

## MODIS 구름 영상의 표면 특성을 이용한 해무와 하층운의 구별

허기영\* · 민세윤\*\* · 하경자\* · 김재환\*†

\*부산대학교 지구환경시스템학부, \*\*(주)환경예측연구소

### Discrimination between Sea Fog and Low Stratus Using Texture Structure of MODIS Satellite Images

Ki-Young Heo\*, Se-Yun Min\*\*, Kyung-Ja Ha\*, and Jae-Hwan Kim\*†

\*Division of Earth Environmental System, College of Natural Science, Pusan National University

\*\*Environmental Prediction Co., Ltd.

**Abstract :** The sea fog occurs frequently in the west coast of Korea in spring and summer. This study focused on the detection of sea fog using MODIS satellite images. We presented a method for sea fog detection based on the homogeneity level between low stratus and sea fog, which was that the top surface of sea fog had a homogeneous aspect while that of low stratus had a heterogenous aspect.

The results showed that the both homogeneity of 11  $\mu\text{m}$  brightness temperature (BT) and brightness temperature difference (BTD,  $\text{BT}_{3.7\mu\text{m}} - \text{BT}_{11\mu\text{m}}$ ) were available to discriminate sea fog from low stratus. The frequency of difference between BT in fog/stratus area and BT in clear area provided reasonable result. In addition, the threshold values of standard deviations of BT and BTD in the fog/stratus area were applicable to differentiate fog from low stratus.

**Key Words :** Sea fog; Low stratus; MODIS; Homogeneity; Standard deviation.

**요약 :** 한반도의 서해에서 해무는 봄과 여름에 자주 발생한다. 본 연구의 목적은 MODIS 위성 영상을 사용하여 해무를 탐지하는 데 있다. 하층운의 운정 표면은 불균질한 반면에 해무의 표면은 균질한 특징이 있으므로, 하층운과 해무의 균질성을 이용한 해무 탐지 방법이 제시되었다.

11  $\mu\text{m}$ 의 밝기온도(BT), 3.7 $\mu\text{m}$ 와 11 $\mu\text{m}$ 의 밝기온도차(BTD)는 하층운으로부터 해무를 구별하는데 유용하였다. 안개/하층운 지역의 밝기온도와 맑은 지역에서의 밝기온도의 차이를 이용한 방법과 안개/하층운 지역에서 밝기온도와 밝기온도차의 표준편차 임계값을 이용한 방법은 안개와 하층운을 구별하는데 적용될 수 있었다.

## 1. 서론

해무란 지표면 근처에서 수증기가 응결되어 시정이 1km 이하로 악화 되는 안개 가운데, 바다에서 생성되는 것이다. 해상사고의 39%가 해무로 인해 발생하기 때문에 안개의 관측은 경제적·인명적 손실을 줄이는데 매우 중요하다 (김문옥, 1998). 해무는 일반적으로 수십 km 정도의 공간규모를 가지면서 수 시간 지속된다 (Byers, 1959; Roach, 1994). 우리나라에서 대부분의 해무는 5 ~ 8월에 발생하며, 6 ~ 7월에 발생 빈도가 가장 높고, 이류무의 형태가 서해상에 자주 발생한다(김문옥, 1998; Cho *et al.*, 2000; 허기영과 하경자, 2004).

지상과 선박으로 관측되어지는 해무는 시간적 공간적 제약이 따르기 때문에 이러한 한계를 극복해주는 위성 관측이 필요하다. 위성을 이용한 안개 탐지에서, 주간에는 안개와 청정지역이 가시광선 채널의 뚜렷한 반사도 차이 때문에 구별될 수도 있다(Ahn *et al.*, 2003). 그러나 가시채널 사용이 불가능한 야간에는 적외 채널을 이용하는데, 두 지역의 밝기온도 차이를 이용해 구별한다. 그러나 안개는 지표 근처에서 생성되기 때문에 열적 대비가 작은 야간에는 안개와 청정지역을 구별하는데 매우 어렵다(Ellrod, 1995). 이러한 어려움을 극복하기 위해 제시된 것이 밝기온도차이 방법(Brightness Temperature Difference; BTD)이다(Eyre *et al.*, 1984; Ellrod, 1995). 이 방법은 대기의 창 영역에서 수적의 방출율의 차이가 존재하는 3.7  $\mu\text{m}$  와 11  $\mu\text{m}$  채널의 밝기온도 차이를 이용하는 것이다. 이 방법을 통하여 해무와 하층운의 탐지가 가능하며, 특히 야간의 안개 탐지에 사용된다(Ellrod, 1984; 1995; Yamanouchi *et al.*, 1987). 그러나 이 방법에도 문제점이 존재한다. 안개 여부를 결정짓는 밝기온도 차이 경계값이 안개의 광학적 두께, 안개 입자 크기, 대기 중의 수증기량, 태양과 위성의 위치 등에 따라 민감하게 변한다(Lee *et al.*, 1997). 또 다른 방법이 Anthis and Cracknell (1999)에 의해 시도되었는데, Meteosat의 가시 채널과 AVHRR의 채널 1(0.63  $\mu\text{m}$ )과 채널 2 (0.91  $\mu\text{m}$ )를 이용한 주간 안개와 하층운 탐지였다. 그러나 이 방법도 하층운과 지표의 구분은 어느 정도 가능하나 하층운과 안개를 구별하는데 여전히 문제점을 가지고 있다.

국내의 안개 연구는 기존의 3.7  $\mu\text{m}$ 와 11  $\mu\text{m}$ 의 차이

(BTD)에 관한 것이다. Heo *et al.* (2008)은 기존의 BTD 방법에 QuikSCAT 위성의 해상풍 관측값과 표면의 균질성을 이용하여 해무와 하층운을 구별하는 방법을 제시하였다. 또한 Ahn *et al.* (2003)은 대기창 영역에 속하는 적외 채널에서 청정지역보다 안개 지역의 밝기온도가 낮다는 사실을 이용하여 안개를 탐지하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 해수면 온도 변화가 (약 0.5° K day<sup>-1</sup>) 육지 온도 변화보다 작기 때문에 해무 탐지가 유용하다고 제안하고 있다. Yoo *et al.* (2005)는 MODIS와 인천 국제공항 근처의 지상 관측 자료를 이용하여 산출한 안개의 경계값을 이용하는 방법을 제시하였다. 하지만 이 방법은 역전층이 형성되었을 때 안개를 탐지하지 못하는 한계가 있다. 이와 유사한 위성과 지상자료의 결합을 이용하여 안개를 탐지하는 연구가 Bendix *et al.* (2005)와 Cermak and Bendix (2005)에 의해 제시되었다. 이 방법은 구름의 고도와 두께를 지표면 고도와 비교하여 지상 안개를 측정하는 방법이다. Guidard and Tzanos(2005)은 지상의 상대습도 자료와 위성자료를 결합하여 안개를 측정하는 방법을 개발하였다. 그러나 이들 방법은 지상관측 자료가 필요하다는 큰 제약을 가지고 있다.

기존의 연구들은 안개와 하층운을 구별하기 위하여 대기복사학 관점에서 출발한 가시채널의 반사도, 적외선 파장대의 밝기온도, 그리고 밝기온도차이의 경계값을 이용하였다. 그러나 이들 방법은 하층운과 구름의 탐지에는 유용하나 두 구름의 구별에 사용되기에는 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 지금까지 연구된 방법과는 다른 새로운 방법이 시도되었다. 그것은 안개와 하층운의 구조적인 특성을 이용하여 차이를 구별하려 하는 것이다.

## 2. 자료

한반도와 주변 해역에서 발생하는 안개와 하층운의 특성을 알아보기 위해서, 본 연구에서는 흑산도와 백령도에서 관측된 종관관측자료와 백령도에서 관측된 고층 관측 자료가 이용되었다. 지상자료는 안개와 하층운의 사례일을 선정하기 위한 기초 자료로 사용되었다. 위성 자료는 MODIS와 ASTER자료가 사용되었다. 이 센서

들은 극궤도 위성인 Terra에 탑재되어 1999년 12월 18일에 발사되었다. Terra 위성은 지구의 북반구에서 남반구로 오전 11시경 한반도를 지난다. MODIS는 0.4  $\mu\text{m}$  ~ 14.1  $\mu\text{m}$  범위 내에서 36개 채널을 보유하고 있으며 0.25 ~ 1 km의 해상도를 가지고 있는 다목적 센서이다. 주 관측 변수는 지표면 온도, 구름 에어로솔, 수증기량, 대기온도 등이다. 그 중에서 구름 산출물인 해상도 1 km의 MOD06 자료가 본 연구에서 사용되었다. ASTER는 15 m, 30 m, 90 m의 높은 해상도를 가지고 있는데, 모두 14개 채널을 탑재하고 있다. 본 연구에서는 90 m 고해상도의 채널 14 (10.95 ~ 11.65  $\mu\text{m}$ )이 사용되었다. 그러나 FOV (field of view)는 연직방향으로 60×60 km로 제한되어 있고, 동일한 위치를 촬영하기 위해서는 16일의 순환주기(Ground track repeat cycle)가 소요된다. 그러므로 ASTER는 MODIS와 달리 제한적으로 관측되기 때문에 주기적으로 해무를 관측할 수 없다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 ASTER 고분해능 자료를 이용한 안개분석 결과를 MODIS 자료에 적용함으로써 주기적인 안개탐지를 가능하게 하고자 하였다.

해무와 하층운의 사례일을 선정하기 위해서 MODIS MOD06 자료의 운정기압(Cloud Top Pressure, CTP)을 이용하여, CTP가 680 hPa 이상인 사례를 선택하였다. 그 중에서 기상자료에 안개가 관측되었던 날을 해무 사례일, 아닌 경우를 하층운 사례일로 구분하였다. 이러한 조건을 만족하는 2004년 6월 9일과 2006년 3월 6일의 ASTER 자료가 각각 해무와 하층운 사례일로 사용되었으며, MODIS 자료는 2001년 3월 19일, 2004년 6월 10일과 12일, 2005년 10월 27일, 2006년 5월 20일과 6월 18일이 해무 사례로, 2004년 1월 3일, 1월 30일, 3월 9일과 12월 10일이 하층운 사례로 사용되었다.

### 3. 분석 및 방법

#### 1) ASTER 고분해능 자료를 이용한 안개와 하층운 식별 분석

해무의 특징을 알아보기 위해, 한반도에서 해무가 가장 빈번히 발생하는 서해안의 백령도(38.0°N, 124.6°E)와 흑산도(34.7°N, 125.5°E)의 해무 사례들에서 나타난 기상학적 특징을 Table 1에 요약하였다. 사례일은 2004년 6월에서 7월 사이에 발생한 해무일로 선정하였으며, 상세한 분석을 위해 고층기상 관측자료가 이용되었다. 안개의 고도는 노점편차가 3°C 이내인 층의 고도로 정의되었는데(Wheeler *et al.*, 1993), 300 m 이하로 매우 낮은 특징을 보인다. 2004년 7월 8일 흑산도 사례를 제외하고 풍속이 3.6 m s<sup>-1</sup> 이상인 상태에서 해무가 발생하였기 때문에, 이 사례들은 이류무임을 알 수 있다. Fig. 1은 백령도에서 2004년 6월 9일 라디오존데를 통해 관측된 고층 관측자료를 분석한 Skew T - log P diagram이다. 상층에서 구름은 관측되지 않았고 지상에서만 안개가 관측되었으며, 지상에서 역전층이 나타났다. 이러한 역전층은 해수의 용승으로 인해 해수면 온도가 낮아져 대기의 하층이 냉각되어 형성된 것이다. 이때 상대적으로 따뜻한 공기가 차가운 해수면 위로 이류되어 안개가 형성되었다(Cho *et al.*, 2000; 허기영과 하경자, 2004). 이것은 이 지역에서 형성되는 해무의 전형적인 특징이다. 이와 같은 조건에서 해무가 형성될 경우에는 가장자리에서 중심으로 갈수록 안개의 두께가 두꺼워지고, 차가운 해수면과 접한 모든 지점에서 안개가 형성되기 때문에 표면이 균질한 분포를 보일 수 있다. 그러나 공기의 상승으로 형성되는 구름은 지점에 따라 상승 정도가 다르기 때문에 구름 표면의 균질정도가 안개에 비해 매우 저칠 수 있다. 이러한 외형상의 특징

Table 1. Meteorological characteristics for sea fog cases at island synoptic station over the Yellow Sea

Case (2004)	Station	VIS (m)	Fog top height (m)	Tdd (°C)	WS (m s <sup>-1</sup> )
12 UTC 08 June	BRD	800	170	2.3	3.6
00 UTC 09 June	BRD	300	170	1.8	5.6
12 UTC 08 June	BRD	800	242	1.8	6.5
12 UTC 08 July	HSD	400	293	0.3	Calm
00 UTC 09 July	HSD	300	173	0.2	3.8

BRD : Baekryeongdo, HSD : Huksando

VIS : Visibility, Tdd : dew-point depression, WS : wind speed

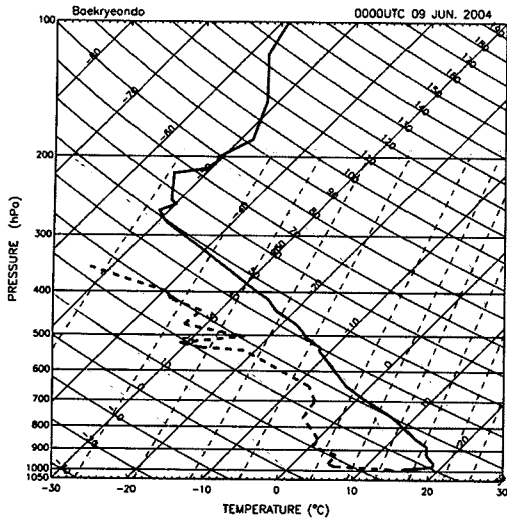


Fig. 1. Skew T-log P diagram on Baekryeongdo at 0000 UTC 09 June 2004. Heavy solid line and heavy dashed line indicate temperature and dewpoint temperature, respectively.

을 안개와 하층운을 식별하는 방법으로 이용할 수 있는 지그 가능성을 분석하였다.

지상관측에서 해무로 관측된 2004년 6월 9일을 해무 사례일, 지상관측과 MODIS 구름고도 분석 자료에서 하층운으로 관측된 2006년 3월 6일을 하층운 사례일로 선정하였다. Fig. 2의 (a)와 (b)는 두 사례일에 관측된 각각의 고분해능 ASTER 가시영상(0.63 ~ 0.69  $\mu\text{m}$ )이다. 밝은 영역이 구름(해무)을, 어두운 영역이 맑은 구역을 나타낸다. 두 사례를 비교해 보면, 해무와 하층운은 외관상 매우 다르다. 해무의 경우 표면이 매우 균질하고 맑은 지역과 해무의 경계 부분이 연속적으로 변하며, 중심부로 갈수록 점점 두꺼워지는 둥근 롤과 비슷한 구조를 보여주고 있다. 이에 반해 하층운은 표면이 매우 거칠고 맑은 구역과 하층운이 존재하는 경계 부분이 불연속으로 변한다. 이 경계 부분에서의 구름(해무)과 맑은 구역의

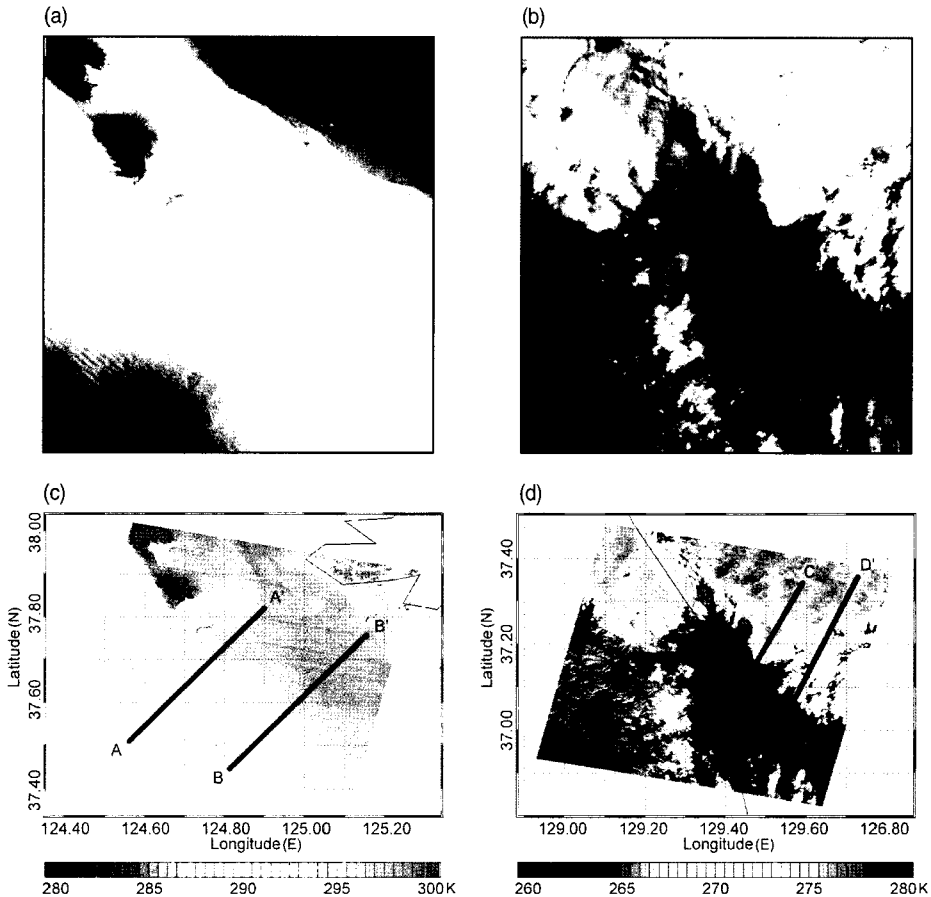


Fig. 2. Visible images from ASTER (a) for fog case on 9 June 2004 and (b) for stratus case on 6 March 2006. (c) and (d) are same as (a) and (b) but for infrared image, respectively. Black solid line in (c) and (d) indicate cross-section line used in Fig. 3.

물리량 차이는 열적외선( $11.3 \mu\text{m}$ )에서 관측한 밝기온도 영상자료에서 뚜렷하게 나타난다(Fig. 2c와 d).

Fig. 3은 Fig. 2에서 표시된 선을 따라 관측된 밝기온도 변화를 보인 것이다. Fig. 2(c)의 경우 안개구역과 맑은 구역의 차이를 식별할 수 있는 밝기온도의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않는다. 이것은 안개와 맑은 구역의 온도차가 작고, 앞에서 언급되었듯이 두 경계에서 안개의 고도가 중심으로 갈수록 서서히 변하기 때문이다. 이에 반해 Fig. 2(d)에 나타난 하층운은 구름과 맑은 구역의 밝기온도 차이가 매우 뚜렷하고 경계부분에서 불연속적인 온도변화가 발생한다. 이것은 운정고도와 맑은

구역 사이에 고도 차이가 존재함과 더불어 구름과 맑은 구역이 경계부분에서 함께 공존하고 있음을 의미한다.

Fig. 4는 Fig. 2에서 나타난 구름(해무) 지역의 밝기온도 ( $BT_{\text{cloud}}$ )와 맑은 구역의 밝기온도 ( $BT_{\text{clear}}$ ) 차 ( $BT_{\text{cloud}} - BT_{\text{clear}}$ )의 빈도를 나타낸 것이다. 해무 지역은 맑은 지역보다 대부분 평균  $-2^\circ\text{K}$  차이를 보이며, 최대 밝기온도 차이는  $-4^\circ\text{K}$ 로 나타났다(Fig. 4a). 중위도 지역의 평균 온도 감율을  $-7^\circ\text{K km}^{-1}$ 이라고 한다면 (Wallace and Hopps, 1977), 안개의 고도는 2~300 m 정도로 낮다.  $BT_{\text{cloud}} - BT_{\text{clear}}$ 에 대한 표준편차 ( $-1.5 \pm 0.714^\circ\text{K}$ )가 매우 작은 것은 이들 안개의 고도가 전체

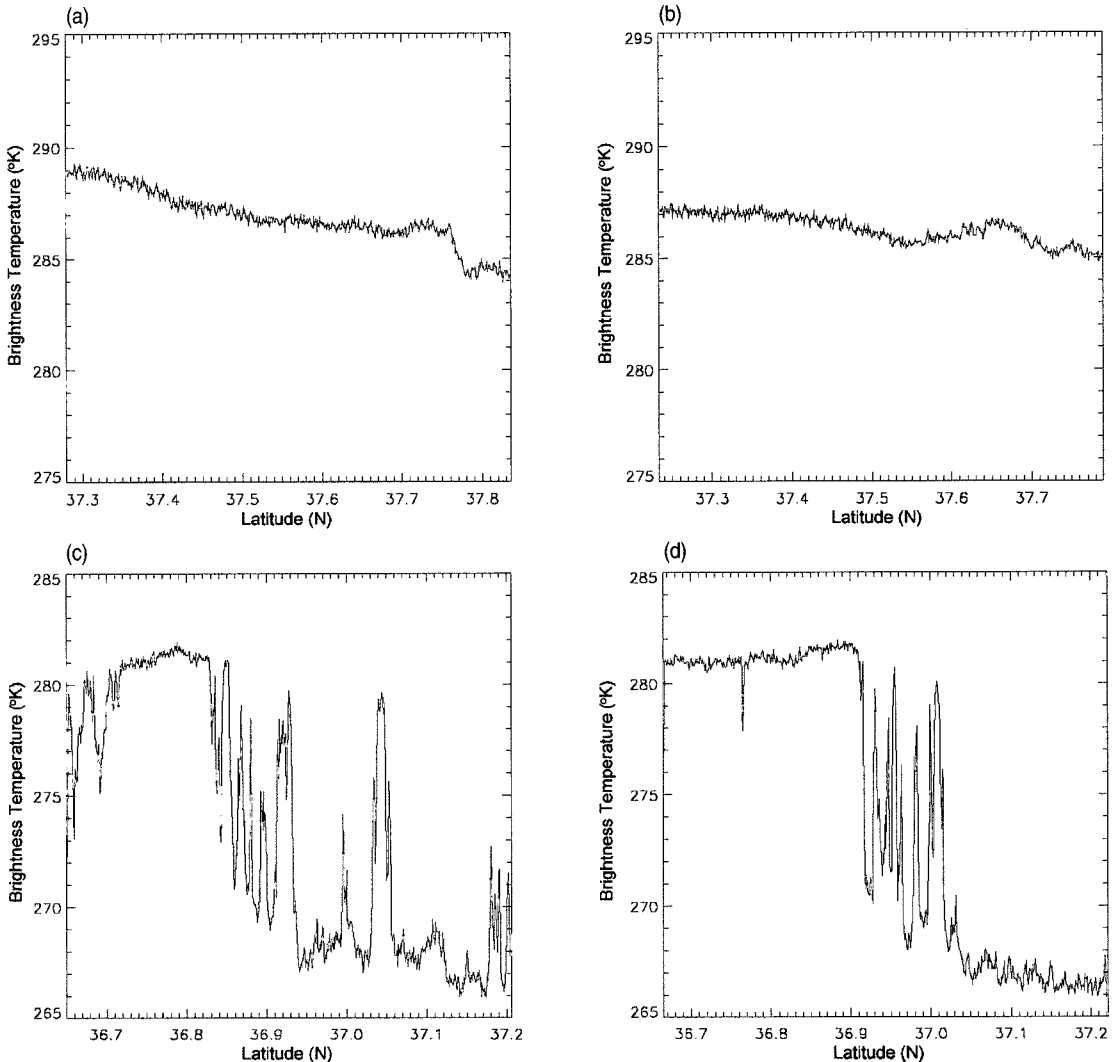


Fig. 3. Spatial variation of  $11.3 \mu\text{m}$  brightness temperature measured by ASTER satellite along the line (a) A-A' and (b) B-B' in Fig. 2(c). (c) and (d) are same as (a) and (b) except for along the cross-section C-C' and D-D' in Fig. 2(d).

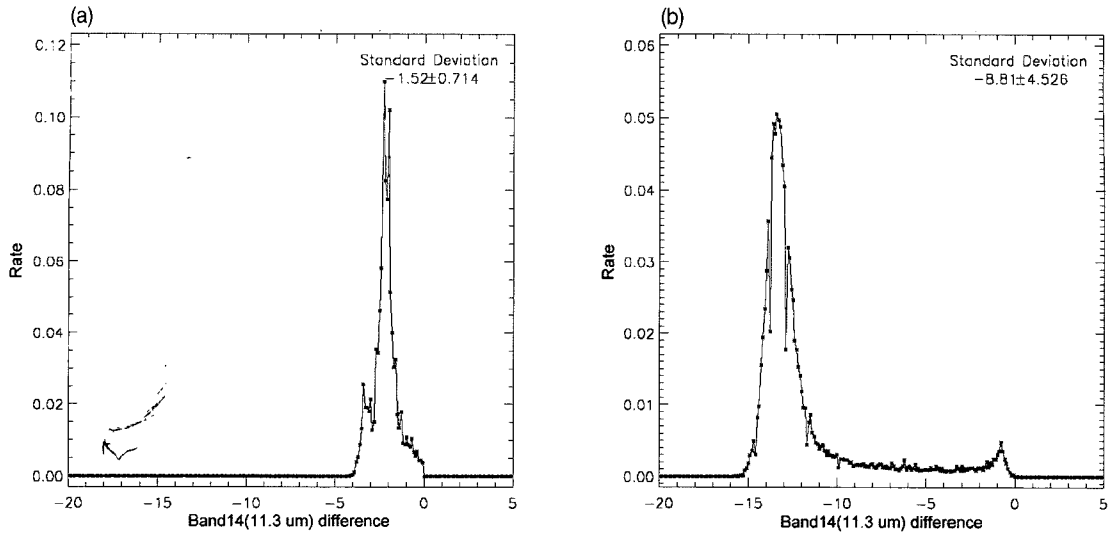


Fig. 4. The distribution of 11.3  $\mu\text{m}$  brightness temperature difference (a) between fog area and clear area from ASTER satellite on 9 June 2004. (b) is same as (a) but for low stratus area on 6 March 2006.

적으로 비슷하다는 것을 의미한다. 이에 반해 하층운인 Fig. 5(b)의 경우 밝기온도차이 분포는 대부분  $-13^{\circ}\text{K}$ 에서 최대값을 가지며  $-1^{\circ}\text{K}$ 부터  $-15^{\circ}\text{K}$  까지 매우 넓은 분포를 보인다. 따라서 대부분의 하층운 고도는 1800 m 이상이라 할 수 있고, 표준편차( $-8.81 \pm 4.526^{\circ}\text{K}$ )가 상대적으로 크기 때문에 표면이 불균질하고 구름과 맑은 구역이 공존하고 있다는 것을 알 수 있다.

## 2) MODIS 위성 자료를 이용한 안개와 하층운 식별

앞에서 ASTER 자료를 이용한 안개와 하층운은 생성 과정의 차이 때문에 외형적인 특징에서 차이가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 ASTER 자료는 시간적 분해능이 낮기 때문에, 안개 예보·탐지와 같은 상시적인 관측 자료가 요구되는 곳에 사용하기에는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 위의 결과를 시간 분해능이 뛰어난 MODIS 자료에 적용하여 안개와 하층운을 식별하기 위한 경계값을 산출하였다.

안개와 하층운을 식별하기 위해 우선 지상에서 시정 1 km 이하인 경우 안개 사례일로 선정하고, 시정이 1 km 이상이고 MODIS 구름 운정 기압이 680 hPa 이상인 경우를 하층운으로 선정하였다(Hahn *et al.*, 2001). Table 2는 이 과정을 통해서 선정된 안개와 하층운 사례일을 나타낸 것이다. 구름(해무)의 온도와 주변 맑은 지역과의 온도 차이를 보기 위해서, Fig. 4와 마찬가지로 우리나라 주변 바다에서 적외채널 ( $11 \mu\text{m}$ )의 구름(해

Table 2. The selected dates for foggy and stratus cloudy

sea fog case	stratus cases
10 June 2004	30 January 2004
18 June 2006	10 December 2004

무)지역에 대한 밝기온도와 맑은 지역의 밝기온도 차 ( $BT_{\text{cloud}} - BT_{\text{clear}}$ )를 계산하여 Fig. 5에 제시하였다. 안개지역에서는  $BT_{\text{cloud}} - BT_{\text{clear}}$ 가  $-2 \sim -3^{\circ}\text{K}$  근처에서 최대값을 가지고,  $-5^{\circ}\text{K}$ 에서  $0^{\circ}\text{K}$  사이의 범위에 분포하고 있다. 이 결과는 중위도 대륙권 온도 감을을 고려했을 때 구름의 고도가 500 m보다 낮다는 것을 보여준다. 이에 반해 하층운 지역은  $-10^{\circ}\text{K}$  근처에서 최대값을 가지는데, 이 값은 대략 1.3 km 높이에 해당되며 안개지역에 비해 매우 큰 값이다. 넓은 구름을 대상으로 했기 때문에 맑은 바다보다 밝기온도가 높은 지역이 있었지만, 하층운 지역에서  $BT_{\text{cloud}} - BT_{\text{clear}}$ 범위는  $-15^{\circ}\text{K} \sim 0^{\circ}\text{K}$ 로써 안개지역에 비해 매우 넓다. 이것은 앞서 언급하였듯이 운정고도의 차이로 인해 구름의 표면이 매우 불규칙하기 때문이다.

안개와 하층운의 표면 균질성을 비교해보기 위해서, 대상영역을  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  범위의 격자로 나눈 다음에 각 격자별로  $11 \mu\text{m}$  채널 밝기온도의 표준편차를 구하여 그 평균을 계산하였다(Table 3). MOD06 자료의 해상도가 1 km이므로 각  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  격자에는 약 100개의 밝기온도 자료가 표준편차의 계산에 사용되었다. 안개와 하

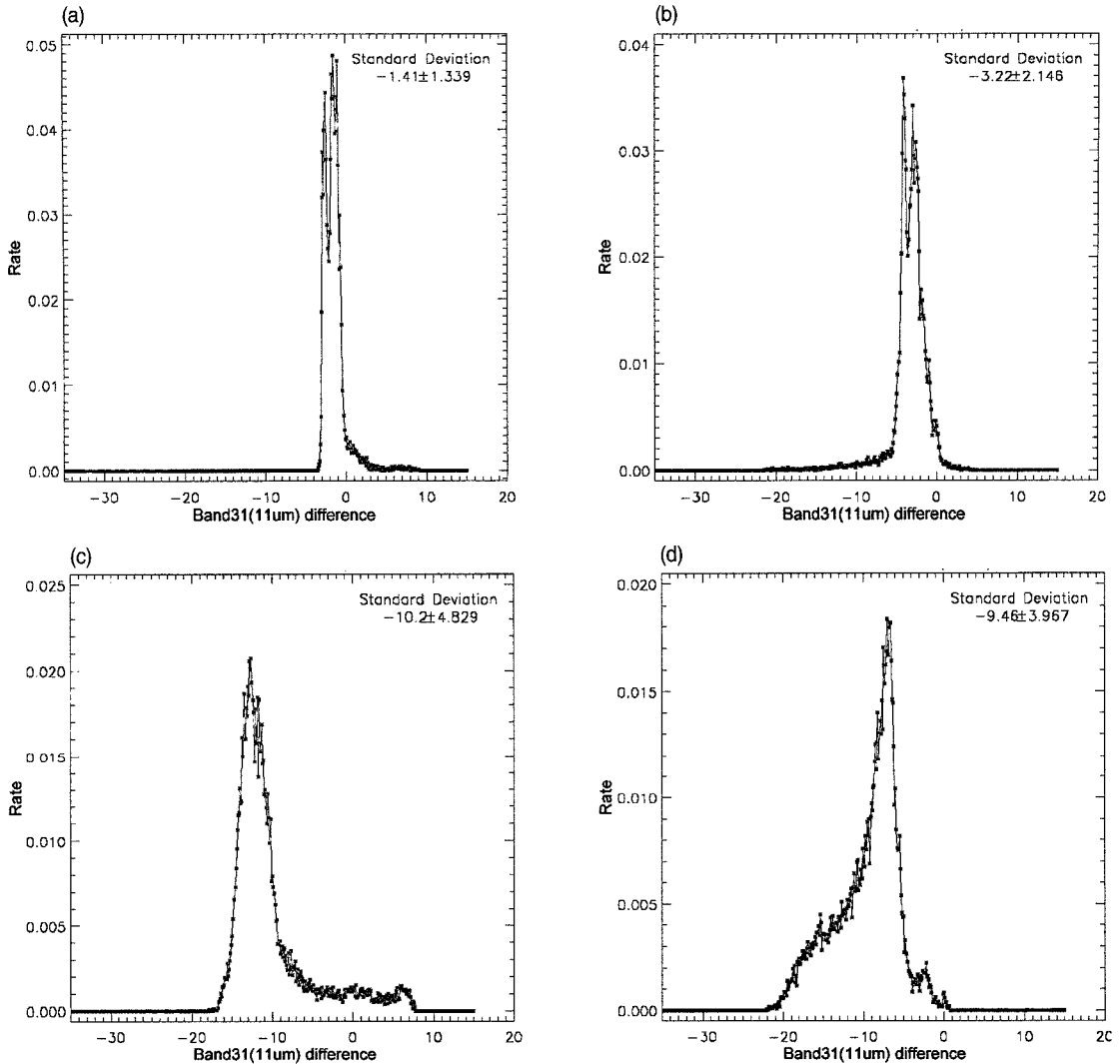


Fig. 5. The distribution of difference in the 11  $\mu\text{m}$  brightness temperature difference between fog area and clear area from MODIS satellite at (a) 0145 UTC 10 June 2004, (b) 0310 UTC 18 June 2006. (c) and (d) are same as (a) and (b) but for low stratus area at 0210 UTC 30 January 2004 and 0150 UTC 10 December 2004, respectively.

Table 3. The average of standard deviation of 11  $\mu\text{m}$  brightness temperature every 0.1° X 0.1° grid in target area on fog days and stratus days

Sea fog		Stratus days	
Case days	Average of standard deviation	Case days	Average of standard deviation
19 March 2001	0.186	3 January 2004	4.078
10 June 2004	0.301	30 January 2004	1.470
12 June 2004	0.151	9 March 2004	1.650
27 October 2005	0.787	10 December 2004	1.496
20 May 2006	0.318		
18 June 2006	0.551		

층운 사례의 결과를 비교해보면 안개의 경우 1.0보다 적게 나타나고 하층운의 경우 1.0보다 큰 값을 가진다. 이

것은 안개 표면의 높이가 매우 균일한 변화를 보이는 반면, 하층운은 안개와 달리 표면의 변화가 심하다는 것을

뜻한다. 따라서 이러한 표면 균질성은 안개와 하층운을 구별하는 척도로 이용될 수 있다.

### 3) 밝기온도차이를 이용한 안개와 하층운의 구별

3.7  $\mu\text{m}$  와 11  $\mu\text{m}$  밝기온도차이 (BTD)는 주·야간에 안개 또는 하층운 탐지에 유용하다. BTD 방법은 야간의 경우에 지표온도의 영향을 받지 않으므로 경계값이 뚜렷하게 나타난다. 주간인 경우에도 중·상층운의 제거만 선행된다면, BTD의 경계값을 이용하여 안개 또는 하층운을 탐지 할 수 있다. 하지만 단순한 경계값 방법만으로는 안개와 하층운의 구별은 불가능하다. 앞 결과 마찬가지로

본 절에서는 BTD 방법과 함께 안개와 하층운의 생성 특성을 이용하여 안개와 하층운을 구별하고자 하였다.

Fig. 6은 각각 안개지역과 하층운지역의 밝기온도 차이(BTD<sub>cloud</sub>)에서 주변 청정지역의 밝기온도 차이(BTD<sub>clear</sub>)를 뺀 값 (BTD<sub>cloud</sub> - BTD<sub>clear</sub>)의 분포도이다. Fig. 6(a)와 (b)를 보면 안개 사례의 BTD 분포는 20° K 근처에 최대빈도가 나타나는 정규분포에 가깝다. 또한 BTD의 최대값과 최소값 차이가 15° K 정도로 나타난다. 하지만 하층운 사례는 최대 빈도가 나타나는 BTD 값이 일정하지 않다(Fig. 6c와 d). BTD 최대값과 최소

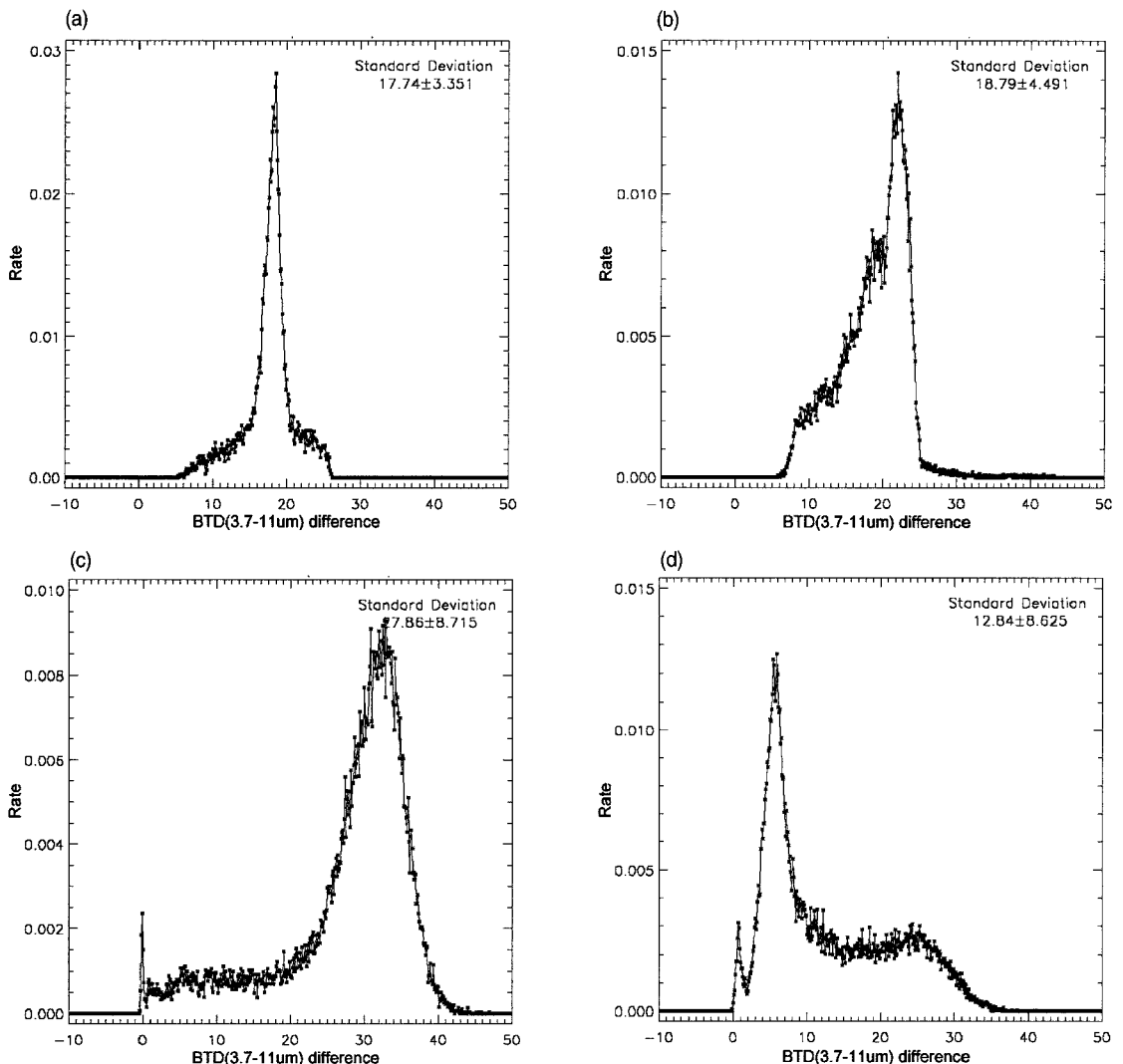


Fig. 6. The distribution of the difference in BTD between fog area and clear area from MODIS satellite at (a) 0145 UTC 10 June 2004, (b) 0310 UTC 18 June 2006. (c) and (d) are same as (a) and (b) but for low stratus area at 0210 UTC 30 January 2004 and 0150 UTC 10 December 2004, respectively.



Table 4. The average of standard deviation of  $11\mu\text{m}$  brightness temperature difference between  $3.7\mu\text{m}$  and  $11\mu\text{m}$  channel every  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  grid in target area on fog days and stratus days

Sea fog		Stratus days	
Case days	Average of standard deviation	Case days	Average of standard deviation
19 March 2001	1.350	3 January 2004	7.485
10 June 2004	1.424	30 January 2004	4.242
12 June 2004	1.445	9 March 2004	6.293
27 October 2005	2.644	10 December 2004	3.957
20 May 2006	1.601		
18 June 2006	1.913		

값의 차이는  $30 \sim 40^\circ\text{K}$  정도로 안개보다 넓은 범위를 가진다.

Table 4는 각각 안개와 하층운 지역의 밝기온도 차이 ( $BTD_{\text{cloud}}$ )를  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  영역의 격자별로 나누어 구한 표준편차들의 평균값을 제시한 것이다. 3.0을 경계로 안개는 그보다 낮은 값을 가지고, 하층운은 높은 값을 가지는 것을 볼 수 있는데, 안개는 하층운에 비해 표면이 균질한 분포를 보이기 때문이다. 또한 2005년 10월 27일 사례를 제외하면 2.0 이하의 낮은 값을 가지기 때문에 하층운과의 차이는 더욱 크게 나타난다.

#### 4. 결론

위성을 이용한 해무 탐지는 지상관측에 비해 시·공간적 제약이 적기 때문에 매우 유용하다. 하지만 하층운과의 구별이 여전히 어려운 문제로 남아있다. 기존의 연구에서는 안개와 하층운을 가시채널의 반사도, 적외채널의 밝기온도와  $3.7\mu\text{m}$  와  $11\mu\text{m}$ 의 밝기온도차이를 이용하여 탐지 하였지만, 안개와 하층운의 구별하기 위해 위성자료 이외에 지상관측자료와 같은 추가적인 자료가 필요하다는 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 MODIS 위성자료만을 이용하여 안개와 하층운을 구별하기 위한 방법을 제시하였고, 이 방법에는 해무와 하층운의 생성 특성의 차이가 적용되었다.

안개는 이슬점의 하강 또는 수증기의 유입과 약한 바람, 비교적 안정한 대기 조건에서 형성되어 운정고도가 매우 균일한 형태를 보이는 반면, 하층운의 형성의 대기가 불안정하여 바람이 강하고 대류현상이 발생하는 곳에서 형성되어진다. 이러한 현상의 강약은 위치에 따라

변하기 때문에 운정 고도가 균일하지 못한 형태를 만든다. 즉, 안개는 밝기온도 또는 밝기온도차이가 크게 차이가 없는 균일한 형태이지만, 하층운은 불균일한 형태이다. 이러한 특성을 이용하여 안개와 하층운의 구별 방법으로써 밝기온도와 밝기온도 차이( $BTD$ )의 표준편차 경계값 방법을 제시하였다. 해무와 하층운 지역의 밝기온도( $BT_{\text{cloud}}$ )와 밝기온도 차이( $BTD_{\text{cloud}}$ )에서 청정 지역의 밝기온도( $BT_{\text{clear}}$ )와 밝기온도차이( $BTD_{\text{clear}}$ )를 편값의 분포도를 각각 분석 하였다. 그 결과,  $BT_{\text{cloud}} - BT_{\text{clear}}$ 의 경우 안개 지역은  $0^\circ\text{K}$  근처에 대부분의 값이 분포 하였고, 하층운 지역은 더 넓은 범위에 걸쳐 분포한다.  $BTD_{\text{cloud}} - BTD_{\text{clear}}$ 의 분포는 안개 지역이  $20^\circ\text{K}$  근처에서 최대빈도가 나타나며,  $BTD$ 의 범위가  $15^\circ\text{K}$  이내이다. 하지만, 하층운의 경우 분포범위가 안개보다 넓다.

안개 지역과 하층운 지역의  $11\mu\text{m}$  밝기온도( $BT_{\text{cloud}}$ )와 밝기온도 차이( $BTD_{\text{cloud}}$ )에 대한  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  영역별 표준편차들의 평균값을 살펴보았다.  $BT_{\text{cloud}}$ 에 대한  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  영역 표준편차들의 평균값은 안개는 1.0이하이고, 하층운은 2.0이상이었으며,  $BTD_{\text{cloud}}$ 에 대한  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  영역 표준편차들의 평균값은 3.0을 경계로 안개와 하층운이 나뉘었다.  $BTD_{\text{cloud}}$ 와  $BTD_{\text{clear}}$  모두 안개 사례의 표준편차가 하층운 사례의 표준편차보다 낮으며, 이것은 안개가 균일한 분포, 하층운은 불균일한 분포를 보이기 때문이다.

본 연구에서는 MODIS 위성 자료로부터 해무와 하층운을 구별하기 위한 기존의 방법과 다른 새로운 방법을 제시하였다. 기존의 단순한 반사도, 밝기온도와 밝기온도차이 경계값 방법으로는 안개와 하층운을 구별하기 힘들지만, 본 연구의 안개와 하층운의 생성특성을 이용

한 분포도와 표준편차 경계값을 사용하면 구별이 가능하다. MODIS 위성이 한반도를 통과하는 시간은 오전 11시 ~ 오후 1시경으로 태양과 목표물 (해무나 하층운), 센서 간의 기하학적인 관계에 대한 오차가 크지 않기 때문에, 본 연구에서 제시한 임계값들을 사용하여 한반도 주변에서 발생하는 해무와 하층운을 효과적으로 분류할 수 있을 것이라 생각된다. 하지만 이 임계값들을 실제 해무 탐지, 예보에 적용하기 위해서는 더 많은 사례 연구를 통하여 이들 임계값의 정확도를 높여야하며, 안개와 하층운 사례를 분류하기 위한 방법도 더 세분화할 필요가 있다. 또한 0.1° 로 나눈 분석창의 크기에 따라 임계값이 다르게 나타나므로 그에 따른 차이가 정량적으로 분석되어야 할 것이다. 그러나 본 연구는 새롭게 발견된 해무와 하층운을 구별하는 방법이 적절한가에 대해 사례 연구를 한 첫 번째 선행 연구이기 때문에 상세한 임계값은 다음 연구를 통해서 제시될 것이며, 통계적 분석을 병행하여 신뢰도가 높은 임계값을 산출하는 연구를 진행해야할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

### 참고문헌

김문옥, 1998. 한반도 주변 해역의 해무 분포 특성, 전남대학교 석사학위논문.

허기영, 하경자, 2004. 한반도 연안 안개의 발생과 연관된 종관 기압계 분류, 한국기상학회지, 40(5): 541-556.

Ahn, M. H., E. H. Sohn, and B. J. Hwang, 2003. A new algorithm for fog/stratus detection using GMS-5 IR data, *Advances in Atmospheric Sciences*, 20(6): 899-913.

Anthis, A. I. and A. P. Cracknell, 1999. Use of satellite images for fog detection (AVHRR) and forecast of fog dissipation (METEOSAT)

over lowland Thessalia, Hellas, *Int. J. Remote Sensing*, 20(6): 1107-1124.

Bendix, J., B. Thies, and J. Cermak, 2003. Fog detection with TERRA-MODIS and MSG-SEVIRI, Proc. of 1983 Meteorological satellite users' Conference, Weimar, Germany, Aug. 31-Sep.2, 1983, 429-435.

Bendix, J., B. Thies, J. Cermak, and T. Naus, 2005. Fog detection from space based on MODIS daytime data - A feasibility study. *Wea. Forecasting*, 20: 989-1005.

Byers, H. R., 1959. *General Meteorology*, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill Book, NY, USA.

Cermak, J., B. Thies, and J. Bendix, 2004. A new approach to fog detection using SEVIRI and MODIS data, The 2004 EUMETSAT meteorological satellite conference.

Cermak, J. and J. Bendix, 2005. Fog / low stratus detection and discrimination using satellite data. *Proceeding of COST722 mid-term workshop on short-range forecasting methods of fog, visibility and low clouds*, 20 October 2005, Langen, Germany.

Cho, Y. G., M. O. Kim, and B. C. Kim, 2000. Sea Fog around the Korean Peninsula, *J. Appl. Meteor. Soc.*, 39: 2473-2479.

Ellrod, G. P., 1995. Advances in the detection and analysis of fog at night using GOES multispectral infrared imagery, *Weather and Forecasting*, 10: 606-619.

Eyre, J. R., J. L. Brownscombe, and R. J. Allam, 1984. Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) imagery, *Meteorological Magazine*, 113: 266-271.

Guidard, V. and D. Tzanos, 2005. Discrimination between fog and low clouds using a combination of satellite data and ground observations. *Proc. of COST722 mid-term workshop on short-range forecasting methods of*

- fog, visibility and low clouds*, 20 October 2005, Langen, Germany.
- Hahn, J. C., W. B. Rossow, and S. G. Warren, 2001. ISCCP cloud properties associated with standard cloud types identified in individual surface observations, *Journal of Climate*, 14: 11-28.
- Heo, K. Y., J. H. Kim, J. S. Shim, K. J. Ha, A. S. Suh, H. M. Oh, and S. Y. Min, 2008. A Remote Sensed Data Combined Method for Sea Fog Detection, *Korean Journal of Remote Sensing*, 24(1): 1-16.
- Lee, T. F., F. J. Turk, and K. Richardson, 1997. Stratus and Fog Products Using GOES-8-9 3.9- $\mu\text{m}$  Data, *Weather and Forecasting*, 12: 664-677.
- Roach, W. T., 1994. Back to basics: Fog: Part 1 - Definitions and basic physics, *Weather*, 49: 411-415.
- Wallace, J. M. and P. V. Hobbs, 1977. Atmospheric Science - An Introductory Survey. Academic Press, NY, USA.
- Wheeler, M. M., M. K. Atchison, R. Schumann, G. E. Taylor, J. D. Warburton, and A. Yersavich, 1993. Analysis of Rapidly Developing Fog at the Kennedy Space Center 1986 - 1990 Final Report, ENSCO, Inc., Florida, USA.
- Yamanouchi, T., K. Suzuki, and S. Kawaguchi, 1987. Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65: 949-961.
- Yoo, J. M., Y. M. Kim, M. H. Ahn, Y. S. Kim, and C. Y. Chung, 2005. Characteristics of MODIS Satellite Data during Fog Occurrence near the Incheon International Airport, *Jour. Korean Earth Science Society*, 26(2): 149-159.