

석사학위논문

서해상의 중규모 대류계에 의한  
호우 셀의 발달 경향에 관한 연구

제주대학교 산업대학원

해양생산학과

해양학 전공

오 영 숙

2008

석사학위논문

서해상의 중규모 대류계에 의한  
호우 셀의 발달 경향에 관한 연구

제주대학교 산업대학원

해양생산학과

해양학 전공

오 영 숙

2008

# 서해상의 중규모 대류계에 의한 호우 셀의 발달 경향에 관한 연구

지도교수 방 의 찬

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

2008년 8월

제주대학교 산업대학원

해양생산학과 해양학전공

오 영 속

오영속의 이학 석사학위 논문을 인준함.

2008년 8월

심사위원장           윤 정 수           (인)

위 원           최 영 찬           (인)

위 원           방 의 찬           (인)

A Study on the Tendency of Heavy Rainfall-Cell  
by Development with Mesoscale Convective System  
in the West Sea

Young-Sook Oh

(Supervised by Professor Ig-Chan Pang)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY  
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2008

< 목 차 >

목차 .....	i
List of Figures .....	iii
List of Tables .....	vi
Summary .....	vii
I. 서론 .....	1
II. 자료 및 분석과정 .....	3
1. 조사자료 .....	3
2. 분석과정 .....	4
3. 사례분석일자 .....	4
III. 중규모 대류계에서 호우 셀의 발생 특징 .....	7
1. 이론적 배경 .....	7
2. 한반도에서 호우 셀의 발생지역 .....	8
2.1. 한반도 강수량 분포 .....	10
2.2. 제주도 호우발생 특징 .....	12
IV. 서해상의 수온과 호우 셀의 관계 .....	15
1. 한국연안의 월 평균수온 분포 .....	15
2. 서해상의 수온분포와 호우 셀의 발달 경향 .....	17

V. 서해상에서 발달하는 호우 셀의 패턴 .....	19
1. 남해안에 집중호우를 발생시키는 패턴 .....	19
1.1. 서해상에서 발달하는 패턴 .....	19
1.2. 서해상에서 전이단계 거쳐 약화되는 패턴 .....	22
2. 제주도와 호남내륙에서 발달하는 패턴 .....	24
VI. 사례분석 .....	27
1. 2008. 8. 27.의 사례 .....	27
2. 2003. 7. 20.의 사례 .....	33
3. 2006. 6. 10.의 사례 .....	39
4. 2007. 10. 25.의 사례 .....	43
VII. 결론 .....	47
요    약 .....	48
참고문헌 .....	49
감사의 글 .....	51

## List of Figures

Fig. 2.1. Weather stations in Jeju Island. ....	6
Fig. 3.1. Synoptic figure of convective cloud clusters cases .....	9
Fig. 3.2. Satellite images of water vapor .....	9
Fig. 3.3. Distribution chart of convective cloud clusters .....	9
Fig. 3.4. Climatological annual normal precipitation .....	11
Fig. 3.5. Heavy rainfall occurrence of daily precipitation over 50mm/1hour (1998~2007) .....	11
Fig. 3.6. Frequency of daily heavy rainfall over 150mm/day(1998~2007) .....	11
Fig. 3.7. Frequency of heavy rainfall over 50mm/1hour(1998~2007) (a) synoptic condition pattern. (b) in time monthly rate. ....	13
Fig. 3.8. Time series of frequency of heavy rainfall over 50 mm/1hour (1998~2007) .....	14
Fig. 4.1. Monthly sea surface temperature at a) Chilbaldo and Mokpo and b) Guomundo and Yeosu .....	16
Fig. 4.2. Satellite images of CC travelling through the west sea(GMS) .....	18
Fig. 4.3. Satellite images of CC development through the west sea(GMS) .....	18
Fig. 5.1. Surface weather charts and satellite images of GMS water vapor in cases of a) development in the stationary front and the edge of mT(West Sea), b) Development in the cold front and the edge of mT(West Sea), c) evelopment at the end of a warm front(West Sea after formation in China) .....	21
Fig. 5.2. Surface weather charts and satellite imagees of GMS water vapor in cases of a) Weakening in the west sea, b) Case of the secondary development of the CC in the western part of Jeju Sea after weakening	

	in the west sea, c) Case of the secondary development of the CC in the western part of Jeju Sea after weakening in the west sea .....	23
Fig. 5.3.	Surface weather charts of satellite images of GMS water vapor in the case of CC formation by orographic effect a) in the inland of Honam local heavy rainfall, b)in Jeju when the mT expands its influence, c) in Jeju when the mT contracts its influence .....	26
Fig. 6.1.	a) Schematic figure of CC movement, b) GMS water vapor images in the cases of heavy rainfall with CC development and shrint. ....	29
Fig. 6.2.	a) Schematic figure of CC development, b)synoptic figure of mT and a warm front, c)850hPa weather chart, d) 700hPa weather chart, e)500hPa weather chart, f)200hPa weather chart on 27. August. 2003. ....	30
Fig. 6.3.	Time series of precipitation from AWS at Hongdo from 00:00 KST 27 to 09:00 KST 27 August 2003. ....	31
Fig. 6.4.	a)Daily accumulative precipitation, b) CAPPI radar images, c) 30-minute lightning distributions, d)GMS satellite images for water vapor, e)GMS Cloud Top Temperature, f) GMS Cloud Height. at 03:00 KST 27 August 2003. ....	31
Fig. 6.5.	Analysis charts at 00UTC 27. August. 2003. a) 850hPa Moisture Flux, (b)850 hPa Equivalent Potential Temperature(3K) (c) K-index.. ....	32
Fig. 6.6.	a) Schematic figure of CC movement b) GMS water vapor satellite images in the case of heavy rainfall with CC development and shrint. ....	34
Fig. 6.7.	a)Surface weather chart, b)850hPa weather chart, c)500hPa weather chart on 20. July. 2003. ....	34
Fig. 6.8.	Time series of AWS data at Eorimok(temp., precip. wind.) from 04KST	



20 to 11KST 20. July. 2003. ....	35
Fig. 6.9. wind vector and distribution of 1hour precipitation at 08:30 20. July. 2003. around Jeju. ....	36
Fig. 6.10. a)Daily accumulative precipitation, b)CAPPI radar images, c)30-minute lightning distributions, d)GMS satellite images for water vapor, e)GMS Cloud Height. at 04:00 KST 20. July. 2003. ....	36
Fig. 6.11. Analysis charts at 00UTC 20. July. 2003. a) 850hPa Moisture Flux, (b)850 hPa Equivalent Potential Temperature(3K) (c) K-index. ....	37
Fig. 6.12. On-top temperature Image from MTSAT-IR CLOUD(2006. 6. 10).....	40
Fig. 6.13. 00UTC and 12UTC of Auxiliary analysis chart on Jun 10th 2006. ....	40
Fig. 6.14. Windectors, CAPPI radar images at Jindo MCUT radar at a)15:00, b)15:30, c) 16:00, d)16:50 . on June 10, 2006. ....	41
Fig. 6.15. a)wind vector b)U-wind(10min) c)V-wind(10min) d)Conversion of wind field in 10minute around Jeju. on June 10, 2006. ....	42
Fig. 6.16. a) Precipitation per hour in eastern area, b) a distribution chart of precipitation in a day on Jun 10th 2006. ....	42
Fig. 6.17. Schematic figure of CC movement a) synoptic field and b) wind field. ....	42
Fig. 6.18. a),b),c),d) MTSAT-IR SIR and e),f),g),h) RADAR CAPPI .....	45
Fig. 6.19. Wet numbers and moisture advection(upper), 1000hPa stream line at a) 01KST and, b) 04KST on Octover 25, 2007. and c)MTSAT의 SST 2007. 10. 24.(one-week average) .....	46

## List of Tables

Table 1. Locations of weather stations in Buoy..	5
Table 2. Locations of weather stations in Jeju Island.	5
Table 3. Extreme maximum records of daily and 1 hourly precipitation in Jeju Island (1927~2007)	14
Table 4. Sea surface temperature(°C) at the Coast of the Korean Peninsula (1933-1995)	15
Table 5. Sea surface temperature observed at Chilbaldo Buoy and Guomundo Buoy (1999-2003)	16
Table 6. Weakening or extinction cases of CC generated in China during travelling through the west sea.	18
Table 7. Development cases of CC generated in China during travelling through the west sea.	18
Table 8. Hourly precipitations at Hongdo from 00KST to 09KST.	31
Table 9. Hourly precipitations at Eorimok and Jindalea from 04KST to 11KST.	35
Table 10. Temperature and saturation deficit at Kwangju	38
Table 11. Instability index before 6 hours at Kwangju	38

**A Study on the Tendency of Heavy Rainfall-Cell by  
Development with Mesoscale Convective System in the  
West Sea**

**Young-Sook Oh**

**Department of Oceanography  
Graduate School of Industry  
Cheju National University**

**Supervised by Professor Ig-Chan Pang**

**Summary**

Around the Korea Peninsula, heavy rainfalls mostly occur in the relation with the development or extinction of Cloud Cluster(CC) classified as meso- $\beta$  scale. This study investigates the heavy rainfall cases of more than 50mm per hour in the southern coast of the Korea Peninsula and Jeju in 2003 with the formation and development process of CC, and analyzes their characteristic development processes with pattern classification to find some prediction information on a heavy rainfall.

Sea surface temperature (SST) in the West Sea affects the development and extinction processes of CC, which causes a heavy rainfall. Around Chilpaldo, CC is developed with high SST of approximately more than 21°C, but weakened or become extinct with low SST of approximately lower than 20°C.

Our analyses of the CC development show the normal process consisting of formation, development, and cyclone-formation and also the rejuvenation process consisting of formation, development, transition, and cyclone-formation, that is, the secondary formation and development after the extinction of primary formation. We illustrate four cases of heavy rainfalls; a continuous development travelling toward the Korea Peninsula after the formation in the eastern China to make heavy rainfall in the southern area on August 27 2003, a rejuvenation in the southwestern sea of Jeju to make heavy rainfall in the mountain area on July 20 2003 after the extinction in the West Sea, and the developments with the expansion and retreat of mT (North Pacific High Air Mass) on June 10 2006 and October 25 2007 in Jeju.

Key word : Mesoscale Convective System, Heavy rainfall, cloud cluster.

# I. 서 론

대기의 여러 현상 중에서 강수과정에 대해선 끊임없이 연구되어 오고 있으나, 해양과 산악의 지형구배가 심한 한반도의 기후적 특성과 대륙의 동안에 위치한 지리적 요인으로 인해 집중호우 현상과 기상재해가 빈번하게 발생하고 있으나, 각 지역에 대한 정확한 강수 예측은 매우 어려운 실정이다.

우리나라의 강수는 두 가지 형태로 나눌 수 있는데, 첫째는 동아시아 지역의 몬순 순환과 관련하여 계절적으로 나타나는 여름장마이고, 둘째는 대륙성 강수로 여름철 강한 일사에 의한 지면가열 등에 의한 대류불안정으로 짧은 시간동안 집중호우가 내리는 중규모 이하의 운동을 들 수 있다.(황재돈, 2000)

집중호우에 대한 명확한 정의는 없으나, 일반적으로 시간당 강수량이 30mm 이상, 일강수량이 100mm 이상, 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내릴 때로 간주하며(집중호우, 1986), 이러한 현상은 비교적 좁은 지역(보통 10~20km)에서 지속 시간이 수 십분에서 수 시간 정도로 매우 짧은 시간에 천둥·번개를 동반하여 집중적으로 쏟아지거나, 태풍, 장마전선, 대규모 저기압, 수렴대 등에 동반되어 2~3일간 지속되기도 하는 특성을 가지고 있다.(기상청, 1996)

우리나라에서 발생하는 집중호우의 원인은 1)화남 지방에 습하고 따뜻한 공기가 하층제트를 타고 한반도로 유입되거나, 2)대류불안정에 의한 경우, 3) 상층제트의 남하에 기인한 경압성이 증가할 때, 4) 호우 지역에서 2차 순환에 의한 강한 상승류에 의한 경우, 5)단과골의 남하할 때, 6)한기의 장벽에 의한 수증기 수렴 등의 종관적 배경 등(박순웅(1986), 이동규(1993), 손병주와 박순웅(1985))이며, 2)의 대류불안정에 의한 집중호우는 여러 개의 적란운으로 구성된 군집체를 발생시켜 좁은 지역에서 발생된다. 즉, 경압불안정이 매우 강한 종관적 배경에 중규모적인 현상이 복합되어 집중호우로 발달하게 된다.

본 조사사례에서도 여름철 mT<sup>1)</sup>가장자리에서 하층제트기류에 의해 많은 수증기가 한반도 남서쪽으로 유입되어 온난전선에 부딪히면서 급속히 발달하여 단시간에 집중호우를 내렸으며, 서해상의 중규모 대류계<sup>2)</sup>(MCS)가 동진하여 한반도 부근에서 중규모 저기압 형태의 교란(disturbance)으로 발달하여 강한 집중호우를 유발시키는 메카니즘을 보였으며, 서해상의 수온이 중요한 요인으로 작용하였다.

또한, 이순환(2005)는 MCS의 발달은 지형과 매우 긴밀한 관계를 가지고 있으며, Kim et al.(2003)은 제주도 부근에서 급격히 발달하는 중규모 구름무리의 발달특성 및 지상 기상요소의 변화특성에 대해 연구하였으며, 유종인(1998)은 제주도 지방의 집중호우 발생시 강수량 분포는 종관적 메카니즘에 의한 예상강수량에 더하여 산악에 의한 강제상승효과로 인해 지역에 따라 강수량 편차가 큼을 보였다. 김정근(2000)도 제주도의 풍상측 및 중산간지역은 해안지역에 비해 1.5~3배 가량 강수량이 많이 나타남을 지적하였다.

본 연구에서는 단시간에 발생하는 집중호우의 원인과 선행현상을 예측하기 위하여 중국내륙에서 생성된 구름무리<sup>3)</sup>(CC)가 우리나라 서해상을 지날 때 수온에 따라 약화되거나 강화되는 CC의 유형들을 조사하였으며, 단시간에 집중호우를 내렸던 각 유형의 사례들을 분석하였다. 이러한 자료는 단시간 집중호우의 특성을 이해하고 향후 유사한 대류시스템에 의한 예측정보와 구조를 이해하는 데에도 기여할 것으로 기대된다.

---

1) 해양성 열대기단(mT) : maritime tropical air mass

2) 중규모 대류시스템(MCS) : Mesoscale Convective Systems, 20 ~200km

3) 구름무리(CC) : cloud clusters, 10 ~100km

## II. 자료 및 분석방법

### 1. 조사자료

본 연구에서 사용한 집중호우자료는 1998년부터 2007년까지 최근 10년간 1시간 최다강수량이 50mm이상 발생되었던 사례를 대상으로 하였다. 단시간 집중호우의 사례 선정은 중규모요란에 의해 2003년에 발생한 사례를 중심으로 CC가 서해상을 지나면서 약화되거나 강화되어 집중호우를 발생시키는 사례를 위성과 레이더, 일기도와 해양관측자료 등을 활용하여 분석하였으며, MCC<sup>4)</sup>보다 규모가 작은 MCS의 발달경향 분석을 위하여 태풍으로 인한 집중호우는 사례는 제외하였다.

해상의 수온변화에 따른 CC의 발달과 소멸을 알아보기 위하여 국립해양조사원의 연안관측 수온자료를 사용하였으며, 기상청에서 설치하여 운영하고 있는 칠발도와 거문도브이의 1999년부터 2003년의 관측자료값을 사용하였다.(Table 1) 또한, 제주지방의 집중호우 발생에 대한 시·공간적 특성 파악하기 위하여 제주지방기상청 관할 유인관측소 4개소와 자동기상관측장비<sup>5)</sup>(AWS)가 설치된 무인관측소 12개소 등, 총 16개 관측지점에 대한 강수량 자료를 이용하여 통계분석을 실시하였다.(Fig 2.1, Table 2)

단시간내에 발생한 집중호우 패턴을 구분하고 특성을 알아보기 위하여 사례조사를 위한 종관적인 배경은 우리나라가 mT가장자리에 들어있고, 화중지방에는 저기압이 위치하여 저기압에 관련된 온난전선이 우리나라에 위치할 때에 1시간 최다강수량이 50mm와 150mm이상의 사례들을 조사하였다.

4) 중규모 대류복합체(MCC) : Mesoscale Convective Complex, 200~2000km

5) 자동기상관측장비(AWS) : Automatic Weather System

## 2. 분석과정

mT가장자리는 일기도에서 그 위치를 정확히 찾기 어렵다. 따라서 위성영상의 종류 중 대기의 건조구역과 습윤구역을 잘 구별할 수 있는 수증기 영상을 활용하여 분석하였다. 수증기영상에서 mT가장자리는 전선대의 남쪽 난기역이 대체로 건조구역으로 나타난다. 이동한(2004)은 전선대의 난기역의 남쪽 경계역에 구름대가 발생하여 북상하게 되는데, 이 구름대가 동진하는 온난전선대와 만나게 되거나 온난전선과 mT가장자리가 충돌하는 부근으로 이동하여 수렴될 때 해안 또는 산악에서 돌발성 에코로 발달하는 사례가 빈번하다.

따라서, 온난전선 또는 한랭전선이 서해상에 뻗어있고, 한반도가 mT가장자리에 놓여 있는 중관시스템에서 구름무리(CC)가 생성되어 이동하면서 1시간당 50mm이상의 집중호우를 발생시킨 사례들을 조사하였으며, 중규모- $\beta$  규모로 발달하는 Cloud Clusters의 발달과정에 따른 패턴을 분류하였다. 또한, Cloud Clusters 서해상에서 발생하는 경우와 소멸하는 대표적인 사례를 일기도 및 위성영상 등의 자료를 이용하여 집중적으로 분석하였다.

## 3. 사례분석일자

사례분석은 첫째, 호우 셀이 서해상에서 계속 발달하면서 우리나라 남해상을 중심으로 집중호우를 발생시킨 사례 1) 2003. 08. 27.과 서해상에서 전이단계를 거치면서 1차 소멸된 사례 2) 2003. 07. 20.를 분석하였으며, 둘째, 지형과 관련되어 내륙에서 국지적인 호우셀의 발달경향을 알아보기 위하여 제주도 mT가장자리에 위치하였을 때, mT가 확장하거나 수축할 때의 사례 3) 2006. 6. 10.과 2007. 10. 25.의 사례를 분석하였다.

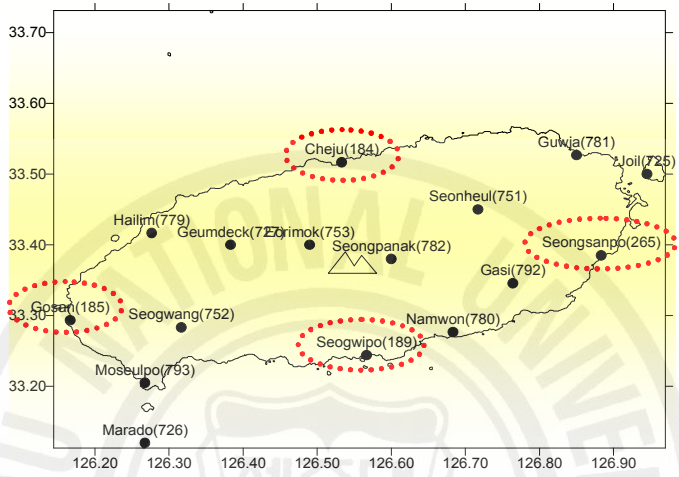


Table 1. Locations of Buoy weather observation stations

Station	Latitude	Longitude	Remarks
Chilbaldo	34° 8'	125° 76'	Buoy
Guomundo	34° 0'	127° 5'	Buoy

Table 2. Locations of weather observation stations in Jeju Island.

Region	Station	Latitude	Longitude	Elevation(m)	Remarks
North	Jeju	33° 30' 39.391"	126° 31' 54.132"	22.0	JRMO
	Yusuam	33° 24' 35.574"	126° 23' 34.671"	429.0	AWS
	Seonheul	33° 27' 30.575"	126° 42' 42.850"	341.0	AWS
South	Seogwipo	33° 14' 34.214"	126° 34' 02.501"	50.5	JRMO
	Namwon	33° 16' 47.881"	126° 43' 15.104"	19.0	AWS
	Seogwang	33° 17' 06.073"	126° 18' 07.903"	139.0	AWS
West	Gosan	33° 17' 26.006"	126° 09' 53.357"	71.7	JRMO
	Marado	33° 07' 01.265"	126° 16' 10.248"	49.0	AWS
	Hallim	33° 24' 37.816"	126° 16' 02.247"	48.0	AWS
	Moseulpo	33° 13' 00.047"	126° 14' 59.902"	20.0	AWS
East	Seongsanpo	33° 23' 00.785"	126° 52' 56.812"	17.5	JRMO
	U-do	33° 30' 23.467"	126° 57' 12.167"	128.0	AWS
	Gujwa	33° 31' 21.351"	126° 51' 06.739"	40.0	AWS
	Gasi	33° 21' 13.625"	126° 46' 18.213"	100.0	AWS
Mt. Halla	Eorimok	33° 23' 31.412"	126° 29' 38.771"	970.0	AWS
	Seongpanak	33° 23' 04.318"	126° 37' 09.802"	750.0	AWS



JRMO : Jeju Regional Meteorological Office

AWS : Automatic Weather System

Fig. 2.1. Weather observation stations in Jeju Island.

### Ⅲ. 중규모대류계에서 호우셀의 발생 특징

#### 1. 이론적 배경

Maddox(1980)는 Mesoscale Convective Complex(MCC)의 정의를 영하 32도 이하의 온도가 연속적으로 나타나는 구름의 면적이 10만 km<sup>2</sup>을 초과하고, 그 안에 영하 52도 이하의 낮은 온도를 갖는 찬 구름 면적이 5만 km<sup>2</sup>을 초과하는 동시에 지속시간이 6시간을 넘을 때로 구분하고 있다. Akiyama에 의하면, Cloud Clusters(CC)는 MCS에서 비중이 크고, 규모는 MCC보다 작고, 다세포와 거대세포 뇌우보다는 큰 규모이나, 그 특징은 MCC와 비슷하다.

CC는 중국내륙의 불안정한 열대기단<sup>6)</sup>에서 발생하며, 초기 발달 단계에서는 고립된 타원형인 대류운으로 구성된다. CC의 규모적 특징과 호우 발생과정은 생성(formation), 발달(development), 전이(transition), 구풍발생(cyclone-formation)의 네 단계를 거치며, 최초 생성된 대류운은 중국의 동쪽 해안에 도달할 때까지 유지되다가 서해상으로 나오면서 다음식에 의해 와해된다.

$$\Delta\theta_e = \theta_e(500\text{hPa}) - \theta_e(1000\text{hPa})$$

해상의 열적환경과 CC의 발달·소멸과 밀접한 관계가 있으며, CC의 규모는 서해상으로 들어오면 작아지고 약화되다가 전이단계의 끝 무렵에 대류가 강화되어 재 발달하며, 발달모양은 타원형으로부터 꼬리를 단 연장된 구름계의 형태로 변화한다(2004. 중규모기상학). 그러므로 CC의 생성과 발달은 우리나라에 강한 비를 내리는 요란의 한 전조가 될 수 있음을 규명하는 것은 집중호우 발생 특성을 이해하는데 매우 중요하다.

---

6) 열대기단(tropical air mass) : 북태평양기단(mT), 양쯔강기단(cT)

## 2. 한반도에서 호우셀의 발생지역

단시간에 집중호우를 발생시키는 MCS의 구름무리들은 mT가장자리의 불안정에서 대류적인 구름무리가 발생하고 있다. 2000년부터 2003년간 1시간 최다강수량이 50mm이상 발생하여 단시간 집중호우를 내린 날짜에 대한 발생위치를 분석하여 분포도로 나타내었다.

호우셀의 발생에 대한 종관개념모델은 Fig. 3.1.과 Fig. 3.2.에, 호우셀의 발생위치 분포도는 Fig. 3.3.에 나타내었다. Fig. 3.2.는 수증기 영상으로 A구역은 전선에 의해 발생한 구름대로 수렴역이며, C구역의 암역은 mT사이에서 발생하는 난역(warm area)이다. B의 구름대는 mT건조역과 전선대 난역사이에 발생하는 불안정 역으로 mT가장자리의 정의는 C(warm area)역과 mT건조역 사이의 B구름대이다.

한반도에서의 호우셀의 발생위치는 주로 제주산간과 제주도 동부지역, 남해안과 전남서해안 경기 서해안에서 나타나고 있으며, 발생일 중 일부는 중국에서 생성되어 발달된 호우셀이 영향을 미치는 경우도 있었으며, 호우셀이 전이 단계를 거치는 경우에는 소멸 또는 약화되거나, 소멸 후 2차 생성되어 발달한 경우가 많았다.

또한, 호우셀의 서해상에서 발달과 소멸하는 과정에는 해상의 수온분포가 영향을 미치고 있어 수온변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 조사되었으며, 이에 관한 사항은 IV장에서 언급하였다.

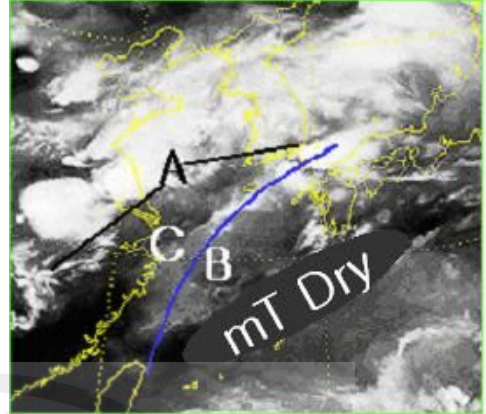
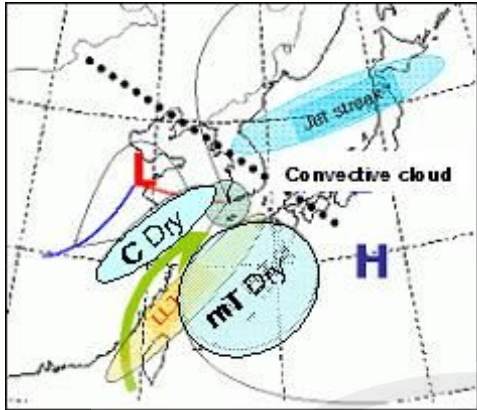


Fig. 3.1. Synoptic figure of convective cloud clusters cases

Fig.3.2. Satellite images of water vapor

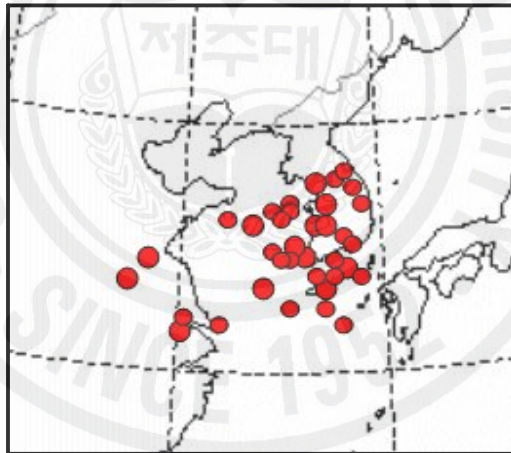


Fig. 3.3. Distribution chart of convective cloud clusters

## 2.1. 한반도 강수량 분포

우리나라에서 다우지역에 속하는 1400mm 이상 평년강수량 분포지역 그림 3.1에서 보면 청산 1840.9mm, 서귀포 1850.8mm, 제주 1456.9mm, 거제 1797mm, 남해 1789mm, 완도 1457mm, 고흥 1453mm 등으로 주로 남해안지방과 제주지방을 중심으로 분포해 있으며 최근 들어 경기북부와 강원도지방도 호우지역으로 조사되었다.(Fig. 3.4.)

1998년부터 2007년까지 60개 지점에 대해서 일 강수량 50mm 이상인 강수일수 분포도를 보면, 호우지역은 남해안지방과 제주동부, 충남서해안, 경기북부, 강원산간지방으로 Fig. 3.5와 같이 조사되었고, 일 강수량 150mm 이상 강수일수 조사결과 분포도를 Fig. 3.6과 같이 나타내었다. 분포도를 보면 집중호우 현상이 잦은 지역은 제주도동부지역과 대관령, 서울 및 우리나라 남해안지방으로 집중되어 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한, 분포도를 보면, 집중호우지역이 지형과 관련되어 나타남을 확인 할 수 있는데, 특히 산악지형과 사면의 해양인 제주도는 국지적으로 남·동부지역과 북·서부지역에서의 강수량 차이가 크고, 제주도산간과 제주도동부지역으로 호우가 집중되어 발생하고 있다. 산악지형과 관련되어 강원도 태백산맥과 경기북부지역으로 호우가 발생하고 있고, 해상과 관련하여 남해상과, 동해안지역으로 집중호우가 집중되고 있으며, 중부와 남부지방 사이의 지역에서는 상대적으로 발생이 적게 나타나고 있다. 이러한 조사결과는 집중호우를 발생시키고 있는 중규모대류계의 발달과 지형은 매우 긴밀한 관계를 가지며, 중규모대류계의 초기 발달은 서해상에 위치한 흑산도와 군산 앞바다부근에서 발달한다(원효성, 2005).는 것과 일치하고 있어 풍상측에 위치한 해안 도서지형은 MCS의 발달에 방아쇠 역할을 하고 있는 것으로 생각된다.

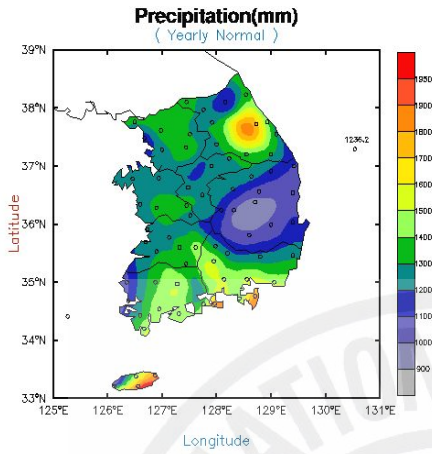


Fig. 3.4. Climatological annual normal precipitation

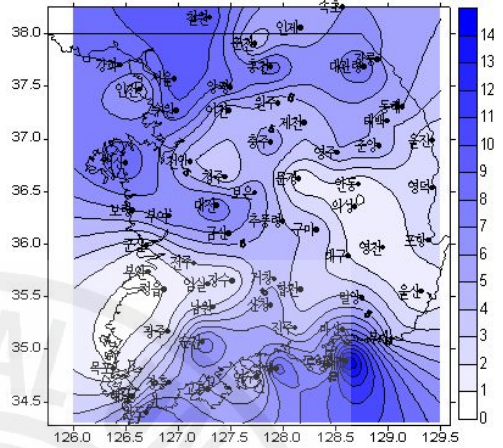


Fig. 3.5. Heavy rainfall occurrence of daily precipitation over 50mm/1hour (1998~2007).

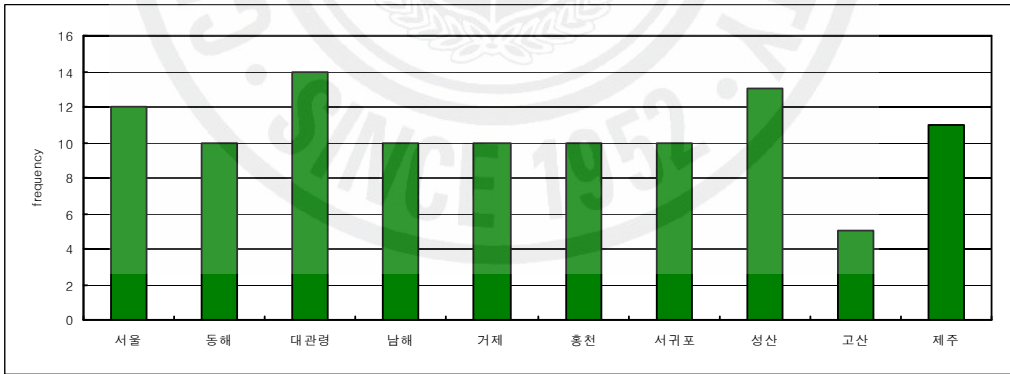


Fig. 3.6. Frequency of daily heavy rainfall over 150mm/day (1998~2007).

## 2.2. 제주도 호우발생 특징

제주도지방의 호우 발생일수(1시간 최대강수량 $\geq 50\text{mm}$ )를 기압계 유형과 월별로 분류하였다. 기압계 유형별로는 북태평양기단<sup>7)</sup>(mT)의 가장자리에서의 수렴대와 대기가 불안정할 때가 42회로 가장 많았으며, 저기압에서 19%, 태풍 또는 태풍 전면 수렴대에서 16%, 온난전선의 영향을 받았을 때가 14%를 차지하고 총 호우현상은 72회로 조사되었다.(Fig. 3.7.a.) 저기압 통과 시 온난전선상에서 발생하는 호우는 지역특성에 따라 국지성이 강하고, 대기가 불안정할 때 발생하고 있으며, 집중호우 발생지역은 그 당시의 불안정역의 범위에 좌우되는 경향이다. 이러한 호우 발생은 전선대에 동반된 저압부(온대저기압)가 가장 큰 역할을 하고, 다음으로 mT의 역할이 중요하게 작용하였다.

월별로는 8월(38%)–7월(37%)–9월(18%)–10월(4%)순으로 7월에서 9월 사이에서 집중적으로 나타났으며, 발생유형은 장마가 끝난 후 중국대륙으로부터 전파된 중규모 요란과 열대저압부에 의한 것이 많았고, 10월의 호우발생은 mT가 수축할 때 mT가장자리 불안정역에서 발생하고 있다.(Fig. 3.7.b.)

Fig. 3.8의 집중호우 발생 시간대를 보면 일출 전의 새벽 시간대와 일몰 후의 밤 시간대에 주로 분포하고 있으며, 특히 02~09시에 호우발생 빈도가 총 157회 중 71회로 전체의 45%로 높게 나타났다. 이러한 결과는 “지면과 구름 사이에 있는 공기는 기온을 유지하지만 구름 위의 상층은 방출량이 많아 더욱 차가워지므로 불안정이 가속화된다. 즉 건조감율이 커지면 대기가 불안정하다.”는 Madox et al.의 결과와 일치하고 있다.

호우발생시 지속시간은 1~6시간으로 조사되었으며, 강수량의 80%이상이 1시간 이내의 단시간 동안에 내리는 것으로 조사되었다. 호우의 발생경향은 mT연변에 우리나라가 들어 있을 때 중국대륙에 강한 일사 및 대류불안정에서 발생하여 서해상으로 나오면서 소멸 또는 약화되는 경우가 많으나, 일부는

---

7) 북태평양 기단(mT) : maritime Tropical air mass



해상에서 온난한 수증기(Moisture) 유입으로 더욱 강화되었다. 이 경우는 주로 새벽에 뇌전을 동반하는 경우가 많고, 우리나라의 도서 및 남해안에서 집중호우를 가져오고 있다.(Fig. 3.8.)

제주도의 호우지역은 한라산을 중심으로 남동사면 방향인 서귀포-남원-성산으로 이어지는 남동부지역에 집중되고 있으며, 해발 750m의 한라산 중턱에 위치한 성판악은 산악효과까지 증첩되어 우리나라 최대 호우구역 중에 하나이다. 지역별 연평균 강우량은 서귀포 1850.7mm, 성산 1840.9mm, 제주 1457.0mm, 고산 1094.7mm 순이며, 제주지방기상청 산하 유인관측지점의 강우량 극값순위는 1시간 최대강우량은 시간당 100mm 이상, 그리고 1일 최대강우량은 300mm이상 될 때 극값순위가 갱신되고 있다.(Table 3.)

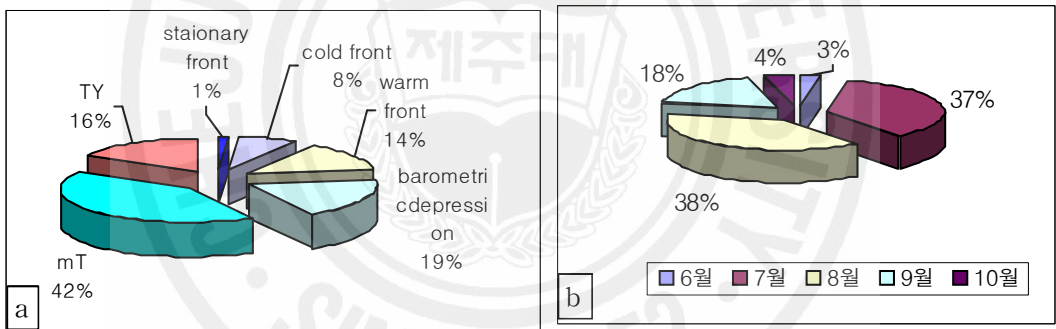


Fig. 3.7. Frequency of heavy rainfall over 50mm/1hour(1998~2007) (a) synoptic condition pattern. (b) in time monthly rate

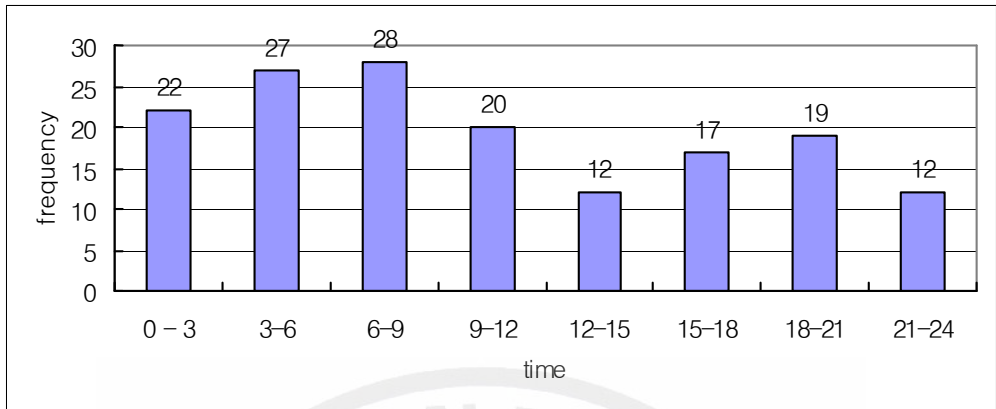


Fig. 3.8. Time series of frequency of heavy rainfall over 50 mm/hour (1998~2007).

Table 3. Extreme maximum records of daily and 1 hourly precipitation in Jeju Island (1927~2007).

Daily (mm/day)				Hourly (mm/hr)			
Rank	Station	Precipitation	Date	Rank	Station	Precipitation	Date
1	Jeju	420.0	2007.09.16	1	Jeju	105.0	1927.09.11
2	Seogwipo	365.5	1995.07.02	2	Seongsanpo	101.0	1981.08.10
3	Seogwipo	304.0	1994.08.11	3	Jeju	100.2	1986.08.18
4	Seongsanpo	302.0	1995.07.02	4	Seongsanpo	94.0	2001.07.10
5	Jeju	301.2	1927.09.11	5	Seogwipo	92.5	1995.07.07

## IV. 서해상의 수온과 호우셀의 관계

### 1. 한국 연안의 월 평균수온 분포

중국내륙동안과 서해상에서 생성된 호우 셀이 이동하면서 변화하는 경향을 서해상의 수온분포와의 관계를 알아보기 위하여 국립해양조사원의 연안관측 자료를 활용하였다. Table 4는 기상청의 Buoy에서 관측한 칠발도와 거문도의 수온분포이며, Table 5는 한국 연근해의 수온 분포이다.

목포, 여수연안이 제주도나 타 지역의 연안 수온보다 높게 형성되어 있으며, 7월부터 9월 사이에 수온이 높은 분포를 보이고 있으며, 8월 목포연안 수온은 25.6℃, 칠발도 수온은 21.4℃의 분포를 보였다.

우리나라에 호우 셀이 가장 잘 발달하고, 발달된 호우 셀이 강화되어 강한 집중호우를 가져오는 사례가 빈번한 달은 8월로 해수온도 상승과 비슷한 경향을 보이고 있다. 이러한 연근해의 수온 상승은 남해안지방의 호우 셀의 발달에 기여한다고 생각된다.

Table 4. Sea surface temperature observed at Chilbaldo Buoy and Guomundo Buoy (1999-2003)

Jijum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	mean.
Chilbaldo	6.2	5.2	6.4	9.5	13.8	16.8	18.7	21.4	21.0	18.4	14.0	9.6	13.4
Guomundo	13.5	12.5	12.8	13.5	15.4	18.6	18.6	24.8	23.2	20.1	16.1	14.4	15.0

\* 기상청 Buoy관측자료임.

Table 5. Sea surface temperature(°C) at the Coast of the Korean Peninsula (1933-1995)

Month	Mokpo	Yeosu	Tongyeong	Jeju	Pohang
1	5.4	6.0	7.3	14.1	8.4
2	4.8	5.4	7.1	13.1	8.1
3	7.0	8.2	9.7	13.4	9.6
4	11.4	12.3	13.3	14.5	12.4
5	16.1	16.5	16.8	16.0	14.7
6	19.9	19.9	19.7	18.5	18.0
7	23.4	22.9	22.3	22.2	20.5
8	25.6	24.9	24.4	24.8	22.8
9	23.5	23.7	23.1	23.1	22.4
10	19.1	20.1	19.6	20.3	18.9
11	14.0	15.2	15.1	17.9	14.2
12	8.7	9.7	10.3	15.4	10.3
mean.	14.9	15.4	15.7	17.8	15.0

\* 국립해양조사원 연안관측자료임.

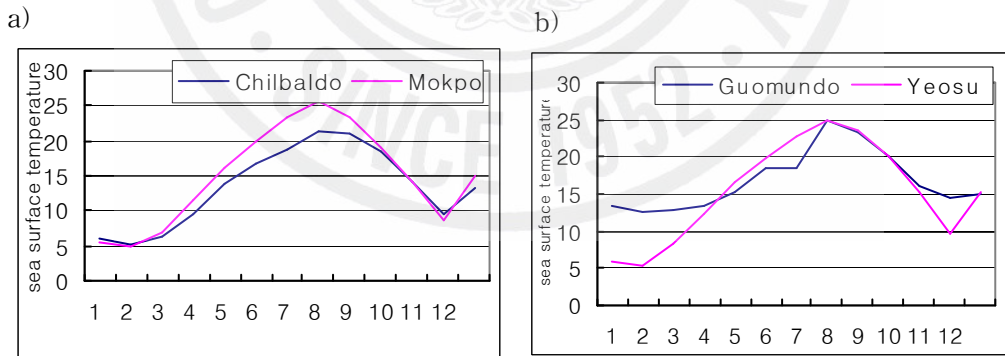


Fig. 4.1. Monthly sea surface temperature at a) Chilbaldo and Mokpo and b) Guomundo and Yeosu

## 2. 서해상의 수온분포와 호우셀의 발달 경향

중국내륙에서 생성된 중규모 대류운의 변화는 두가지 형태로 구분되었으며, 2003년의 발생한 형태를 중심으로 Table 6.과 Table 7에 나타내었다. 호우셀이 생성-발달-전이과정과 호우셀이 더욱 더 강화된 일의 수온과 기온, 일 강수량 및 1시간최다 강수량을 보면, 서해상의 수온분포가 호우 셀의 소멸과 발달에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig 4.2.는 호우셀이 서해상으로 이동하여 통과시에 CC가 소멸되거나 약화된 경우들이며, CC가 서해상을 통과하면서 강화된 경우는 Fig 4.3.에서 보여 준다. 1시간 최다 강수량이 50mm이상 발생시각은 주로 06시 이전의 새벽시간대에서 발생하고 있으며, 수온이 최고점을 이루는 8월경에 발생하고 있다. 8월의 수온분포와 호우셀의 변화는 서해상에 위치한 칠발도의 수온분포가 17~20℃에서 소멸, 또는 전이과정을 거쳐 약화되는 경향을 보였으며, 칠발도의 수온분포가 20~25℃에서는 계속 발달하여 강화되었다.

Table 6. Weakening or extinction cases of CC generated in China during travelling through the west sea

Date	time	sea surface temp.(°C)	temp. (°C)	precip. (mm)	1hour Max. precip.(mm)	heavy rainfall
2003.7.20	06KST	17.3	20.2	56.0	53.5	Hapcheon
2002.8.15	00KST	19.4	19.7	101.5	59.0	Geoje
2002.7.22	00KST	19.8	20.0	91.5	53.0	Buyeo
2001.7.15	05KST	17.5	18.1	143.0	50.5	Hongcheon

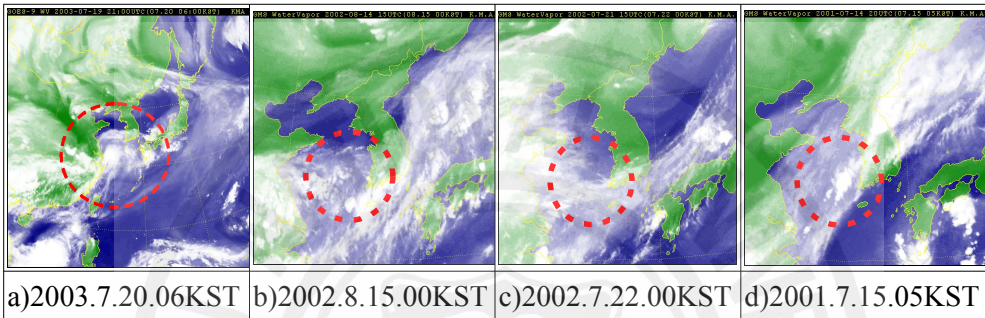


Fig. 4.2. Satellite images of CC travelling through the west sea(GMS)

Table 7. Development cases of CC generated in China during travelling through the west sea

Date	time	sea surface temp.(°C)	temp. (°C)	precip. (mm)	1hour Max. precip.(mm)	heavy rainfall
2003.8.27	00KST	22.4	23.4	144.0	100.7	Hongdo
1999.9.10	00KST	20.3	24.3	211.0	116.0	Buyeo
1998.8.09	05KST	24.9	25.3	189.5	48.0	Gunsan(R)
1998.8.13	06KST	25.2	26.0	141.0	95.5	Gochang

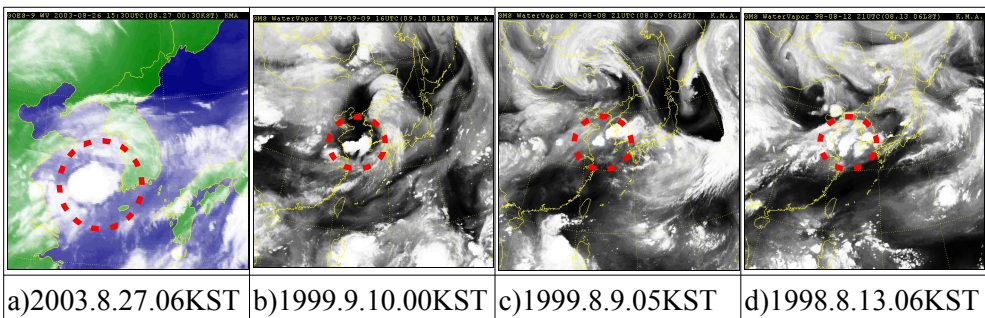


Fig. 4.3. Satellite images of CC development through the west sea (GMS)

## V. 서해상에서 발달하는 호우셀의 패턴

### 1. 남해안에 집중호우를 발생시키는 패턴

2003년에 집중호우가 발생한 사례들 중 남해안으로 호우가 집중된 종관적인 배경은 주로 정체전선과 온난전선이 mT가장자리와 만나는 부근에서 호우셀이 생성되고 있으며, 수증기 위성영상에서 확인할 수 있다. 서해상과 중국 내륙에서 호우셀이 생성되어 발달하는 패턴은 Fig. 5.1.고 같고, 서해상에서 전이과정을 거쳐 약화되는 패턴은 Fig. 5.2.에 분류하였다. 이 들 패턴은 서해상을 통과 후 한반도 남해안으로 접근시 발달하면서 돌발적인 집중호우를 발생시켰다.

#### 1.1. 서해상에서 발달하는 패턴

Fig. 5.1.은 호우 셀이 서해상에서 발달하는 종관패턴으로 a)는 CC가 서해상에서 정체전선과 mT가장자리와 만나는 부근의 불안정에서 생성, b)는 서해상으로 뻗어있는 한랭전선과 mT가장자리와 만나는 부근에서 CC가 발생한 경우이다. c)의 패턴은 중국내륙에서 저기압과 mT가장자리 불안정에서 CC가 발생하여 이동하였으며, 서해상에 중심을 둔 수렴대에서 온난전선이 형성되고 이 온난전선 끝에서 수렴대의 남북으로 건조역이 압축되면서 CC가 계속 발달하여 중부지방과 남해안지역에 집중호우를 내린 패턴이다.

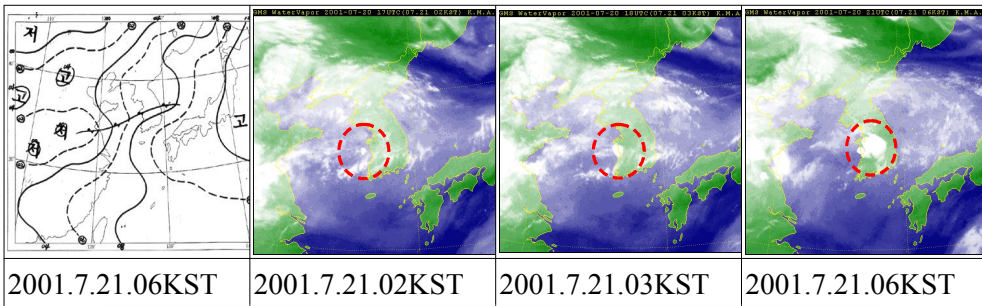
a)의 패턴인 2003. 7. 21. 보령지역에 호우발생시각은 06:00시부터 시작되어 일강수량 121.5mm, 1시간최다강수량 69.0mm를 기록하였으며, 부여지역에 호우발생시작은 09:00시부터, 일강수량 117.0mm, 1시간최다강수량 59.0mm를 기록하였다.

b)의 패턴인 2001. 7. 29. 인천지역에 호우발생시각은 04:36분이며, 일강수량 189.8mm, 1시간최다강수량 83.5mm 기록하였고, 서산지역에는 호우발생이 08:50분, 일강수량 120.9mm, 1시간최다강수량 80.0mm를 기록하였다. a)와 b)의 패턴에서 CC의 지속시각은 9~10시간 정도였다.

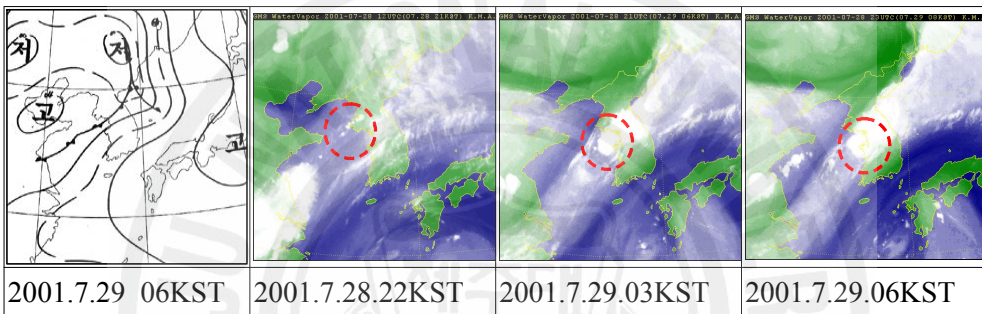
c)의 패턴인 2003. 8. 27.은 중국동안에 위치한 저기압에서 온난전선이 우리나라 남해안으로 지나고, 전일인 26일 15시경 중국동안에서 발생한 구름무리가 계속 발달하였다. 27일 새벽 2시40분경 서해상에 독립된 홍도에서 1차 호우셀이 발달하면서, 강한 집중호우를 내리고 그 세력을 다소 유지한 채 27일 5시경에 2차로 발달하면서 완도에 집중호우를 내렸다. 이 패턴의 CC지속시각은 20시간(26일 15시~27일 11시) 이었다. 호우 셀이 발달하여 1차 집중호우를 내리기 시작한 시각은 01:30분, 홍도지역의 일강수량은 144.0mm, 1시간최다강수량은 100.7mm를 기록하였고, 호우 셀이 발달하면서 남해상으로 접근 시 제주도북부지역인 추자도지역 일강수량은 94.5mm를 기록하였다.



a)



b)



c)

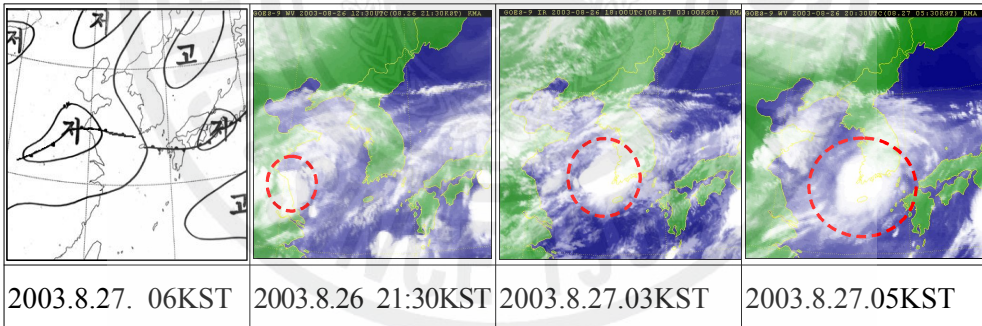


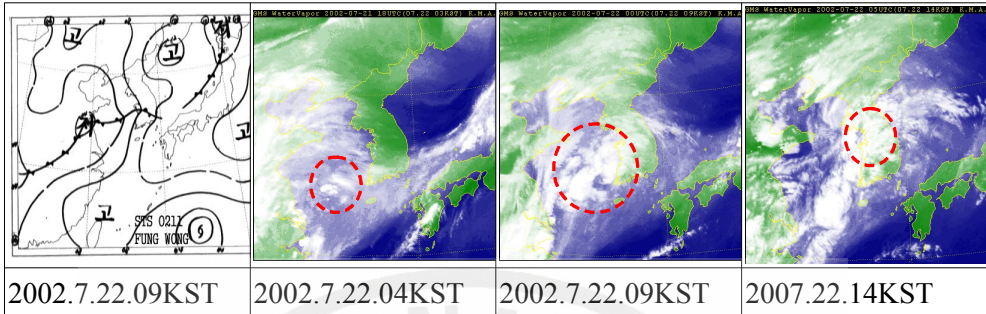
Fig. 5.1. Surface weather charts and satellite images of GMS water vapor in cases of a) development in the stationary front and the edge of mT(West Sea), b) Development in the cold front and the edge of mT(West Sea), c) envelopment at the end of a warm front(West Sea after formation in China)

## 1.2. 서해상에서 전이단계 거쳐 약화되는 패턴

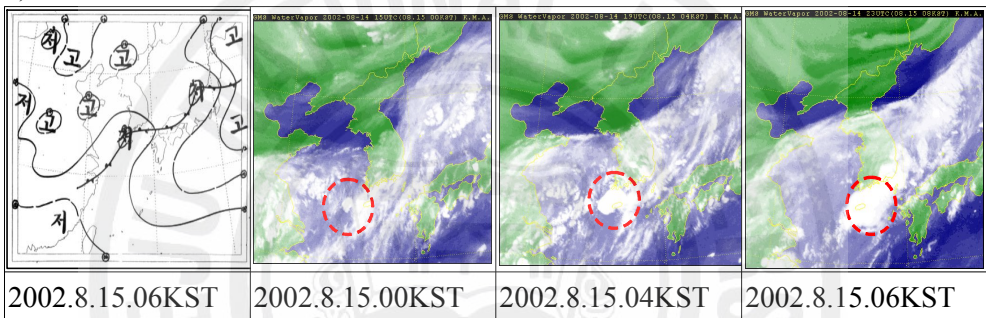
Fig. 5.2의 a), b), c)는 mT가장자리의 불안정에서 호우 셀이 생성되어 한반도로 이동한 패턴이다. a), b)의 패턴은 호우셀이 서해상으로 이동하여 전이과정을 거쳐 약화된 종관패턴이며, c)는 호우셀이 이동하면서 서해상에서 1차 소멸되었으나, 제주도 남서해상에서 2차로 호우 셀이 생성되어 발달하여 남해상과 제주도 산간지역에 집중호우를 발생시킨 종관패턴이다. 이 들 패턴은 서해상에서 계속 발달하는 패턴, 즉, 전선 끝과 mT가장자리가 만나는 부근에서 발달한 패턴보다 강수량이 적었고, 강우강도도 다소 약하였으며, CC의 지속시간은 짧은 경향을 보였다.,

a) 패턴인 2002. 7. 22. 부여지역에 일강수량은 91.5mm, 1시간최다강수량은 53.0mm를 기록하였으며, CC 발달은 06:00분, 지속시간은 5시간이었다. b)의 패턴에서는 2002. 8. 14일에 중국 동해안에서 발생한 CC가 서해상에 이르러 전이과정을 거치면서 약화된 후 다시 서해상에서 인 2002. 8. 15.에 다시 발달하였다. 이 패턴에서 CC의 지속시간은 11시간, 집중호우를 발생시킨 지역은 통영지역으로 일강수량 87.0mm, 1시간 최다강수량은 64.0mm, 거제지역 일강수량 101.5mm, 1시간 최다강수량은 59.0mm를 기록하였다. c)의 패턴인 003. 7. 20.은 산동반도 동쪽에 중심을 둔 저기압에 연결된 정체전선의 끝 부분이 제주도부근에 위치한 mT가장자리에 닿아 있고, 전날 2003. 7. 19. 밤에 중국 동안에서 발생한 CC가 서해상에 이르러 전이과정을 거친 후 소멸되었으나, 제주도 남서쪽해상에서 CC가 다시 생성되어 발달하였다. 이 패턴에서 제주도 산간지역 1시간 최다 강수량은 35.0mm, 일 강수량은 78.0mm를 기록하였고, CC의 지속시간은 6시간이었다.

a) formation in the eastern China



b)



c)

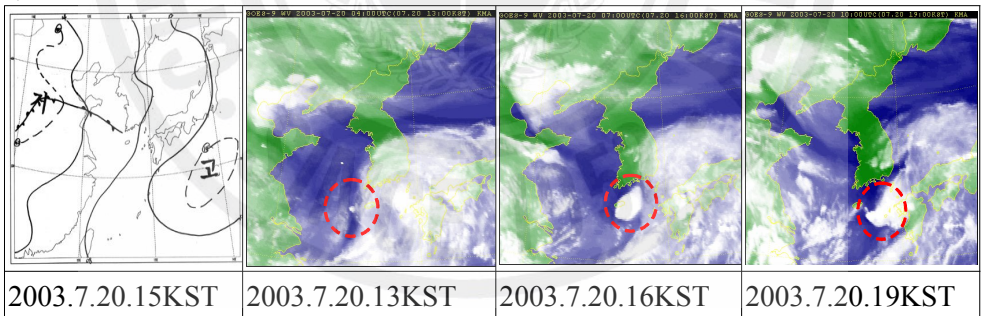


Fig. 5.2. Surface weather charts and satellite images of GMS water vapor in cases of a) Weakening in the west sea, b) Case of the secondary development of the CC in the western part of Jeju Sea after weakening in the west sea, c) Case of the secondary development of the CC in the western part of Jeju Sea after weakening in the west sea

## 2. 제주도와 호남내륙에서 발달하는 패턴

호남 내륙지방에서의 지형효과와 종관메카니즘에 의해 호우 셀의 발생하여 집중호우를 발생시킨 패턴 Fig. 5.3. a)와 제주도지방이 mT가장자리에 들어있고 mT 확장과 mT수축시에 호우 셀이 제주지방에서 발달한 패턴은 Fig. 5.3.b)와 5.3.c)로 구분하였다.

Fig. 5.3. a)패턴의 종관메카니즘은 정체전선이 호남 내륙지방으로 형성되어 있고, 호남내륙의 동쪽해상으로 호오츠크해 고기압이 위치하고 있어 대기 불안정과 호남내륙의 지형효과가 더해져 호우셀이 생성되어 발달하였다. 2003. 7. 25. 호남내륙지방인 전주지역에 집중호우 발생시각은 09:52분이며, 남해상인 거제지역에 07:10분에 집중호우가 발생하였으며, CC 지속은 6시간이었다. 또한, 전주지역의 일강수량은 97.0mm, 1시간 최다강수량은 87.0mm, 거제지역 일 강수량은 101.5mm, 1시간 최다강수량은 59.0mm를 기록하였다.

Fig. 5.3. b)와 c)의 패턴은 mT가장자리에 제주도가 위치하여 불안정한 경우로 Fig. 5.3. b)는 mT가 제주도부근으로 확장할 때, Fig. 5.3. c)는 mT가 제주도부근에서 수축할 때이다. mT확장과 수축 시에 제주도 한라산 남동부지역으로 기울기가 심한 지형특성으로 인하여 S~W풍이 유입될 때 공기괴의 강제상승을 유발하게 되고, 이 때 종관기압계에 따라서 풍상축이 결정되며, 제주도 남·동부지역은 강제상승을 유발시키는 산악효과가 매우 탁월하게 되어 집중호우를 발생시킨다.(이인성, 최병성, 2004).

Fig. 5.3. b)는 호우 셀이 급격하게 발달하여 뇌전을 동반하였으며, 제주 북부와 동부의 중산간 경계지점인 선홍지역에 15시 15분부터 16시 23분 사이에 1시간 최다 강수량 63.0mm의 강수를 기록, 호우셀이 동진하면서 동부 해안지역인 우도와 구좌에 17시경 50.0mm와 45.0mm의 강수량을 기록하였고, CC의 지속시간은 4시간이었다.

Fig. 5.3. c)는 한반도 남서해상의 냉(冷)수역으로 인하여 지표층 대기가 냉

각되어 건조역이 형성되어 있고, 제주남쪽 해상에서부터 일본 규슈남쪽 해상으로서는 난(暖)수역이 위치하여 있어 일본 규슈남쪽해상으로부터 제주남쪽해상으로 지속적으로 유입되는 온난 다습한 기류가 대정 남쪽해상을 포함한 제주 서쪽으로 형성된 건조역과 만나면서 제주(대정) 남쪽 약 40km 부근해상에서 호우셀이 발생하였다. 호우셀은 서서히 발달하면서 북상하다가 지형적인 효과와 더해져 호우셀의 발달을 더욱 강화시켰다. 2007. 10. 25. 제주도 서쪽인 모슬포지역에 일강수량 242.5mm 기록, 1시간 최다 강수량은 99.5mm를 기록하였고, CC의 지속시간은 5시간이었다.



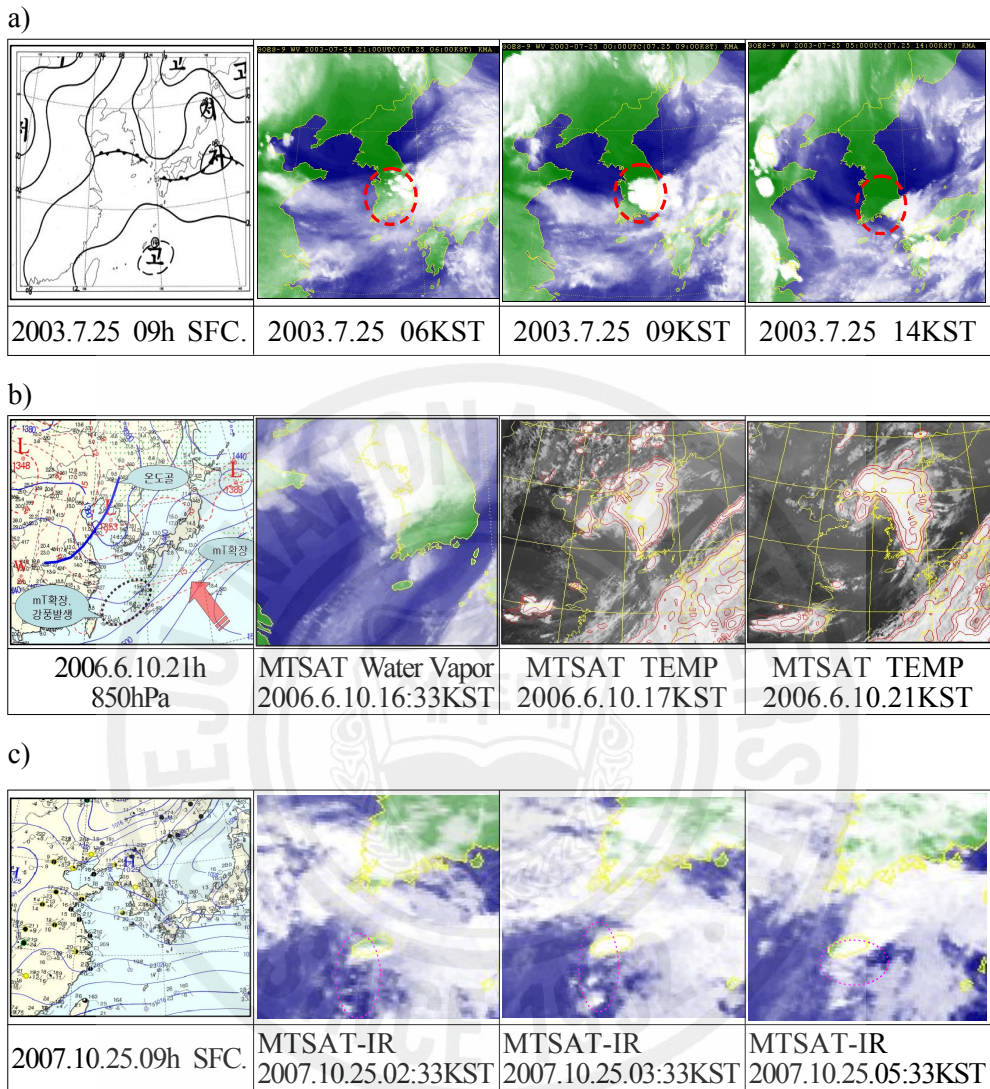


Fig. 5.3. Surface weather charts of satellite images of GMS water vapor in the case of CC formation by orographic effect a) in the inland of Honam local heavy rainfall, b) in Jeju when the mT expands its influence, c) in Jeju when the mT contracts its influence

## VI. 사례 분석

중규모대류계에 의한 호우셀의 발달 및 약화되는 패턴들 중 서해상에서 계속 발달하는 사례(I : 2003. 08. 27.)과 서해상에서 호우셀이 소멸된 후 2차 발생-발달하는 사례(II : 2003. 07. 20.), mT확장시 호우셀 발달 사례(III : 2006. 6. 10.) mT수축시 호우셀의 발달 사례(IV : 2007. 10. 25.)를 중규모적 분석 도구를 이용하여 상세 분석하였다.

### 1. 2003. 8. 27.의 사례(I)

호우셀이 서해상에서 전이과정에 들지 않고, 강한 세력을 유지한 채 우리나라에 영향을 준 사례로 생성-발달-최성기를 거치며, 온난전선과 충돌하며 강하게 발달하였다.(Fig. 6.1.a.)

Fig. 6.1. a)는 2003년 8월 27일 호우셀의 발달과정에 대한 종관개념모델이며, Fig. 6.1. b)는 호우셀이 발달과정을 수증기영상으로 분석한 자료이다. 종관개념모델의 ①지역에서 2003.08. 26. 15KST에 생성된 호우셀은 ②지역으로 진행하면서 2003. 8. 27. 02KST에 발달, 호우셀이 강화되어 홍도지역으로 1차 집중호우를 발생시켰다. 그 후 다소 세력을 유지한 채 ③지역인 남해안에서 2차 최성기로 활성화되어 2003. 8. 27. 05KST에 완도지역에 집중호우를 내렸다.

2003년 8월 27일의 호우셀을 발달시키는 종관적인 배경은 성질이 다른 mT와 mP<sup>8)</sup>의 두 고기압 사이에 형성된 정체전선이 일본열도를 따라 놓여 있고, 중국 동안의 저기압의 온난전선은 제주도 남쪽 해상까지 뻗어있어 mT가장자리를 따라 남서쪽에서부터 습윤한 공기가 유입되고 있다.(Fig. 6.2.)

---

8) 해양성 한대기단(mP) : maritime tropical air mass

저기압은 제트류 부근의 연직운동장과 500hPa기압골, 850hPa의 온도경도 증가에 따라 발달하고 500hPa 지향류를 따라 동진하면서 우리나라에 영향을 주고 있다.(Fig. 6.2.)

Fig. 6.2. f)의 200hPa의 제트기류는 북위40도 부근을 동서로 zonal하게 흐르다가 일본중북부에서 북동쪽으로 사행하고 있으며, 500hPa에서 베트남 북쪽에 위치한 제12호 태풍(크로반)이 약화된 열대저압부로부터 shear-line이 화중지방의 단파골과 연결되고, 또 다른 shear-line이 산동반도 부근에 위치하고, 중관기압계의 이동을 지배하는 지향류는 화중지방에서부터 우리나라까지 서풍형태를 이루고 있다. 지상전선대의 위치에 대응되는 5820gpm선은 다소 남하하는 추세를 보이고 있다. Fig. 6.2. c)의 850hPa 중국 화중지방에서 산동반도를 거쳐 제주해협까지 온난전선이 위치하고, 화중지방에서 티벳 동쪽까지 한랭전선이 놓여 있으며, 양자강 하구 부근의 온난역이 확장하면서 사할린에서 화중까지 이어진 한랭역 사이에서 전선 발생조건이 형성되어 있다.



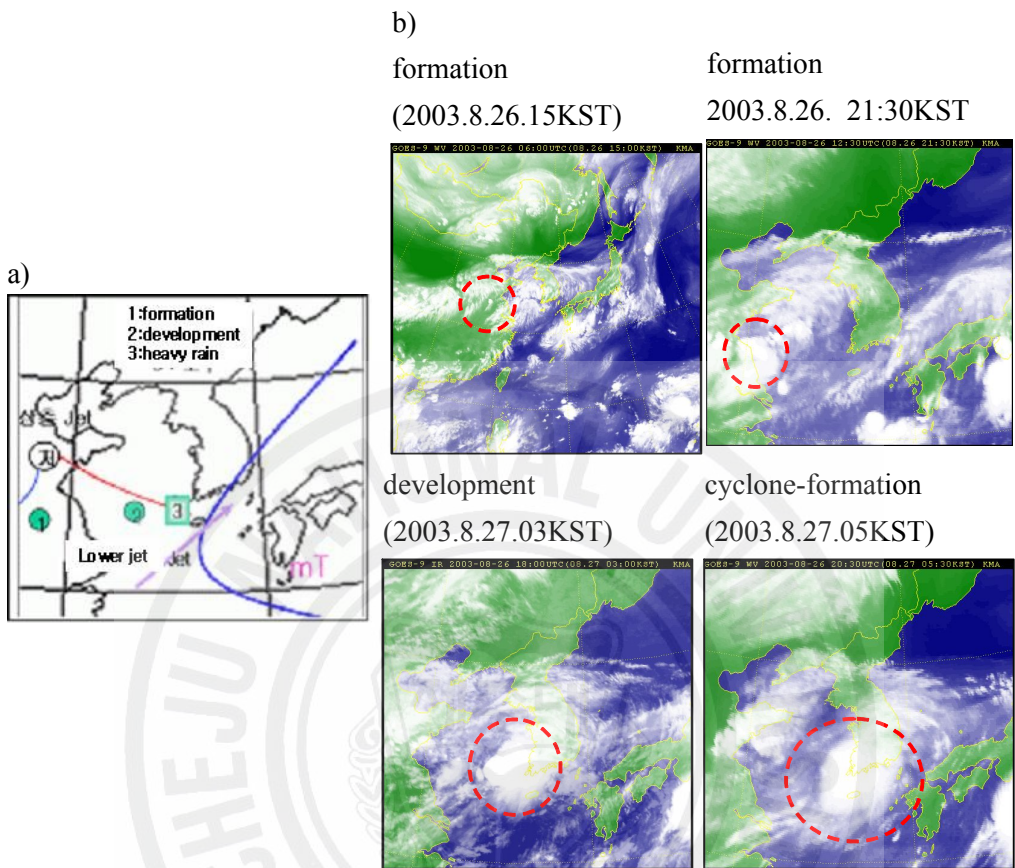


Fig. 6.1. a) Schematic figure of CC movement, b) GSM water vapor images in the cases of heavy rainfall with CC development and shrint

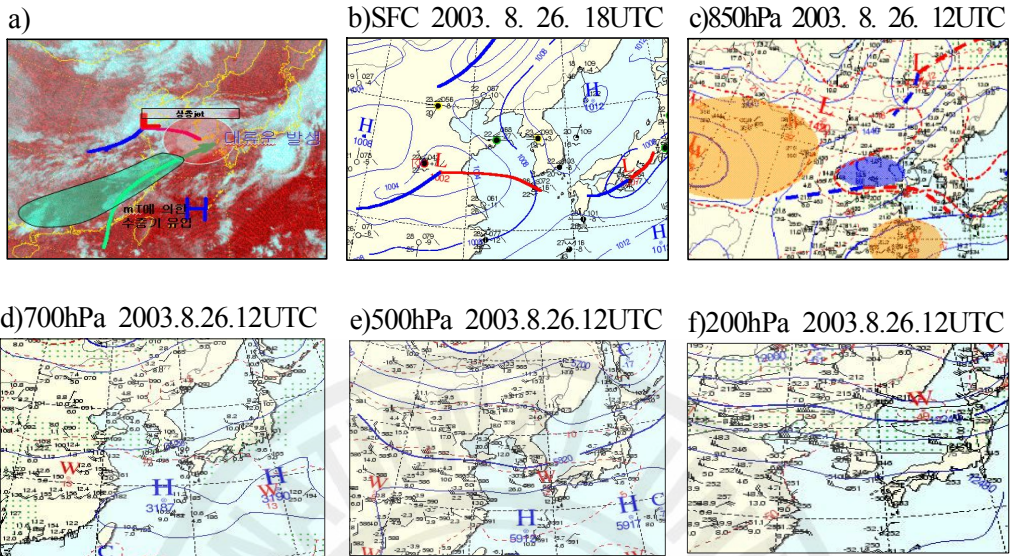


Fig. 6.2. a) Schematic figure of CC development, b) synoptic figure of mT and a warm front, c) 850hPa weather chart, d) 700hPa weather chart, e) 500hPa weather chart, f) 200hPa weather chart on 27. August. 2003.

### 1.1. 실태 분석

2003. 8. 27. 새벽 2~3시경에 호우셀이 발달하면서 mT가장자리에 들어 있는 전남 남서쪽 흥도부근에서 강한 낙뢰를 동반하였으며, 흥도지역 일강수량 114.0mm, 1시간 최다강수량은 100.7mm를 기록하였다.(Fig 6.3.)

Fig. 6.4 e), f)의 위성영상을 보면, 운정온도가  $-60^{\circ}\text{C}$ 로 강한 대류성 구름이 흥도부근해상에 위치하면서 대류권계면(운정고도 12km)까지 강하게 발달하였음을 볼 수 있다.

레이다 및 낙뢰영상에서도 전라남도 남서쪽해상에 최대 20mm/h 이상의 강한 에코가 나타나고 있으며, 흥도부근해상에 강한 낙뢰가 분포하고 북서쪽에서 남동쪽으로 진행되고 있다.

Table 8. Hourly precipitations at Hongdo from 00KST to 09KST

2003. 8. 27.							
time	1	2	3	4	5	6	daily precip.(144.0mm)
1hour Max. precip. (mm)	0.5	99.0	9.5	5.0	-	-	1hour Max. precip.(100.7mm)

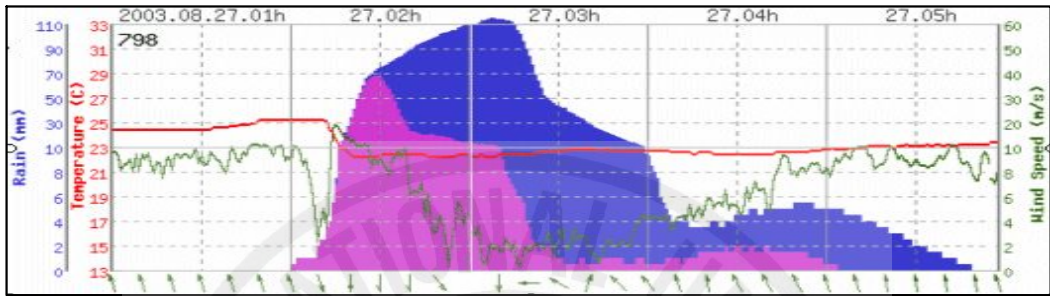


Fig. 6.3. Time series of precipitation from AWS at Hongdo from 00:00 KST 27 to 09:00 KST 27 August 2003.

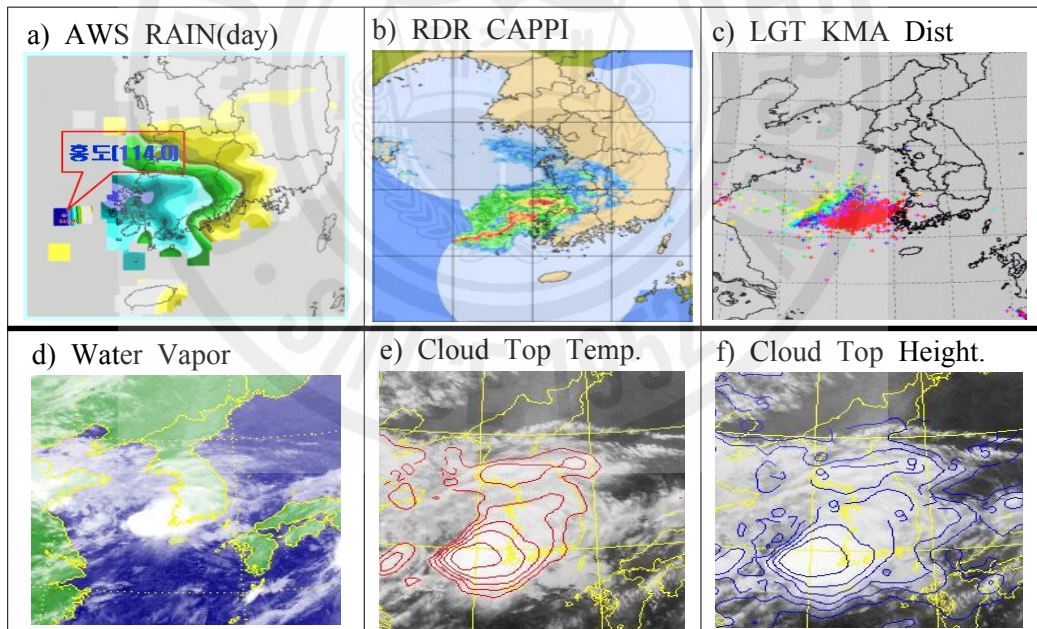


Fig. 6.4. a)Daily accumulative precipitation, b) CAPPI radar images, c) 30-minute lightning distributions, d)GMS satellite images for water vapor, e)GMS cloud Top Temperature, f) GMS cloud Height. at 03:00 KST 27 August 2003.

## 1.2. 습윤속과 K-index

2003년 8월 27일 습윤속은 베트남 북쪽에 위치하고 있는 제12호 태풍(크로반)이 약화된 저압부로부터 고온 다습한 공기가 mT가장자리를 따라 증가하고 있으며, 우리나라 동쪽에는 고압대가 있어 습윤속의 진행전면을 막고 있어 남북으로 압축되면서 남해안으로 강한 수렴이 발생하고 있다.

Fig. 6.5. b) 850hPa 상당온위는 열대기류의 성질을 가지고 있는 333K선이 화중지방에서 우리나라 남부지방으로 뻗어 있으며, 이 지역에서 등 상당온위선이 조밀한 분포를 보이고 있다. Fig. 6.5. c)의 K-index는 K-지수가 37%로(뇌우발생확률 60~80%) 대기하층의 수증기량이 많고 포화정도가 크므로 대기가 매우 불안정한 상태이며, 불안정역이 북태평양 고기압(mT)의 가장자리를 따라 제주도부근에서 상해 부근까지 형성되어 있어 대기를 상승시키는 원인을 제공하여 원형 구름무리의 발달과 지속시간을 유지시키는 메카니즘을 제공하였다.

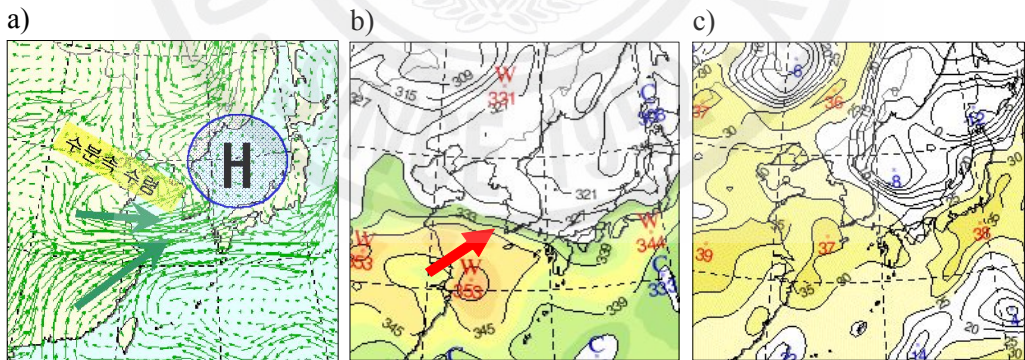


Fig. 6.5. Analysis charts at 00UTC 27. August. 2003. a) 850hPa Moisture Flux, (b)850 hPa Equivalent Potential Temperature(3K) (c) K-index

## 2. 2003. 7. 20. 의 사례(II)

2003년 7월 20일 호우셀의 발달과정에 대한 종관개념모델 ①지역에서 2003년 7월 19일 16시경에 생성된 호우셀은 서해상으로 나오면서 2003년 7월 20일 06시경에 전이과정에 들기 시작하여 7월 20일 12시에는 ②지역에서 전이과정을 거치면서 소멸되었다. 그러나 제주도 남서쪽해상인 ③지역에서 조그만 원형의 셀이 13시경에 생성되어 16시경에 발달하여 ④지역인 제주도에 집중호우를 발생시켰다.(Fig. 6.6.)

호우셀의 발달한 종관적인 배경은 mT가장자리에 제주도가 위치하고, 중국 내륙에 위치한 저기압에 동반된 온난전선이 제주지방까지 걸쳐 있어 남서쪽으로부터 남서류의 유입에 의해 대기가 불안정한 상태이다.(Fig. 6.7, a))

850hPa일기도에서는 제주도 남쪽해상을 따라 위치한 하층제트를 따라 남서쪽의 온난다습한 수증기를 공급하고 북쪽으로는 한기가 남해안까지 확장하고 있어 두 경계에서 대류 불안정이 유발되는 조건이 형성되어 있다. 500hPa일기도에서는 서해상으로 단파골이 형성되어 mT가장자리(5820gpm)을 따라 남서쪽으로 수증기 유입과 남서쪽으로 -5도선이 지나고 있으며, Warm Sector가 형성되고 그 후면에 한기 이류로 대기불안정 조건이 형성되어 있다.

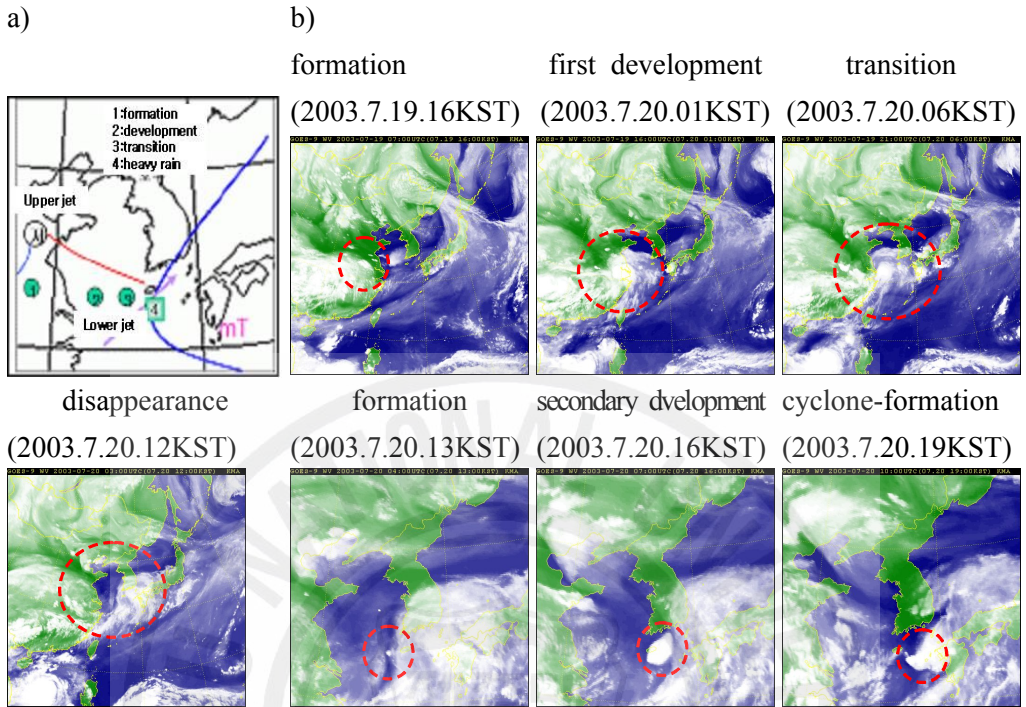


Fig. 6.6. a) Schematic figure of CC movement b) GMS water vapor satellite images in the case of heavy rainfall with CC development and shrink

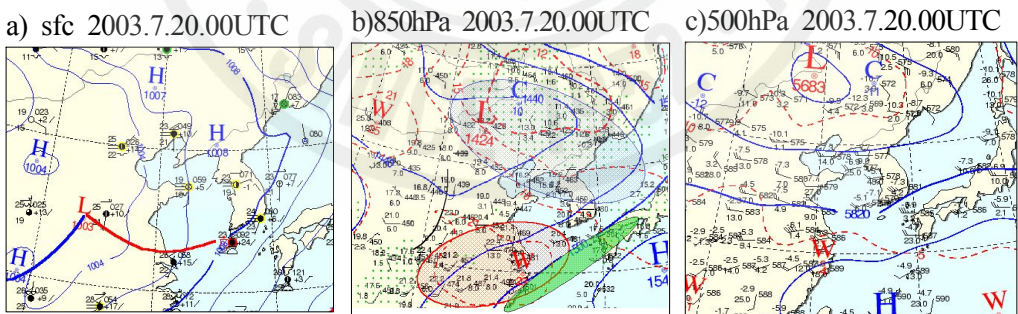


Fig. 6.7. a)Surface weather chart, b)850hPa weather chart, c)500hPa weather chart on 20. July. 2003.

## 2.1. 실태분석

2003년 7월 20일 새벽에 우리나라 남서쪽에서 접근하여 온 대류성 예코는 제주도서쪽 해상에 위치한 온난전선상의 끝부분에서 제주도지방에 강한 낙뢰를 동반하여 집중호우를 발생시켰다. 이 사례에서 대류 불안정이 강화된 원인은 한라산의 지형효과가 중관시스템에 더해져 풍상측 산간지역을 중심으로 강수가 집중된 것을 시계열자료(Fig. 6.8)와 바람벡터(Fig. 6.9.)자료에서 볼 수 있다.

Fig. 6.10의 레이더영상에서 제주도지방에 강한 낙뢰발생 및 밴드형의 강한 예코가 동서로 나타나고 느리게 동진하고 있으며, 대류 운의 운정고도는 13km로 높은 편이고 운정 온도는  $-60^{\circ}\text{C}$ 로 매우 불안정한 상태이다.

Table 9. Hourly precipitations at Eorimok and Jindalea from 04KST to 11KST  
2003. 7. 20.

time	4	5	6	7	8	9	10	11	daily precip. (mm)	1hour Max. preci. (mm)
Eorimok	1.0	1.0	1.0	2.5	45.0	14.5	7.0	1.0	77.0	56.5
Jindalea	0.5	20.5	5.0	6.5	40.0	10.5	7.0	1.5	100.5	45.0

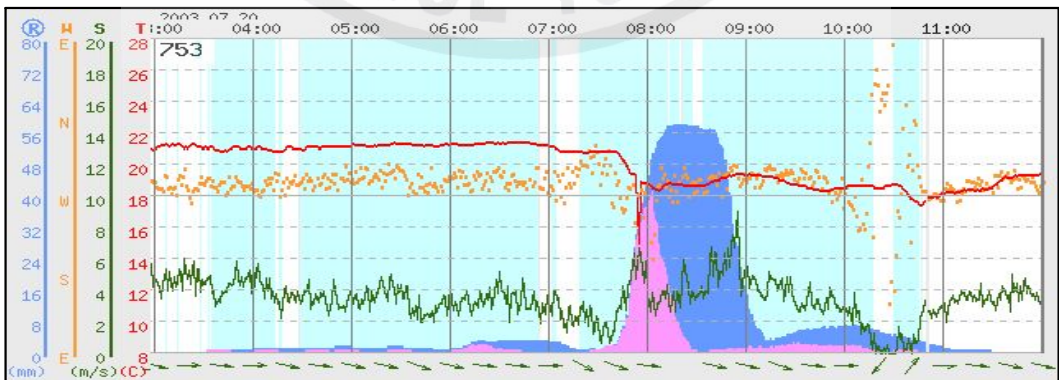
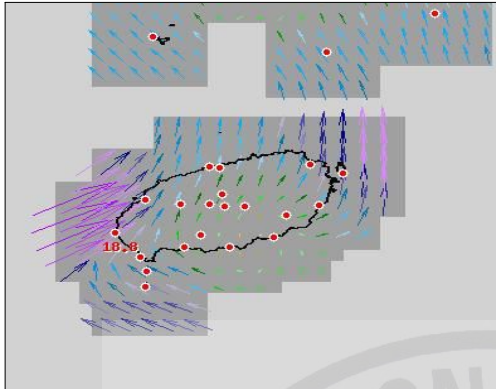


Fig. 6.8. Time series of AWS data at Eorimok(temp., precip. wind.) from 04KST 20 to 11KST 20. July. 2003.

a) wind vector(2003. 7. 20. 08:30)



b) RAIN(60min) 2003. 7. 20. 08:30

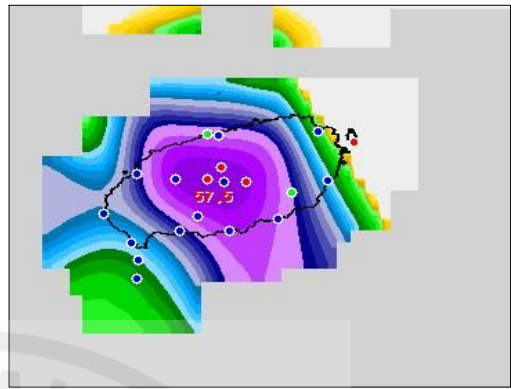
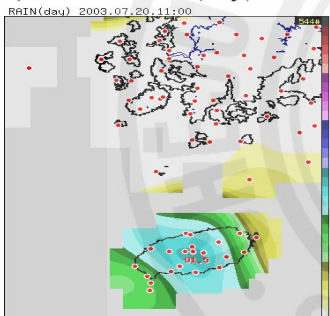
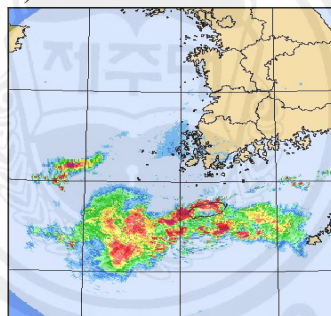


Fig. 6.9. wind vector and distribution of 1hour precipitation at 08:30 20. July. 2003. around Jeju.

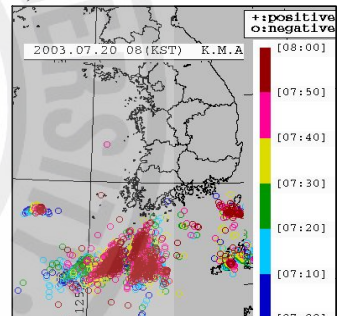
a) AWS RAIN(day)



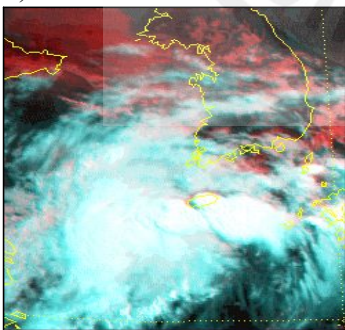
b) RDR CAPPI



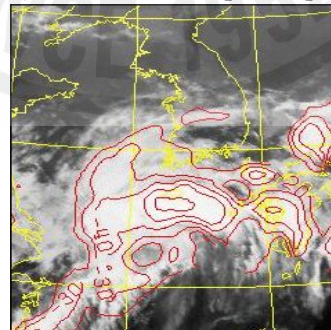
c) LGT KMA Dist



d) GMS-IR COM



e)GMS Cloud Top Temp.



f)GMS Cloud Height

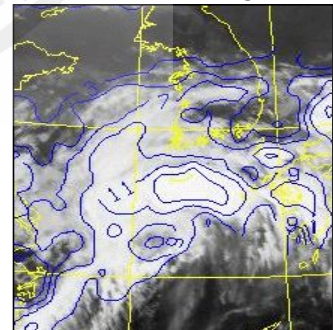


Fig. 6.10. a)Daily accumulative precipitation, b)CAPPI radar images, c)30-minute lightning distributions, d)GMS satellite images for water vapor, e)GMS Cloud Height at 04:00 KST 20. July. 2003.



## 2.1. 습윤속과 K-index

Fig. 6.11. a)의 Moisture Flux는 상해에서 NE쪽으로 진행하고 수분속이 우리나라 남부지방을 거쳐 동해상에서 남북으로 압축되는 경향으로 수렴하고 있다. 850hPa상당온위는 열대기류의 성질을 가지고 있는 345K선이 화중에서 우리나라 남부지방으로 뻗어 있으며, 제주도에서 안정하게 표시되는 것은 8시경에 집중호우를 내린 상황에서 안정하게 나타난 것으로 사료된다.

K-index는 K지수 40%(뇌우발생확률 60~80%)가 동서로 형성되어 있고, 대기하층의 수증기량이 많으며 포화정도가 크므로 대기가 매우 불안정한 상태이다..

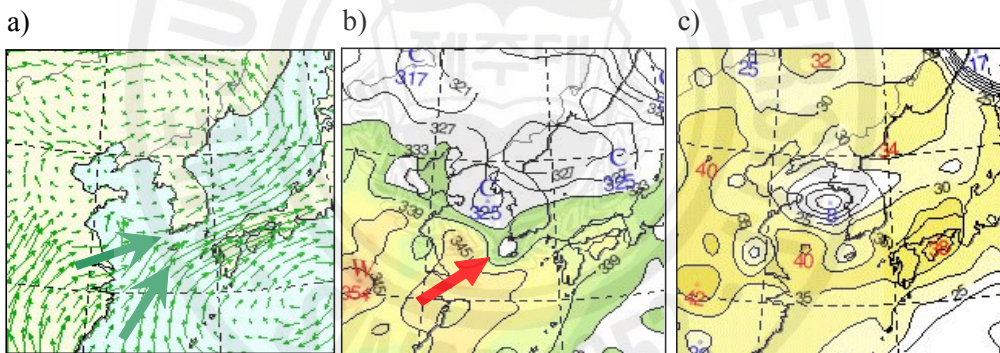


Fig. 6.11. Analysis charts at 00UTC 20. July. 2003. a) 850hPa Moisture Flux, (b)850 hPa Equivalent Potential Temperature(3K) (c) K-index

## 2.2. 불안정도

Table 10.과 Table 11에서 2003년 8월 27일 사례를 보면 온도가 12시간 전보다 점차 낮아지고 포차는 12시간 전보다 습윤해지고 있다. 특히 700hPa~500hPa 등 상층으로 갈수록 습윤해지는 폭이 크게 나타나고 있다. K-index는 32로서 뇌우발생가능성이 60~80%로 매우 높게 나타났으나 SSI는 5.6으로 대

류운이 발달하지 않은 것으로 나타나 온난전선전면상의 특징이라고 여겨진다. CT(교차 total = 850 hPa Td - 500 hPa T)는 약 14, VT(연직 total = 850 hPa Temp - 500 hPa Temp)에서도 18 TT(총 total=VT+CT)는 31로 뇌우가 능성이 작았다.

Table 10. Temperature and saturation deficit at Kwangju

Change tendency	preceding time	Temp(°C)			T-Td(°C)		
		850hPa	700hPa	500hPa	850hPa	700hPa	500hPa
2003.8.27.03KST (development)	00UTC(-18h)	20.2	9.0	-5.3	22.0	48.0	7.0
	12UTC(-6h)	18.4	7.2	-4.7	9.0	0.5	0.9
2003.7.20.04KST (disappearance)	00UTC(-18h)	20.2	8.8	-7.1	8.0	7.0	1.9
	12UTC(-6h)	19.2	8.0	-7.3	12.0	7.0	9.0

Table 11. Instability index before 6 hours at Kwangju

Change tendency	K-index	SSI	CT	VT	TT
2003.8.27.03KST (development)	32	5.6	13.7	17.5	31.2
2003.7.20.04KST (disappearance)	39	-2.4	19.3	10.2	29.5

(Instability index criterions CT: 18, VT: 26, TT: 44)

### 3. 2006. 6. 10의 사례(Ⅲ)

만주에서 발해만과 서해북부해상으로 저기압이 위치하고 있고, 북태평양고기압이 점차 확장하고 있어 발해만부근에 중심을 둔 저기압은 남동쪽으로 이동하지 못하고 점차 수축하는 패턴으로 mT가장자리에서 많은 수증기가 유입되면서 불안정이 심화되고 있으며, 만주에서 화중지방으로 형성된 온도 골이 남동진하면서 서해남부해상과 남해서부해상의 형성된 온도 능(난역)을 약화시키면서 남쪽으로 밀어내고(불안정이 높아지고) 있다. 850Stream line에서 서해상의 저기압성 회전역은 점차 수축하고 있으나 제주특별자치도 부근으로 S~W-ly(습윤)가 유입되고 있고, 제주도 서쪽 해상의 높은 불안정(SS1 -2~3, K-index 30~35)역이 제주도로 접근하고 있으며 서해상의 강한 와도(+12)역의 전면(제주특별자치도 부근의 와도 +3)에 위치하여 있다.(Fig. 6.13. )

위성과 레이더, 강수량분포도에서 2006년 6월 10일 제주 동부지역으로 뇌전을 동반한 시간당 40mm 이상의 강한 비가 내린 반면 서부지역으로는 고산 0.0mm, 한림 1.5mm, 가파도 2.0mm, 마라도 8.5mm로 약한 강수현상을 보였다. 집중호우 현상이 있었던 제주산간과 제주동부지역의 시간별 강수량을 살펴보면, 15시경 남부지역에서 강수가 시작되었으며, 이 강수대가 점차 북동진하면서 제주 북부와 동부의 중산간 경계점인 선흥에서 15시 15분부터 16시 23분 사이 최대 시간당 63.0mm의 강수를 기록하였다. 동부 해안지역인 우도와 구좌에서도 대류 셀이 동진하면서 우도와 구좌에 17시경 50.0mm와 45.0mm의 강수량을 보였다. 즉 16시경 Fig. 6.15의 종관시스템과 지형효과에 의해 제주도산간과 선흥, 17시에 구좌, 우도지역에 강수량이 집중되는 것을 알 수 있다.

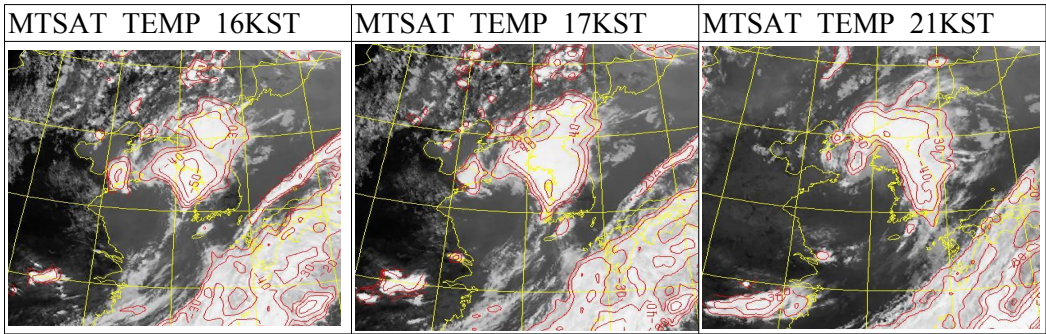


Fig. 6.12. On-top temperature Image from MTSAT-IR CLOUD(2006. 6. 10)

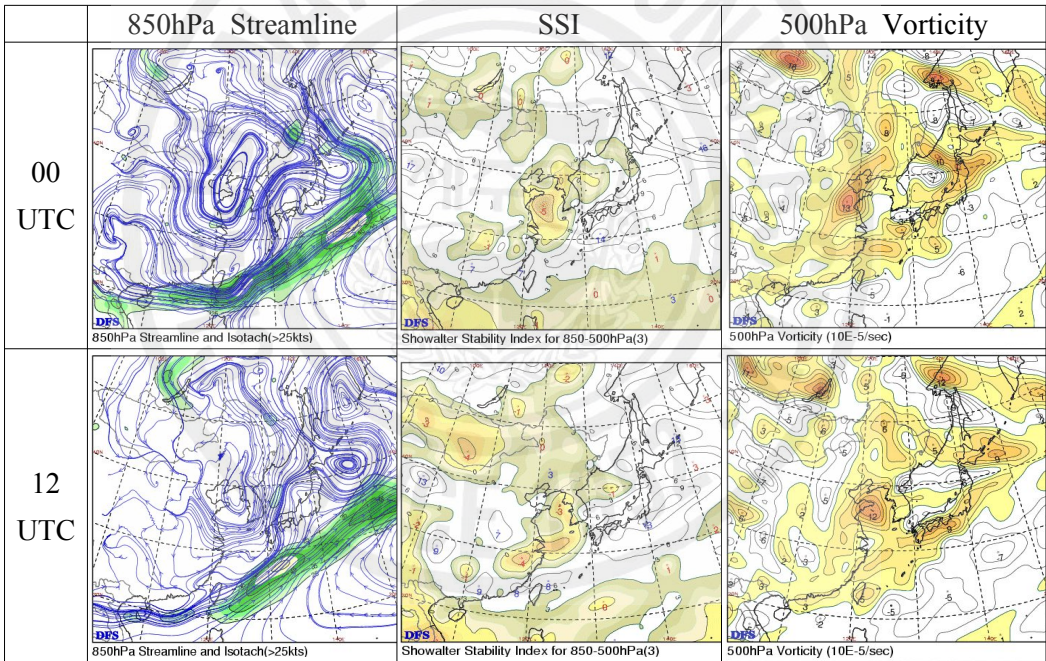
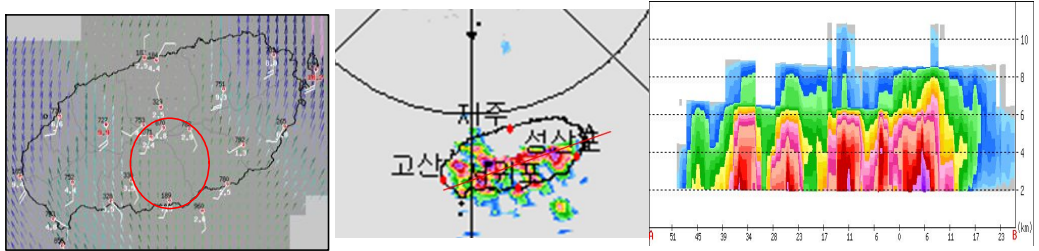
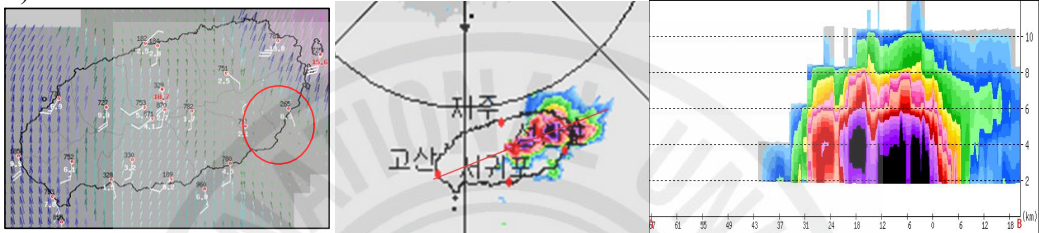


Fig. 6.13. 00UTC and 12UTC of Auxiliary analysis chart on Jun 10th 2006.

a) 2006. 6. 10. 15:00



b) 2006. 6. 10. 15:30



c) 2006. 6. 10. 16:00



d) 2006. 6. 10. 16:50

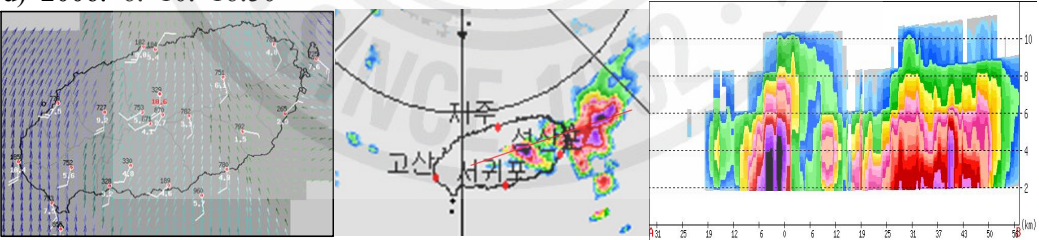
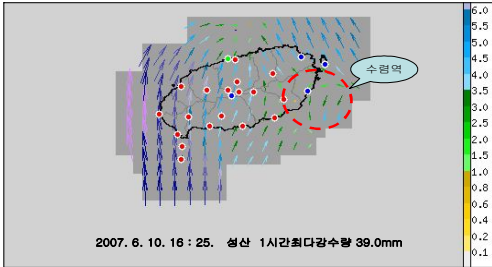
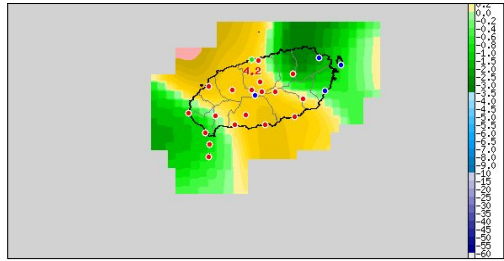


Fig. 6.14. Windectors, CAPPI radar images at Jindo MCUT radar at a) 15:00, b) 15:30, c) 16:00, d) 16:50. on June 10, 2006.

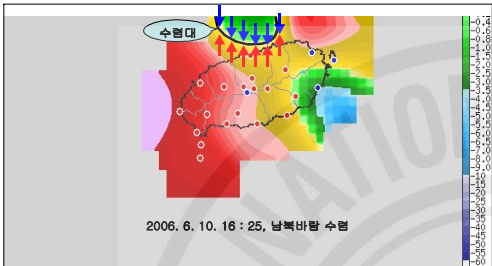
a) wind vector 2006. 6. 10. 16:23



b) U-wind(10min) 2006. 6. 10. 16:23



c) V-wind(10min) 2006. 6. 10. 16:23

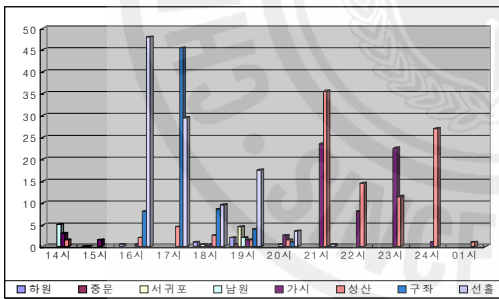


d) Conversion(10min) 2006. 6. 10. 16:23



Fig. 6.15. a)wind vector b)U-wind(10min) c)V-wind(10min) d)Conversion of wind field in 10minute around Jeju. on June 10, 2006.

a)



b)

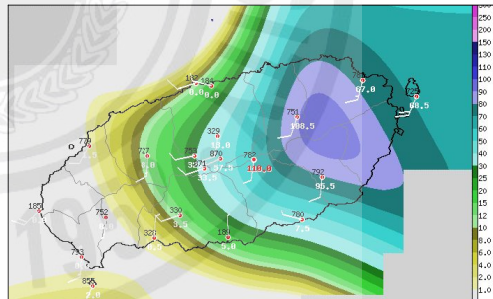
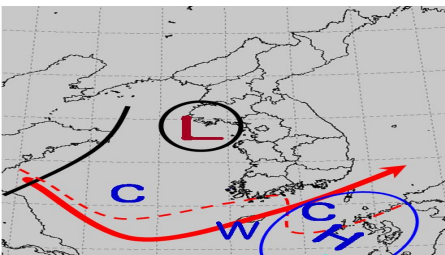


Fig. 6.16. a) Precipitation per hour in eastern area, b) a distribution chart of precipitation in a day on Jun 10th 2006.

a)



b)

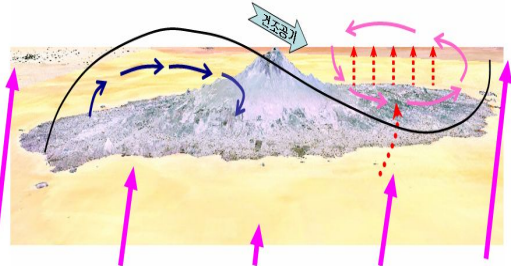


Fig. 6.17. Schematic figure of CC movement a) synoptic field and b) wind field.

#### 4. 2007. 10. 25. 의 사례(IV)

2007. 10. 25일 새벽 1시 30분경부터 제주(대정)남쪽 해상에서 지속적으로 대류운이 발생하고 있으며, 발생한 구름은 발달하면서 북상하다가 제주남부 육상에 다다르면서 크게 발달하였다. 발달한 구름대는 북동쪽으로 퍼져나가 당근형 구름형태가 나타나면서 제주특별자치도 전역에 영향을 주었다.

레이더 영상 및 AWS자료를 보면, 제주도남쪽해상에서 발생한 후 점차 발달하면서 북상하였다. 2007년 10월 25일 새벽 1시경 마라도 남남동쪽 약 20km 부근해상에서 발생한 약한 에코는 마라도 부근에서 크게 발달하여 모슬포부근에서 03시 23분경 시간당 최대 66.0mm의 호우가 발생하였으며, 또다시 발달한 에코는 05시 30분경 시간당 99.5mm의 2차 호우가 발생하였다.

제주(대정) 남쪽해상에서 발생한 에코는 북상하면서 느리게 발달하다가 육상에 접근하면서 크게 발달하였으며 상륙한 후에는 매우 느리게 동진 또는 북동진하면서 제주특별자치도 전역에 호우경보기준을 넘는 강한 강수를 내렸다. Fig. 6.18.은 시간당 99.5mm의 호우가 내릴 시기의 레이더 에코영상으로 대정읍 송악산 북서쪽에서 가장 발달하였다가 에코가 동쪽으로 이동하다가 송악산을 벗어나면서 약화되는 경향을 보이고 있다. AWS시계열에서 강수강도가 강한 시간(04:30~05:30)대에 N~NE-ly로 이는 송악산을 남북으로 우회하는 남동류와 송악산을 넘는 기류가 북서쪽의 건조역이 만나면서 뇌우가 크게 발달하여 대정지역으로 많은 강수가 내린 것으로 분석되며 서쪽의 건조역이 남동쪽으로 확대되면서 강한 에코도 동진하여 제주산간과 북부 그리고 남부지역에도 호우경보에 달하는 강한 비가 내렸다.

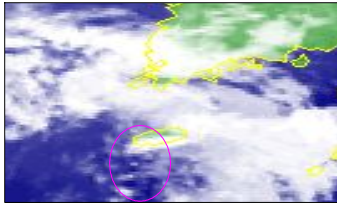
850hPa Streamline은 일본남쪽 고수온 해수면을 지나는 유선이 한반도 남서해상 및 서해상으로 유입되고 있음을 볼 수 있으며, 850hPa Moisture Flux는 제주남서해상에서 수분이류가 나타나고 있으나 고기압의 남서쪽 가장자리에 제주도지방이 위치하고 있어 강수가능성이 낮게 나타나고 있다. Fig. 6.19.

에서 지형적 영향으로 제주도 동부지역에 국지고기압이 위치하고 있으며 수분이류역도 제주도 남부지역을 중심으로 형성되고 있다. 시간이 지나 04시에는 수분 이류역이 모슬포와 서귀포시 등 국지적으로 나타나고 있음을 볼 수 있으며, 습수역과 유선을 보면 동풍류가 지속적으로 유입되는 가운데 제주 북서부지역과 제주서쪽해상으로 건조역이 위치하여 있다.

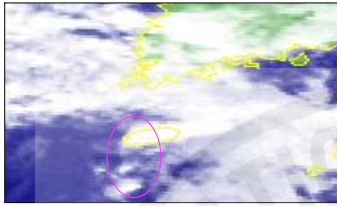
유선의 방향은 Fig. 6.19. c)의 해수면 온도에서 보는 바와 같이 난수역에서 냉수역으로 흐르고 있고 냉수역이 위치한 남서해상의 지표층 건조역과 남동해상으로 유입되는 온난 습윤한 기류와의 상호작용으로 인하여 대류불안정이 커지면서 대류운이 발생하였다. 이렇게 발생된 대류운은 남서해상의 건조역 가장자리를 따라 북상하면서 남동쪽으로 유입되는 수증기의 공급을 받아 발달하였고 한라산 풍하측에 형성된 건조역과 상층 건조역의 침투로 인하여 더욱 발달하였다.



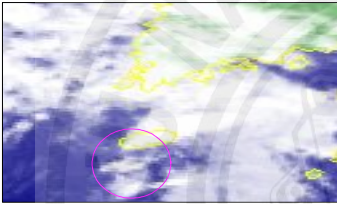
a) 2007. 10. 25. 02:33



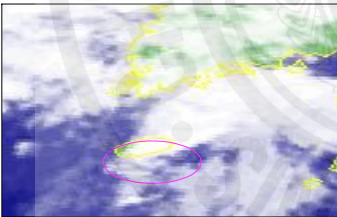
b) 2007. 10. 25. 03:33



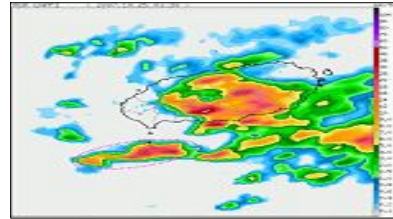
c) 2007. 10. 25. 04:33



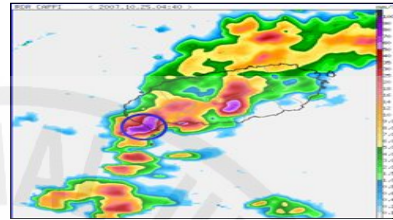
d) 2007. 10. 25. 05:33



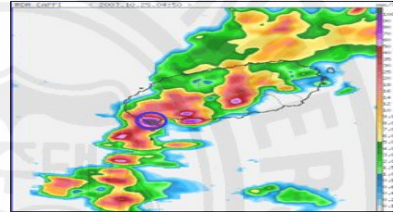
e) 2007. 10. 25. 01:30



f) 2007. 10. 25. 04:40



g) 2007. 10. 25. 04:50



h) 2007. 10. 25. 05:00

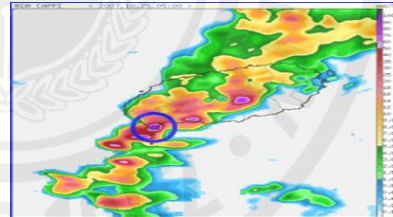
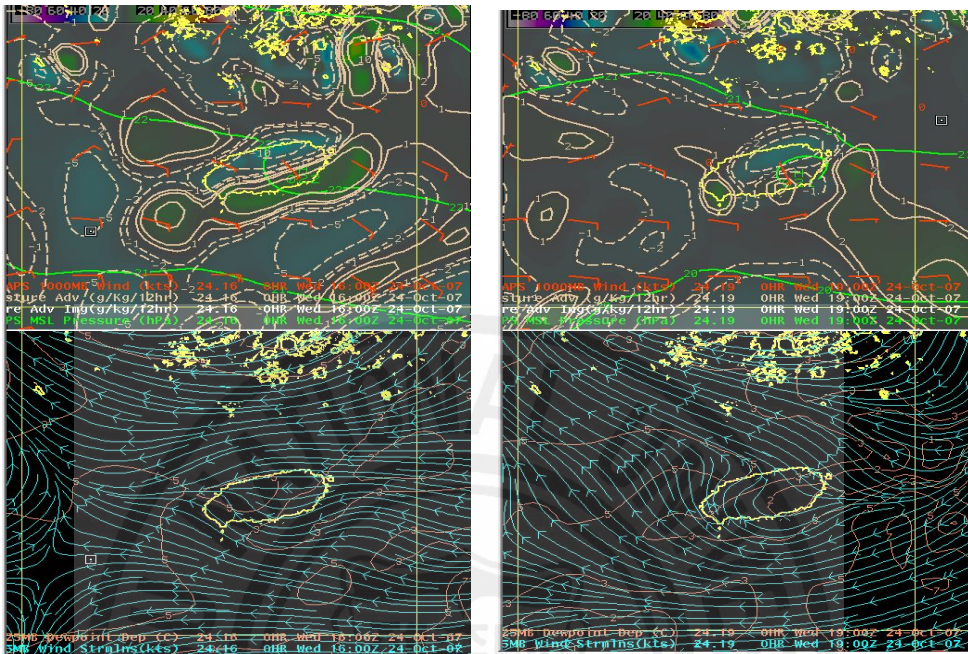


Fig. 6.18. a),b),c),d) MTSAT-IR SIR and e),f),g),h) RADAR CAPPI

a) 2007. 10. 25 01KST

b) 2007. 10. 25 04KST



c) MTSAT의 SST

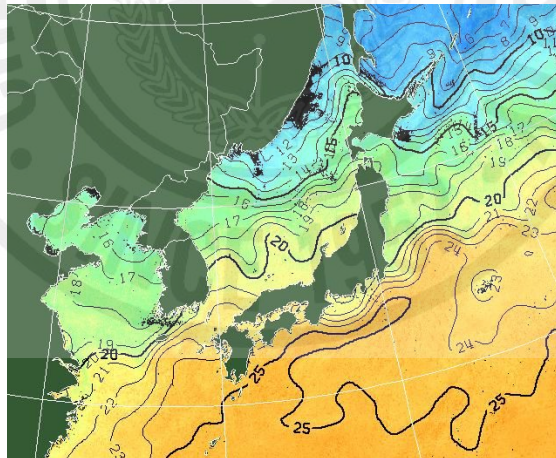


Fig. 6.19. Wet numbers and moisture advection(upper), 1000hPa stream line at a) 01KST and, b) 04KST on October 25, 2007. and c) MTSAT의 SST 2007. 10. 24(one-week average)

## VII. 결 론

우리나라에 영향을 미치는 호우셀은 CC형으로 중규모- $\beta$ 규모가 대부분이며, 강한 뇌우를 포함하고 있는 경우가 많았다. 발생은 주로 중국 내륙에서 강한 대류와 연관되어 생성, 한반도로 접근하면서 서해상에서 발달 및 전이되어 남해안을 중심으로 집중호우를 발생시키는 경향을 보이고, 제주도남서해상을 지나는 경우는 제주도 산간과 동부지역으로 호우를 발생시키는 경향을 보였다.

호우셀의 발생과정은 생성-발달-소멸 후 2차 생성되어 발달하는 경우와 생성-발달-최성기과정을 거치고 있으며, 내륙에서의 발생은 국지적인 지형효과와 종관적인 메카니즘이 더하여 지역에 따라 강수량 편차가 큰 경향을 보였다.

CC를 계속 발달시키는 패턴은 mT가장자리와 온난전선의 끝 부분이 만나는 곳에서 호우셀이 발생하여 서해상으로 이동할 때 서해상의 수온이(칠발도 기준)  $21^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$  이상으로 높을수록 강화되어 강수의 강도가 강했으며, 서해상의 수온이(칠발도 기준)  $20^{\circ}\text{C}$  미만으로 낮은 경우에는 CC가 약화 또는 소멸되는 경우가 많았다. 그러나, 소멸 후 2차 호우셀이 생성되어 발달할 때는 제주도 산간에 집중호우를 발생시키고 있다.

제주도는 mT가 확장하거나 수축할 때 mT가장자리의 상하층의 대기 불안정과 한라산의 지형효과에 의해 돌발적인 Convective cloud Clusters의 발달을 유발시키고 있으며, 제주도산간과 동부지역으로 호우가 집중되는 경향을 보이고 있다.

집중호우 분석을 위해 중규모 이하의 대류시스템에 대한 세밀한 연구는 높은 시공간 분해능의 중규모 관측망(윈드프로파일러, 도플러레이더 등) 자료를 이용할 때 훨씬 더 효과적이라고 생각되며, 관측자료의 분석과 대류계의 구조 및 역학적 특징을 밝혀낼 수 있는 중규모적인 수치모사를 활용하여 중규모 대류시스템에 대한 개념과 모델을 제시할 수 있다면, 이에 동반된 악기상 현상의 예측 능력과 이해력을 한층 더 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

## 요 약

우리나라에서 발생하는 집중호우는 대부분 중규모- $\beta$ 규모에 속하는 cloud clusters의 발달과 소멸에 따라서 국지적으로 집중호우가 발생하고 있다. cloud clusters의 발달과정의 특징을 알아보고 집중호우에 대한 예측정보 생산과 예보정확도를 높이기 위하여 1시간 최다 강수량이 50mm이상 내렸던 사례들을 2003년을 중심으로 조사하였으며, cloud clusters가 서해상에서 발달과 약화된 패턴을 분류하였다.

집중호우를 발생시키는 Convective cloud clusters의 발달과 소멸에는 서해상의 수온분포가 영향을 미치고 있으며, 칠발도 부근의 수온이 21℃~25℃이상 분포한 경우에는 Convective cloud clusters가 강화되고 있으며, 칠발도부근의 수온이 20℃미만으로 낮은 분포에는 약화되거나 소멸하는 경향을 보였다.

본 연구에서 호우 셀의 발달과정은 생성-발달-최성기의 (I)과정과 생성-발달-소멸 후 2차 호우 셀이 생성-발달-최성기의 (II)과정을 거치는 것으로 조사되었다. 2003년 8월 27일은 서해상에서 계속 발달하면서 남해안에 집중호우를 발생시킨 사례이며, 2003년 7월 20일은 서해상에서 전이과정을 거치면서 소멸되었으나, 제주도남서해상에서 2차 호우 셀이 생성되어 발달하면서 제주도산간지역에 호우를 발생시킨 사례이다. 또한, 북태평양고기압이 제주도부근에서 확장할 때와 수축할 때 호우 셀이 발달한 2006년 6월 10일과 2007년 10월 25일의 사례를 집중적으로 분석하였다.

## 참고문헌

- 강길봉, 2005; 급격히 발달한 원형 중규모 구름무리 통과시 제주도 지상 및 고층기상특성 연구. 석사학위논문, 대구대학교 정보통신공학과, pp38-41.
- 기상청, 2004 : 초단기예보론 교재.
- 기상청, 2000 : 예보기술발표회 자료 모음집.
- 기상청, 1998 : 98 집중호우 종합분석집.
- 기상청, 2000 : 집중호우의 발생환경.
- 김기남, 2001; 한반도 중규모- $\beta$  대류계 사례분석(1997년 6월 30일 ~ 7월 1일 사례). 석사학위논문, 서울대학교 지구환경과학부, pp56-57.
- 김정근, 2000 ; 제주지방기상특성집 제3권, pp33.
- 김학송, 김창문, 오임용, 2007 ; 제주도 국지성 강수(호우) 사례 분석, 국립기상연구소 단시간예측시스템(Ⅲ). pp35-50..
- 류찬수 · 신유미 · 이순환, 2004 ; 해안지형 복잡성이 중규모 순환장에 미치는 영향에 관한 수치연구. 한국기상학회지, 40(1), pp71-86.
- 박순웅, 안현주, 전영신 1989 ; 한반도 중부지방 장마전선상에서 발생한 호우와 관련된 중관장의 변화. 한국기상학회지, 22(2), pp27.
- 부산지방기상청, 2003 ; 경북지방 단시간 호우분석 pp23-25.
- 서정환, 1996 : 한반도 중부지방에서의 지형성 강수의 분석과 수치시물레이션
- 유종인, 1998 ; 제주도지방의 집중호우 경향과 사례 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, pp47-48.
- 이동규, 1999; 집중호우. 물리학과첨단기술 8,6('99.6) pp19-24.
- 이동환, 2004 : 예보기술노트 및 집중호우 분석 사례.
- 이태영, 2004 ; 중규모기상학, 기상청 예보관과정 교재. pp43-50.
- 이태영, 김영화, 김원수, 조남산, 2006 ; 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-2304)과 국립기상연구소 학술용역과제, 한반도 집중호우 개념모

- 델 개발 및 현업화 연구. pp51-53.
- 원효성, 정관영, 이강휴, 류찬수, 2005 ; 서해상에서 발달한 중규모대류계와 지형에 관한 연구. 한국기상학회지, pp322-323.
- 원효성, 이순환, 류찬수, 2005 ; 한반도 중규모 대류 복합체 특성(MCC)에 관한 연구, 한국기상학회지, pp372-373.
- 위대권, 1999; 중규모 대류계의 구름 분해 모의에 기초한 적운매개 변수화. 박사학위논문, 서울대학교 대기과학과. pp56-58.
- 하종철, 1999; 한반도 집중호우시 종관배경의 역학 연구. 석사학위논문, 서울대학교 지구환경과학부, pp74.
- 홍성유, 1992 ; 한반도에서 발생한 집중호우의 수치모의 실험, 서울대학교 박사학위논문, pp246.
- 황승언, 1992; 한반도에서 발생한 호우와 하층 제트의 관련성에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교 지구환경과학부, pp39.
- 황재돈, 박정규, 2000 ; 1999년 한반도 여름철 호우와 관련된 동아시아 대기순환 특성 분석. 한국기상학회지, 36(5), pp573-582.
- Akiyama, T., 1984; A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part 1: Evolution process and structure. *J. Meteor. Soc. Japan*, 62, pp485-504.
- Lee, D. K. and T. K. Wee, 1988; Numerical simulation of a meso-beta scale heavy rainfall event over the Korea peninsula. *Proceeding of international conference on monsoon and hydrological cycle*, Kyongju Korea, pp76-80.
- Orlanski, L., 1975; Additional subdivision of scale for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, pp527-530.
- Kim, B. J., Yonghee Lee, Jeong-Hoon Kim, Chun-Ho Cho, Hyo-Sang Chung, 2003; Mountain Impacts on Mesoscale Cloud Cluster Development around Jeju Island, *Atmosphere*. 13(3), pp350-351.

## 감사의 글

단순한 의욕 하나로 무지하게 뛰어 들었던 2년여의 학문의 길을 뒤로하고 한 권의 「논문」을 세상 밖으로 내놓으면서 두려움과 아쉬움, 학문의 길이 얼마나 어렵고 고달픈 과정인지 새삼 깨닫게 되었습니다.

학문적으로 부족한 저를 끝까지 인내하시어 마지막까지 직장과 학업을 병행할 수 있도록 이끌어 주신 방익찬 지도교수님, 이준백 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 논문 심사를 위해 애써주시고 기회가 있을 때마다 많은 관심과 조언, 학문적 지도를 아끼지 않으셨던 윤정수 심사위원장님과 최영찬 교수님, 윤석훈 교수님께도 깊이 감사드립니다.

또한, 제가 끝까지 연구를 할 수 있도록 집중호우 발생에 관한 설명을 지속적으로 해주신 기상청의 송기욱 선배님께 고마움을 마음속 깊이 전하며, 특별한 인연으로 영원히 같이할 것입니다. 바쁜 직장생활 속에서도 따뜻한 위로로 이끌어 주시고 학업을 마칠 수 있게 배려해주신 기상청 직원여러분들께도 진심으로 감사드립니다.

끝으로 지난 2년 반 동안 지치고 힘든 생활속에서 희망과 믿음으로 격려를 해주시고, 지금 이 순간까지도 가족들을 위하여 억척스러운 고생을 하고 있는 사랑하는 나의 남편 정승용과 바쁘다는 핑계로 많은 시간 함께 하지 못한 아들 재혁과 우혁에게 미안한 마음을 전하며, 함께 이 작은 결실을 나누고 싶습니다..

본 논문의 완성되기까지 애정 어린 격려와 협조로 작은 결실을 맺게 하여 주신 모든 분들께 다시 한번 깊은 감사의 마음을 전합니다.

2008년 8월