



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2009년 2월
석사학위논문

뇌우에 의한 돌풍사례 분석

조선대학교 대학원

대기과학과

조 은 희

2009년 2월

석사학위논문

뇌우에 의한 돌풍사례 분석

조은희

뇌우에 의한 돌풍사례 분석

A Study on the Gust with Thunderstorm

2009년 2월 25일

조선대학교 대학원

대기과학과

조 은 희

뇌우에 의한 돌풍사례 분석

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함

2008년 10월

조선대학교 대학원

대기과학과

조 은 희

조은희의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	조선대학교	초빙 객원교수	정효상인
-------	-------	------------	------

심사위원	조선대학교	교수	류찬수인
------	-------	----	------

심사위원	공군기상전대	이학박사	정병옥인
------	--------	------	------

2008년 11월

조선대학교 대학원

목 차

<i>List of Tables</i>	iv
<i>List of Figures</i>	v
<i>ABSTRACT</i>	viii
I. 서 론	1
II. 자료 및 분석과정	2
III. 분석 결과	2
A. 전라북도 김제 돌풍사례(2008년 7월 23일) 분석	2
1. 개요	2
2. 주요 피해현황	3
3. 피해지역 위치	3
4. 피해사진	4
5. 기상실황	4
6. 종관 기상상태 분석	5
7. 국지일기도 분석	9
8. AWS 분석	10
9. 위성영상 <i>MTSAT</i> 운정온도 분석	12
10. <i>MTSAT</i> 위성 강조영상 분석	12
11. 레이더 강수예코 분석	13
12. 낙뢰영상 분석	14
13. 단열선도 분석	15
14. <i>K-index</i>	15

15. SSI	16
16. RDAPS 850hPa 수렴과 바람	17
17. RDAPS 700hPa P-velocity(hPa/hr)	18
18. RDAPS 500hPa 고도, 기온 및 와도	18
19. RDAPS 200hPa 발산장 및 jet	19
20. KLAPS omega and circulation	20
21. KLAPS 상다운위	21
22. KLAPS 김제 soundings	22
23. 김제부근 KLAPS wind shear 변화	23
24. 시계열자료	23
25. 종합 분석 결과	25
B. 광주지방 돌풍사례(2006년 6월 10일) 분석	25
1. 개요	25
2. 주요 피해현황	26
3. 일기도 분석	26
4. 기상실황	28
5. 원격탐측자료	29
6. AWS 수렴도	31
7. 운정온도	32
8. 500hPa vorticity	32
9. 단열선도	33
10. KLAPS omega and circulation	34
11. 시계열자료	34
12. 종합 분석 결과	35

C. 전라북도 장수지방 돌풍사례(2005년 7월 2일) 분석	36
1. 개요	36
2. 주요 피해현황	36
3. 피해사진	36
4. 피해지역 위치	37
5. 기상 실황	37
6. 일기도 분석	38
7. 원격탐측자료	40
8. <i>K-Index</i>	42
9. <i>SSI</i>	42
10. 상당온위(2005년 7월 1일 1500UTC)	43
11. 시계열자료	44
12. 종합 결과 분석	45
IV. 요약 및 결론	46
참고문헌	48

List of Tables

Table 1. Gust and daily precipitation amounts at July 23, 2008.	5
Table 2. K-index and possibility of thunderstorm.	15
Table 3. Gust and daily precipitation amounts by AWS at June 10, 2006.	28
Table 4. Gust and daily precipitation amounts of at June 10, 2006.	29
Table 5. Gust and daily precipitation amounts of at July 2, 2005.	37

List of Figures

Fig. 1. Damaged area(Backsan Gimjae city).	4
Fig. 2. Detail map on the damaged area(Backsan Gimjae city).	4
Fig. 3. A factory storage is damaged by gust(Surogli Backsan Gimjae city). ...	4
Fig. 4. A factory roof is damaged by gust(Surogli Backsan Gimjae city).	4
Fig. 5. Daily amount of precipitation at July 23, 2008.	5
Fig. 6. Synoptic weather charts at 0000UTC July 23, 2008.	7
Fig. 7. Synoptic weather charts at 1200UTC July 23, 2008.	8
Fig. 8. Pressure and potential temperature chart at 1500LST 23 July 23, 2008.	9
Fig. 9. Wind vector chart at 1500LST July 23, 2008.	9
Fig. 10. Streamline and humidity chart at 1500LST July 23, 2008.	10
Fig. 11. Convergence and divergence chart at 15LST July 23, 2008.	10
Fig. 12. Distributions of AWS conversion with 5 min. interval from 1540LST to 1550LST July 23, 2008.	11
Fig. 13. Distributions of AWS wind speed with 5 min. interval from 1540LST to 1550LST July 23, 2008.	11
Fig. 14. Distributions of AWS vorticity with 5 min. interval from 1540LST to 1550LST July 23, 2008.	11
Fig. 15. Satellite images of MTSAT from 1433LST to 1633LST July 23, 2008.	12
Fig. 16. Enhanced images of MTSAT from 1433LST to 1633LST July 23, 2008.	13
Fig. 17. QCed CAPPI RADAR echo distributions from 1500LST to 1700LST July 23, 2008.	13
Fig. 18. Radar echo distribution at Osungsan radar station at 1540LST July 23, 2008.	14

Fig. 19. Vertical cross section of radar echo from A to B at 1540 LST July 23, 2008.	14
Fig. 20. Lightning distributions at July 23, 2008.	14
Fig. 21. Sounding at 0000UTC, July 23, 2008(Gwangju).	15
Fig. 22. Sounding at 1200UTC, July 23, 2008(Gwangju).	15
Fig. 23. K-index at July 23, 2008.	16
Fig. 24. SSI for 850–500hPa at July 23, 2008.	17
Fig. 25. RDAPS 850hPa convergence(E-6/s) and Isotach(>25kts) at July 23, 2008.	17
Fig. 26. RDAPS 700hPa P-velocity(hPa/hr) at July 23, 2008.	18
Fig. 27. RDAPS 500hPa GPH(30m), temp(3C), relative vorticity(E-5/s) at July 23, 2008.	19
Fig. 28. RDAPS 200hPa divergence(E-6/s) and Isotach(>50kts) at July 23, 2008.	19
Fig. 29. KLAPS omega and circulation at July 23, 2008.	20
Fig. 30. KLAPS equivalent potential temperature at 23 July 23, 2008.	21
Fig. 31. KLAPS Gimjae soundings at July 23, 2008.	22
Fig. 32. Time series of 1-hour KLAPS wind shear in Gimjae at July 23, 2008.	23
Fig. 33. Time series of 1-minute AWS data at Gimjae from 0900LST to 2100LST July 23, 2008 (Gimjae).	24
Fig. 34. Time series of 1-minute AWS data at Jinbong from 0900LST to 2100LST July 23, 2008(Jinbong).	24
Fig. 35. Synoptic weather charts at 0000UTC June 10, 2006.	27
Fig. 36. Synoptic weather charts at 1200UTC June 10, 2006.	28
Fig. 37. Daily precipitation amounts at June 10, 2006.	29
Fig. 38. Enhanced images of MTSAT from 1800IST to 2000IST June 10, 2006.	30
Fig. 39. Radar echo images from 1800LST to 2000LST June 10, 2006.	30
Fig. 40. Radar echo distribution at Jindo radar station at 1820LST June 10, 2006.	31

Fig. 41. Vertical cross section of Radar echo from A to B at 1820LST June 10, 2006.	31
Fig. 42. Lightning distributions at June 10, 2006.	31
Fig. 43. Distributions of AWS convergence with 5 min. interval from 1820LST to 1830LST June 10, 2006.	32
Fig. 44. Temperature of cloud top at 18:33LST at July 23, 2008.	32
Fig. 45. 500hPa vorticity chart at 0000UTC June 10, 2006.	33
Fig. 46. 500hPa vorticity chart at 1200UTC June 10, 2006.	33
Fig. 47. Sounding at 1200UTC June 10, 2006 (Gwangju).	33
Fig. 48. KLAPS omega and circulation at 2100LST June 10, 2006.	34
Fig. 49. Time series of 1-minute AWS data at Chosun Univ. from 1500LST to 2100LST June 10, 2006.	35
Fig. 50. Farm house damaged by gust.	36
Fig. 51. Vinyl house damaged by gust.	36
Fig. 52. Damaged area by gust.	37
Fig. 53. Daily precipitation amounts at July 2, 2005.	38
Fig. 54. Synoptic weather charts at 12UTC July 1, 2005.	39
Fig. 55. Synoptic weather charts at 00UTC July 2, 2005.	40
Fig. 56. Enhanced images of MTSAT at July 2, 2005.	41
Fig. 57. Radar echo images at July 2, 2005.	41
Fig. 58. Lightning distributions at July 2, 2005.	41
Fig. 59. K-Index(40) at 0000UTC July 1, 2005.	42
Fig. 60. K-Index(30) at 1200UTC July 1, 2005.	42
Fig. 61. SSI at 0000UTC July 1, 2005.	43
Fig. 62. SSI at 1200UTC July 1, 2005.	43
Fig. 63. Equivalent potential temperature at 1500UTC July 1, 2005.	44
Fig. 64. Time series of 1-minute AWS data at Jangsu from 2200LST to 1000LST July 2, 2005.	44

ABSTRACT

A study on the GUST with thunderstorm

CHO, EUN-HEE

Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D

Department of Atmospheric Science,

Graduate school, Chosun university

In recent years, South Korea has often witnessed damages by gusts caused by thunderstorms in summer.

The Korea Meteorological Administration defines that a gust happens when the maximum instantaneous wind velocity is 10m/s or more and draws up hourly observation reports. When a cumulonimbus develops due to an ascending current and reaches the height of 12~16km, the temperature of the cloud top drops and a lightening happens, which causes a gust accompanied by a thunderstorm and further regional meteorological damage. It's difficult to predict a regional gust with the meso-scale prediction model at the administration. Thus this study set out to analyze the damage cases by a gust accompanied by a thunderstorm and to make a contribution to the prediction and understanding of a gust by a thunderstorm.

A gust by a thunderstorm happens where potential equivalent temperature converges or is higher than the surrounding areas. The convergence area of potential equivalent temperature matches the track of thunderstorm cells. The Kimje gust took place where high potential equivalent temperature converged, and the Jangsu gust did as the area of high potential equivalent temperature

approached.

There should be a good amount of vapor supply with the moisture flux converging at the bottom layer in order to bring instability. In addition, it should collide into a dry and cold atmosphere at 700hPa. The moving track at the center of the low dew point spread corresponds to that of a gust.

That is, a gust by a thunderstorm moves along the areas where potential equivalent temperature is high on the ground and the regions containing lots of vapor. The time the power of a thunderstorm is maintained depends on the influx of hot and humid air by a warm flow according to the veering of wind directions and the influx of dry and cold air at 700hPa.

I. 서론

최근 우리나라 여름철에 뇌우에 의한 돌풍이 자주 발생하여 돌풍에 의한 피해 사례가 자주 나타나고 있다.

돌풍[突風, gust]은 기상학사전(김광식, 1992년)에 “일시적으로 강하게 부는 바람, 즉 지표면 부근의 바람은 쉴 사이 없이 단시간의 강약변화를 반복하면서 불고 있는데, 그중에서 강하게 부는 바람을 말한다. 또, 현저한 한랭전선의 통과나 뇌우 등에 동반해서 갑자기 부는 강한 바람을 말하기도 하며, 흔들바람 또는 센바람이라고 부를 때도 있다.”로 정의하고 있다. 기상청 현업에서는 최대순간풍속이 10m/s 이상일 때를 돌풍으로 규정하여 풍향, 풍속, 나타난 시각을 매시 관측전문에 보고하고 있다.

뇌우[雷雨, thunderstorm]는 뇌방전(雷放電)을 동반하는 비, 바람 등의 기상현상을 포함하는 경우의 기상현상을 말한다. 뇌우는 적란운, 거대한 적운에서 구름 밑부분은 0℃이하, 운정부는 -20℃ 이하가 되고, 10% 이상의 강한 상승기류가 있을 때 발생한다. 뇌우의 종류는 강한 일사에 의한 열뇌우(熱雷, 또는 기단뇌우), 전선 뇌우(前線雷雨), 저기압성 뇌우(또는 소용돌이 뇌우)로 구분되며, 우박을 동반하는 경우도 있다.

우리나라에서 발생하는 뇌우는 50~70%가 여름철에 집중되고, 여름철 뇌우의 82%가 전선상에서 발생하며, 기단뇌우는 분지나 거대도시인 서울에서 현저하게 나타나고 있다고 보고되고 있다(이현영과 이승호, 1991). 또한 전선성 뇌우는 일반적으로 밤낮에 고르게 나타나는데 반하여 기단뇌우는 대체로 늦은 오후부터 야간에 걸쳐 발생하는 빈도가 높고, 도시지역에서 주변지역보다 뇌우일수가 약 30%가 더 많다(이현영과 이승호, 1991).

우리나라 여름철에 피해를 가져오는 이들 악기상은 주로 대기 하층의 습윤공기와 대기 중층의 건조공기가 부딪히며 전선이 생겨 뇌우에 의한 돌풍이 발생하게 된다(강길봉, 2005; 김정익과 이홍란, 1994).

장마기간 중 집중호우 발생과 관련하여 강한 대류와 연관된 구름무리가 중국 대륙에서 발생하여 동진하다 대륙의 동안에서 황해로 접어들면서 전이기간을 거친 후 전선성 교란으로 변하면서 한반도 중부지방을 통과할 때 집중호우를 빈번히 일으키는 것은 이미 연구된 바 있다(임은하와 이태영, 1994)

뇌우에 동반된 돌풍을 연구하기 위해 호남지방에서 돌풍이 발생하여 피해가 보고된 사례들을 분석한 결과 4건 중 3건이 원형의 중규모 구름무리(mesoscale cloud cluster)가 발달하면서 뇌우와 함께 돌풍이 발생하였다. 나머지 1건은 저기압에 동반된 한랭전선 통과 시 남북으로 선 형태로 악기상이 나타났다.

뇌우에 동반된 돌풍으로 피해가 보고된 바 있는 사례들을 분석하여 여름철 장마 전선이나 저기압 통과 시 이에 동반된 중규모 대류시스템의 발달을 연구하여 뇌우에 의한 돌풍 발생 예측 및 이해에 기여하고자 한다.

II. 자료 및 분석과정

2005년 이후 뇌우에 동반된 돌풍에 의해 피해가 보고된 바 있는 3건을 집중적으로 연구하였다. 중규모 구름무리의 발달, 이동 및 소멸과정을 파악하기 위해 MTSAT 강조영상을 활용하였고, 운정온도를 분석하였다. 강수대의 이동을 파악하기 위해 강수에코를 분석하였으며, 뇌전이 동반되므로 뇌전의 이동상황을 분석하였다.

또한 뇌우 이동경로상의 주변 ASOS 및 AWS의 돌풍을 분석하였고, 지상일기도, 850hPa일기도, 500hPa일기도, 300hPa일기도 등 중관일기도를 분석하였다. 또한 수치예보자료, 시계열자료 및 KLAPS를 이용한 시간별 대기구조를 분석하여 뇌우의 발생과 소멸을 추적하였다.

연구한 3 사례는 전라북도 김제시 백산면 돌풍사례(2008년 7월 23일), 광주 돌풍사례(2006년 6월 10일) 및 전라북도 장수 돌풍사례(2005년 7월 2일) 이다.

III. 분석 결과

A. 전라북도 김제 돌풍사례(2008년 7월 23일) 분석

1. 개요

2008년 7월 23일 15시45분경 전북 김제시 백산면 수록리, 하정리 일대에 뇌우에 의한 돌풍으로 공장 건물 3동과 차량 3대가 파손되고, 인삼밭 10,000㎡, 축사 및 부대시설 331㎡가 파손되었다.

중국 화중과 화남에 걸쳐있던 장마전선이 우리나라로 다가오면서 전라북도 부근에 강한 수렴역이 형성되고 하층 난기와 상층 한기가 충돌하면서 대기불안정으로 뇌전을 동반한 집중호우가 있었으며 16시40분에 김제시에 호우주의보가 발효되었다가 18시에 해제되었다.

2. 주요 피해현황

- 대백산업(레미콘 제조 및 폐기물 처리업체) : 백산면 수록리
 - 야적장 2동 2,400㎡ 파손
 - 사무실, 식당, 창고, 보일러 시설 건물 2,050㎡ 파손
 - 차량 3대 파손
- 인삼밭 10,000㎡ : 백산면 수록리 김○○외 2농가(파손된 공장지붕에 의한 2차 피해)
- 축사 및 부대시설 331㎡ 파손 : 백산면 하정리 안○○

3. 피해지역 위치

2008년 7월 23일 15시30분경 전북 김제시 백산면 수록리와 하정리(Fig.1, Fig 2)에서 돌풍이 발생하였다. 수록리는 공장건물 여러 동과 인삼밭이 인접한 곳이고, 하정리는 축사 및 기타 시설물이 있는 곳이다. 돌풍을 목격하고 피해 신고를 한 주민들에 의하면 돌풍이 지속된 시간은 5-10분 정도이고 수록리에서 발생하여 하정리까지 진행하다가 종료되었으며, 이동한 거리는 약 4.5km 였다고 한다. 돌풍현상으로 공장 건물 지붕이 파손되면서 근처 인삼밭으로 떨어져 2차 피해가 발생하였고, 계속 이동하던 돌풍에 의해 하정리에서 축사 및 축사 부대시설이 피해를 입었다.

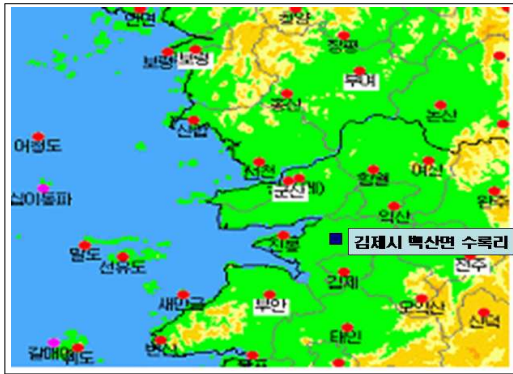


Fig. 1. Damaged area(Baksan Gimjae city).



Fig. 2. Detail map on the damaged area(Baksan Gimjae city).

4. 피해사진



Fig. 3. A factory storage is damaged by gust(Surogli Baksan Gimjae city).



Fig. 4. A factory roof is damaged by gust(Surogli Baksan Gimjae city).

5. 기상실황

7월 23일의 일강수량은 익산 87.5mm, 진봉 81.5mm, 전주 47mm, 여산 46mm, 부안 31mm, 김제 23mm, 군산 20mm의 강수량을 보였다. 부안 앞바다에서 북동쪽으로 강한 강수구역이 나타나고 있는데, 부안 앞바다에서 생성된 뇌우 세포가 북동쪽으로 진행하다가 소멸한 경로와 일치한다.

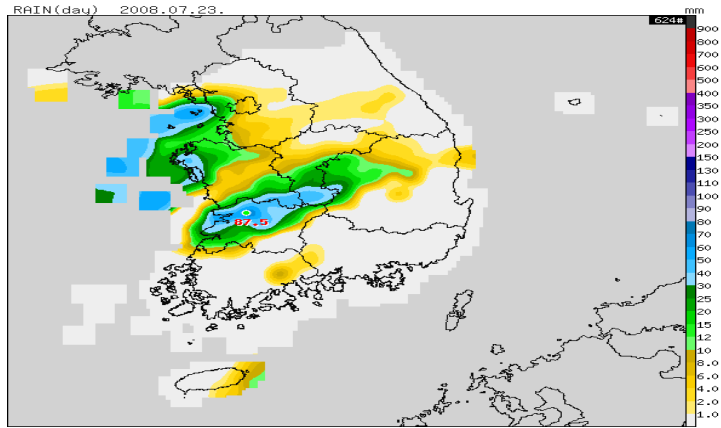


Fig. 5. Daily amount of precipitation at July 23, 2008.

Table 1. Gust and daily precipitation amounts at July 23, 2008.

Division	Greatest gust Dir.	Greatest gust speed	Greatest gust time	T_{\max}	T_{\max} time	Rainfall start	Rainfall amounts (mm)
Kunsan	NNE	6.9	18:58	29.5	10:52	15:06	20.0
Jinbong	W	9.1	15:41	30.8	13:13	14:45	81.5
Gimjae	NW	10.0	15:59	32.5	13:20	16:24	23.0
Buan	WNW	8.5	15:29	31.9	14:04	15:02	31.0
Iksan	NW	15.7	16:26	29.9	12:33	16:04	87.5
Jeonju	WSW	9.2	17:30	31.5	13:41	15:54	47.0

6. 종관 기상상태 분석

Fig. 6은 김제지방에 뇌우에 의한 돌풍현상이 일어날 수 있는 종관 기상상태를 알아보기 위해 2008년 7월 23일 0000UTC의 일기도를 나타낸 것이다.

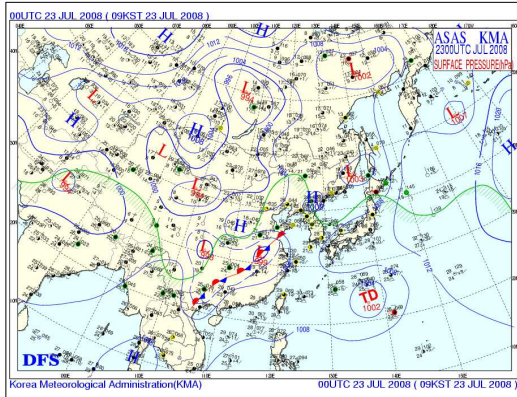
지상일기도 Fig. 6(a)에서 장마전선은 화중과 화남지방에 45° 각도로 북동에서 남서로 형성되어 있고, 일본 남쪽에 TD(7월 25일 15시에 제8호 태풍 Fung Wong으로 발달하였다)가 위치하고 있다. 북태평양고기압이 우리나라 중부지방까지 뻗어 있으며 blocking 되고 있다.

850hPa 일기도 Fig. 6(b)에서는 중국 양쯔강 부근에 장마전선이 있고, 일본에서 북만주지방까지 고압대에 들어 있으며, 일본 남쪽에 있는 TD에 의한 열수송으로 우리나라는 온도능에 들어 있다. 500hPa 일기도 Fig. 6(c)에서는 mT가 약간 확장하였고, 5820gpm 고도선이 중국 화남지방에서 산둥반도를 지나 황해도로 연결되어 있으며, 30°N 110°E 부근에 기압골이 나타나 있다. 200hPa 일기도 Fig. 6(d)에서는 sub-tropical jet가 화중지방에서 북한지방으로 동서로 흐르고 있으며 화중지방에 발산이 일어나고 있다.

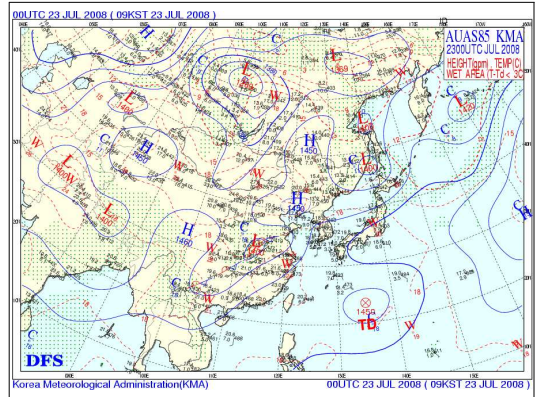
Fig. 7은 종관 기상상태가 어떻게 발달, 진행하여 뇌우에 의한 돌풍현상이 발생하였는지를 알아보기 위한 돌풍발생 5시간 후인 2008년 7월 23일 1200UTC의 지상, 850hPa, 500hPa 및 200hPa 일기도이다.

지상 일기도 Fig. 7(a)에서 32°N, 115°E 부근에 있던 장마전선상의 저기압의 중심이 35°N, 120°E로 이동하면서 그 세력을 우리나라 서해안지방까지 확장하였다. 우리나라는 장마전선의 영향을 받아 서울 경기, 충청, 전북지방을 중심으로 집중호우 내려, 익산 87.5mm, 진봉 81.5mm, 김제 23mm, 군산 20mm의 강수량을 기록하였다. 850 hPa 일기도 Fig. 7(b)에서 산둥반도 서쪽으로 장마전선에 따른 저기압이 위치하고 18°C의 cold가 형성되어 있다. 중국 화남지방으로는 24°C의 warm이 형성되어 대기 불안정을 가져오고 있다. 사할린 부근으로 저기압이 위치하고 연해주를 중심으로 약한 한기가 위치하고 있다. 일본 남쪽으로는 태풍으로 발달하기 전의 TD가 자리하고 있다.

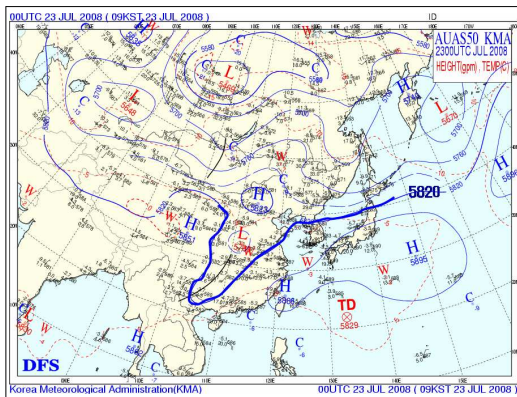
(a) Surface



(b) 850hPa



(c) 500hPa



(d) 200hPa

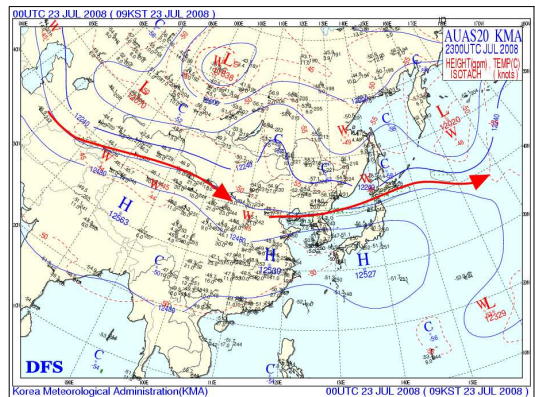


Fig. 6. Synoptic weather charts at 0000UTC July 23, 2008.

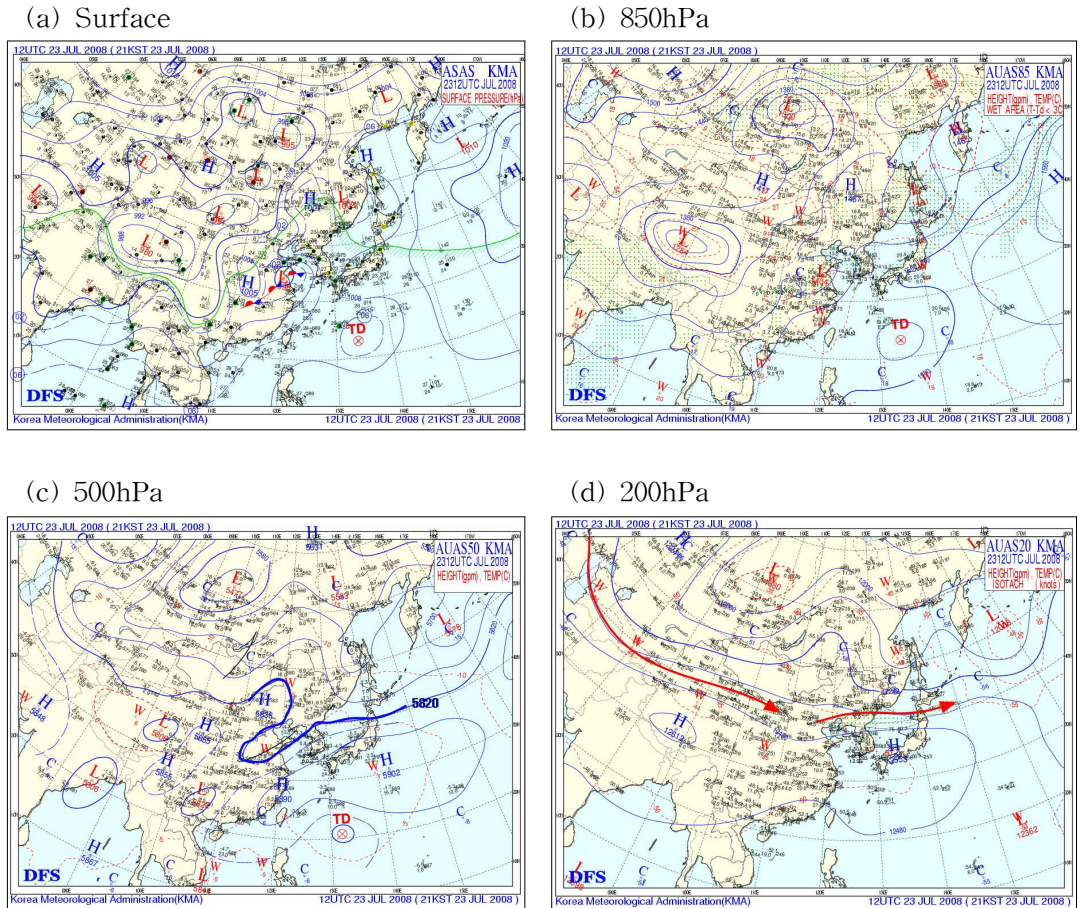


Fig. 7. Synoptic weather charts at 1200UTC July 23, 2008.

500 hPa 일기도 Fig. 7(c))에서 사할린 부근에 cold를 동반한 저기압이 산둥반도 부근까지 뻗어 있다. 산둥반도 부근으로는 저기압과 함께 warm이 자리하고 있으며, 일본 남쪽으로 mT가 확장하면서 warm이 위치하고 있다. 한기를 동반한 저기압과 난기를 동반한 고기압이 만나 북한지방은 고도장이 낮아지고 남한지방은 고도장이 높아지면서 우리나라 부근에서 동서로 고도선이 조밀해져서 불안정이 강화되고 있다.

200 hPa 일기도 Fig. 7(d))에서 sub-tropical jet가 발해만 부근에서 북한지방으로 동서로 흐르고 있으며, 화중지방에 발산이 일어나고 있다.

7. 국지일기도 분석

Fig. 8부터 Fig. 11까지는 2008년 7월 23일 1500LST의 한반도 국지일기도 분석장을 나타내고 있다. Fig. 8은 기압/온위 그림으로, 충청남도 서해안에 한기를 동반한 국지 저기압이 있고, 호남지방에 warm역이 위치하여 전북과 충남의 경계 부근에서 한기와 난기의 충돌로 불안정이 강화되고 있다.

Fig. 9의 바람벡터 그림에서, 서해남부 먼 바다 쪽으로 장마전선에 형성된 저기압이 있고 이 저기압 쪽으로 강풍 수렴역이 존재하고 있다.

Fig. 10의 유선/습도 chart에서, 충남 앞바다는 북동풍, 전남 앞바다는 남동풍이 불면서 전북 앞바다에서 한기를 동반한 북동풍과 난기를 동반한 남동풍이 충돌하면서 불안정이 강화되고 있다.

Fig. 11의 수렴/발산 분석장을 보면, 7월 23일 15시에 양쯔강 부근에 형성된 장마전선상의 저기압에 의한 수렴이 강화되면서 서해남부 해상으로 강하게 수렴대가 형성되어 있다.

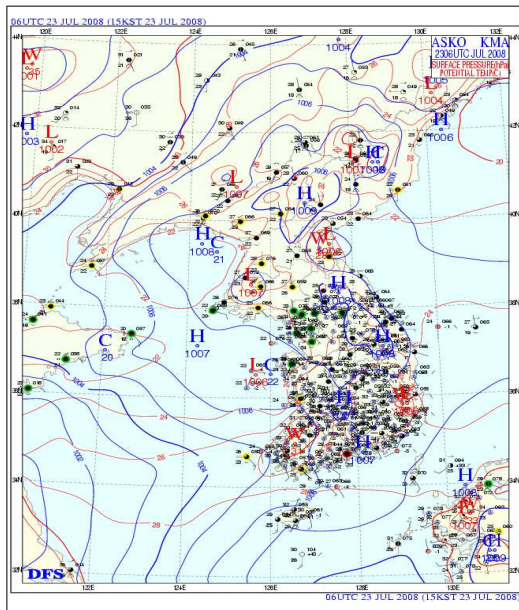


Fig. 8. Pressure and potential temperature chart at 1500LST 23 July 23, 2008.

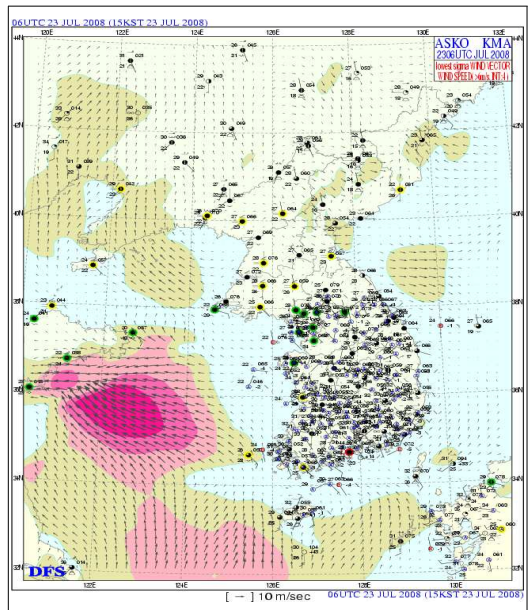


Fig. 9. Wind vector chart at 1500LST July 23, 2008.

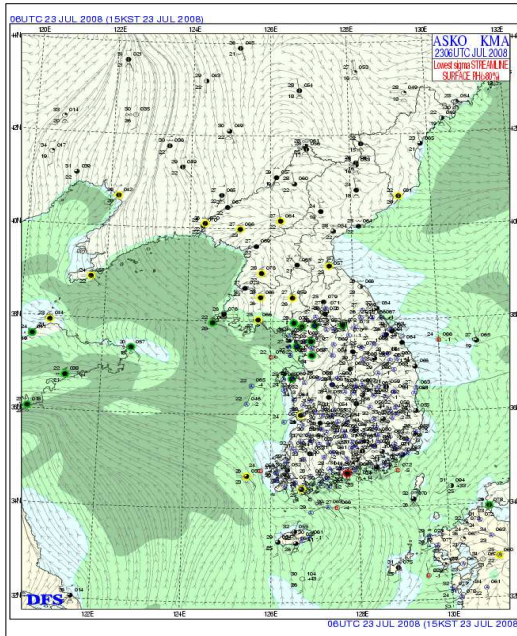


Fig. 10. Streamline and humidity chart at 1500LST July 23, 2008.

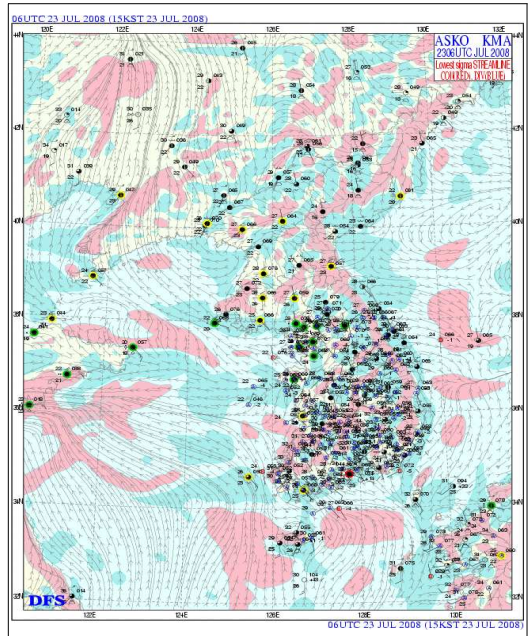


Fig. 11. Convergence and divergence chart at 15LST July 23, 2008.

8. AWS 분석

Fig. 12부터 Fig. 13까지는 김제지방에 돌풍이 나타난 2008년 7월 23일 15시40분 발생에서 15시50분 소멸까지의 AWS 수렴, 와도 및 풍속을 분석한 결과이다.

Fig. 12의 AWS 수렴을 보면, 15시 40분에 김제 AWS 서쪽에서 강한 수렴역이 존재하고 5분후인 15시45분에는 수렴리 쪽으로 북동진하면서 수렴이 더욱 강화되어 최성기를 보인 것으로 표출되고 있다. 5분 후인 15시50분에는 조금 약화되면서 동진하고 있다.

Fig. 13에서 AWS 풍속을 보면 전북 서해안지방은 4~6m/s 정도의 풍속을 나타내고 있다.

Fig. 14는 AWS 와도 분포도로, 15시40분에 군산 부근에 있던 강한 양의 와도역이 남동진하여 15시 50분에는 김제 부근으로 이동하였다.

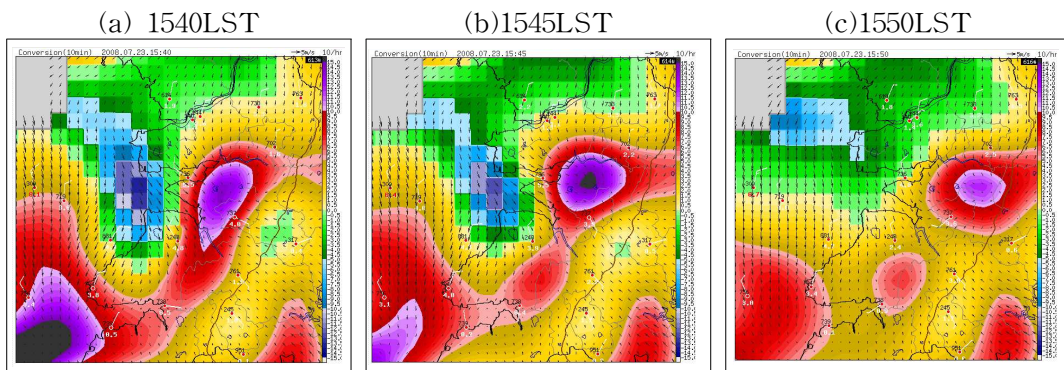


Fig. 12. Distributions of AWS conversion with 5 min. interval from 1540LST to 1550LST July 23, 2008.

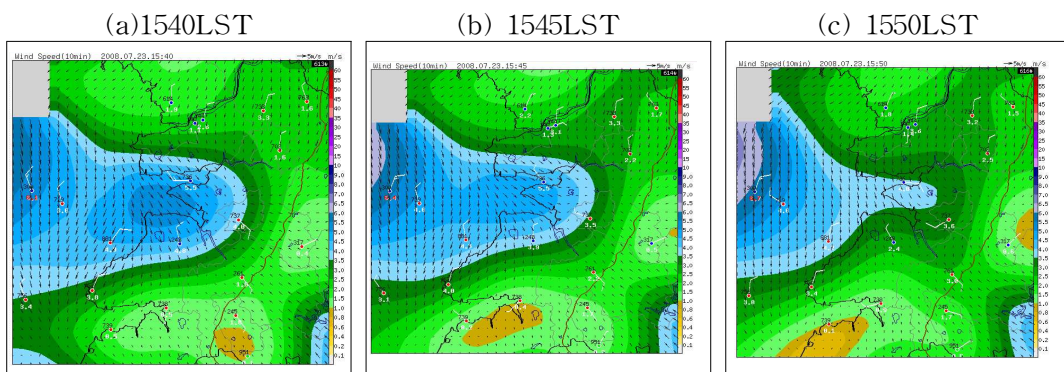


Fig. 13. Distributions of AWS wind speed with 5 min. interval from 1540LST to 1550LST July 23, 2008.

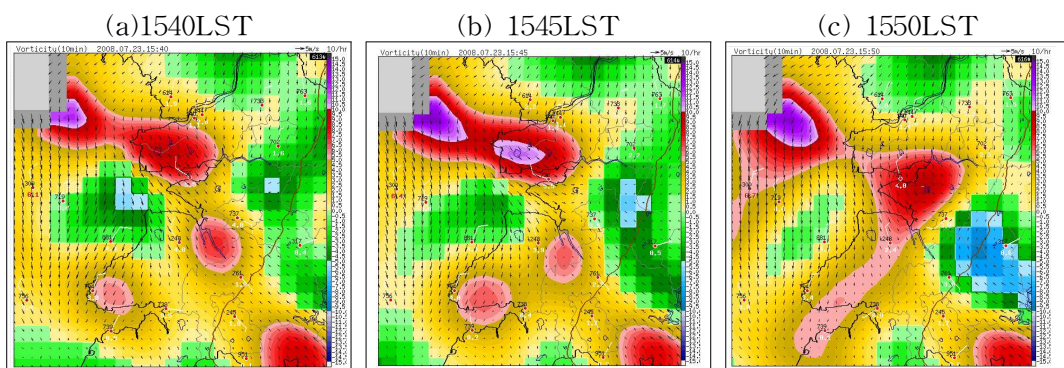


Fig. 14. Distributions of AWS vorticity with 5 min. interval from 1540LST to 1550LST July 23, 2008.

9. 위성영상 MTSAT 운정온도 분석

김제지방에 돌풍이 있었던 7월 23일 11시부터 이미 전라북도 지방은 MTSAT 운정온도가 -25°C 가까이 떨어져서 뇌전 가능성이 있었다. 14시33분 위성영상에 서해남부 해상에 있던 등온선 조밀구역이 15시33분 위성영상에서는 전라북도지방으로 이동하였고 운정온도가 -35°C 까지 떨어져 구름 내에서의 활발한 뇌방전을 예측할 수 있다. 16시33분 위성영상에서도 여전히 전라북도지방은 등온선 조밀구역이 자리잡고 있다가 17시33분에는 경북지방으로 이동하면서 해소되었다.

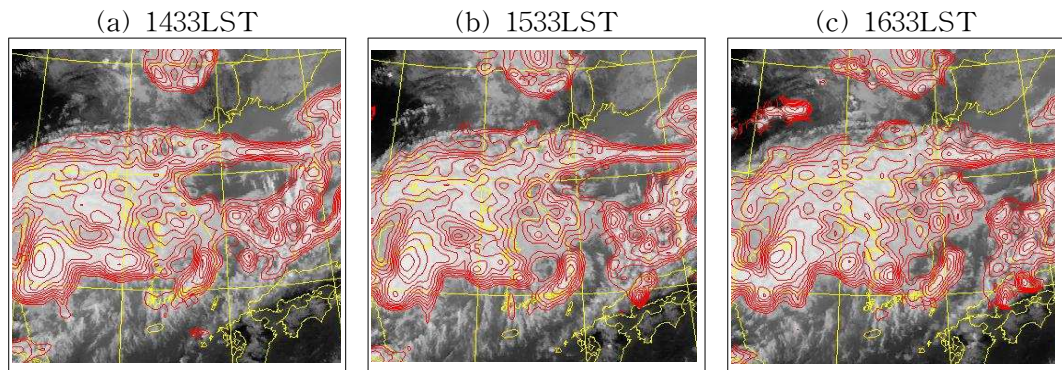


Fig. 15. Satellite images of MTSAT from 1433LST to 1633LST July 23, 2008.

10. MTSAT 위성 강조영상 분석

Fig. 16은 위성 강조영상으로, 14시33분에 산둥반도 부근으로 장마전선에 의한 구름이 나타나고 있으며, 15시33분에는 전북지방에 대류운이 생성되었으며, 16시33분에는 더욱 발달하여 중규모 구름무리로 발달하였다. 군산지방은 이날 15시06분에 비가 시작되어 15시 36분에는 소나기로 바뀌어 16시 25분에 비로 바뀌어 내리다가 17시 30분에 강수가 종료되었다. 2008년 7월 23일 군산지방 일강수량은 20mm이다.

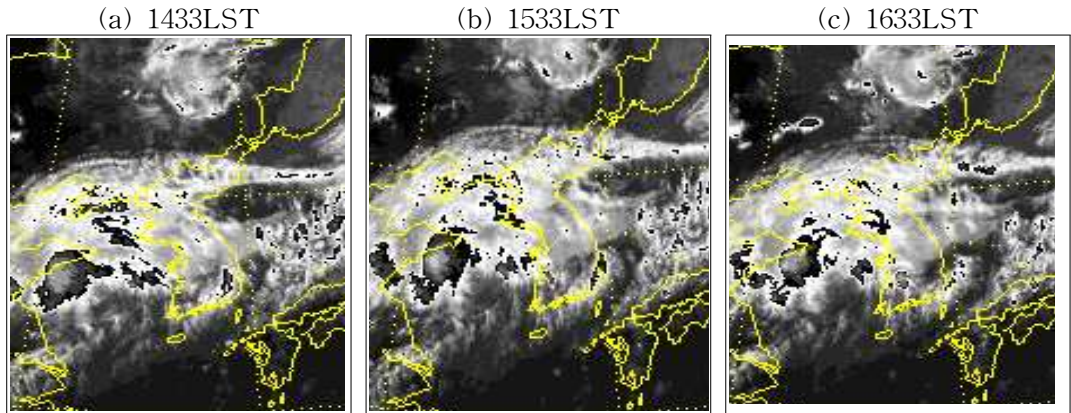


Fig. 16. Enhanced images of MTSAT from 1433LST to 1633LST July 23, 2008.

11. 레이더 강수예코 분석

Fig. 17는 레이더 에코분석으로, 7월 23일 15시에는 전북 앞바다에 강수예코가 위치하고, 16시에는 돌풍이 있었던 김제 부근으로 강수예코가 이동하면서 강화되었고 17시에는 강수예코의 세력은 유지하면서 약간 동진하고 있다.

Fig. 18과 Fig. 19에서 돌풍이 나타났던 시각인 15시40분의 레이더 에코 연직단면을 보면 김제 수록리 부근에 강한 강수예코와 함께 연직으로 echo-top이 11km 고도까지 형성되어 활발한 대류가 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 높은 에코탑으로 인해 운정온도가 낮아 뇌우가 예측되고 있다.

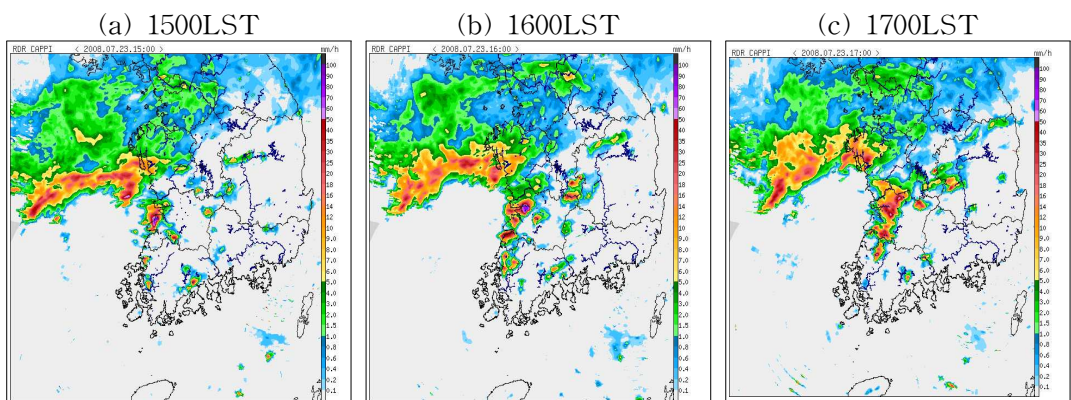


Fig. 17. QCed CAPPI RADAR echo distributions from 1500LST to 1700LST July 23, 2008.

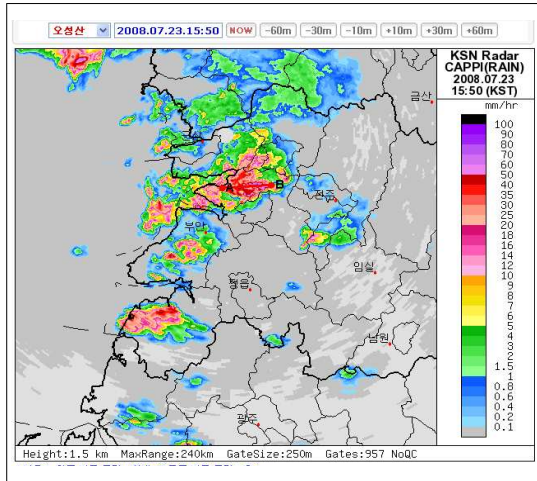


Fig. 18. Radar echo distribution at Osung-san radar station at 1540LST July 23, 2008.

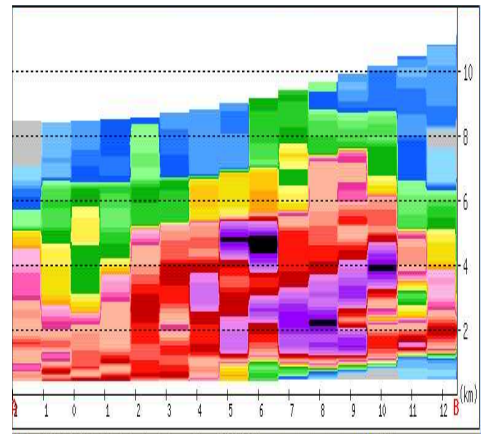


Fig. 19. Vertical cross section of radar echo from A to B at 1540 LST July 23, 2008.

12. 낙뢰영상 분석

7월 23일 15시10분부터 전라북도 서해안쪽으로 낙뢰가 생기기 시작하여 15시 45분에는 김제시쪽으로 북동진하였고 16시55분까지 북동진하면서 뇌방전이 일어나다가 소멸되었다

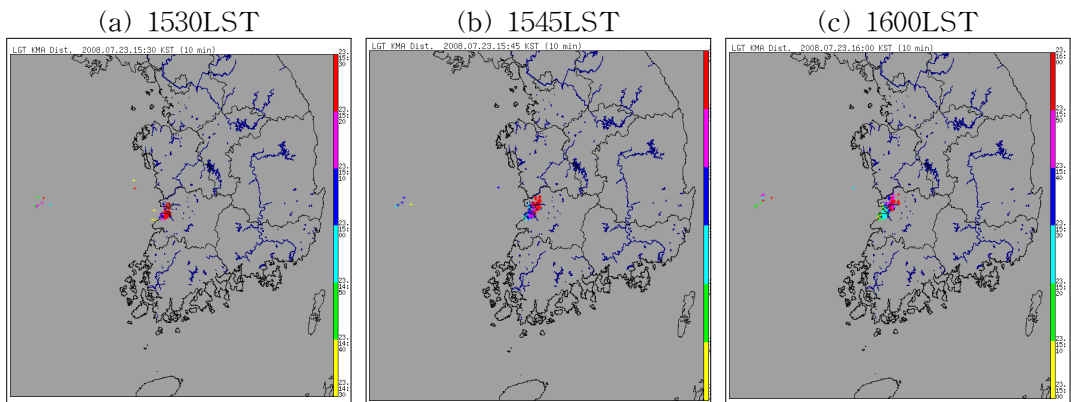


Fig. 20. Lightning distributions at July 23, 2008.

13. 단열선도 분석

Fig. 21의 연직구를 보면, 풍향은 전 고도에서 순전하고 있다. SSI지수(850-500hPa)는 23일 00UTC에 24.8에서 23일 06UTC에 1.0으로 낮아져 6시간동안 대기가 급속도로 불안정하게 되었다.

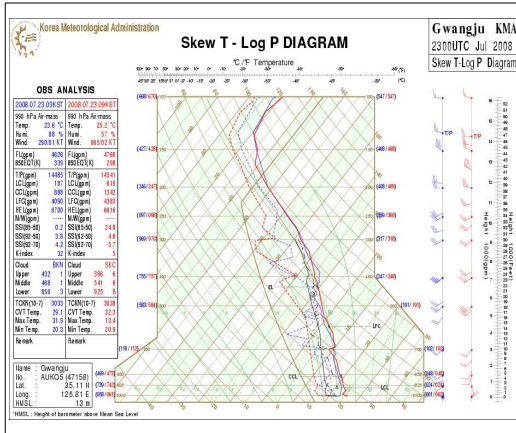


Fig. 21. Sounding at 0000UTC, July 23, 2008(Gwangju).

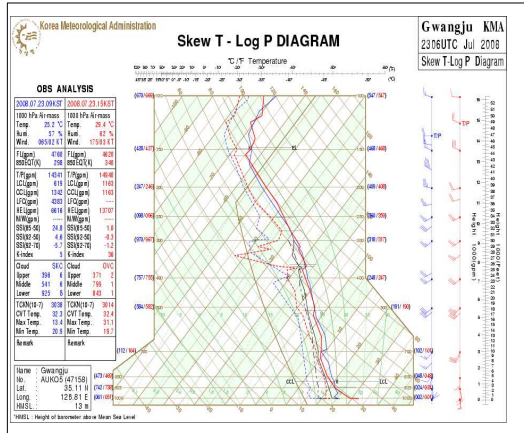


Fig. 22. Sounding at 1200UTC, July 23, 2008(Gwangju).

14. K-index

K-index는 연직 기온감률과 대기 하층의 습기의 양, 습기의 연직분포를 나타내는 지수이다. 연직기온감률은 850 및 500hPa의 기온차를 이용하고 850hPa의 Td가 대기 하층의 습도의 양을 나타내며 습도의 연직분포는 700hPa의 T-Td로서 표현될 수 있기 때문에 이를 종합하여 K-index를 정의하면;

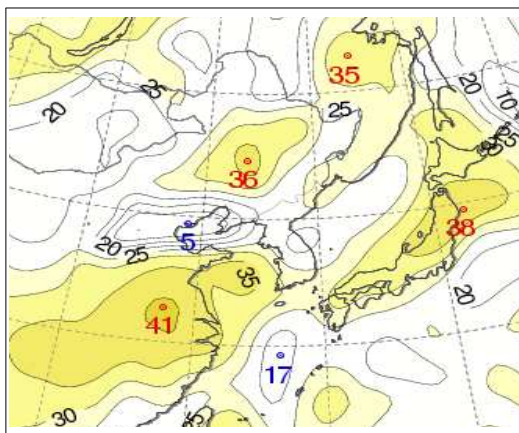
$K\text{-index} = (850T - 500T) + (850Td) - (700\text{노점편차})$ 이다.

K-index는 주로 기단 뇌우의 예보에 사용되며 이를 이용한 뇌우의 발생 가능성은 Table 2 및 Fig. 23과 같다.

Table 2. K-index and possibility of thunderstorm.

K-index	<15	15~20	21~25	26~30	31~35	36~40
Thunder possibility	0%	<20%	20~40%	40~60%	60~80%	80~100%

(a) 0000UTC



(b) 1200UTC

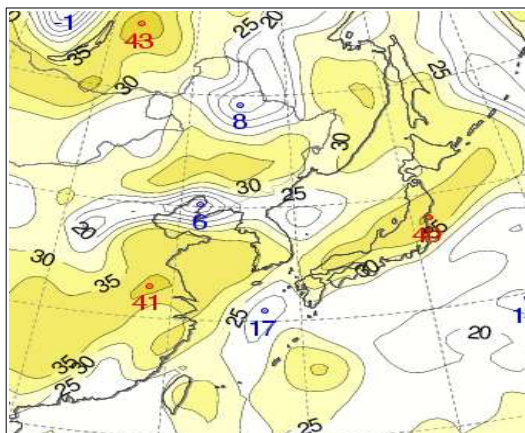


Fig. 23. K-index at July 23, 2008.

7월23일 K-index는 뇌우에 의한 돌풍 발생 전인 00UTC에 28이고 돌풍 발생 후인 12UTC에는 35까지 증가하여 뇌우 발생 가능성이 80% 정도로 높았다.

15. SSI

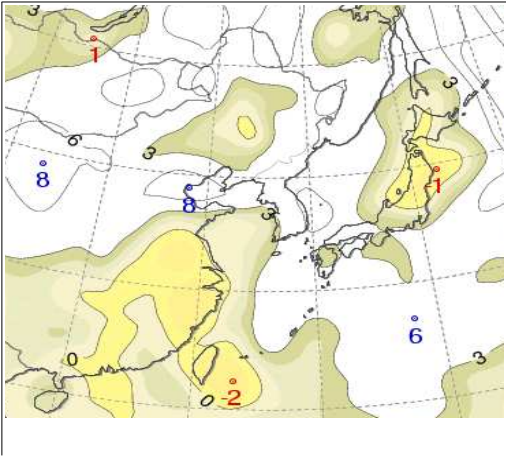
SSI는 850hPa의 공기가 500hPa까지 상승했을 때 나타날 수 있는 기온의 단순한 차이이다. 미국의 경우 SSI에 따른 기상상태는 통계적으로 +3이하의 소나기 가능성과 약간의 뇌우 가능성, +1에서 -2는 뇌우 가능성 급증, -3이하인 경우는 심한 뇌우 활동이 가능하고, -6이하의 토네이도 발생 가능성을 고려해야 한다고 분류하고 있다.

SSI는 850과 500hPa 사이에서 전선면이 존재하거나 역전층이 존재하는 경우에는 대기불안정의 척도로 유용하지 못하다(손태성 등, 2003).

SSI는 보통 뇌우의 예보시에 가장 많이 활용되며, 일반적으로 최대 +3이하일 때 뇌우가 있는 것으로 판단한다(김종석 등, 2006).

7월23일 SSI 지수는 뇌우에 의한 돌풍 발생 전과 후 다같이 김제 부근은 +3으로 뇌우 발생 조건이 되었다. 1200UTC에는 SSI 지수 0 선이 전북서해안지방까지 접근되어 전북지방에 대기불안정이 강화되었음을 알 수 있다.

(a) 0000UTC



(b) 1200UTC

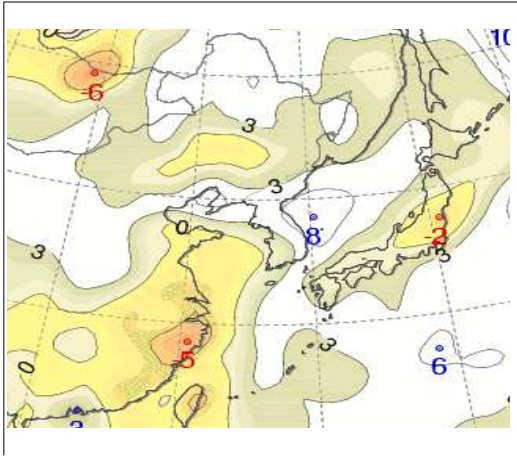
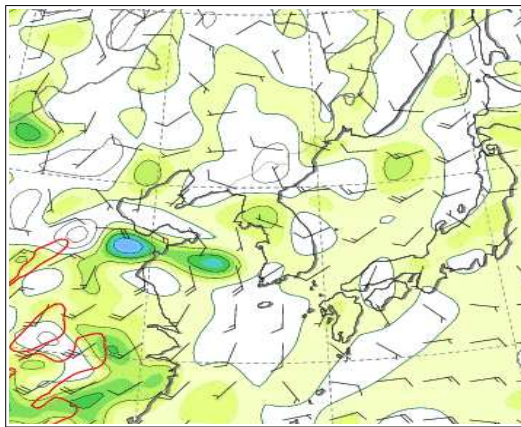


Fig. 24. SSI for 850-500hPa at July 23, 2008.

16. RDAPS 850hPa 수렴과 바람

Fig.25는 RDAPS를 이용한 850hPa 바람장으로, 뇌우발생 전인 0000UTC에 전 북지방에 수렴역이 보이지 않으나 호남지방에 1200UTC에 수렴역이 발생하였는데 지상에서 상층까지 하나의 통처럼 연속으로 수렴에 의한 상승이 나타났다.

(a) 0000UTC



(b) 1200UTC

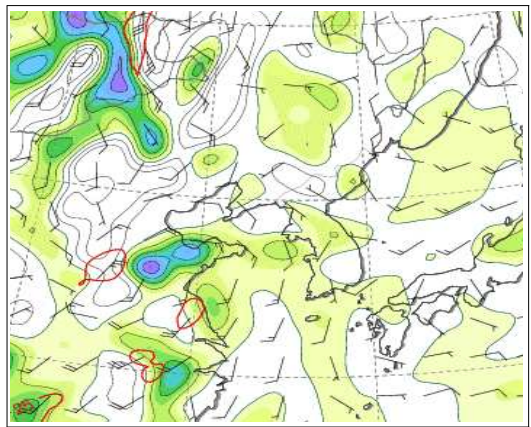


Fig. 25. RDAPS 850hPa convergence(E-6/s) and Isotach(>25kts) at July 23, 2008.

17. RDAPS 700hPa P-velocity(hPa/hr)

Fig.26은 700hPa P-velocity 자료로, 산동반도 부근에 있는 장마전선상의 저기압쪽으로 강한 상승류가 나타나고 있고 124°E, 35°N 부근에 있는 상승류구역이 회전하면서 북동진하여 12UTC에는 전북과 충남지역으로 이동하였는데 전라북도 해안지방을 지날 때(15~18시경)가 최성기였다.

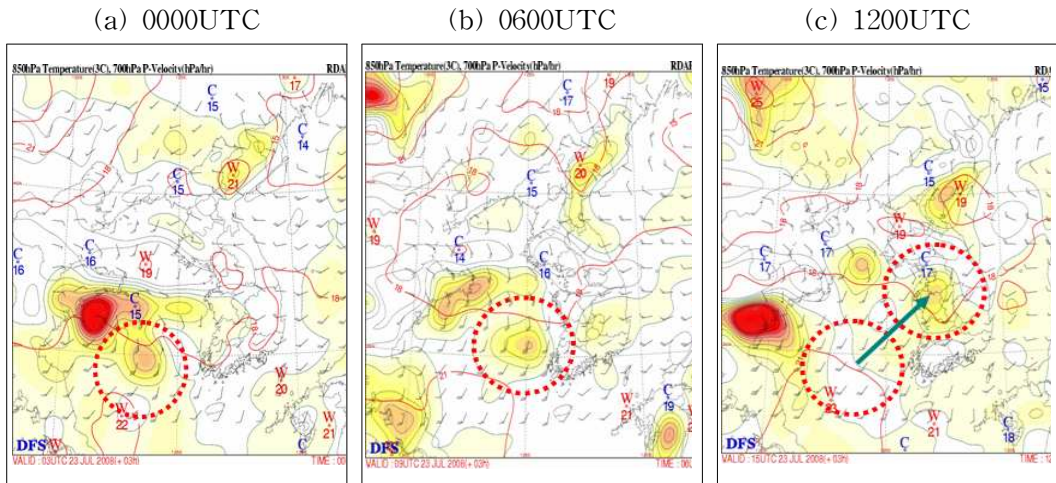


Fig. 26. RDAPS 700hPa P-velocity(hPa/hr) at July 23, 2008.

18. RDAPS 500hPa 고도, 기온 및 와도

Fig. 27은 500hPa 고도장 및 기온과 와도를 나타낸 것이다. 이에 의하면, 산동반도 부근에 있는 장마전선상의 저기압쪽으로 강하게 수렴역이 형성되어 있으며 12UTC에는 저기압에 의한 수렴역이 더욱 강화되었다.

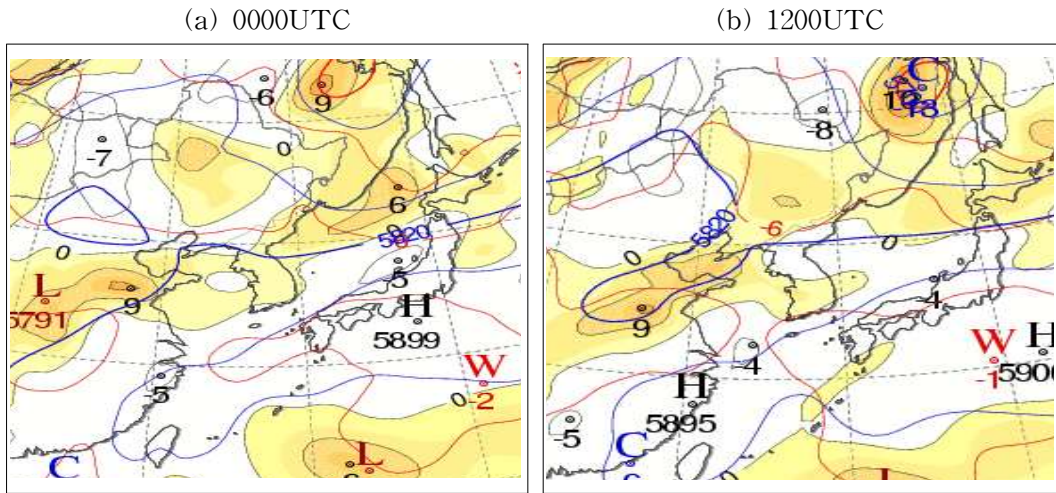


Fig. 27. RDAPS 500hPa GPH(30m), temp(3C), relative vorticity(E-5/s) at July 23, 2008.

19. RDAPS 200hPa 발산장 및 jet

Fig. 28에서, 0000UTC에 산둥반도 부근의 장마전선에 있는 저기압 쪽으로 상층 발산이 강하여 지상 저기압을 발달시켰다. 1200UTC에는 한반도 남부지방에도 발산역이 생기면서 북한쪽을 향하던 지상 장마전선의 머리가 전라북도지방으로 향하고 있다.

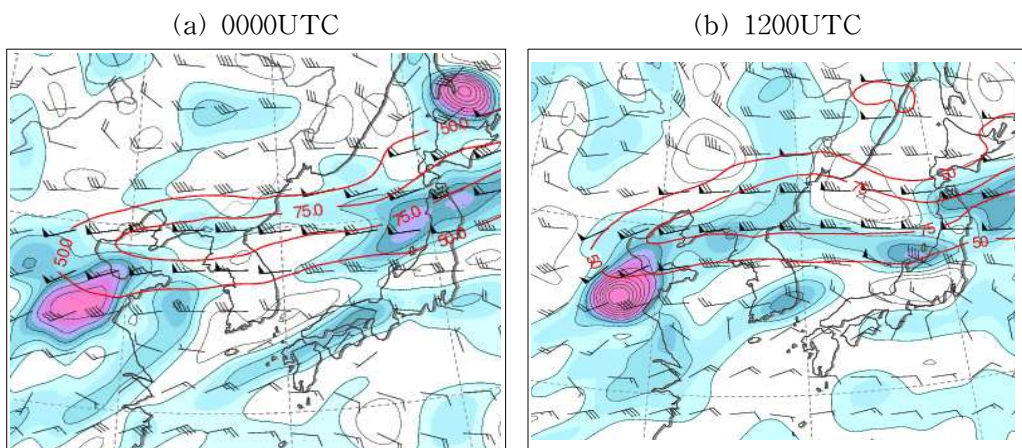
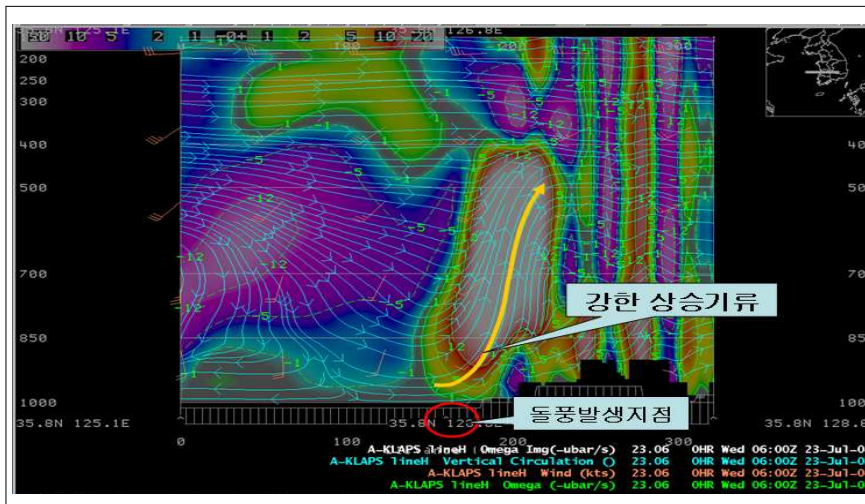


Fig. 28. RDAPS 200hPa divergence(E-6/s) and Isotach(>50kts) at July 23, 2008.

20. KLAPS omega and circulation

Fig.29는 KLAPS omega와 순환으로 김제를 중심으로 약 400km를 동서방향으로 연직으로 자른 단면이다. 돌풍 발생 45분전인 0600UTC에 돌풍 발생지점 부근에 강한 상승기류가 형성되었고, 돌풍 발생 15분후인 0700UTC에는 850hPa 고도 아래에서 상하층간 대기가 원형으로 회전하면서 대기가 매우 불안정한 상태임을 알 수 있다.

(a) 45 minutes before the gust at 0600UTC



(b) 15 minutes after the gust at 0700UTC

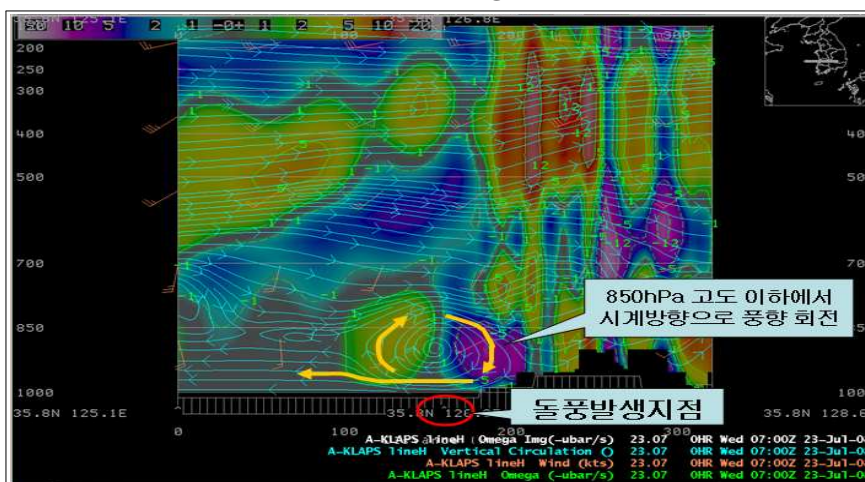
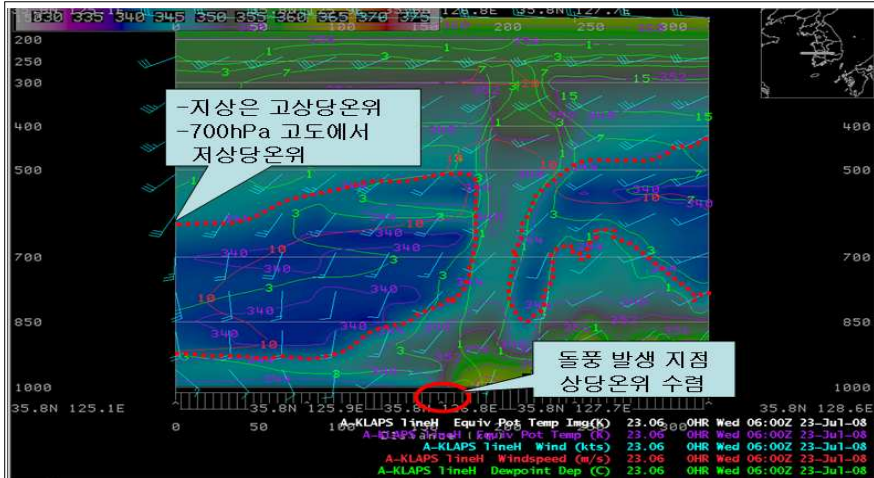


Fig.29. KLAPS omega and circulation at July 23, 2008.

21. KLAPS 상당온위

Fig. 30은 KLAPS 상당온위이다.

(a) 45 minutes before the gust at 0600UTC



(b) 15 minutes after the gust at 0600UTC

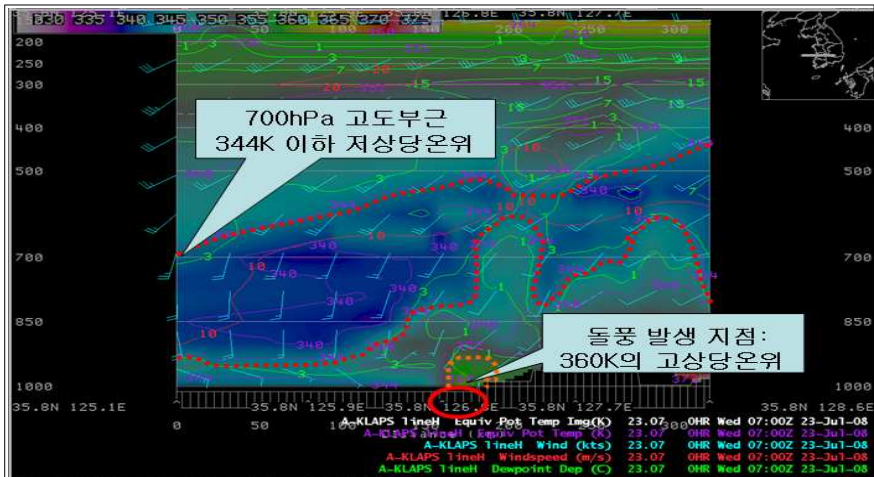


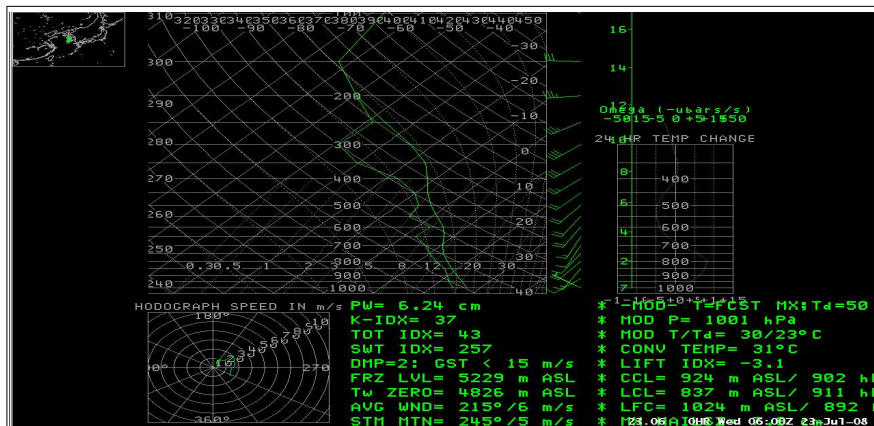
Fig. 30. KLAPS Equivalent potential temperature at 23 July 23, 2008.

그림에서, 돌풍 발생 45분 전인 0600UTC에 돌풍 발생지점 부근에 360K의 고상당온위가 수렴하고 있고, 700hPa고도 부근에서 340K의 저상당온위가 위치하고 있다. 돌풍 발생 지점 부근은 지상부터 상층까지 고상당온위를 보이다가 돌풍이 지난 후에는 700hPa 고도선 부근에서 동서로 광범위하게 저상당온위에 가로막혀 상승기류가 차단된 모습을 보이고 있다.

22. KLAPS 김제 soundings

Fig. 31의 KLAPS 김제 0600UTC, 0700UTC soundings 을 보면 지상을 제외하면 상층까지 순전을 보이고 있다. K-Index는 돌풍 발생전 37로 너무 발생율이 80~100%에 해당하는 높은 수치이고, 돌풍 발생 후는 35로 너무 발생율이 60~80%에 해당한다.

(a) 45 minutes before the gust at 0600UTC



(b) 15 minutes after the gust at 0700UTC

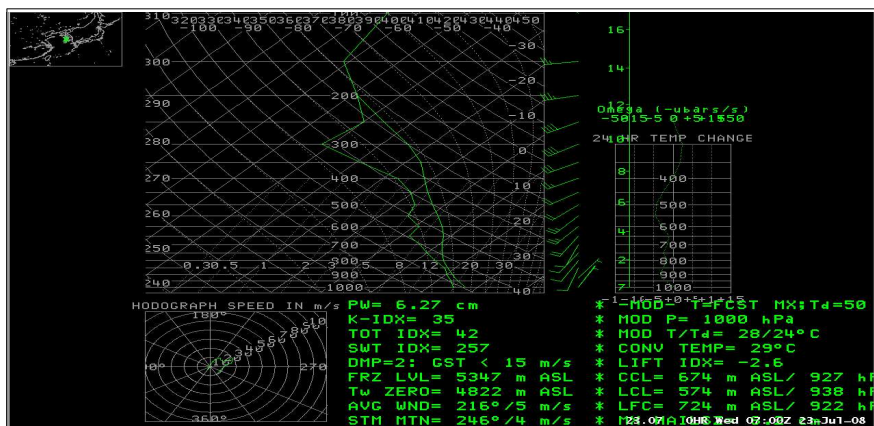


Fig. 31. KLAPS Gimjae Soundings at July 23, 2008.

23. 김제 부근 KLAPS wind shear 변화

Fig. 32는 wind shear의 변화를 나타낸 것으로, 돌풍 발생시점인 06UTC에서 0700UTC에 850hPa 부근에서 하층은 남서류 상층은 북서류가 서로 충돌하고 있다. 뿐만 아니라 600hPa 고도, 300hPa 고도에서도 남서류와 북서류가 충돌하고 있다. shear가 생긴 부분 지상에서 돌풍이 발생하였다.

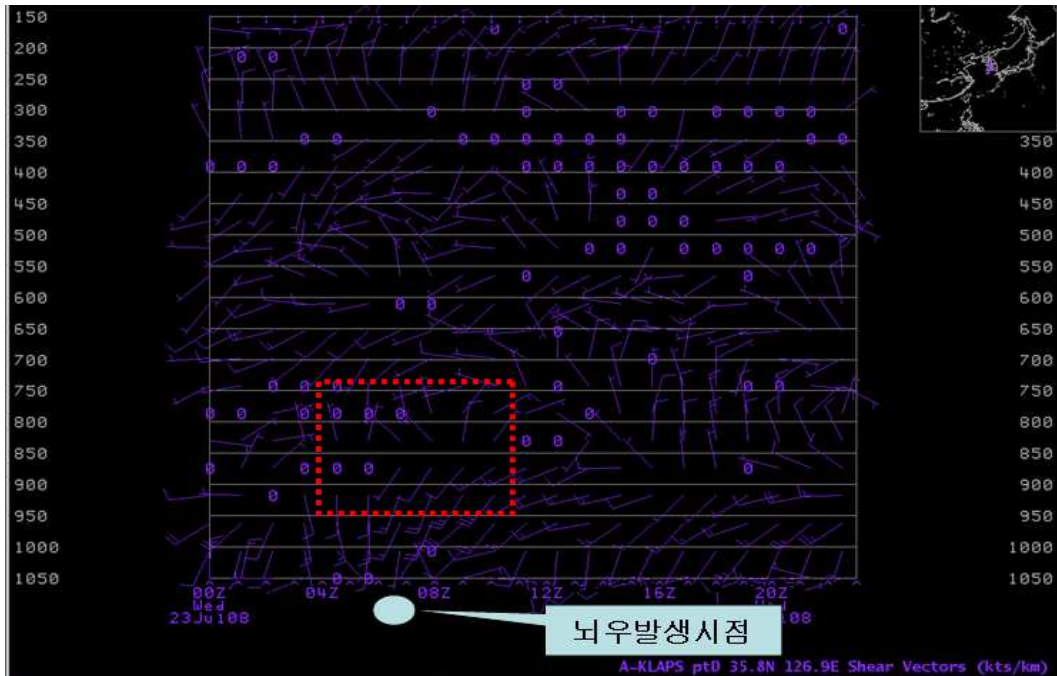


Fig. 32. Time series of 1-hour KLAPS wind shear in Gimjae at July 23, 2008.

24. 시계열자료

Fig. 33과 Fig. 34는 각각 김제와 진봉의 AWS자료의 시계열 분포이다.

김제 AWS는 부안과 익산 사이의 내륙에 위치하고 있으며, 수록리에서 가장 가까운 AWS 지점으로 약 10km 떨어져 있다. 돌풍 시작시각은 진봉이 15:45경, 김제가 15:50경으로 차이가 적으며, 뇌우 시작시각은 진봉 15:30, 김제 16:30으로 1시간 정도 차이가 나고 있다. 국지 돌풍이 나타난 백산면 수록리에는 AWS가 없고, 수록리에서 약 10km 떨어진 김제의 최대순간풍속은 NW풍 10m/s 를 기록하였는데 뇌우가 시작되기 전에 나타났다.

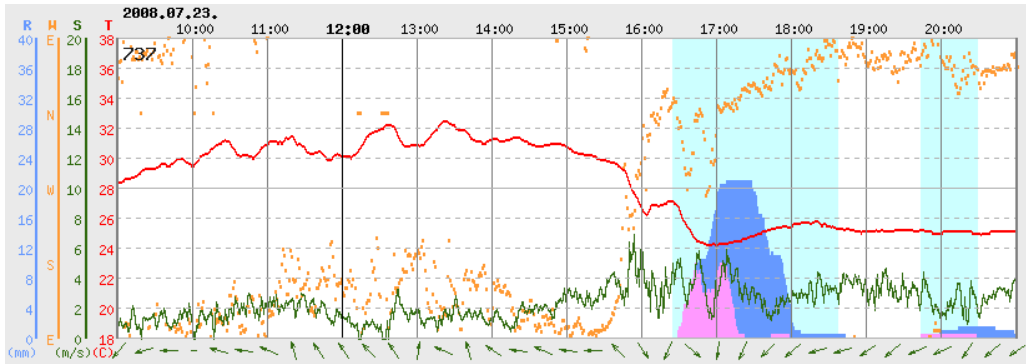


Fig. 33. Time series of 1-minute AWS data at Gimjae from 0900LST to 2100LST July 23, 2008 (Gimjae).

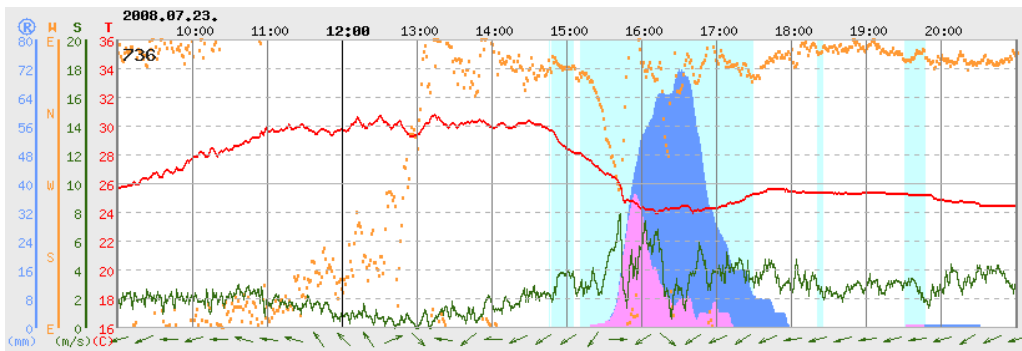


Fig. 34. Time series of 1-minute AWS data at Jinbong from 0900LST to 2100LST July 23, 2008(Jinbong).

진봉 AWS는 김제시 진봉면에 해당되고 부안과 군산 사이의 뽕죽하게 나온 서해안에 위치한 곳으로 7월 23일 15시에 풍속이 증가하면서 기온이 하강하고, 뇌우가 시작되기 직전에 돌풍이 나타났으며, 최대순간풍속은 W풍 9.1m/s로 나타났다. 15시부터 18시 사이에 진봉 부근에 호우셀이 자리하면서 진봉은 바람보다는 강수량이 81.5mm로 탁월하였다.

2008년 8월 22일의 여수지방 돌풍으로 인해 피해가 컸는데도 사고지점에 AWS가 없고 주변 AWS 최대순간풍속은 10m/s 이하였다.

김제 백산면 수록리 돌풍 발생지점에서 약10~15km 떨어진 김제와 진봉 두 지점의 최대순간풍속이 10m/s 내외이고 익산AWS는 NW풍 15.7m/s 였다, 돌풍은 국지적인 현상이므로 주변 AWS의 최대순간풍속값 만으로 돌풍을 설명하기는 어렵다.

25. 종합 분석 결과

2008년 7월 23일 15시 30분~17시30분까지 중국 양쯔강 유역에 있는 장마전선이 활성화되면서 우리나라 쪽으로 접근하면서 전라북도 서해안지방에 고온다습한 남동풍이 김제 부근에서 대기 중층의 건조한 북서풍과 충돌하면서 대기 불안정으로 약 12km 규모의 발달한 뇌우가 발생하여 돌풍과 집중호우가 나타났다.

부안 앞바다에서 발달한 뇌우는 북동진하여 대전을 지나 계속 진출하다가 일본 동쪽의 북태평양고기압이 blocking되면서 더 이상 발달하지 못하고 17:30 이후 세력이 약화되었다.

김제시 백산면 돌풍은 광범위한 현상이 아닌 수록리와 하정리 약 4.5km 구간에서 국지적으로 발생 소멸되었다.

강한 대류와 관련한 중규모 구름 무리가 생성 발달하며 북동진하다가 소멸할 때까지 약 2시간 정도 소요되었다.

돌풍전선은 뇌우가 시작되기 전에 발생하였다.

Omega and circulation에서 06UTC 돌풍 발생 45분 전에는 돌풍 발생지점 부근에 강한 상승기류가 있다가 돌풍 발생 15분 후엔 850hPa 고도 아래에서 상하층 간에 원형의 돌풍이 있었다.

상당온위가 수렴하거나 주변보다 높은 상당온위를 가질 때 돌풍이 발생할 수 있다.

하층에 수분속이 수렴하고 700hPa 고도에서 건조공기가 유입되어 뇌우가 발생했고 그 세력이 몇 분간 유지되었다.

Moisture를 보면 대기 하층에서 고온다습한 남서풍에 의한 수증기 공급으로 수분속이 수렴하고 저습수(T-Td) 역 중심으로 뇌우가 이동하였다.

B. 광주지방 돌풍시례(2006년 6월 10일) 분석

1. 개요

2006년 6월 10일 19시경 광주지방에 뇌우의 통과로 인한 강한 돌풍과 뇌전, 우박 발생하였으며, 강한 돌풍으로 유리창 파손등 돌풍, 낙뢰, 우박으로 인한 피해가 발생하였다.

2. 주요 피해현황

- 광주 유리창 파손 34가구, 익산 비닐하우스 9동, 군산 소규모 어선 9척
- 광주, 나주, 해남 낙뢰 피해(전자장비 낙뢰로 발화함)
- 순천 배 과수원 우박피해(배 과수원 50ha)

3. 일기도 분석

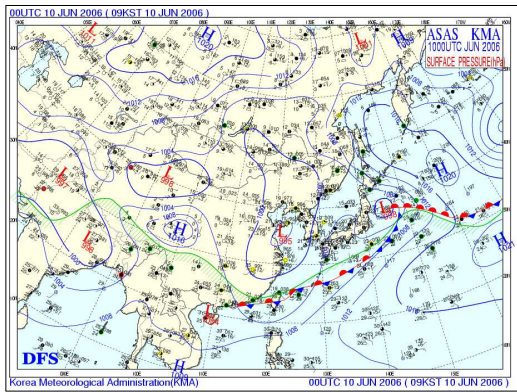
Fig. 35는 광주에서 돌풍이 발생한 날의 일기도이다.

Fig. 35(a)의 지상일기도에서, 산동반도 부근에 저기압이 회전하면서 호남지방은 남서류가 유입되고 우리나라 부근에서 기압경도력이 강화되고 있고, (b)850hPa chart에서는 하층제트의 남서류에 의해 고온다습한 공기 유입되고 있으며, c)의 500hPa chart에서 발해만 부근에서 저기압성 회전을 하고 있으며, 한반도 동쪽의 고압대에 의해 blocking되어 지속적으로 한기가 남하하고 있다.

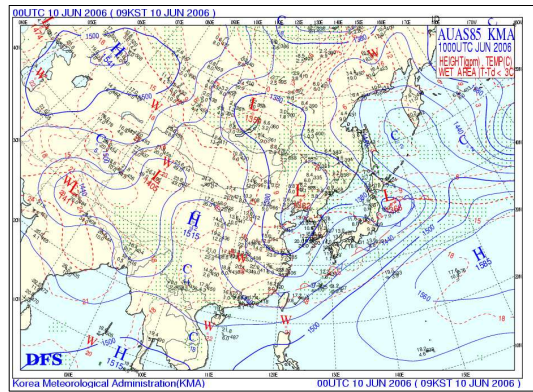
이날 광주 지상 기온(21.5°C)과 500hPa고도의 기온은 -16.3°C 로 차는 37.8°C 를 보였다.

Fig. 36 (d) 200hPa chart에서, 상층 sub-tropical jet가 30°N 남쪽까지 내려와 한반도 북서쪽으로부터 상층 한기가 지속적으로 유입되어 상하층의 온도차가 증가하고 뇌우가 발달 가능성이 높았다.

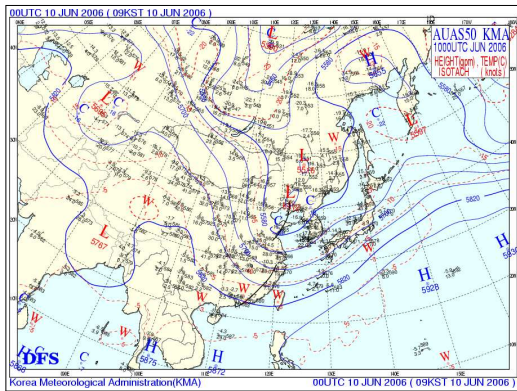
(a) Surface



(b) 850hPa



(c) 500hPa



(d) 200hPa

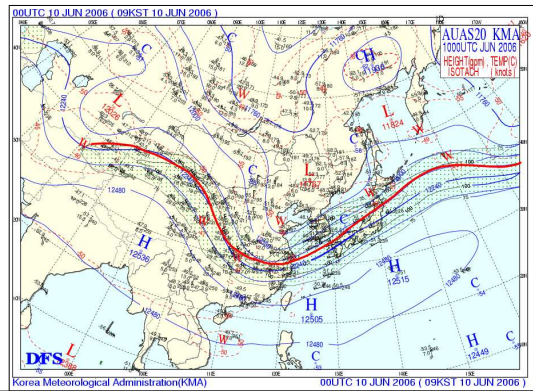
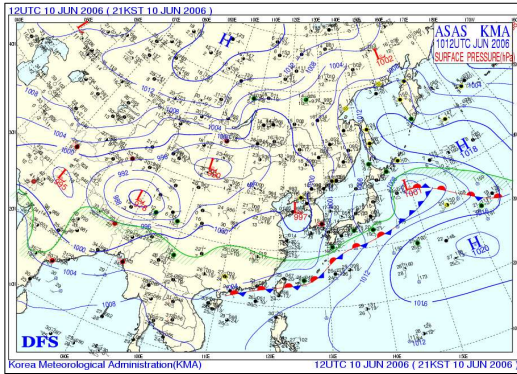
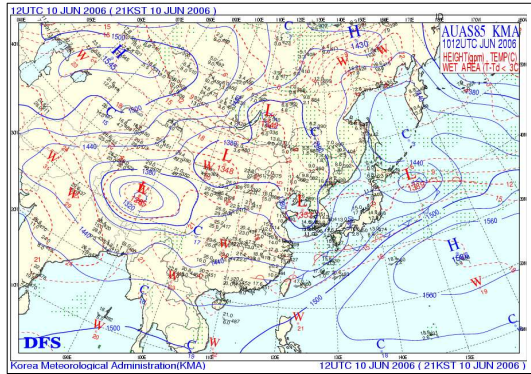


Fig. 35. Synoptic weather charts at 0000UTC June 10, 2006.

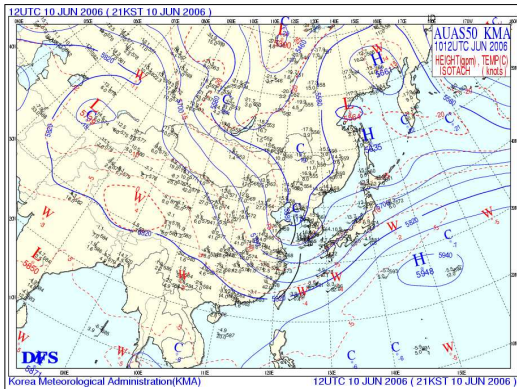
(a) Surface



(b) 850hPa



(c) 500hPa



(d) 200hPa

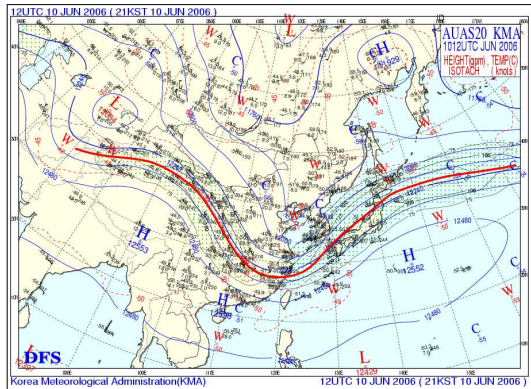


Fig. 36. Synoptic weather charts at 1200UTC June 10, 2006.

4. 기상실황

Table 3은 2006년 6월 10일의 AWS의 기록이고, Table 4는 기상실황을 나타낸 것이다.

Table 3. Gust and daily precipitation amounts by AWS at June 10, 2006.

AWS St.	Rainfall(mm)	Max. gust speed(m/s) (LST)
Chosun Univ.	11.5	22.4(18:22)
Keokpo	29.0	25.6(17:13)
Younggwang	23.5	25.5(17:36)

Table 4. Gust and daily precipitation amounts of at June 10, 2006.

Division	Rainfall (mm)	Max. gust speed (m/s) (LST)	Greatest gust speed(m/s) (LST)
Kunsan	39.0	14.5(06:46)	22.9(06:46)
Jeonju	40.0	9.1(19:03)	17.8(09:22)
Namwon	4.5	10.3(15:51)	15.1(14:28)
Buan	48.5	8.9(12:35)	15.8(17:29)
Gwangju	34.5	9.5(18:24)	28.8(18:22)
Mogpo	7.5	10.0(17:39)	20.1(17:38)
Heuksando	0.1	15.7(16:15)	21.5(16:10)
Yeosu	2.5	16.4(21:49)	22.6(21:36)

5. 원격탐측자료

Fig. 37은 강수량자료, Fig. 38위성영상자료, Fig. 39는 레이더자료, Fig. 40, 41 및 42는 낙뢰관측자료이다.

이상의 원격탐측자료를 보면, 뇌우가 선상으로 통과하면서 광주지방은 17시 18분부터 20시 14분까지 뇌우가 관측되었다.

레이더영상 연직단면을 보면 18시 20분에 광주부근이 진한 보라색으로 표출되고 있는데 이때 돌풍이 발생하였다 돌풍은 18시 22분에 28.8m/s를 기록하였다.

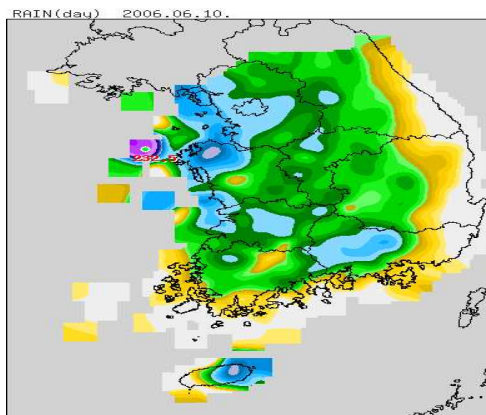


Fig. 37. Daily precipitation amounts at June 10, 2006.

(a)1800KST 10,June, 2006. (b)1900KST 10,June, 2006. (c)2000KST 10,June, 2006.

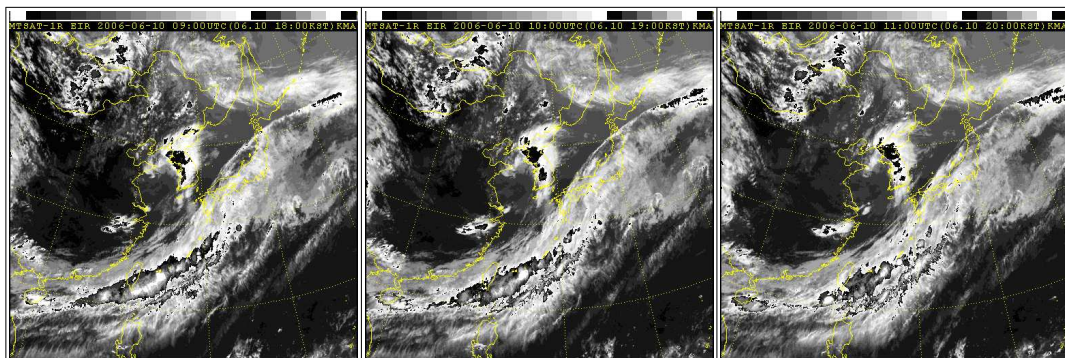


Fig. 38. Enhanced images of MTSAT from 1800IST to 2000IST June 10, 2006.

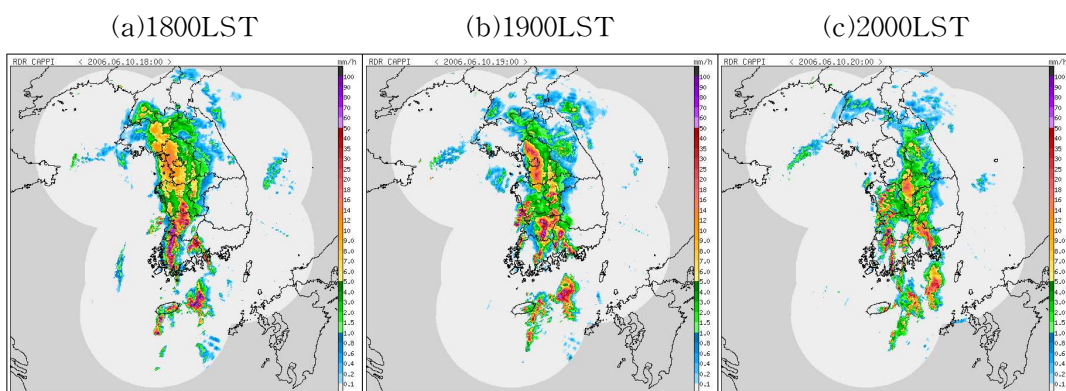


Fig. 39. RADAR echo images from 1800LST to 2000LST June 10, 2006.

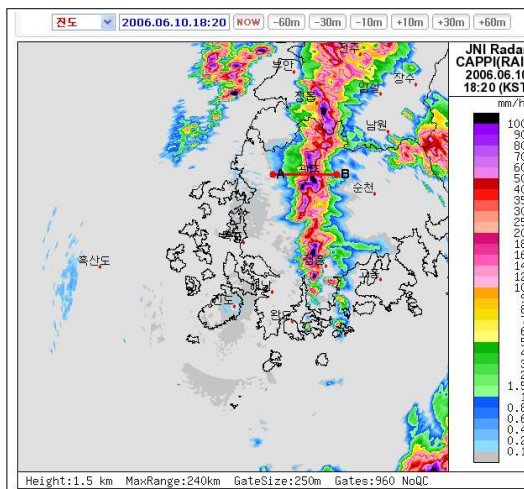


Fig. 40. Radar echo distribution at Jindo radar station at 1820LST June 10, 2006.

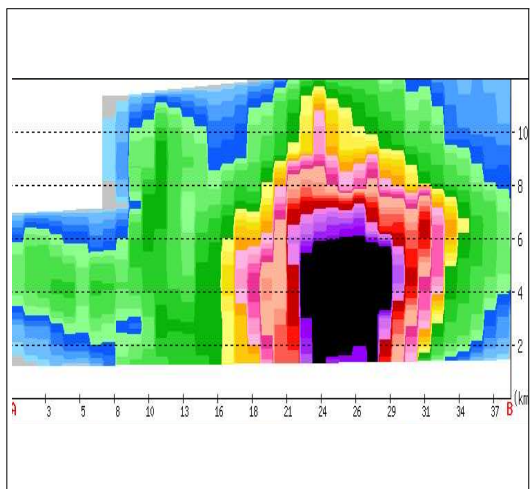


Fig. 41. Vertical cross section of Radar echo from A to B at 1820LST June 10, 2006.

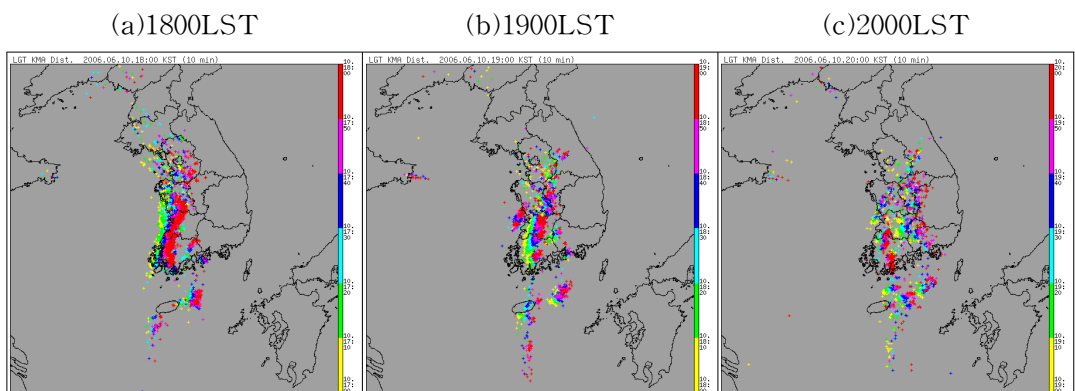


Fig. 42. Lightning distributions at June 10, 2006.

6. AWS 수렴도

Fig. 43의 AWS 수렴을 보면 18시 20분에 광주 조선대, 무등봉 부근과 전북 순창에 강한 수렴이 나타나고 5분 후인 18시25분에 광주 부근의 조선대, 무등봉, 화순북AWS 부근으로 매우 강한 수렴이 형성되었고, 이때 광주지방 ASOS의 최대 순간풍속은 28.8m/s로 18시 22분에 나타났으며, 조선대 AWS 최대순간풍속은 22.4m/s로 18시 22분에 나타났다. 5분 후인 18시 30분엔 수렴 강도를 유지하면서 동진하였고 18시 35분경에는 약화되었다.

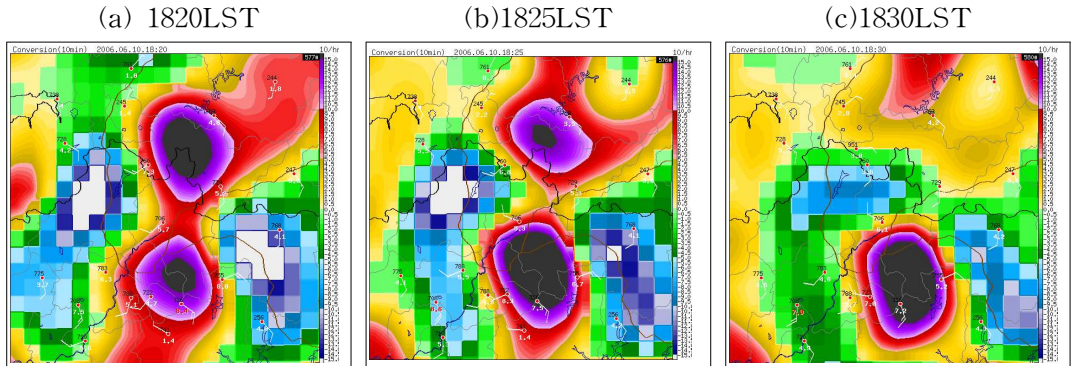


Fig. 43. Distributions of AWS convergence with 5 min. interval from 1820LST to 1830LST June 10, 2006.

7. 운정온도

Fig. 44의 운정온도분포에서, 6월 10일 18시 33분 운정온도가 -40°C 이며, 고도가 12 ~ 16km에 달하는 거대한 구름이 형성되어 뇌방전이 일어났다.

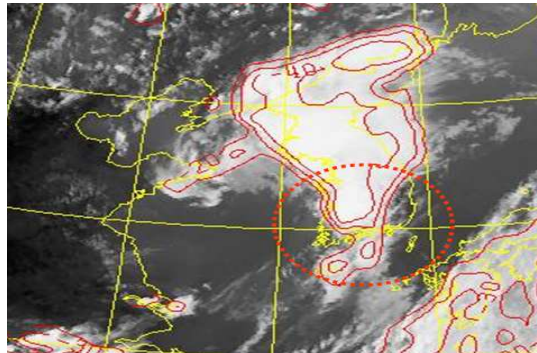


Fig. 44. Temperature of cloud top at 18:33LST at July 23, 2008.

8. 500hPa vorticity

Fig. 45와 Fig. 46에서, 소용돌이가 강한 구역이 6월 10일 0000UTC에는 중국 산둥반도 부근에 있다가 12시간 후인 6월 10일 1200UTC(Fig. 46)에는 우리나라 서해상에 위치하며 동진해 오고 있다.

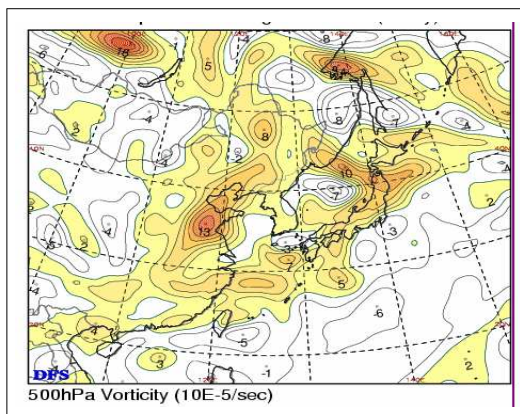


Fig. 45. 500hPa vorticity chart at 0000UTC June 10, 2006.

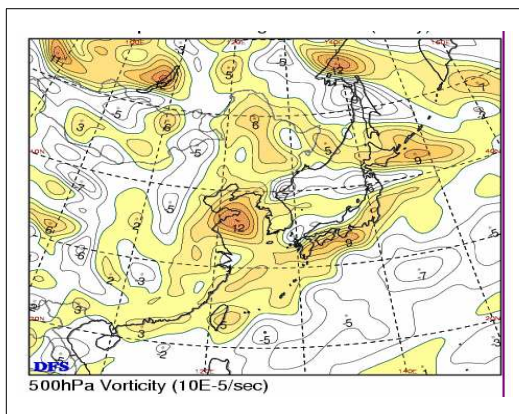


Fig. 46. 500hPa vorticity chart at 1200UTC June 10, 2006.

9. 단열선도

Fig. 47의 연직구조에서, 대기 하층에서 바람의 순전에 의한 온난이류, 중층에서 한랭이류로 대기가 불안정하였다. SSI는 값이 -4.8로 심한 뇌우 활동이 가능하였다.

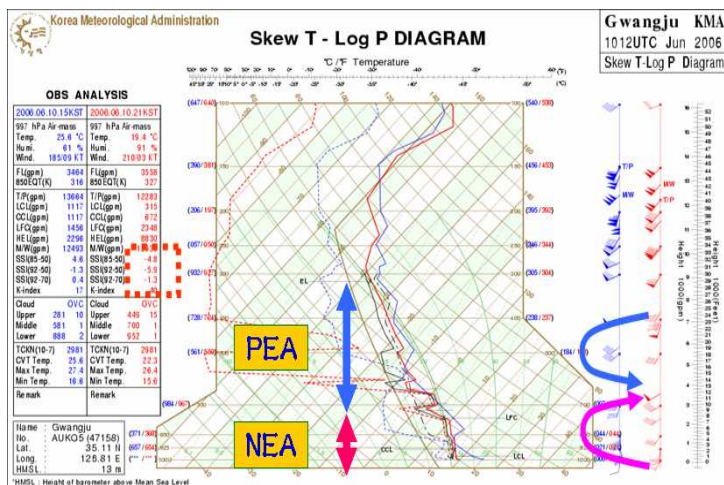


Fig. 47. Sounding at 1200UTC June 10, 2006 (Gwangju).

K-Index 값은 40으로 뇌우 발생 가능성이 100%에 가까웠다.

PEA(양의 에너지 영역)>NEA(음의 에너지 영역) : 진잠재불안정을 나타내었다.

10. KLAPS omega and circulation.

저기압에 의한 강한 SW계열의 상승기류에 의해 Cb가 발달하였고, 저기압 전면에서 하강기류가 형성되어 돌풍과 함께 폭우가 내렸다. 한편 하강기류 속에서 일어나는 강수의 증발은 공기를 냉각시켜 하강기류를 더욱 강화시키면서 기온을 급강하시켰다. 강수구역을 따라 하강한 차가운 공기는 광주 부근 지면에 도달하면서 사방으로 퍼져 나가 돌풍을 일으키고 풍향을 급변화시켰다.

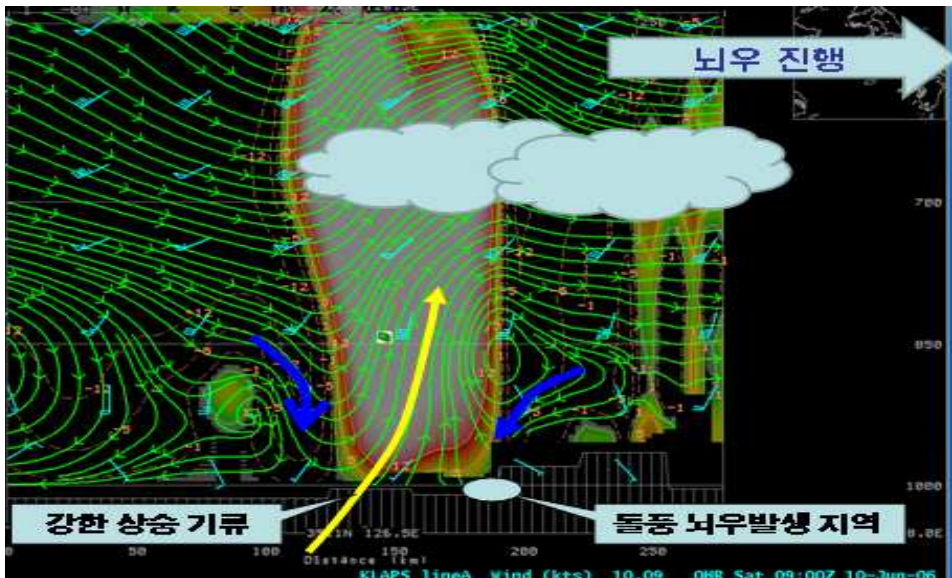


Fig. 48. KLAPS omega and circulation at 2100LST June 10, 2006.

11. 시계열자료

Fig. 49는 조선대 AWS자료이다. 그림에서 1822LST에 돌풍전선에서 돌풍이 발생하면서 기온이 하강하였고, 풍향이 급변하고 있다. 소나기가 강해져 18시 22분에 20.9℃였던 기온이 15분 후인 18시 37분에 15.2℃로 5.7℃가 급강하 하였다.

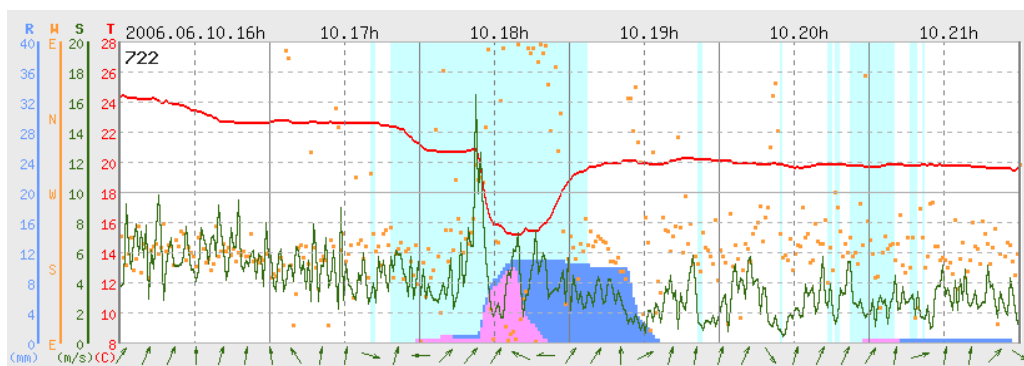


Fig. 49. Time series of 1-minute AWS data at Chosun Univ. from 1500LST to 2100LST June 10, 2006.

12. 종합 분석 결과

하층제트에 의한 고온다습한 공기유입과 대기 중층에서 한기유입으로 지상과 높은 기온차로 대기가 불안정하였다.

- 광주 지상기온 - 500hPa 기온 = 38℃
- 광주 850hPa - 500hPa 기온 = 29℃

지상 기온과 500hPa 기온차가 40℃ 내외나 그 이상에서는 뇌전 돌풍 등 악기상을 예상할 수 있다.

500hPa에서 +소용돌이 이류로 연직 상승기류가 강화되었다.

기압계가 연직으로 선 저기압 발달 및 한기 남하의 최성기에서 뇌우에 의한 돌풍이 발생하였다.

대류권 중층에서 건조공기와 습윤공기의 충돌로 뇌우 발달이 강화되었다.

돌풍전선(=Gust front)은 뇌우가 시작되기 직전에 발생하였으며, 뇌우는 12km 이상 대류권계면까지 발달하였다.

순간풍속 28.8m/s와 10분간 평균풍속 9.5m/s의 차가 매우 큰 돌풍이었다

조선대 AWS는 돌풍전선 통과 후 뇌우시작 15분후에 기온이 5.7℃ 급강하하였다.

대기 하층에서 바람의 순전에 의한 온난이류, 중층에서 한냉이류로 대기가 불안정하였다.

SSI는 값이 -4.8로 심한 뇌우 활동이 가능하였다

K-Index 값은 40으로 뇌우 발생 가능성이 100%에 가까웠다.

PEA(양의 에너지 영역)>NEA(음의 에너지 영역) : 진잠재불안정을 나타내었다.

C. 전라북도 장수지방 돌풍사례(2005년 7월 2일) 분석

1. 개요

2005년 7월 2일 02:00~03:00경 전라북도 장수군 천천면 춘송리 송탄마을에 뇌우에 의한 돌풍으로 주택 7채가 완파 또는 반파되었고, 이재민 17가구 47명이 발생하였다.

지상의 농작물의 피해는 없었으나 2층 건물과 나무가 뽑히는 피해가 있었다.

2. 주요 피해현황

피해현황은 ;

- 취락 주택 피해 : 21가구 60명 (완파 4, 반파 7, 파손 6, 기타 4)
- 기타(공공시설) : 2개소
- 이 재 민 발 생 : 17가구 47명

3. 피해사진



Fig. 50. Farm house damaged by gust.



Fig. 51. Vinyl house damaged by gust.

4. 피해지역 위치

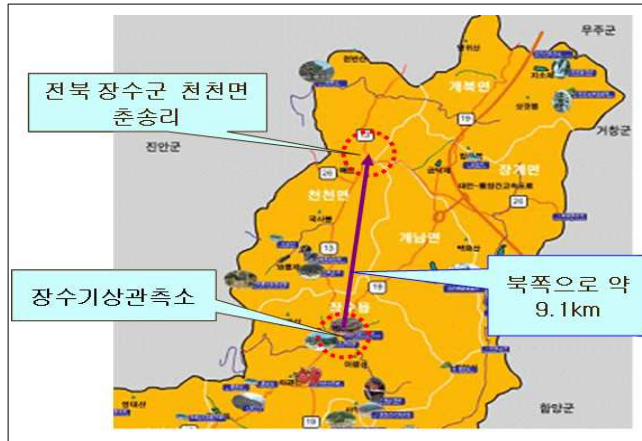


Fig. 52. Damaged area by gust.

5. 기상 상황

피해 지점에 AWS는 없었고, Table 5는 9.1km 떨어진 장수기상관측소의 기상자료이다.

최대순간풍속은 14.5m/s였고, 일강수량은 95.5mm로 뇌우에 의한 돌풍과 집중호우가 있었다.

7월 2일의 일강수량 분포도(Fig. 3.4.)의 파랑색 부분은 100mm 이상의 집중호우가 있었는데 돌풍이 지나간 트랙과 일치하고 있다.

Table 5. Gust and daily precipitation amounts of at July 2, 2005.

Division	Daily rainfall (mm)	Max. gust speed(m/s) (LST)	Greatest gust(m/s) (LST)
Jangsu	95.5	6.6(02:41)	14.5(02:25)
Donghyang	99.5		7.9(02:16)
Imsil	45.0	3.7(01:55)	7.0(05:42)
Namwon	47.0	2.6(05:24)	3.9(02:23)

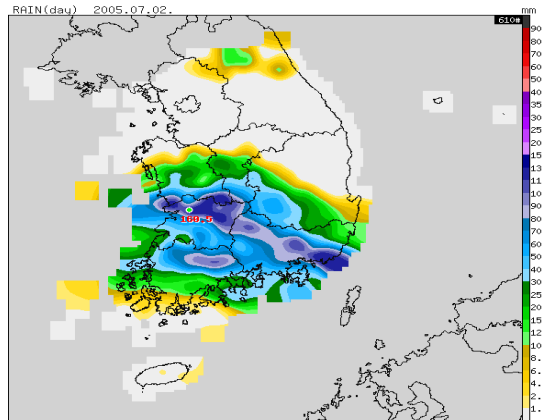


Fig. 53. Daily precipitation amounts at July 2, 2005.

6. 일기도 분석

Fig. 54(a) Surface와 Fig. 55(a) Surface 에서 장마전선은 중국 산둥반도 부근에서 전라북도 지방을 지나 일본 혼슈까지 동서로 위치하고 있으며, 만주와 발해만으로 저기압이 형성되어 있고 우리나라 남쪽으로는 북태평양고기압이 위치하고 있다.

Fig. 54(b) 850hPa와 Fig. 55(b) 850hPa 일기도에서 만주부근에 cold-Low가 형성되어 있고, 온도골과 습윤역이 전시간보다 확대되어 남쪽으로 남하하고 있다. 우리나라 부근에서 남서풍이 30kts 이상 불고 있어서 따뜻한 수증기를 우리나라 쪽으로 공급되고 있다.

Fig. 54(c) 500hPa와 Fig. 55(c) 500hPa 일기도에서는 만주부근에서 저기압성 회전을 하고 있으며, 등고선이 우리나라 부근에서 동서로 zonal하게 형성되어 있다. 5820gpm선이 12시간 전보다 다소 남쪽으로 이동하고 있다.

Fig. 54 (d) 500hPa chart와 Fig. 55 (d) 500hPa 일기도에서 상층 sub-tropical jet는 북한지방을 통과하고 있으며 12시간 전보다 남쪽으로 하강하여 한기가 우리나라 쪽으로 강화되고 있다.

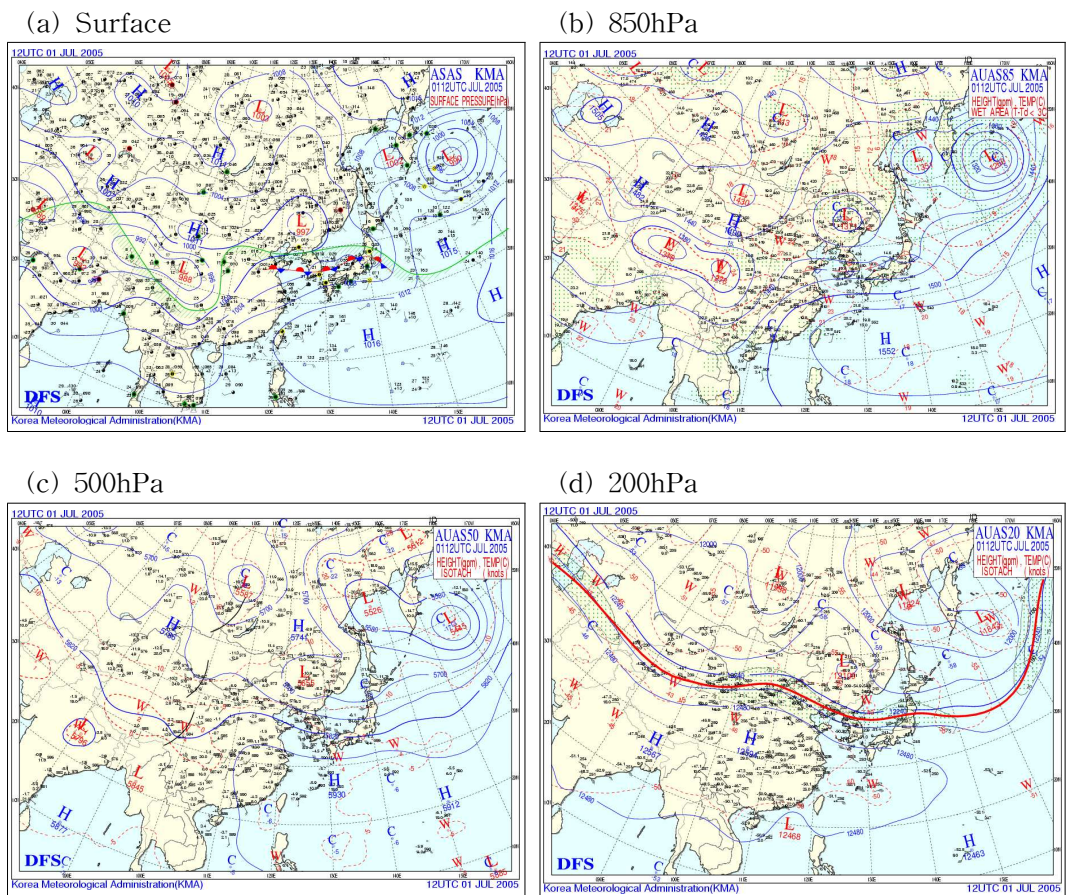
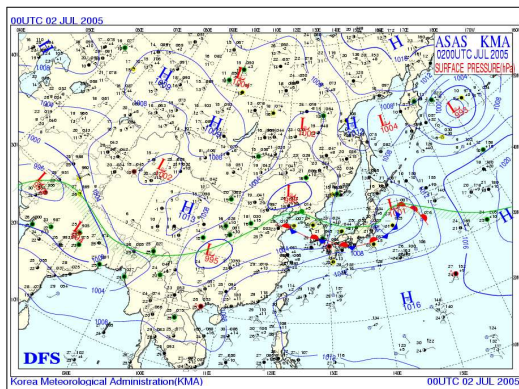
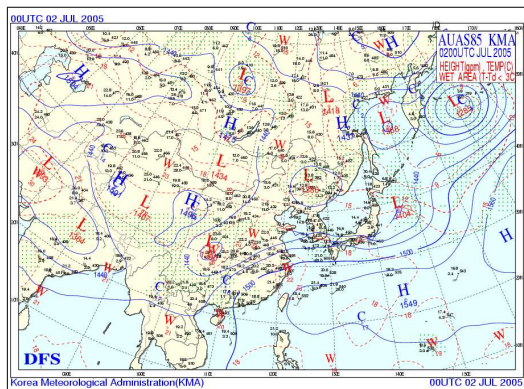


Fig. 54. Synoptic weather charts at 12UTC July 1, 2005.

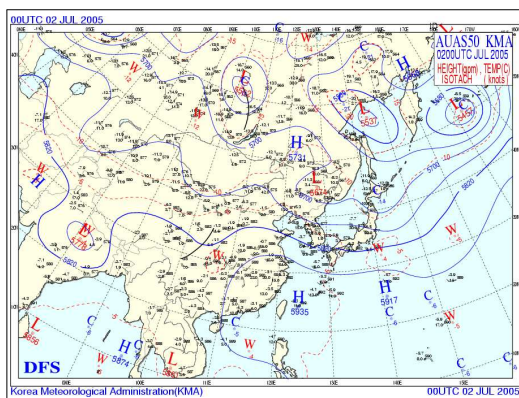
(a) Surface



(b) 850hPa



(c) 500hPa



(d) 200hPa

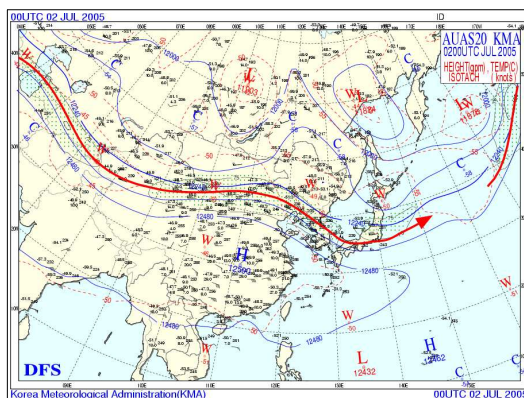


Fig. 55. Synoptic weather charts at 00UTC July 2, 2005.

7. 원격탐측자료

Fig. 56부터 Fig 59까지는 원격탐측자료자료이다. 원격탐측자료와 강수분포도에서, 장마전선 영향으로 7월1일부터 비가 내렸으며, 전라북도 지방에 7월2일 01시경부터 Cu가 형성되어 02시에는 장마전선상에서 전형적인 타원형의 중규모 구름무리(MCC)로 발달하여 장수지방을 지나 0300LST부터는 장마전선을 따라 점차 영남지방으로 남동진하였다.

Fig. 57에서, 일강수량의 파랑색 부분은 집중호우가 내렸는데 이는 뇌우가 지나간 방향과 일치한다. 또한 장마전선을 따라 중국 대륙에서 계속 타원형의 구름 무리들이 만들어지고 있다.

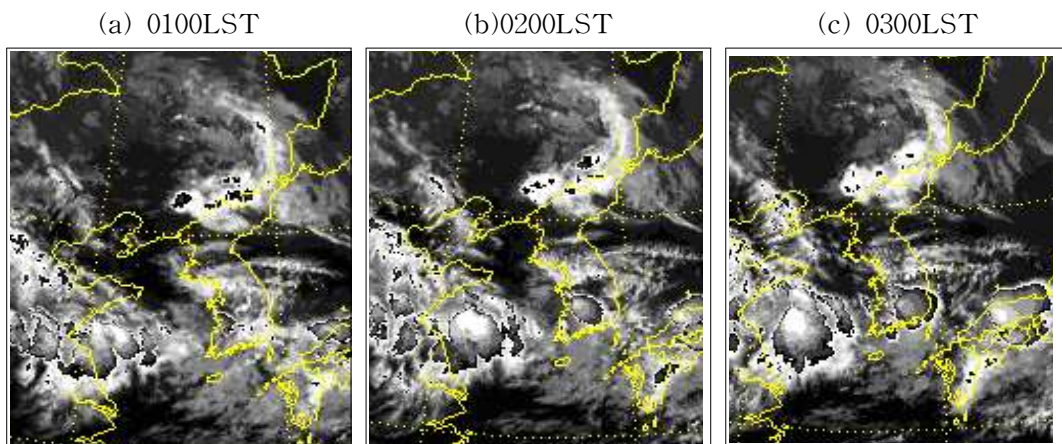


Fig. 56. Enhanced images of MTSAT at July 2, 2005.

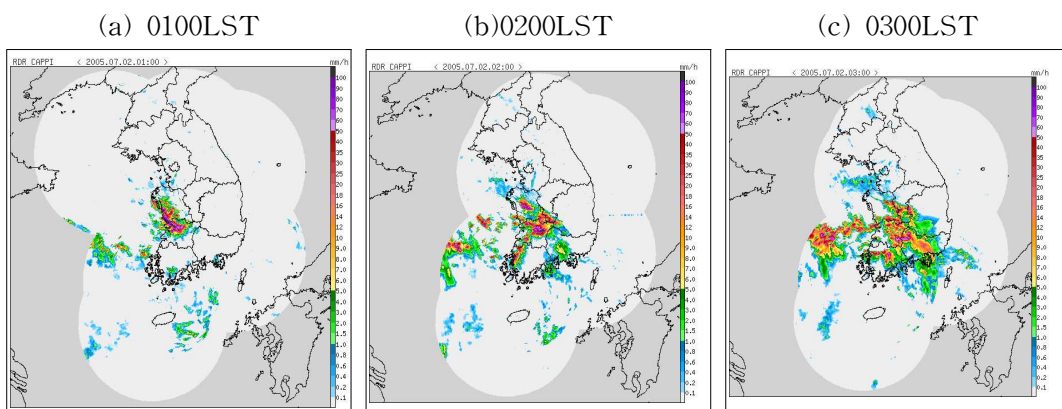


Fig. 57. Radar echo images at July 2, 2005.

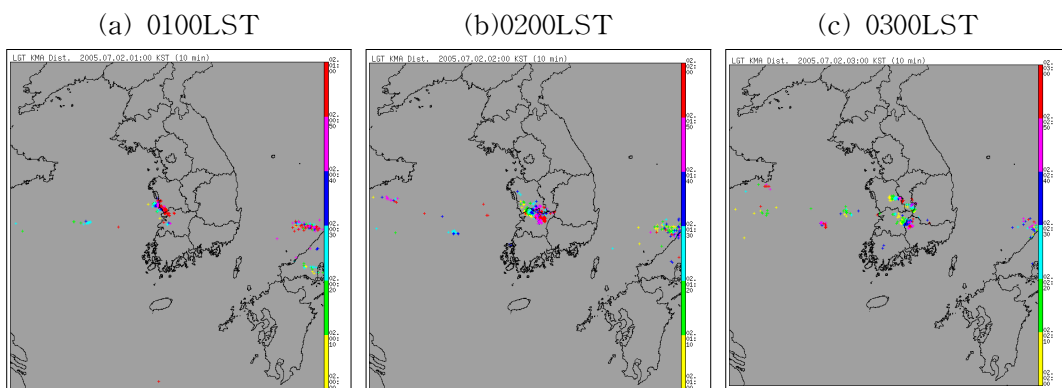


Fig. 58. Lightning distributions at July 2, 2005.

8. K-Index

K-index는 7월1일 0000UTC에 40으로 뇌우 발생 가능성이 100%에 가깝고, 뇌우에 의한 돌풍 발생 5시간 전인 12UTC에는 30으로 값이 떨어졌으나 서해상에 35의 K-Index 구역이 다가오고 있어서 뇌우 발생 가능성이 80% 정도로 높았다.

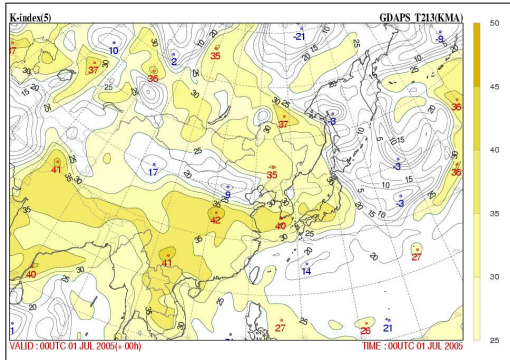


Fig. 59. K-Index(40) at 0000UTC July 1, 2005.

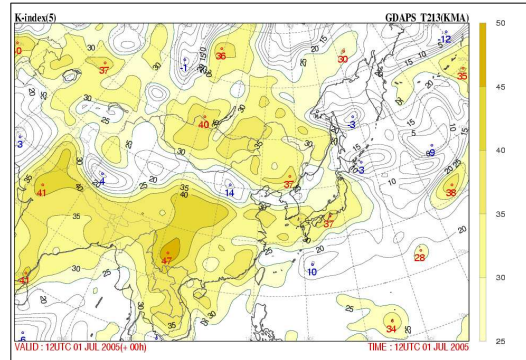


Fig. 60. K-Index(30) at 1200UTC July 1, 2005.

9. SSI

SSI 는 850hPa의 공기가 500hPa까지 상승했을 때 나타날 수 있는 기온의 단순한 차이이다. 미국의 경우 SSI에 따른 기상상태는 통계적으로 +3이하는 소나기 가능성과 약간의 뇌우 가능성, +1에서-2는 뇌우 가능성 급증, -3이하인 경우는 심한 뇌우 활동이 가능하고, -6이하는 토네이도 발생 가능성을 고려해야 한다고 분류하고 있다. SSI는 850과 500hPa 사이에서 전선면이 존재하거나 역전층이 존재하는 경우에는 대기불안정의 척도로 유용하지 못하다(손태성 등, 2003).

SSI 지수는 보통 뇌우의 예보시에 가장 많이 활용되며, 일반적으로 최대 +3이하일 때 뇌우가 있는 것으로 판단한다(김종석 등, 2006).

7월1일 SSI 지수는 0000UTC에 0으로 뇌우 가능성이 높았고, 1200UTC에는 2로 소나기 가능성과 약간의 뇌우 가능성 이 있는 조건이 되었다.

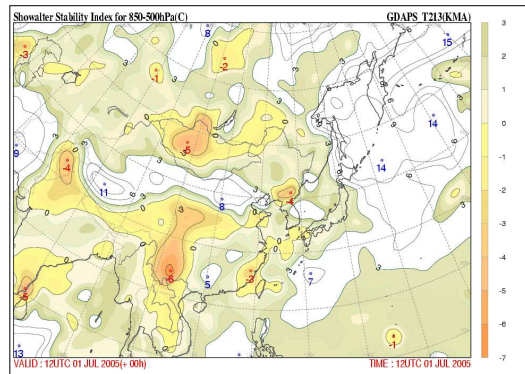
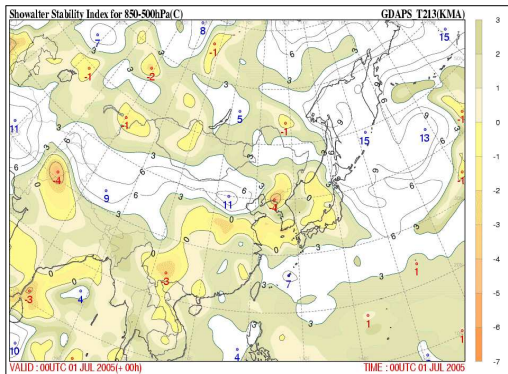


Fig. 61. SSI at 0000UTC July 1, 2005 Fig.62. SSI at 1200UTC July 1, 2005.

10. 상당온위(2005년 7월 1일 1500UTC)

뇌우에 의한 돌풍의 발생 조건은 상당온위가 수렴하고 있는 곳이나 주변보다 높은 상당온위를 가지고 있는 지점에서 발생한다. 상당온위의 수렴구역은 뇌우셀의 트랙과 일치하고 있다. 장수 돌풍은 고상당온위 구역이 접근하여 오면서 돌풍이 발생되었다. 또한 불안정을 가져오려면 하층에 수분축이 수렴하면서 많은 양의 수증기 공급이 있어야 하고, 700hPa고도의 건조하고 한랭한 대기와 서로 충돌하여야 한다. 장수 돌풍은 저습수역 중심의 이동경로와 돌풍의 이동경로가 일치하고 있다.

즉 뇌우에 의한 돌풍은 지상에서 상당온위가 높은 구역, 많은 수증기를 함유하고 있는 지역을 따라 이동하고 있다. 뇌우의 세력이 얼마나 오랫동안 유지되느냐 하는 것은 바람 방향의 순전에 의한 온난이류로 덥고 습한 공기의 유입량과 700hPa 고도의 건조하고 찬 공기의 유입량에 의해 결정된다.

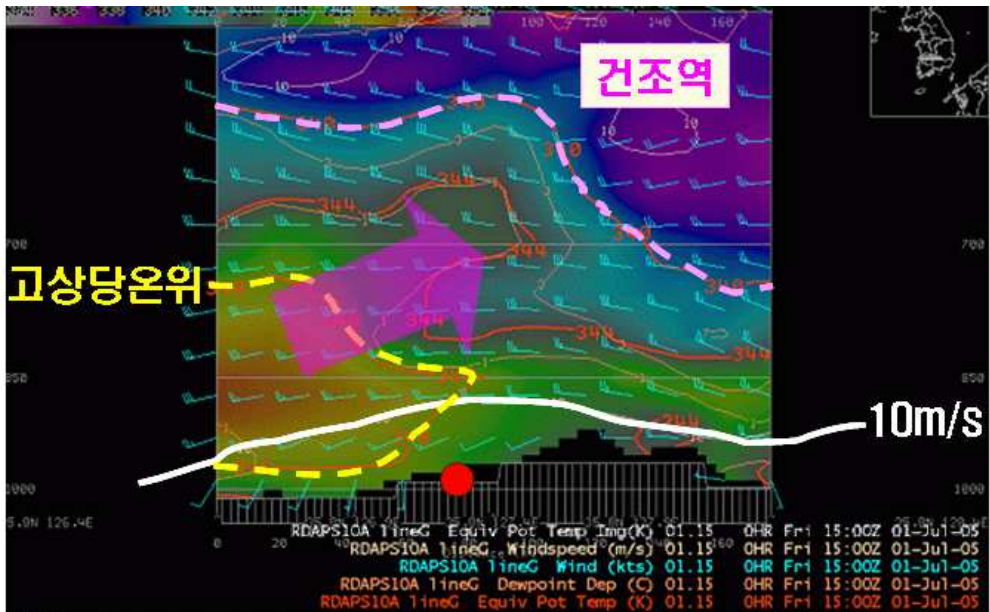


Fig. 63. Equivalent potential temperature at 1500UTC July 1, 2005.

11. 시계열자료

Fig. 64는 장수의 AWS자료이다.

7월2일 2시경부터 기압이 급강하 후 수직 상승하고 돌풍전선은 뇌우가 시작되기 직전에 발생하였으며, 대류운은 12km 이상 대류 권계면까지 발달하여 뇌우에 의한 돌풍이 발생하였다.

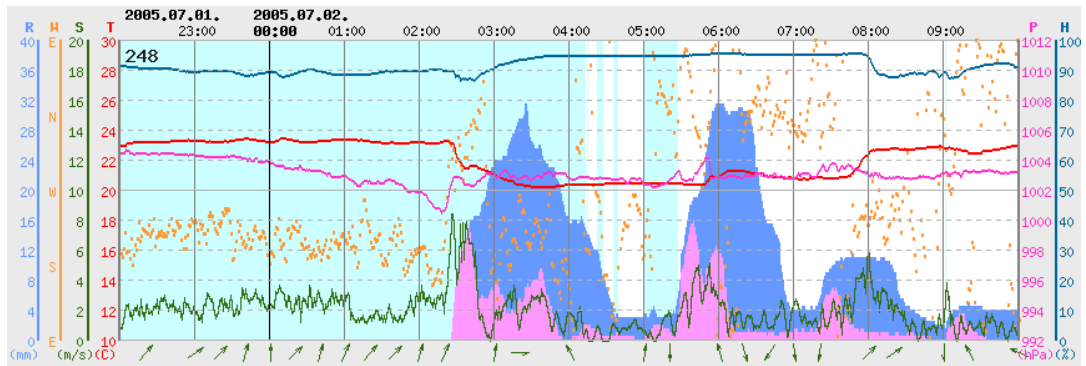


Fig. 64. Time series of 1-minute AWS data at Jangsu from 2200LST to 1000LST July 2, 2005.

12. 종합 결과 분석

2005년 7월 2일 전라북도 장수에 나타난 돌풍에 대한 분석 결과;

돌풍이 일어나기 하루 전인 7월 1일에도 전라북도에 위치한 장마전선이 활성을 띠면서 강한 불안정으로 수십 km 규모의 발달한 뇌우가 발생하여 천둥번개를 동반한 강한 강수가 나타났다. 장마전선 남쪽으로부터 강한 남서류에 의한 고온다습한 기류가 하층으로 다량 유입되고 북서쪽 상층으로부터 찬 공기가 유입되면서 전라북도지방에 불안정이 강화되었다.

K-Index는 7월 1일 0000UTC에 40, 1200UTC에 30으로 강한 불안정이 전라북도지방에 나타나고 있으며, SSI는 -3 ~ 2의 강한 불안정역이 남부지방으로 형성되었다.

강한 대류와 관련한 중규모 구름 무리가 7월 2일 1시경 전라북도 지방에 발달하여 불안정이 강화되어, 2시경부터 기압은 하강 후 급상승하였고, 2시 12분에는 돌풍이 발생하였으며, 뇌우와 함께 기온이 급강하하고, 풍향은 남에서 북서로 변화였다.

지상은 남서풍 상층은 북서풍이 불면서 순전에 의한 온난이류가 발생하였고, 대류권 중층에서 건조공기와 습윤공기의 충돌로 뇌우 발달이 강화되었다.

7월 2일 2시경부터 기압이 급강하한 후 수직으로 급상승하고 돌풍전선은 뇌우가 시작되기 직전에 발생하였으며, 뇌우는 12km 이상 대류권계면까지 발달하였다.

뇌우에 의한 돌풍의 발생 조건은 상당운위가 수렴하고 있는 곳이나 주변보다 높은 상당운위를 가지고 있는 지점에서 발생한다. 상당운위의 수렴구역은 뇌우셀의 트랙과 일치하고 있다. 장수 돌풍은 고상당운위 구역이 접근하여 오면서 돌풍이 발생되었다.

또한 불안정이 되려면 하층에 수분속이 수렴하면서 많은 양의 수증기 공급이 있어야 하고, 700hPa고도의 건조하고 한랭한 대기와 서로 충돌하여야 한다. 장수 돌풍은 저습수역 중심의 이동경로와 돌풍의 이동경로가 일치하고 있다.

즉 뇌우에 의한 돌풍은 지상에서 상당운위가 높은 구역, 많은 수증기를 함유하고 있는 지역을 따라 이동하고 있다. 뇌우의 세력이 얼마나 오랫동안 유지되느냐 하는 것은 바람 방향의 순전에 의한 온난이류로 덥고 습한 공기의 유입량과 700hPa 고도의 건조하고 찬 공기의 유입량에 의해 결정된다.

IV. 요약 및 결론

강한 대류와 관련한 중규모 구름 무리 발달로 뇌우에 의한 돌풍사례들을 분석하였다. 각 사례들은 뇌우에 의한 돌풍피해가 보고된 지점에 대해 피해상황 등을 조사했고 기상학적 분석을 하였다. 위성영상, 레이더영상, 낙뢰영상, 일기도, 수치자료, KLPSE 등을 분석하여 뇌우에 의한 돌풍현상을 해석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 악기상이 발생할 수 있는 종관 특성은 ;

- 하층제트에 의한 고온다습한 공기유입과 700hPa 부근 대기 중층에서 건조한 한기유입으로 지상과 높은 기온차로 대기가 불안정하다.
- 지상 기온과 500hPa 기온차가 40℃ 부근이나 이상에서는 뇌전 돌풍 등 악기상을 예상할 수 있다.
- 500hPa에서 +소용돌이 이류로 연직 상승기류가 강화되었다. 기압계가 연직으로 선 저기압 발달 및 한기 남하의 최성기에서 뇌우에 의한 발생하였다.
- 대류에 의한 중규모 구름무리(MCC) 발달로 집중호우등 악기상이 나타난다
- 대류권 중층의 습윤공기와 건조공기의 충돌로 구름무리 발달이 강화되었다.

2) 뇌우에 의한 돌풍이 발생할 수 있는 대기 구조는 ;

- 뇌우에 의한 돌풍의 발생 조건은 상당온위가 수렴하고 있는 곳이나 주변보다 높은 상당온위를 가지고 있는 지점에서 발생한다.
- 상당온위의 수렴구역은 뇌우셀의 트랙과 일치하고 있다. 김제 돌풍은 고상당온위가 돌풍 발생 지점에서 수렴했고, 장수 돌풍은 고상당온위 구역이 접근하여 오면서 돌풍이 발생되었다. 또한 불안정을 가져오려면 하층에 수분속이 수렴하면서 많은양의 수증기 공급이 있어야 하고 700hPa고도의 건조하고 한랭한 대기와 서로 충돌하여야 한다. 저습수역 중심의 이동경로와 돌풍의 이동경로가 일치하고 있다.
- 저기압에 의한 강한 SW계열의 상승기류에 의해 Cb가 발달하였고, 저기압 전면에서 하강기류가 형성되어 돌풍과 함께 폭우가 내린다. 한편 하강기류속에서 일어나는 강수의 증발은 공기를 냉각시켜 하강기류를 더욱 강화시키면서 기온을 급강하시킨다. 강수구역을 따라 하강한 차가운 공기는 지면에

도달하면서 사방으로 퍼져 나가 돌풍을 일으키고 풍향을 급변화 시킨다.

- 돌풍전선은 뇌우가 시작되기 직전에 발생하였으며, 뇌우는 12km 이상 대류권 계면까지 발달하였다.
- 최대순간풍속과 10분간 평균풍속의 차가 크게 나타났다.
- 돌풍전선 통과 후 뇌우가 시작되면 기온이 급강하하였다.

3) 뇌우에 의한 돌풍 발생 시 기압변화는, 돌풍이 있기 약 5분전에 기압이 급강하한 후 기압이 다시 급상승하면서 돌풍이 불면서 기온이 급강하하고 있다. 돌풍전선은 뇌우가 시작되기 직전에 발생하였으며, 뇌우는 12km 이상 대류권 계면까지 발달하였다.

4) 뇌우에 의한 돌풍 발생시 강수변화는, 돌풍이 있기 약 5분전에 기압이 급강하한 후 기압이 다시 급상승하면서 돌풍이 불면서 기온이 급강하하고 있다. 돌풍전선에 의해 돌풍이 불고 나면 뇌우가 시작되고 있다.

5) 뇌우에 의한 돌풍 발생 시 바람변화는 순간풍속과 10분간 평균풍속의 차가 크고, 지상은 남서풍 상층은 북서풍이 불면서 순전에 의한 온난이류가 발생하였고, 대류권 중층에서 건조공기와 습윤공기의 충돌로 뇌우 발달이 강화되었으며, 강수구역을 따라 하강한 차가운 공기는 지면에 도달하면서 사방으로 퍼져 나가 돌풍을 일으키고 풍향을 급변화 시킨다. 돌풍전선은 뇌우가 시작되기 직전에 발생하였다.

6) 뇌우에 의한 돌풍 발생 시 기온변화는 돌풍전선 통과 후 뇌우시작 전에 기온이 급강하하고, 뇌우 시작 후 기온이 계속 하강하였다. 하강기류 속에서 일어나는 강수의 증발은 공기를 냉각시켜 하강기류를 더욱 강화시키면서 기온을 급강하시킨다.

뇌우에 의한 돌풍은 지상에서 상당온위가 높은 구역, 많은 수증기를 함유하고 있는 지역을 따라 이동하고 있다. 뇌우의 세력이 얼마나 오랫동안 유지되느냐 하는 것은 바람 방향의 순전에 의한 온난이류로 덮고 습한 공기의 유입량과 700hPa 고도의 건조하고 찬 공기의 유입량에 의해 결정된다.

참고문헌

- 강길봉, 2005, 급격히 발달한 원형 중규모 구름무리 통과시 제주도 지상 및 고층기상 특성 연구. 대구대학교 산업정보대학원 석사 논문, pp.1-2, pp.38-41.
- 광주지방기상청 예보과, 2006, 돌풍과 낙뢰분석 발표자료.
- 광주지방기상청 예보과, 2005. 전북 장수지방 Gust Front 분석 발표자료.
- 김경익, 이홍란, 1994, 광주지역에서 발생한 하계 기단뇌우의 발생기구. 한국기상학회지, 30(4). 597-613.
- 김광식, 1992, 기상학사전, 향림사, p.187.
- 김종석, 박상환, 함숙정, 반기성, 최영진, 장동언, 정효상, 2006. 12. 우리나라 동계 전선성 뇌우에 관한 연구. 한국기상학회, 대기, 16(4), 351-358.
- 김종석, 정병옥, 반기성. 2006, 겨울철 발생한 뇌우에 관한 연구. 한국기상학회 봄철 학술대회 논문집, 326-327.
- 변희룡, 조석준, 1981, 우리나라 중부지방의 하계 뇌우 특성 및 예보법에 관하여. 한국기상학회지, 17(2), 28-34.
- 손태성, 허철운, 이재용, 박정현, 박상미, 2003, 불안정지수를 이용한 악기상예보, 한국기상학회, 대기, 13(3), 276-277
- 이선용, 조천호, 2006, 2005년 7월 1일 장수지방 돌풍사례 분석. 한국기상학회 봄철 학술대회 논문집, 342-343.
- 이종호, 류찬수, 1999, 한반도의 낙뢰특성 분석. 한국기상학회, 봄학술대회논문집, 255-258.
- 이현영, 이승호, 1991, 한국 중부지방의 하계 뇌우 연구. 건국대학교 이학논집, 16, 107-118.
- 임은하, 이태영, 1994, 한반도 중부지방의 지형이 구름 및 강수 발달에 미치는 영향 -2차원의 수치적 연구-. 한국기상학회지, 30(4), 565-582.
- 허복행, 김경익, 민경덕, 1994, 우리나라 중부지방에서 하계에 발생하는 기단성뇌우의 종관 및 열열학적 특성. 한국기상학회지, 30(1), 49-63.

감사의 글

기상청에 근무하면서 항상 배우고 싶다는 생각을 했습니다. 배우고 싶은 열의 하나로 대학원 공부를 시작하였고, 가정과 직장, 학업을 병행하기가 쉽지 않아서 수료한지 몇 년 만에 어렵게 이 논문을 완성하게 되었습니다.

모르는 것, 부족한 점이 많은 저에게 항상 변함없이 도움을 주신 류찬수교수님, 조주환교수님, 정효상박사님, 정병옥박사님께 감사드립니다.

직장 업무와 학업을 병행하는 동안 격려해 주시고 말없이 지켜봐 주신 지방청장님, 기상대장님, 많은 동료 직원분들께 감사드립니다.

학업을 지켜봐 주신 남대우 전 진주기상대장님께 감사드리고, 대학원 다니는 동안에 도와주신 목포기상대 노미정님께 고마움을 전하고 싶습니다.

광주(청)에 근무하도록 배려해 주신 진기범 광주지방기상청장님께 감사드리고, 직제 개편 직전 광주지방기상청 기후정보과에 같이 근무한 동료직원 모두 고맙습니다.

대학원 학업도 같이 하시고 논문을 쓸 수 있도록 많은 조언을 해주신 이춘식 전 주기상대 방재예보관님, 여수기상대 심안섭 방재예보관님께 감사드립니다.

논문을 수정하면서 군산기상대 사무실에서 며칠씩 지내는 동안, 격려해 주신 최기상 대장님을 비롯한 군산기상대 모든 직원분들께 감사드리고, 어려울 때 도와주신 고창기상대 전숙영님께 고마움을 전해드립니다.

마지막으로 자녀들 교육에 헌신하신 친정 부모님과 그리운 형제 자매들에게 감사의 마음을 전하며, 외가, 친가 가족께 감사드립니다. 고맙고 많이 보고 싶습니다.

논문을 쓰는 동안 많은 지원을 아끼지 않은 남편과 두 아이, 시댁 식구들께 감사와 사랑을 전합니다. 감사합니다.

저작물 이용 허락서

학 과	대기과학과	학 번	10311336	과 정	석 사
성 명	한글 조은희 한문 曹銀姬 영문 Cho Eun-Hee				
주 소	전라북도 군산시 내흥동 425-10(금강로 370)				
연락처	E-mail : choeh@kma.go.kr				
논문제목	한글 : 뇌우에 의한 돌풍사례 분석				
	영문 A Study on the Gust with Thunderstorm				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대()

2009년 2월 25일

저작자: 조 은 희

(인)

조선대학교 총장 귀하