

청천복사합성도 및 GMS-5 휘도 온도를 이용한 해무 탐지 사례 연구

손 은하, 황 병준, 안 명환, 서 애숙, 김 금란*, 김 영화*
기상청 기상연구소 원격탐사연구실, *기상청 예보국 위성담당관실
mhahn@kma.go.kr, +02-841-2786

1. 서 론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리 나라는 복잡한 해안선과 빈번한 해상교통으로 인하여 해양 기상의 중요성이 매우 크다. 특히 해무는 시정 악화의 요인으로 해난 사고의 위험을 가지고 있기 때문에 해무에 대한 관측과 예측은 필수적이라 할 수 있다. 우리나라에서의 해무에 대한 연구들은 선형회귀분석방법을 통한 통계적 분석이 주를 이루고 있는데 김문옥(1998)은 한반도 전 해상을 대상으로 해역별 발생빈도와 그 발생 기작에 대한 통계적 결과를 보여주었다. 과거 해무에 관한 통계적 분석에 따르면 한반도 연안의 해무는 주로 이류무와 전선무가 주축을 이루고 있는데, 서해상의 해무는 같은 위도상의 동해보다 해수면 온도가 낮다. 그 이유는 난류의 유입이 적고 겨울철 찬 대륙성 기단의 영향이 우세하기 때문이다(조혜경, 1996). 이러한 중관 기상장의 특성을 가지면서 서해 해무 발생 빈도는 3월부터 점차 증가하여 7월에 최대 빈도를 나타내고 8월에 들어서는 급격히 감소하는데, 이는 비열이 큰 해수면 온도가 느리게 상승하여 해양-대기간의 온도차(2~3°C)가 증가하는 것과 관련이 있다. 동해상 해무는 오호츠크해에서 냉각된 차가운 공기가 남쪽으로 유출되면서 해양상에서의 기단 변질로 인하여 발생하며 남해상 해무는 이동성 고기압 후면과 기압골 전면에 위치하여 남서풍이 유입될 때 그리고 북태평양 고기압이 일본 남쪽해상까지 진출하여 우리나라에 몬순형 기류가 유입할 때 해기차가 생기면서 다른 기상요소(풍속, 풍향)와 복합적인 작용을 일으켜 발생한다. 이러한 통계적 분석은 현재 지속적인 관측이 이루어지지 않고 있고 해상 관측 지점수와 관측범위가 해무의 발생과 소산 등의 물리적 메커니즘을 설명하기란 어려운 실정이다.

한편, 해무 관측과 더불어 수치 모델 시뮬레이션을 이용하여 해무 모사가 연구되어져 오고 있으며(김해동, 1997 ; 안중배, 1999) 최근 해상 관측의 어려움과 자료부족을 극복하기 위해 단시간 광역적인 관측이 가능한 NOAA AVHRR DCD(Dual Channel Difference)방법을 이용한 해무 탐지가 수행되어져 오고 있다(김영화, 1997 ; Tomas *et al*, 1997 ; Eyre, 1984). 이 방법은 적외 채널3과 적외 채널4의 방출률 차를 이용한 것으로 수치모델 자료의 고도할당으로 gross cloud check를 하고 DCD의 범위가 -9.5K에서 -3K 일 때 해무역으로 판단한다. 그러나 NOAA는 연속적인 해무 탐지가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 GMS-5(Geostational Meteorological Satellite -5)자료를 이용한 연속적인 해무 탐지를 위한 새로운 기법으로 관측값과 청천복사합성도를 비교하여 안개를 탐지하는 방법을 개발하였으며 이를 이용한 해무 사례 연구를 수행하였다.

제2장에서는 해무 탐지를 위해 사용한 자료와 그 방법에 대하여 서술하였고 제 3장은 연속적인 해무 탐지 사례를 분석하였으며 끝으로 제4장에서는 탐지된 해무역에 대한 검증을 수행하였다.

2. 자료 및 방법

GMS-5는 정지기상위성으로 매시간 관측 자료를 제공하기 때문에 실시간 해무역 탐지와 감시에 유용하다. 본 연구에서는 1999년 5월 한달 동안 1시간 간격의 자료로 GMS-5의 적외 1채널인 $10.5\mu\text{m}\sim 11.5\mu\text{m}$ 의 파장대의 휘도온도값을 사용하였다. 해무 탐지역은 한반도 주변 해상역을 중심으로 북위 $30\text{N}\sim 45\text{N}$, 동경 $120\text{E}\sim 140\text{E}$ 를 대상으로 하였다. GMS-5 적외 자료를 이용한 안개탐지는 Tokuno(1996)각 5×5 화소의 휘도온도값의 공간적인 분산정도를 이용하여 시도된 바 있다. 이 방법은 일본 기상센터(MSC)에서 운형 분류의 한 부분으로 이루어졌는데 한반도와 같은 국지적인 해무 특히 서해 해무 탐지에는 한계점을 보였다(기상연구소, 1998). 따라서 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해 새로운 알고리즘을 개발하였다. 이 새로운 알고리즘의 개념은 위성에서 관측되는 휘도 온도값은 대기중 수증기 또는 에어로졸의 영향(I_{atm}) 및 해수면의 온도(I_{sea})를 포함한 위성의 관측오차의 영향이 모두 반영되어진 값이다. 따라서 해무 발생시 해상의 수증기의 영향으로 위성에서 관측되는 휘도 온도값은 맑은날 해수면에 대한 휘도 온도값보다 낮게 된다. 이러한 개념에서 본 연구에서는 STCM(Spectral Temporal Cherence Method)을 이용하여 청천복사합성도를 개발하여 해무 탐지의 경계값으로 설정하였으며 MODTRAN(Moderate Resolution Transmittance)모델을 이용하여 구름 가장자리를 제거한 후 한반도 주변해역의 해무를 탐지하였다. 여기서, STCM을 이용한 청천 복사합성도는 해무 탐지 대상 시간 전 일주일 동안의 적외 1채널 휘도 온도의 시·공간적 분포 특성을 고려한 고유한 청천 휘도온도값으로 정의된다.

3. 사례 분석

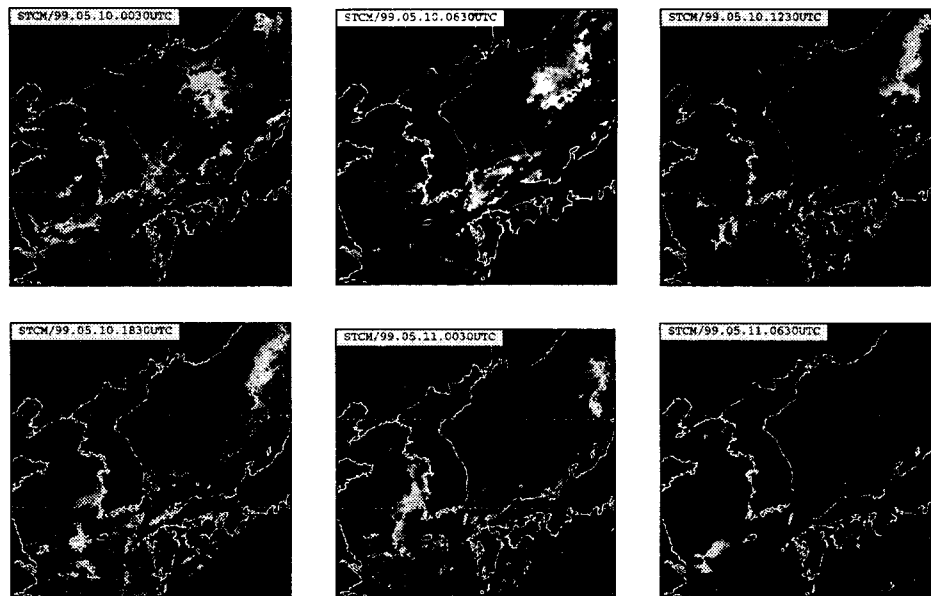
사례분석은 새로운 알고리즘의 청천복사합성도를 이용한 방법(STCM)을 이용한 연속적인 해무 탐지 결과와 주간에는 지표 알베도 경계값 방법(SATM, Surface Albedo Threshold Method), 야간에는 NOAA DCD방법과 비교하는데 초점을 두어 실시하였다. Fig. 1은 STCM을 이용해서 5월 10일 0030UTC에서 5월 12일 2330UTC까지 6시간 간격으로 해무를 탐지한 영상들이다. 또한 0030UTC에서 지구알베도 경계값을 적용한 영상과 1830UTC에서 NOAA DCD방법을 적용한 영상과 비교하였다(Fig. 2 & Fig. 3). 먼저 5월 10일 0030UTC부터 탐지된 동해 북서부 지역의 해무역은 시간이 지남에 따라 점차로 북동쪽으로 이동해 가면서 남북으로 길게 퍼지다가 11일 0030UTC에는 거의 사라진다. 그리고 군산 앞 바다를 중심으로 해무역이 계속해서 발달되다가 11일 0030UTC에는 경기만 부근까지 확장되다가 점차로 해안선에 수평하게 남북으로 길게 분포하다 11일 0630UTC에는 거의 사라졌다. 그리고 11일 1330UTC에 중국 상하이 부근 해역에서 해무가 생성되어 북서쪽으로 이류해 오다 12일 0030UTC에 목포 부근까지 이류하였다. 12일 0030UTC부터 서해안의 해안선을 따라서 남북으로 길게 해무역이 자리잡는 것을 알 수 있다. STCM을 이용한 해무 탐지는 SATM방법을 이용한 탐지 결과보다 상대적으로 작은 영역을 탐지하는 것을 알 수 있다. 12일 1830UTC부터 서해안을 따라서 수평하게 해무역이 길게 확장되어 2330UTC까지 지속된다.

주간인 경우 SATM과 STCM의 결과를 비교한 결과, 10일은 동해 북서부, 서해 남부와 대한해협에 탐지된 해무역은 두 방법에서 일치하였고, 다만 STCM이 발해만에서 과

도한 탐지를 하였다. 11일 서해안에 길게 자리잡은 해무역과 동해 북동부에 탐지된 해무역은 두 방법 모두 일치하였지만, STCM이 다소 적게 탐지하는 경향을 보였다. 12일 0030UTC에 서해안에서 제주도 남부까지 길게 퍼진 해무역이 점차로 감소하는 경향은 두 방법이 일치하였다.

야간의 경우 STCM과 NOAA DCD의 결과를 비교한 결과, 10일 1930UTC의 경우, 한반도 중서부 해역에 썩기 형태의 해무역과 제주도 동부에서 탐지된 해무역이 잘 일치한다. 하지만 서해 북부 일부와 동해 원산만 부근해역에는 NOAA DCD에서 존재하지 않는 해무역이 탐지되었다. 동해 원산만 부근에 탐지된 비정상적인 해무역은 그 지점의 해양 소용돌이 이동으로 인한 해수면 온도의 시간에 따른 급격한 변화에 기인한다고 사료된다.

동해 남부에 동서 방향으로 길게 퍼진 해무역의 탐지는 STCM을 통해서 제거되지 못한 구름의 가장자리가 그대로 반영된 결과이다. 11일은 서해 남부에서부터 제주도 서쪽 지역까지 길게 늘어선 해무역이 두 방법에서 모두 탐지되었다. 하지만 STCM을 이용한 경우는 동해의 군데군데에서 비정상적인 해무역이 탐지되었다. 12일은 STCM을 이용한 해무탐지 결과 서해 북부와 동해 북동부에 구름 가장자리로 추정되는 비정상적인 해무역이 탐지되었고, 서해 중부 해역에 NOAA DCD에 비해 작은 영역의 해무역이 탐지되었다.



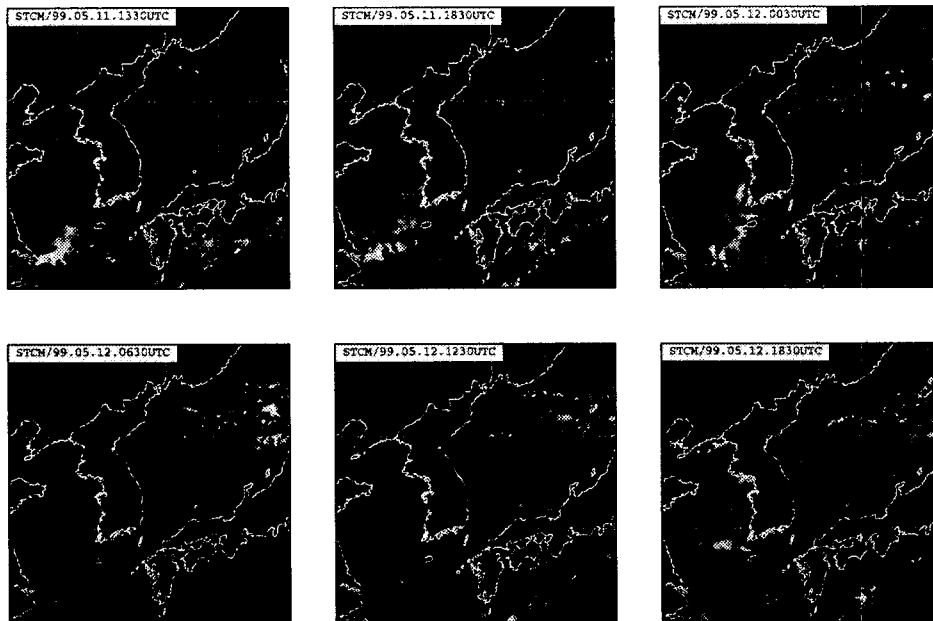


Fig. 1. Sea fog detection by using STCM at 0030UTC, 0630UTC, 1230UTC and 1830UTC from May. 10. 1999 to May. 12. 1999.

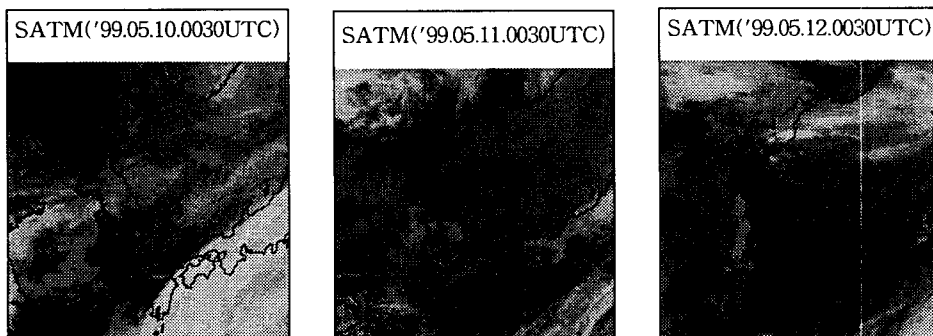


Fig. 2. Sea fog detection by using SAM at 0030UTC from May. 10. 1999 to May. 12. 1999.

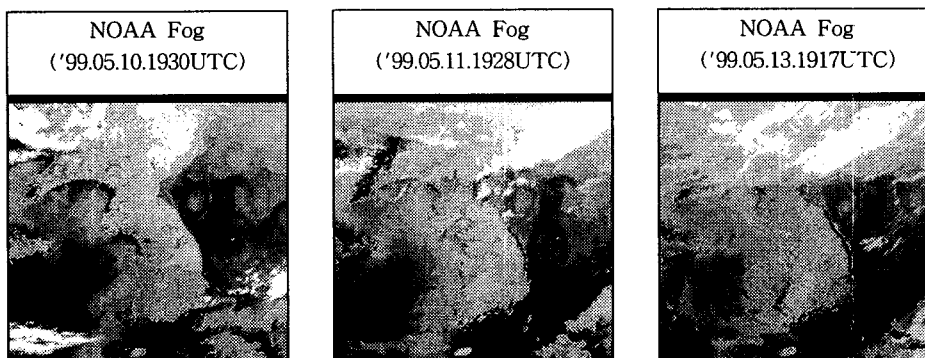


Fig. 3. Sea fog detection using NOAA DCD at 19UTC from May 10 to May. 12 1999.

4. 검 증

해무 탐지 결과의 정확도를 검증하기 위한 보다 직접적인 방법은 실측자료와 비교하는 것이다. 실측 자료중에 해무 탐지 검증을 위해서 시정자료와 상대습도 자료가 유용한데 본 연구에서는 4개소의 항공기상 관측지점(Fig. 4)중 목포 항공기상 관측지점의 시정 및 상대습도 자료를 이용하였다.

Fig. 5는 목포공항의 항공 관측지점의 시정 및 상대습도의 시계열을 보여준다. 목포 공항 관측소의 시정은 11일 1800UTC부터 급격히 악화되다가 12일 0030UTC에는 5km 이상으로 좋아졌다. 이것은 STCM을 이용한 해무 탐지 영상과 비교하여 보면, 11일 1830UTC부터 남서쪽에서부터 이류해 오는 해무역과 목포 북쪽에서 발달하기 시작한 해무역이 합쳐지기 시작하여 이 해무역이 2330UTC에 가장 크게 확장되다가 13일 0030UTC부터 감소하기 시작하는 것과 잘 일치하였다.

Fig. 6은 목포 항공 관측지점 부근 해역의 네 개의 지점을 선택하여 STCM을 이용한 해무 탐지시 청천 휘도온도와 적외1채널의 휘도온도의 차이를 나타내었다. 그림에서 해무가 존재할때만 차이값을 표시하였는데, 10일, 11일, 12일의 1830UTC부터 2330UTC까지 해무가 존재하며, 그림의 목포 시정자료와 비교할 때 매우 잘 일치하였다. 특히 목포 관측소의 시정이 가장 악화될때의 두 휘도온도의 차이값은 2.0~2.7℃의 값을 가졌다.

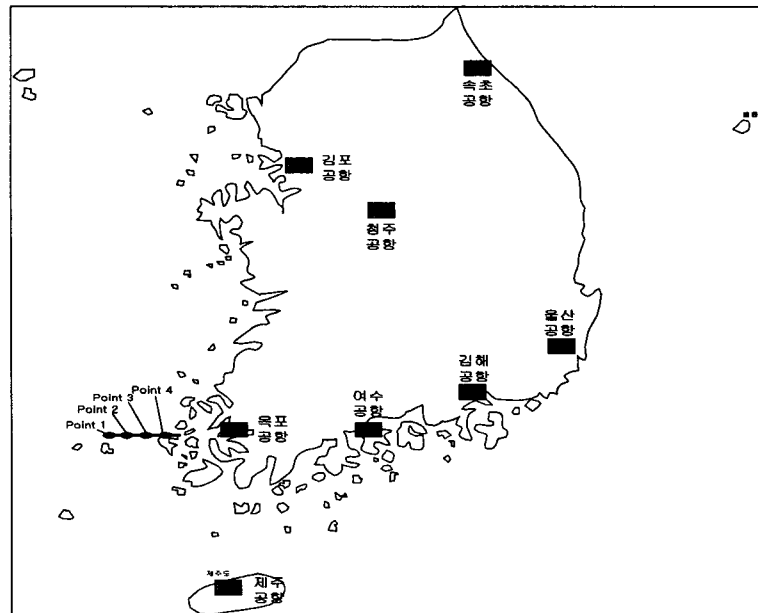


Fig. 4. The location of airport observation stations of Korea

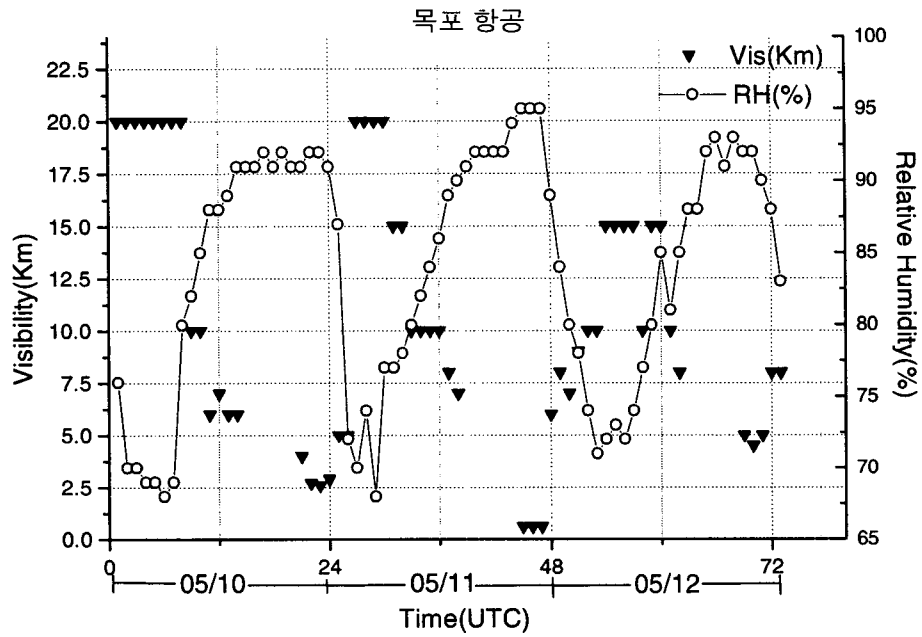


Fig. 5. The hourly visibility and relative humidity observed at the Mokpo Airport Observation Station during from May 10 to May 12, 1999.

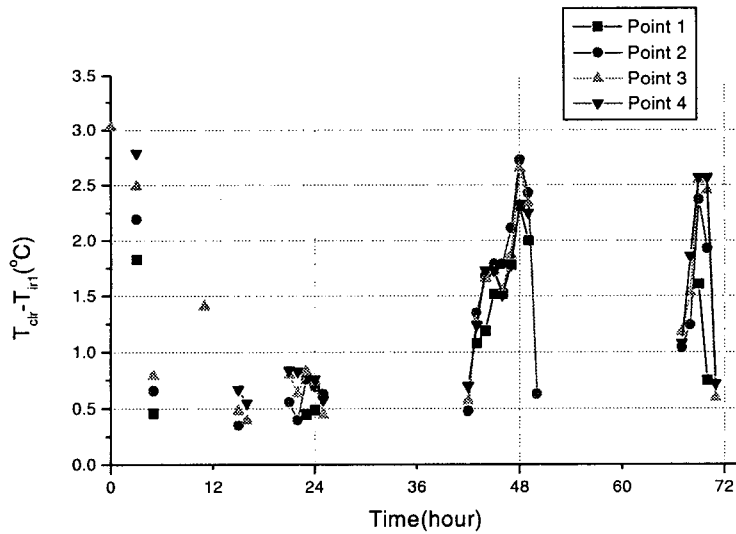


Fig. 6. The mean brightness temperature difference between the clear sky and infrared channel 1 for 4 pixels near the Mokpo Airport Observation Station as a function of time (from May 10 0030 UTC to May 12).

5. 결 론

본 연구에서는 연속적인 해무 탐지를 위해 새롭게 개발되어진 STCM 방법을 적용한 3일 동안의 연속 해무 탐지 사례를 살펴보았다. 10일은 동해 북동부 서해남부의 해무역이 11일은 서해안과 동해 북동부의 해무역, 그리고 12일은 서해안에 길게 퍼진 해무역이 두 방법에서 모두 잘 탐지되었다. STCM은 동해와 발해만에 비정상적인 해무역이 탐지되었고 SATM에 비해 탐지된 해무역의 크기가 줄어드는 경향을 보였다. 실측 자료와의 비교를 위해 목포 항공기상 관측소의 시정과 상대습도와 비교한 결과 11일의 1930UTC 이후의 급격한 시정악화와 STCM을 이용한 해무 탐지가 좋은 상관성을 보였다. STCM은 아직 청천복사합성도 산출시 지속적으로 존재하는 구름역으로 인한 청천 휘도온도의 감소를 보완해야하며, 특히 조각 구름(broken cloud)이나 구름 가장자리로 인한 해무역의 잘못된 추정을 줄여야 한다.

사 사

이 연구는 기상연구소 2000년도 기본연구과제 '위성자료 처리기술(I)'의 일환으로 수행된 것이다.

참 고 문 헌

- 기상연구소, 1998 : GMS-5자료를 이용한 해무탐지 연구(I), 기본연구보고서
- 김영화, 김진철, 김금란, 이희훈, 이미자, 1997 : NOAA/AVHRR 적외차 자료를 이용한 야간 안개 및 하층운 탐지. *J. Atmospheric Research*.14(1), 15-19
- 김해동, 1997 : 초여름 한반도 동해안의 해무 발생에 관한 수치실험. *한국기상학회지*, 33(2), 337-348.
- 김문옥, 1998 : 한반도 주변 해역의 해무 분포 특성, 전남대학교 석사학위 논문. 64pp.
- 안중배, 이해진, 서장원, 1999 : 동해상 해무의 열적 연직구조 특성에 관한 모형 연구. 한국기상학회 가을 발표회, 기상청
- 조혜경, 1996 : 영종도를 중심으로 한 황해 연안 지역의 안개 연구. 서울 대학교 석사학위논문, 73 pp.
- Eyre, J. R., J. L. Brownscombe, and R. J. Allam, 1984 : Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer(AVHRR) imagery. *Meteorol. Mag.*, 113, 265-271.
- Tokuno, M and R. Kumabe, 1996 : Satellite Nephanalysis Information Chart(SNIC). *氣象衛星 センタ - 技術報告特別号*, 119-138
- Tomas, F. L., T. Joseph and R. Kim, 1997 : Stratus and fog products using GOES-8-9 3.9 μ m data. *Weather and Forecasting*, 12, 664-677.