



일기도 분석 가이드스(II) - 호우분석

■ 발행: 예보국 ■ 문의: 예보기술팀(내선 1656/1657) ■ 발행일: 2012년 2월 21일()

여름철에는 대륙과 해양의 비열 차이로 인하여 유라시아 대륙에 열저기압이, 해양에 북태평양고기압이 형성되고, 우리나라는 그 사이에 위치하여 그림 1(a)와 같이 남풍 기류의 영향을 받는다. 뜨겁고 습한 남풍 기류는 대륙의 열저기압 남쪽인 벵갈만과 남중국해에서 유입되거나, 북태평양고기압 남쪽인 적도 태평양에서 유입된다. 이 기류는 중국 양쯔강하류 부근이나 동중국해에서 합쳐지면서 풍속이 증가하고 우리나라로 뜨겁고 습한 공기를 유입시켜 호우와 무더위의 원인이 된다. 북태평양고기압과 대륙의 열저기압은 여름철 동아시아 하층대기의 특징이다. 이외에도 중상층 대기분석 시 고려해야 할 요소는 그림 1(b)와 같이 300, 200hPa의 티베트고기압, 상층제트(50kts 이상의 풍속대), 500hPa의 북태평양고기압의 등고선(기준선 5880gpm¹) 등이 있다. 티베트 고기압은 티베트고원지대의 해발고도가 약 500hPa에 달함으로 300hPa 이상의 고도에서만 뚜렷하게 나타나고 우리나라와 일본 남쪽 해상의 상공에 동서로 고기압 벨트를 형성한다(Ueno et al. 2001, Hsu et al. 1999, Flohn 1968). 따라서, 여름철에 티베트 지역은 500hPa 이하의 고도에서는 열저기압(열저압부)으로 묘화해야 한다. 반면에 북태평양고기압은 500hPa 고도에서는 뚜렷하게 나타나지만 300hPa 이상의 고도에서는 티베트고기압과 구분이 되지 않거나 존재하지 않을 수 있다. 이번 호에선 여름철 우리나라 주변의 기후학적 특징을 고려하여 대표적인 호우사례에 대한 일기도 분석 방법에 대해서 알아본다.

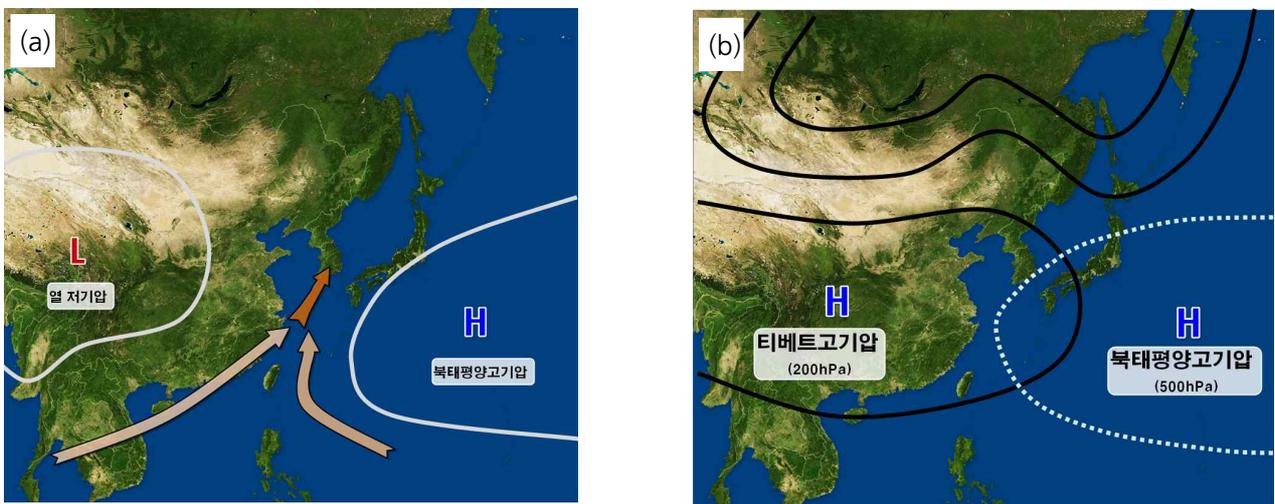


그림 1. (a) 여름철 지상기압계 분포, (b) 200hPa 등고선(실선)과 500hPa 등고선(점선)

1) 기후학적으로 북태평양고기압 영역의 가장자리는 500hPa 고도에서 5880gpm 고도선과 잘 일치한다(Choi and Byun 2007, Bao 1987, Huang and Tang 1964).

I. 호우 유형 분류

2001년 이후 우리나라에서 1시간에 70mm 이상²⁾의 집중호우가 발생된 사례를 표 1과 같이 유형별로 요약하였다. 표 1에서 기상학적 원인 분류는 하층제트와 상층제트가 동일한 호우구역에 존재할 경우에 「상하층제트 커플링형」이라고 구분하였고, 하층제트는 존재하지 않지만 상층제트가 존재하며, 상층 제트의 중심을 기준으로 기류가 유입되는 입구의 남쪽인 상층 발산구역에 위치하고 태풍의 전면에서 호우가 발생된 경우를 「태풍 전면 수렴형」으로 정의하였다. 마지막으로, 하층제트와 상층제트가 모두 존재하지 않는 호우를 「국지성 호우형」으로 구분하였다.

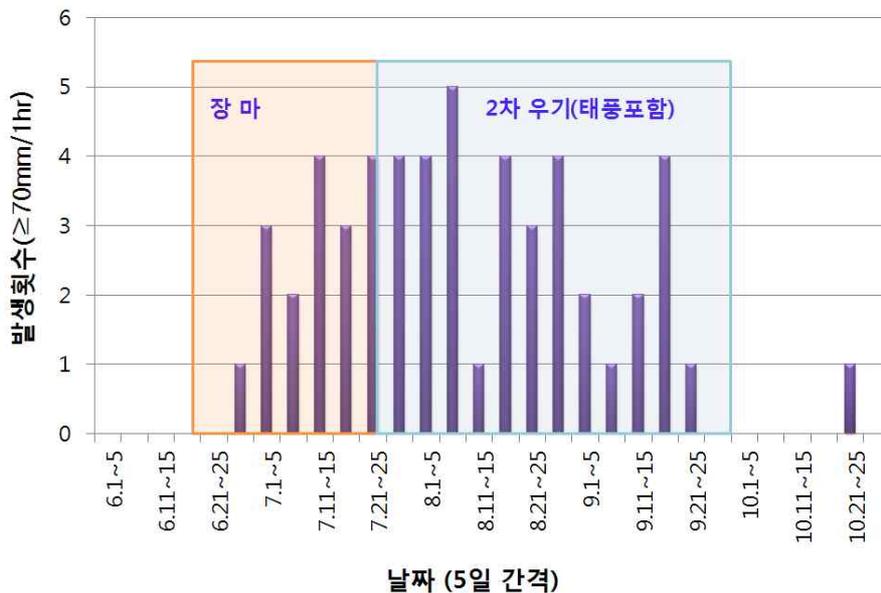


그림 2. 2001~2011년동안 시간당 70mm이상 관측된 사례들. 장마와 2차 우기의 기간은 장마백서(2011)를 참고함(제주지방 장마시작 6.19, 중부지방 장마종료 7.25(1981~2010 평균), 2차 우기는 장마종료 이후).

그림 2는 1시간에 70mm 이상 호우가 발생된 사례를 조사하여 5일 간격의 발생횟수를 보여주는 그래프이다. 총 53개 사례 가운데 장마기간에 17개(32%)가 발생하였고, 2차 우기에 가장 많은 35개(66%)가 발생했다. 10월에는 1개의 호우사례가 있다. 2차 우기기간에는 태풍이 5개를 차지하여 총 호우 중 9%를 차지했다. 1시간에 70mm 이상의 강수량은 호우주의보 기준을 1시간 내에 넘어서는 양이고, 돌발홍수에 의한 피해를 발생시킬 수 있다. 기상학적 원인으로 호우사례를 분류하면, 상하층 제트커플링형 호우가 총 53개 사례 중 25개(47%)로 가장 많았다. 하층제트 커플링은 동일한 지역의 상공으로 하층제트와 상층제트가 일정한 각도를 이루면서 교차하여 지나가는 구조를 말한다(2011년 손에 잡히는 예보기술 2호 ‘하층제트’ 편 참조). 이런 형태의 대기구조가 나타나면, 직접 열순환에 의한 연직운동이 활발해지며, 하층수렴과 상층발산에 의해 호우가 발생하기 쉬운 대기구조가 잘 형성된다(Saulo et al. 2007, Chen et al. 2003). 다음으로 상하층 제트커플링에 의한 호우사례를 중심으로 일기도를 분석하고 해석할 때 주의해야 할 사항과 고려해야 할 요소에 대해 알아본다.

2) 강수량이 1시간 만에 호우주의보 기준에 도달한 경우를 선별함

〈표1〉 주요 집중호우(≥70mm/1hr) 사례(2001~2011년)

원인	날짜	호우지역	1시간 최대강수량	인명,재산피해
상하층제트 커플링 (2차 우기 기간)	2002.8.6	강원영서	홍천 74	
	2004.8.22	제주	성산 100.5	
	2005.7.31	제주	성산 97	
	2005.8.25	경상도 동해안	포항 89.5	
	2005.9.17	충남북부	천안 75.5	
	2007.8.5	중부, 남해안	제천 92.5, 거제 78.5	
	2007.8.8	지리산부근	거창 83	
	2008.8.16	전라남·북도	부안 78.5	
	2009.8.27	제주	제주 87.5	
	2010.8.17	전라도	남원 72.5, 영광군 76	
	2010.9.21	중부지방	서울 75.0	2명, 592억
	2011.7.27	중부, 경남남해안	양평 85.0, 서울 59.0	
	2011.8.1	남해안	남해 95	
	국지성 호우	2003.7.25	전라북도	전주 87
2005.8.2~3		전북	정읍 61.0	
2005.9.1		전북	정읍 81.5	
2007.7.29		경북, 충북	봉화 83.5	4억
2008.8.8		전라남도	광주 86.5	
2010.7.1		전북남부	정읍 83.5	
2010.8.7		전북일부	전주 80	
상하층제트 커플링 (장마 기간)	2001.7.5	남해안	거제 96.5, 통영 71.3	
	2001.7.15	수도권	서울99.5	66명, 1948억
	2001.7.23	강원영서	홍천 79.5	
	2001.7.29	중부서해안	인천 83.5, 서산 80	
	2004.7.14	전라남도	진도 115.5	
	2004.7.17	충청도	금산 70	
	2005.7.1	강원영서	태백 75.5	
	2006.6.30	제주	성산 89.5	
	2006.7.15~16	강원영서	홍천 89.0	29명, 3022억
	2009.7.7	남해안	부산 73.0	2명, 209억
	2009.7.15~16	남해안	창원 102.0	10명, 2301억
2010.7.23	서해안호우	서산 99.5	4명, 210억	
태풍 나리	2007.9.16~17	제주도, 남부	제주 75.0, 고흥 92.5	16명, 1592억
태풍 루사	2002.8.31~9.1	동해안	강릉 100.5	321명, 5조1천억
태풍 매미	2003.9.12~13	경상도	남해 89.5	132명, 4초8천억
태풍 메기	2004.8.18~19	남부, 동해안	산청84.5	7명, 2508억
태풍 무이파	2011.8.7	지리산부근	광양시106.5, 순천 75	
태풍전면수렴	2001.7.10	제주	성산 94.0	
	2008.8.13	경상남도	부산 106	
	2011.9.17	전라남·북 내륙	주암 71	
발달한 저기압	2006.10.23	영동	강릉 81.5	

II. 사례 분석 - 상하층제트 커플링형

■ 상층 등고선 분류형 발산

그림 3은 2011년 7월 27일 상하층제트 커플링에 의해 수도권과 부산에서 동시에 호우가 발생한 사례이다. 7월 27일 00UTC에 850hPa에서 2개의 강풍대(서해, 남해)가 나타나며, 강풍대 중심의 북동쪽에서 호우가 나타났다.

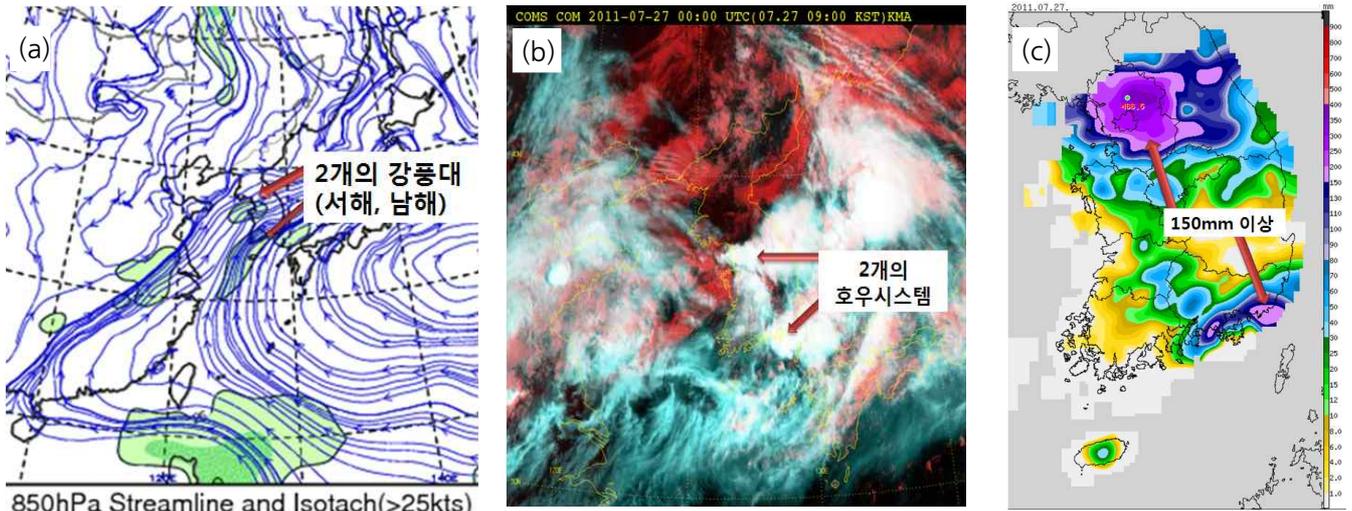


그림 3. 2011년 7월 27일 00UTC (a) 850hPa 유선과 하층제트(>25kts: 초록색 영역), (b) 위성영상, (c) 27일 일 누적 강수량 분포도

그림 4는 그림 3(a)와 같은 시각의 편집일기도이다. 850hPa 일기도에서 우리나라 부근으로 남서풍의 하층제트(25kts 이상)가 보인다. 850hPa의 하층제트는 200hPa 일기도에서 보하이만부터 우리나라 중부지방을 지나가는 상층제트와 교차하는 풍계를 보인다. 이렇게 850hPa의 남서풍과 200hPa의 서풍이 동일한 지역의 상공을 지나가게 되면 호우가 발생하기 좋은 조건이 된다.

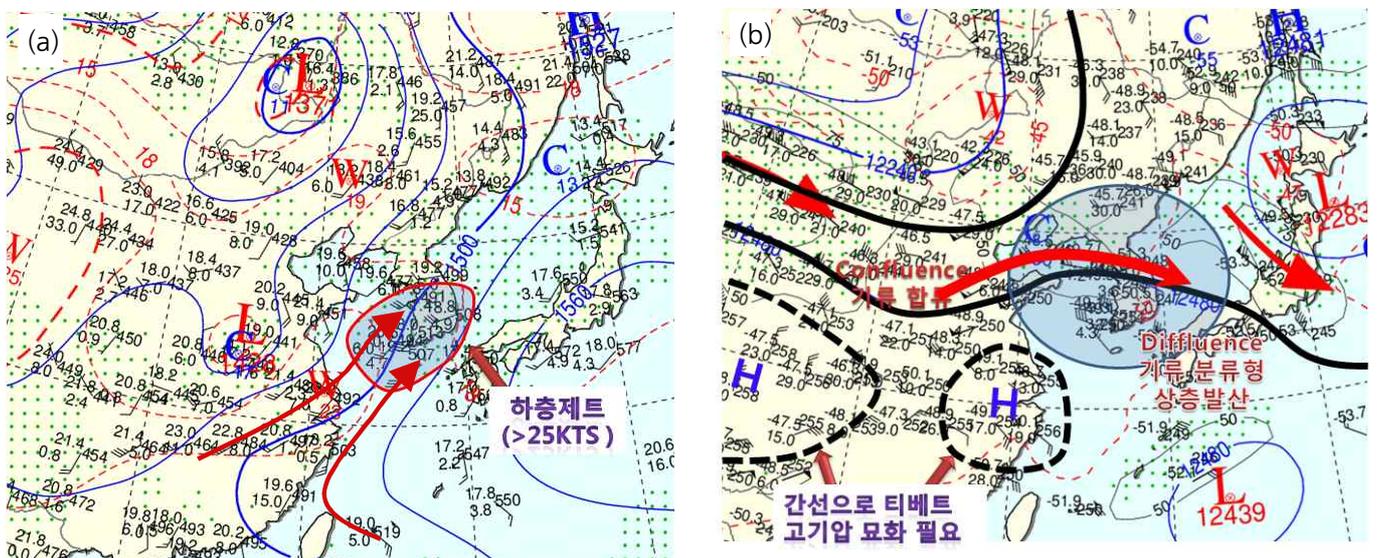


그림 4. 2011년 7월 27일 00UTC (a) 850hPa과 (b) 200hPa 편집일기도

겨울철은 남북의 온도차이가 크기 때문에 한대제트가 강하고, 아열대제트도 공존하는데 반하여 여름철은 아시아대륙의 가열로 남북의 온도차이가 작아 풍속이 약하고 우리나라 부근에선 한대제트보다 풍속이 약한 아열대제트가 주로 나타나기 때문이다. 그림 4(b)와 같이 여름철 일기도 분석 시 티베트고기압을 실선으로 분석할 수 없다면, 간선으로라도 묘화하는 것이 옳다. 이 티베트 고기압은 6~9월까지 티베트 고원에서 우리나라 부근의 상공을 오르내린다(Bao 1987). 그림 4(b)에서 중국 북부지역은 남북으로 등고선이 조밀한데 비해 우리나라 부근의 분류형 등고선 분포는 남북의 등고선 경도가 약하다. 등고선이 분류되는 형태는 발산이므로, 이 일기도에서 우리나라는 상층 발산구역에 위치한다고 할 수 있다. 한편, 상층일기도 분석 시 합류형의 등고선 분포는 상층의 기류가 수렴되는 형태이다. 따라서, 상층 바람장을 이용해 가장 강한 발산지역에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 등고선 분류형의 상층 발산구역은 고기압성 회전을 하는 북서기류에서 뚜렷하며, 풍속은 강하지만 기류가 진행하는 방향으로 풍속이 약한 지역에서는 발산값이 최대로 나타난다(Funk 1991, Maddox 1979, Uccellini and Johnson 1979).

그림 5는 하층제트에 의한 호우 모식도와 상층제트와 하층제트의 커플링 모식도이다. 그림 5에서 강한 대류에 의한 호우 구역은 850hPa에서 최대풍속의 북쪽에 위치하는데, 온난-습윤한 기류가 고위도로 이동하면서 상대적으로 차가운(무거운) 공기위로 상승하다가 상층의 발산구역에 들어가게 되면 강한 대류가 발달한다. 따라서, 동일한 850hPa 등압면 일기도에서 상승기류가 가장 강한 지역은 최대풍속의 북쪽에 풍속이 감소하는 지역이다. 그림 4와 같이 850hPa 최대풍속을 기준으로 남북의 연직단면도를 보면, 그림 5와 같이 하층대기의 강한 남풍은 고위도로 이동하면서 수평적 풍속 감소분을 연직 상승운동으로 전환하면서, 최대 상승운동이 나타나는 지역에서 강한 대류가 나타난다(Trier and Parsons 1993). 이 모식도에서 보여준 대류발달구역은 그림 3에서 보여준 2011년 7월 27일 호우사례와 일치한다. 그림 5에서 하층제트가 지나가는 상공의 지상바람은 동풍이나, 미풍의 바람이 분다. 왜냐하면, 따뜻한 기류는 지상으로

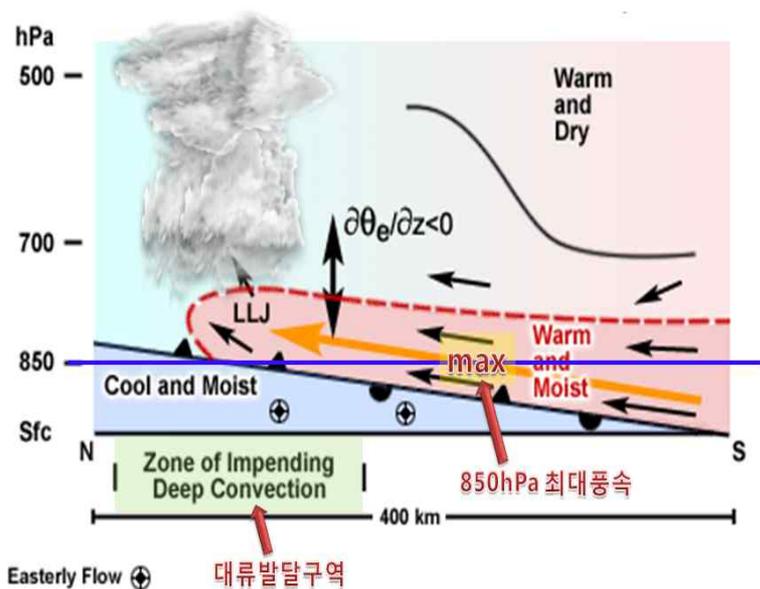


그림 5. (a) 하층제트에 의한 호우 모식도

하강하지 않고 상승하기 때문에 그림 4와 같이 일정한 각도의 남북방향으로 전선면이 생기기 때문이다. 따라서, 지상일기도 분석시 850hPa 하층제트의 최대풍속의 북쪽지역은 바람의 풍계를 고려한 일기도 분석보다 주변 기압계를 고려한 묘화가 필요하다. 그림 6은 2011년 7월 27일 00UTC 지상일기도이다. 우리나라 중부지방을 중심으로 등압선 간격은 조밀한데 비하여 지상에서 관측된 풍속은 매우 약한 것을 볼 수 있으며, 특히 뇌전을 동반한 많은 비가 내리는 서울은 등압선 방향과는 달리 북동풍이 불고 있다.

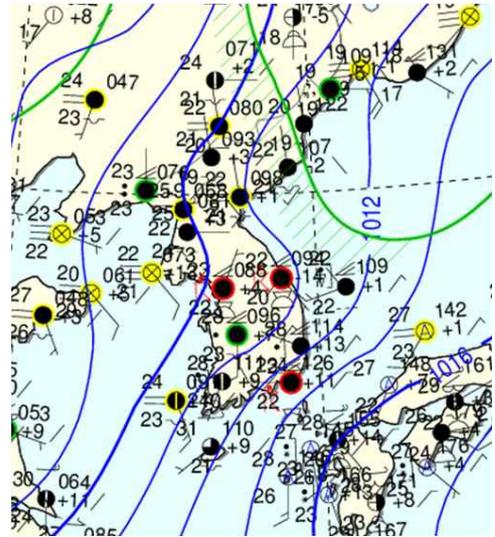


그림 6. 2011년 7월 27일 00UTC 지상일기도

■ 제트 입구의 남쪽 발산

상층 발산구역은 앞에서 설명한 등고(압)선 형태로 찾을 수 있다. 상층 발산구역은 주로 상층 제트가 약할 경우에 해당하며(주로 아열대제트에서 중심풍속 100kts 이하), 상층제트가 강할 경우 분류형태가 나타나지 않는다(주로 한대제트에서 중심풍속 100kts 이상). 또 다른 방법으로 제트축을 기준으로 풍속의 증가, 감소 지역의 4개 분면으로 나눠 찾을 수 있다. 등고선 형태로 나타나는 그림 7(a)는 2010년 9월 21일 중부지방에 발생한 호우사례에 대한 12UTC 200hPa 일기도이다. 차가운 공기를 가진 북쪽의 기류가 중국 북부지방으로 남하하면서 우리나라 부근의 따뜻한 기류와 만나 강한 제트기류가 형성되는데, 제트기류의 최대풍속 지역은 연해주 부근에 위치하고 우리나라는 제트 최대풍속을 기준으로 남쪽이고 입구에 해당한다. 그림 7(b)의 Uccellini and Kocin (1987)가 제시한 제트기류에 의한 발산, 수렴의 모식도에서 상층 발산, 하층수렴 지역에 해당한다.

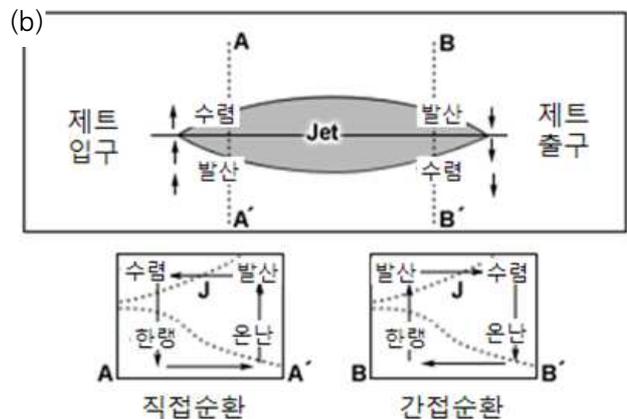
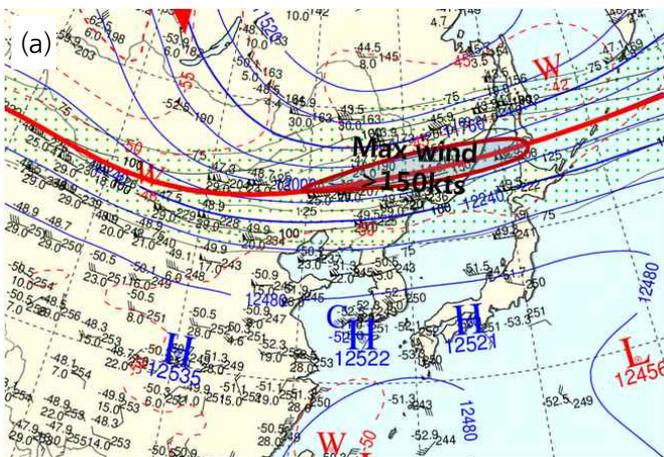


그림 7. (a) 2010년 9월 21일 12UTC 200hPa 일기도와 (b) 상층제트에 의한 발산과 수렴구역 모식도

〈참고문헌〉

장마백서, 2011: 기상청

Bao, C-L., 1987: Synoptic Meteorology in China. *China ocean press*. Beijing.

Chen, G. T, Z. Jiang, and M-C. Wu, 2003: Spring heavy rain events in Taiwan during warm episodes and the associated large scale conditions. *Mon. Wea. Rev.*, **131**: 1173-1188.

Choi, K-S. and H-R. Byun, 2007: Definition of the onset and withdrawal of the warm season over east Asia and their characteristics. *J. Korean. Met. Sci.*, **43-2**: 59-75.

Flohn, H., 1968: Contributions to meteorology of the Tietan plateau. *Atoms. Sci. Paper No 130, Colorado Stte Univ.*, Ft. Collins, Co.

Funk, T. W., 1991: Forecasting techniques utilized by the Forecasting Brach of the National Meteorological center during a major convective rainfall event. *Wea. Forecasting*, **6**, 548-564.

Hsu, H-H., C-T. Terng, and C-T. Chen, 1999: Evolution of large-scale circulation and heating during the east transition of Asian summer monsoon. *Journal of Climate* **12**: 793-810.

Huang S. S. and M. M. Teng, 1964: On the annual variation of the subtropical high position. *J. Natural Science in Univ.*, **1**: 11-29.

Maddox, R. A., 1979: The evolution of middle and upper tropospheric features during a period of intense convective storms. Preprint: *Eleventh Conf. on Severe Local Soc.*, Kansas City, Amer. Meteor. Soc., 41-48.

Saulo, C., J. Ruiz, and Y. G. Skabar, 2007: Synergism between the low level jet and organized convection at its exit region. *Mon. Wea. Rev.*, **135**: 1310-1326.

Trier, S. B. and D. B. Parsons, 1993: Evolution of environmental conditions preceding the development of a nocturnal mesoscale convective complex. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1078-1098.

Uccellini, L. W., and D. R. Johnson, 1979: The coupling of upper and lower tropospheric het streaks and implications for the development of severe convective storms. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 682-703.

---, L. W. and P. J. Kocin, 1987: The interaction of jet streak circulations during heavy snow events along the east coast of the United States. *Wea. Forecasting*, **2**: 289-308.

Ueno, K., H. Fujii, H. Yamada, and L. P. Liu, 2001: Seasonal heating of the Tibetan plateau and its effect on Asian summer monsoon. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **79(1B)**: 419--434.

Yanai, M., C. Li, and Z. Song, 1992. Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **70(1B)**: 319-351.