

## 1999년과 2000년 여름몬순기간 동안 히말라야 지역에 발생한 대류계의 특성에 관한 연구

### Characterization of Convective Weather Systems in the Middle Himalaya during 1999 and 2000 Summer Monsoons

김 광 섭\* / 노 준 우\*\*

Kim, Gwangseob / Noh, Joon-woo

---

#### Abstract

Convective weather systems such as organized mesoscale convective systems (Mesoscale Convective Complex, MCC and Convective Cloud Clusters, CCC) and much weaker Disorganized Short-lived Convection (DSC) in the region of India and Nepal were analyzed using the Meteosat-5 IR imagery. The diurnal march and propagation of patterns of convective activity in the Himalayas and Northern Indian subcontinent were examined. Results indicate that infrared satellite images of Northern India and along the southern flank of the Himalayas reveal a strong presence of convective weather systems during the 1999 and 2000 monsoons, especially in the afternoon and during the night. The typical MCCs have life-times of about 11 hours, and areal extent about 300,000 km<sup>2</sup>. Although the core of MCC activity remains generally away from the Middle Himalayan range, the occurrence of heavy precipitation events in this region can be directly linked to MCCs that venture into the Lesser Himalayan region and remain within the region bounded by 25°-30°N. One principal feature in the spatial organization of convection is the dichotomy between the Tibetan Plateau and the Northern Indian Plains: CCCs and DSCs begin in the Tibetan Plateau in the mid-afternoon into the evening; while they are most active in the mid-night and early morning in the Gangetic Plains and along the southern facing flanks of the Himalayas. Furthermore, these data are consistent with the daily cycle of rainfall documented for a network of 20 hydrometeorological stations in Central Nepal, which show strong nocturnal peaks of intense rainfall consistent with the close presence of Convective Weather Systems (CWSs) in the Gangetic Plains (Barros et al. 2000).

**Keywords** : Convective Weather System, Monsoon, Intense Rainfall, Diurnal Cycle

---

\* 경북대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea  
(E-mail : kings@knu.ac.kr)

\*\* Department of Civil Engineering, Colorado State University

## 요 지

Meteosat-5 IR 위성영상을 사용하여 1999년과 2000년 여름몬순기간 동안 발생한 네팔과 인디아 북쪽 히말라야 산악지역에 발생하는 여러 형태의 대류계 즉, 중규모 대류계들 (Mesoscale Convective Complex, MCC and Convective Cloud Clusters, CCC) 와 보다 약한 Disorganized Short-lived Convection (DSL)의 이동특성 및 시공간적인 생성특성 등을 조사하였다. 대상지역에 발생하는 중규모 대류계의 전형적인 지속시간은 약 11시간이며 크기는 약  $300,000\text{km}^2$  이다. 중규모 대류계의 중심은 히말라야산맥으로부터 원거리에 위치함에도 불구하고 집중강우는 위도  $25^{\circ}$ - $30^{\circ}\text{N}$  사이의 히말라야 하단에 발생하는 중규모 대류계와 직접적 상관관계를 가진다. 결과는 히말라야 고도 500 ~ 4000m에 설치된 강우계로부터 획득된 강우자료의 변화 특성과 대류계 거동 특성이 유사함을 보여주었다(Barros et al. 2000). 집중호우의 강력한 야간발생과 Gangetic Plains에서 발생한 중규모 대류계와의 연관성을 보여주었다(Barros et al. 2000).

**핵심용어** : 대류계, 여름몬순, 집중호우, 일변화

### 1. 서 론

여름몬순기간동안 대류계(Convective Weather System)는 잠열 및 수분의 수평 및 수직방향 교환에 주된 영향인자일 뿐 아니라 집중호우를 동반하는 등 네팔과 인디아지역의 수문학적 사이클의 기본요소이다. Maddox (1980)에 의하여 중규모 대류계가 규정된 후 중위도지역 중규모 대류계의 기후특성에 대한 수많은 연구들이 수행되어 왔다. 다른 여러지역에 대한 중규모 대류계의 연구 결과는 비슷한 특성을 보여 주었다. 먼저, 인디아지역에 대해서는 전형적인 중규모 대류계는 야간에 대륙에서 주로 발생하며 지속시간은 약 9시간이다. 강우와 상관된 찬 구름대의 크기는 약  $300,000\text{km}^2$ 이다(Laing and Fritsch, 1993a). 미국지역에 발생하는 전형적인 중규모 대류계는 야간에 대륙에서 주로 발생하며 지속시간은 약 10시간이다 (Augustine and Howard, 1991). 서부 태평양지역에 대해서도 비슷한 특성을 보인다. 즉 지속시간은 약 11시간이며 강우와 상관된 찬 구름대의 크기는 약  $200,000\sim 300,000\text{km}^2$ 이다. 계절적분포 또한 미대륙과 비슷한 양상을 보인다. 아프리카 지역에 대해서는 야간에 대륙에서 주로 발생하며 지속시간은 약 10시간이다. 강우와 상관된 찬 구름의 크기는 약  $200,000\sim 300,000\text{km}^2$ 에 달한다(Hodges and Thorncroft, 1997; Liang and Fritsch, 1993b). 북서아프리카 지역에 대해서는 적은 수의 찬 구름대가 오랜 시간 지속되어 전체 구름대에 기여하며 대부분의 발생은 산악효과에 의존한다 (Mathon and Laurent, 2001). 중규모 대류계에 대한 연구결과는 따뜻한 공기가 유입되는 저층젓 지역에서 발생한다. Fritsch 와 Maddox(1981) 중규모대류계의 발

생과정을 다음과 같이 기술하였다. 중규모 대류계는 뇌우를 동반하며 오후에 시작되어 초저녁까지 보다 크고 체계화된 시스템으로 합쳐진다. 중규모대류계가 시작하는 기간동안은 저층젓은 다습한 공기를 이룬 저녁시간까지 공급하고 강우는 주로 이송형이다. 중규모대류계는 자정을 지난 후 주로 최고로 발달한다. 이기간 동안에 상층 대류권에서는 중규모 고기압이 발달하고 중층 대류권에서는 사이클론의 중심이 발달한다. 중규모 대류계의 소멸기간동안에는 찬 구름대의 강도, 형상 및 이송성이 파괴된다.

강수량과 중규모 대류계의 활동성과의 상관관계에 대한 연구는 전강수량에 미치는 중규모 대류계의 영향이 지역특성에 따라 다음과 같이 변화함을 보여주었다: 1) Central Sahel에서는 년강수량의 90%이상을 차지한다(D'amato and Level, 1998); 2) 북미대륙의 Great Plain 지역에서는 강우가 발달하는 계절의 50% 이상을 차지한다(Fritsch et al., 1993); 3)대서양과 동적도 태평양지역에서는 년강수량의 비교적 적은 비중을 차지한다(Evans and Sherno, 1996). Evans 와 Sherno (1996)는 대류계를 열대성 사이클론, MCC, CCC 와 DSC로 구분하여 특성화 하였다. 위성자료를 이용한 강수량산정기법에 의하여 계산된 강수량에 의하면 DSC가 년강수량에 가장 큰 영향을 미치고 CCC가 두 번째로 큰 영향을 미치며 MCC는 세 번째로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러므로 1999 및 2000년 여름몬순기간동안에 발생한 강우와 대류계의 상관관계를 규명하기 위해서는 중규모 대류계뿐 아니라 모든 대류계와의 상관관계에 대한 해석이 필수적이라고 하겠다. 본 연구는 산악지역에서의 중규모 대류계의 시공간적

특성을 규명함으로써 중규모 대류계와 연관된 강우사상의 연구 및 악기상과 동반되는 돌발홍수예측등에 요구되는 위성영상의 활용방안을 제시하리라 사료된다(Kim and Barros, 2001). 한반도 지역에 대한 대류계의 특성에 관한 연구는 국토의 약 70%가 산악지역이며 하류부에 대한 홍수도달시간이 매우 짧은 우리나라에 있어 악기상과 동반되는 돌발홍수등의 해석에 있어 기상과 수문현상을 연계하여 개선된 예측기술의 제시를 가능하게 하리라 본다. 자료의 가용성에 근거하여 본연구에서는 네팔과 인디아 북부 히말라야 산악지역의 대류계에 대하여 연구를 수행하였다.

Meteosat-5 정지위성으로부터 관측된 적외선 영상을 이용하여 북부 인도 히말라야 남방측면을 따라 발생하는 MCC, CCC 와 DSC의 시공간 특성을 조사하였다. 대류계의 궤적을 추적하기 위한 알고리즘으로는 Augustin(1985)에 의하여 개발되어 Williams 와 Houze (1987) 및 Evans 와 Shemo (1996)에 의하여 개선된 기법을 사용하였다.

## 2. 자료 및 추적모형

Meteosat-5는 63oE 인도양 상공에 있는 정지위성으로 적도에서 지구중심으로부터 고도 42,163m에 위치하고 있다. 위성은 가시광선(채널1), 적외선(채널8) 및 수증기(채널10) 등 세 개의 밴드를 가지고 있으며 시·공간적인 샘플링 간격은 각각 1시간 및 5-10km를 가진

다. 위성영상자료 각 격자의 밝기온도 및 위도, 경도 자료는 Man Computer Interactive Data Access System (MCIDAS, oroginally developed at the University of Wisconsin)를 사용하여 적외선 영상자료를 후처리하여 얻었다. 약 4%미만의 결측 자료는 선형보간법에 의하여 보정하였다. 본 연구에서는 20°N-35°N와 70°E-90°E 지역에 발생한 대류계에 대하여 분석하였다.

개선된 대류계 추적모형은 Augustine(1985)에 의하여 기본적으로 개발된 분류부분과 William과 Houze (1987)에 의하여 개발된 추적부분으로 구성되어 있다. 본 모형은 표1에서 제시한 기준 즉 지속시간, 크기, 편심률 등에 의하여 MCC, CCC 및 DSC로 구분하였다. 크기와 편심률은 대류계의 구분과 지속시간을 산정하는데 사용되었고 대류계중심점은 궤적을 추적하는데 사용되었다. 중규모대류계는 모양, 지속시간 및 크기조건을 모두 만족하여야 하나 최고 크기로 발달했을 시점을 전후한 시간의 (±1시간) 대류계가 모양조건을 만족하면 MCC로 구분하였다. MCC 모양조건을 만족하지 못한 상태에서 지속시간이 6시간 이상이며 찬구름대의 크기가 4000km<sup>2</sup> 이상 일 때 CCC로 구분하였다. 만약 찬구름대의 크기가 4000km<sup>2</sup> 이상이나 지속시간이 6시간 이하일 때는 DSC로 구분하였다.

## 3. 결과 및 요약

대상지역의 전형적인 대류계는 야간에 높은 활동성

표 1. 인공위성영상해석에 사용된 대류계 특성의 정의 (Evans and Shemo, 1996)

Mesoscale Convective Complex (MCC)	
* Size:	Cloud shield which has continuously low IR temperature of less than 219K must have an area (50,000 km <sup>2</sup> )
* Shape:	Eccentricity (minor axis/major axis) > 0.7
* Duration:	Size definitions last for a period > 6 hours
Convective Cloud Cluster (CCC)	
* Size:	Cloud shield which has continuously low IR temperature of less than 219K must have an area (4,000 km <sup>2</sup> )
* Shape:	No shape criterion
* Duration:	Size definitions last for a period > 6 hours
Disorganized Short-lived Convection (DSC)	
* Size:	Cloud shield which has continuously low IR temperature of less than 219K must have an area (4,000 km <sup>2</sup> )
* Shape:	No shape critetion
* Duration:	Size definitions last for a period < 6 hours

을 가지며 최빈월은 7월이었다. 표 2a-4b는 1999년과 2000년 여름몬순기간 중 대상지역에 발생한 대류계의 통계적 특성을 나타낸다. 일반적으로 7월과 9월 사이에 약 30-35개의 MCC가 발생하였으며 지속시간은 약 11시간이었고 찬구름대 (<235K)의 크기는 200,000km<sup>2</sup>와 320,000 km<sup>2</sup> 사이였다. 이 기간동안에 CCC는 약 600-650개가 발생했으며 지속시간은 약 8시간이었고 찬구름대(<235K)의 크기는 100,000km<sup>2</sup>와 200,000 km<sup>2</sup> 사이였다. 이 기간동안에 DSC는 약 6,500-7,000개가 발생했으며 지속시간은 약 2시간이었고 찬구름대 (<235K)의 크기는 100,000km<sup>2</sup>와 180,000 km<sup>2</sup> 사이였다. 본 연구의 결과는 인근지역에 대한 이전 연구(Laing and Fritsch, 1993a)결과와 매우 비슷한 결과 즉 지속시간 (11시간 대 9시간), 크기 (250,000 km<sup>2</sup> 대 300,000 km<sup>2</sup>)를 보여주었다. 그러나 이전 연구지역보다 비교적 작은 지역에 대한 결과이고 각 대류계를 구분하는 기준이 다소 다른 관계로 통계치가 약간의 차이를 보인다. 또한 사용된 자료의 시공간 샘플링 간격의 차이도 ( $\Delta t=1$ 시간,  $\Delta l=10$ km 대  $\Delta t=3$ 시간,  $\Delta l=30$ km)도 통계치의 차이를 발생시키는 원인이 되리라 본다.

### 3.1 크기 및 지속시간

표 2a는 1999년 여름몬순기간 동안에 대한 대류계의 통계치로 MCC는 찬 구름대의 크기는 약 124,000 km<sup>2</sup> (<219K)와 258,000 km<sup>2</sup>(<235K)이며 평균지속시간은 10.8시간이다. 찬 구름대의 평균온도는 207.6K(<219K 시스템)와 215.1K(<235K 시스템)이다. 표 3a는 CCC에 대한 통계치로 찬 구름대의 크기는 약 37,000 km<sup>2</sup> (<219K)와 159,000 km<sup>2</sup>(<235K)이며 평균지속시간은 7.8시간이다. 찬구름대의 평균온도는 210.4K(<219K 시스템)와 217.8K(<235K 시스템)이다. 표 4a는 DSC에 대한 통계치로 찬구름대의 크기는 약 18,000 km<sup>2</sup> (<219K)와 155,000 km<sup>2</sup>(<235K)이며 평균지속시간은 2시간이다. 찬구름대의 평균온도는 213.9K(<219K 시스템)와 218.7K(<235K 시스템)이다. 표 2b, 3b 및 4b는 2000년 여름몬순기간 동안에 발생한 대류계의 통계치를 나타내고 전년도 통계치와 유사한 결과를 보인다.

찬구름대의 크기의 발달과정은 대류계의 활동성과 상관한 현저한 일차이점을 보인다. 찬구름대의 최대크기는 대류계가 가장 활발한 오후 6시경에 나타나며 (그림 1) 변동성은 7, 8월에 강한 반면 9월부터 약해진다.

대류계의 크기는 6월과 7월 동안 증가하다가 8월과 9월로 접어들면서 줄어든다.

### 3.2 공간적 분포

Laing과 Fritsch(1997)는 International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP-B3) 자료를 사용하여 MCC의 지형적 분포를 분석하였다. 그들은 MCC가 대륙의 Outgoing Long-wave Radiation (OLR)의 최고치와 최저치의 변화지역과 특히 OLR 최저치 주변지역과 바람이 불어가는 쪽의 산지 경사면에서 활발하게 발생한다는 것을 보여주었다. Augustine과 Howard(1991)도 MCC의 활동성과 OLR변화도 사이의 밀접한 관계성을 발견하였다. 또한 전형적인 MCC는 따뜻한 공기가 유입되는 저층제트 지역에서 발생한다. 본 연구에서는 대부분의 MCC 활동은 Gangetic Plains 부분에서 발견되었다(그림 2a, 2b).

본 연구의 대상지역은 동서 및 남북 방향의 지형이상반되는 요소들로 구성된 흥미로운 형태를 보여준다. 대상지역의 서쪽에는 건조한 지형으로 Tar 사막이 위치하고 있는 반면 오른쪽에는 충분한 수분을 공급할 수 있는 Bengal 만이 위치하고 있다. 또한 남북간에는 극심한 표고차이를 보이고 있다 즉 북쪽에는 Tibetan 고원이 있고 남쪽에는 표고가 낮은 Gangetic 평원이 있다. 그림 2a,b는 이러한 지형적 특성과 대류계의 활동성과의 상관관계를 나타낸다. 일반적으로 MCC는 Gangetic 평원과 같이 표고가 낮은 지역에서 발생하고 Tibetan 고원 같이 지대가 높은 지역에서의 발생빈도는 상대적으로 낮다. CCC와 DSC는 늦은 오후와 밤동안은 Tibetan 고원에서 발생하여 이른 아침엔 Gangetic 평원에서 주로 발생한다. 대류계 발생수는 Bengal 만과 인접하고 있는 대상지역의 오른쪽이 지배적이며 Tar 사막이 있는 왼쪽에서는 발생빈도가 상대적으로 낮다. 대류계는 Bengal 만에서 활동이 시작되어 7월과 8월을 통해 전 대상지역에 분포하게되며 9월이 되면서 다시 Bengal 만으로 활동성이 위축된다. 그림 3은 각 대류계 빈도에 대한 시계열과 평균 구름강도에 대한 Hovmoeller 그림 및 각 대류계의 중심점의 시계열을 나타낸다. 1999년 여름몬순은 이른 6월 시작하여 7월 중순과 8월 중순경 가장 활발했으며 2000년 여름몬순기간은 이른 6월 시작하여 7월에 가장 활동적이며 7월과 8월 사이에 선명하게 강수가 잠시 중단하는 기간을 가진다.

표 2a. 1999년에 발생한 MCC의 통계적 특성

	June	July	August	September
Number of MCC	9	19	8	5
Life Time (hr)	11.2	10.5	9.8	12.5
Average Area < 219K (km <sup>2</sup> )	151,187	129,389	98,035	100,793
Stdev. of Area < 219K (km <sup>2</sup> )	53,462	40,604	47,050	28,258
Average Temp. (K)	205.3	207.9	208.4	208.3
Stdev. of Temp. (K)	7.4	6.4	6.2	6.3
Average Area < 235K (km <sup>2</sup> )	311,634	310,710	194,774	199,507
Stdev. of Area < 235K (km <sup>2</sup> )	95,387	117,217	107,753	58,394
Average Temp. (K)	213.0	215.5	214.7	215.8
Stdev. of Temp. (K)	11.7	10.4	10.1	10.6

표 2b. 2000년에 발생한 MCC의 통계적 특성

	June	July	August	September
Number of MCC	9	11	8	6
Life Time (hr)	11.6	10.8	10.8	10.3
Average Area < 219K (km <sup>2</sup> )	131,204	124,678	89,522	121,915
Stdev. of Area < 219K (km <sup>2</sup> )	33,979	35,817	17,315	30,402
Average Temp. (K)	207.2	208.3	206.6	208.1
Stdev. of Temp. (K)	6.5	6.1	6.5	6.4
Average Area < 235K (km <sup>2</sup> )	286,230	243,928	189,198	247,033
Stdev. of Area < 235K (km <sup>2</sup> )	90,416	75,729	60,371	51,612
Average Temp. (K)	215.4	215.5	213.7	215.8
Stdev. of Temp. (K)	10.9	10.2	10.9	10.7

표 3a. 1999년에 발생한 CCC의 통계적 특성

	June	July	August	September
Number of CCC	90	209	203	154
Life Time (hr)	7.9	7.7	7.7	8.0
Average Area < 219K (km <sup>2</sup> )	42,728	37,149	39,056	32,518
Stdev. of Area < 219K (km <sup>2</sup> )	26,302	21,692	22,128	16,866
Average Temp. (K)	209.6	210.6	210.5	210.4
Stdev. of Temp. (K)	5.6	5.1	5.3	5.1
Average Area < 235K (km <sup>2</sup> )	154,413	187,432	166,194	113,936
Stdev. of Area < 235K (km <sup>2</sup> )	70,776	108,509	84,102	56,548
Average Temp. (K)	217.2	218.0	217.5	218.1
Stdev. of Temp. (K)	10.0	9.3	9.5	9.3

표 3b. 2000년에 발생한 CCC의 통계적 특성

	June	July	August	September
Number of CCC	134	214	188	91
Life Time (hr)	7.7	7.9	7.6	7.8
Average Area < 219K (km <sup>2</sup> )	35,989	34,554	35,883	29,131
Stdev. of Area < 219K (km <sup>2</sup> )	22,753	22,029	20,463	13,538
Average Temp. (K)	210.5	211.4	210.7	211.3
Stdev. of Temp. (K)	5.0	4.6	5.1	4.7
Average Area < 235K (km <sup>2</sup> )	136,542	178,914	152,921	99,959
Stdev. of Area < 235K (km <sup>2</sup> )	74,344	93,667	76,696	40,289
Average Temp. (K)	218.1	218.9	218.0	219.0
Stdev. of Temp. (K)	9.3	8.7	9.3	8.9

표 4a. 1999년에 발생한 DSC의 통계적 특성

	June	July	August	September
Number of DSC	1,098	1,902	2,270	1,436
Life Time (hr)	1.9	2.0	1.9	2.0
Average Area < 219K (km <sup>2</sup> )	20,550	18,644	19,071	15,487
Stdev. of Area < 219K (km <sup>2</sup> )	4,203	4,400	4,100	3,263
Average Temp. (K)	211.4	212.1	211.9	212.0
Stdev. of Temp. (K)	4.6	4.3	4.5	4.2
Average Area < 235K (km <sup>2</sup> )	123,513	181,130	167,889	123,822
Stdev. of Area < 235K (km <sup>2</sup> )	20,144	33,528	26,824	19,304
Average Temp. (K)	218.4	218.5	218.7	219.4
Stdev. of Temp. (K)	9.3	8.9	9.0	8.7

표 4b. 2000년에 발생한 DSC의 통계적 특성

	June	July	August	September
Number of DSC	1,347	2,416	1,950	920
Life Time (hr)	2.0	2.0	2.0	1.9
Average Area < 219K (km <sup>2</sup> )	17,577	18,441	18,447	14,630
Stdev. of Area < 219K (km <sup>2</sup> )	4,584	4,367	4,614	2,794
Average Temp. (K)	211.8	212.8	212.0	212.7
Stdev. of Temp. (K)	4.3	3.9	4.4	4.0
Average Area < 235K (km <sup>2</sup> )	125,012	172,857	143,368	96,324
Stdev. of Area < 235K (km <sup>2</sup> )	23,318	32,884	29,274	15,685
Average Temp. (K)	219.0	219.4	218.4	219.6
Stdev. of Temp. (K)	8.9	8.3	8.9	8.3

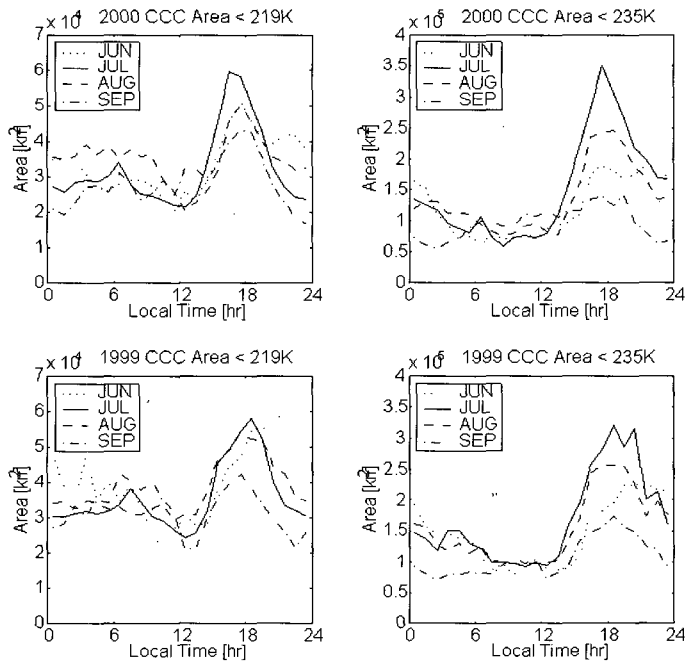


그림 1. 찬구름 크기의 샘플 일변화 (CCC 와 DSC)

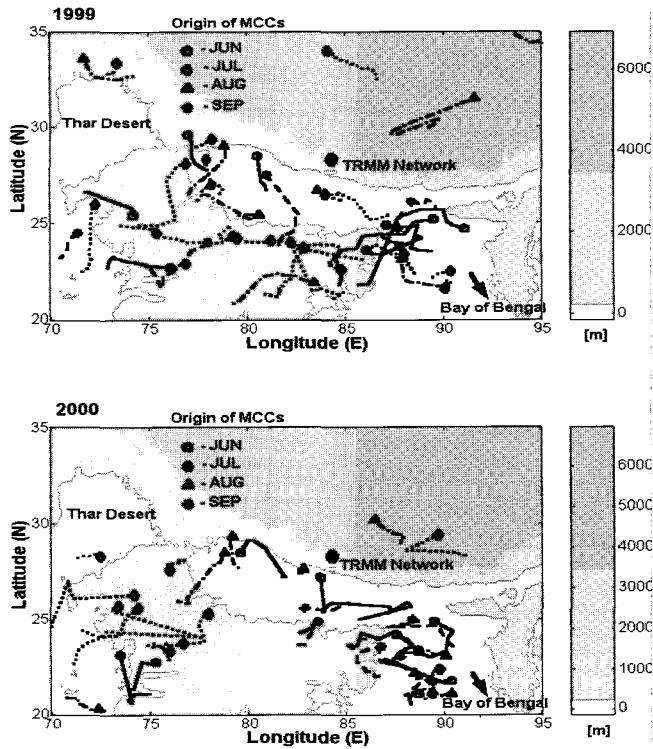


그림 2. 중규모 대류계의 샘플레트 a. 1999, b. 2000

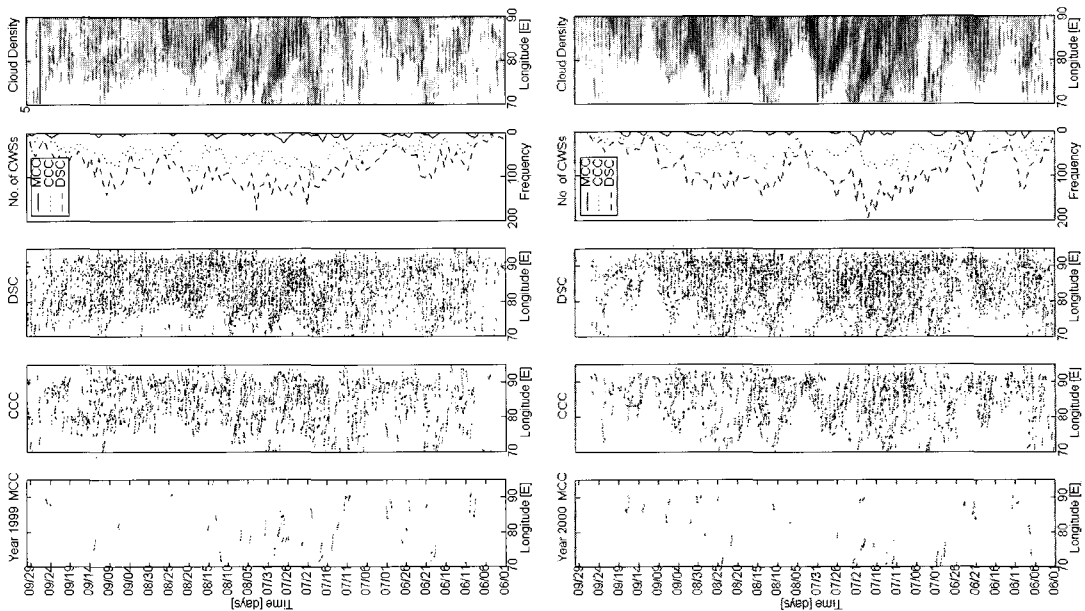
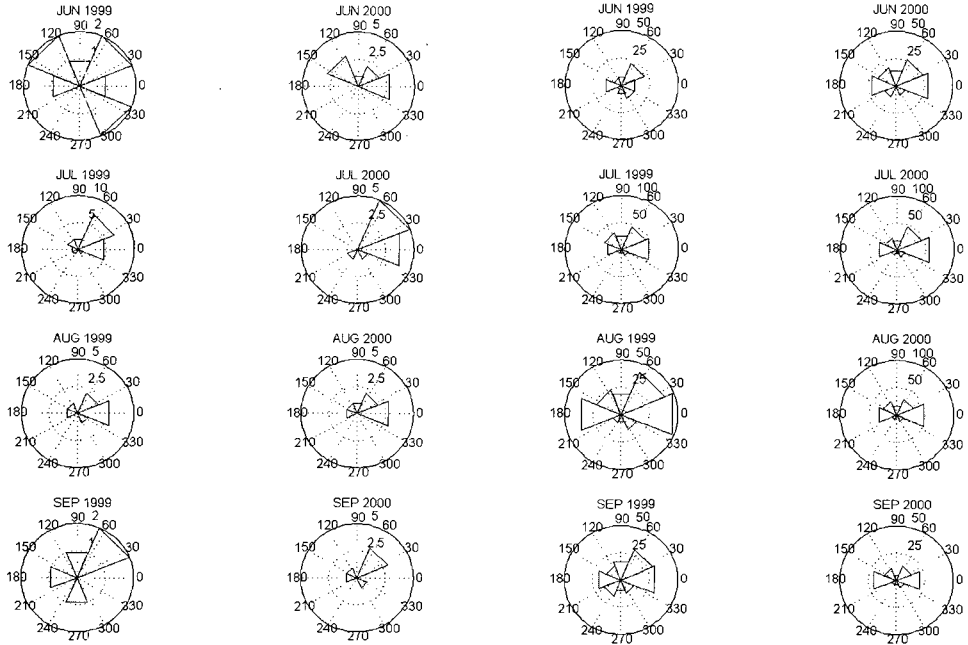
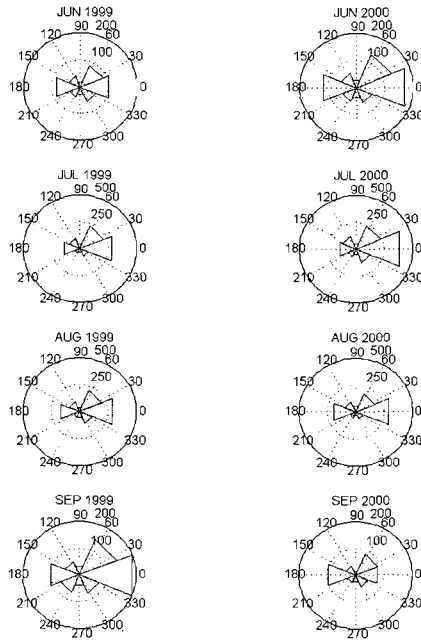


그림 3. 대류계 (MCC, CCC 및 DSC)의 중심점과 빈도의 시계열 및 평균 밝기온도에 대한 Hovmoeller 그림 a. 1999, b. 2000



Moving Direction of MCCs

Moving Direction of CCCs



Moving Direction of DSCs

그림 4. 대류계 (MCC, CCC 및 DSC)의 이동방향



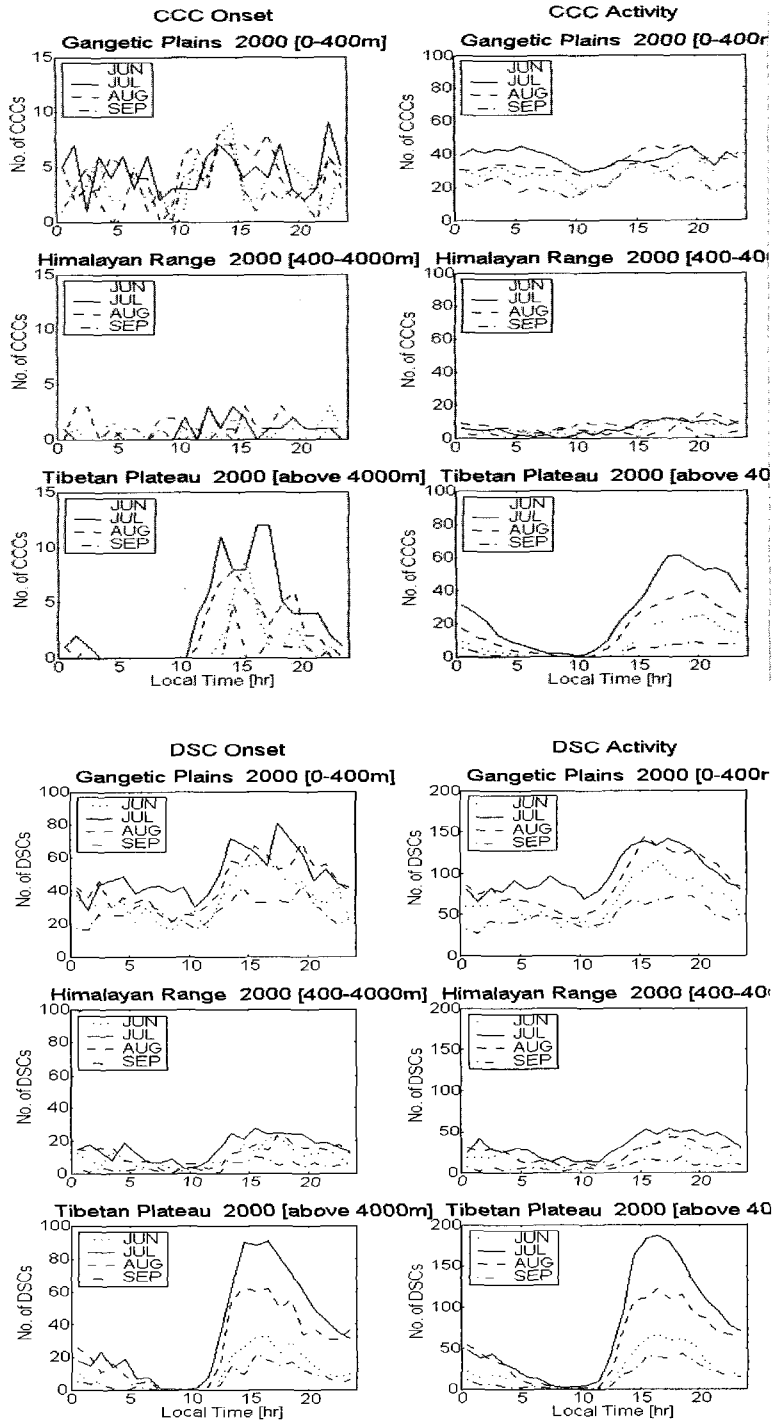


그림 5. 여러 표고 (0-400m, 400-4,000m, 4,000m 이상)에 따른 CCC와 DSC의 일변화 특성

### 3.3 전파 특성

Krishnamurti와 Kishtawal (2000)은 Meteosat-5와 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 자료를 사용하여 아시아 여름몬순의 일변화 특성을 조사하였다. 그들은 Tibet 지역의 고기압과 적도 동쪽으로부터의 제트가 중규모 대류계의 이동을 위한 전제조건이란 것을 발견하였다. 낮 동안 Bengal 만으로부터 이러한 구름대의 육지로 향한 이동과 이른 아침 반대 방향으로의 이동은 오후에 형성되는 저기압 시스템과 연관되어있다. 또한 대류계의 이동 특성은 Tibetan 지역의 바람 방향의 일변화와 상관되어 있다.

그림 2는 1999년과 2000년 여름몬순기간동안의 MCC의 이동궤적을 나타내고 그림 4는 대류계의 이동특성을 나타낸다. 대류계의 이동 특성을 해석하기 위하여 다음과 같이 8개의 방향을 설정하였다.(1-북; 2-북동; 3-동; 4-남동; 5-남; 6-남서; 7-서; 8-북서) 분류된 각 방향은 45° [표시된 방향의 +25°, -25°]로 이루어져 있다. 그림 5는 대류계 전파의 주된 방향성분을 나타낸다. 대류계는 주로 3방향, 서, 남서, 동쪽 방향으로 진행한다. 주 진행방향은 Krishnamurti와 Kishtawal(2000)의 동일한 지역에 대한 풍향의 일변화와 일치한다.

### 3.4 산악 효과

Murakami(1983)는 일본정지기상위성 자료를 사용하여 서태평양과 남동아시아 지역의 대류계활동의 일변화에 대하여 연구하였다. 그는 Tibetan 고원의 대류계 활동은 여름몬순기간 동안에는 오후가 되면서 증가하다가 이른 아침에 사라지고 반면에 히말라야 동쪽 자락에서는 강한 대류계가 이른 아침에 발생했다가 오후가 되면서 사라지는 것을 발견하였다. 결과는 대류계의 일변화 특성이 공간특성에 영향을 받음을 보여주었다.

본 연구에서는 CCC와 DSC의 일변화 특성을 여러 표고 즉, 0-400m (Gangetic 평원), 400-4,000m (히말라야 남쪽 기슭), 4,000m이상 (Tibetan 평원)에 대하여 연구하였다. 결과는 표고의 고저에 따라 양분되었다. CCC 및 DSC의 시작과 활동의 일변화는 Tibet 고원에서 명확하게 나타났고 Tibetan 고원에서는 주로 늦은 오후와 저녁 동안에 시작되었고 Gangetic 평원에서는 이른 아침에 주로 발생하였다. 즉, 두 지역에 대한 대류계의 발생특성이 명확히 양분되었다.

### 3.5 일변화

모든 대류계는 이전 연구결과들과 동일하게 명백한

일변화를 가지며 주된 활동은 야간에 이루어진다. 찬구름대의 크기, 시작시간, 대류계의 발생횟수 등의 일변화 특성에 대하여 분석하였다(그림 5). 일변화 특성은 7월 중에 가장 강하게 나타났으며 저지대(0-400m) 보다는 고지대(4000m 이상)에서 강하게 나타났다. 이러한 명백한 일변화는 다른 표고에서의 일사량의 차이에 기인하고 있다. MCC, CCC 및 DSC는 활동성은 명백한 일변화 특성을 보여주며 그림 6은 집중호우에 가장 큰 영향을 미칠것으로 생각되는 MCC 발생횟수의 일변화 특성으로 야간에 집중되는 지역강우특성과 동일함을 보여준다.

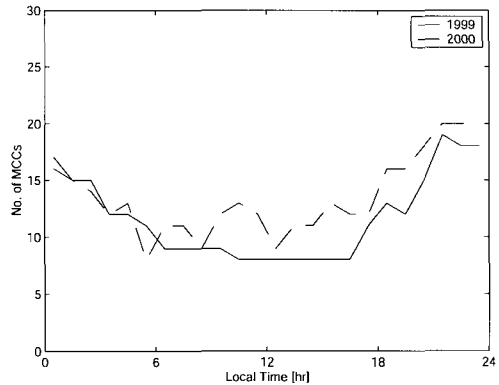


그림 6. MCC 발생횟수의 일변화

## 4. 결 론

Meteosat-5 IR 위성영상을 사용하여 해석한 1999년과 2000년 여름몬순기간 동안 네팔과 인디아 북쪽 히말라야 산악지역에서의 기상 특성은 중규모 대류계의 분명한 존재와 늦은 오후와 저녁동안의 활발한 진행특성을 보여주었다. 대상지역에 발생하는 중규모 대류계의 전형적인 지속시간은 약 11시간이며 크기는 약 300,000km<sup>2</sup>이다. 이러한 결과는 Laing과 Fritsch (1993)에 의하여 제시된 인디아지역에 발생하는 중규모 대류계의 기본특성과 비슷함을 보여준다. MCC의 발생빈도 및 크기는 7월 중 최고치에 도달하고 공간적으로는 북서 및 서쪽으로 진행한다. MCC의 중심은 주로 히말라야 산악지역과 원거리에 위치함에도 불구하고 큰 규모의 기상시스템이므로 산악지역의 집중강우에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 결과는 TRMM-PR 자료로부터 획득된 동일지역의 강우특성으로부터 유사함을 알 수 있다 (Barros et al., 2000). 또한 히말라야 고도 500 ~ 4000m에 설치

된 강우계로부터 획득된 강우자료의 일변화 특성과 대류계의 거동은 유사함을 보여준다. 즉, 집중호우의 강력한 야간발생과 Gangetic Plains의 중규모 대류계와의 연관성을 보여주었다(Barros et al., 2000). CCC와 DSC의 이동특성 및 시공간적인 생성특성은 MCC와 유사함을 알 수 있다. 또한 중규모 대류계의 활발한 활동의 시작은 Lang과 Barros (2002)에 의하여 제시된 1999년과 2000년에 대한 문순시작시기와 일치함을 보여준다.

### 참 고 문 헌

- Augustine, J.A. (1985). "An automated method for the documentation of cloud-top characteristics of mesoscale convective systems." *NOAA Tech Memo ERL ESG 10*, NITS PB-85-204246, Boulder, CO, pp. 121.
- Augustine J.A. and Howard, K.W. (1991). "Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 119, pp. 1575-1589.
- Barros, A.P., Joshi, M., Putkonen, J. and Burbank, D.W. (2000). "A study of the 1999 monsoon rainfall in a mountainous region in central Nepal using TRMM products and rain gauge observations." *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 27, No. 22, pp. 3683-3686.
- D'Amato, N. and Lebel, T. (1998). "On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climate variability." *Int. J. Clim.*, Vol. 18, pp. 955-974.
- Evans, J.L. and Shemo, R.E. (1996). "A procedure for automated satellite-based identification and climatology development of various classes of organized convection." *J. Appl. Meteor.*, Vol. 35, pp. 638-652.
- Fritsch, J.M. and Maddox, R.A. (1981). "Convective driven mesoscale pressure systems aloft. Part 1: Observations." *J. Appl. Meteor.*, Vol. 20, pp. 9-19.
- Hodges, K.I. and Thorncroft, C.D. (1997). "Distribution and statistics of African mesoscale convective weather systems based on the ISCCP Meteosat imagery." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 125, pp. 2821-2837.
- Kim, G., and Barros, A.P. (2001). "Quantitative flood forecasting using multisensor data and neural networks." *J. Hydrol.* Vol. 246, pp. 45-62.
- Krishnamurti, T.N. and Kishtawal, C.M. (2000). "Notes and correspondence: A pronounced continental-scale diurnal mode of the Asian summer monsoon." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 128, pp. 462-473.
- Laing, A.G. and Fritsch, J.M. (1997). "The global population of mesoscale convective complexes." *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, Vol. 123, pp. 389-405.
- Laing, A.G. and Fritsch, J.M. (1993). "Mesoscale convective complexes over the Indian monsoon region." *J. Clim.*, Vol. 6, pp. 911-919.
- Laing, A.G. and Fritsch, J.M. (1993). "Mesoscale convective complexes in Africa." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 121, pp. 2254-2263.
- Lang, T., and Barros, A.P., (2002). "An Investigation of the Onsets of the 1999 and 2000 Monsoons in Central Nepal." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 130, No. 5, pp. 1299-1316
- Maddox, R.A., (1980). "Mesoscale convective complexes." *Bull. Am Meteorol. Soc.*, Vol. 61, No. 11, pp. 1374-1387.
- Mathon, V. and Laurent H. (2001). "Life cycle of Sahelian mesoscale convective cloud systems." *S.J.R. Meteorol. Soc.*, Vol. 127, pp. 377-406.
- Mcanelly R.L. and Cotton, W.R. (1989). "The precipitation life cycle of mesoscale convective complexes over the central United States." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 117, pp. 784-808.
- Murakami, M. (1983). "Analysis of the deep convective activity over the western Pacific and Southeast Asia. Part I: Diurnal variation." *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 61, pp. 60-77.
- Williams, M. and Houze, Jr. R.A. (1987). "Satellite observed characteristics of winter monsoon cloud clusters." *Mon. Wea Rev.*, Vol. 115, pp. 505-519.

(논문번호:02-82/접수:2002.10.02/심사완료:2003.05.20)