of the land surface. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 71, 1429-1447
- 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.
- Simpson, J. J., and J. I. Gobat, 1996, Improved cloud detection for the daytime AVHRR scenes over land, *Remote Sens. Environ.* 55, 21-49.
- Suh, M. S., and K. Y. Park, 1993, Cloud cover analysis from the GMS/S-VISSR imagery using bispectral thresholds technique, *J. Korean Soc. Remote Sensing*, 9, 1-19.
- Tateishi R., and K. Kajiwara, 1994 : Consideration on problems of NOAA/GVI data for global land cover monitoring, *Geocarto International*, 4, 5-15.