

GMS-5 IR1 밝기온도와 AWS 강우량의 관계성 : 1998년 8월 중서부지역 집중호우 사례

권 태 영

강릉대학교 대기환경과학과

The Relationship between *GMS-5 IR1* Brightness Temperature and *AWS* Rainfall : A heavy rain event over the mid-western part of Korea for August 5-6, 1998

Tae-Yong Kwon

Dept. of Atmospheric Environmental Sciences, Kangnung National University

Abstract : The relationship between *GMS-5 IR1* brightness temperature (CTT: cloud top temperature) and *AWS* (automatic weather station) rainfall is investigated on a heavy rain event over the mid-western part of Korea for August 5-6, 1998. It is found that a temporal variability of the heavy rain can be described in detail by the time series of rain area and rain rates over the study area that are calculated from *AWS* accumulated rainfalls for 15 minutes. A time period of 0030 – 0430 LST 6 August 1998 is chosen in the time series as a heavy rain period which has relatively small rain area (20~25%) and very strong rain rates (6~9 mm/15 min.) with a good time continuity. In the heavy rain period, CTT of a point and *AWS* 15-minute rainfall beneath that point are compared.

From the comparison, *AWS* rainfalls are shown to be not closely correlated with CTT. In the range of CTT lower than -50°C where most *AWS* with rain are distributed, the probability of rain is at most about 30%. However, when the satellite images are shifted by 2~3 pixels southward and 3 pixels westward for the geometric correction of images, *AWS* rainfalls are shown to be statistically correlated with CTT (correlation coefficient: -0.46). Most *AWS* with rain are distributed in the much lower CTT range (lower than -58°C), but there is still not much change in the rain probability. Even though a temporal change of CTT is taken into account, the rain probability amounts to at most 50~55% in the same range.

Key Words : *GMS-5 IR1* brightness temperature, *AWS* rainfall, heavy rain

요약 : 한반도 중서부 지역의 1998년 8월 5~6일 집중호우 사례에 대하여 *GMS-5 IR1* 밝기온도 (CTT: 구름꼭대기 온도)와 *AWS* 지점 강우량 사이의 관계성을 조사하였다. 이 연구에서 *AWS* 시간 강우량이나 반시간 누적 강우량 보다 15분 누적 강우량을 이용하였을 때 연구지역의 강우강도와 강우영역이 중서부 지역 집중호우의 시간적 변화를 보다 자세히 묘사하고 있음을 발견하였다. 강우영역과 강우강도의 시계열 자료에서 일관되게 낮은 강우영역(20~25%)과 강한 강우강도(6~9

mm/15 min.)를 보여주는 8월 6일 0030-0430 LST 기간을 집중호우 기간으로 선택하였다. 그리고 이 집중호우 기간에 대하여 AWS 15분 강우량과 지상관측지점에 대응되는 CTT를 비교하였다.

위 비교에서 CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수는 -0.3으로 낮게 나타났으며, 강우가 관측된 AWS의 대부분이 분포하고 있는 CTT가 -50°C 이하에서 강우확률은 약 30%에 불과했다. 그러나 위성영상의 위치 보정을 위하여 영상을 남쪽으로 2~3 격자 그리고 서쪽으로 3 격자 이동시켰을 때 CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수는 통계학적으로 의미있는 -0.46으로 나타났다. 그리고 강우가 관측된 AWS도 대부분이 보다 낮은 CTT 영역 (-58°C 이하)에서 발견되었다.

그러나 이 영역에서의 강우확률은 원래 영상의 값과 비교할 때 큰 변화가 없었다. 심지어 일부 구간에서 CTT의 변화를 고려할 때도 강우확률은 CTT가 -58°C 이하에서 50~55%로 나타났다.

1. 서론

한반도 지역의 1998년 8월의 집중호우는 심각한 피해와 빈번한 발생으로 여름철 날씨의 새로운 그리고 주목해야 할 유형으로 기록되고 있다. 집중호우의 특성은 비교적 단시간에 좁은 지역에서 기록적인 강우를 보인다는 것이다. 이러한 특성 때문에 집중호우에 대한 관측과 이해는 매우 제한되어 있으며, 현실적으로 정확한 예보를 하는데 어려움이 있다. 일반적으로 집중호우의 관측에는 레이다 자료의 도움과 함께 지상 관측소의 우량계 자료가 사용되고 있다. 특히 레이다는 몇백 km 범위에서는 훌륭한 강우관련 자료를 제공한다고 알려져 있다. 이 연구에서는 레이다 자료의 보완과 보다 넓은 지역의 관측을 위해서 위성 자료의 활용을 검토하고자 한다. GMS-5 위성은 집중호우 관측에 있어 다른 위성과 비교할 때 보다 적합한 시간적/공간적 분해능(시간적으로 빈번한 관측과 상대적으로 공간적 분해능이 높은 관측 능력)을 보유하고 있다. 공간 분해능이 적외선 채널의 경우 위성 직하점에서 약 5 km이고 그리고 매시간 위성관측자료를 제공하고 있다. 따라서 GMS-5 위성영상을 이용한 강우량 추정 은 집중호우의 관측에 상당한 도움이 될 것으로 예상된다.

몇몇 연구는 대류운의 경우에 있어 지상관측소의 강우율과 이에 대응되는 위성의 가시광선 혹은 적외선 관측자료 사이에는 밀접한 관련성이 없음

을 보고하고 있다(서애숙 외, 1994; Lovejoy and Austin, 1979; Weiss and Smith, 1987). 반면 구름의 면적 그리고 그 면적의 변화는 총강우량과 밀접하게 연관되어 있다고 보고하고 있다(Griffith et al., 1978; Stout et al., 1979; Lovejoy and Austin, 1979). 가시광선과 적외선 위성영상으로부터 강우량을 추정하는 방법은 간접적인 방법이다. 위성 관측이 강우와 관련된 구름의 밝기와 구름꼭대기의 온도는 탐지할 수 있으나 빗방울 그 자체를 탐지할 수는 없기 때문이다. 따라서 가시광선 혹은 적외선 관측자료와 강우량 사이의 관계는 시간·공간 규모, 연구지역, 구름의 종류, 구름의 발달 상태 등에 따라 변화할 수 있다. 몇몇 연구는 지점 강우량의 추정을 위하여 특정 지역의 기압 시스템과 구름 종류에 따른 추정기법을 적용하며(Delbeato and Barrell, 1985), 또한 구름 꼭대기의 온도, 구름의 성장률, 구름의 합병, overshooting tops 등 구름과 관련된 다양한 정보를 포함하기도 한다(Scofield, 1987). 한편 Adler et al.(1984)과 Heymsfield and Blackmer(1988) 등은 뇌우의 탐지 및 뇌우 구름의 특성 분석을 위하여 정지궤도 위성의 적외선 영상을 이용하였다.

이 연구에서는 집중호우 시에 위성 영상을 이용한 지점 강우량의 추정을 위하여 GMS-5 IR1 밝기온도와 지점 강우량의 관계성을 조사하였다. 특별히 위의 관계성 조사는 구름의 종류와 구름의 발달 상태에 기인하는 변화를 줄이기 위하여 아주

제한된 집중호우 기간에 수행하였다. 사례 연구로 1998년 8월 5-6일 한반도 중서부 지역에서 발생한 집중호우를 선택하였으며, 8월 6일 0030-0430 LST 기간을 엄격히 제한된 의미의 집중호우 기간으로 정의하였다. 집중호우 기간의 선택은 본문에서 자세히 언급된다.

위성의 밝기온도와 지점 강우량은, 이들 두 가지 자료를 관측하는 방법이 매우 상이하다는 점에서, 직접 비교에는 어려움이 있다(Ha, 1998; Kidder and Vonder Haar, 1995). 관측 방법에 있어 주된 차이점의 하나는 지점 강우량이 시간적으로 연속적인 관측인 반면, 위성 관측은 한 순간(snapshot)의 관측이라는 점이다. 그리고 다른 하나는 지점 강우량이 한 지점, 즉 한 점에 대한 관측인 반면, 위성은 위성의 시야각 내에 있는 면적 평균을 관측한다는 점이다. 이 연구에서는 이러한 차이점을 고려하여 지점 강우량은 1분 강우량으로부터 계산된 비교적 짧은 시간 동안의 누적 강우량을 사용하였다. 그리고 IR1 밝기온도와 지점 강우량 사이의 관계성은 위성영상의 위치 오류와 강우의 지연현상 등을 고려하여 분석되었으며, 또한 IR1 밝기온도의 변화와 지점 강우량 사이의 관계성도 조사하였다.

2. 사용된 자료 및 방법

한반도 중서부지역의 1998년 8월 집중호우는 5일 오후 3시부터 경기도 강화에서 시작되어 6일 오후 1시까지 경기북부와 강원북부 지역에 최대 620 mm의 강우를 기록하였다. 지상 일기도 8월 5일 12 UTC에서 한반도는 만주 지역의 저기압과 열대해양성 고기압 사이에 위치하고 있으며, 약한 기압골이 한반도 중부 지역을 통과하고 있다(Fig. 1). 중국 남부지역에는 태풍 Otto가 열대성 저기압으로 변화하고 있으며, 태풍으로부터 유입되는 강한 남서류에 의한 습윤역이 설상으로 중부지역에 접근하고 있다. 위성영상에서는 09 UTC에 태풍 전면으로부터 서해 중부해상을 연결하는 선상으

로 대류운이 발달하고 있으며, 그 이후 중부지역에서 적란운이 계속 발달하고 있다(정태천, 1998). 그리고 이러한 적란운은 경기 북부 지역을 중심으로 나타난 여러 개의 강수 세포와 연관되어 있을 것으로 예상된다.

이 연구에서는 중서부지역 집중호우의 시간적 변화과정을 자세하게 묘사하기 위하여 연구지역을 자동기상관측소(Automatic Weather Station, AWS)가 비교적 조밀하게 분포하고 있는 경기도, 서울, 인천을 포함하는 중서부지역으로 선택하였다. 연구지역 내의 79개 기상청 AWS는 서울지역에 상대적으로 조밀하게 분포되어 있으며, 그 외 지역에서는 대략적으로 균일하게 분포되어 있다(Fig. 2). 기상청 AWS 강우자료와 관련하여 박중서 등(2000)은 자동 강우관측장비와 재래식 강우관측장비의 관측자료 비교에서 측기의 센서간에 계통적 오차는 크지 않으며, 자동관측 강우자료의 이용시 기후 자료의 연속성에서도 크게 문제가 없다고 보고하였다. 기상청 AWS 강우 자료는 1분 자료로 저장되어 있으며, 집중호우의 묘사 능력을 시험하기 위하여 다양한 시간대의 누적강우량을 계산하였다. 그리고 이들 누적 강우량으로부터 계산된 연구지역의 강우영역과 강우강도에 대한 시계열 자료를 분석하였다. 이 분석에서 집중호우의 시간적 변화를 묘사하는데 있어 15분 누적 강우량으로부터 계산된 강우영역과 강우강도가 시간 강우량이나 반시간 누적 강우량으로부터 계산된 값보다 적합하다는 것을 발견하였다. 여기서 강우영역은 AWS의 공간분포가 균일하다고 가정하고, 79개 지점 가운데 15분 동안에 강우가 나타난 지점의 비율(백분율)로 계산하였다. 그리고 강우강도는 79개 지점 15분 누적 강우량의 총 합을 강우가 나타난 지점 수로 나누어 계산하였다. 계산된 강우영역과 강우강도의 시계열 자료는 각각 비가 내린 대략적인 면적과 비가 내리는 상태의 강도를 나타낸다.

Fig. 3은 한반도 중서부 지역의 1998년 8월 5일 1200 LST에서 6일 1200 LST까지 24시간 동안의 강우영역과 강우강도의 시계열을 보여준다. 강우

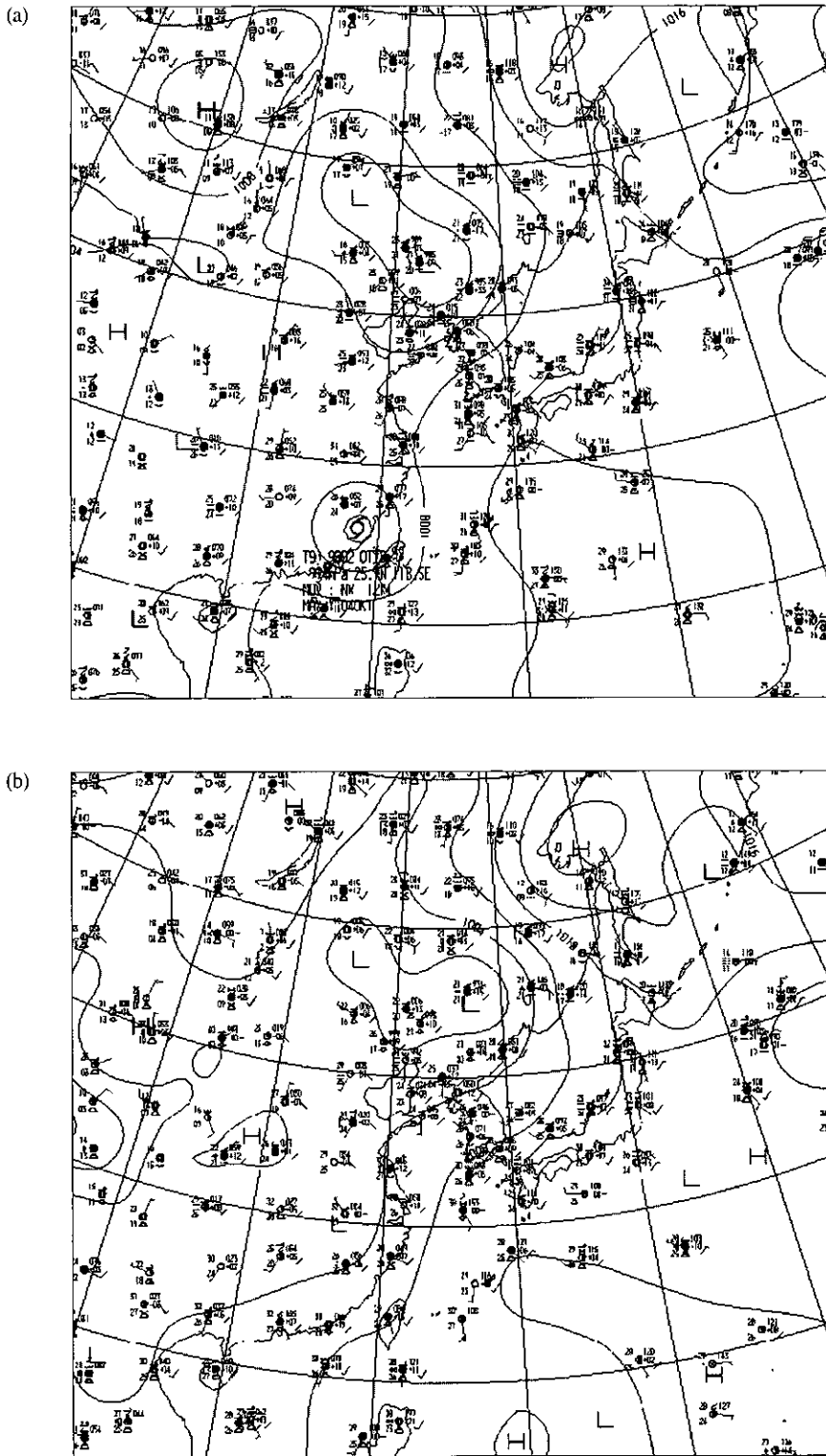


Fig. 1. Surface pressure map on (a) 00 UTC and (b) 12 UTC 5 August, 1998.

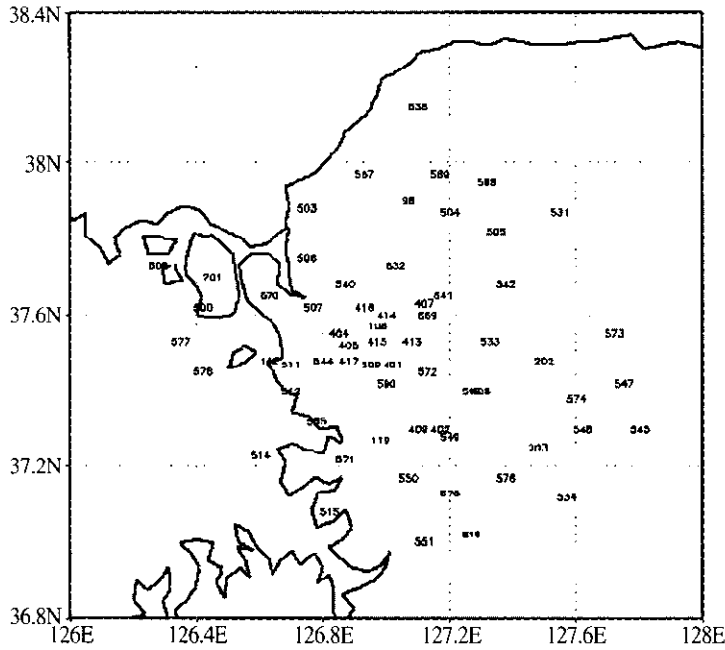


Fig. 2. Location of AWS used in this study.

영역은 5일 1830-2100 LST의 2시간 30분 동안과 6일 0500-1000 LST의 5시간 동안의 두 기간에서 약 50% 이상으로 나타난다. 그리고 강우강도는 5일 1900과 6일 0730 LST 부근에서 약 7 mm/15 min.이며, 특히 6일 0030에서 0530 LST까지 약 5시간 동안에는 강우강도가 6~9 mm/15 min.로 지

속적으로 강한 강우강도가 나타난다. 이들 분석결과로부터 한반도 중서부 지역의 24시간 강우는 뚜렷한 3개의 event로 나누어 해석될 수 있을 것이다. 3개의 event는 각각 5일 1800-2100 LST의 3시간 동안과 6일 0600-1000 LST의 4시간 동안 그리고 6일 0030-0430 LST의 4시간 동안의 기간

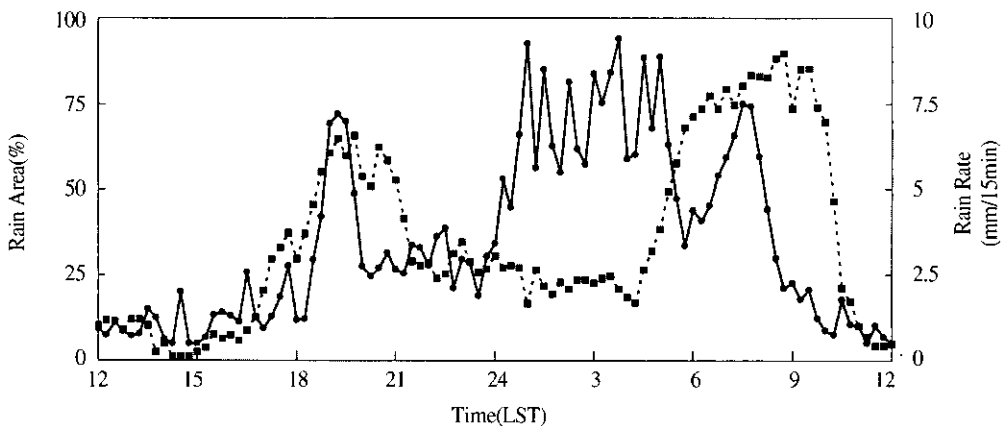


Fig. 3. Rain area (dashed line) and rain rate (solid line) calculated from the 15-minute rainfalls over the study area for the time period from 1200 LST 5 August to 1200 LST 6 August 1998.

으로 나눌 수 있다. 첫 번째와 두 번째 event(5일 1800-2100 LST와 6일 0600-1000 LST)는 전형적인 적운의 발달과정과 잘 일치하고 있다. 즉 적운이 성장하는 초기에는 구름양이 증가하면서 강우강도가 증가하게 되고, 적운이 발달한 후에는 강우강도가 먼저 감소하고, 그리고 1~2 시간 후에 구름양이 감소하는 소멸과정을 잘 보여준다. 그러나 세 번째 event(6일 0030-0430 LST)는 앞의 경우와는 다르게 전체 기간에 걸쳐 일관되게 낮은 강우영역(20~25%)과 강한 강우강도(6~9 mm/15

min.)를 보여준다. 즉 이러한 결과는 세 번째 event가 약 4 시간 동안 지속된 좁은 영역에 나타난 강한 강우 현상임을 의미한다. 그러므로 이 연구에서는 세 번째 event 기간을 집중호우(국지적으로 단시간에 많은 양의 강한 비가 내리는 현상)의 정의에 따라 엄격한 의미의 집중호우 기간으로 간주하였다.

이 연구에서는 위의 시계열 분석에서 나타난 강우영역이 약 20~25%이고 강우강도가 약 6~9 mm/15 min.인 8월 6일 0030-0430 LST를 집중호

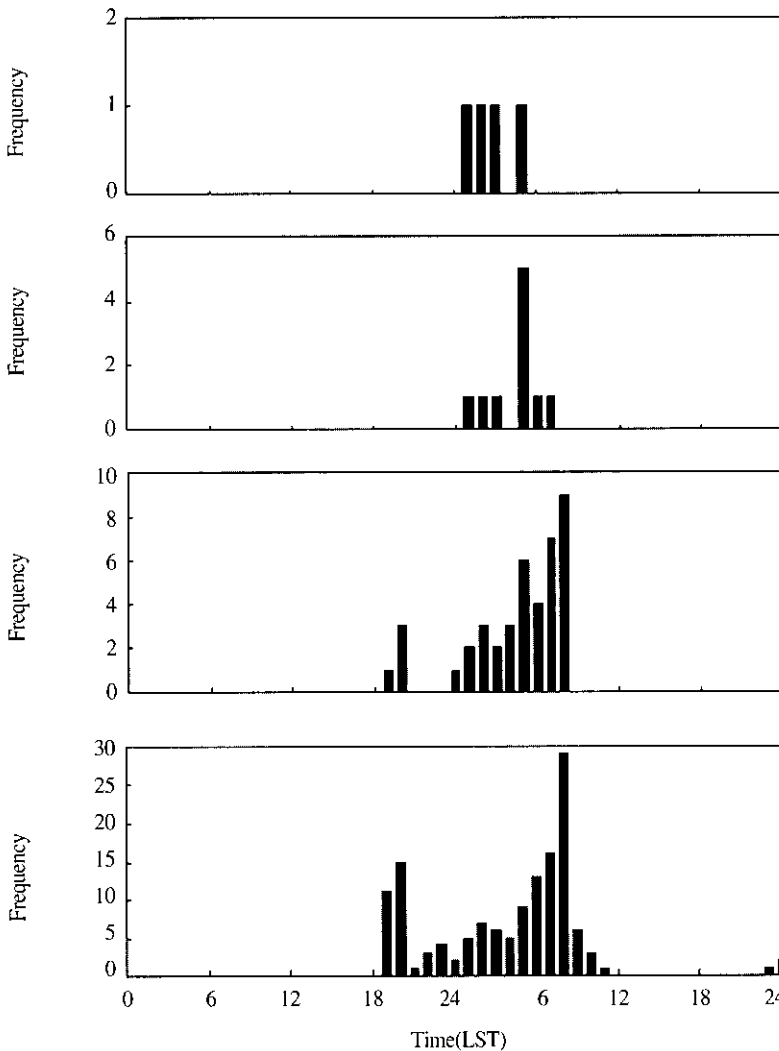


Fig. 4. Frequency of hourly rainfall extreme which is more than (a) 100 mm/hr, (b) 75 mm/hr, (c) 50 mm/hr, and (d) 25 mm/hr in the study area for the period of 5-6 August 1998

우 기간으로 선택하였다. 여기에서 집중호우는 강우영역은 작은 반면 강우강도가 큰 기간으로 정의하였다. 집중호우 기간을 다시 한번 조사하기 위하여 1998년 8월 5~6일 동안 연구지역의 시간 강우량의 시간적 빈도 분포를 조사하였다. Fig. 4는 시간 강우량이 25, 50, 75, 100 mm 이상인 관측지점의 수를 각각 나타낸다. 시간 강우량이 25 mm 이상인 지점은 5일 1800 LST에서 6일 1200 LST 사이에 분포하며, 대략적으로 첫 번째와 두 번째 event의 윤곽을 묘사한다. 그리고 시간 강우량이 100 mm 이상은 6일 0100, 0200, 0300, 0500 LST에서 한 지점씩 나타난다. 이러한 시간적 분포는 강우강도의 시간적 분포와 상당히 일치하며, 대략적으로 세 번째 event를 나타낸다. 이 연구에서 6일 0430-0530 LST를 강우영역이 작고 평균 강우강도가 کم에도 불구하고 집중호우 기간에서 제외하였다. 그 이유는 이 기간에 강우영역이 크게 변화하고 있고, 이러한 변화가 구름의 발달과정에 나타난 급격한 변화에 기인한다고 예상되기 때문이다. 즉 이 기간을 좁은 의미의 집중호우 기간에서 변질되어 가는 전이 기간으로 간주하였다.

위의 집중호우 기간에 관측된 GMS-5 영상은 8월 6일 0030, 0123, 0230, 0330 LST 영상이다. 이들 영상은 밤 시간 관측자료이기 때문에 GMS-5 IR1 밝기온도와 이에 대응되는 AWS 15분 누적 강우량 사이의 관계를 조사하였다. GMS-5 IR1 밝기온도는 기상청에서 수신한 구역화된 1024x1024 동아시아 지역 자료와 calibration 자료로부터 계산하였다. 그리고 15분 누적 강우량은 위성의 한반도 관측시각을 중심으로 계산하였다. IR1 밝기온도와 AWS 지점 강우 사이의 관계는 영상을 이용한 IR1 밝기온도와 지점 강우량의 분포 비교 그리고 IR1 밝기온도와 지점 강우량의 수치값 비교, IR1 밝기온도와 강우-무강우의 비교 등을 수행하였다. 그리고 이러한 관계에 영향을 미칠 수 있는 위성 영상의 위치 오류와 강우의 지연현상에 대해서 조사하였다. 덧붙여 IR1 밝기온도의 변화와 강우-무강우의 관계를 조사함으로써 위성영상을 이용한 강우량 추정의 가능성에 대하여 논의하였다.

3. IR1 밝기온도와 AWS 강우량 사이의 관계

GMS-5 IR1 밝기온도는 일본의 정지궤도 기상 위성인 GMS-5가 10.5~11.5 μm 파장 영역에서 관측한 복사 에너지로부터 계산된 유효온도 (effective temperature)이다. IR1 파장 영역에서 구름, 특히 대류운은 대략적으로 흑체 (blackbody)와 같은 복사 특성을 보이며, 또한 일반적으로 대류운의 깊이가 크기 때문에 구름 위의 대기에 의한 흡수는 상대적으로 작다고 볼 수 있다. 따라서 IR1 밝기온도는 대류운의 경우 구름 꼭대기의 온도로 간주될 수 있으며, 앞으로 이 논문에서 CTT (cloud top temperature: 구름 꼭대기 온도)로 언급될 것이다. 그리고 이 연구와 같이 특정 지역의 단기간 집중호우에 국한되어 생각한다면 구름밀면의 고도는 일정하다고 가정할 수 있고, 이러한 경우 CTT는 구름의 깊이와 밀접한 연관성을 가질 것이다. 한편 일부 소나기의 경우 강우강도는 구름의 깊이가 증가함에 따라 강한 상승을 보인다고 알려져 있다. 따라서 이 연구에서는 집중호우의 경우 구름의 깊이와 강우강도 사이에 밀접한 연관성이 있다고 가정하고, 이러한 관계성을 조사하고자 구름의 CTT와 AWS 강우량을 비교하였다.

CTT와 AWS 강우량은 이 연구에서 정의된 집중호우 기간과 집중호우의 전·후 기간에 대하여 시각적으로 비교하였다 (Fig. 5와 6). 위성영상의 경우 color bar에는 없지만 CTT가 비교적 높은 부분은 회색으로 처리하여 흰색으로 표현된 온도가 높은 부분과 구별하였다. 그리고 -70°C 이하 부분은 -50°C 이상인 부분과 중복됨에도 불구하고 색 사용을 줄이기 위하여 흰색으로 표현하였다. 이 기간 동안에 관측된 GMS-5 IR1 영상은 8월 5일 2330 LST 영상과 8월 6일 0030, 0123, 0230, 0330, 0430 LST 영상이다. 그리고 AWS 강우량은 15분 누적 강우량으로부터 생성된 영상이다. 여기서 누적 강우량은 위성과 AWS의 관측 시각을 가능한 일치시키기 위하여 GMS-5 위성이 한반도 중부지역을 관측하는 시각을 중심으로 계산된 15

분 누적 강우량이다. AWS 강우자료에서 강우대는 강화도, 금천, 의정부, 동두천을 연결하는 경기 북부 지역에 위치하고 있으며, 강우의 중심은 시간에 따라 상당한 변화를 보이고 있다. 강우의 중심 핵은 8월 5일 2330 LST에 의정부 부근에 그리고 8월 6일 0030과 0123 LST에는 강화도에 위치하고, 8월 6일 0230과 0330 LST에는 금천과 의정부 방향으로 이동하며, 그리고 8월 6일 0430 LST에는 강화도에 다시 나타나고 있다. 강우 중심에서는 15~25 mm/15 min. 이상의 강우가 나타났다. 집중호우 기간 동안에 강우의 주된 변화는 큰 변화 없이 대체적으로 일정하게 분포되어 있는 강우 영역과 쪼개지고, 뭉쳐지고, 병합하는 활발한 변화를 보이는 강우 세포로 대표될 수 있을 것이다.

경기 북부 지역에 있어 CTT는 대략 $-55 \sim -70$ °C 사이에 분포하며, 시간에 따라 상당한 변화를 보이고 있다 (Fig. 5와 6). 이 연구에서는 찬 지역 (cold region)의 위치를 비교하기 위하여 -68 °C 이하 지역을 찬 핵 (cold core)으로 정의하고, 찬 핵의 위치를 조사하였다. 찬 핵은 집중호우 기간 바로 전 영상인 8월 5일 2330 LST 영상을 제외한 다섯 영상 모두에서 나타나며, 특히 집중호우 기간 바로 후의 영상인 8월 6일 0430 KST 영상에는 -70 °C 이하의 강한 찬 핵이 나타나고 있다. 그리고 이 영상에서는 전체적으로 밝기온도의 강한 감소가 나타나고 있다. 이러한 변화는 Fig. 3에 나타난 강우영역의 급격한 증가와 일치하고 있다. 찬 핵의 위치는 금천, 의정부 그리고 동두천의 북부 지역에 위치하며, 위치를 남쪽 방향으로 조금 이동시켰을 때 AWS 강우대와 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나 AWS 관측에 나타난 강화도 부근의 강우와 CTT의 찬 핵과 직접 연관시키기는 어려웠다. 이러한 사실은 강화도 부근의 강우가 해양과 육지의 경계에 위치한 강화도 지역의 지형적 특성에 기인하는 강우일 수 있다는 가능성을 지지한다.

집중호우 기간의 GMS-5 영상 (8월 6일 0030, 0123, 0230, 0330 LST)을 이용하여 CTT와 AWS 강우량을 정량적으로 비교하였다 (Fig. 7). 이를 위하여 AWS 15분 누적 강우량과 AWS 지점 위치

와 일치하는 GMS-5 위성 격자의 CTT를 비교하였다. Fig. 7a에서 강우가 관측된 지점의 CTT는 대부분이 -50 °C 이하에 분포하고 있으나, AWS 강우량과 CTT 사이에서 뚜렷한 관련성을 찾기는 어렵다. 한편 이 비교에서 비록 AWS 강우량과 CTT 사이에 밀접한 관련성이 있다 할지라도, CTT를 이용하여 직접 지점 강우량을 추정하는 일은 쉬운 일이 아니다. 그 이유는 위의 비교가 단지 비가 관측된 AWS 자료만을 사용했기 때문이다.

강우와 무강우 자료를 포함하는 전체 AWS 강우 자료와 구름 꼭대기 온도를 비교하기 위하여 CTT의 등급 간격 (10 °C)에 해당하는 AWS의 강우/무강우 지점 빈도를 계산하였다 (Fig. 7b). AWS 지점과 일치하는 CTT는 대부분 10 °C 이하에 분포하며, 비가 관측된 AWS의 CTT는 대부분 -50 °C 이하에서 나타난다. CTT가 -60 °C 이하 일 때 강우 확률은 65%이고, 비가 관측된 AWS 가운데 약 40%가 이 영역에 분포한다. 그러나 CTT가 -50 °C 이하에서는 강우 확률이 약 32%로 급격히 낮아지고, 이 영역에 비가 관측된 AWS의 약 88%가 분포한다. 즉 CTT가 -60 °C 이하에서는 강우 지점이 무강우 지점보다 많지만, -50 °C ~ -60 °C 사이에서는 무강우 지점이 강우 지점 보다 월등히 많이 나타나고 있다. 강우를 예상할 수 있는 CTT의 임계온도를 -50 °C로 선택했을 때 CTT를 이용한 강우의 예상 확률은 약 30%에 불과하다. 따라서 이들 분석 결과로부터 CTT와 AWS 강우량 사이에 밀접한 관련성이 있다고 보기는 어렵다.

4. 위성영상의 위치 오류와 강우의 지연 현상

CTT와 지점 강우량 사이의 관계를 분석하기 위해서는 먼저 몇 가지 조사를 수행할 필요가 있다. 그 가운데 하나는 위성영상의 위치 오류를 조사하는 일이고, 또 하나는 강우의 지연 현상을 조사하는 일이다. 위성영상의 위치 오류는 위성 수

The Relationship between GMS-5 IR1 Brightness Temperature and AWS Rainfall :
 A heavy rain event over the mid-western part of Korea for August 5-6, 1998

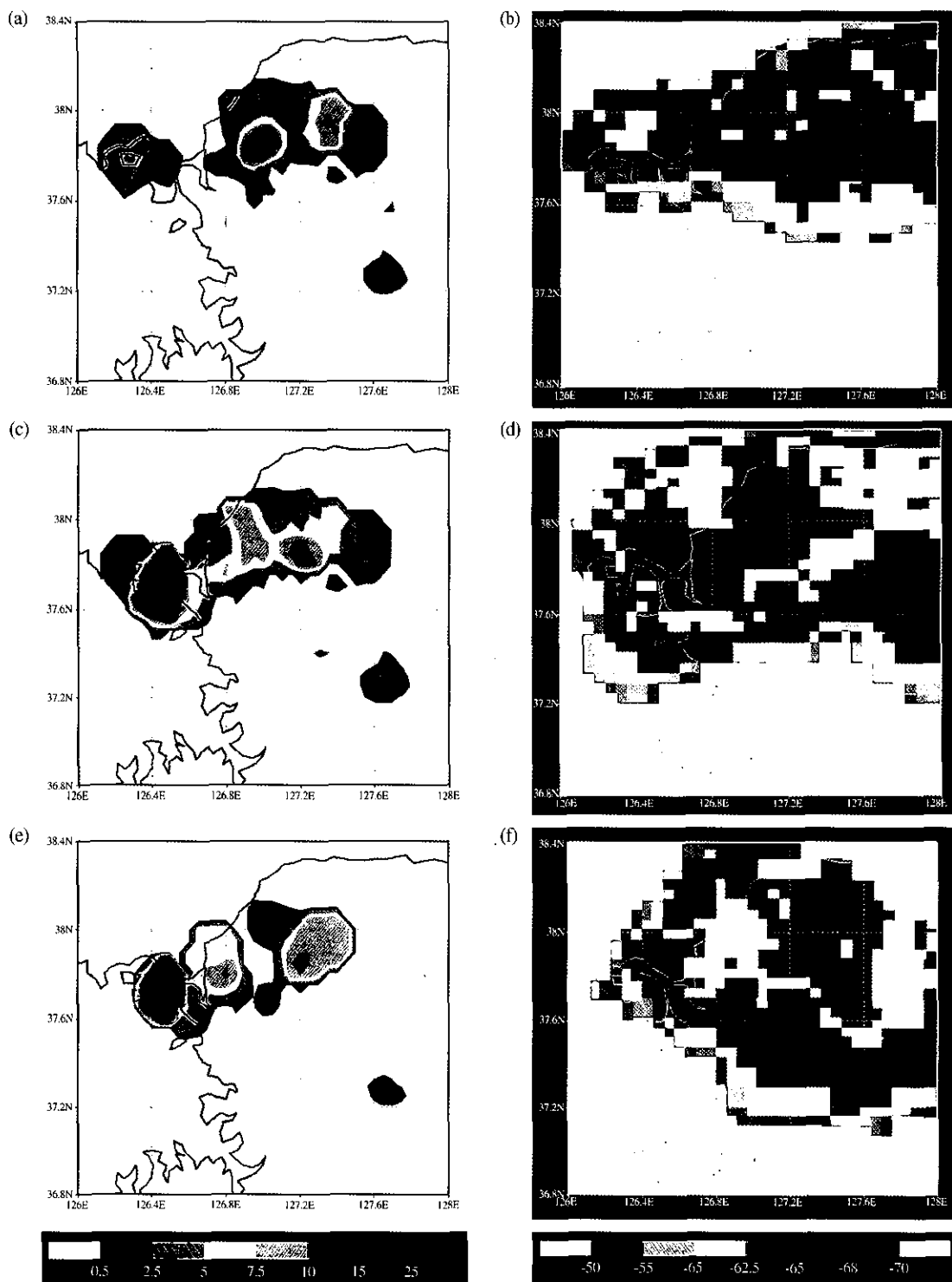


Fig. 5. Distribution of AWS rainfall and GMS-5 IR1 brightness temperature for (a) and (b) 2330 LST 5 August, (c) and (d) 0030 LST 6 August and (e) and (f) 0123 LST 6 August, 1998; (a), (c) and (e) are for AWS 15-min. rainfall and (b), (d), and (f) for cloud top temperature.

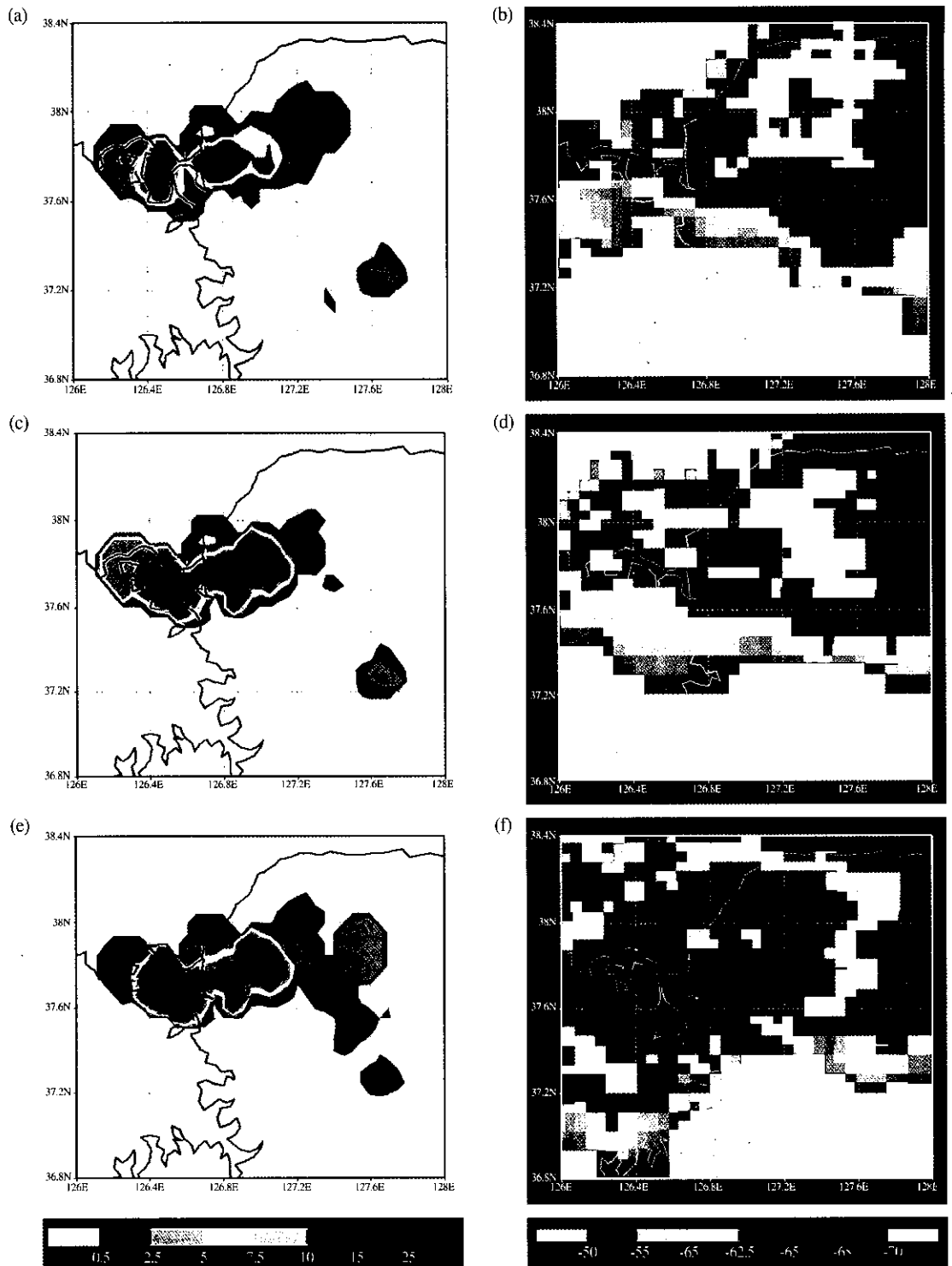


Fig. 6. Same as Fig. 5 except for 0230, 0330, 0430 LST 6 August, 1998.

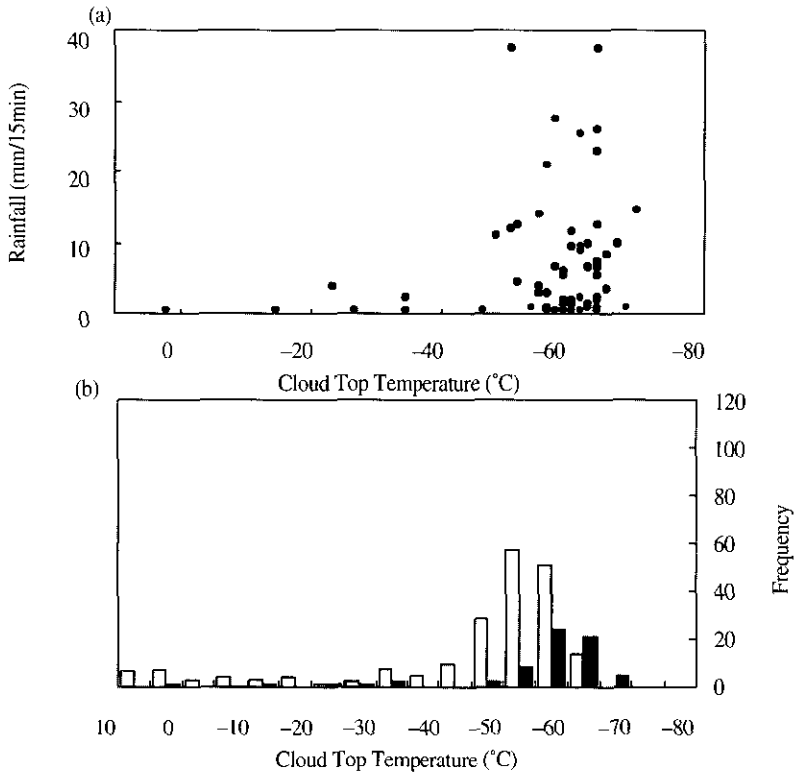


Fig. 7. Relation between AWS 15-minute rainfall and cloud top temperature; (a) rainfalls of AWS with rain and cloud top temperature and (b) frequency distribution of AWS with rain (black boxes) and without rain (grey boxes). The frequency was obtained in the 10 °C interval of cloud top temperature.

치자료를 지도화(mapping)하는 과정에서 발생하는 오류이다. 일반적으로 GMS의 위치 오류는 대략 20~30 km까지 나타나는 것으로 알려져 있다. 그리고 이러한 오류는 맑은 날씨의 위성 영상을 잘 관찰함으로써 쉽게 발견될 수 있다. 이 연구에서는 CTT와 지점 강우량 사이에 밀접한 관계성이 있다고 가정하고, 이러한 관계성을 이용하여 위성영상의 위치 오류를 조사하였다.

우선 비가 나타난 AWS의 강우량과 이에 대응되는 CTT 사이의 상관계수를 구하고 그리고 최소좌승법을 이용하여 선형관계식을 계산하였다. 여기서 AWS 강우량은 GMS-5의 관측시각을 중심으로 계산된 15분 누적 강우량의 상용대수 값을 사용하였다. 그리고 이 관계식을 이용하여 CTT로부터 위성 추정 강우량을 계산하였다. AWS 강우

혹은 위성 추정 강우에 비가 나타난 경우 AWS 강우량과 위성 추정 강우량 사이의 RMS 오류를 계산하였다. 이러한 과정을 위성영상의 위치를 상·하와 좌·우로 7 격자까지 이동시켜가면서 연속적으로 반복 수행하였다. 그리고 이 과정에서 얻어진 상관계수(CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수)와 RMS 오류 값으로부터 상관계수(절대값)가 최대인 동시에 RMS 오류가 최소인 위치를 조사하였다(Table 1).

이러한 조사는 AWS 강우량을 0, 1, 2.5, 5.0 mm 이상으로 분류하고, 각각의 경우에 대하여 독립적으로 수행하였다. 이 조사에서 4개의 위성영상을 모두 남쪽으로 2~3 격자 그리고 서쪽으로 3 격자 이동시켰을 때, 4 가지(강우량에 따른 분류) 경우 모두에서 상관계수(절대값)는 최대 값을 그

리고 RMS 오류는 최소 값을 보였다. CTT와 AWS 강우량 사이의 상관계수는 4 가지 경우 모두에서 크게 증가하였으며, RMS 오류는 비록 작은 양이지만 감소하였다. 이것은 CTT와 강우량 사이의 관계성을 가정할 때 위성영상이 북쪽으로 2~3 격자 그리고 동쪽으로 3격자 이동되어 있다는 것을 의미한다. 여기서 위성영상의 위치 오류는 4개의 영상(8월 6일 0030, 0123, 0230, 0330 LST)에 대하여 비슷하다고 가정하였다.

위치가 보정된(남쪽으로 3 격자 그리고 서쪽으로 3격자 이동된) GMS-5 영상을 이용하여 Fig. 7 과 같이 CTT와 AWS 강우량 사이의 관계를 재 조사하였다. Fig. 8a에서 비가 관측된 AWS의 CTT 분포는 Fig. 7a와 비교할 때 보다 낮은 온도 쪽으로 이동하여 나타나고, 또한 육안 조사에서 CTT와 AWS 강우량 사이에 상당한 관련성이 있음을 발견할 수 있다. Table 1에서 위성영상의 위치를 보정하였을 때 CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수는 통계학적으로 의미있는 -0.46으로 나타났으며, 위치가 보정되지 않은 원래의 영상에서는 상관계수가 -0.30이었다.

Fig. 8b에서 CTT의 분포는 Fig. 7b와 비교할 때 전체적으로 보다 낮은 온도 쪽으로 이동되어 나타난다. 이러한 결과는 위치 보정이 위성 영상에서 구름이 높은 영역을 AWS 지점과 일치시키고 있음을 나타낸다. 그러나 강우와 무강우의 AWS 빈도는 원래 영상의 강우/무강우 빈도와 전체적으로 비슷한 분포를 보인다. 특히 CTT가 -55°C 이하

에서 강우와 무강우 지점의 비율은 원래 영상의 값과 비교할 때 큰 변화가 없다. 그러므로 AWS 강우량과 위성 추정 강우량 사이의 RMS 오류 또한 위치가 보정된 영상과 원래 영상 사이에 큰 차이가 없다. 평균 강우량으로 나눈 RMS 오류는 위치가 보정된 영상에서 2.65이고, 원래 영상에서 2.98로 나타났다(Table 1). 요약하면 CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이에 비록 높은 상관관계가 있음에도 불구하고, 직접 CTT를 이용하여 강우와 무강우 지점을 구별하는 일은 일부 영역(-55° ~ -60°C 사이)에서 여전히 어려운 것으로 나타났다. 즉 이러한 결과는 GMS-5 위성영상의 위치를 보정하였을 때 강우가 나타난 경우 CTT와 AWS 강우량 사이에 관련성이 있다는 것을 의미한다. 그러나 강우와 무강우 지점의 구별을 고려하면 CTT가 높은 일부 영역에서는 여전히 CTT를 이용한 지점 강우량의 추정이 어렵다는 것을 의미한다.

구름의 높이 변화에 대한 강우의 지연 현상을 조사하기 위하여 위치가 보정된 GMS-5 IRI 영상의 CTT를 앞뒤로 1시간 동안 15분 간격으로 지연된 AWS 강우량과 비교하였다. 이 비교를 위하여 지연된 강우량에 대하여 CTT와 AWS 15분 누적 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수를 계산하였다(Fig. 9). 이 상관계수는 AWS 강우량이 0 보다 큰 경우(비가 온 경우) 그리고 2.5 mm 이상인 경우에 대하여 각각 계산하였다. 이러한 분류는 구름 높이에 대한 강우의 지연 현상이 강우강도에

Table 1. Relationships between AWS 15-minute rainfall and cloud top temperature for the shifted images. The values in parenthesis are obtained from the original images.

	Correlation coefficient	RMS error ÷ mean	Image shift (pixel)	
			N/S	W/E
AWS rainfall > 0 (66 stations)	-0.46 (-0.30)	2.65 (2.98)	-2	+3
AWS rainfall > 1 (46 stations)	-0.39 (-0.11)	3.16 (3.99)	-3	+3
AWS rainfall ≥ 2.5 (38 stations)	-0.51 (-0.23)	3.55 (4.43)	-3	+3
AWS rainfall ≥ 5.0 (28 stations)	-0.36 (0.18)	4.22 (12.59)	-2	+3
			-3	+3

The Relationship between GMS-5 IR1 Brightness Temperature and AWS Rainfall :
A heavy rain event over the mid-western part of Korea for August 5-6, 1998

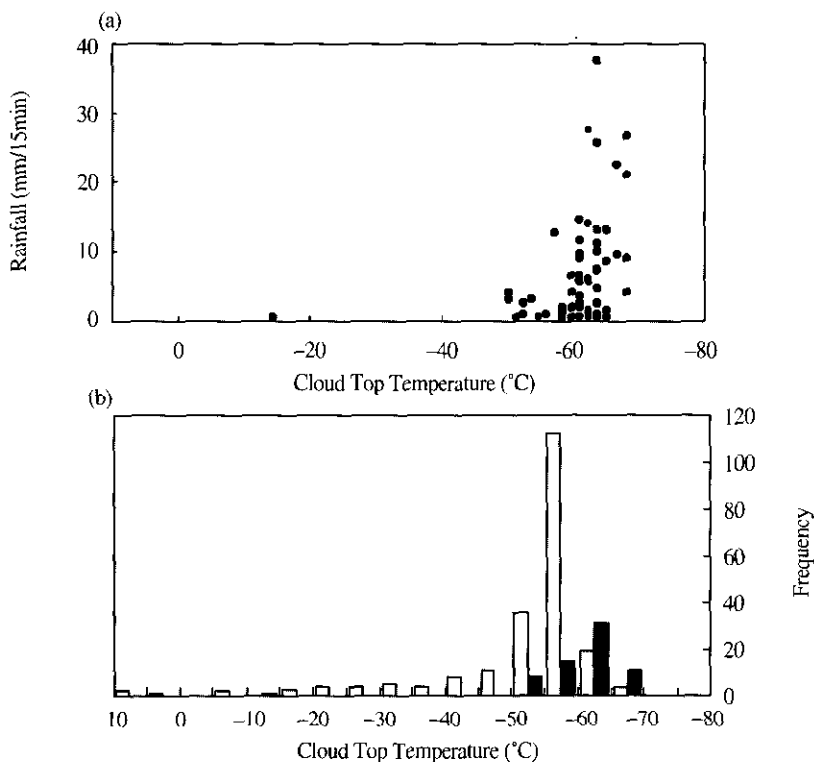


Fig. 8. Same as Fig. 7 except for the adjusted images.

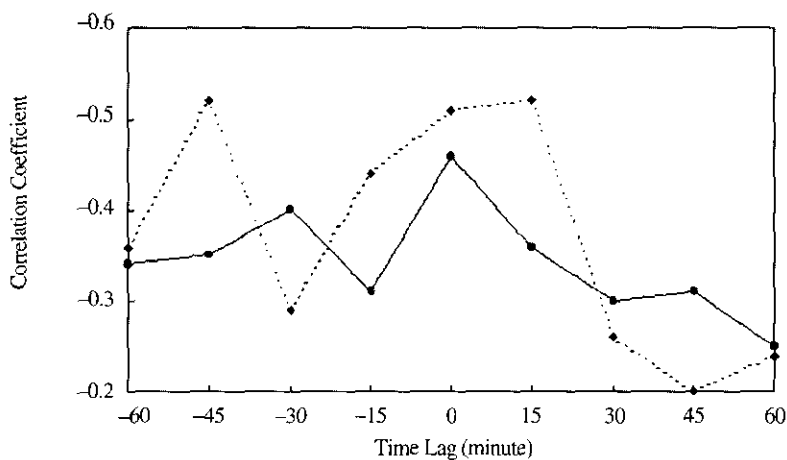


Fig. 9. Correlation coefficients between cloud top temperature and time lagged AWS 15-minute rainfalls.
The dashed line denotes rainfalls more than 2.5 mm.

따라 서로 다르게 나타날 가능성을 조사하기 위하여 시도되었다. AWS 강우량이 0 보다 큰 경우에

있어 상관계수(절대값)는 시간지연이 없을 때에 최대값(-0.46)을 보이고, 앞뒤로 시간 지연이 있

을 때 점차 감소하는 경향을 보인다. 한편 AWS 강우량이 2.5 mm 이상인 경우에 있어 상관계수(절대값)는 상당한 변화를 보이며, 시간지연이 없을 때와 -45분 지연(45분 앞선 강우량 값과 비교할 때)에서 크게(-0.51) 나타난다. 결론적으로 이 조사에서 구름 높이의 변화에 대한 강우의 뚜렷한 지연 현상을 발견할 수는 없었다.

5. IRI 밝기온도의 변화와 강우·무강우 구름

CTT(GMS-5 IRI 밝기온도)와 AWS 강우량의 비교에서, AWS에 강우가 관측된 경우 CTT와 지점 강우량 사이에는 연관성이 있는 것으로 나타났다. 즉 CTT가 낮을수록, 구름 꼭대기가 높을수록 그 구름과 연관된 강우량은 크게 나타났다. 그러나 AWS에 강우가 관측되지 않은 경우에도 AWS 관측지점에 대응되는 CTT는 상당한 부분이 낮은 온도에 분포되어 있었다. 이것은 높은 구름임에도 불구하고 강우가 나타나지 않는 구름이 존재한다는 것을 의미한다. 따라서 CTT로부터 강우량을 추정하기 위해서는 강우와 무강우 구름을 구별하는 과정이 필요하다. 일반적으로 대류운의 경우 강우물이 구름의 성장 단계와 밀접하게 연관되어 있다고 알려져 있다(Stout et al., 1979). 이 연구에 의하면 구름이 빠르게 성장할 때 강우량이 최대가 되고, 구름의 면적이 최대일 때는 강우량이 많이 감소되어 있다는 것이다. 따라서 이 연구에서는 구름의 성장 단계를 이용하여 강우와 무강우 구름의 구별을 시도하였다. 구름의 성장 단계는 현재 시간과 전시간의 CTT 차이(현재 시간 CTT - 전시간 CTT)로부터 추정된다. 대략적으로 CTT의 차이가 양이면 구름의 높이가 낮아진다는 것, 즉 구름이 소멸한다는 것을 의미한다. 그리고 CTT의 차이가 음이면 구름의 높이가 높아진다는 것, 즉 구름이 발달한다는 것을 의미한다.

CTT의 변화와 강우/무강우의 관련성을 조사하기 위하여 AWS 지점에 대응되는 GMS-5의 CTT

와 그 변화량의 분포를 분석하였다. Fig. 10a에서 AWS에 강우가 관측된 경우 그리고 무강우가 관측된 경우의 분포를 분리하여 열린 원(open circle)과 채워진 원(solid circle)으로 표시하였다. 이 그림에서 대부분의 CTT는 -50°C 이하에 그리고 CTT 차이값은 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 사이에 분포하고 있으며, 대체적으로 CTT가 약 -58°C 이하에서는 CTT 변화량이 음인 값이 많고, 그 이상에서는 양인 값이 많이 나타난다. 즉 이러한 결과는 집중호우 기간 동안 연구지역 내의 구름에 작은 폭의 발달과 소멸 과정이 반복해서 일어났음을 의미한다. 그러나 이 영역에는 강우와 무강우 구름이 함께 분포하고 있어 CTT와 그 변화량을 이용하여 강우/무강우를 구별하는 일이 쉽지 않을 것이다.

보다 자세한 분석을 위하여 Fig. 10b, c, d에서는 무강우가 관측된 경우, 강우가 관측된 경우, 그리고 강우량이 5mm 이상인 경우에 대해서 각각의 분포를 분리하여 보여준다. Fig. 10b, c에서 CTT가 -60°C 이하 일 때 강우 확률은 65%이고, 비가 관측된 AWS 가운데 약 64%가 이 영역에 분포한다. 그러나 CTT가 -58°C 이하에서는 비가 관측된 AWS의 약 83%가 이 영역에 분포하고, 이 때 강우 확률은 약 36%로 급격히 낮아진다. 특히 -58° 에서 -60° 사이의 2°C 구간에 많은 강우와 무강우 구름이 함께 분포하고 있음을 발견할 수 있다. 이들 강우와 무강우 구름의 비교에서, 강우 구름에 대한 CTT 변화량은 양의 값이 많은 반면 무강우 구름에 대한 CTT 변화량은 음의 값이 많다. 위의 2°C 구간에서 CTT의 변화량(CTT의 차이가 0 혹은 -5°C)을 이용하여 강우와 무강우 구름을 분류하면, CTT가 -58°C 이하에서 강우 확률은 50~55%로 증가한다. 한편 집중호우의 분석에서 특별한 관심사 가운데 하나는 호우의 분포이다. 이 연구에서는 집중호우 기간(8월 6일 0030-0430 LST)에 연구지역의 강우강도가 약 6~9 mm/15 min.이었기 때문에 5 mm/15 min. 이상의 강우를 호우로 간주하였다. Fig. 10d에서 호우의 약 93%는 CTT가 -60°C 이하일 때 관측되며, 이 영역에서 CTT로부터 호우를 추정할 확률은 약

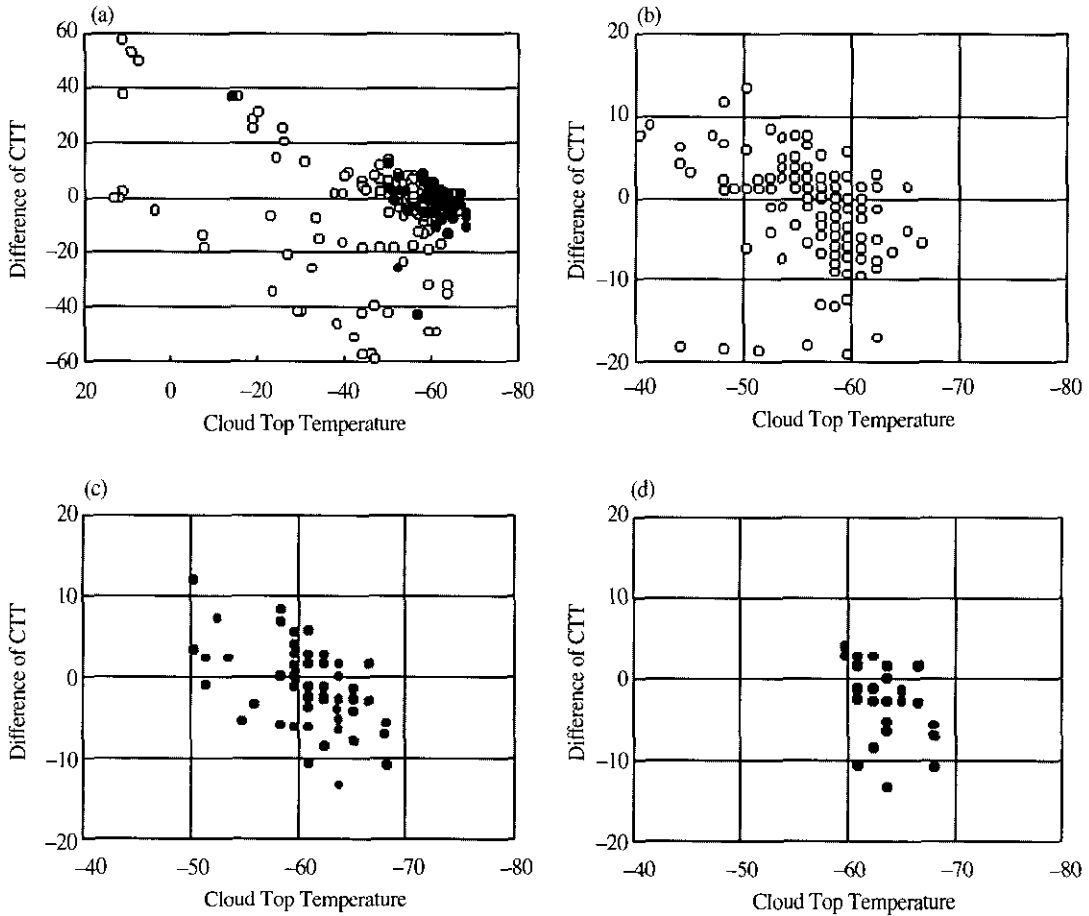


Fig. 10. Cloud top temperature and its change of GMS-5 IR1 pixel matched with AWS; (a) all AWS with rain (solid circle) and no-rain (open circle), (b) AWS with no-rain, (c) AWS with rain and (d) AWS with rain more than 5 mm/15 min.

40%에 달한다.

위의 분석에서 CTT가 -58°C (-60°C) 이하에서 강우 확률은 약 36%(65%)로 나타나며, 이들은 전체 강우의 약 93%(64%)를 각각 차지한다. 그리고 CTT가 -60°C 이하에서 5 mm 이상 강우의 확률은 40%로 나타나며, 이들은 전체 5 mm 이상 강우의 약 93%를 각각 차지한다. 또한 일부 구간에서 CTT의 변화량을 고려하면 강우확률(5 mm 이상 강우확률)은 CTT가 -58°C (-60°C)이하에서 50~55%(40~45%)로 증가한다. 따라서 이러한 결과는 CTT와 AWS 강우량 사이에 의미있는 상관성이 있으나, 강우와 무강우 구름의 구별에는 여전히 어려움이 있다는 것을 의미한다. 그리고 이

러한 어려움의 일부는 매 시간의 위성영상으로부터 계산되는 CTT의 변화량이 15분 강우 자료로부터 결정되는 강우와 무강우 구름의 구별에 큰 도움이 되지 못하는데 있을 것이다.

6. 결 론

이 연구에서는 집중호우 시에 위성 영상을 이용한 지점 강우량의 추정을 위하여 GMS-5 IR1 밝기온도(CTT)와 지점 강우량의 관계성을 조사하였다. 특별히 위의 관계성 조사는 구름의 종류와 구름의 발달 상태에 기인하는 변화를 줄이기

위하여 아주 제한된 집중호우 기간에 대하여 수행하였다. 사례 연구로 1998년 8월 5~6일 한반도 중서부 지역에서 발생한 집중호우를 선택하였으며, 8월 6일 0030-0430 LST 기간을 엄격히 제한된 의미의 집중호우 기간으로 정의하였다.

중서부 지역 집중호우의 시간적 변화과정을 묘사하기 위하여 연구지역의 AWS 1분 강우 자료로부터 다양한 시간대의 누적 강우량을 계산하고, 이들 누적 강우량으로부터 계산된 강우영역과 평균 강우강도의 시계열 자료를 분석하였다. 이 분석에서 15분 구간에서 계산된 강우영역과 강우강도가 집중호우의 시간적 변화를 묘사하는데 보다 적합하다는 것을 발견하였다. 그리고 15분 구간의 시계열 자료는 8월 6일 0030-0430 LST 동안에 일관되게 낮은 강우영역(20~25%)과 강한 강우강도(6~9 mm/15 min.)를 보여주었다. 따라서 이 기간을 좁은 영역에서 강한 강우가 나타나는 엄격한 의미의 집중호우 기간으로 정의하고, 이 기간에 대하여 CTT와 15분 지점 강우량의 관계성을 조사하였다.

이를 위하여 위성 관측시각을 중심으로 계산된 AWS 15분 누적 강우량과 AWS 지점 위치와 일치하는 GMS-5 위성 격자의 CTT를 비교하였다. AWS에 비가 관측된 경우, CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수는 -0.3으로 나타났다. 그러나 강우와 무강우 자료를 포함하는 전체 AWS 강우 자료의 비교에서, CTT가 -50°C 이하인(대부분의 강우를 동반한 AWS가 분포하고 있는 영역에서) 영역에서 강우확률은 약 30%에 불과했다. 한편 위성영상의 위치 오류에 대한 조사에서, 위성영상을 남쪽으로 2~3 격자 그리고 서쪽으로 3 격자 이동시켰을 때 AWS 지점은 위성영상에서 구름이 높은 영역과 보다 잘 일치하였다. 그리고 CTT와 AWS 강우량의 상용대수 값 사이의 상관계수는 통계학적으로 의미있는 -0.46 으로 나타났다. 그러나 CTT가 -55°C 이하에서 강우와 무강우 지점의 비율은 원래 영상의 값과 비교할 때 큰 변화가 없었다. 그리고 강우의 지연 현상에 대한 조사에서 IR1 밝기온도의 변화, 즉

구름 높이의 변화에 대한 강우의 뚜렷한 지연 현상을 발견할 수는 없었다.

CTT 및 그 변화와 AWS 강우량의 자세한 비교에서, 강우 확률(5 mm 이상의 강우 확률)은 CTT가 -58°C (-60°C) 이하에서 약 36%(40%)로 각각 나타났다. 그리고 이들은 전체 강우의 약 83% 그리고 전체 5 mm 이상 강우의 약 93%를 각각 차지하였다. 또한 일부 영역에서 CTT의 변화를 고려할 때 강우확률(5 mm 이상 강우의 확률)은 CTT가 -58°C (-60°C) 이하에서 약 50~55%(40~45%)로 각각 증가하였다. 결론적으로 집중호우 기간에 있어 강우가 관측된 경우 CTT와 AWS 15분 지점 강우량 사이에는 통계적으로 의미있는 상관성이 나타났다. 그러나 CTT를 이용하여 강우와 무강우 구름을 구별하는 확률은 일부 영역에서 비교적 낮은 값을 보였으며, 이러한 문제점이 CTT를 이용하여 지점 강우량을 추정하는데 있어 커다란 어려움으로 나타났다. 그리고 이러한 낮은 확률은 AWS의 15분 강우 자료로부터 결정되는 강우와 무강우 구름의 구별을 위하여 매 시간의 위성영상으로부터 계산되는 CTT의 변화값을 사용했다는 데 기인할 것이다. 따라서 CTT로부터 지점 강우량을 추정하기 위해서는 강우/무강우 구름을 구별하는 방법에 개선이 필요하다.

이 연구는 집중호우의 경우 위성자료와 지상 강우량을 비교하는 하나의 방법론을 제시하고 있으며, 연구 결과는 하나의 사례(1998년 8월 중서부 지역 집중호우)에 대한 분석에서 얻어진 것이다. 따라서 위의 결과를 일반화하기 위해서는 다양한 사례에 대한 분석이 필요하다. 또한 AWS가 공간적으로 제한되어 분포하고 있다는 문제점을 해결하기 위해서는 앞으로 위성자료와 레이다 자료의 비교가 바람직할 것이다.

사 사

이 연구는 강릉대학교 기성희 연구비의 지원으로 수행되었습니다. 연구가 원활히 수행될 수 있

도록 GMS-5 위성자료와 AWS 강수 자료를 제공
해 주신 기상청에 감사를 드립니다. 그리고 자료
사용에 많은 도움과 조언을 주신 기상청 원격탐사
과의 김 영화씨와 연구개발실의 이 정환씨에게 감
사를 드립니다.

참고문헌

- 박종서, 이천우, 최치영, 2000. 지상기상관측시스템
의 기온, 풍속, 강수량 비교관측 결과, 한국
기상학회 2000년도 봄 초청 강연 및 학술
발표회, 공군 제73기상전대, 4월 27-28,
2000. 264-268.
- 서애숙, 이미선, 김금란, 이희훈, 1994. GMS 영상
자료와 관측강수량 자료의 비교, 대한 원
격탐사학회지, 10(1): 1-14.
- 정태천, 1998. '98 집중호우 종합분석집: 중서부 지
방의 Mesoscale 집중호우 분석, 기상청, 182.
- Adler, R.F., M.J. Markus, and D.D. Fenn, 1985.
Detection of Midwest thunderstorms using
geosynchronous satellite data, *Mon. Wea.
Rev.*, 113: 769-781.
- Delbeato, R., and S.L. Barrell, 1985. Rain estimation
in extratropical cyclones using GMS imagery,
Mon. Wea. Rev., 113: 747-755.
- Griffith, C.G., W.L. Woodley, P.G. Grube, D.W.
Martin, J. Stout, and D.N. Sikdar, 1978. Rain
estimation from geosynchronous satellite
imagery-visible and infrared studies, *Mon.
Wea. Rev.*, 106: 1153-1171.
- Ha, E., 1998. Comparison of some ground truth
designs for satellite measurements of
precipitation, 한국기상학회 가을 학술발표회,
50-52.
- Heysfield, G.M., and R.H. Blackmer, Jr., 1988.
Satellite-observed characteristics of Midwest
severe thunderstorm anvils, *Mon. Wea. Rev.*,
116: 2200-2224.
- Kidder, S.Q. and T.H. Vonder Haar, 1995. *Satellite
meteorology*. Academic Press, 466.
- Lovejoy, S., and G.L. Austin, 1979. The sources of
error in rain amount estimating schemes
from GOES visible and IR satellite data, *Mon.
Wea. Rev.*, 107: 1048-1054.
- Scofield, R.A., 1987. The NESDIS operational
convective precipitation estimation technique,
Mon. Wea. Rev., 115: 1773-1792.
- Stout, J.E. and D.W. Martin, D.N. Sikdar, 1979.
Estimating GATE rainfall with geosyn-
chronous satellite images, *Mon. Wea. Rev.*, 107:
585-598.
- Weiss, M. and E.A. Smith, 1987. Precipitation
discrimination from satellite infrared
temperatures over the CCOPE mesonet
region, *J. Climate Appl. Meteor.*, 26: 687-697.