2 0 0 5 년	2005년 8월 석사학위논문
8 월	
석사학위논문	호남지방의 태풍 전면 수렴대에 의한 호우 특성
호 남 지 방 의	
태풍전면수렴대에	
의 한	조선대학교 대학원
호 우 특 성	대기과학과
심 안 섭	심 안 섭

[UCI]I804:24011-200000234944

# 호남지방의 태풍 전면 수렴대에 의한 호우 특성

The Characteristics of Typhoon-Induced Heavy Rains in the Honam Region

2005년 8월 일

조선대학교 대학원

대기과학과

심 안 섭

# 호남지방의 태풍 전면 수렴대에 의한 호우 특성

지도교수 류찬수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2005년 4월 일

조선대학교 대학원

대기과학과

심 안 섭

## 심안섭의 석사학위 논문을 인준함

- 심사위원장 조선대학교 겸임교수 이 종 호 인
- 심사위원 조선대학교 교 수 류 찬 수 인
- 심사위원 조선대학교 이학박사 이 순 환 인

2005년 5월 일

## 조선대학교 대학원

List of Figures	····ii
ABSTRACT	····iv
I. 서론	·····1
Ⅱ. 자료 및 사례 분석	3
Ⅲ. 태풍 전면 수렴대 특성 분석	·····4
A. Case 1 태풍 메기(2004.8.18)	·····4
1. 호우 개요	·····4
2. 일기도 분석	6
3. 보조일기도 분석	…10
4. 광주 대기선도 분석	···13
5. 위성 자료 분석	···14
6. 레이더 자료 분석	···15
7. AWS 시계열자료 분석	···16
8. FAS를 이용한 분석	···17
B. Case 2 태풍 민들레(2004.7.3)	···20
1. 호우 개요	···20
2. 일기도 분석	···21
3. 보조일기도 분석	···25
4. 광주 대기선도 분석	···27
5. 위성 자료 분석	28
6. 레이더 자료 분석	30
7. AWS 시계열자료 분석	30
8 FAS록 이용한 분석	32
	02
C Case 3 태풍 빅리스(2000 8 24~25) ······	34
1 호우 개요	34
2. 의기도 분석 ······	35
3 보조의기도 부석	37
4 과주 대기서도 부선	40
5 의선 자료 부선	
6 레이더 자료 부선	
5. 패미미 개표 편지 7 AWS 시계연자로 부선	
	74
₩ 결로	••• <u>/</u> /
17. 코드 차고무혀	
고프신긴	1 <del>1</del> 1

목 차

## List of Figures

Fig. 1-1. The track of Megi, 15th typhoon of 20045
Fig. 1-2. Surface weather charts6
Fig. 1-3. 850 hPa weather charts7
Fig. 1-4. 500 hPa weather charts
Fig. 1-5. 200 hPa weather charts
Fig. 1-6. 850 hPa convergence and 200 hPa divergence10
Fig. 1-7. 700 hPa vertical velocity and 500 hPa vorticity11
Fig. 1-8. K-index and 700 hPa T-Td
Fig. 1-9. Skew T-log P diagram13
Fig. 1-10. Enhanced image (a) $\sim$ (c) and cloud-top temperature (d) 14
Fig. 1-11. Water vapor image15
Fig. 1-12. Radar image15
Fig. 1-13. AWS time serial data
Fig. 1–14. 850 hPa moisture flux convergence
Fig. 1-15. 500 hPa vorticity advection
Fig. 1-16. 200 hPa strong wind and divergence field
Fig. 1-17. Omega vertical phase velocity and wind
Fig. 2–1. The track of Mindulle. 7th typhoon of 2004

1 18.	<u> </u>	1 IIC	ti uc		idune, re		cy phoo	11 01 2	2001		20
Fig.	2-2.	Surf	ace v	weather	charts						 21
Fig.	2-3.	850	hPa	weather	charts	••				•••••	 22
Fig.	2-4.	500	hPa	weather	charts		•••••	•••••			 23
Fig.	2-5.	200	hPa	weather	charts		•••••	•••••		•••••	 24
Fig.	2-6.	850	hPa	converg	ence and	d 2	200 hPa	a dive	ergence		 25
Fig.	2-7.	700	hPa	vertical	velocity	aı	nd 500	hPa	vorticity	· ·····	 26

Fig. 2-8. K-index and 700 hPa T-Td27	7
Fig. 2-9. Skew T-log P diagram27	7
Fig. 2-10. Enhanced image (a)~(c) and cloud-top temperature (d) $\cdot 29$	)
Fig. 2-11. Water vapor image29	)
Fig. 2–12. Radar image	)
Fig. 2-13. AWS time serial data	_
Fig. 2-14. 850 hPa moisture flux convergence	2
Fig. 2-15. 200 hPa strong wind and divergence field	2
Fig. 2-16. 500 hPa vorticity advection	}
Fig. 2-17. Omega vertical phase velocity and wind	}
Fig. 3-1. The track of Bilis, 10th typhoon of 2000	;
Fig. 3-2. Surface weather charts	3
Fig. 3-3. 850 hPa weather charts	3
Fig. 3-4. 500 hPa weather charts	7
Fig. 3-5. 200 hPa weather charts	7
Fig. 3-6. 850 hPa convergence and 200 hPa divergence	3
Fig. 3-7. 700 hPa vertical velocity and 500 hPa vorticity	)
Fig. 3-8. K-index and 700 hPa T-Td40	)
Fig. 3-9. Skew T-log P diagram40	)
Fig. 3-10. Enhanced image41	L
Fig. 3-11. Water vapor image41	L
Fig. 3–12. Radar image 42	2
Fig. 3–13. AWS time serial data43	3
Fig. 4-1. Heavy rain mechanism by Megi, 15th typhoon of 200444	ŀ

### ABSTRACT

### The Characteristics of Typhoon-Induced Heavy Rains in the Honam Region

Sim, Oan-Sub

Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D Department of Atmospheric Science, Graduate School of Chosun University

The 15th typhoon "MEGI" brought loss of 25.08 billion  $\mathbb{W}$  and 6 lives throughout the country. Especially, 13 billion  $\mathbb{W}$  and 3 lives were lost in Honam Province.

This typhoon did a great deal of damage to the crops and people with heavy rainfall at the front region of typhoon without direct effect. In this study, 3 cases about heavy rainfall at the front region of typhoon in Honam province were analyzed.

These 3 cases occurred for recent 5 years(2000~2004). Case 1 is typhoon "MEGI" passaged southwest by west Honam province in 18th~19th August, 2004. Case 2 is typhoon "MINDULLE" became weakened to the tropical storm near the sea 200 km far from Seogwipo in 3rd ~ 5th June, 2004. Case 3 is typhoon "BILIS" passaged through China and west side Honam province in 24th~27th August, 2000.

In these 3 cases common factors were searched, 1) upstair jet stream which passaged from Sandung peninsula to Yodong peninsula helped the low stair conversion and an upwardly current was strengthened by second circulation, heavy rainfall occurred. 2) During heavy rain is falling in the conversions zone, typhoon was located from 27N to 31N. 3) In the 700 hPa  $T - T_d$  chart, strong dry zone was located near the Balhae bay and Sandung peninsula, such reason lead the heavy rainfall in the conversion zone was made by hot and moist air and dry air. 4) In the 500 hPa chart strong vorticity was located, this vorticity lead the growth low stair conversion. This means not only low stair conversion but also upstair conditions are important to form the heavy rainfall. 5) More than 50mm rain fell in these 3 cases.

As the typhoon passaged from 27N to 31N, although the distance from typhoon to the Honam province is far, the upstair condition is enough to develop the low stair conversion, be careful the heavy rainfall possibility.

In conclusion, more data and more research is needed to find factors that lead the heavy rainfall in Honam province.

#### I. 서 론

태풍은 지구상의 기상현상 중 가장 강력한 파괴력을 갖는 것으로, 태풍이 통과 하는 지역에서는 필연적으로 큰 재해가 뒤따른다. 태풍(tropical cyclone)은 그 규 모가 종관규모보다 작지만 한 개의 태풍이 갖는 운동 및 열에너지는 천문학적 숫 자를 갖는다. 막대한 에너지를 갖는 태풍은 기상현상 중 가장 강렬하고 파괴적인 기상현상의 하나이다.

태풍은 열대요란으로부터 시작되어 초기 요란은 대체로 200~600 km의 직경을 갖는 조직화된 중규모 대류계, 즉 구름 무리이다. 이 구름 무리는 열대 대류권 중 하층에서 수천 km의 파장을 갖고 서쪽으로 전파하는 편동풍 파동(easterly wave) 또는 몬순 기압골(monsoon trough)과 연관되어 발생하며 열대 요란이 모두 태풍 이 되는 것은 아니고 그 중 일부가 태풍으로 발달한다.

특히, 북서 태평양에서는 매년 20~30개 정도의 태풍이 발생하여 우리나라 여름 철에 평균 2~3개 정도의 태풍이 접근함으로서 많은 인명의 피해와 커다란 재산상 의 피해를 입고 있다. 최근에는 2002년 "루사(Rusa)", 2003년 "매미 (Maemi)" 등으로 큰 피해를 입기도 하였다. 이러한 이유로 인하여 오래전부터 태풍의 특성에 관한 많은 연구를 해 오고 있다.

태풍은 열대 해상에서 발생한 후 서쪽으로 이동하다가 열대 육지 상에서 쇠퇴하 거나, 고위도 쪽으로 이동하다가 중위도에서 육지를 만나거나 해상에서 쇠퇴하게 된다.

우리나라는 8월 중순과 9월 초 사이에 태풍의 영향을 가장 많이 받고 있으며, 이는 일반적으로 태풍이 북태평양고기압의 가장자리를 이동하는 특성에 의해 이 시기에 우리나라가 북태평양고기압의 가장자리에 위치하기 때문이다.

2004년에는 총 28개의 태풍이 북서태평양에서 발생하였으며, 그 중 5개가 우 리나라에 직·간접적인 영향을 준 것으로 분석되었다. 5개의 직·간접적인 영향을 준 태풍 중에서 제 7호 태풍 "민들레(Mindulle)", 제 15호 태풍 "메기(Megi)" 및 제 18호 태풍 "송다(Songda)"가 우리나라 부근을 통과하면서 육상과 해상에 태풍 주의보 및 경보가 발령되었다.

호남지방은 남쪽에서 북상하는 악기상의 전초기지로 태풍과 호우로 인한 피해가 대부분을 차지했다. 2004년 8월 17일부터 8월 19일 사이에 우리나라를 통과한 제 15호 태풍 메기는 전국적으로 6명의 인명 피해와 2,508억원이 넘는 재산피해를 가 져 왔다. 당시 호남지방에서는 농경지가 침수되고 영산강이 범람하는 등 3명의 인명 피해와 1,300억원의 재산피해를 주었다. 태풍 메기는 전면 수렴대에서 18일 나주 다도(AWS 관측기록)에 436.5 mm, 광주 풍암(AWS 관측기록)에 410.5 mm가 내리 는 등 많은 비가 내렸다.

태풍 전면 수렴대는 아직 정확하게 정의 되지 않았으나, 일반적으로 태풍 전면에 서 태풍에 동반된 따뜻하고 습한 공기와 북쪽의 차고 건조한 공기가 만나면서 형성 된다. 양진관과 오주덕(2001)은 태풍 전면 수렴대에 대하여 "수렴대라고 불리우는 이러한 호우형태는 뚜렷한 기압골이나 저기압의 형태를 갖지 않고, 태풍의 가장자리 의 기류와 주변 기류가 합류되면서 강수대가 급격히 발달하고, 국지적인 호우현상을 초래하므로 호우의 사전예측이 어렵고 이러한 수렴대는 주변의 기류가 합류되는 가 운데 연직 대기 불안정, 수평 기온경도의 강화, 상층 jet에 의한 상승류 발달, 수평 바람 shear의 강화 등 다양한 원인으로 발생할 수 있다"고 하였으며, 전상식 (2000)은 태풍 전면 수렴대에서 "수렴대 북쪽에서의 북서풍과 이에 따른 한기가 수증기 북송을 저지하는 한편 대류불안정을 강화시킨다"고 하였다. 이 외에는 많은 연구가 있으나 호남지방에 호우를 유발한 태풍 전면 수렵대에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 최근 5년(2000~2004년) 동안 호남지방의 태풍 전면 수렴대에서 호우가 발생한 사례를 조사하고 공통점과 차이점을 분석함으로써 태풍으로 인한 방 재기상 업무에 도움이 되고자 한다.

#### Ⅱ. 자료 및 사례 분석

본 연구는 2000년부터 2004년까지 태풍 전면 수렴대에서 호남지방에 호우를 유발한 대표적인 사례 3 cases를 연구 자료로 선정하였다.

#### <사례 선정 기준>

1) 태풍에 의해 시간당 30 mm 이상의 강수량과 24시간 동안 80 mm 이상의 호
우 사례,

2) 위성사진 또는 지상일기도 및 850 hPa 일기도에서 태풍 전면에서 수렴대를 형성한 사례는 총 8사례가 있었으며(Table 1), 위성사진에서 비구름의 수렴이 3 사례, 정체전선 형성이 5 사례였다. 태풍의 진행방향은 호남지방의 왼쪽으로 통과 한 경우 2 사례, 북상하다 중간에 약화된 사례 2 사례, 호남지방 오른쪽으로 통과 한 경우가 4 사례였다.

3) 조건 1)과 2)를 만족한 태풍 중에서 가장 최근 영향을 준 태풍으로 호남지 방 왼쪽으로 통과한 1사례, 중간에서 약화된 1사례, 호남지방 오른쪽으로 통과한 1사례를 선정하였다. 이와 같이 선정한 이유는 진로에 따라 태풍 전면 수렴대 호 우의 공통점과 차이점을 분석하기 위함이다.

선정된 3 cases의 일기도 및 보조일기도, 대기선도, 위성, 레이다, AWS 자료 등을 분석하여 3 cases에 대한 공통점과 차이점을 분석하였다.

Case 1은 태풍이 호남지방의 오른쪽으로 진행한 2004년 제 15호 태풍 메기를 분석하였고, Case 2는 태풍이 북상하다 서귀포 서남서 해상에서 약화된 2004년 제 7호 태풍 민들레를 분석하였으며, Case 3는 중국 내륙으로 들어가 약화된 후 호남지방 왼쪽으로 통과한 2000년 제 10호 태풍 빌리스를 분석하였다.

No	Typhoon track	Date	Name	Remarks	
1	The west of Honam	10 Jul. 2000	Kai-tak	Stationary front	
2	The west of Honam	24 Aug. 2000	Bilis	Stationary front	
3	Terminated its life on the way to Korea	14 Sep. 2001	Nari	Cloud cluster	
4	Terminated its life on the way to Korea	ated its life on 3 Jul. 2004		le Cloud cluster	
5	The east of Honam	24 Jun. 2001	Chebi	Stationary front	
6	The east of Honam	11 Sep. 2003	Maemi	Cloud cluster	
7	The east of Honam	20 Jun. 2004	Dianmu	Stationary front	
8	The east of Honam	18 Aug. 2004	Megi	Stationary front	

Table 1. The typhoons which affected the Honam area by inducing a convergent belt in front of them during 2000~2004.

#### Ⅲ. 태풍 전면 수렴대 특성 분석

#### A. Case 1 태풍 메기(2004. 8. 18)

#### 1. 호우 개요

제15호 태풍 메기는 8월 16일 15시경 일본 오키나와 남남동쪽 약 890 km 부 근 해상에서 발생하였다. 이 태풍은 비교적 빠른 속도로 북북서진하여 28 °N 부 근에서 중심기압 970 hPa로 발달하였으며, 18일 12시경 30 °N 부근에서 전향 하여 북북동진하면서 19일 03시경 서귀포 동쪽 약 60 km 부근 해상을 거쳐 19일 07시 25분경 부산 부근을 스쳐 지나 동해상으로 빠져 나갔다(Fig. 1-1).

이 태풍의 특징은 고위도(19 °N 부근)의 광범위한 수렴대속에서 형성된 열대 저기압으로 발생하였으며, 태풍 전면에 비 구름대가 폭넓게 형성되어 많은 비가 내 렸다. 한편 우리나라 남해상에는 해수면의 온도가 29~30 ℃로 예년보다 2~3 ℃ 높아 태풍이 북상하면서 더욱 발달하였으며, 우리나라 부근 해상에 북상할 때까지 도 그 세력이 유지되었다.



Fig. 1-1. The track of Megi, 15th typhoon of 2004

태풍 메기의 영향으로 18~19일 사이 남부지방과 제주도, 강원도 지방을 중심으 로 50~458 ㎜의 많은 비가 내렸다.

지역별로는 호남지방 30~458.0 mm, 영남지방 40~326.5 mm, 강원도 30~358.5 mm, 충청도 20~157.5 mm, 서울·인천·경기도 10~116.5 mm, 제주도 80~458.0 mm로 전국적으로 많은 비가 내렸다.

호남지방은 태풍 전면 수렴대에 의해 18일에 20~436.5 mm의 비가 내렸으며, 태풍 전면 수렴대가 북동진하여 호남지방에서 빠져나가고 태풍의 접근으로 직접적 인 영향을 받은 19일에는 5~59.5 mm가 내려 태풍 전면 수렴대에 의한 강수가 대 부분을 차지했다. 수렴대의 영향을 받은 18일 남부지방 기상관서의 강수량은 완도 353.5 mm, 장흥 328.0 mm(극값 2위 경신), 광주 322.5 mm(극값 2위 경신), 해남 303.0 mm(극값 3위 경신), 진도 235.0 mm, 산청 307.5 mm(극값 2위 경신)를 기록 하였다. 특히 나주 다도(AWS)에서 18일 436.5 mm, 광주 풍암(AWS)에서는 410.5 mm의 비가 내려 영산강이 범람하고 농경지가 침수되는 등 피해가 발생되었다. 12UTC, 17 Aug. 2004 00UTC, 18 Aug. 2004

Fig. 1-2. Surface weather charts.

Fig. 1-2는 지상일기도이다. 17일 12UTC에는 중부지방에 수렵대가 위치하여 있고 제15호 태풍 메기는 중심기압 980 hPa, 27 °N, 126 °E에서 북태평양 고 기압 연변을 따라 10 빠의 속도로 느리게 북서진하고 있으며, 18일 00UTC에는 일본 동쪽해상에 북태평양고기압에 의해 난기가 유입되고, 만주부근으로 고기압에 의해 한기를 남하시켜 그 수렵대가 남해안에 위치하여 있다. 이 수렵대는 태풍에서 많은 수증기가 유입되어 남해안에 강한 비가 내리는 시점이며, 수렵대는 점차 북상 하여 광주 및 나주에서도 강우 강도가 강해지고 있는 시점이다. 18일 12UTC에 태풍은 전향하여 7.5 빠 속도로 북북동진하고 있으며, 중심기압은 970 hPa로 12 시간 전과 비슷한 세력을 유지하고 있다. 19일 00UTC에 태풍은 36 °N, 130 °E로 부산 부근에 위치하여 있고 호남지방은 직접적인 영향을 받고 있으나 강한

강수는 보이지 않았다. 그러나 영동지방과 경상도 동해안은 북동풍이 유입되어 지 형적인 영향으로 강한 강수를 보이고 있다. 이번 호남지방에 호우를 유발한 태풍의 위치는 상하이 동쪽에 위치할 때인 27~31 °N로 태풍이 전향하는 부근에서 호우 가 나타났다.

12UTC, 17 Aug. 2004



12UTC, 18 Aug. 2004



Fig. 1-3. 850 hPa weather charts.

00UTC, 18 Aug. 2004



00UTC, 19 Aug. 2004



Fig. 1-3은 850 hPa 일기도이다.

17일 12UTC에 광주지방은 18 ℃선이 통과하고 있으며 온도골이 북한-산둥반 도-화남지방으로 뻗어 있다. 중부지방은 태풍에 동반된 따뜻한 공기와 몽골부근 고기압에서 불어나오는 한기가 중부지방에서 만나 수렴대를 형성하고 있다.

18일 00UTC에는 수렴대가 남하하여 남해안에 위치하여 있고 한기도 다소 남 하하였다. 또한 태풍의 북상으로 난기가 북상하면서 남해안 부근으로 온도경도가 강화되고 있다. 18일 12UTC에 수렴대는 북상하여 중부지방에 위치하여 있으며, 호남지방은 수렵대에 의한 강수는 끝나가는 시점이며, 18 ℃선은 12시간 전보다 북상하여 광주지방으로 지나가고 있다. 계속해서 한기축이 북한-산둥반도-화남지 방으로 형성·유지되고 있어 태풍은 더 북상하지 못하고 북동진하고 있다. 19일 00UTC에 수렵대가 일본열도-동해상-강릉부근으로 형성되어 있어 호남지방의 강 수는 약해졌으나 영동지방은 북동류가 유입되면서 수렵대가 형성되어 많은 비가 내렸다.



Fig. 1-4. 500 hPa weather charts.

Fig. 1-4는 500 hPa 일기도이다.

태풍의 일반적인 특징인 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 이동하는 모습을 볼 수 있으며 하층의 수렴대에 대한 대기중층의 영향을 알 수 있다. 17일 12UTC 에 한만국경 북쪽으로 단파골이 위치하여 있고, 이 단파골은 하층 중부지방에 위치 한 수렴대의 발달을 돕고 있다. 온도골이 100 °E 부근에 위치하여 하층기압계를 발달 발달시킬 수 있는 패턴이다. 18일 OOUTC에는 단파골이 옹진반도-서해상-산둥반도 남쪽으로 위치하여 단파골에 동반된 저기압성 소용돌이에 의해 남해안지 방에 위치한 수렴대의 발달을 돕고 있으며 태풍은 5820 gpm 선을 따라 이동하였다.

12UTC, 17 Aug. 2004



12UTC, 18 Aug. 2004



Fig. 1-5. 200 hPa weather charts.

Fig. 1-5는 200 hPa 일기도이다.

17일 12UTC에 제트 기류는 한만국경 북쪽으로 통과하고 있으며, 12시간 전보 다 골이 깊어지고 있다. 하층의 수렴대가 중부지방에 위치하고 있어 제트 기류 입 구의 오른쪽에서 상층 발산에 의한 2차 순환으로 하층 수렴대의 발달을 돕고 있 다. 18일 00UTC에 제트 기류는 계속해서 한만국경 북쪽-요동반도를 통과하고 있으며, 12시간 전보다 골이 깊어지고 한만국경 부근의 풍속도 강해지고 있어 상 층발산에 의해 2차 순환으로 연직상승류를 강화시켰다.

00UTC, 18 Aug. 2004



00UTC, 19 Aug. 2004



#### 3. 보조일기도 분석

850 hPa convergence and lsotach와 200 hPa divergence and lsotach에서 는 17일 12UTC에 제주도와 남해상으로 수렴역이 형성되어 있다. 이 수렴역은 점차 북상하여 18일 00UTC에는 호남지방을 중심으로 강한 수렴역이 형성되어 있 으며, 또한 12.5 吨 이상의 강풍역도 점차 북상하여 18일 12UTC에는 남부지방에 도 강한 바람이 불었다.

200 hPa 발산장은 17일 12UTC에 제트 기류의 입구 오른쪽인 남해 앞바다 부 근에 강한 발산장을 형성하고 있다. 18일 00UTC에는 제트 기류의 풍속이 강화되 면서 남부지방으로 강하게 발산장이 형성되어 하층 수렴대를 돕고 있으며, 18일 12UTC에도 계속해서 남부지방으로 강한 발산장이 형성되어 있어 수렴대 부근에 서 2차 순환이 이루어지고 있다(Fig. 1-6).

00UTC, 18 Aug. 2004



12UTC, 18 Aug. 2004



Fig. 1-6. 850 hPa convergence and 200 hPa divergence.

700 hPa vertical velocity과 500 hPa vorticity에서는 17일 12UTC에 제주 도와 제주도 남쪽 먼 바다에 상승류역이 형성되어 점차 북상하고 있고, 18일 00UTC에는 호남지방과 서남해상으로 강한 연직 상승류역이 위치하여 있으며 점 차 북상하여 18일 12UTC에는 중부지방과 호남지방을 중심으로 강하게 형성되어 남한 전역이 상승류역에 위치하였다. 태풍이 북동진 함에 따라 19일 00UTC에는 경상도와 동해상으로 강한 상승류역이 이동하였다.





Fig. 1-7. 700 hPa vertical velocity and 500 hPa vorticity.

Fig. 1-7의 500 hPa 소용돌이도를 보면 17일 12UTC에 제주도 남쪽 먼 바다 와 대한해협으로 길게 +소용돌이도역이 형성되어 점차 북상하고 있으며, 18일 00UTC에는 제주도 부근을 중심으로 11(10E-5/sec)의 소용돌이역이 형성되어 있고, 남해 앞바다와 남해안의 강한 +소용돌이역이 점차 내륙으로 이류되고 있다. 18일 12UTC에는 호남서해안지방을 중심으로 강한 +소용돌이역이 형성되어 있 고, +소용돌이 이류는 경상도 쪽으로 형성되었다. 19일 OOUTC에 태풍에 동반된 강한 +소용돌이역은 부산 부근을 중심으로 형성되어 있고, 이 강한 +소용돌이역 은 점차 동해상으로 북동진하였다.



Fig. 1–8. K-index and 700hPa  $T - T_d$ .

1000-500 hPa 층후와 700hPa  $T - T_d$ 에서는 17일 12UTC에 호남지방은 K-index 35선이 지나가고 있어 대기는 불안정역에 들어 있으며, 상대적으로 중국 산둥반도 서쪽에는 강한 건조역에 따라 대기가 안정되어 있다. 18일 00UTC에도 호남지방은 K-index가 35 이상의 불안정역에 들어 있고 700 hPa에서 산둥반도 부근에는 강한 건조역이 위치하면서 점차 서쪽으로 이동하고 있다. 발해만-화중지 방으로 층후선 골이 길게 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 18일 12UTC에 남부지 방-일본 열도 쪽으로 K-index가 35 이상의 불안정역이 위치하여 있고, 호남지방 은 저습수역에 들어 있다. 19일 00UTC에 호남지방은 태풍의 직접적인 영향권에

들어 K-index가 35 이상의 불안정역에 들어 있고 저습수역도 태백산맥을 중심으 로 강화되고 있다.

#### 4. 광주 대기선도 분석

Fig. 1-9는 광주 대기선도이다.

17일 12UTC에 대기하층은 이미 습윤해 있으며, 대기 중층과 상층은 건조한 상 태이다. SSI는 -2.0, K-index가 34로 대기가 불안정한 상태이며 바람은 veering 으로 난기가 이류 되고 있다. 18일 00UTC에 SSI가 0.1, K-index는 37로 불안 정한 상태에 지상에서는 북동풍이 불고 있으며 연직으로 풍향이 순전하고 있어 태 풍의 접근으로 난기가 이류 되고 있다. 전선 역전층이 660~620 hPa 사이인 대류 권 중하층에 형성되어 있다. 18일 12UTC에 하층운과 상층운이 끼어 있으며, 대류 권 하층에서 veering으로 난기가 이류 되고 있다.

지면부근에는 접지 역전층이 형성되어 있으며, SSI가 -2.0, K-index는 37로 불안정한 상태이다. 19일 OOUTC에 태풍이 북동진하여 부산부근에 위치함에 따라 850 hPa 부근에서 backing으로 한기가 이류 되고 있으며, SSI가 -0.1, K-index 는 37로 불안정도가 높았다.



Fig. 1-9. Skew T-log P diagram.

12UTC, 18 Aug. 2004



#### 5. 위성 자료 분석

Fig. 1-10은 강조영상과 운정 온도이다.

18일 03시에 남해안지방으로 비구름대가 점차 다가오고 있으며, 09시에는 비구 름의 중심부가 남해안에 있고 우리나라 남한의 북부 일부를 제외하고 대부분을 덮 을 정도로 cloud cluster를 이루고 있다. 15시에는 북상하여 경상도 일부지방만을 제외하고 비구름이 덮고 있으며, 21시에는 호남지방에서 점차 빠져 나갔다. 호남지방 에 강우강도가 강할 때인 13시 49분의 운정 온도가 -71 ℃까지 내려가 있어 태풍중 심 부근 -69 ℃와 비슷한 것으로 보아 수렴대에서 얼마나 구름대가 발달했는지 알 수 있다.

(a) 0300KST, 18



(c) 1005KST, 18



(b) 0900KST, 18



(d) 1350KST, 18



Fig. 1-10. Enhanced image (a)~(c) and cloud-top temperature (d).

Fig. 1-11은 수증기 영상으로, 태풍 메기에 동반된 수렴대에서 광주와 나주에 강우강도가 강했던 18일 13:30에서 15:00의 수증기 영상을 보면 건조역의 경계 가 매우 뚜렷하게 나타났으며, 건조역은 한반도 서쪽과 북쪽으로 나타났다. 만주- 발해만-산둥반도-상하이 서쪽으로 강한 건조역이 나타났다. 호남지방 서쪽으로는 123°E 부근이 건조역과의 경계였다. 즉 태풍에 동반된 고온 다습한 공기가 건조 역과 충돌하면서 비구름이 발달하였다.

1330KST, 18



Fig. 1-11. Water vapor image.

1500KST, 18



#### 6. 레이더 자료 분석

Fig. 1-12의 레이더 영상자료에 따르면, 18일 03시에 제주지방에 강수에코가 덮혀 있으며, 점차 남해안으로 북상중이다. 06시에는 남해안에 시간당 20~30 mm 의 강한 강수 에코를 볼 수 있다. 09시에는 전남 내륙지방으로 강한 에코의 일부 가 진입했으며, 14시에는 강한 에코의 중심부가 광주를 비롯한 전남내륙지방에 위 치하여 있고 폭넓은 에코 속에 호우셀이 있다. 18시에는 강수에코가 서해안과 전 북내륙에 위치하고 있다.



Fig. 1-12. Radar image.



#### 7. AWS 시계열자료 분석

나주 다도(AWS)에서는 18일 436.5 mm의 비가 내렸으며, 05시 07분 비가 시 작되어 12~14시에 시간당 50 mm 이상의 폭우가 내렸으며 19시 30분경 소강상태 에 들었다. 광주 풍암(AWS)에서는 18일 410.5 mm의 비가 내렸으며, 05시 19분 에 강수가 시작되어 13~14시, 15~16시 사이에 시간당 60 mm 이상의 폭우가 내 렸으며 21시 30분경 소강상태에 들었다. 전북 순창(AWS)에서는 18일 264.5 mm 의 비가 내렸으며, 05시 30분에 비가 시작되어 13~14시, 17~18시 사이에 시간 당 30 mm 이상의 강한 비가 내렸으며, 19시경 소강상태에 들었다. 남원에서는 18 일 218.0 mm의 비가 내렸고, 04시 30분에 비가 시작되어 13~14시, 17~18시에 시간당 30 mm의 강한 비가 내렸으며, 20시경에 소강상태에 들었다(Fig. 1-13).



Fig. 1-13. AWS time serial data.



#### 8. FAS을 이용한 분석

FAS(Forecaster's Analysis System)는 리눅스 운영체제를 기반으로 한 예보 자의 기상 분석 시스템이다.

Fig. 1-14는 FAS에서 분석한 850 hPa moisture flux이며, 18일 00UTC에 태풍에 동반된 수분속이 남부지방으로 10 g/kg/12hr 이상 수렴되고 있으며, 이 수 분속은 호우 발생의 연료역할을 하고 있다. 18일 06UTC 호남, 충청도, 경기도지 방으로 10 g/kg/12hr 이상의 수분속이 수렴하고 있으며, 더 강한 수분속이 남해상 과 제주도지방으로 수렴하고 있다. 00UTC, 18 Aug. 2004

Fig. 1-14. 850 hPa moisture flux convergence.

Fig. 1-15는 500 hPa 소용돌이 이류이며 18일 00UTC에 발해만 부근의 단파 골의 접근으로 남부지방으로 +소용돌이가 이류 되고 있으며 하층 수렴대의 발달을 돕고 있다. 18일 06UTC에 서해상에 위치한 단파골에 의해 남해안과 남해 앞바다 쪽으로 +소용돌이가 이류 되고 있으며, 계속해서 남해안에 위치한 하층 수렴대의 발달을 돕고 있다.



Fig. 1-15. 500 hPa vorticity advection.

Fig. 1-16은 200 hPa 강풍대와 상층 발산장이다. 18일 00UTC에 제트 기류 의 입구 오른쪽인 남해안으로 강한 발산장이 형성되어 수렴대의 발달을 돕고 있다. 18일 06UTC에 제트 기류에 의한 2차 순환으로 하층 수렴대의 발달을 돕고 있으 며 연직 상승류을 강화시키고 있다.



Fig. 1-16. 200 hPa strong wind and divergence field.

Fig. 1-17은 연직 omega and wind이며 GJ는 광주를 표시한다. 광주부근을 중심으로 남북으로 연직 위상속도와 바람을 분석한 결과 18일 00UTC에 광주부근 으로 +40 ubar/s 이상의 강한 상승류역이 접근하고 있으며, 남해안과 광주사이에 +70 ubar/s의 강한 상승류역이 위치하고 있다. 18일 06UTC에 광주 상공에는 +30~50 ubar/s의 강한 상승류역이 위치하고 있으며, 강한 상승류역이 전남지방 을 중심으로 전북에서 제주도까지 폭넓게 위치하고 있다. 남해안 부근의 지상에서 풍향에 수렴하고 있어 지상 수렴대의 위치를 알 수 있고, 전북과 충청지방의 700 hPa 부근에는 풍향의 shear가 강하게 나타나고 있다.



Fig. 1-17. Omega vertical phase velocity and wind.

B. Case 2 태풍 민들레 (2004. 7. 3)

1. 호우 개요

제7호 태풍 민들레는 6월 23일 15시경에 미국 괌 북북서쪽 410 km 부근 해상 에서 발생하였다. 이 태풍은 서 내지 북서쪽으로 진행하여 6월 29일경에 태풍의 중심이 940 hPa로 가장 발달하였고 중심부근 최대풍속은 45 ms이였으며, 7월 1 일 밤 대만에 상륙하면서 세력이 다소 약화되었다. 이 태풍은 2일 오후에 대만 북 쪽 해상에서 거의 정체하다가 북진하여 30° N까지는 태풍의 세력을 985 hPa로 유지하면서 북상하였으며, 4일 09시경에는 서귀포 서남서쪽 약 200 km 부근에서 열대성 저기압(TD)으로 약화되었고 4일 12시를 기하여 온대저기압화 되었다(Fig. 2-1).



Fig. 2-1. The track of Mindulle, 7th typhoon of 2004.

태풍은 제주도 남쪽해상인 30 °N 부근까지 해수면 온도가 23 ℃ 이하로 낮아 세력이 약화되었다. 또한 우리나라 부근의 1.5 km 상공 이상에서 찬 공기가 서해상 으로 남하하고 있어 태풍의 세력이 급속히 약화되었다(기상청 보도자료).

태풍 민들레로 인하여 전국적으로 10~262.0 mm의 비가 내렸으며 지역차가 컸 다. 지역별로는 호남지방 10~162.5 mm, 영남지방 5~265.5 mm, 충청도 20~125.0 mm, 강원도 30~262.0 mm, 서울·인천·경기도 10~189.5 mm, 제주도 20~237.5 mm의 비가 내렸다. 남부와 제주지방에서 시간당 강수량이 30 mm 이상의 집중호우가 발 생했으며, 특히 목포에서는 1시간최대강수량이 64.5 mm로 관측이래(1904년) 극값 을 경신하였다. 태풍 전면 수렴대에 의해 7월 3일 전남지방에서는 5~127.0 mm, 전북지방에서는 20~98.0 mm가 내렸으며, 3일 지역별로는 광주 풍암(AWS) 127.0 mm, 목포 109.5 mm, 순천(AWS) 98.0 mm, 무주(AWS) 84.5 mm의 비가 내렸다. 수 렵대 통과 후 태풍의 직접적인 영향과 온대저기압으로 인하여 강수가 내린 7월 4~5일 호남지방에 10~136.0 mm의 비가 내려서 수렴대에 의한 강수량과 그 후 태 풍의 직접적인 영향 및 온대저기압의 강수량을 비교하면 거의 비슷한 양을 보였다.

#### 2. 일기도 분석

12UTC, 02 Jul. 2004



12UTC, 03 Jul. 2004



Fig. 2-2. Surface weather charts.

00UTC, 03 Jul. 2004



00UTC, 04 Jul. 2004



Fig. 2-2는 지상일기도로 2일 12UTC에 중심기압 985 hPa인 태풍 민들레는 26 °N, 120 °E에서 3 吨 속도로 느리게 북북서진하고 있으며, 3일 00UTC에 중심기압 990 hPa로 전 시간 보다 조금 약화되었으며, 3.5 吨 속도로 느리게 북 진하고 있다. 3일 12UTC에 31 °N, 123 °E에서 북상하고 있으며, 수렴대에 의 한 강수는 소강상태에 있다. 4일 00UTC에 태풍은 서해상에서 TD (985 hPa)로 약화되었으며, 호남지방에 태풍 전면 수렴대에서 강수가 강하게 내릴 때 태풍은 상 하이 부근으로 27~30 °N에 위치하면서 호우를 유발하였다.

12UTC, 02 Jul. 2004



12UTC, 03 Jul. 2004



Fig. 2-3. 850 hPa weather charts.

Fig. 2-3은 850 hPa 일기도이다.

2일 12UTC에 광주지방은 19 ℃선이 통과하고 있으며, 온도골의 축이 동해와 일본열도 쪽으로 있으나 온도선이 동서로 완만하여 한기의 남하는 약하였다. 몽골





12UTC, 04 Jul. 2004



남쪽에는 저기압에 동반된 warm core가 위치하고 있다. 3일 00UTC에 광주지방 은 19 ℃ 선이 지나가고 있으며 온도의 변화는 거의 없었다. 3일 12UTC에 광주 지방은 17 ℃선이 통과하고 있어 기온은 조금 낮아진 상태이며, 온도골은 서해상-상하이-중국 화남 쪽으로 위치하였다. 태풍을 지탱하는 난기가 태풍중심부근에서 약해져 태풍의 중심이 온도골에 위치하여 그 세력을 유지하지 못하고 약화되는 하 나의 요인이 되었다.



12UTC. 02 Jul. 2004

00UTC. 03 Jul. 2004





Fig. 2-4. 500 hPa weather charts.

Fig. 2-4는 500 hPa 일기도이다.

2일 12UTC에 단파 골이 요동반도 부근과 산둥반도 아래에 위치하여 있고 우 리나라는 서풍계열의 바람이 유입되고 있다. 3일 00UTC에 발해만 부근에 단파 골이 위치하여 있고 점차 남동진하고 있다. mT 연변을 따라 태풍에 동반된 고온 다습한 수증기가 유입되고 있고, 이 단파 골이 남동진 하여 하층 수렴대의 발달을 도왔다. 3일 12UTC 단파 골이 서해상에 위치하여 있고 대한해협으로 5820 gpm 선이 지나고 있다. 4일 00UTC에 태풍 민들레는 약화되어 남해상에 위치하고 있 다.

12UTC, 02 Jul. 2004



12UTC, 03 Jul. 2004



Fig. 2-5. 200 hPa weather charts.

Fig. 2-5는 200 hPa일기도이다.

2일 12UTC에 제트 기류는 중부지방을 통과하고 있고, 제트 기류 입구의 오른 쪽에 위치한 하층기압계의 발달을 돕고 있다. 3일 00UTC에 제트 기류는 조금 북 상하여 북한지방을 통과하고 있으며 제트 기류 입구의 오른쪽에서 발산장에 의해 하층기압계의 발달을 돕고 있다. 3일 12UTC 제트 기류는 더욱 북상하여 요동반 도 부근을 통과하고 있다. 4일 00UTC 제트 기류는 북한지방을 통과하고 있으며 대기하층의 수렴대는 동쪽으로 빠져 나갔다.

00UTC, 03 Jul. 2004



00UTC, 04 Jul. 2004



#### 3. 보조일기도 분석

850 hPa convergence and isotach과 200 hPa divergence and isotach 에 서는 3일 00UTC에 약한 수렴역이 호남지방으로 위치하여 있고 제트 기류에 동반 된 상층발산역은 서해-호남지방-일본 열도 쪽으로 위치하여 호남지방에 2차 순환 에 의해 연직 상승류를 유발하였다. 3일 12UTC에 상층의 강한 발산장에 의해 하 층에 강한 수렴역이 호남남해안과 서해·남해상에 형성되어 있다(Fig. 2-6).



50hPa Convergence(10E-6/sec) and Isotach(>25kts)



12UTC, 03 Jul. 2004

Fig. 2-6. 850 hPa convergence and 200 hPa divergence.

Fig. 2-7은 700 hPa vertical velocity와 500 hPa vorticity이다.

3일 00UTC 호남지방으로 +6 hPa/hour 상승류역이 위치하고 500 hPa에서는 서남해상 중심으로 +소용돌이역이 위치하여 호남지방으로 +소용돌이가 이류 되고 있다. 3일 12UTC 호남지방으로 강한 상승류역이 위치하고 500 hPa에서 서남해 상-중부지방-동해상으로 강한 +소용돌이역이 위치하였다.



00UTC, 03 Jul. 2004

Fig. 2-7. 700 hPa vertical velocity and 500 hPa vorticity.

Fig. 2-8은 K-index와 1000-500 hPa의 층후 및 700 hPa T-T<sub>d</sub>이다.

K-index 에서는 3일 00UTC에 남해안쪽으로 불안정역이 위치하고 있으며, 이 불안정역은 서서히 북상하고 있다. 서해중부해상에는 매우 안정된역이 서해남부의 높은 불안정역과 대치하고 있다. 3일 12UTC에 호남지방은 K-index 35의 불안 정선이 지나가고 있으나, 산둥반도 부근에는 강한 안정역이 위치하였다.

3일 00UTC에 서해상으로 층후골이 위치하나 한기축이 깊지 않았다. 남해상에 는 저습수역이 위치하면서 점차 호남지방 쪽으로 다가오고 있다. 경기만-산둥반도

사이 서해상을 중심으로 강한 건조역이 위치하였다. 3일 12UTC에 서해상으로 층 후선 골은 깊어지고 있으며 산둥반도 부근에는 강한 건조역이 위치하고 서해-중부 지방-동해상으로 저습수역이 위치하였다.



Fig. 2-8. K-index and 700hPa T-Td.

#### 4. 광주 대기선도 분석



Fig. 2-9. Skew T-log P diagram.



2일 12UTC에 대류권 하층과 상층은 이미 습윤해 있으며, 대류권 중층은 건조 하였다. 대류권 하층에서 연직으로 풍향이 veering에 의해 난기가 이류되고 있고, SSI가 -2.9, K-index는 18을 나타내고 있다. 3일 00UTC에 대류권 하층과 대류 권상층의 습윤층이 강화되었으나, 대류권 중층은 아직 건조하였다. veering에 의해 계속해서 난기가 유입되고 있으며 SSI가 5.1, K-index는 2로 불안정도는 낮게 나타났다. 3일 06UTC에는 대기 중층까지 연직으로 습윤하며, SSI가 4.2, K-index는 33으로 K-index가 높게 나타나고 있다. 지상~850 hPa까지의 바람 은 매우 약하고, 850~700 hPa 사이는 veering에 의해 난기가 이류 되고 있으며, 925~850 hPa 사이에 전선역전층이 있어 전선통과를 알 수 있다. 3일 12UTC 750 hPa 부근에 전선역전층이 있으며 650 hPa 부근에도 약하게 전선 역전층이 나타나고, 925 hPa 부근에는 바람이 동풍에서 남풍으로 바뀌는 연직 shear가 있 다. 4일 00UTC에 계속해서 난기가 이류 되고 있으며, SSI가 1.8, K-index는 35 로 상대적으로 SSI는 낮게 나타나고 있다.

#### 5. 위성 자료 분석

Fig. 2-10은 강조영상 분석 및 운정 온도이다.

3일 12시에 서해상으로부터 강한 비구름대가 다가오고 있으며, 15시에는 호남 지방 서해안과-내륙-지리산부근에 강한 비구름대가 위치하였고, 18시에는 호남내 륙-지리산부근-경상도지방으로 강한 비구름대가 이동하였다. 21시에는 강한 비구 름대는 동해상으로 빠져 나가고 있으나 서남해상에서 또 다른 구름대가 다가오고 있다. 목포지방에 강한 비가 내렸던 3일 15시 01분 운정 온도를 보면 수렴대 부 근에서 -50 ℃, 태풍의 중심부근에서 -75 ℃이며, 태풍중심보다 20~30 ℃ 높게 나타났으며 상대적으로 태풍 메기보다 수렴대가 발달하지는 못하였다.

Fig. 2-11은 수증기 영상 분석으로, 태풍 민들레에 동반된 수렴대에서 호남지 방에 강우강도가 강했던 3일 14KST와 16KST의 수증기 영상을 보면 발해만과 화중-화남으로 강한 건조역이 나타나고 있으며, 화중지방에는 넓은 건조역이 위치 하였다. (a) 1200KST, 03 Jul



(c) 1800KST, 03 Jul



Fig. 2-10. Enhanced image (a)~(c) and cloud-top temperature (d).

(b) 1500KST, 03 Jul

(d) 1500KST, 03 Jul





1400 KST, 03

Fig. 2-11. Water vapor image.

1600 KST, 03



#### 6. 레이더 자료 분석





Fig. 2-12. Radar image.

15시에 목포부근에 강한 에코가 위치하고 있으며 고창-순창-지리산-경상도 부근에도 에코가 위치하고 있다. 18시 에코가 남부지방과 충청도 일부지역에 폭넓 게 나타나고 있으며 덕유산 부근 등 곳곳에 작지만 강한 호우셀이 나타나고 있다 (Fig. 2-12).

#### 7. AWS 시계열 자료 분석

Fig 2-13은 AWS 시계열분석자료이다.

3일 목포지방은 11시 22분부터 강수가 시작되어 20시 35분 소강상태에 들었으 며, 시간당 최대강수량은 14:14~15:14 사이에 64.5 ㎜의 폭우가 내렸으며, 3일 109.5 ㎜의 비가 내렸다. 광주 풍암(AWS)에서는 12시 10분에 비가 시작되어 21 시 57분에 소강상태에 들었고, 16~17시 사이 59.5 ㎜의 폭우가 내렸으며, 3일 127.0 ㎜의 비가 내렸다. 전북 순창(AWS)과 무주(AWS)에서는 3일 17~18시 사이에 시간당 30 ㎜ 내외의 강한 비가 내렸으며, 3일 순창 98.0 ㎜, 무주 84.5 ㎜의 비가 내렸다.

### Mokpo(165)



Fig. 2-13. AWS time serial data.

#### 8. FAS을 이용한 분석



Fig. 2-14. 850 hPa moisture flux convergence.

Fig. 2-14는 850 hPa 수분속 수렴을 나타낸 것이다.

3일 00UTC에 태풍에 동반된 수분속이 전남서해안과 전남남해안으로 1 g/kg/12hr 이상 수렴되고 있으며, 강한 수분속의 수렴역이 호남 남서쪽에서 접근 하고 있다. 3일 06UTC에 전남지방은 10 g/kg/12hr 이상의 강한 수분속이 수렴 되고 있으며, 남해상에서 더 강한 수렴역이 접근하고 있다.



Fig. 2-15. 200 hPa wind speed and divergence.

Fig. 2-15는 200 hPa 강풍대와 상층 발산장으로, 3일 00UTC에 제트 기류는 요동반도에서 동한만 부근을 통과하고 있으며, 제트 기류 입구의 오른쪽인 호남지

방과 남해상으로 상층 발산역이 형성되어 하층 수렴대의 발달을 돕고 있다. 3일 06UTC에 제트 기류는 골이 조금 깊어지면서 산둥반도 부근을 지나가고 있으며, 계속해서 호남지방 상층에 발산장이 형성되어 있어 하층 수렴대의 발달을 도왔다.



12UTC, 3 Jul. 2004



Fig. 2-16. 500 hPa vorticity advection.

Fig. 2-16은 500 hPa +소용돌이 이류이다.

3일 00UTC에 산둥반도 부근의 단파골에 동반된 +소용돌이에 의해 서해상에 +소용돌이가 이류 되고 있으며 이류역이 호남지방으로 접근하고 있다. 3일 06UTC에 산둥반도 부근의 단파골에 의해 호남지방으로 +소용돌이가 이류 되고 있으며, 이 +소용돌이 이류가 하층 수렴대의 발달을 돕고 있다.



Fig. 2-17. Omega vertical phase velocity and wind.

Fig. 2-17은 omega and wind 연직 단면이며, GJ는 광주위치이다.

광주를 중심으로 남북으로 연직 위상 속도와 바람을 분석한 결과 3일 00UTC 에 남해안에 +20~40 ubar/s 이상의 강한 상승류역이 위치하여 있고, 이 강한 상 승류역은 점차 북상하고 있다. 3일 06UTC에 광주지방을 중심으로 남해안에서 전 북지방까지 5~40 ubar/s의 상승류역이 위치하고 있다. 지상의 그림 C 부근에는 바람이 수렴되면서 북동에서 남동으로 바뀌고 있다. C 부근 북쪽의 하층 850~700 hPa 부근에서 풍향이 반전되어 한기가 이류되고 있으며, C 부근의 남쪽 하층에서는 바람이 순전하면서 난기가 유입되고 있다. 이번 사례는 지상 수렴대 남 쪽에서 많은 비가 내렸다.

#### C. Case 3 태풍 빌리스(2000. 8. 24~25)

#### 1. 호우 개요

제10호 태풍 빌리스는 화남내륙에서 23일 12UTC에 열대저압부(TD)로 변질되 었으며(Fig. 3-1), 태풍에 동반된 수증기가 계속 북송되어 축적되었다. 큐슈 남동 쪽의 mT는 점차 확장하면서 그 연변을 따라 고온 다습한 기류가 서해상으로 계속 유입되었으며, 또한 북서쪽 한기가 남하하면서 서해상을 중심으로 강한 수렵대가 형성되었다. 24일과 25일 오전에는 태풍 전면 수렵대에 의한 호우였으며, 25일 오 후부터 27일까지는 태풍의 직접적인 영향과 저기압의 영향으로 전북서해안을 중심 으로 호우가 발생하였다.

본 연구에서는 수렴대의 영향인 24일과 25일 오전까지를 중점으로 분석하였다. 태풍 전면 수렴대에 의하여(24일~25일 12시) 전북지방에는 부안 위도(AWS) 에 263.4 mm, 군산에 165.5 mm, 부안에 126.5 mm가 오는 등 10~263.5 mm의 비가 내렸으며, 전남지방에도 순천시(AWS) 168.5 mm, 화순(AWS) 142.5 mm 등 10~168.5 mm의 비가 내렸다. 수렴대가 중부지방과 호남지방에 걸치면서 지역별로 는 충청도 20~193.5 mm, 서울·인천·경기도 50~158.5 mm, 영남지방 5~121.5 mm, 강원도 10~100 mm, 제주도에 5~64.5 mm가 내렸으며 지역적인 편차가 컸다. 또한 수렴대에서 10~263.5 mm의 비가 내렸고, 저기압으로 변질 된 후에 10~514.5 mm가 내려 수렴대보다 저기압으로 변질된 후에 많은 비가 내렸다.



Fig. 3-1. The track of Bilis, 10th typhoon of 2000.

#### 2. 일기도 분석

Fig. 3-2는 지상일기도이다.

24일 00UTC 태풍은 세력이 약해져 중심기압 998 hPa로 열대저압부(TD)로 약화 되었으나 아직도 많은 에너지를 가지고 북상하고 있다. 우리나라 중부지방에 수렴대가 위치하면서 중부와 남부지방에 많은 강수를 보이고 있다. 24일 12UTC 수렴대는 전북지방과 충청지방의 경계에 걸쳐 있으며, 이 수렴대에 의해 전북지방 에 강한 비가 오고 있다. 열대저압부(TD)는 27 °N, 117 °E 부근에서 느리게 북북동진 하고 있다.



Fig. 3-2. Surface weather charts.

Fig. 3-3은 850 hPa 일기도이다.

24일 00UTC에 광주지방에 19 ℃선이 통과하여 12시간 전보다 조금 상승하였 으며 온도골이 발해만 쪽에 위치하였다. 24일 12UTC에 온도골이 서해상에 위치 하여 있으며, 광주지방은 17 ℃선이 위치하였다.

Fig. 3-4는 500 hPa 일기도로, 24일 00UTC에 산둥반도와 만주부근에 단파 골이 위치하고 있으며, 태풍 전면 수렴대의 발달을 돕고 있다. 중부지방은 5880 gpm선이 지나가고 있으며, 광주지방은 남서류가 계속 유입되고 있다. 24일 12UTC에 서해상에 단파골이 위치하고 있으며, 발해만 부근에도 단파골이 위치하 고, 5880 gpm 선이 부산부근을 통과하고 있어 북태평양 고기압은 12시간 전보다 축소한 형태를 보였다. 호남지방은 mT가장자리를 타고 지속적으로 남서류가 유입 되고 있다.

00UTC, 24 Aug. 2004



Fig. 3-3. 850 hPa weather charts.

12UTC, 24 Aug. 2004



12UTC, 24 Aug. 2004





Fig. 3-4. 500 hPa weather charts.

Fig. 3-5는 200 hPa 일기도이다.

24일 00UTC에 제트 기류는 계속해서 요동반도 부근을 지나고 있으며, 이 제트 기류의 입구 오른쪽에 수렵대가 위치하여 2차 순환에 의해 하층 수렵대의 발달을 돕고 있다. 24일 12UTC에 제트 기류는 이동하지 않고 계속해서 요동반도 부근을 지나고 있으며, 한만국경 부근의 풍속은 30 빠에서 57.5 빠로 강해져 12시간 전 보다 더 강한 발산장을 형성하여 하층 수렵대의 발달을 돕고 있다.

00UTC, 24 Aug. 2004



Fig. 3-5. 200 hPa weather charts.

12UTC, 24 Aug. 2004

12UTC. 24 Aug. 2004



#### 3. 보조일기도 분석

Fig. 3-6은 850 hPa 수렴과 200 hPa의 발산장을 나타낸 것으로, 24일 00UTC 850 hPa에서 수렴역이 중부와 남부지방에 형성되어 있다. 123 ° E 부근

에서 강한 수렴역이 호남지방으로 접근하고 있다. 200 hPa에는 제트 기류에 동반 된 강한 발산역이 서해중부 해상을 중심으로 강하게 형성되어 있으며, 이 발산역에 의한 2차 순환에 의해 많은 비가 내렸다. 24일 12UTC 850 hPa에는 수렴역이 중 부와 남부지방의 경계 부근을 중심으로 형성되어 있고 서해중부 해상에는 강한 수 렴역이 위치하였다. 서해상에는 하층제트가 태풍에 동반된 고온다습한 수증기를 한 반도로 이송하고 있다. 200 hPa에는 제트 기류에 의해 우리나라 중부지방 중심으 로 강한 발산장이 형성되어 있어 2차 순환을 일으키고 있다.



Fig. 3-6. 850 hPa convergence and 200 hPa divergence.

Fig. 3-7은 700 hPa 연직 상승류와 500 hPa 와도를 나타낸 것으로, 24일 00UTC에 전북과 충청도에 -16 hPa/hour 이하의 상승류역이 위치하고 산둥반도 -상하이쪽으로 강한 상승류역이 위치하였다. 500 hPa에서는 만주와 화남 쪽으로

강한 +소용돌이역이 위치하고 하반도 북쪽에도 +소용돌이역에 위치하였다. 중부 지방과 남부지방은 -소용돌이역에 놓여 있다. 24일 12UTC에 전북과 충청서해안 을 중심으로 −16 hPa/hour 이하의 강한 상승류역이 위치하고 500 hPa에서는 서 해와 남해에서 +소용돌이역이 점차 접근하고 있으며, 발해만 부근에 강한 +소용 돌이역이 위치하였다.



00UTC, 24 Aug. 2004

Fig. 3-7. 700 hPa vertical velocity and 500 hPa vorticity.

Fig. 3-8은 K-index와 1000-500 hPa 층후 및 700 hPa 습수이다.

먼저 K-index를 보면 24일 00UTC에 호남서해안 지방은 +40의 강한 불안정 역에 위치하고 남한전역이 +25이상의 불안정역에 놓여 있다. 상대적으로 발해만-북한-동한만으로 안정한역이 위치하였다. 24일 12UTC에 발해만에서는 상대적으 로 안정한역이 위치하고 호남 남해안과 영남지방에는 +35이상의 강한 불안정역이 위치하였다. 우리나라 전역이 +25이상이 불안정역에 들어 있다.

24일 00UTC에 700 hPa에서 저습수역은 호남지방과 중부지방에 위치하여 있 으며, 강한 건조역은 발해만 부근에 형성되어 있다. 24일 12UTC에 700 hPa에서 저습수역이 호남지방으로 약하게 걸쳐 있으나 서해상으로부터 매우 낮은 저습수역 이 접근하고 있다.



Fig. 3-8. K-index and 700hPa  $T - T_d$ .

#### 4. 광주 대기선도 분석

Fig. 3-9는 광주지방의 대기선도로, 24일 00UTC에 SSI가 -3.0, K-index는 4.1로 12시간 전보다 불안정역이 강화되었으며, 대기연직으로도 500 hPa까지 습 윤층이 강화 되고 계속 난기 이류가 이루어지고 있다. 24일 12UTC에 SSI가 0.4, K-index는 34로 12시간 전보다 불안정역은 약화되었으나 K-index가 34로 높게 나타나고 계속 난기가 이류 되고 있다.



Fig. 3-9. Skew T-log P diagram.



#### 5. 위성 자료 분석

Fig. 3-10는 강조영상으로, 24일 11시에는 강한 cloud cluster가 군산 부근을 중심으로 호남지방과 충청도 서울 인천 경기도 지방을 덮고 있으며, 24일 18시에 는 서해상을 중심으로 강한 비구름이 호남서해안에 걸쳐 있고, 점차 내륙으로 다가 오고 있다.



Fig. 3-10. Enhanced image.

1800KST, 24 Aug. 2004



Fig. 3-11은 수증기 영상으로, 전북지방에 강우강도가 강했던 24일 11시 영상 에서 만주 쪽에 건조역이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 전남지방에 강우강도가 강했 던 18시에 만주를 포함한 발해만을 중심으로 건조역이 뚜렷하였다.

1100KST, 24 Aug. 2004



Fig. 3-11. Water vapor image.

1800KST, 24 Aug. 2004



6. 레이더 자료

Fig. 3-12는 레이더 강수에코 자료이다.

24일 12시에 전북 부안 부근으로 강한 에코가 선상으로 나타나고 있으며, 24일 18시에 전남과 경남서쪽으로 강한 호우셀이 산발적으로 분포하였다.

1200KST, 24 Aug. 2004

Fig. 3-12. Radar rainrate image.

1800KST, 24 Aug. 2004



#### 7. AWS 시계열자료 분석

시간당 강수량을 보면 전북 부안 위도(AWS)에서 24일 11~12시에 67.0 mm의 폭우가 내렸으며, 군산은 24일 12~13시에 22.0 mm의 장한 비가 내렸다. 전남 순 천시(AWS)에서는 24일 17~18시에 51.5 mm의 폭우가 내렸으며, 화순에서도 24 일 18~19시에 51.5 mm의 폭우가 내렸다. 전북은 24일 아침에 비가 시작되어 24 일 10~13시경에 peak을 이룬 후 27일 오전에 소강상태에 들었고, 전남은 전북에 비해 산발적인 호우가 내렸으며, 24일 새벽부터 비가 산발적으로 오다가 시간당 40 mm이상의 강한 비가 17~19시경에 내렸으며, 27일 오전에 소강상태에 들었다. Wido(756) of Buan



Fig. 3-13. AWS time serial data.

#### Ⅳ. 결 론

Fig. 4-1은 태풍 메기의 태풍 전면 수렴대에 의한 호우 모식도이다. 모식도에 서 보듯이 수렴대 부근에서 태풍에 동반된 하층의 많은 수증기가 mT 가장자리를 따라 유입되고, 상층 제트 기류에 의한 2차 순환으로 강한 상승기류에 의해 호우 가 유발되었으며, 700 hPa의 건조역에 의해 비 구름을 더욱 발달시켰다. 태풍 민 들레와 태풍 빌리스도 수렴대의 위치와 제트 기류의 위치 등이 조금 다르며, 같은 메커니즘에 의해 호우를 유발 했다.



Fig. 4-1. Heavy rain mechanism by Megi, 15th typhoon of 2004.

구체적인 호우 유발시 태풍 메기, 민들레 및 빌리스의 공통점은;

1) 태풍 전면 수렴대 상층에서 제트 기류의 지원을 받아 발달하였으며, 그 위치
는 산둥반도~요동반도를 통과하였다.

3 cases 모두 산둥반도~요동반도 부근으로 제트 기류가 지나가면서 상층의 발 산장에 의해 하층에 위치한 수렴대의 발달을 도왔으며, 2차 순환에 의해 연직 상승 류을 강화시켜 강한 강수 현상을 보였다. 2) 수렴대에서 강한 호우가 내린 시점의 태풍의 위치는 26~31 °N 부근이었
다. 태풍이 많은 수증기를 공급하고 수렴대 부근에서 한기와 난기가 만나 수렴하면
서 강한 강수 현상을 보였다. 이때 태풍의 위치는 26~31 °N에 위치하였다.

3) 수렴대에 의한 호우 발생시 700 hPa 습수를 보면 발해만과 산둥반도를 중 심으로 강한 건조역이 위치하였다. 이 건조역과 태풍에 동반된 고온다습한 공기가 충돌하면서 많은 비가 내린 것으로 생각된다.

4) 500 hPa에서도 단파골에 동반된 +소용돌이 이류가 있었다. 태풍 전면 수렴 대에서 많은 비가 오기 위해서는 단순히 하층에 수렴만 형성되어서는 안되며, 대기 중층과 상층의 지원으로 연직으로 발달하였다.

5) 태풍에 동반된 수증기로 인하여 시간당 50 mm이상의 폭우가 내렸다. 태풍에 서 많은 수증기를 공급하고 제트 기류에 의해 상층 발산에 의한 하층수렴에 의한 2차 순환으로 시간당 50 mm이상의 폭우가 내렸다.

#### 3 cases의 차이점

 1) 태풍 메기와 빌리스는 850 hPa에서 북부지방-산둥반도-화남으로 강한 한 기축을 형성하였으나 태풍 민들레는 한기축이 약하였다. 태풍 민들레는 850 hPa 에서 우리나라 북쪽의 기압능이 약하여 바람이 상대적으로 약해, 북쪽의 찬 공기의 유입이 적어 수렴대 부근의 온도경사가 약하여 뚜렷한 정체전선을 형성하지는 않 은 것으로 생각된다.

2) 수렴대의 영향으로 인한 강수량과 그 후 태풍의 북상으로 수렴대의 영향에 서 벗어난 태풍의 직접적인 영향 또는 온대저기압의 영향으로 인한 강수량의 차이 를 보였다. 태풍 메기는 수렴대의 영향으로 20~436.5 mm가 내렸고 그 후로 5~59.5 mm가 내려 수렴대에 의한 강수량이 대부분을 차지하였다. 태풍 민들레는 수렴대에서 5~127.0 mm 그 후에 10~136.0 mm가 내려 비슷한 강수량을 보였으며, 태풍 빌리스는 수렴대에서 10~263.5 mm, 그 후에 10~514.5 mm의 비가 내려 수렴 대 보다 그 후에 많은 강수량을 보였다.

태풍 메기가 태풍의 직접적인 영향으로 강수량이 적은 것은 태풍 메기가 남해상

을 통과하는 속도가 약 1200 km/24 hour의 빠른 속도로 통과했기 때문이며, 태 풍 빌리스가 온대저기압에서 많은 비가 내린 것은 많은 수증기를 동반한 온대저기 압이 서해남부 해상을 통과할 때 약 300 km/ 24hour 속도로 상대적으로 느리게 이동했기 때문으로 분석된다.

3) 강우강도가 강했던 시기의 중심기압과 태풍의 계급을 보면, 태풍 메기는 8월 18일 12시경의 중심기압은 970 hPa에 Ty급이었으나, 태풍 민들레는 7월 3일 15 시경 중심기압 985 hPa에 TS급 이었으며, 태풍 빌리스는 8월 24일 18시경 중심 기압 995 hPa로 TD(열대저압부)로, Ty~TD까지, 태풍 계급에 관련 없이 태풍 전면 수렴대를 형성할 수 있었다.

4) 강우강도가 강했던 시기의 강수에코의 형태을 보면 메기와 민들레는 폭 넓은 강수 에코 속에서 곳곳에 상대적으로 강한 호우셀이 호우를 유발했으며, 빌리스는 전북지방에서는 선상으로 강수에코가 나타나면서 호우를 유발했고, 전남에서는 산 발적이 호우셀이 호우를 유발했다.

태풍이 북상하면 26~31 °N의 호남지방에서 먼 거리에서도 피해를 유발할 수 있으므로 경계를 하여야 하며, 특히 수렴대에서 호우를 유발하기 위해서는 상층의 지원이 필요하므로 상층 제트 기류의 위치에도 관심을 가져야 하며, 700 hPa의 건조역과 850 hPa의 한기축 등에도 주시하여야 할 것으로 생각된다. 또한 수렴대에서 많은 비가 내린 후에도 호남에서 가까운 지점을 통과 할 때 이동속도가 느린 경우 직접적인 영향(온대저기압의 영향)으로도 호우를 유발할 수 있으므로 주의하여야 한다. 이 3 cases가 호남지방의 태풍 전면 수렴대에 의한 모든 호우를 표현 하기는 어려우므로 더 많은 연구가 필요하리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

광주지방기상청, 『태풍 "메기(MEGI) 보고서』, 120pp, 2004.

광주지방기상청, 『호남지방예보분석 지침서』, 15-22, 2000.

광주지방기상청, 『호남지방 호우 특성 연구』, 238-266, 2003.

기상연수원, 『중규모현상예보론』, 106pp. 1993.

기상청, 『중규모 기상학』, 기상청 예보관과정 교재, 97pp. 2001.

기상청, 『2004년 주요태풍 특성 연구』, 1-40, 2004.

기상청, 『집중호우의 발생환경』, p.25, 2000.

기상청, 『호우의 특성과 예보』, p.23, 1996.

김동균·전혜영, "집중호우와 연관된 산악효과에 대한 수치적 연구", *『한국기상학 회지』*, **36(4)**, 441-454, 2000.

류찬수·박상미, "한반도에서 발생한 호우와 하층 jet의 관련성에 관한 연구" 『한

*국지구과학회 2002년도 춘계 proceedings』*, p.51, 2002. 류찬수·양하영. "여름철 한반도 집중호우 특성분석" *『한국지구과학회 2002년도* 

*춘계 proceedings』*, p.49, 2002. 박종열, 신극진, "전남서부남해안지방 중규모현상에 의한 집중호우 분석", 『예

보기술발표회』, p.6, 2002.

양진관·오주덕, "호우 현상을 초래하는 태풍 전면 수렴대 분석", *『대기』*, **13(1)**, 195-198, 2001.

- 이재병, "전남서부남해안지방 집중호우의 종관적 예측방법", *『대기』*, **11(1)**, 129-131, 2001.
- 이현규, "전남동부 남해안지방의 호우 특성", 『제2기 예보관과정 수료 연구 논 문집』, 39-67, 2001.
- 전상식, "태풍 이동 전면에서의 호우 분석" *예보기술발표회자료모음집*, 기상청 34-55, 2000

한국기상학회, "대기과학개론", 시그마프레스, 405pp. 1999.

- 홍성유, "한반도에서 발생한 집중호우의 수치 모의실험" 박사학위 논문, 서울대 학교 대기과학과, 1992.
- 홍성유·이동규, "한반도에서 발생한 집중호우의 열과 수분수지", *『한국기상학회* 지』, **32(1)**, 86-101, 1996
- 황재돈· 박정규, "1999년 한반도 여름철 호우와 관련된 동아시아 대기순환 특 성 분석", *『한국기상학회지』*, **36(5)**, 572-582, 2000.
- 홍윤, "집중호우의 발생환경", 『기상청 사례연구』, p.25, 2000.
- Chen, G. T. and J. Yu, "Study of low-level jet and extremely heavy rainfall over northen Taiwan in the Mei-yu season". Mon. Wea. Rev., 116, 884-891, 1988.
- Krishnamurti, T. N. and Ramanathan Y., "Sensitivity of monsoon onset to differential heating". J. Atmos. Sci., **39**, 1290-1306, 1982.
- Lee, D. K., and S. Y. Hong, "Numerical experiments of the heavy rainfall event occurred over Korea during 1-3 september 1984." J. Korean Meteor. Soc. 25(4), 233-260, 1989.
- Maddox, R. A., "Mesoscale Convective Complexes," *Mon. Wea. Rev.* **61**, 1374-1387, 1980.
- Park, S. U., I. H. Yoon and S. K. Chung, "heat and moisture Sources Associated with the Changma front during the summer of 1978". J. Korean Meteor. Soc., 22(2), 1-27, 1986.