[UCI]I804:24011-200000231933

한반도 집중호우시 호우 경계치 재설정과 상층 제트 상관성 분석

On the Reanalysis of Boundary Parameters
and the Relationship of Upper Jet to Heavy Rainfall Events

2006년 8 월 25 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

정 상 훈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY
100355173 2006-09-07

한반도 집중호우시 호우 경계치 재설정과 상층 제트 상관성 분석

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2006년 4월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

정 상 훈

정상훈의 석사학위 논문을 인준함

위원장 기 상 청 이학박사 정 효 상

위 원 조선대학교 교 수 류 찬 수

위 원 기상연구소 공학박사 이 종 호

2006 년 5 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

ABSTRACT v

Ⅰ. 서론 1

Ⅱ. 자료 및 분석 내용 2

Ⅲ. 본론 2

A. 악기상 진단 방법 및 요소 2

B. 집중호우 발생 사례 조사(총56건) 3

C. 집중호우 발생 기구(Parmeter) 조사 8

D. 미국기상청 호우 Parameter 적용 및 Upper jet 동향 11

Ⅳ. 결론 48

A. 미국 호우 Parameter의 한반도 호우에 대한 적용 48

B. 한국형 호우 경계값 설정 51

C. Jet Streak 유형별 분석 결과 54

Ⅴ. 향후 연구과제 59

참고문헌 61

List of Tables

Table 1. 30 ㎜ /hr or above heavy rain example that occurred and the case that are below in 30 ㎜/hr or 200 ㎜ in the Korean peninsula (1997~ 2003). ···· 3
Table 2. A concentration heavy rain (precipitation is 200㎜ or more per day) area distribution. ····· 7
Table 3. Heavy rain parameters of the American Meteorological Administration (atmosphere stability). ····· 9
Table 4. Heavy rain parameters of the American Meteorological Administration (a wind change). ····· 10
Table 5. A heavy rain case(June 24, 2001). ····· 12
Table 6. A heavy rain case(August 03, 1997). ····· 15
Table 7. A heavy rain case(August 08, 1998). ····· 17
Table 8. A heavy rain case(July 29, 2001). ····· 19
Table 9. A heavy rain case(July 29~30, 1999). ····· 21
Table 10. A heavy rain case(July 30, 1998). ····· 24
Table 11. A heavy rain case(August 30, 1998). ····· 27
Table 12. A heavy rain case(July 15, 2001). ····· 29
Table 13. A heavy rain case(September 30, 1998). ····· 32
Table 14. A heavy rain case(July 23, 2001). ····· 34
Table 15. A heavy rain case(August 04, 1998). ····· 35
Table 16. A heavy rain case(July 22~23, 2000). ····· 36
Table 17. A heavy rain case(July 23, 2002). ····· 37
Table 18. A heavy rain case(July 26, 1998). ····· 38
Table 19. A heavy rain case(september 10, 1999). ····· 39
Table 20. A heavy rain case(September 16, 2000). ····· 41
Table 21. A heavy rain case(August 20, 1999). ····· 43
Table 22. A heavy rain case(August 12, 1998). ····· 46
Table 23. Korea Meteorological Administration heavy rain parameter(atmosphere stability). ····· 52
Table 24. Korea Meteorological Administration heavy rain parameter(a wind change). ····· 53
Table 25. The classification table in a jet streak shape. ····· 55

List of Figueres

Fig. 1. A scale analysis. ····· 3
Fig. 2. 50.0 ㎜ or above rainy area per hour. ····· 5
Fig. 3. The midnight time zone concentration heavy rain frequency. ····· 6
Fig. 4. Concentration heavy rain frequency per day. ····· 6
Fig. 5. A vorticity advection. ····· 12
Fig. 6. Vorticity(June 24, 2001 (a) 09:00, (b) 21:00). ····· 13
Fig. 7. A situation(June 24, 2001 09:00, 21:00). ····· 13
Fig. 8. (a)Ground weather chart and (b)TTS Index (1997 August 03th 09:00). ····· 15
Fig. 9. A upper level jet situation(1997 August (a)02th, (b)03th 09:00). ····· 16
Fig. 10. (a) Ground weather chart and (b) 850 hPa wether chart(August 07, 1998 21:00). ····· 17
Fig. 11. A upper level jet situation(1998 August 07th (a)21:00, (b) 08th 09:00). ····· 18
Fig. 12. (a) Ground weather chart and (b) 850 hPa weather chart(2001 June 28th 21:00). 20
Fig. 13. A upper level jet situation(2001 June 28th (a)09:00, (b)21:00). ····· 20
Fig. 14. (a) Ground weather chart and (b) 850 hPa wether chart(1999 July 29th 21:00). ····· 23
Fig. 15. (a)700 hPa and (b)upper level jet situation(1999 July 29th 21:00). ····· 23
Fig. 16. (a)850 hPa and (b)500 hPa weather chart (1998 July 31th 21:00). · 25
Fig. 17. A upper level jet situation(1998. July 31th (a)09:00, (b)21:00). ····· 26
Fig. 18. (a)850 hPa and (b)500 hPa weather chart (1998 August 05th 21:00). ····· 28
Fig. 19. A upper level jet situation(1998 August 05th (a)09:00, (b)21:00). 28
Fig. 20. Relationship with jet streak and low jet(Hong-Yun). ····· 29
Fig. 21. (a)850 hPa and (b)500 hPa weather chart (2001 June 14th 21:00). 30
Fig. 22. A upper level jet situation(2001 June 14th (a)09:00, (b)21:00). ····· 30
Fig. 23. The second circulation model picture by Jet. ····· 32
Fig. 24. A upper level jet situation(1998 September 30th (a)09:00, (b)21:00). ····· 34

Fig. 25. A upper level jet situation(2001 June 22th (a)09:00, (b)21:00). ····· 35
Fig. 26. A upper level jet situation(1998 August 04th (a)09:00, (b)21:00). 36
Fig. 27. A upper level jet situation(2000 June 22th (a)09:00, (b)21:00). ····· 37
Fig. 28. A upper level jet situation(2000 June 23th (a)09:00, (b)21:00). ····· 37
Fig. 29. A upper level jet situation((a)300 hPa, (b)200 hPa June 23, 2000 09:00). ····· 38
Fig. 30. A upper level jet situation(2000 June 25th (a)21:00, (b) 26th 09:00). 39
Fig. 31. 850 hPa weather chart(1999 September (a)09th 21:00, (b)10th 09:00). ····· 40
Fig. 32. A upper level jet situation(1999 September (a)9th 21:00, (b)10th 09:00). 40
Fig. 33. (a)Surface weather chart and (b)500 hPa weather chart(2000 September 16th 09:00). ····· 42
Fig. 34. A upper level jet situation(2000 September (a)15th 21:00, (b)16th 09:00). ····· 43
Fig. 35. (a) Surface weather chart and (b) 700 hPa weather chart(1999 August 20th 21:00). ····· 44
Fig. 36. A upper level jet situation(1999 August 20th (a)09:00, (b)21:00). 45
Fig. 37. 700 hPa weather chart(1998 August (a)11th 21:00, (b)12th 09:00). ····· 47
Fig. 38. A upper level jet situation(1998 August (a)11th 21:00, (b)12th 09:00). ····· 47
Fig. 39. (a)500 hPa weather chart and (b)Skew T-log p Diagram(1997 August 03th 21:00). ····· 48
Fig. 40. (a)850 hPa weather chart and (b)200 hPa Upper level jet situation (1999. September 19th 21:00). ····· 49
Fig. 41. (a)700 hPa weather chart and (b)300 hPa Upper level jet situation(1999. September 19th 21:00). ····· 50
Fig. 42. 850 hPa weather chart((a)2001 June 24th 09:00, (b)2000 August 25th 09:00). ····· 51
Fig. 43. (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(2001 June 21th 09:00). ····· 56
Fig. 44. (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(1998 August 03th 09:00). ····· 57
Fig. 45. (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(2001 June 28th 21:00). ····· 58

Fig. 46. (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(1998 August 04th 09:00, 21:00). 58
Fig. 47. A upper level jet situation(2002 June 23th 09:00 (a)300 hPa, (b)200 hPa). 59

ABSTRACT

On the reanalysis of boundary parameters and the relationship of upper jet to heavy rainfall events

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

In this Paper, I endeavored in order to try to check upper floor jet streak state and a concentration heavy rain boundary value to appear to the strong rain in the Korean peninsula.

The indispensable element in the weather is Wind shear, occurring with lower moisture and a velocity difference of the wind, instability air state can be sectioned. The rising air playing a role as a trigger and causing a concentration heavy rain is caused in lower heating, lower convergence and a mountain scenery slope by forced rises.

A strong concentration heavy rain is reported to the area where is kept to the heavy rain that 500hPa Positive vorticity advection(PVA) approaches in Synoptic scale, and warm air occurs in 850hPa

It is studied a concentration heavy rain case to occur in the second circulation led from the right side of the Jet streak entrance in this study

First of all, a rain of 200mm or more investigated as a example that occurred.

I tried to apply this on the heavy rain occurrence organization(Parameter) using the American Meteorological Administration to the heavy rain case of this

study and examined causes of the concentration heavy rain occurrence.

For meteorological elements, a correlational analysis of between a concentration heavy rain and upper Jet Streak is conducted.

I did effort so that a concentration heavy rain interpreted energy transfer courses in a maximum precipitation distribution area and a Jet Streak situation, the lower layer on the example that occurred to the upper floor.

American Meteorological Administration heavy rain Parameter applies to a heavy rain environment and a lake effect of the Yellow Sea

I apply a lake effect of the Yellow Sea, a continent and a periodic influence back of ocean air mass to American Meteorological Administration heavy rain Parameter and tested to the Korean Peninsula.

I adjusted the rule which was a boundary value and a heavy rain in order to fit our real condition, and setting (K.M.A Yea-bo-ki-sul-team heavy rain check table reference) as a Korean heavy rain Parameter.

I used the data of the heavy rain example that occurred 30mm/h or more and 200mm in the Korean peninsula (47 cases) from 1997 to 2003.

Ⅰ. 서 론

악기상에 필수적인 요소는 하층의 습기와 바람에 의한 강한 wind shear와 불안정을 가져오는 온난기류 유입으로 구분할 수 있다. 또한 습기는 기온에 따라 수증기의 수송량과 수송능력을 결정하기 때문에 집중호우에 있어 자동차의 연료 역할을 하는 것으로 알려져 있으며 특히, 집중호우를 유발하는 방아쇠 역할을 하는 상승류는 하층 가열, 하층 수렴 및 산 경사면에서의 강제 상승 등에 의해서 유발되며 종관규모에서 500 hPa 양의와도 이류(PVA)가 다가오는 지역에 호우가 유지되는 것으로 알려져 있다.

또한 종관 규모의 일기도 분석에 의하면 집중호우 지역은 상층 제트의 입구역 우측과 출구역의 좌측에 위치한다고 하였고(이태영 2000), jet와 뇌우와의 관련성에 대하여는 "집중호우 사례분석" (예보관리과, 1998), 단기예보(김병선, 2002), 테마사례분석(양진관, 2002), "01삼천포 집중호우 분석" (이동한 2001)에서도 언급하였다.

본 연구에서는 jet streak[1] 입구 우측에서 유도되는 2차 순환에 의한 집중호우 사례를 선정·연구하고자 우선 일 200 ㎜ 이상의 강수가 발생한 사례를 조사하고, 미국 기상청에서 사용하고 있는 호우 발생기구(parameter)에 대하여 미국과 다른 한반도 호우 환경(서해상의 호수효과, 대륙 및 해양기단의 주기적 영향 등)에 적용하여 우리 실정에 잘 맞도록 경계값을 재 조정하고, 한국형 호우 parameter를 설정하였다.

특히, 집중호우와 관련된 상층 jet 기류에서 가장 강한 중심구역인 jet streak과 관련된 동향을 분석하기 위하여 집중호우가 발생한 사례에 대하여 최다 강수량 분포 지역과 jet stream에서 바람이 가장 강한 jet streak 위치와 호우관련성을 파악하고자 노력하였고, 상층 발산장에 의한 수렴대 형성과 이에 따른 강풍대의 입구와 출구에 대하여 실제 집중호우 발생시 다른 여러 호우 인자와 작용하여 어떤 형태로 나타나는지를 조사·분석하였다.

---

1) Jet streak :Jet 기류에서 바람이 가장 강한 중심류를 일컬음

Ⅱ. 자료 및 분석 내용

본 연구에 사용한 기상자료의 관측기간은 1997년 1월부터 2003년 9월까지이며, 집중호우 발생사례는 총 56건으로,

- 한반도에서 200 ㎜/1회(일), 30 ㎜/hr 이상 발생한 호우사례(47건)
- 한반도에서 200 ㎜/1회(일), 30 ㎜/hr 이하인 사례(9건) 이며,

집중호우 발생 기구(인자) 선정(미국기상청 호우 parameter)은 인자 선정에 대한 배경 및 물리과정 이해를 중심으로 하였고,

호우 기여 인자별 경계치 통계적 분석과 악기상 발생시 jet 유형을 분류하였다.

Ⅲ. 본론

A. 악기상 진단 방법 및 요소

예보자가 악기상(집중호우) 선행현상을 찾아가는 방법에는 전 지구(hemispheric scale)적인 장파의 골과 능을 파악하고 종관패턴이 저지(blocking)패턴에 해당하는지를 살펴보며, 절리 된 흐름(split in the flow) 등을 분석하게 된다. 다음으로 종관규모(synoptic scale)에 의한 원인으로 전선에 의한 강수대, 고·저기압 발생 진단, jet Stream, 스콜선, MCC (Mesoscale Cumulus Complex)등을 분석하며, 그리고 국지규모(meso and local scale)로 원격영상(satellite and radar)과 종관일기도를 적용시켜보고 수렴역(convergence zones)과 건조역(dry line), 지형효과(orographic and topographic effects) 등 중규모적인 제반현상을 분석하게 된다.

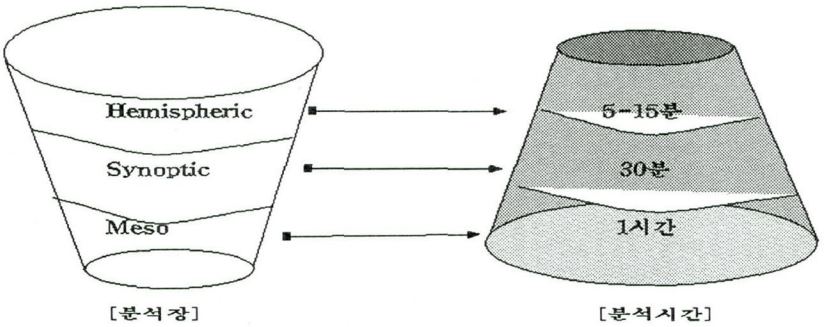

Fig. 1 A scale analysis.

Fig. 1은 예보자가 자료분석에 소요되는 인반적인 시간을 모식화 한 것이다. 즉, 예보자는 예보발표에 앞서 전 지구적인 요소를 짧은 시간에 먼저 진단하고, 종관적 규모에서 호우인자들에 대한 분석을 통하여 흐름을 인지하고, 지역적(Meso) 규모의 예보장에서 많은 분석 시간에 걸쳐 강수의 정도와 양을 결정하게 된다.

B. 집중호우 발생 사례 조사(총 56건)

Table 1은 한반도 일강수량 200 ㎜/1회[2)](일) 이상일 때 시간강수량 30 ㎜/hr 이상의 강한 호우가 발생한 호우사례(47건)를 조사한 것이며, 또한 200 ㎜/1회(일)이상 비가 올 때 시간 강수량이 30 ㎜/hr 이하인 사례(9건)도 포함하였다.

Table 1. 30 ㎜ /hr or above heavy rain example that occurred and the case that are below in 30 ㎜/hr or 200 ㎜ in the Korean peninsula(1997~2003).

Date	Station	precipitation (0.1 ㎜)	Rain		Note
			start	End	
97. 05. 07.	거 제	2090	1997/05/06 21h	1997/05/08 19h	
97. 06. 26.	남 해	3560	1997/06/25 01h	1997/06/28 09h	

2) 1회 : 특정시간부터 24시간 동안 200mm 이상 비가 올 경우 1회로 간주하고 그 비가 종료된 후 다음 비가 시작될 때까지 6시간을 넘을 경우는 2회로 함.

Date	Station	precipitation (0.1 mm)	Rain start	Rain End	Note
97. 07. 05.	부 안	2600	1997/07/04 13h	1997/07/06 17h	
97. 08. 03.	강 화	4880	1997/08/03 05h	1997/08/04 18h	광주 70.3 mm/h
98. 06. 25.	부 산	2973	1998/06/23 22h	1998/06/28 16h	
98. 06. 26.	남 해	2610	1998/06/23 23h	1998/06/28 13h	거제 405 mm/day
98. 06. 27.	남 원	2095	1998/06/24 18h	1998/06/28 14h	
98. 07. 31.	순 천	2325	1998/07/31 12h	1998/08/01 08h	145.0 mm 21:50
98. 08. 04.	서 울	2692	1998/08/02 22h	1998/08/04 14h	66.2 mm 07:50
98. 08. 06.	강 화	7475	1998/08/05 11h	1998/08/09 14h	동두천451 mm/day 123.5 mm 00:30
98. 08. 08.	양 평	4715	1998/08/05 12h	1998/08/09 10h	
98. 08. 12.	보 은	5155	1998/08/11 05h	1998/08/12 19h	
98. 09. 29.	서귀포	3151	1998/09/28 02h	1998/09/30 10h	
98. 09. 30.	포 항	6119	1998/09/28 11h	1998/10/01 04h	고흥81.0 mm/h 93.4 mm 16:20
99. 07. 01.	서귀포	2613	1999/07/01 02h	1999/07/02 03h	
99. 07. 09.	서귀포	2486	1999/07/08 19h	1999/07/11 18h	
99. 07. 24.	제 주	2606	1999/07/23 15h	1999/07/24 18h	
99. 07.30(AM)	통 영	4535	1999/07/29 05h	1999/07/31 06h	86.5 mm 00:30
99. 07.30(PM)	홍 천	3175	1999/07/30 21h	1999/08/04 03h	
99. 07. 31.	철 원	8127	1999/07/30 05h	1999/08/04 07h	동두천 805 mm /1회,강화 451 mm/day
99. 08. 02.	서 울	5498	1999/07/30 12h	1999/08/03 24h	태풍올가
99. 08. 03.	서 산	4724	1999/08/01 05h	1999/08/04 04h	태풍올가
99. 08. 04.	거 제	2193	1999/08/02 13h	1999/08/05 06h	태풍올가
99. 08. 20.	완 도	2281	1999/08/20 12h	1999/08/23 06h	
99. 08. 22.	서귀포	2075	1999/08/20 07h	1999/08/23 08h	
99. 08. 31.	부 산	2065	1999/08/29 23h	1999/08/31 21h	
99. 09. 10.	부 여	2155	1999/09/09 19h	1999/09/10 12h	116.0 mm 06:10
99. 09. 19.	서 울	2789	1999/09/18 03h	1999/09/21 13h	태풍앤
99. 09. 22.	완 도	2203	1999/09/22 01h	1999/09/24 14h	
99. 09. 23.	영 천	2805	1999/09/19 23h	1999/09/24 19h	제주 244 mm/day
99. 10. 11.	마 산	2449	1999/10/10 11h	1999/10/11 20h	
00. 07. 15.	순 천	2370	2000/07/14 05h	2000/07/15 19h	52.0 mm 05:10
00. 07. 22.	수 원	3332	2000/07/22 08h	2000/07/23 02h	92.5 mm 17:00
00. 07. 23.	부 여	2065	2000/07/23 01h	2000/07/23 19h	64.5 mm 02:50
00. 08. 25.	남 원	2250	2000/08/24 18h	2000/08/27 12h	태풍피라피룬
00. 08. 26.	군 산	6090	2000/08/24 04h	2000/08/27 21h	태풍피라피룬
00. 08. 28.	동두천	3414	2000/08/26 05h	2000/08/28 15h	태풍피라피룬
00. 09. 16.	울 진	3048	2000/09/12 15h	2000/09/16 12h	태풍사오마이
01. 06. 24.	남 해	3430	2001/06/22 23h	2001/06/25 03h	
01. 07. 15.	서 울	3101	2001/07/14 13h	2001/07/15 14h	99.5 mm 02:10
01. 07. 23.	홍 천	2355	2001/07/22 13h	2001/07/24 08h	29.5 mm 02:54
01. 07. 29.	인 천	2514	2001/07/29 02h	2001/07/31 18h	83.5 mm 04:36
01. 07. 30.	강 화	3530	2001/07/28 10h	2001/08/01 21h	
01. 09. 09.	영 덕	3205	2001/09/08 02h	2001/09/11 11h	
02. 04. 16.	부 산	2205	2002/04/14 20h	2002/04/16 13h	
02. 07. 05.	산 청	2945	2002/07/04 19h	2002/07/06 09h	
03. 09. 12.	남 해	4100	2003/09/11 17h	2003/09/12 22h	태풍 매미

98. 07. 26.	대관령	4836	1998/07/21 11h	1998/07/29 10h	강도미달 16.6 ㎜ 08:25
99. 06. 17.	거 제	2165	1999/06/16 05h	1999/06/18 19h	강도미달
99. 07. 29.	부 산	3198	1999/07/29 05h	1999/07/30 19h	강도미달
00. 09. 14.	산 청	3585	2000/09/12 14h	2000/09/16 08h	TY 강도미달
00. 09. 15.	완 도	3060	2000/09/12 13h	2000/09/16 12h	TY 강도미달
01. 06. 19.	남 해	2110	2001/06/17 22h	2001/06/19 15h	강도미달
01. 07. 31.	양 평	2030	2001/07/29 05h	2001/07/31 23h	강도미달
02. 07. 23.	서 울	421	2002/07/22 14h	2002/07/23 22h	호우주의보미달
02. 08. 04.	서 울	1525	2002/08/04 06h	2002/08/04 24h	호우주의보미달

Fig. 2에서는 6년간 200 ㎜/일 이상의 집중호우가 내린 사례의 특징을 살펴보았다. 순천지방이 시간당 145.0 ㎜로 가장 강한 비가 내렸으며, 연속 강수량으로는 철원 812.7 ㎜(5일간), 동두천 805 ㎜등의 순으로 많은 비가 왔다.

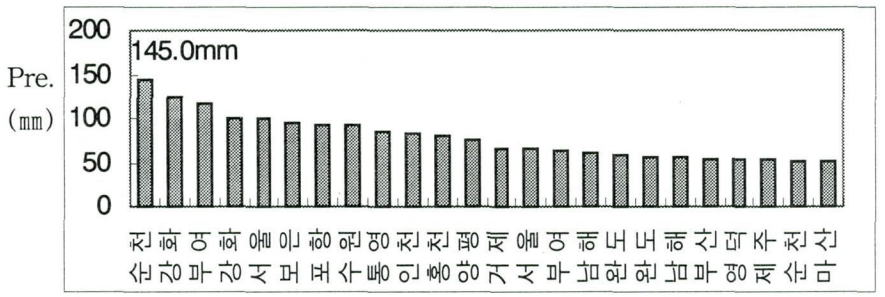

Fig. 2 50.0 ㎜ or above rainy area per hour.

Fig. 3에서 심야(22h~익일 05h)에 비가 내린 사례는 시간당 50 ㎜이상 강수일을 기준으로 24회중 15회가 와서 62 %가 넘었고 50 ㎜이하인 날은 7회로 22%에 그쳤다. 이것은 심야 시간에 나타난 nocturnal thunderstorm으로서 낮에 발생한 구름대가 밤이 되면서 구름 하부에서는 열을 차단하는 역할을 담당하는 한편, 운정에서는 복사냉각에 의해 열이 상층으로 방출되면서 구름상층부에는 대기가 냉각되고 하층에서는 따뜻한 공기가 갇히게 되어 상하층간의 기온경도가 커져 불안정을 유발하게 되는 것에 기인한다고 판단된다.

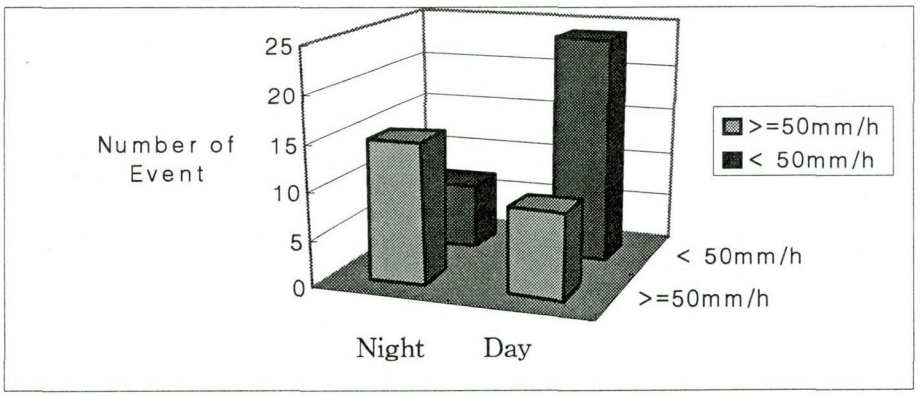

Fig. 3 The midnight time zone concentration heavy rain frequency.

한편 월별 200 ㎜ 이상 강수 횟수(Fig. 4)를 보면 7월이 21회로 가장 많고 또 8월 9월 순으로 나타났다.

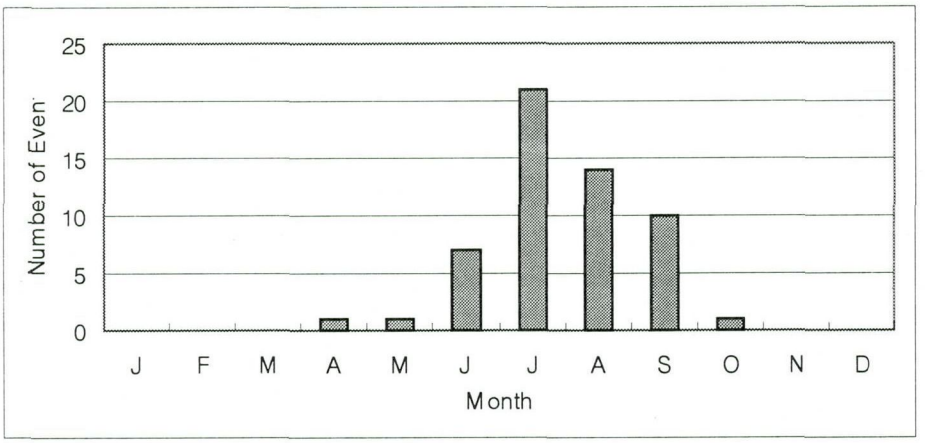

Fig. 4 Concentration heavy rain frequency per day.

또한 일정기간 비가 지속된(0.2 ㎜이상 강수) 연속강수일의 경우는 1개의 사례로 통계처리 하였을 때 27개 사례에 총 77개 지점으로 나타났으며(중복된 호우일은 제외), 지역별 집중호우 분포는 경상도가 26회로 가장 많았고, 그 다음으로 서울·경기도, 전라도 순 이었다. 이 같은 지역 분포는 태풍 접근

시 북동기류에 의한 동해안 지방의 강수에 기인한다고 할 수 있다. 그리고 2002. 4. 16. 부산지역은 4월중에 호우주의보가 발표되었고, 2일의 누적강수량은 220.5 ㎜ 였다(38.5 ㎜/h).

Table 2. A concentration heavy rain (precipitation is 200 ㎜ or more per day) area distribution.

Day	서울·경기	강원	충청	전라	제주	경상	Total
97. 06. 26.						1	1
97. 08. 03.	1						1
97. 08. 04.	1		1	1			3
98. 06. 26.						1	1
98. 08. 04.	1						1
98. 08. 06.	2						2
98. 08. 08.	3						3
98. 08. 12.			1				1
98. 09. 29.					2		2
98. 09. 30.		1		6		10	17
99. 07. 01.				1	2		3
99. 07. 29.						2	2
99. 07. 30.						3	3
99. 07. 31.		1					1
99. 08. 01.	2	2					4
99. 08. 02.	4	2	1			1	8
99. 08. 03.					1		1
99. 09. 10.			1				1
99. 09. 20.		2					2
99. 10. 11.						1	1
00. 07. 22.	2						2
00. 07. 23.			2				2
00. 08. 26.				2			2
01. 06. 24.						2	2
01. 07. 15.	1					1	2
01. 09. 09.						1	1
02. 07. 05.					1	1	2
03. 09. 12.			1	2	1	2	6
Total	17	8	7	12	7	26	77

C. 집중호우 발생 기구(parameter) 조사

집중호우에 대한 종관규모에서의 호우발생 메커니즘 인자를 살펴보면, 홍윤(2000)은 집중호우 발생환경에서 대기불안정과, 주변 바람장으로 분류하고, 대기불안정 요인으로는 지면가열과 찬 공기가 대기 하층의 따뜻한 공기 위로 이류, 수렴 발산에 의한 연직운동, 잠열에 의한 상승에너지 등을 언급하였고, 최만규(2002)는 물발울이 형성되는 조건은 노점온도를 떨어뜨리는 방법(기온하강), 습구온도를 낮추는 방법(수증기 이류), 대칭불안정(한랭한 기단, 산악 경사면 강제이류) 등을 소개하였다.

또한 정관영(2002)은 초단기예보론에서 upper level jet (200~300 hPa)와 middle jet (500 hPa) 및 wind shear, 700 hPa의 건조공기(2 g/kg) 침입, 850 hPa에서의 남서류에 의한 수증기 유입(15 g/kg) 등이 호우를 가져오는 주요원인으로 설명하였고, 종관규모의 상승류를 유발하는 조건으로 와도이류(channel flow, advection flow)와 warm 이류를 해설하였다.

그 외에도 특히 심한 뇌우 인자로서 지상 혼합비 즉, 노점온도가 18℃이상일 경우, total totals가 55 이상, 850 hPa warm temperature field가 서쪽에 위치, 양의 와동이류가 500 hPa 고도장과 30℃이상의 경사, 700 hPa 건조역이 6℃ 이상 감소(12시간 전), 하층 습윤역인 850 hPa 노점온도가 12℃ 이상으로 증가, LLJ(Low Level Jet) 35 kts 이상, 상층 jet가 80 kts 이상(단, 주변장보다 30kt이상/166 ㎞ 반경 내), 500 hPa MLJ(Middle Lever Jet) 50 kts이상, 지상에서 500 hPa까지 바람 각도 45° 이상을 언급하였다.

따라서 위와 같은 이론과 경험법칙을 바탕으로 하고, 미국기상청에서 사용하고 있는 집중호우 발생기구를 중심으로 호우 인자를 선정하였고 이에 따라 호우사례에 대한 종합분석을 하였다.

다음은 집중호우의 조건을 대기불안정과, wind shear에서 비롯되는 원인으로 분류하고 다음과 같이 미국 기상청 호우 parameter 경계치를 설정하였다. 한편 기상청에서 사용하는 호우 potential 점검표에서 취급하는 호우인자에 대한 검증은 이번 연구에서는 논외로 하였다.

Table 3. Heavy rain Parameters of the American Meteorological Administration (atmosphere stability).

Parameter		A boundary value
Atmosphere stability	①500hPa vorticity advection	neutral or negative
		contours cross vorticity pattern≤30。
		contours cross >30。
	②Total Totals	<50
		50 to 55
		>55
	③Low-Level moisture (850hPa 노점온도)	<8℃
		8℃ to 12℃
		>12℃
	④850hPa max temperature field	East of moisture ridge
		Over moisture ridge
		West of moisture ridge
	⑤low level warmair advection	5 to 10℃/144 ㎞
		10~20℃/144 ㎞
		>20℃/144 ㎞
	⑥Height of WBZ above the surface	above 3.3 ㎞ below 2.1 ㎞
		2.7 ㎞ ~ 3.3 ㎞
		2.1 ㎞ ~ 2.7 ㎞
	⑦Surface dew-point temperature(지상 노점온도)	<13℃
		13℃ to 18℃
		>18℃

Table 4. Heavy rain Parameters of the American Meteorological Administration (a wind change).

Parameter		A boundary value
Wind change	⑧Middle levelJet / shear	<35kts / <15kts/144 ㎞
		35 to 50kts / 15~30kts/144 ㎞
		>50kts / >30kts/144 ㎞
	⑨Upper LevelJet / shear	<55kts / <15kts/144 ㎞
		55 to 85kts / 15~30kts/144 ㎞
		>85kts / >30kts/144 ㎞
	⑩Low LevelJet(LLJ)	<20kts
		21 to 34kte
		>35kts
	⑪Dirctional shear levels sfc to 500hPa	<30。/300m
		45。/300m
		>45。/300m
	⑫700hPa nochange line	winds cross line 20。
		winds cross line 20。 to 40。
		winds cross line ·40。
	⑬700hPa dry air 이류	not available or weak wind field
		winds from dry to moist intrude at an angle of 10。 to 40。 and are at least 15kt
		winds from dry to moist intrude at an angle of 40。 and are at least 25kt

D. 미국기상청 호우 parameter 적용 및 upper jet 동향

1997년 이후 5년간 한반도상에 나타난 집중호우 사례에 대하여 악기상이 나타난 지점에서의 시간 최대강수량이 나타난 강수 집중시각을 전후로 미국 기상청 호우 parameter를 적용하여 보았다.

총 56개 사례 중 47건은 매우 강한비(30 ㎜/h이상), 9건은 비교적 강한비(30 ㎜이하)로 요소별로 각각 분석하여 비교하였으며, 태풍의 동향을 upper jet streak의 흐름을 중심으로 사례별로 정리하였다.

1. 500 hPa vorticity advection

①500 hPa vorticity advection	neutral or negative
	contours cross vorticity pattern≤30。
	contours cross >30。

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 기압골 전면에 양의와도(저기압성 와도, 시계방향과 반대방향으로 회전) 그리고 기압능 전면에서는 음의와도(고기압성 와도, 시계방향과 같은 방향으로 회전)가 나타나며, 와도의 강도와 지역을 파악함으로서 저기압의 발달 정도를 파악할 수 있고, 제트류의 경우 북쪽에는 저기압성 와도가 남쪽에는 고기압성 와도가 존재하여 제트의 북쪽에서 호우가 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.

대부분 호우(56개)는 이 사례에 잘 적용되었다.

매우 강한비(30 ㎜이상/h) 가 있을 경우 80% 이상이 contours cross vorticity를 보였으나 보통 강한비 사례에 대하여는 33%에 그쳤다.

2001. 06. 24. 사례에서는 저기압성 와도가 500 hPa 선상을 따라 이류되어 남부지방으로 유입되는 상태를 Fig. 6 에서 보여주고 있다.

2001. 6. 24 jet streak(Table 5)의 동향을 보면 태풍(0102

"CHEBI")북상이 있으며 한반도 주변에는 경압대기를 보이고 있으며 취송거리 1,200 ㎞이상(50kts~Ridge까지)되는 남서류가 45° 의 각을 이루고 길게 남서~북서쪽으로 놓여 있다.

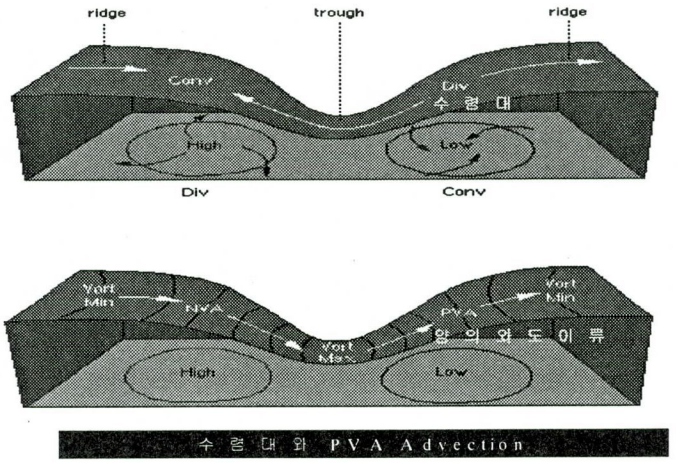

Fig. 5 A vorticity advection.

Table 5. A heavy rain case(June 24, 2001).

월 일	지 점	총강수량	강수 시각		200 ㎜ 이상 강수 지점수	시간강수
			시작	종료		
01. 06. 24.	남 해 (295)	343.0 ㎜	2001/06/22 23h	2001/06/25 03h	4	56.5 ㎜/h 15:00

악기상이 나타나는 지역은 jet streak 입구에서 남남서쪽 600~700 ㎞ 부근 남해상에서 집중호우가 있었으며 jet는 2002년 태풍 "라마순"(태풍북상과 같이 북상하여 북만주에서 버섯모양을 이룬 후 소멸하여 수렴대에 의한 추풍령의 강수이외에는 예상보다 중부지방에는 강한 강수가 없었음)과는 대조적으로 N 40° 이남에 강풍대가 위치하여 악기상이 초래 되었다.

2001. 6. 21 09h자료(Fig. 7)는 태풍전면에서 강수가 거의 발생하지

않았으나 한반도 상공을 동서로 횡단하고 있는 jet streak를 같이 표현하였다(태풍형 jet).

(a) (b)

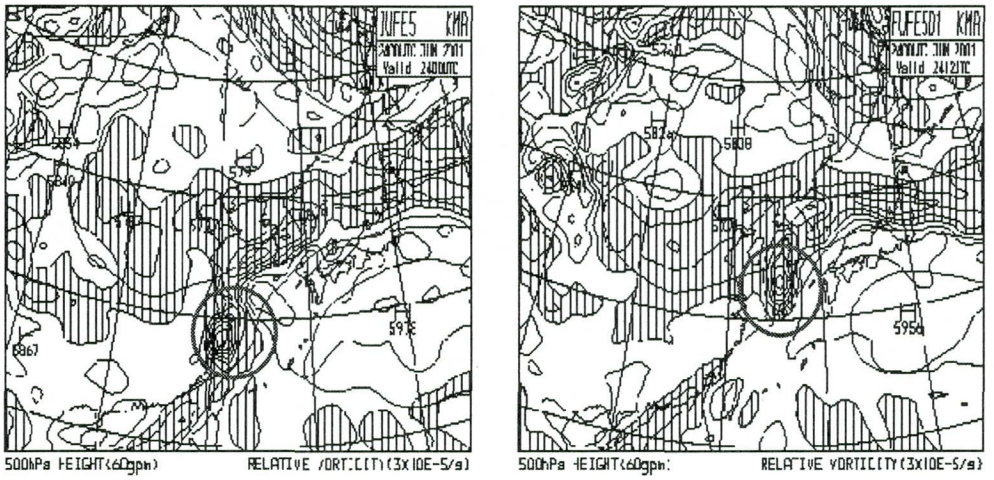

Fig. 6 Vorticity(June 24, 2001 (a): 09:00, (b): 21:00).

(a) (b)

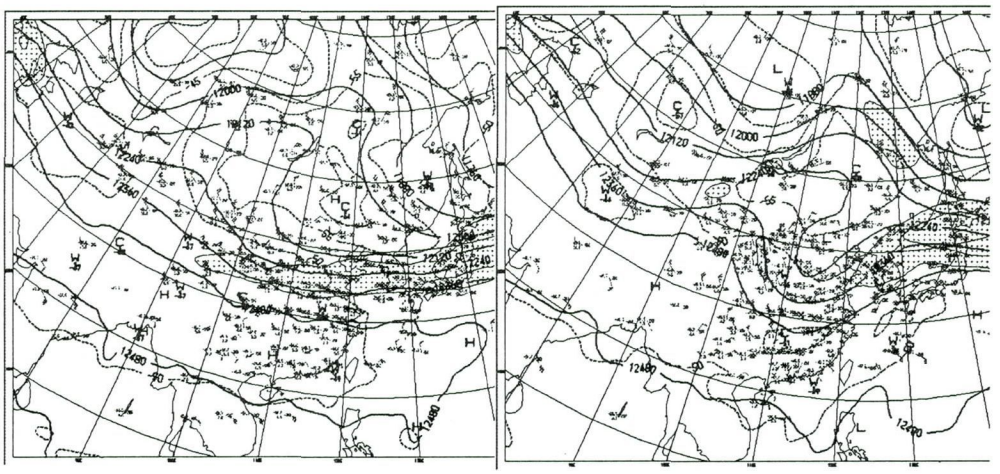

Fig. 7 A situation (June 24, 2001 09:00, 21:00).
Upper level jet 위치도((a) 2001. 06. 21. 09h, (b) 6. 24. 21h)
500 hPa 고도 등치선과 와도가 advection flow가 이루어지면 90°, Channel Flow가 나타나면 0°를 사용하였음.

2. Total Totals

②Total Totals	<50
	50 ~ 55
	>55

불안정지수로서 sweat index와, K-index, SSI index 등을 들 수 있다. 강한 대류잠재성을 평가하기 위해 연직기온 감률(VI, Vertical Totals Index)와 하층 수분(CT, Cross Totals Index) 효과를 합친 것으로 TTs는 연직 Total(Vertical Total. VT) = 850 hPa temp. - 500.hPa temp. 와, 교차 Total(Cross Total, CT) = 850 hPa Dew temp. - 500 hPa temp.로서 총 Totals(Total Totals, TTs) = VT + CT로 표현된다.

지상에 근거한 LI(Liftsed Index)는 하층 습도를 잘 표현해 주고 있으며 기단이 따뜻하고 습할 때 불안정 지수는 비슷한 결과를 보여주나 total index는 특히 상층공기가 더욱 냉각되거나 건조해질 때 잠재적 불안정을 잘 묘사하고, 하층 가열과 습도보다는 상층공기가 매우 냉각되어 나타나는 지역에서는 total totals가 뇌우시 강도와 발생을 예측하는데 더욱 도움이 될 수 있다. 즉, 하층으로부터 열과 수증기가 있고 상층의 냉각이 일어나고 있는 상태를 잘 표현하고 있다(기온감률이 크고, 하층 수분원이 있으며 500 hPa 온도가 낮을 때 높은 기온감률은 하층 수분의 공급 없이도 높은 TT를 만들 수 있음.).

다음은 미국기준에서 사용하고 있는 TTs 기준이다.

o TT > 50 : 약간의 심한 뇌우와 토네이도 발생가능성

o TT > 52 : 산발적인 많은 뇌우, 약간의 토네이도

o TT > 55 : 많은 뇌우, 산발적인 토네이도

Table 6. A heavy rain case(August 03, 1997).

월 일	지 점	총강수량	강수		200㎜ 이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
97. 08. 03.	강 화 (201)	488.0	1997/08/03 05h	1997/08/04 18h	7	광주 70.3 ㎜/h 강화 101.0 ㎜/h 17:40

호우사례에서 TTs 평균은 지수 44를 보였으며 분석결과 범위는 35~51을 보였다.

1997. 8. 3 사례(Table 6)는 Fig. 8에서 지수 51을 보인 사례다.

미국 기상청의 지수는 한국 호우 또는 뇌우 기준에서 너무 높은 값을 요구하고 있다. 따라서 한국형 호우지수는 지수 평균값이 44를 기준으로 추정구간을 구분하는 것이 타당할 것이다. 따라서 호우 경계지수 구간을 40 이하, 41~47, 48 이상이 판정값으로 적합할 것으로 사료된다.

(a) (b)

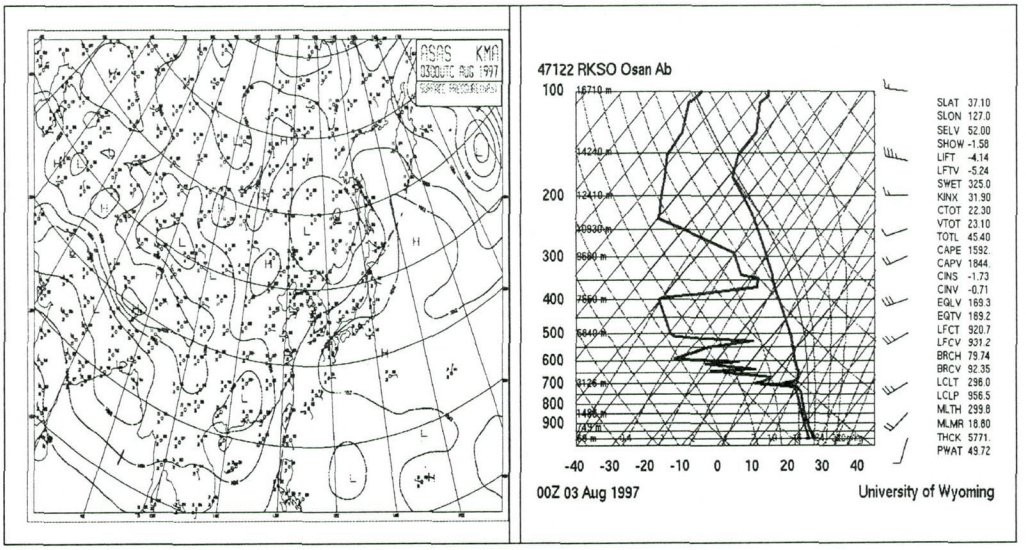

Fig. 8 (a) Ground weather chart and (b)TTS Index (1997 August 03th 09:00).
Fig. 8은 www.weather.uwyo.edu/upper air/sounding.html의 Skew T - Log p Diagram에서 분석한 결과를 참조하였음.

1997년 8월 2일 밤까지 전국에 10 ㎜ 내외의 강수를 보여 전형적인 여름철 북태평양 고기압 가장자리에서 불안정에 의한 강수현상이 나타났으나 8월 3일 jet streak의 동향을 보면 북태평양 고기압의 가장자리에서 화북지방에서 동쪽으로 4,000~5,000 ㎞인 장파(로스비파)를 따라 거의 같은 모양으로 유지하면서 동진해 왔다. 두 일기도의 다른 점은 jet streak의 12360 gpm line이 40° N까지 남하하였으며 jet streak 입구에서 남남서쪽(강할 경우와, 기울기가 큰경우는 남서쪽으로 이동하는 경향) 약 600 ㎞정도에 해당하는 지점에 시간당 100 ㎜가 넘는 강수가 있었다. 또한 jet의 수평기울기도 45° 에 달하였다(로스비형 jet).

(a) (b)

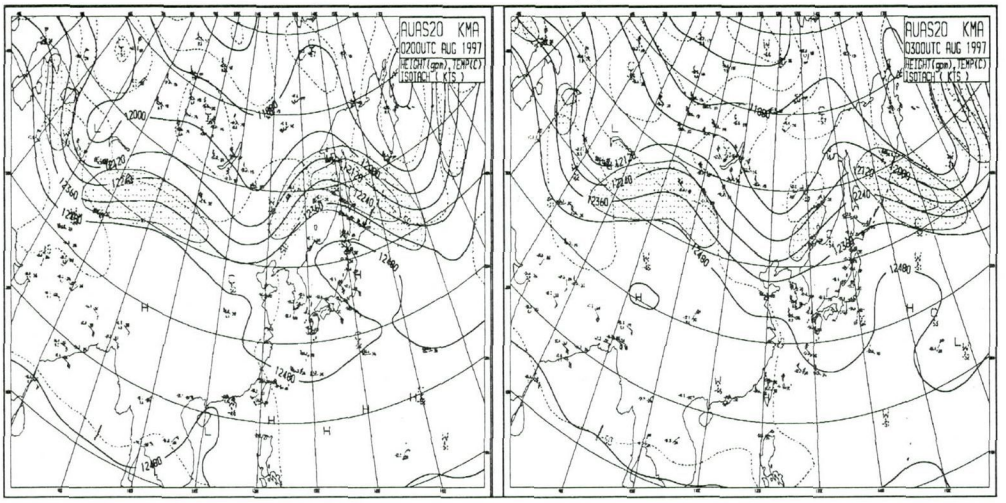

Fig. 9 A upper level Jet situation(1997 August (a)02th, (b)03th 09:00).

3. Low-Level moisture(850 hPa 노점온도)

③Low-Level moisture (850 hPa 노점온도)	<8 ℃
	8 ~ 12 ℃
	>12 ℃

습하고 따뜻한 공기가 850 hPa 면 하층에서 이류 되면, 대기 자체는 매우 불안정해지며, 뇌우가 발생하기 쉽다. 특히 상층에 차고 건조한 공기가 위치하고 있을 때, 하층 제트의 흐름이 온난전선과 교차할 때 매우 활발할 대류현상이 발생하며 심한 악기상이 나타날 가능성이 매우 크다.

Table 7. A heavy rain case(August 08, 1998).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 08. 08.	양 평 (202)	471.5 ㎜	1998/08/05 12h	1998/08/09 10h	3	76.5 ㎜/h 04:40

악기상이 출현한 지점에서의 850 hPa 일기도에 나타난 노점온도는 호우사례 전체의 평균값은 15.4℃를 보였으며, Table 7에서는 850 hPa 노점온도가 22℃인 사례로서 조사한 호우사례 중 노점온도가 최고치를 보였다.

조사자료의 발생 분포가 평균값이상에 발생하고 있어 미국기상청 자료보다 추정구간을 현재의 구간 범위보다 3~5℃ 상향 조정해야 할 것이다. 즉 한국형 호우에 추정구간 설정은 12℃ 이하, 12~18℃, 19℃ 이상으로 할 때 호우 발생조건에 잘 적용될 것으로 판단된다.

(a) (b)

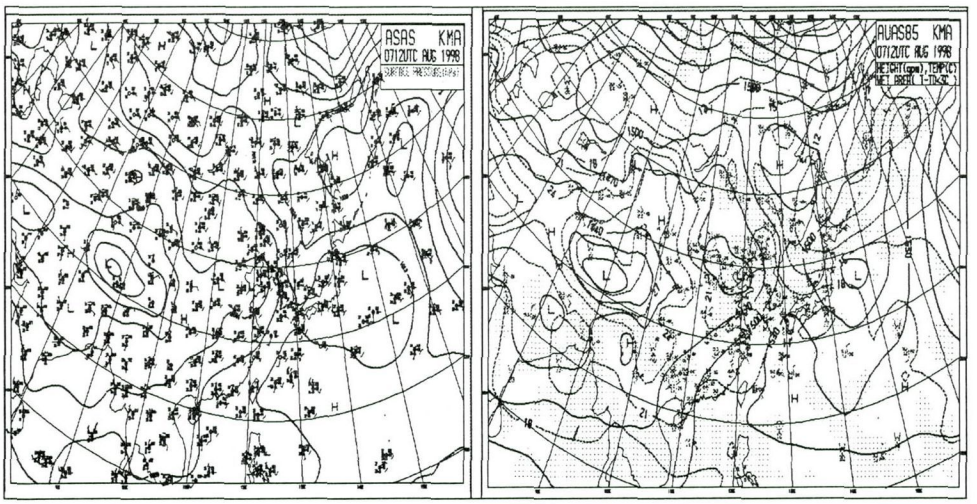

Fig. 10 (a) Ground weather chart and (b) 850hPa wether chart(August 07, 1998 21:00).

Jet streak 동향 : '98. 8. 7. 자료(Fig. 10)에 의하면 태풍(9802 "Otto")가 강한 북태평양 고기압의 영향을 받아 8. 5. 중국화남으로 진출한 후 발달한 저기압이 양자강에서 발해만으로 진출하고 있어 집중호우가 예상되고 있었으며 이 저기압은 북반구에 가서 동쪽으로 진출하지 못하고 소멸되었다. Jet streak는 강하지 않았으나 사행 발달형으로 발해만(뤼따)의 서풍 40 kts에서 남남서풍 75 kts로 풍속이 급속히 증가하여 jet streak 중심이 서해상에 생성 위치하였다. Jet의 특징은 강한 북태평양 고기압이 일본 동쪽에서 blocking 되면서 서해상에서 jet도 사행하고 풍속이 급속하게 증가하면서 발생되었다는 점과 조사 대상중 수평기울기가 거의 80° 에 달하고 있는 것이 특징이다. Fig. 11에서 악기상 발생지역은 변곡점(저기압성 곡률과 고기압성 곡률이 만나 번화가 없는 지점)에서 jet streak 중심이 관측되었다.

악기상 발생지역과의 관련성을 보면 수평기울기가 크고 wind shear가 발해만 부근에서 35 kts 이상 급속하게 증가하였고, jet 변곡점 아래에서 남남서쪽으로 500~600 ㎞ 부근에 악기상이 발생하였다(blocking jet).

(a) (b)

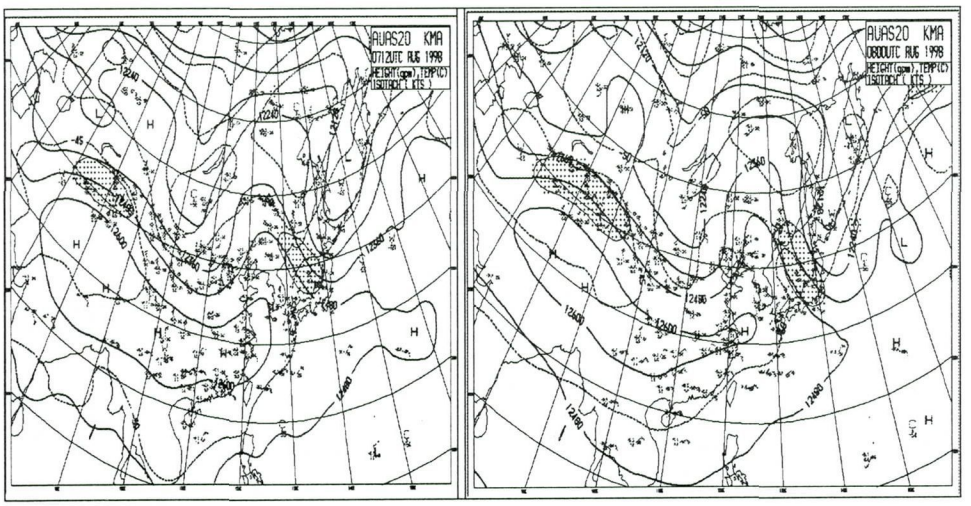

Fig. 11 A upper level jet situation(1998 August 07th (a)21:00, (b) 08th 09:00).

4. 850 hPa max. temperature field

④850hPa max temperature field	East of moisture ridge
	Over moisture ridge
	West of moisture ridge

하층의 수증기가 증가한다는 것은 상승에 의해 응결이 이루어지면 현열이 증가함을 의미한다. 안정도의 변화는 수증기의 생성과 소멸에 의한 연직 수증기 기울기와 관련이 있으며, 불안정은 고도에 따라 수증기의 유입량이 감소하거나 고도에 따라 건조도가 증가함을 의미한다.

Table 8. A heavy rain case(July 29, 2001).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
2001. 07. 29.	인 천 (112)	251.4 ㎜	2001/07/29 02h	2001/07/31 18h	3	83.5 ㎜ 04:36

미국기상청 호우 parameter에는 악기상이 유발될 수 있는 조건으로 moisture ridge에서 서쪽에 warm이 위치하는 경우에 강한 집중호우로 추정하였다.

본 조사사례 56건 중에서 호우 potential이 증가한 사례는 50%였으며, 2001년 7월 29일 사례까지 총 45개가 넘어 90%가 잘 적용이 되었다. 그러나 남서류의 하층 jet이 유입될 때 warm이 남쪽에 위치할 경우('01.6.24)가 있어 잠재에너지 유입 증가하였고, 잠재에너지 유입은 최대, 잠재에너지 유입은 없으므로 구간을 구분 설정하는 것도 바람직 할 것이다.

Fig. 12는 6.28. 21h 850 hPa 일기도에서 잠재 에너지 유입이 증가하고 있는 사례(moisture ridge 서쪽)이다.

(a) (b)

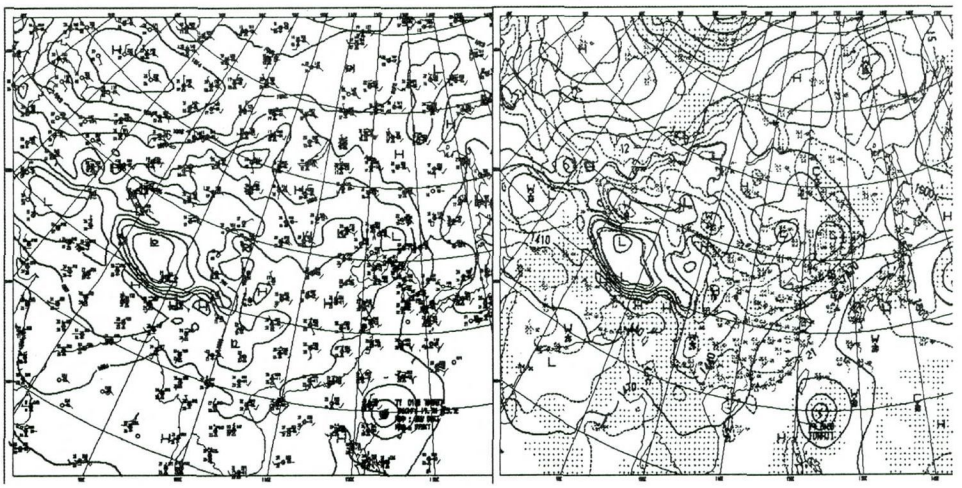

Fig. 12. (a) Ground weather chart and (b) 850 hPa weather chart(2001 June 28th 21:00).

Fig. 13에서 jet streak 동향을 살펴보면 발달한 태풍(0108 "Doraji")이 북상 중(대만부근)에 있었으나 버섯모양을 한 jet streak이 북만주(43° N 부근)에 위치하다가 깔대기형으로 모양이 바뀌면서 변곡점이 40° N, 120° E를 지나갈 때 서울 및 인천지방에 집중호우가 발생하였다.

특징은 jet의 변곡점 부근에서 수평기울기가 35° 정도 급격히 증가하여 악기상이 유발되었고 발생지점은 변곡점이 있는 위치에서 500 ㎞ 남남서쪽에서 나타났다(깔대기형 jet).

(a) (b)

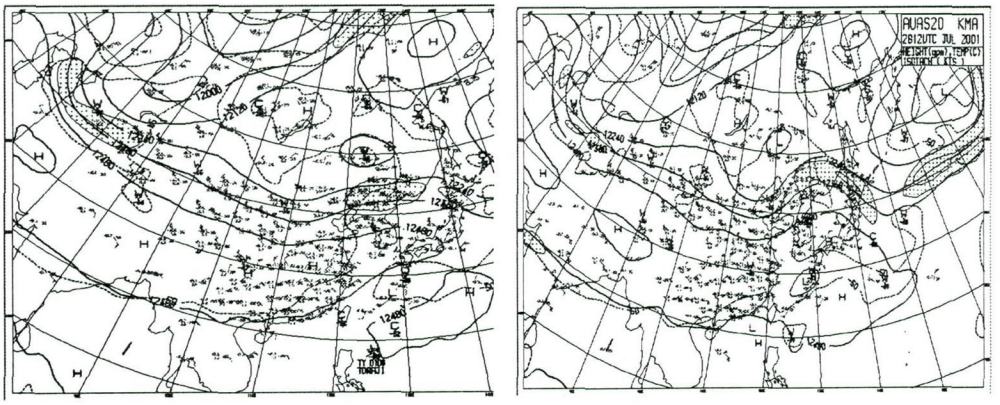

Fig. 13 A upper level jet situation(2001 June 28th (a)09:00, (b)21:00).

적용 시 유의할 점은 850 hPa에서 악기상 지점을 중심으로 수증기역이 형성되어 있을 때 이 위치와 기류과 불어오는 쪽, 즉 난역의 최대값 위치를 말한다.

5. low level warmair advection

⑤low level warmair advection	5 to 10℃/144 ㎞
	10 ~ 20℃/144 ㎞
	>20℃/144 ㎞

하층 난기 이류는 상승류를 유발하는 가장 주요한 인자이다. 난기 이류의 가장 큰 변화가 나타나는 지역은 매우 중요하다. 앞에서 암시하는 것과 같다. 하층 기온능은 종종 매우 큰 기온 감률을 가지고 있으나, 습도의 양은 적다. 반면에 풍하측에서 하층 습도축은 종종 상당한 조건부 불안정을 가지고 있다. 따라서, 두 지역이 겹쳐지며, 매우 강한 대류의 잠재력은 상당히 크다. 고산지대에서 온도능의 형성되어 저지대로 이동하였으며 상층 혼합층이 형성된다. 이러한 기온 구조는 거대세포와 토네이도 발달에 중요한 역할을 한다. 건조한 공기가 습한 공기층 위로 이류하기 때문에 매우 강한 기온 감률을 유지할 수 있는 것이다.

Table 9. A heavy rain case(July 29~30, 1999).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
1999. 07. 29(30).	통 영 (162)	453.5 ㎜	1999/07/29 05h	1999/07/31 06h	4	86.5 ㎜ 00:30

악기상이 발생한 사례 조사에서 평균 4.2℃를 보였다. 따라서 미국 호우 parameter 기준경계치보다 상당히 낮은 기온차이를 보였다. 이런 현상은 상대적으로 미국 기상환경보다 노점온도 등이 높아 기온경도에 덜 민감한 것으로 보인다. Table 9 사례에서 advection의 정도를 나타내는 기온이류 정도

치가 1℃에서 13℃까지 나타났다. 따라서 한국형 호우 parameter에 적용할 때에는 추정값을 하향하여 2 이하, 3~7, 8 이상으로 하는 것이 바람직 할 것으로 사료되며, 온난이류의 개념에서 현재의 144 ㎞ 범위 내에서의 온난이류의 차로 정의하고 있으나 이렇게 할 경우 기온의 이류정도가 1~2℃ 범위 안에 모두 위치하게 되어 조사의 의미를 부여할 수 있을지 의문이다. 따라서 이항목은 "호우가 발생할 가능성이 있는 양쪽(cold, warm) 기단 사이의 기온차 " 로 정의 하는 것도 생각해 볼 수 있겠다.

다음은 1999년 7월 29일 사례로서 warm 이류가 13℃로, 조사한 사례 중 가장 높은 기온이류 사례를 선정하였다.

발달한 태풍(9907 "Olga")가 북상 중이었으며 그 전면 수렴대가 남해상을 지나가는 가운데 중국 내륙에 고온 건조한 공기가 광범위하게 자리하면서 서풍류를 타고 우리나라로 유입되고, 700 hPa에서 동해와 남해상으로 길게 연결된 한랭하고 습한 기단이 위치하여 60 ㎜의 강수가 있었고, 남부는 100~220 ㎜의 강수를 보였다.

Fig. 14에서 jet streak 동향을 살펴보면 바이칼호 남쪽에 남동진하고 있는 polar jet stream line는 47° N, 120° E에서 기압곡을 이루면서 북만주 변곡점 부근에는 80 kts의 jet streak이 관측되었으며 이 지점으로부터 1,300 ㎞정도 남남서쪽에 있는 악기상지역과 강수 관련성을 제기하기는 문제가 있어 보인다. 따라서 upper level jet의 흐름을 다시 분석하면 북만주 부근에서 주세력은 북동방향으로 변환하였고, 또 하나의 축은 중국 해안선을 따라 25 kts를 유지하면서 남동남진하면서 분리되고 있는 것이 특징이다. 따라서 우리나라는 그 사이에서 발산장이 형성되었을 것으로 추정할 수 있다.

Fig. 15 사례는 jet streak 만으로 집중호우를 설명하기는 어렵고, 850 hPa의 난기와 700 hPa의 한랭건조한 공기의 남해상 위치, 하층의 수증기 통로 형성 등 복합요인으로 설명할 수 있겠다(해드 분리형 jet).

적용시 유의사항은 850 hPa에서 악기상이 나타난 지점을 중심으로 난기류가 유입되는 28~42° N, 110~130° E 사이에서의 기온의 최대 편차를 의미한다(양 기단의 온도차).

(a) (b)

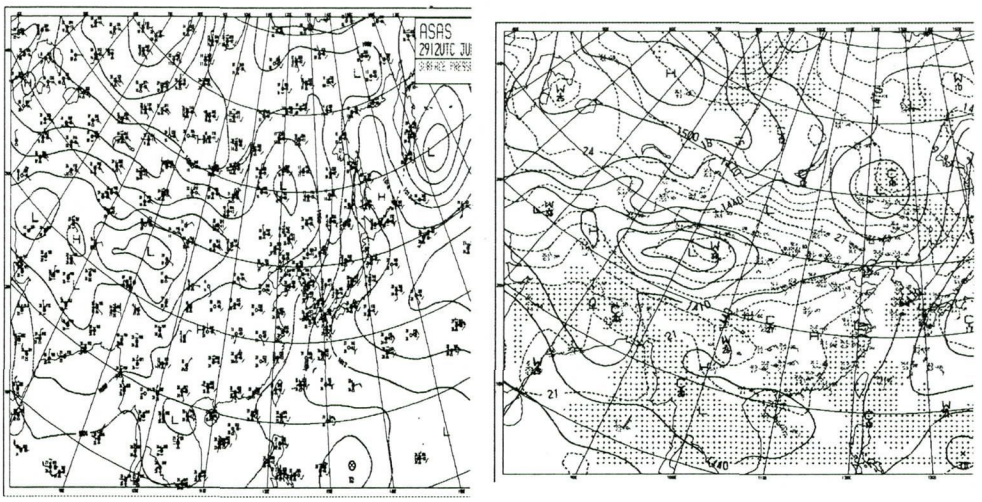

Fig. 14 (a)Ground weather chart and (b) 850 hPa wether chart(1999 July 29th 21:00).

(a) (b)

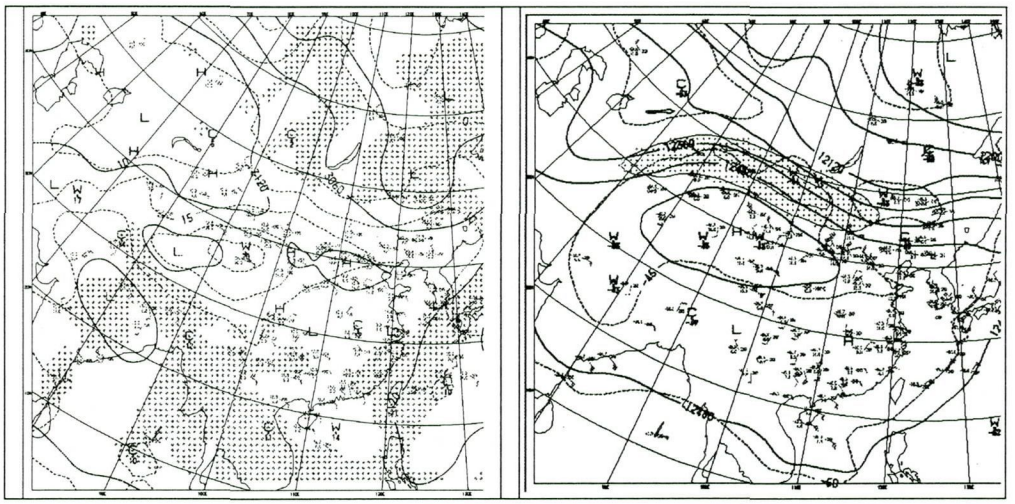

Fig. 15 (a)700 hPa and (b)upper level jet situation(1999 July 29th 21:00).

6. WBZ의 고도

⑥Height of WBZ above the surface	above 3.3 ㎞ below 2.1 ㎞
	2.7 ㎞ ~ 3.3 ㎞
	2.1 ㎞ ~ 2.7 ㎞

습구온도(wet-bulb-zero) 0℃(WBZ)가 3.3 ㎞(11,000 fts) 이상의 경우에는 gust가 거의 없었으며, 2.1 ㎞(5,000 fts) 이하인 경우에도 뇌우는 발생하였으나 우려할 만한 뇌우에 의한 돌풍현상이 거의 발생하지 않았다. 뇌우와 돌풍도 역시 WBZ가 지상에서 2.7 ㎞~3.3 ㎞에 이를 때 지상에 도달하는 것을 예보할 수 있다. 토네이도는 WBZ가 2.1 ㎞ 이하이거나 3.3 ㎞ 이상에서도 보고되었지만 지상 우박과 같이 상당히 적거나 생애가 매우 짧았다. 가장 요란하고 지속적이고 여러 개가 동시에 발생하는 경우는 WBZ가 2.4 ㎞(8,000 fts) 근처에서 나타난다.

Table 10. A heavy rain case(July 30, 1998).

날짜	지 점	총강수량	강수		200㎜이상 도달지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 07. 31.	순 천 (256)	232.5 ㎜	1998/07/31 12h	1998/08/01 08h	5	145.0㎜ 21:50

Table 10. 사례를 조사한 결과 전체사례의 매우 강한 비의 평균은 4.4 ㎞를 보였고 강한 비에는 평균 4.0 ㎞에서 나타났으며, 매우 강한비의 조사된 범위는 3.1~5.5 ㎞사이에서 집중호우가 발생하는 것을 보였고 강한비 사례의 범위는 2.6~5.1 ㎞에서 나타났다. 아래 사례는 시간당 가장 많은 강수량을 보인 지리산(순천 145.0 ㎜) 집중 호우사례에서 WBZ는 5.5 ㎞로 나타났다. 또한 시간당 100 ㎜ 집중호우시에는 모든 사례에서 WBZ이 5 ㎞이상으로 나타났다(강화 98. 8. 6. 123.5 ㎜, 부여 99. 9. 10. 116.0 ㎜, 강화 97. 8. 3. 101.0 ㎜ 사례 등).

'98. 7. 31. 밤 순천 집중호우는 다른 지역에는 강수가 없었으며 순천지역만 남서에서 북풍의 유입이 될 때 집중적으로 내린 사례이다. 따라서 WBZ 호우 경계를 3.0 ㎞, 3.1 ㎞, 4.4 ㎞, 5.5 ㎞로 분류할 수 있다.

(a) (b)

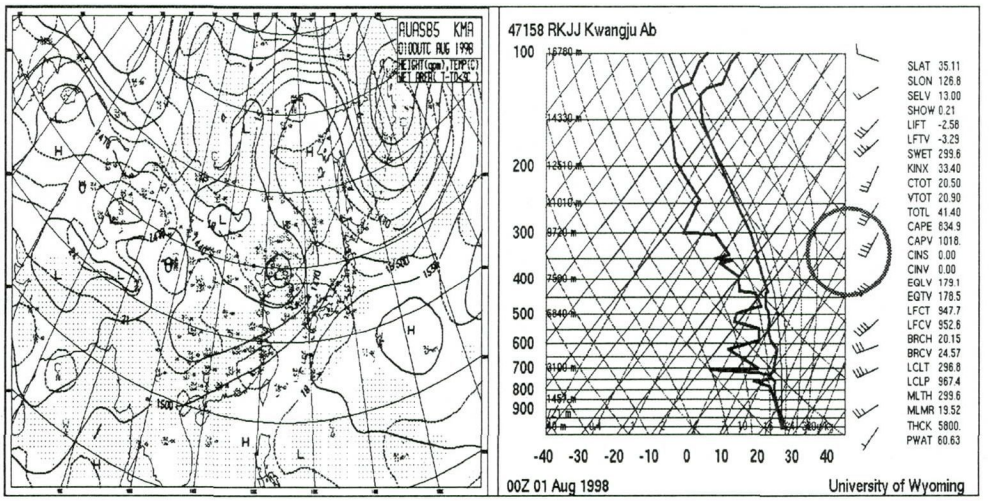

Fig. 16 (a)850 hPa and (b)500 hPa weather chart (1998 July 31th 21:00).

Fig. 17에서 jet streak 동향을 살펴보면 7월 31일 200 hPa 일기도 자료에 45° N, 125° E 위치의 만주지방에는 80 kts jet streak이 관측되고 있으며 45° N, 125° E를 넘지 않는 위치에서의 jet stream 변곡점에 해당하는 75 kts 이상의 jet streak이 북만주에 나타나고 있다.

이 지점으로부터 남남서쪽 약 600 ㎞부근 지점인 전남 내륙에 악기상이 나타난 것으로 해석할 수 있다. 또한 북쪽의 차가운 기단을 남쪽으로 운반한 수송수단으로 작용하였다.

이 사례의 강수특성은 LLJ이 12시간 전부터 30~4 kts로 온난지역에서 상대적으로 한랭한 북쪽기단으로 유입(23℃ → 17℃)되었으며, 700 hPa의 고온 건조역이 25 kts로 남동방향에서 저기압 시스템으로 불어들고 있었다.

Jet가 강하지 않는 상태에서 남쪽에서 불어오는 하층의 온난다습한 기단과 남동쪽의 건조역 침입, 북쪽 한랭한 기단 위치에 의한 500 hPa thermal trough 형성(한핵 −13℃) 등의 복합적인 원인으로 발생한 사례로 분석할 수 있다(한기 유입형 jet).

(a) (b)

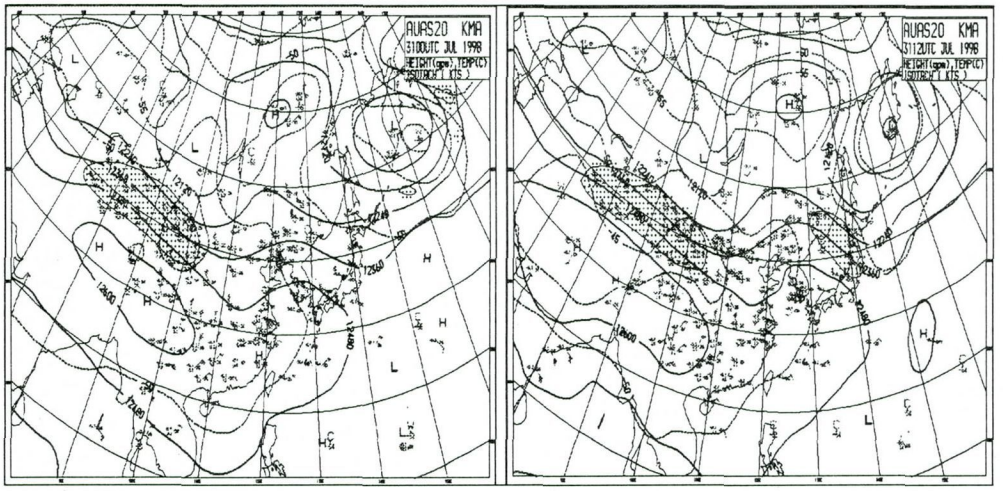

Fig. 17 A upper level jet situation(1998. July 31th (a)09:00, (b)21:00).

적용시 유의사항으로는 습구온도가 0℃가 되는 고도 값이며 현업에서는 노점온도가 0℃ 이 되는 값의 고도를 말하기도 한다.

7. 지상의 노점온도(surface dew-point temperature)

⑦Surface dew-point temperature (지상 노점온도)	<13℃
	13 ~ 18℃
	>18℃

습윤장의 경우 기상관측망에 의한 감시가 어려우므로 예보하기 어려운 기상요소 가운데 하나로서 대기 중의 수증기 함량은 다양한 과정으로 빠르게 변화하기 때문에 현업에서 정확하게 추적할 수 없는 항목이다. 건조공기의 상승은 구름이 형성되지 않으므로 지면까지 일사가 도달하여 대기의 온도를 높이므로 불안정해진다. 방아쇠를 당겨 대류가 시작되면 높은 구름으로 발달하도록 지속적으로 다량의 수증기가 공급되게 된다. 대기하층에서 moisture tendency도 상승하는 공기덩어리의 잠재불안정을 증가시켜 소위 "불난 곳

에 기름을 붓는 격" 이 된다.

Table 11. A heavy rain case(August 30, 1998).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 08. 06.	강 화 (201)	747.5 ㎜	1998/08/05 11h	1998/08/09 14h	3	동두천451 ㎜/day 123.5 ㎜ 00:30

조사 결과 지상 노점온도는 지상 Td가 13℃ 이하인 경우 발생이 매우 드물었으며 보통 강한 비에서의 노점온도는 24~26℃ 사이 값이었다.

Table 11의 강화 사례에서는 지상 노점온도는 25℃를 보이고 있으며 사례의 평균 노점온도는 21.8℃를 보였다. 따라서 경계치는 상향하여 17℃이하, 17~22℃, 23℃이상으로 구분할 수 있다.

Fig. 18에서 jet streak 의 동향을 살펴보면 '98. 8. 6. 사례에서 상층 jet가 강하지 않았으며 발해만 부근에는 jet streak 가 발생하여 남서류가 75 kts로 북쪽으로 형성되었으나 강수강도가 강한 시각부근의 8월 5일 21h 200 hPa 일기도 자료(Fig. 19)를 참고하면 오산지방에는 북서류가 30 kts로 N 40° 선상에 36시간 전부터 계속 유지되었다가 약해졌다. 따라서 주축은 소멸되고 강풍대가 북향성분과 남향성분으로 나누어지는 과정에 있었다. 따라서 호우가 발생한 지역에는 상층 발산장이 형성되었으리라 추정할 수있다(해드 분리형 jet).

(a) (b)

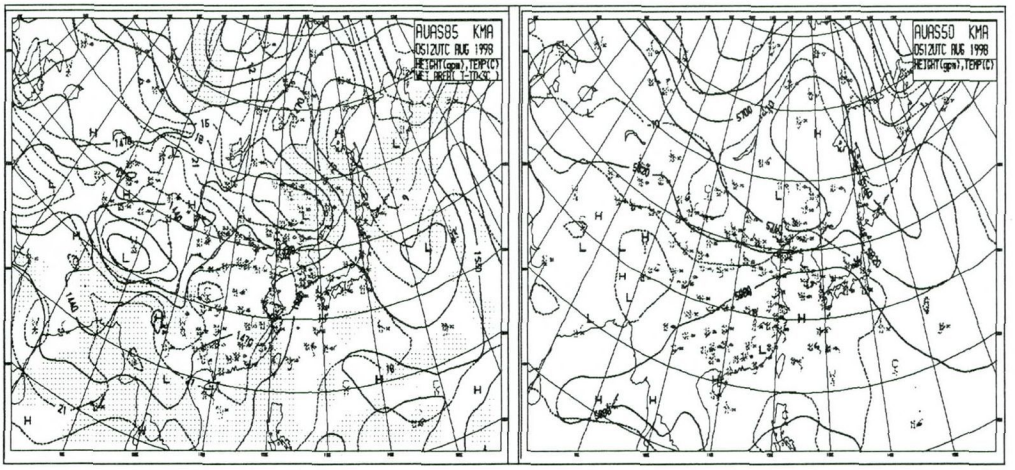

Fig. 18 (a)850 hPa and (b)500 hPa weather chart (1998 August 05th 21:00).

(a) (b)

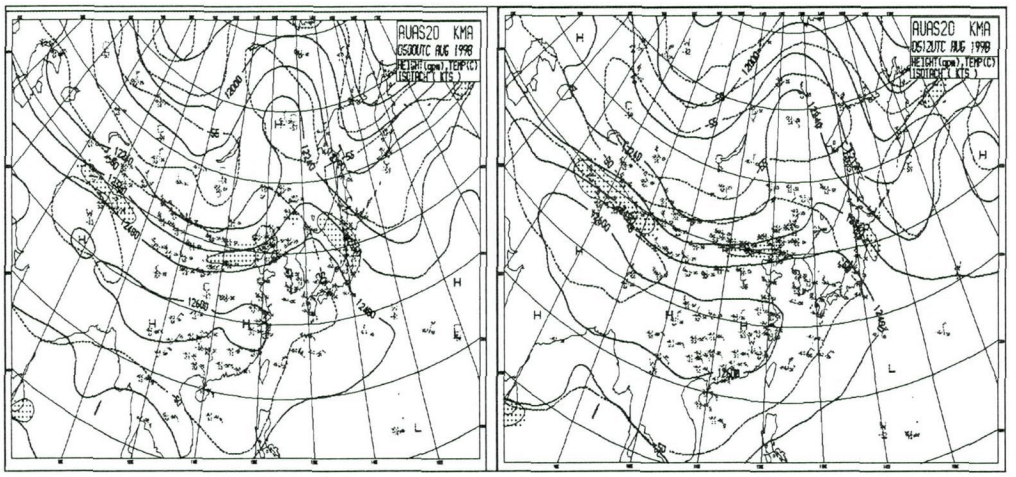

Fig. 19 A upper level jet situation(1998 August 05th (a)09:00, (b)21:00).

적용시 유의사항으로는 악기상이 출현한 지점에서의 지상 일기도에 나타난 노점온도 값이다.

8. Middle levelJet / shear

⑧Middle leval jet / shear	<35 kts / <15 kts/144 ㎞
	35 ~ 50 kts / 15 ~ 30 kts/144 ㎞
	>50 kts / >30 kts/144 ㎞

Fig. 20에서 상층jet와 하층 jet가 교차하는 지역도 중규모 기압계를 발달시키고 뇌우의 활동을 증가시킨다. 바람이 veering 하면서 풍속이 증가하면 할수록 심한 악기상 발달 가능성이 더욱 커진다.

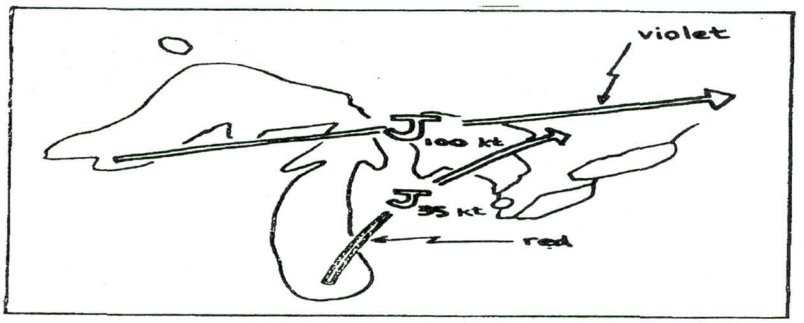

Fig. 20 Relationship with jet streak and low jet(Hong-Yun).

Table 12. A heavy rain case(July 15, 2001).

월 일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
01. 07. 15.	서 울 (108)	310.1 ㎜	2001/07/14 13h	2001/07/15 14h	3	99.5 ㎜ 02:10

Table 12. 사례에서 500 hPa 강풍대는 60 kts를 보였으며, 호우사례의 평균 middle jet의 풍속범위는 25~80 kts에서 나타났다. 또한 모든 사례를 종합 평균해 보면 40 kts 이상의 강풍대를 보였다. 또한 wind shear는 사례 에서 10~35 kts를 보였고 2000. 9. 16의 경우 태풍 사오마이의 북상에 따라 55 kts의 매우 큰 shear를 보였다.

Fig. 21에서 jet streak 동향을 살펴보면 streak 의 강도는 95 kts를 나타내었으며 악기상 발생 지역에도 55 kts의 강풍을 보였고, 악기상 지점 부근 백

령도 자료에는 수평 기울기(경도)가 75° 이상으로 거의 수직형으로 남쪽의 난기가 jet의 강풍대에 의해 상층으로 강하게 펌핑되는 펌핑형 jet 가 형성되었다.

Fig. 22 에서 보듯이 jet streak 이 나타나는 지점에서 바로 아래 500 km 부근에 위치한 서울이 공격의 목표점(target)이 되었다(펌핑형 jet).

(a) (b)

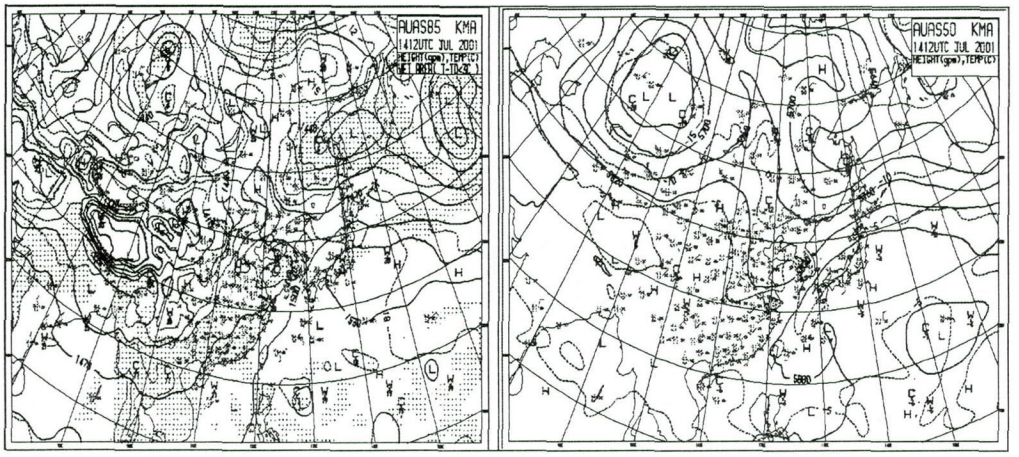

Fig. 21 (a)850 hPa and (b)500 hPa weather chart (2001 June 14th 21:00).

(a) (b)

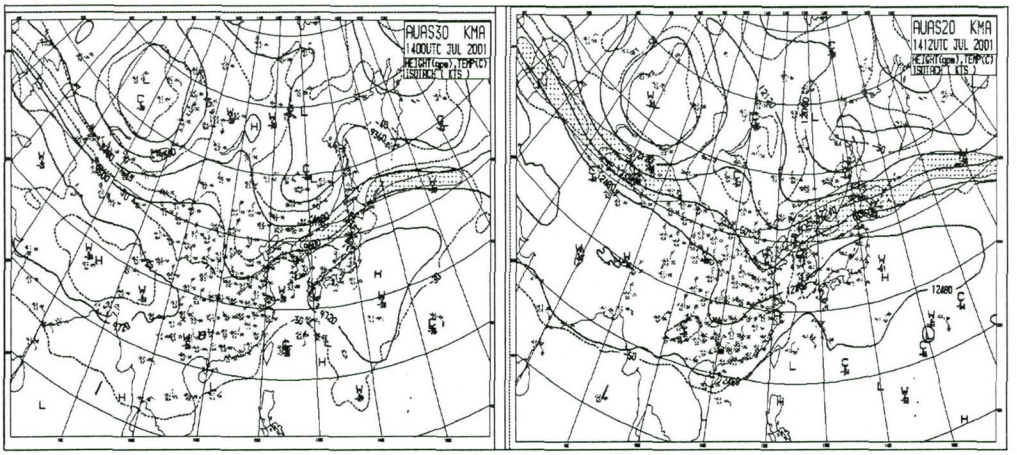

Fig. 22 A upper level jet situation(2001 June 14th (a)09:00, (b)21:00).

적용시 유의사항으로는 악기상이 발생한 날의 500 hPa에서의 jet streak

의 풍속을 활용하고 shear는 강풍대 지점과 144 ㎞ 범위 내에서의 풍속의 편차로 한다(본 연구에서는 악기상 발생지역으로 함).

*참고: 강수와 연결되는 시스템이 다가오는 쪽(30~40° N, 120~130° E)으로의 강풍속도를 가리키며 악기상 지점과의 편차임.

9. Upper level jet / shear

⑨Upper level jet / shear	<55 kts / <15 kts/144 ㎞
	55~ 85 kts / 15 ~ 30 kts/144 ㎞
	>85 kts / >30 kts/144 ㎞

o Upper jet streak과 호우 잠재에너지와의 관계

-Jet stream 안에 풍속이 증가하는 지역을 jet streak 라하고 일반적으로 주변 풍속보다 서서히 움직인다. Jet streak은 다음과 같은 하층 수렴에 의한 상층 발산장의 형태를 이루며 저기압성 와도이류가 있는 지역에서 악기상이 발생한다.

-Jet Steak의 일반 특성을 보면 jet는 남북의 온도경도가 큰 지역에서 생성된다. 즉 850 hPa의 온도가 남북으로 크게 발생하면 그 지역에서 상층 jet가 발달하는 것으로 알려져 있다. 발산지역은 jet역 에서 북향성분의 풍속이 다소 증가하고, 남향성분의 풍속이 다소 감소한다. 이와 같은 부가적인 발산은 절대와도 이류에 의한 것이다. 상층의 유출성 바람 패턴은 발산지역과 잘 연계되며 발산역은 상층 강풍대가 갈라지는 지역에 위치하며 등치선 패턴과 바람 관측자료에 의해 구분할 수 있다. 한편 직선 jet는 입구의 오른쪽, 출구의 왼쪽, 곡선 jet는 고기압성 흐름에서 입구의 오른쪽, 저기압성 흐름에서 출구의 왼쪽에서 악기상이 발생한다.

Jet에 의한 2차 순환 모식도는 Fig. 23과 같다.

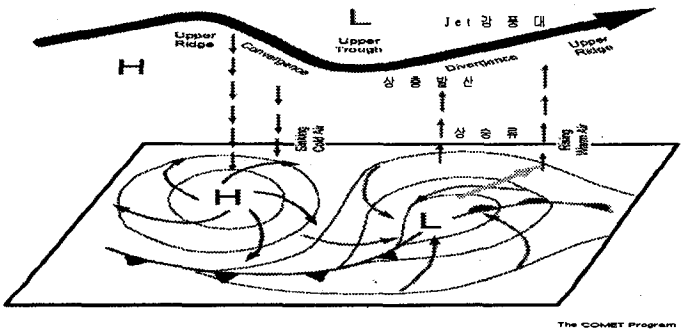

Fig. 23 The second circulation model picture by jet.

Fig. 23.에서 보면 저기압의 중심부근 상층에 Jet가 상층으로 지나고 있으며 이곳에서는 강한 상승류가 유발되는 것은 잘 알려져 있다.

Table 13. A heavy rain case(September 30, 1998).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 09. 30.	포 항 (138)	611.9 ㎜	1998/09/28 11h	1998/10/01 04h	4	93.4 ㎜ 16:20 *고흥 81.0 ㎜

Table 13에서, 포항의 시간당 최고 93.4 ㎜를 기록한 사례는 Fig. 24 에서 90 kts의 강풍축이 40° N 부근에 위치하였고, 포항의 풍속자료와 강풍대와의 shear가 20 kts를 보였다.

사례에서는 55개 모든 사례에서 강한 상층 jet streak 이 나타났다. 즉, 50~60kts의 강풍대는 3개 사례에서 나타났으며 75 kts 이상 강풍대는 52개 사례에서 나타났다. 55 kts 이하는 98. 07. 26. 대관령 사례에서 50 kts/25 kts를 보였고 시간당 강수 16.6 ㎜로서 강도가 약하게 나타난 사례이며 02. 7. 23. 서울에 호우주의보가 발표되었으나 기준에 미달된 사례로서 110 kts를 보였으나 22. 21h 종관장에는 강풍대가 나타나지 않았다.

또한 01. 07. 23, 98. 08. 04, 00. 07. 23, 02. 07. 23의 사례에서도

각각 80~90 kts 강풍대를 보였고, shear도 30~60 kts를 보였다.

Fig. 24에서 jet streak 의 동향을 살펴보면 98. 9. 30. 태풍(9809 "YANNI")이 북상중인 가운데 9월 29일에 서귀포, 제주 및 무안지방에 집중호우가 발생하였고 9월 30일에는 남해안과 경남 동해안에 발생하였다. 태풍의 북상과정에서 jet가 생성되면서 많은 강수가 내렸으며 jet 강풍대 70 kts가 발생하고 그 지점 아랫쪽 남동쪽으로 약 600 ㎞지점에 위치한 남서해안지방으로 강수가 집중되었다.

Jet가 생성되는 시점에서 강풍축이 40° N 이남에 위치할 경우 강수는 남해안에 집중되며, 또한 일반적으로 jet streak이 발생하여 위치한 지점으로부터 남쪽 400 ㎞가 집중호우지역으로 알고 있었지만, Table 13 사례를 보면 남남동쪽 500~600 ㎞부근에 악기상이 초래되고 그 기울기가 75° 를 넘으면 200 ㎜이상, 시간당 30 ㎜ 이상의 집중호우를 검토 할 수 있을 것이다.

이 사례의 jet 특징은 200 hPa과 300 hPa에서의 강풍대 상하차가 최고 30 kts 이상 격차가 있었고, 풍속도 300 hPa에서는 85 kts에서 60 kts로 감속된 반면, 200 hPa에서는 80 kts에서 90 kts로 증가한 사례로서 상하층 wind shear도 상당히 큰 사례이다.

또한 태풍 북상 전면 위쪽으로 1,000~1,200 ㎞부근에 형성된 광범위한 200 hPa 강풍대는 그 폭이 600~700 ㎞로 클 때와 상하층 간의 wind shear가 작을 때, jet streak과의 악기상 발생지역의 풍속이 30 kts 미만의 차를 보일 때는 jet로서 의미를 부여할 수 없는 것으로 판단된다(태풍 북상형 jet).

□ 태풍북상 시 jet의 특징은 다음과 같다.

그 폭이 두텁고 강하며, 상층의 jet 풍속과 jet 이동이 급변하며. 버섯모양을 한다. 일반적으로 태풍위치에서 북쪽으로 1,500 ㎞ 거리에서 생성되

고 태풍과 수명을 같이한다. 태풍이 북상하면 대부분의 경우 태풍과의 거리가 계속 좁혀지고 1,000 ㎞ 부근까지 접근할 때 태풍은 최대로 발달한다. Jet가 태풍보다 먼저 쇠퇴하기 시작하고 또는 동쪽으로 이동해가면서 jet가 약해지면 태풍의 위력(강수, 풍속)은 약해진다.

(a) (b)

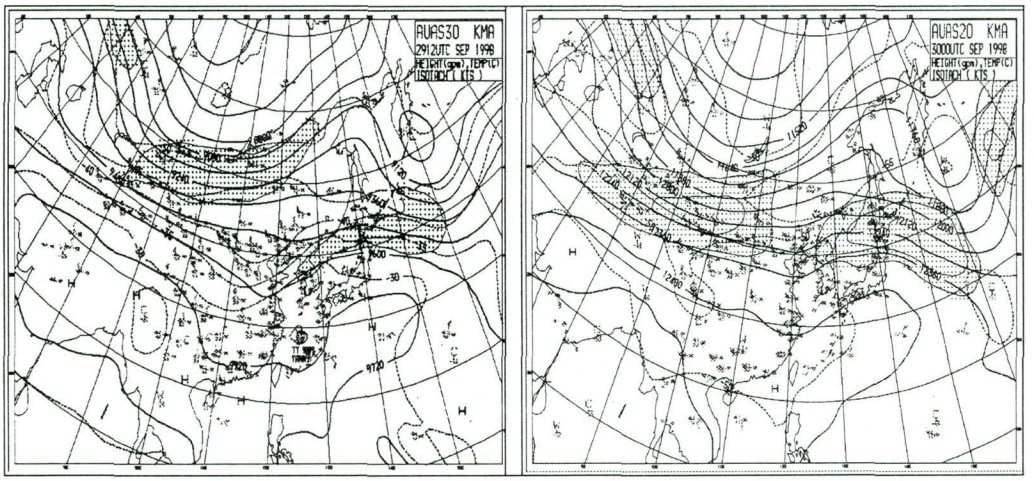

Fig. 24 A upper level jet situation(1998 September 30th (a)09:00, (b)21:00).

Table 14. A heavy rain case(July 23, 2001).

월일	지 점	총강수량 (0.1 ㎜)	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
01. 07. 23.	홍 천 (212)	2355	2001/07/22 13h	2001/07/24 08h	1	79.5 ㎜ 02:54

Table 14 사례의 jet streak 의 동향을 살펴보면 Fig. 25은 09h와 21h 200 hPa의 일기도이지만 jet의 모양으로 보아 크게 다르지 않아 보이나 자세히 보면 09h 자료에는 풍속이 중부지방에 남서풍 25 kts를 보였으며 후반에 남동계열의 바람이 30~45 kts로 강화되었다는 점이다. 즉 상층에 고기압 성와도를 보이고 강한 발산장이 생성되었음을 암시하고 있다. 또한 7월21일

21h 일기도에서 보듯이 버섯모양의 jet가 생성되어 있을 때에는 우리나라에 강수현상이 발생되지 않았고 깔대기 모양으로 바뀌면서 집중호우가 시작되었다(깔대기형 jet).

(a) (b)

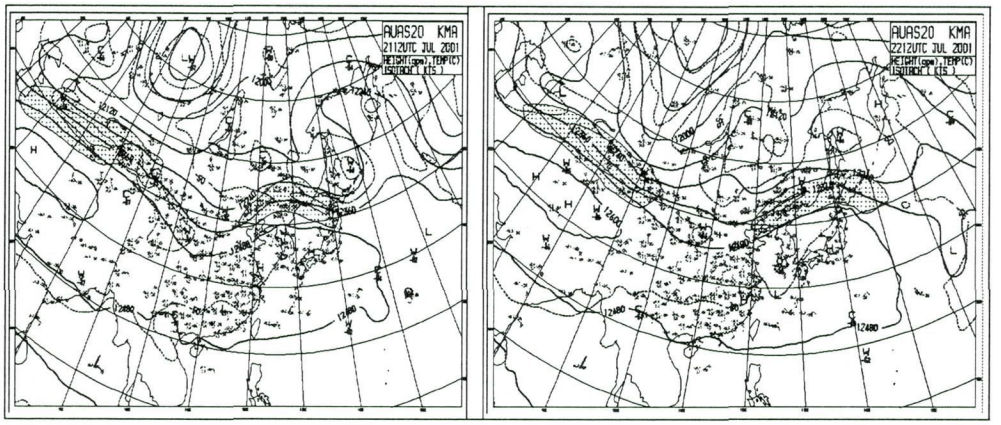

Fig. 25 A upper level jet situation(2001 June 22th (a)09:00, (b)21:00).

Fig. 26에서 jet streak 의 동향을 보면 태풍(9802 "OTTO")가 북상중인 가운데 서울과 양평(132 ㎜)을 제외하고는 50 ㎜이하의 강수를 보인 강수 폭이 좁은 Table 15. 사례이다. 95 kts이상의 강풍축이 N 42° E 120~122° 사이에 나타나고 연직 남남서쪽 600 ㎞ 서울 지역에 강한 강수를 보였으며 기울기는 20° 내외로 크지 않았다. Jet의 남서 취송거리는 1,200 ㎞(남서류가 50 kts 이상)이었으며 8월 4일 21h에는 jet ridge가 한반도 북쪽 바로 위에 삿갓을 쓴 모양으로 나타나면서(버섯유형; 강수를 소산하는 역할을 하는 것으로 추정) 14h에 강수가 종료되었다(태풍북상형 jet).

Table 15. A heavy rain case(August 04, 1998).

월일	지 점	총강수량 (0.1 ㎜)	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 08. 04.	서 울 (108)	2692	1998/08/02 22h	1998/08/04 14h	2	66.2 ㎜ 07:50

(a) (b)

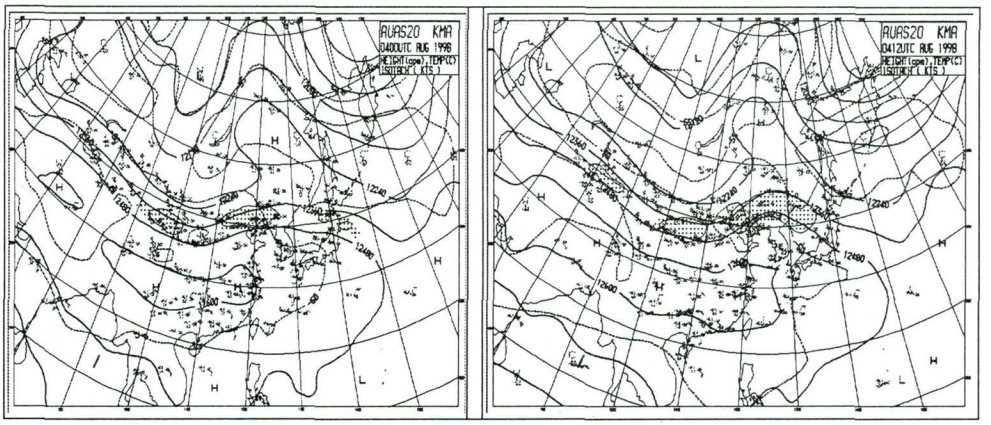

Fig. 26 A upper level jet situation(1998 August 04th (a)09:00, (b)21:00).

Table 16. A heavy rain case(July 22~23, 2000).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
00. 07. 22.	수 원 (119)	333.2 ㎜	2000/07/22 08h	2000/07/23 02h	2	92.5 ㎜ 17:00
00. 07. 23.	부 여 (236)	206.5 ㎜	2000/07/23 01h	2000/07/23 19h	2	64.5 ㎜ 02:50

Table 16에서 00. 07. 22.~25.까지 jet streak 동향을 보면 태풍(0005 "TEMBIN")이 일본 북부 홋가이도에 상륙하였고(7.22. 09h), 종관장의 흐름은 상당한 blocking 형태를 보이면서 기압계 흐름이 느려져 있어 북쪽의 기압골이 느리게 동진(7.25.정체하다가 소멸) 하면서 988 hPa까지 발달한 사례로서 한랭전선상에서 비의 강도가 매우 강하였다.

Fig. 26사례인 7월 22일에는 500 hPa 한핵(-14도)이 45° N, 126° E 부근에서 동쪽으로 이동하지 못하고 blocking에 의해 남진하고 있으며 jet stream도 동진하지 못하고 사행의 곡이 깊어지고 있다.

7월 23일(Fig. 27)에는 집중호우는 80 kts 강풍대가 42° N, 122° E에서 관측되었고, 남남서쪽 약 550 ㎞ 점에 악기상이 출현하였고 수평 기울기는 20° 가량 되었다(blocking형 jet).

(a) (b)

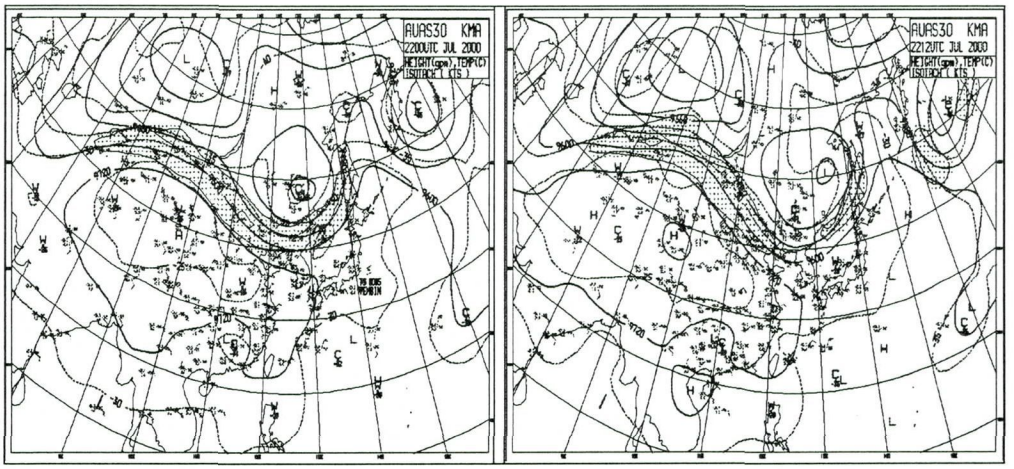

Fig. 27 A upper level jet situation(2000 June 22th (a)09:00, (b)21:00).

(a) (b)

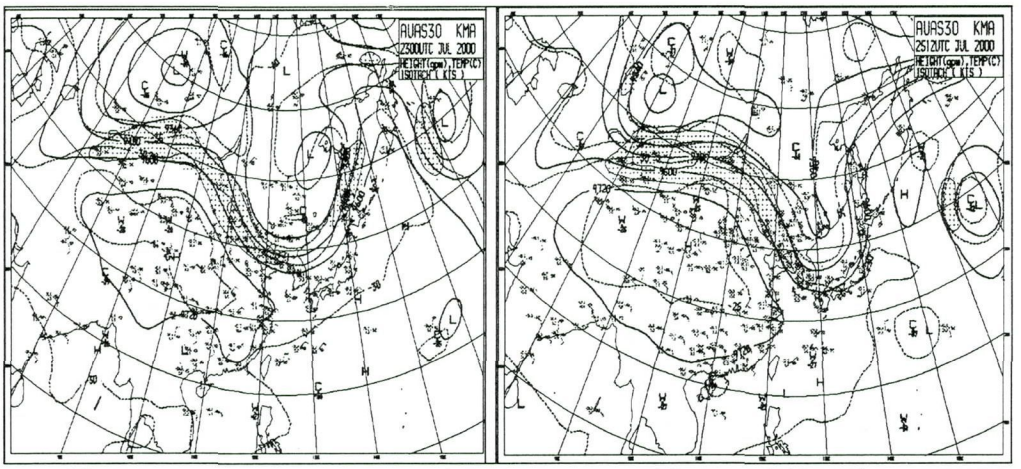

Fig. 28 A upper level jet situation(2000 June 23th (a)09:00, (b)21:00).

Table 17. A heavy rain case(July 23, 2002).

월일	지 점	총강수량 (0.1 mm)	강수		200 mm이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
02. 07. 23.	서울(108)	421	2002/07/22 14h	2002/07/23 22h	- (50 mm)	호우주의보미달 14.0 mm 09:51

02. 07. 22. jet streak 동향을 살펴보면(Fig. 27) Fig. 29의 300 hPa에서는 거의 나타나지 않았고 200 hPa에서는 나타났지만 상층 수렴형 위치에 나타나 상층에서 저기압 발달을 저지하는 하강류가 나타난 것으로 분석된다(수렴형 jet).

(a) (b)

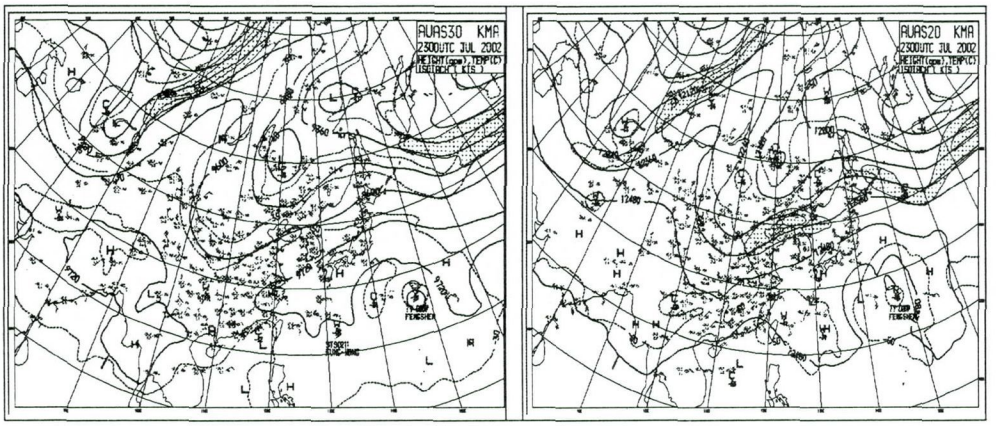

Fig. 29. A upper level jet situation((a)300 hPa, (b)200 hPa June 23, 2000 09:00).

적용 시 유의사항으로는 악기상이 발생한 날의 200 또는 300 hPa에서의 jet streak 의 풍속을 기입하고 shear의 계산은 강풍대 지점과144 ㎞ 범위 내에서의 풍속의 편차로 한다.

Table 18과 Fig. 30은 강도가 미달(30 ㎜/h 이하)한 사례의 실황과 일기도이다.

Table 18. A heavy rain case(July 26, 1998).

월일	지 점	총강수량 (0.1㎜)	강수		200㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 07. 26.	대관령 (100)	4836	1998/07/21 11h	1998/07/29 10h	3	16.6 ㎜ 08:25 강도미달

(a) (b)

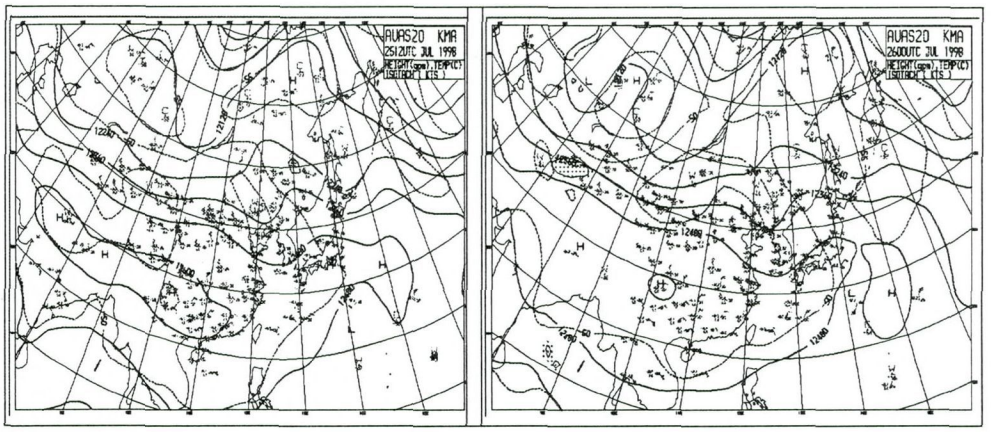

Fig. 30 A upper level jet situation(2000 June 25th (a)21:00, (b) 26th 09:00).

10. Low level jet(LLJ)

⑩Low LevelJet(LLJ)	<20 kts
	21 ~ 34 kte
	>35 kts

하층의 습하고 따뜻한 공기가 이류 되면, 대기 자체는 매우 불안정해지며, 뇌우가 발생하기 쉽다. 특히 상층에 차고 건조한 공기가 위치하고 있을 때 악기상이 유발된다.

Moisture flux가 20 kts 이상을 하층 jet라고 정의한다.

Table 19. A heavy rain case(September 10, 1999).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
99. 09. 10.	부 여 (236)	215.5 ㎜	1999/09/09 19h	1999/09/10 12h	1	116.0 ㎜ 06:10

Table 19의 사례를 보면 40 kts를 보이고 있으며 55개 집중호우 사례 평균은 30 kts를 보였다. 따라서 미국 기상청 호우 경계치가 한국 환경에도 잘 적용되는 것으로 나타났다. Jet streak 동향을 보면 저기압이 중국 양자강 북쪽에서 잘 발달하여 동진하고 있어 많은 강수가 예상되었으며, Fig. 31

에서 강한 LLJ가 강수를 증가 시켰고 북쪽 바이칼호 남쪽에 위치한 강한 polar jet는 동남동진 해오다가 9월 9일 21h경(Fig. 32)에는 강풍축이 42° N 부근에서 분리되어 북쪽 성분과 중국 동해안을 따라 남진하는 남쪽성분으로 나뉘어 지면서 한반도는 발산장에 들어 강수효과를 가중시킨 것으로 분석된다(해드 분리형 jet).

(a) (b)

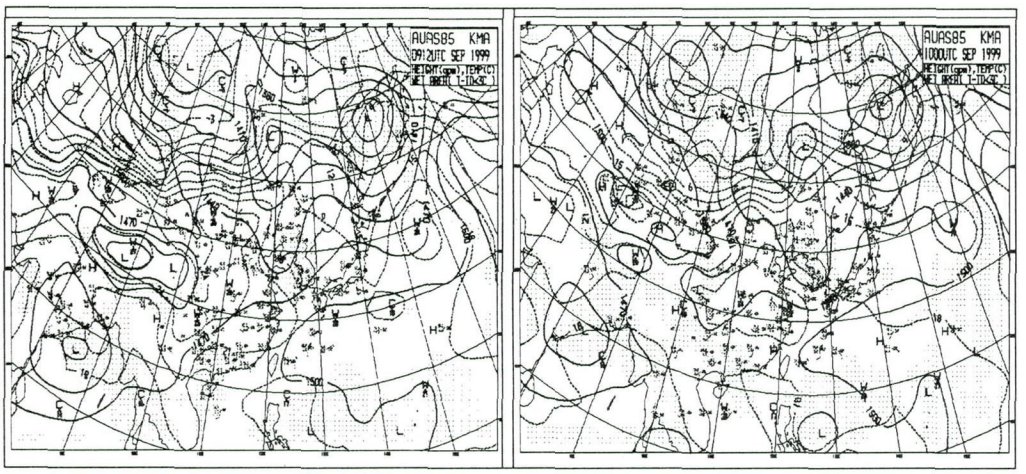

Fig. 31. 850 hPa weather chart(1999 September (a)09th 21:00, (b)10th 09:00).

(a) (b)

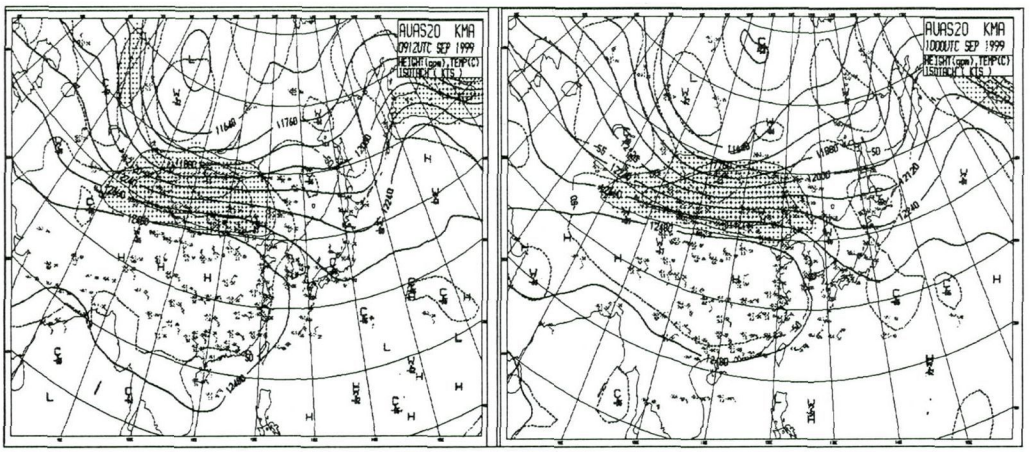

Fig. 32. A upper level jet situation(1999 September (a)9th 21:00, (b)10th 09:00).

적용 시 유의사항으로는 850 hPa 악기상 지점을 기준으로 30~

40° N, 120~130° E 부근의 남서 또는 남동류에 해당하는 기류속도로 한다.

11. Directional shear levels surface to 500 hPa

⑪Directional shear levels surface 500hPa	<30°/300m
	45°/300m
	>45°/300m

심한 뇌우를 발달시키는 것으로는 대기 하층과 중층과의 바람장에 있어서 3가지의 양상을 보이는 것으로 알려져 있다. 연직 방향 shear, 풍속 shear와 최대풍 축의 교차가 그것이다. 상하 중간의 풍향이 30° 이상으로 veering 할 때 심한 뇌우 발생이 우려된다. 두 풍향의 교차가 크면 클수록 심한 뇌우의 활동성 및 강도의 이동이 크게 나타난다. 풍속의 차이는 또한 심한 뇌우를 발생시킨다. 상하 중간의 풍향이 30° 이내에서 veering 하더라도 풍속의 차이가 30% 이상이면 가능해진다. Veering하고 풍속의 shear가 크면 클수록 뇌우 발달이 용이하다

Table 20. A heavy rain case(September 16, 2000).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
00. 09. 16.	울 진 (130)	304.8 ㎜	2000/09/12 15h	2000/09/16 12h	13	태풍사오마이 41.0 ㎜ 08:05

집중호우가 발생한 대부분 사례에서 지상과 500 hPa사이에서의 풍향이 변하는 각도가 최대 20~40° 범위로 wind shear가 잘 나타났고, 특히 태풍 접근 시 지상에서 북동~동풍류가 유입되면서 상층의 남서류와의 shear가 크게 벌어졌다.

즉 태풍 올가(99.8.4), 플라피룬(00.8.28), 앤(99.9.19) 및 Table 20의 사오마이(00.9.16) 등에서 60~120° 의 shear를 보였다. 따라서

호우 경계치 조건은 비교적 만족할 만 하다고 할 수 있으나, 10~20° 차이는 7개 사례를 보였고 40~50° 차이는 9개 이었으며 60° 이상은 39개 사례로 나타나 범위를 재 산정하여야 할 것이다. 즉 30° 이하, 30~60° , 70° 이상으로 구분하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

Fig. 33에서 jet streak 의 동향을 살펴보면 남해안을 상륙(16. 3h)한 태풍(0014 "SAOMAI")은 빠르게 동해상(울진 16. 12h)으로 벗어났다. 태풍북상에 따라 jet가 28° N 부근에서부터 태풍과 연계되어 움직이면서 우리나라는 실질적으로 13개 지역에서 200 ㎜ 이상의 강수량을 기록하는 등 기록적인 폭우를 기록하였다('99. 8. 태풍 "OLGA" ; 200 ㎜이상 강수지역이 13개로 가장 많은 지역에서 폭우가 쏟아져 호우 동급으로 분류됨).

실질적으로 9월 12일 ~ 9월 16일까지 강수기간 중 jet가 가장 강했던 Fig. 34를 보면 jet streak의 축이 거의 80° 에 도달하였고 jet의 길이도 2,000 ㎞ 이상을 보였으며 한반도는 jet의 남남서쪽에 위치하여 악기상 지역에 놓여 있었다(태풍형 jet).

(a) (b)

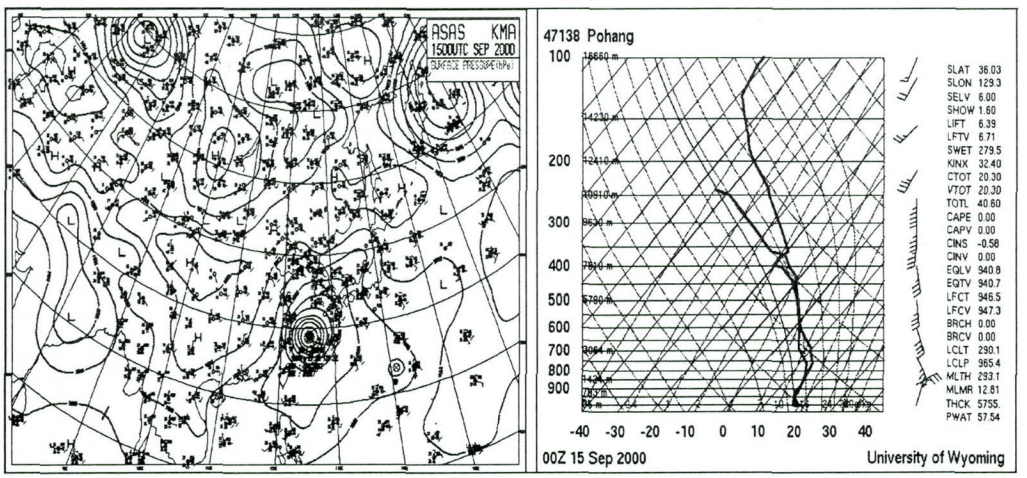

Fig. 33 (a)Surface weather chart and (b)500 hPa weather chart(2000 September 16th 09:00).

(a) (b)

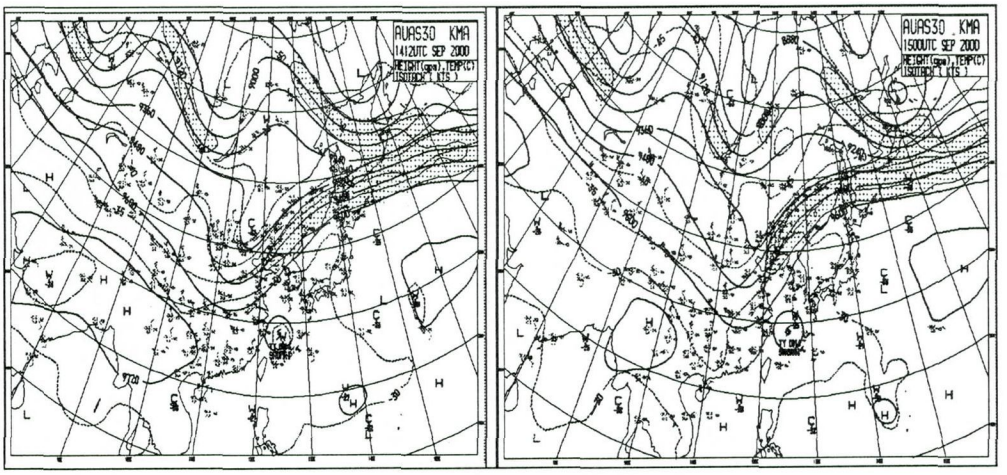

Fig. 34 A upper level jet situation(2000 September (a)15th 21:00, (b)16th 09:00).

적용 시 유의사항으로는 대기선도에서 지상과 500 hPa 사이에서 풍향이 급변하는 지점사이(300 m)의 각도를 말한다.

12. 700 hPa no-change line

⑫700 hPa no-change line	winds cross line 20°
	winds cross line 20 ~ 40°
	winds cross line ·40°

700 hPa 등변화선은 700 hPa에서 기온의 변화가 없는 지점을 연결한 것이다. 실제로, 이 line은 한랭이류와 온난이류를 구분하는 경계선이며, 거의 850 hPa warm ridge와 일치한다. 대기 중층 trough에 이 선이 접근하게 되면 지상 기압계가 발달한다.

Table 21. A heavy rain case(August 20, 1999).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
99. 08. 20.	완도(170)	228.1 ㎜	1999/08/20 12h	1999/08/23 06h	1	59.0 ㎜ 21:50

Table 21사례에서 보면, Fig. 35의 700 hPa에서 한반도 남쪽의 난기역에서 우리나라를 지나는 기온선과 30° 의 교각을 이루면서 한반도 북쪽 한기역으로 바람방향이 형성 되어 난기가 강하게 이류 되었다.

55개 사례를 분석하면 기온선과 이루는 교각이 90° 이하 경우가 11건이었고, 대부분의 경우 기온선과 Warm 이류선이 직각(90°)을 이루었다.

그러나 2002년 7월 23일 호우주의보 미달사례에서는 5° 의 교차를 보였다.

전체 평균은 75° 를 보였고 강수가 약한 사례에서는 평균 55° 로 나타나 온난 이류가 상당히 중요한 강수 인자로 나타났다. 따라서 경계구간을 40° 이하, 50~70, 80° 이상으로 구분하는 것도 바람직하다.

또한 Fig. 36의 jet streak 동향을 보면 전 시간 보다 남하하고 그 각도가 10~15° 가량 끝 부분만 아래쪽으로 더 굽고 바람도 90 kts로 강해졌으며, 강풍대 영역이 폭이 좁고 가늘게(모양과 풍속이 더 강한 "펌핑형" 과 비교) 완도 상공 위로 1,000 ㎞ 부근에 형성되었다(깔때기형 jet).

(a) (b)

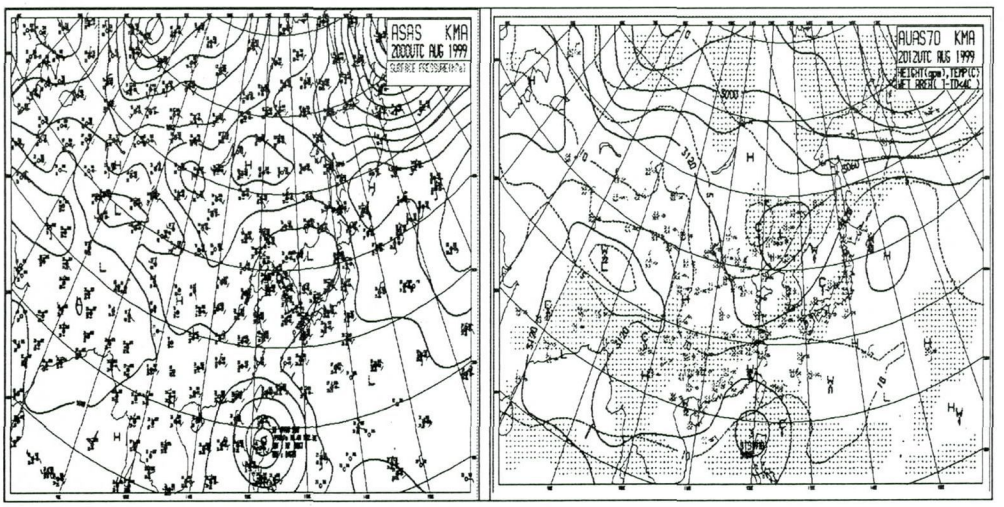

Fig. 35. (a) Surface weather chart and (b) 700 hPa weather chart(1999 August 20th 21:00).

(a) (b)

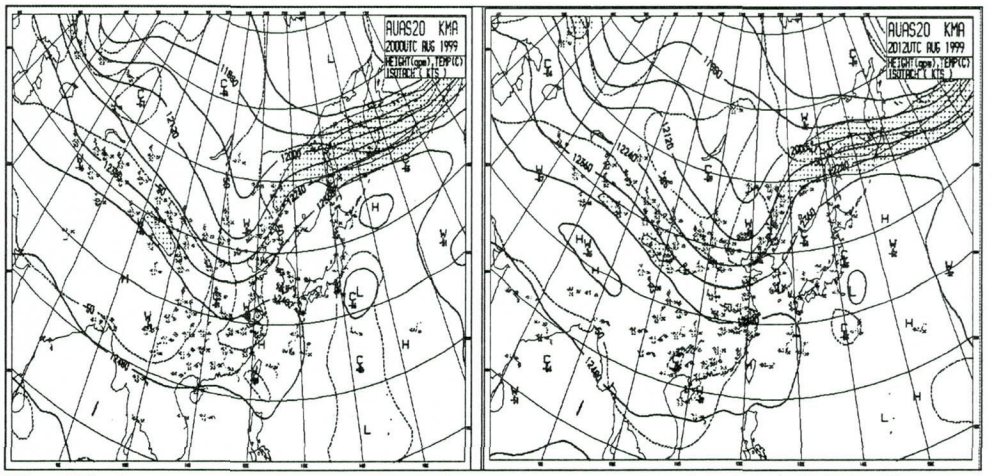

Fig. 36 A upper level jet situation(1999 August 20th (a)09:00, (b)21:00).

적용 시 유의사항으로는 악기상 지점을 지나는 기온선과 이류 되는 풍향과 만나는 교각이다.

13. 700 hPa dry air 이류

⑬700hPa dry air 이류	not available or weak wind field
	winds from dry to moist intrude at an angle of 10° to 40° and are at least 15kts
	winds from dry to moist intrude at an angle of 40° and are at least 25kts

기압골에서 700 hPa 건조공기 침입은 지표면으로 최대의 potential을 가지고 하강류가 집중될 때 down bursts를 형성하는 중요한 요소로 작용하며, 중층의 강한 하강류(rear flank down draft,: RFD)를 형성한다.

보통 현업에서는 50%의 상대습도, 노점온도가 0℃이하이거나 T-Td가 6℃가 넘어서면 건조한 것으로 간주한다.

또는 상하층의 상대습도차가 최소한 30% 이상이 되어야 한다. 일반적

으로 건조공기와 습한 공기 사이의 차가 크면 클수록 대류가 깊어지면서 상하 활동성이 증대된다.

Table 22. A heavy rain case(August 12, 1998).

월일	지 점	총강수량	강수		200 ㎜이상 강수지점수	시간강수
			시작	종료		
98. 08. 12.	보 은 (226)	515.5 ㎜	1998/08/11 05h	1998/08/12 19h	2	95.0 ㎜ 05:00

Table 22 사례에서 Fig. 37을 보면 습윤한 지역으로 건조공기가 30~40° 의 각도로 불어 들어가고 있었으며, 호우사례의 전체 평균은 건조역 침입의 각도가 75° 를 보였고, 호우 시스템으로 유입되는 풍속의 평균은 21 kts를 보였다.

그러나 건조역이 침입하는 호우 경계치를 40° 이상/10 kts 이상 내외로 설정하기 보다는 습윤역으로 이류 되는 건조공기의 각도와 바람 속 크기를 40° /15 kts 이하, 50~70° /20~30 kts, 80° /35 kts 이상으로 구분하여야 실제 호우 시 판정 기준으로 적절하게 적용되리라 사료된다.

Fig. 38에서 jet streak의 동향을 보면 풍속이 강하지 않은 사례이지만 한반도 부근 상공에는 8월 11일 21h자료에 의하면 강풍대 중심이 북쪽과 남쪽으로 나뉘어 지면서 upper jet에 강한 발산형태를 유지하고 있다는 점이다.

이 발산의 형태는 호우 지역이 남쪽으로 향하고 있는 가장 강한 강풍대 지역에 호우지역이 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 이 사례는Jet가 강하지 않아도 많은 비가 오는 사례로 분류할 수 있을 것이다(해드 분리형 jet).

(a) (b)

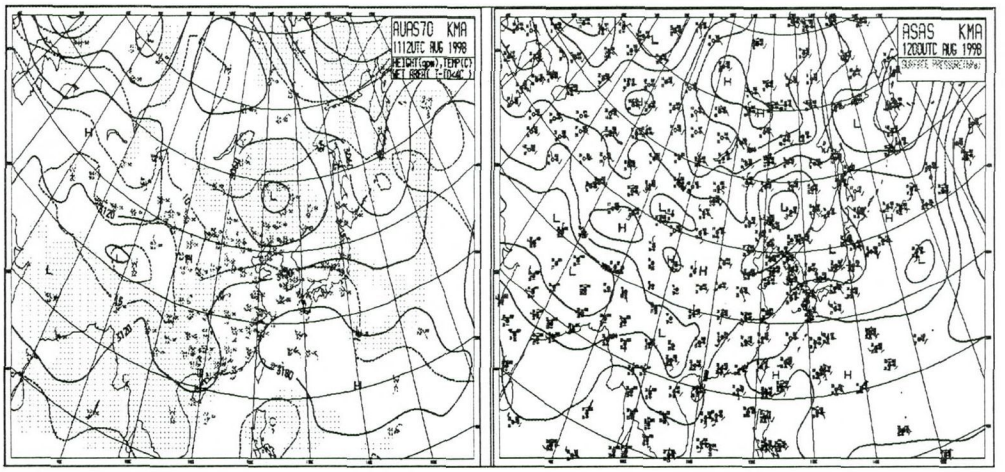

Fig. 37 700 hPa weather chart(1998 August (a)11th 21:00, (b)12th 09:00).

(a) (b)

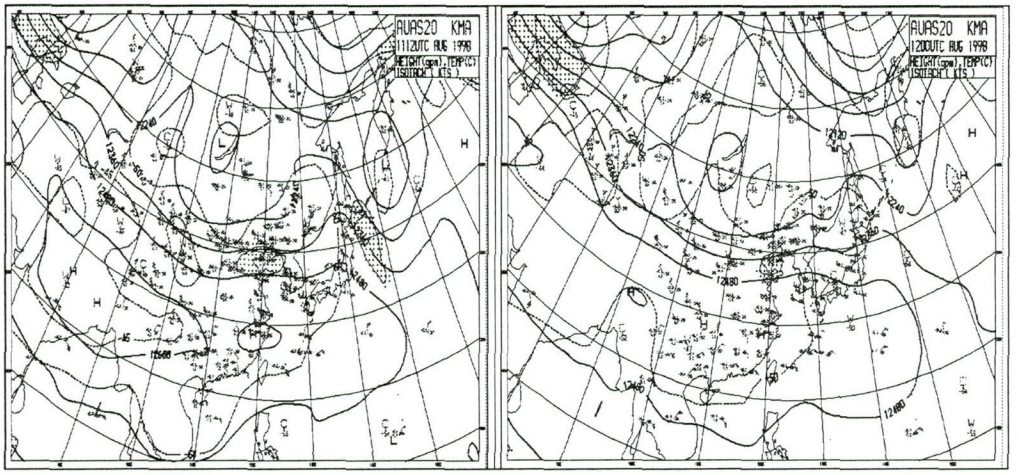

Fig. 38 A upper level jet situation(1998 August (a)11th 21:00, (b)12th 09:00).

적용 시 유의사항으로는 700 hPa 이류는 악기상 지점과 그 지점을 향하여 다가오는 쪽의 기류(30~40° N, 120~132° E) 중 건조역에서 유입되는 바람의 풍향과 풍속을 사용한다.

Ⅳ. 결 론

A. 미국 호우 parameter의 한반도 호우에 대한 적용

1) 호우 parameter에 LI/SSI 등 부재로 불안정지수 추적 미흡

K-index는 대기중층이 매우 건조하거나 대기하층의 습기가 높다는 것을 의미하고, TTs-index는 하층 습윤 상층 냉각될때 잘 지수에 반영하며, LI는 850 hPa 이하에서 습윤한 층 존재를 잘 표현하고, SWEAT-index는 수층기와 중층 wind shear를 충분히 고려하여 생산함에도 TTs 만 사용하는 것은 문제이다. Fig. 39 사례에서 보듯이 LI가 -6인 것은 호우 parameter로서 적절함을 보여 주는 것이다.

(a) (b)

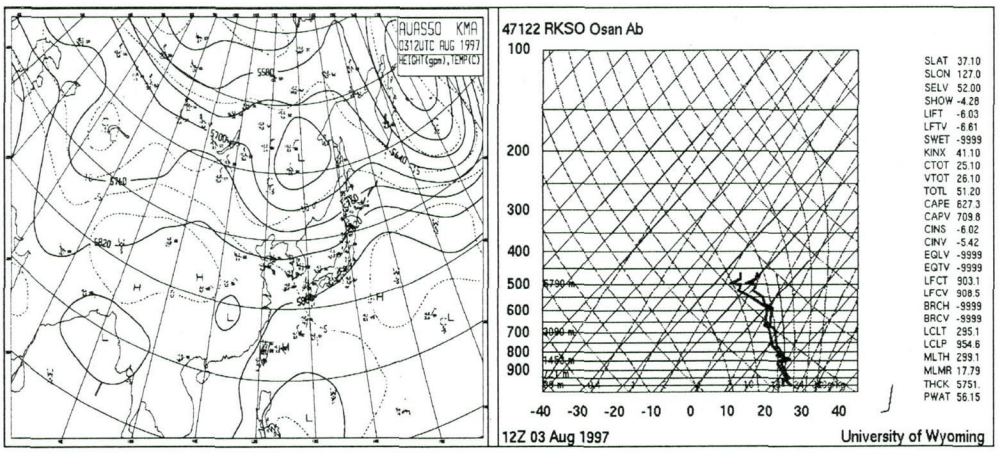

Fig. 39 (a)500 hPa weather chart and (b)Skew T-log p Diagram(1997 August 03th 21:00).

2) 850 hPa 온도경도 추적 문제점

본 연구에서는 850 hPa 악기상이 발생한 지점으로부터 144 km 떨어진 지점과의 사이에서 기온의 차를 호우 parameter로 추적하도록 하였으나 조사 자료값이 너무 작아 실효성이 없어 28~42° N, 110~130° E 사이에서의 악기상 지점과 온난 이류 되는 기단의 warm 중심구역과의 기온의 기온차를 조사하였다.

Fig. 40은 태풍 엔 북상 시 서울지역 99. 9. 19. 16:28 40.00 mm/h 호우 사례로, 조사에서는 기온의 편차가 2℃밖에 차이가 나지 않았으나 실제는 한반도 북쪽의 cold와 17℃ 이상의 온도 기울기를 보였다.

따라서 이 항은 위 범위에서의 기온의 최대 차를 조사하는 것이 더 바람직하다고 판단된다.

(a) (b)

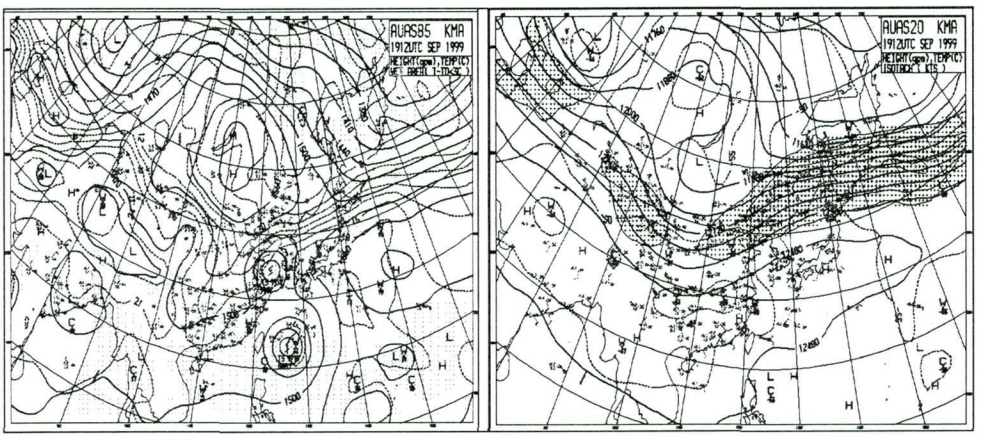

Fig. 40 (a)850 hPa weather chart and (b)200 hPa upper level jet situation(1999. September 19th 21:00).

3) 노점온도 경도차 측정항 부재

태풍 바트 북상 시 호우 parameter에 노점온도 경도항(군산-대련)은 건조도가 35℃ 이상 차이가 나는 사례가 없어서 건조한 공기의 정도를 나타낼 수 있는 방법이 현재로서는 없다.

Fig. 41은 태풍 바트가 북상하였을 때 99.9.23 07:30분 영천지역에 40.5 mm/h 가 내린 사례로서 포항의 노점온도는 18℃를 기록했다.

(a) (b)

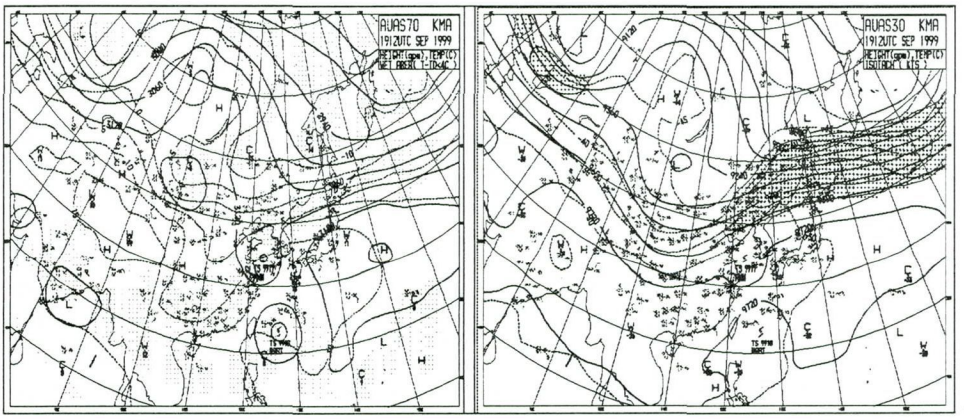

Fig. 41. (a)700 hPa weather chart and (b)300 hPa upper level jet situation(1999. September 19th 21:00).

4) WBZ(web-bulb zero) 고도에 대한 재 고찰 필요

지면에 나타나는 현상들의 중요한 원인으로 WBZ을 들 수 있는데 본 연구에서는 2.1~2.7 ㎞ 부근의 0℃선과는 거리가 있었다. 따라서 우박이나 돌풍 등 악기상에 주요한 변수로서 심도 있는 고찰을 통하여 경계치를 재 설정하거나 호우 parameter에서 제외를 하든지 하여야 할 것이다.

56개 사례 대부분은 3.3 ㎞ 이상의 값을 나타내었고, 2002년 8월 4일 사례에서만 2.6 ㎞를 보였다.

5) 850 hPa maximum temperature 이류정도

현재 moisture ridge 보다 동쪽, 서쪽, Over로 되어 있는 온도 이류방법이 남쪽에 warm이 위치(2001. 6. 24)할 경우가 상당히 있고, 태풍이 접근할 경우 접근경로에 따라 warm의 이동 경로방향에 위치하고 있는 경우도 있어 다음과 같이 수정하여야 할 것이다.

① 상승 잠재 에너지(기온)가 높은 영역에서 기류가 유입되고 있는가?

② Warm이류가 최대인 시점인가?

③ Cold 영역에서 기류가 불어 들어오고 있는가?

(a) (b)

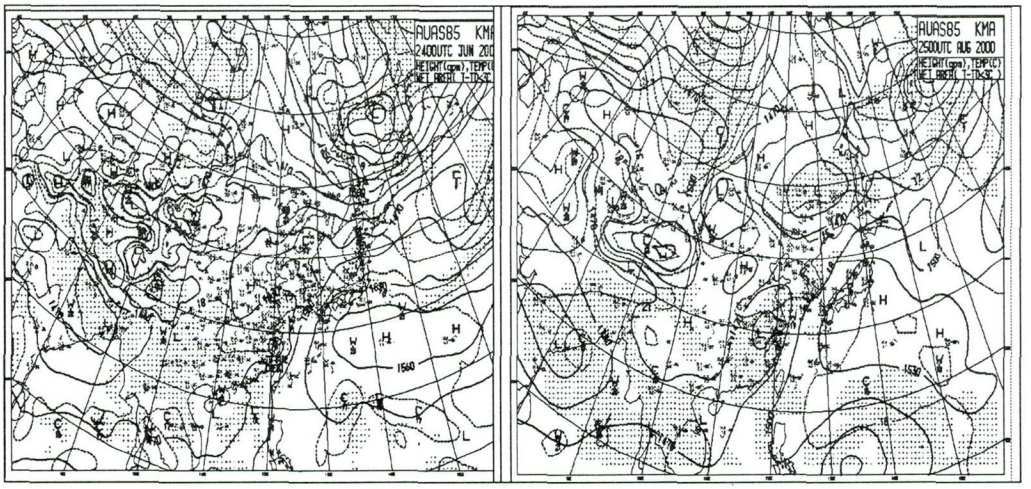

Fig. 42 850 hPa weather chart((a)2001 June 24th 09:00, (b)2000 August 25th 09:00).

B. 한국형 호우 경계값 설정

일 200 ㎜ 이상 강수량의 사례를 미국 기상청 호우 parameter에 적용하여 요소별로 분석한 결과 한반도 상공에서 발생한 집중호우에 잘 적용될 수 있도록 집중호우 parameter 경계값을 설정하였다.

Table 23은 대기안정도에 관련된 한국형 호우 parameter 경계값이며, Table 24는 바람변화에 관련된 호우인자들에 대한 호우 parameter 경계값이다.

Table 23. Korea Meteorological Administration heavy rain parameter(atmosphere stability).

Parameter		미국 호우 경계값	한국 호우 경계값
대기 안정도	①500 hPa vorticity advection	neutral or negative	neutral or negative
		contours cross vorticity pattern≤30°	contours cross vorticity pattern≤30°
		contours cross >30°	contours cross >30°
	②Total Totals	<50	<40
		50 to 55	41 to 47
		>55	>48
	③Low-Level moisture (850hPa 노점온도)	<8℃	<12℃
		8℃ to 12℃	12℃ to 18℃
		>12℃	>19℃
	④850hPa max temperature field	East of moisture ridge	잠재에너지 유입 증가
		Over moisture ridge	잠재에너지 유입 극대
		West of moisture ridge	잠재에너지 유입 없음
	⑤low level warmair advection	5 to 10℃/144 ㎞	<2℃(양 기단의 차)
		10~20℃/144 ㎞	3~7℃(양 기단의 차)
		>20℃/144 ㎞	>8℃(양 기단의 차)
	⑥Height of WBZ above the surface	above 3.3 ㎞ below 2.1 ㎞	above 5.6 ㎞ below 3.0 ㎞
		2.7 ㎞ ~ 3.3 ㎞	3.1 ㎞ ~ 4.4 ㎞
		2.1 ㎞ ~ 2.7 ㎞	4.5 ㎞ ~ 5.5 ㎞
	⑦Surface dew-point temperature (지상 노점온도)	<13℃	<17℃
		13℃ to 18℃	18℃ to 22℃
		>18℃	>23℃

Table 24. Korea Meteorological Administration heavy rain Parameter(wind change).

Parameter		미국 호우 경계값	한국 호우 경계값
바람 변화도	⑧Middle levelJet / shear	<35kts / <15kts/144 km	<35kts / <15kts/144 km
		35 to 50kts / 15~30kts/144 km	35 to 50kts / 15~30kts/144 km
		>50kts / >30kts/144 km	>50kts / >30kts/144 km
	⑨Upper LevelJet / shear	<55kts / <15kts/144 km	<55kts / <15kts/144 km,
		55 to 85kts / 15~30kts/144 km	55 to 85kts / 15~30kts/144 km
		>85kts / >30kts/144 km	>85kts / >30kts/144 km
	⑩Low LevelJet(LLJ)	<20kts	<20kts
		21 to 34kte	21 to 34kte
		>35kts	>35kts
	⑪Dirctional shear levels sfc to 500hPa	<30°/300m	<30°/300m
		45°/300m	30 to 60°/300m
		>45°/300m	>70°/300m
	⑫700hPa nochange line	winds cross line 20°	winds cross line 20°
		winds cross line 20°to 40°	winds cross line 20°to 40°
		winds cross line ·40°	winds cross line ·40°
	⑬700hPa dry air 이류	not available or weak wind field	not available or weak wind field
		winds from dry to moist intrude at an angle of 10° to 40° and are at least 15kt	winds from dry to moist intrude at an angle of 50° to 70° and are at least 20 to 30kt
		winds from dry to moist intrude at an angle of 40° and are at least 25kt	winds from dry to moist intrude at an angle of 80° and are at least 35kt

C. Jet Streak 유형별 분석 결과

1) 한반도 상공에 나타난 jet streak 수평 기울기에 대한 조명 필요

집중호우 양상을 보면 중층과 하층의 습윤한 정도 등으로 인한 수증기 수송능력의 증가뿐만 아니라 상승류를 유지 발달시키는 요인으로 와도와 건조역 침입 및 upper jet streak이 호우에 기여하는 인자로 거의 모든 사례에서 분석되었다.

즉, 55 kts 이상의 강풍대가 반드시 출현하였고, 평균 75 kts 이상의 강풍대가 나타나 집중호우의 가장 중요한 인자로 검증되었다. 호우의 강도에 다라 jet의 강도와 형성된 모양이 매우 다르게 분석되었다. 특히 jet가 남북으로 그 기울기가 급격하게 증가할 때 호우의 극성기가 된다(2001. 7. 14, 서울지방 집중호우).

2) 악기상 유형을 jet 유형으로 분류

200 ㎜/day 이상, 30 ㎜/h 이상의 집중호우시를 조사한 jet의 기본 모양과 위치를 조사한 결과, jet 유형에 따라 집중호우 지역과 강도가 다르게 나타나는 것을 분석하고 강풍대가 한반도 상공에 발생시 강풍대의 모양을 다음과 같이 분류하였다.

① 태풍북상형 jet

② 동서로 zonal 하게 강풍대의 세력이 유지하면서 1000~2000 ㎞ 정도의 동서로 길게 놓여 사행하는 로스비형 jet

③ 한반도 상에서 급변하는 블로킹형 jet

④ 40° N, 122° E 부근에서 jet가 80 kts 이상 강하고 수평기울기가 70° 이상으로 발달하면서 강하게 상층 발산하는 펌핑형 jet

⑤ 한반도 상공에서 수평 기울기가 30° 이상 남북방향으로 급하고 가늘게 발달하는 깔대기형 jet

⑥ 입구가 한반도로 내밀고 있는 해드 분리형 jet

⑦ 바이칼호 아래에서 큰 흐름이 화북지방에서 끊기고 한기가 우리나라로 자연히 흘러드는 한기 유입형 jet 으로 분류하였다(Table 25).

Table 25. The classification table in jet streak shape.

명 명	일시	악기상 발생지점	누적 강수량(㎜)	시간 강수량(㎜)/h	비 고 (집중호우지점)
태풍북상형	'00.9.16	울진	304.8	41.0/08:05	"사오마이"(13)
	'01.6.24	남해	343.0	56.5 15:00	"제비"(4)
	'98.9.30	포항	611.9	93.4/16:20	"애니"(4)
	'98.8.4	서울	269.2	66.2/07:50	"오토"(2)
	00.7.22	수원	333.2	92.5/17:00	"템빈"((2)
로스비형	'97.8.3	강화	488.0	101.0/17:40	(3)
	'99.10.11	마산	244.9	51.8/02:13	(1)
브로킹형	'98.8.8	양평	471.5	76.5/04:40	(3)
펌핑형	01.7.15	서울	310.1	99.5/02:10	(3)
깔대기형	01.7.29	인천	251.4	83.5/04:36	(3)
	01.7.23	홍천	235.5	79.5/02:54	(1)
	99.8.20	완도	228.1	59.0/21:50	(1)
해드 분리형	99.7.29	인천	251.4	83.5/04:36	(3)
	98.8.6	강화	747.5	123.5/00:30	(3)
	98.8.12	보은	515.5	95.0/05:00	(2)
	99.9.10	부여	215.5	116.0/06:10	(1)
	98.8.12	보은	515.5	95.0/05:00	(2)
한기유입형	98.7.31	순천	232.5	145.0/21:50	(5)

3) 집중호우로 이어지지 않는 jet 유형

① 한반도 상공형 jet(남하형) : Fig. 43에서 2001. 6. 21의 기상실황은

전국이 흐리거나 구름이 많고 강수량은 0 ㎜에서 10 ㎜정도 나타났다(강수량; 서울 0.0 ㎜, 강릉 10.0 ㎜ 등).

Jet 동향은 한반도를 기준으로 jet streak이 한반도 상공에 걸쳐 있었다. (유사사례: 00. 9. 8. 09h)

(a) (b)

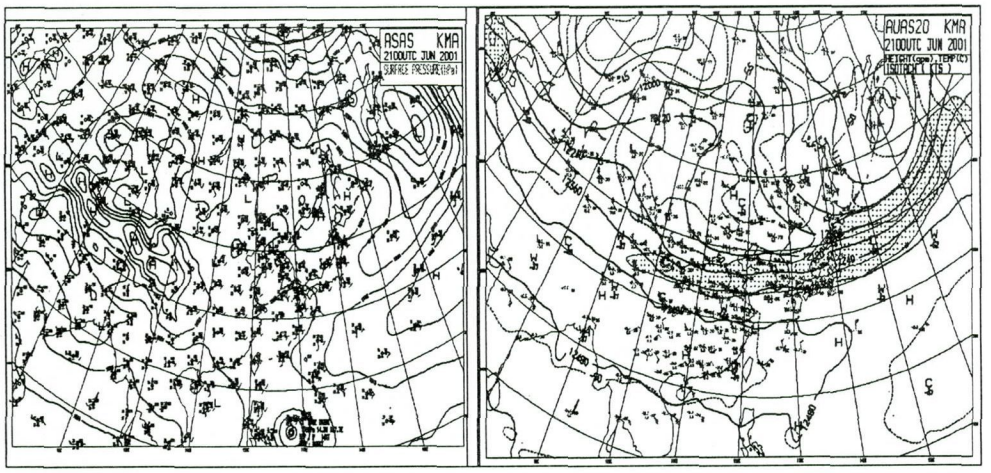

Fig. 43 (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(2001 June 21th 09:00).

② 한반도 북편형 jet : Fig. 44에서 1998년 8월 2일에는 전국에 10 ㎜ 내외의 강수를 보여 전형적인 여름철 북태평양 고기압 가장자리에서 불안정에 의한 강수현상이 나타났을 뿐 악기상은 없었다.

Jet 동향은 jet가 만주지방에 잘 발달하여 형성되었으나 북서에서 남서로 변한하고 있는 경계구역(jet 곡)이 110° E 를 지나지 않고 있어서 강수가 거의 없었다. 이점이 매우 중요한 의미를 가지고 있는 것으로 보이며 110° E 구간을 통과한 8월 3일에는 강화에 시간당 100 ㎜의 집중호우가 있었다.

(a) (b)

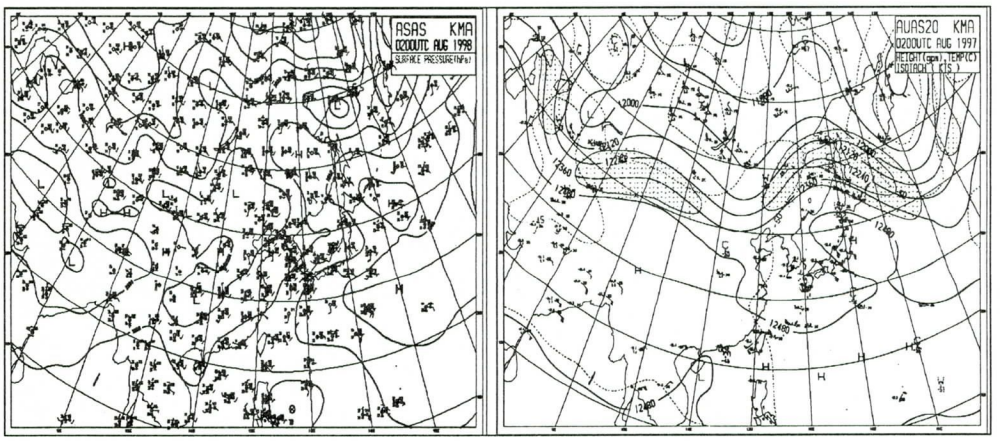

Fig. 44 (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(1998 August 03th 09:00).

③ 버섯유형 1 jet : Fig. 45를 보면 01. 7. 28에는 전국에 비가 거의 없었고, 백령도에만 7. 28. 21h에 170 ㎜/h의 소나기가 내렸을 뿐 악기상은 없었다. 변곡점이 110° E를 통과한 다음날 5h에는 인천 등 서해안에 시간당 83.0 ㎜의 강수가 있었다(서울 7월 29일 강수량 145 ㎜/day).

Jet 동향을 보면 jet가 만주지방에 90 kts로 300~400 ㎞에 걸쳐 동서로 잘 발달하여 형성되었으나 ridge가 지나가고 있어 마치 버섯모양을 하고 있다. 즉 변곡점이 아직 중국내륙에 있고 수평기울기가 20° 내외로 약하며 50 kts 이상 취송거리가 500~600 ㎞ 에 지나지 않았다.

④ 버섯유형 2 jet : Fig. 46에서 태풍(9802 "OTTO")가 북상중인 가운데 서울과 양평(132 ㎜)을 제외하고는 50 ㎜이하의 강수를 보인 강수 폭이 좁은 사례이다.

Jet 동향을 보면 95 kts 이상의 강풍축이 42° N, 120~122° E 사이에 나타나고, 연직 남남서쪽 600 ㎞ 서울 지역에 강한 강수를 보였으며 기울기는 20° 내외로 크지 않았다. Jet의 남서 취송거리는 1,200 ㎞(남서류가 50 kts 이상)이었으며, 8. 4. 21h에는 jet ridge 가 한반도 북쪽위에 나타나면

서 14h에 강수가 종료되었다.

(a) (b)

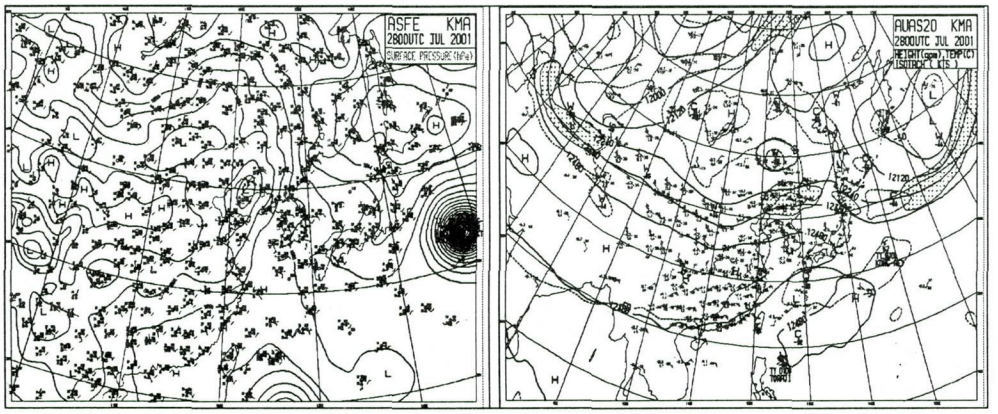

Fig. 45 (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(2001 June 28th 21:00).

(a) (b)

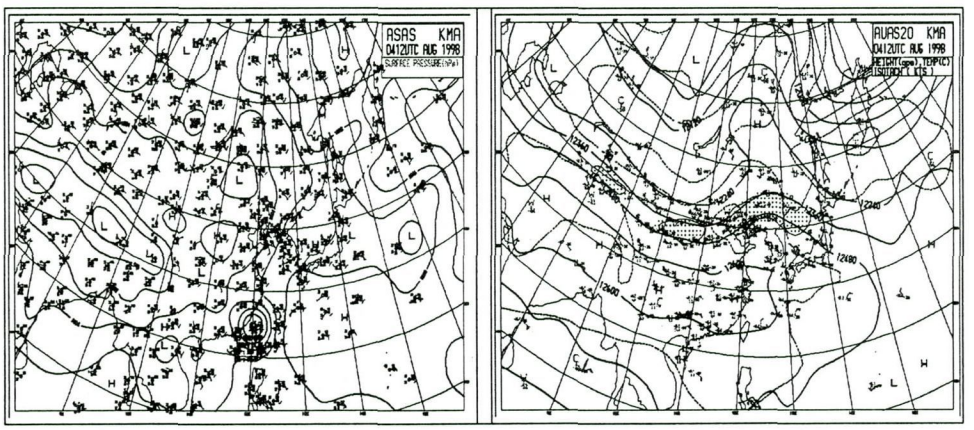

Fig. 46 (a)Surface weather chart and (b)upper level jet situation(1998 August 04th 09:00, 21:00).

⑤ 수렴형 jet : Fig. 47에서 보면 02. 07. 22 jet streak이 300 hPa에서는 거의 나타나지 않았고, 200 hPa에서는 관측되었지만 상층 입구 쪽이 한

반도에 걸쳐 있어 상층 수렴대의 위치에 나타나 상층에서 계속하여 저기압 발달을 저지하는 하강류가 나타난 것으로 분석되며, 실제 이 사례에서는 호우주의보 발효와 함께 200 ㎜ 이상 예보에도 불구하고 서울 강수량은 50 ㎜에 불과하였다.

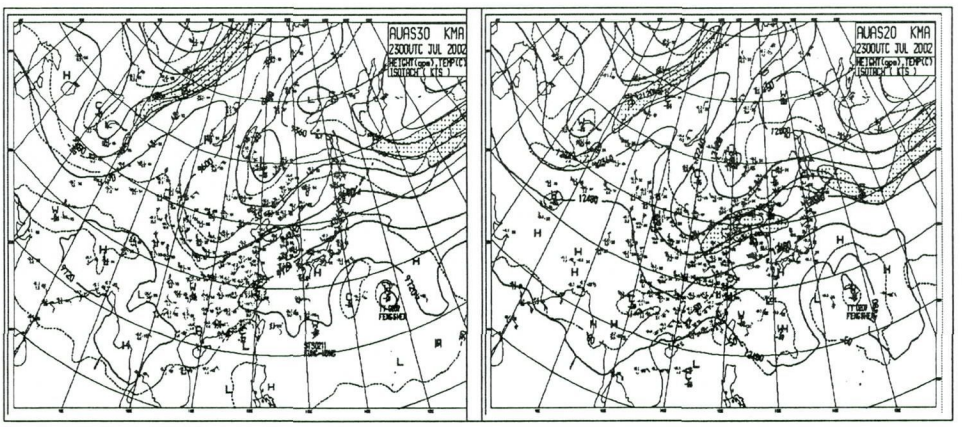

Fig. 47 A upper level jet situation(2002 June 23th 09:00 (a)300 hPa, (b)200 hPa).

V. 향후 연구과제

본 연구는 미국 기상청에서 사용하고 있는 미국 호우 parameter를 한반도 집중호우 환경에 적용하여 비교 분석하였고, 집중호우 시 호우 기구별 경계값을 7년간 256개 집중호우 호우사례의 특성분석을 수행하였다.

한편, 미국에서 사용하고 있는 호우 경계값을 집중호우 사례에 적용하여 차이가 나는 점을 통계 처리하여 「한국형 호우 parameter 경계치」를 설정해 보았다. 그러나 호우 인자들 상호간의 복합적인 관계로 인하여 발생하는 집중호우에 대하여 계속적인 검증이 필요하며, 집중호우 사례 중 jet streak이 나타나지 않는 경우와 시간당 강수량이 강한 사례를 중심으로 상층 jet가 호우지역에 미치는 상호 연관성에 대한 지속적 연구가 필요하며, jet가 형성되어도 강수가 있지 않는 사례에 대하여도 향후 보완하여야 할 것이다.

참고문헌

김은희·김맹기·이우섭, 2005, 「최근 30년간 한반도 일강수강도의 지역적 특성, 한국지구과학회지, 26(5), 404-416.

노준우·박정균·이동규, 2003,「종관 배경에 따른 한반도 집중호우의 분류」, 대기, 13(3), 94-95.

류찬수·모선진·박정원·최기상, 2005, 「남서기류에 유입에 의한 호남지방의 집중호우 특성」, 「2005년도 한국기상학회 가을학술대회 논문집」, 234-235.

류찬수·박현욱, 2005, 「한국의 하계 강수량의 순변화 유형과 강수지역」, 한국지구과학회지, 26(5), 417-428.

류찬수·손건태·이정형, 2005, 「호남지역 강수량 예측을 위한 통계 모형 개발」, Journal of the korean data analysis society, 7(2), 507-521.

박창현·이화운·정우식, 2003, 「지리산 부근 집중호우 발생시 하층jet와 지형의 영향」, 한국기상학회지, 39(4), 441-458.

안명환·류찬수, 2003, 「고층관측자료에 나타난 서해중부해상에서 바람의 연직구조 변화」, Journal of korean data analysis society, 5(2), 243-257.

이동규, 1996, 「집중호우 물리학과첨단기술」, 8(6), 29-24.

이동한, 2001, 「01삼천포 집중호우 분석」, 기상청, 131-133, 150-155.

이은희·박선기·장동언, 2003, 「태풍순환에 관련된 집중호우에서의 지형효과에 대한 수치 모의 : Rusa에 대한 사례 연구」, 대기, 13(3), 374-375.

이태영, 2000, 「중규모예보론」, 기상청, 13-25.

정관영, 2002, 「초단기예보론」, 기상청, 50pp.

정관영, 2002, 「jet와 뇌우와의 관련성에 대하여」, '98 집중호우사례분석 5-133.

Chen, G., and T.J.Yu. 1988, Study of low-level jet and extremely heavy rainfall over northen Taiwan in the Mei-yu season. Mon.Wea.Rev., 116, 884-891.

감사의 글

대학원에 입학한지 엊그제 같은데 벌써 졸업 논문을 마무리 하느라 심사위원들께서 검토하여 주신 내용들을 마감시간이 임박하여 새벽까지 원고를 수정하고 있으려니, 그 동안의 일들이 눈앞에 지나갑니다.

먼저 학교에 다닌다는 핑계로 가정 일에 소홀히 하다보니 요새 사춘기에 접어들어 고민이 많은 장남 형문에게 미안한 마음이 앞서고, 그래도 꿋꿋하게 제 앞길을 잘 개척해 나가는 큰딸 유인이와 항상 우리가족에게 웃음을 선사하는 막내 형길, 바람 잘 날 없는 5식구 뒷바라지와 요가 강사일에 여념이 없는 착한 아내에게 먼저 감사의 말을 전합니다.

또한, 보잘 것 없는 저에게 대학원 진학의 꿈을 심어 주었던 이종호 기상레이더 과장님과 열정적으로 강의해 주신 정효상 연구소장님, 예향의 향토 후배들을 위해 학관협력사업 일환으로 학업을 할 수 있는 여건을 만들어 주시고 항상 변함없는 모습으로 대학원을 이끌어 가시는 류찬수 교수에게 감사드립니다.

또한, 항상 믿음으로 격려해 주시고 학교에 가는 날은 먼저 불러 지방 출장을 보내 주시던 당시 예보연구실 조천호 실장께도 감사를 드리고 싶습니다.

대학에서 기상을 전공하지 않은 나는 항상 기상학 전공자들에 대한 막연한 동경심이 매우 컷 던 것 같습니다. 공부를 다시 시작할 때 나는 많은 용기가 필요했습니다. 우선 서울에서 광주까지 학교를 다닌다는 것은 거리상 쉬워 보이지 않았는데, 직장의 휴무일 아침에는 광주행 첫차를 타기 위해 아침을 먹는 둥 마는 둥 집을 나서서 학교에 도착하면 아침 10시나 되었고, 학업을 끝내고 집에 돌아오면 새까만 밤이 되었습니다.

건축공학부로 학부를 졸업 한지가 20년 가까이 되다 보니 모교인 조선대학교도 많이 변해 있었습니다. 늦깍기 학업을 다시 시작하기는 했지만 중도에 망설임도 많았던 것 같습니다. 그러나 대학원 동료와 선배님들이 이끌어 주시고 후배들이 밀어주는 힘으로 이렇게 잘 마무리를 할 수 있을 것 같아 두루 고마운 마음뿐입니다. 항상 배움에 있어 소홀하지 않는 자세로 열심히 살고 싶습니다. 논문을 작성하는데 많이 도와주신 분들께 다시 한번 머리 숙여 감사를 드립니다.

2006 년 6 월