

장마철 우리나라 강수의 지속성에 따른 종관 특성의 차이

박병익*

Difference of Synoptic Characteristics according to the Persistence of Rainfall in Korea during the Changma Season

Byong Ik Park*

요약 : 본 연구에서는 장마철 우리나라의 지역 평균 강수량을 이용하여 강수의 지속성에 따른 종관 특성의 차이를 살펴보았다. 그 결과 일강수량 10mm 이상이 4일 이상 지속되는 강수(장기 강수)와 1~2일에 그치는 강수(단기 강수) 사이에는 종관 특성에 차이가 있음을 알았다. 장기 강수의 경우 우리나라 동쪽에 기압능이 발달, 저기압과 전선의 정체를 유도하였고, 또 강수 1일 전에 찬 공기가 화중지방으로 남하, 전선이 활발해져 강수의 지속성에 기여하였다. 단기 강수의 경우 저기압이 우리나라를 정체 없이 통과하였다. 또한 장기 강수와 단기 강수의 경우에 우리나라 부근의 전선이 대륙권 전체에 미치는 경압성이 큰 구조를 보였다. 장기 강수의 전선 구조가 일본 남서부 지역 장기 강수의 경우와 다르며, 단기 강수의 경우는 양 지역에서 같다. 이는 장마가 반드시 일본 바이우(Baiu)의 연장선상에 있는 것은 아님을 의미한다.

주요어 : 장마철, 강수의 지속성, 종관 특성, 전선 구조, 장마전선

Abstract : This study aims to investigate the difference of synoptic characteristics over East Asia according to the persistence of rainfall in Korea during the Changma season (June and July). In the cases of consecutive rainfall which lasts four or more days, there are developed ridges in 850hPa level east of the Korean peninsula which introduce stagnation of the synoptic cyclone over Korea. An cold area in 850hPa level moves southward from the Northern China in one day before the beginning the rainfall day in Korea and it aids the development of the stationary front in East Asia. When rainfall lasts a day or two, cyclones pass over Korea in rainy day and the stationary front in East Asia is not intensified. In both cases the synoptic cyclones near the Korean peninsula shows a deep-baroclinic structure, while in the former cases over the southwestern part of Japan a subtropical frontal zone which has a shallow structure appears near Japan. In latter cases the frontal structures are same near Korea and Japan. So, this means that the Changma is not necessarily similar to the Baiu of Japan in all cases.

Key Words : Changma season, persistence of rainfall, synoptic characteristics, frontal structure, Changma front

* 서울대학교 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Seoul National University), fbipark@snu.ac.kr

1. 서론

장마 때에 우리나라의 날씨는 비가 오거나 흐린 날이 지속적으로 나타난다고 알려져 있다(Lee, 1976). 이 지속적인 악천후는 정체전선인 장마전선에 의해 나타나며, 장마전선의 움직임은 북서태평양고기압의 특성 등 종관 특성에 의해 정해진다(Lee, 1975; Lee and Kim, 1983; Ninomiya and Muraki, 1986).

장마전선은 대체로 우리나라 부근을 중심으로 그 서쪽과 동쪽에서 성질이 다른 것으로 알려져 있다. 장마전선 남쪽과 북쪽의 기단(Saito, 1966)과 종관 특성(Akiyama, 1989)이 양 지역에서 다르므로 일본 부근에서는 남북의 온도와 습도 기울기가 크고 약 6일 정도의 주기로 전선이 남북으로 크게 변화한다. 이에 비해 중국 대륙에서는 남북의 온도 기울기가 작고 습도 기울기가 크며(Kato, 1985) 전선은 약 6일과 1일 주기 변동이 탁월하다. 1일 주기 변동은 주로 지면 가열로 인한 대류로서 지형과 관계가 깊다(Akiyama, 1989). 이와 같은 차이로 중규모 구름 클러스터의 특성과 전선의 구조가 양 지역에서 다르게 나타난다(Akiyama, 1989, 1990). 그런데 우리나라 부근에서 어떤 때에는 대륙 전선의 특성이 강하게 나타나며 어떤 때에는 일본 부근 전선의 특성이 강하게 나타난다. 이런 상황을 바탕으로 Akiyama(1990)는 일본 부근의 전선을 얇은 활동전선 유형(active-shallow type)과 깊은 활동전선 유형(active-deep type)으로 구분하였다.¹⁾

국내에서 18일 계속된 호우에 대한 사례 연구(Lee *et al.*, 2008)는 있으나 강수의 지속성에 관한 연구는 Park(1990)의 연구 외에는 거의 없다. Park은 장마철(6, 7월)에 각 지점별로 강수의 출현 확률을 이용하여 강수가 무작위로 출현한다고 가정할 때 연속 강수일이 나타날 확률로 30년의 6, 7월에 대해 기대되는 출현빈도를 계산, 실제 관측되는 출현빈도와 비교하여 후자가 더 큰 연속 강수를 지속적인 강수로 정의하고, 지속적 강수가 많이 나타난 시기와 그렇지 않은 시기의 종관 특성을 살펴보았다. 그러나 동아시아 규모 종관 특성에 의해 지속적 강수가 나타난다면 지점별로 지속적 강수를 구하는 것은 문제가 될 수 있다. 실제로 지속적

강수의 기준이 되는 연속 강수일수가 지점에 따라 다르게 나타났다. 또한 종관 특성도 당시 자료의 한계로 인하여 월 단위로 살펴보았는데, 이는 지속적 강수의 종관 특성을 살피기에 미흡한 것으로 판단된다.

Takahashi(1993)는 장마철 일본 남서부 지역(130°E와 140°E 사이의 영역)의 평균 일강수량이 15mm 이상인 날이 4일 이상 연속하여 나타난 경우와 1~2일 나타난 경우의 종관 특성을 분석하였다. Takahashi(1993)의 연구에 의하면 지속적 강수의 경우 중국 양쯔강 유역에서 일본 남서부 지역까지 아열대전선(Ninomiya, 1984)으로서 정체전선이 발달하고 유라시아한대전선대는 50°N 부근에 남북 온도경도 극대 지대로 인정된다. 이는 Akiyama(1990)가 언급한 얇은 활동전선 유형에 해당한다. 한편 단기 강수의 경우 유라시아한대전선대가 일본 남서부 부근에서 35~40°N으로 남하, 이 전선대를 이동해온 저기압에 의해 강수가 나타난다. 이 경우 중국에 위치한 아열대전선은 약화되어 있다. 이는 Akiyama(1990)의 깊은 활동전선 유형에 해당된다. 다만, Akiyama(1990)의 연구는 1982년 7월에 대해 반순 평균값으로 구한 것이고, Takahashi(1993)의 연구는 일 자료의 합성으로 구한 것이어서 반드시 일치하는 것은 아니다.

본 연구의 목적은 장마철 우리나라 평균 일강수량을 사용하여 지속적 강수와 단기 강수의 경우를 선정하여 동아시아 지역의 종관 특성에 차이가 나타나는지, 그리고 이러한 특성이 일본 남서부 지역의 경우와 어떤 차이가 있는지를 살펴보는 것이다. 이 목적이 잘 이루어진다면 장마철 우리나라의 강수 특성을 이해하는 데에 도움이 될 것이다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 자료는 다음과 같다. 우리나라의 61개 관측지점에서 1973~2008년의 6, 7월 일강수량 자료, 일본 기상청의 지상일기도를 사용하였다.²⁾ 종관 특성을 조사하기 위한 상층 자료는 NCEP/NCAR의 재해석자료(reanalysis data)에서 구하였고,³⁾ 대류

활동의 정도를 알아보기 위해 NOAA의 OLR(outgoing longwave radiation) 자료를 이용하였다. 재해석자료는 00Z와 12Z의 자료를 사용하였고, OLR 자료는 일평균값이다. 다만 OLR 자료는 1974년부터 이용할 수 있었고, 1978년 자료는 누락되었다. 이들 자료는 경위도 2.5도의 해상도를 갖는다.

연구방법은 다음과 같다. 먼저 제주도와 울릉도를 제외한 지역의 일강수량 평균을 구한 후 일강수량 10mm 이상인 날이 연속하여 4일 이상 나타난 사례(이하 장기 강수로 지칭)를 고른 후 이들 사례가 나타난 해 혹은 그 전후의 해에서 연속 강수일이 1, 2일인 사례(이하 단기 강수로 지칭)를 선정하였다. 이들 사례들에서 태풍의 영향으로 강수가 나타난 경우는 제외하였다. 그 결과 장기 강수는 14개 사례, 단기 강수는 29개 사례였다. 이들 사례들에서 강수가 시작된 날을 0일로 하고 그 2일 전에서 2일 후까지의 기간에 대해 재해석 자료의 해면기압, 상층의 등압면고도와 기온, 바람, 수증기 수송 등과 OLR의 합성도를 작성하여 종관 특성의 차이를 비교하였다. 또한 동아시아 지역의 전선이 하층에만 나타나는지 혹은 상층에도 잘 나타나는지를 알아보기 위해 850, 700, 500, 300hPa 면에서 상대소용돌이도의 양의 값(저기압성 회전)이 큰 지역만을 골라 함께 표시하였다.

3. 장기 강수와 단기 강수의 사례

일반적으로 한 지점에서 10mm 이상의 일강수량은 전선이나 종관 저기압과 관련하여 나타난 것으로 간주

된다(Park, 1996). 본 연구에서처럼 상당히 넓은 지역의 평균 일강수량이 10mm 이상이면 전선이나 종관 저기압과 연관되었다고 판단하여도 무리가 없을 것이다. 따라서 장기 강수와 단기 강수의 판단 기준으로 일강수량 10mm를 잡았다.

Table 1은 지역 평균 일강수량 10mm 이상이 n일 연속될 경우의 관측빈도와 계산빈도를 보인다. 계산빈도는 기준 일강수량이 무작위로 나타난다고 가정할 때의 출현확률($P=0.22$)과 총 일수($N=2196$)를 이용하여 다음 공식으로 계산할 수 있다. 여기서 $Q=1-P$ 이다. 자세한 사항과 문헌은 Park(1990)을 참고하기 바란다.

$$CF=NP^nQ^n$$

Table 1에 의하면 2일 이상 연속강수일의 관측 빈도가 계산된 빈도보다 크기 때문에 지속적 강수라고 할 수 있다. 그러나 사용된 자료가 일강수량이므로 야간의 강수 시간을 가정하면 문제가 될 수 있다. 따라서 관측 빈도가 계산 빈도보다 매우 큰, 4일 이상 강수가 연속된 경우를 선정한다면 1~2일 강수의 경우와는 종관 특성에서 뚜렷한 차이가 나타날 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 4일 이상의 연속 강수일을 가진 경우를 장기 강수(Type L), 1~2일의 강수를 단기 강수(Type S)라고 할 것이다(Table 2).

6, 7월의 전체 강수량에서 일강수량 10mm 이상의 총 강수량은 82.8%를 차지하고 있으며, 장기 강수는 이것의 36.4%를 차지한다. 따라서 장기 강수는 전체 강수량의 약 30%를 차지하고 있다. 그런데 강수일수로 보면 장기 강수는 일강수량 10mm 이상 강수일의

Table 1. Observed and calculated frequencies for several length of consecutive rainfall day.
연속 강수일의 기간 별 관측 빈도와 계산 빈도.

| LC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|-----|----|----|----|---|---|---|
| OF | 164 | 76 | 21 | 13 | 6 | 4 | 0 |
| CF | 294 | 65 | 14 | 3 | 0 | 0 | 0 |

* LC=length of consecutive rainfall day, OF=observed frequency, CF=calculated frequency by supposition of random occurrence of rainfall. CF is calculated by NP^nQ^n , where N ($N=2196$) is the total no. of days for the study period (Jun. and Jul., 1973~2008), $P(P=0.22)$ the occurrence probability of areal averaged rainfall in Korea more than 10mm per day, $Q=1-P$, $n=LC$.

Table 2. Cases of Type L and Type S. 장기 강수와 단기 강수의 사례.

| Type | Cases |
|--|---|
| Type L: Long lasting rainfall (more than 4 days) | 1974. 7. 28~31, 1975. 7. 24~28, 1978. 7. 16~19, 1979. 6. 24~27, 1980. 7. 20~23, 1983. 7. 19~24, 1988. 7. 11~15, 1990. 7. 14~18, 1991. 7. 9~12, 1993. 7. 11~14, 1995. 7. 7~10, 1998. 6. 24~27, 1998. 6. 30~7. 3, 2004. 7. 12~17. (14 cases) |
| Type S: short lasting rainfall (1 or 2 days) | 1978. 7. 12; 1979. 7. 10, 13, 16; 1980. 6. 16~17, 25, 6. 30~7. 1; 1983. 7. 14; 1986. 6. 16, 28; 1988. 6. 29; 1989. 7. 8, 11; 1991. 7. 7, 15; 1992. 7. 12~13, 16~17; 1994. 6. 30~7. 1; 1997. 7. 1, 5~6, 11, 15~16; 1999. 6. 16~17, 23; 2000. 6. 22, 26~27; 2001. 7. 5; 2003. 7. 18; 2004. 7. 7. (29 cases) |

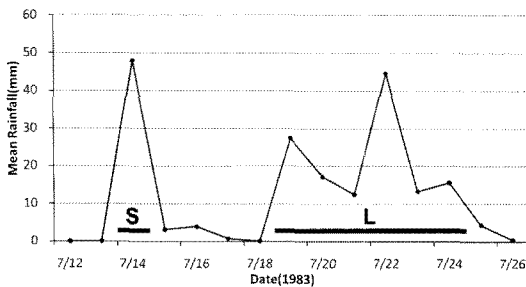


Figure 1. An example of day-to-day change of the areal average rainfall amount (mm/day) in Korea. (L: long lasting rainfall type; more than 4 days, S: short lasting rainfall type; 1 or 2 days). 지역 평균 일강수량의 일일변동의 사례.

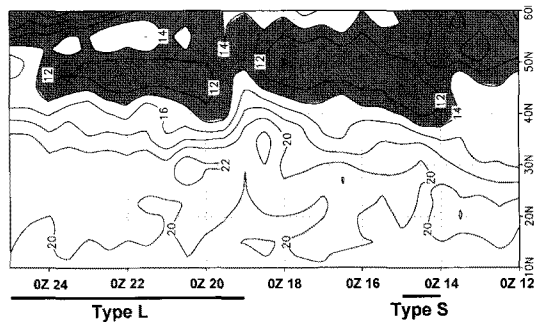


Figure 2. Time-latitude section of the 850hPa temperature (°C) along 127.5° E for 12~25 July, 1983. 127.5°E에서의 850hPa 기온(°C) 위도-시간 단면도.

21.9%를 차지하므로 하루의 강수량으로 보면 장기 강수가 상당히 많다는 것을 시사하고 있다.

Figure 1은 1983년 7월 12~26일까지의 지역 평균 일강수량을 보이고 있다. 일강수량 10mm 이상의 강수일은 14일, 19~24일에 나타나 7월 14일은 단기 강수, 19~24일의 6일은 장기 강수의 사례가 된다. 36년의 장마철 자료에서 구한 장기 강수의 사례는 23개, 단기 강수의 사례는 240개였다. 단기 강수의 사례가 많아서 장기 강수가 나타난 해 혹은 그 전후의 해에서 가급적 6월 중순 이후로 강수량이 많은 사례를 선정하였다. 다만, 태풍의 영향이 뚜렷한 사례는 제외하였다. 그 결과 장기 강수 사례가 14개, 단기 강수 사례가 29개였다.

Figure 2는 1983년 7월 12~25일에 대해 127.5°E에서 구한 850hPa 기온(°C)의 위도-시간 단면도이다. 단기 강수의 경우 강수 시작 전에 고위도에서 40°N 부근으로 찬 공기가 남하하고 있는 것이 보이며, 반면 장기 강수의 경우 강수 시작 전에 고위도에서의 찬 공기

남하 현상이 나타나지 않고 있다. 다른 사례들에 대해서도 이와 유사한 위도-시간 단면도를 작성하여 살펴 보았는데(그림 생략), 사례에 따른 차이는 있으나 대체로 위와 유사한 경향이 나타났다. 따라서 장기 강수와 단기 강수의 사례에 대해 합성도를 작성하여 종관 특성을 분석하는 것이 의미가 있을 것으로 판단된다.

4. 장기 강수와 단기 강수의 종관 특성

1) 동아시아 종관상의 특성

Figure 3은 장기 강수와 단기 강수의 사례들에 대한 해면기압의 일련의 합성도를 보인 것이다. 강수가 시작된 날을 0일, 그 2일 전을 -2일, 그 2일 후를 +2일로 하여 각각 합성도를 작성한 것이다. 장기 강수의 경우

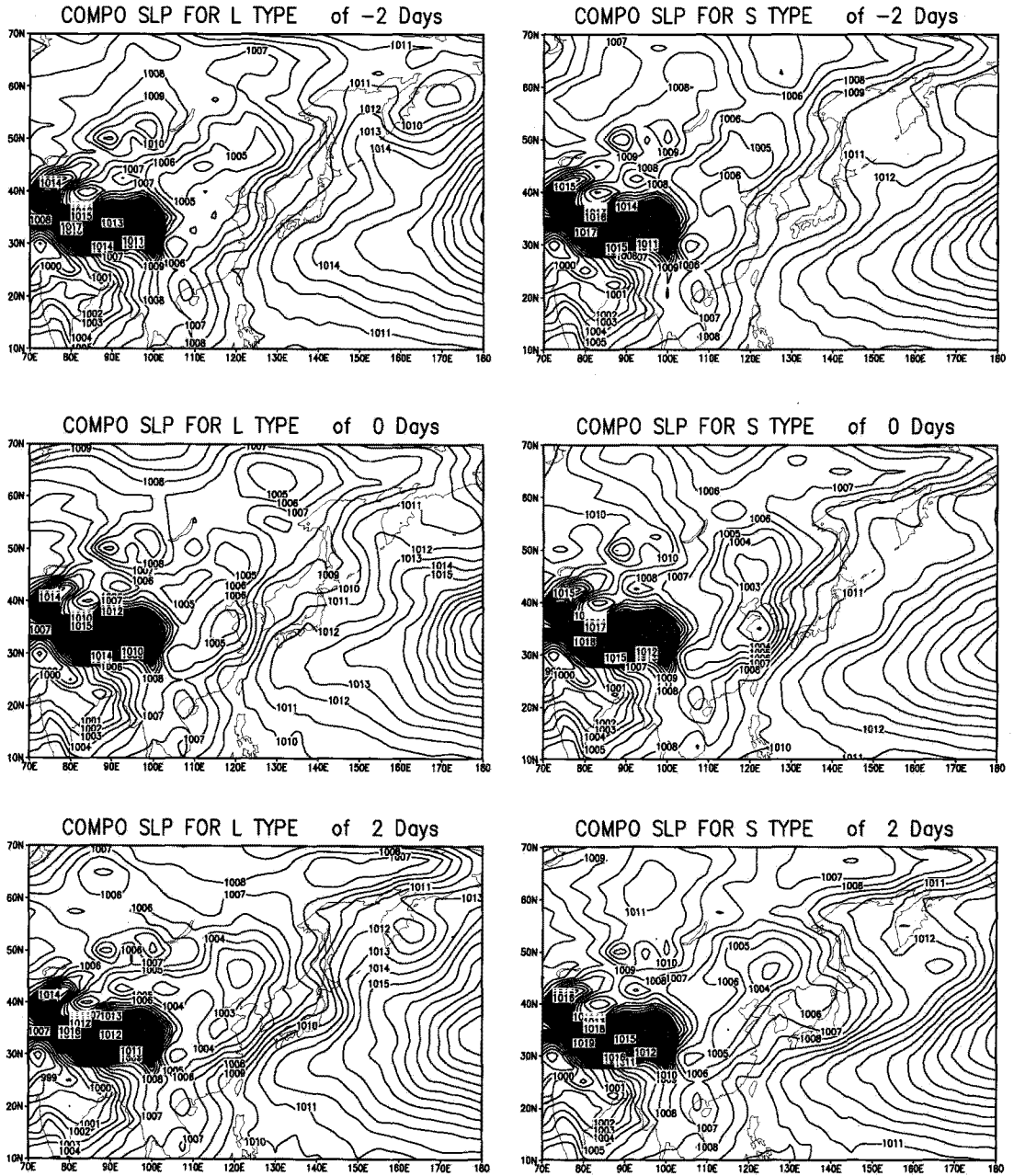


Figure 3. Sequence of the composite maps of the sea level pressure (SLP, hPa) for type L and S. 0 day: beginning day of rainfall more than 10mm in Korea. Contour Interval of SLP is 1hPa. (The shaded area is the Tibet Plateau). 장기 강수와 단기 강수에 대한 해면기압(hPa)의 일련의 함شد.

강수 2일 전에 티베트 고원의 북동쪽에 있던 저기압이 남동진하면서 중국 화중지방의 저기압과 연계하여 발달, 강수 시작일에는 우리나라에서 양쯔 강 중류지역

(티베트 고원의 동남부 부근)까지 저압부가 나타난다. 그리고 이때에 우리나라 동쪽에 작은 기압능이, 캄차카 반도 부근에 강한 기압능이 발달, 저기압의 동진을

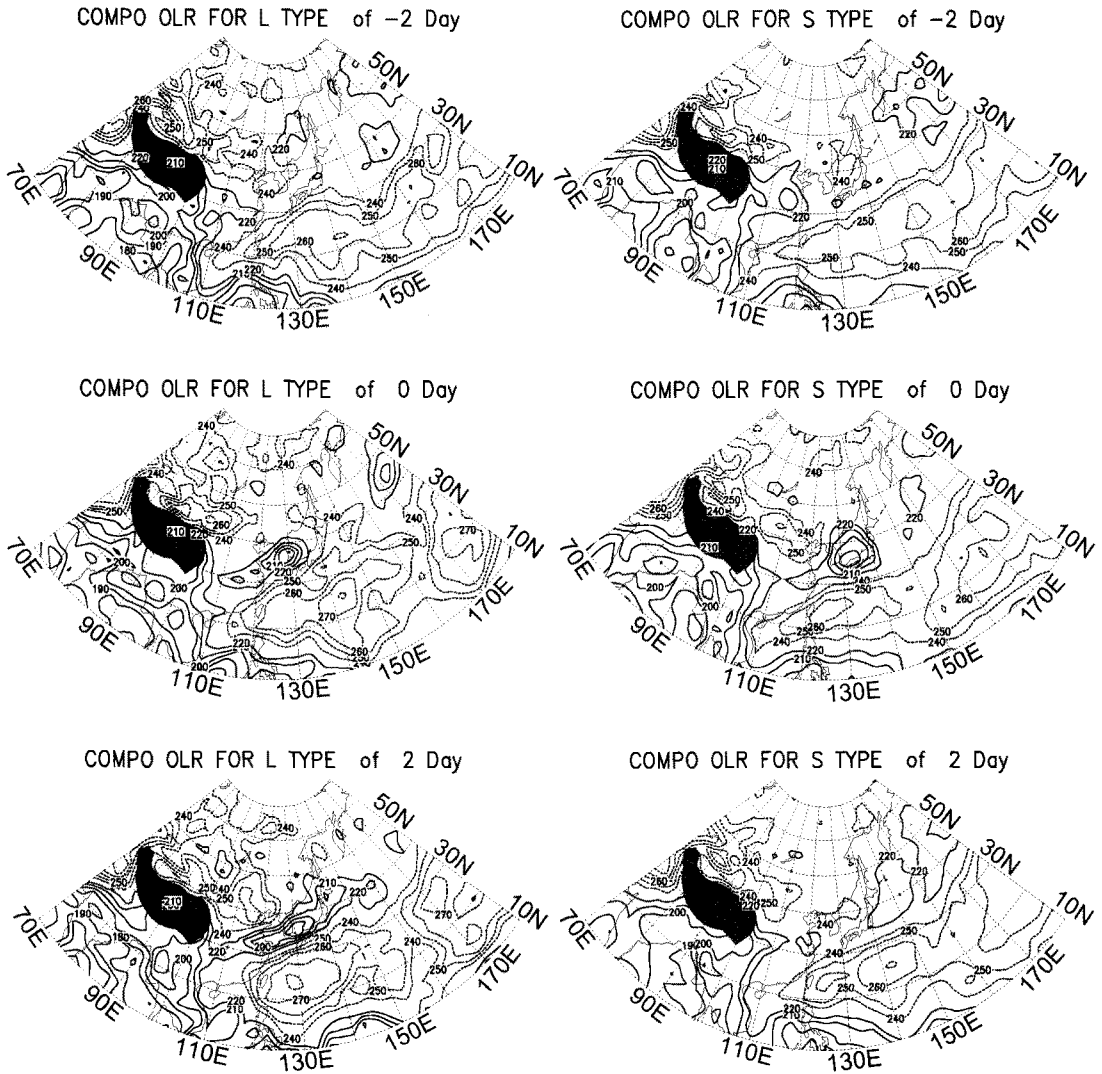


Figure 4. Sequence of the composite maps of the outgoing longwave radiation (OLR, Wm^{-2}) for type L and S (Solid line shows a value less than $220Wm^{-2}$, broken line a value more than $240Wm^{-2}$, Contour interval is $10Wm^{-2}$). 장기 강수와 단기 강수에 대한 OLR(Wm^{-2})의 일련의 합성도.

저지하고 있다. 강수 2일 후에도 대체로 이와 유사한 특성이 나타난다. 특히 $140^{\circ}E$, $35\sim 60^{\circ}N$ 부근 지역에 등압선이 밀집하여 나타나 우리나라 부근 저기압의 동진을 저지하는 것으로 판단된다. 다만 우리나라 동쪽의 작은 기압능이 사라진 것이 달라진 점이다.

단기 강수의 경우에도 강수 2일 전에는 티베트 고원 북동쪽에 저기압이 분포하며 이것이 남동진하면서 중국 남서부의 소용돌이와 연계하면서 발달, 강수 시작

일에는 중국의 남서부 지역~우리나라~중국의 동베이 지방을 잇는 저압부가 나타나는데, 해면기압이 가장 낮은 곳은 우리나라 부근이다. 강수 2일 후에는 우리나라 부근의 저기압이 동진하면서 우리나라에는 약한 기압능이 발달하여 강수가 약해지거나 멈추고 있으나 저압부는 중국의 남서부지역에서 동베이 지방으로 이어지는 지역에서 발달하고 있다.

대류활동의 정도를 알아보기 위해 OLR의 합성도를

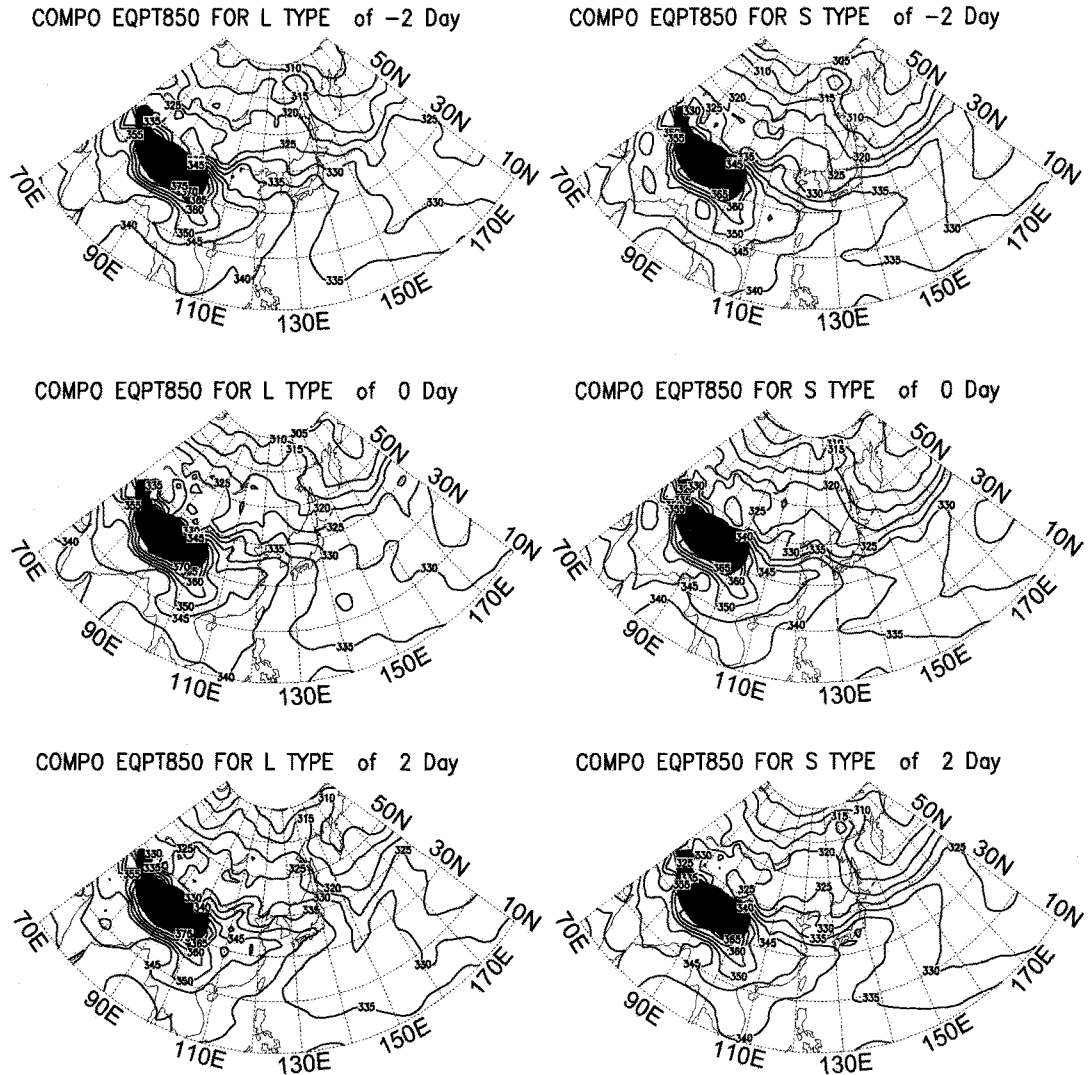


Figure 5. Sequence of the composite maps of the 850hPa equivalent potential temperature (EQPT, K) for type L and S (Contour interval is 5K). 장기 강수와 단기 강수에 대한 상당온위(K)의 일련의 합성도.

작성하였다(Figure 4). 대체로 OLR은 열대 지역의 대류 활동을 잘 나타내고 있으며, 우리나라 부근에서도 여름철의 경우 대류활동의 좋은 지표로 흔히 사용되고 있다. 보통 OLR 값이 220Wm^{-2} 이하인 곳이 대류가 활발한 지역이라고 판단된다.

장기 강수의 경우 강수 시작일부터 2일 후까지 우리나라 부근을 지나가는 동서 대상의 대류가 활발한 지역이 뚜렷하게 나타난다. 이에 비해 단기 강수의 경우

강수 시작일에는 대상의 대류 활발 지역이 나타나나 강수 2일 후에는 우리나라 부근에 OLR 값이 큰 지역이 나타난다. OLR 값이 적은 지역은 우리나라 남쪽에 나타나지만 동서 대상의 형태는 약하게 나타난다.

상당온위의 합성도에서 보면(Figure 5) 강수 시작일에 중국의 남서부 지역에서 우리나라 부근으로 상당온위가 큰 부분이 혀 모양으로 뻗어있는(습설이라고도 함) 것은 장기 강수와 단기 강수에 공통으로 나타난다.

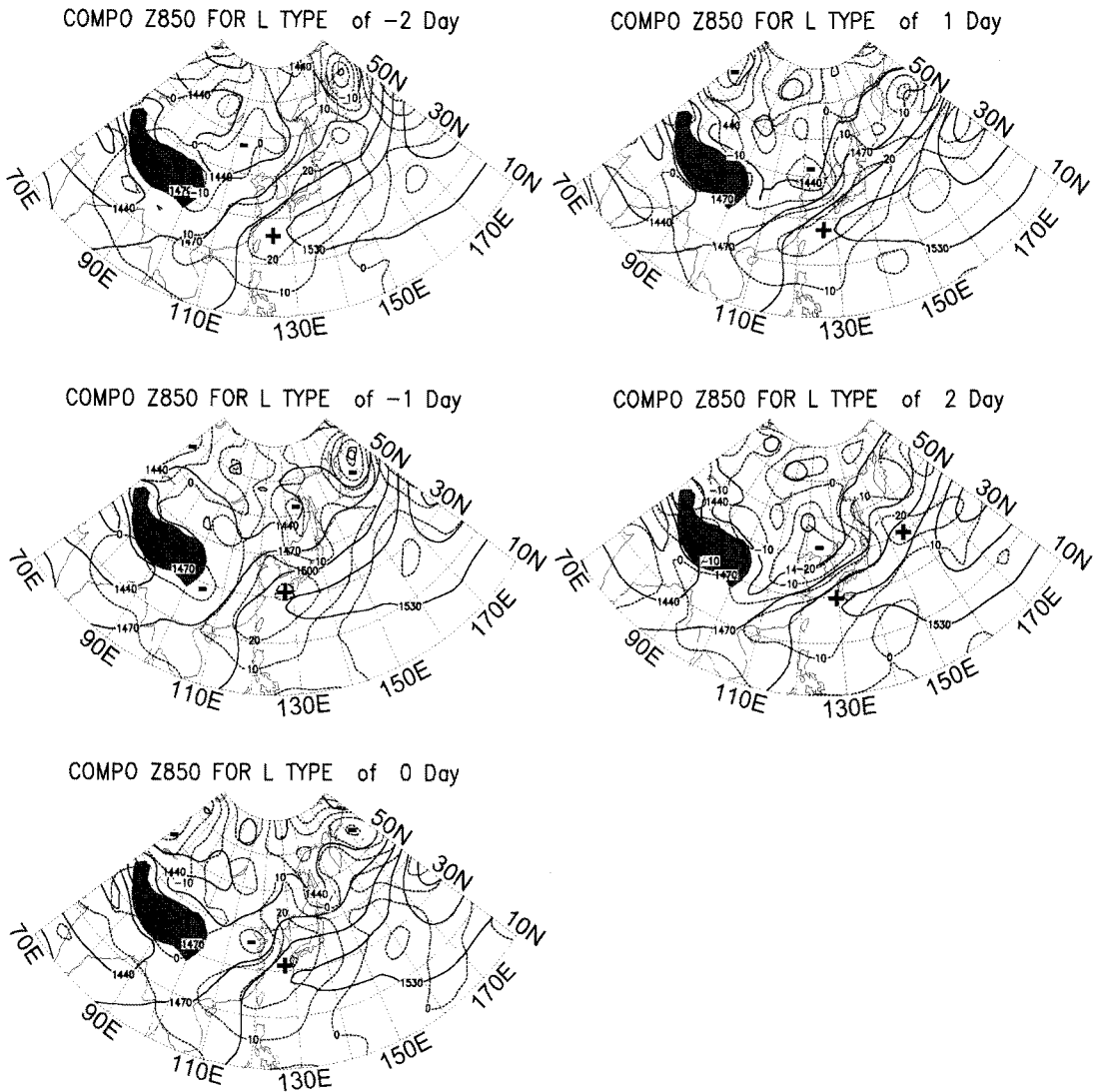


Figure 6. Sequence of the composite maps of the 850hPa height (Z850, gpm) and its anomalies for type L and S (Intervals of contours for Z850 and anomaly are 30gpm and 10gpm, respectively). 장기 강수와 단기 강수에 대한 850hPa 면 고도와 편차의 일련의 합성도.

장기 강수에서는 강수 2일 후에도 같은 패턴이 나타나지만 단기 강수의 경우 습설이 우리나라 남쪽으로 이동하고 있다. 또한 단기 강수의 경우 우리나라 부근에 상당운위가 낮은 곳이 골과 같은 형태로 나타난다.

Figure 6은 장기 강수와 단기 강수에 대해 850hPa 면 고도와 편차에 대한 일련의 합성도이다. 장기 강수의 경우 강수 2일 전에 티베트 고원 북동쪽에 위치한

기압골이 남동진하여 강수 시작일에는 우리나라 부근에 위치한다. 이때 우리나라 동쪽에 기압능이 발달하기 시작한다. 이 기압능이 동진하여 나타난 동해 동부와 오후즈크 해 서부의 발달한 기압능에 의해 우리나라 부근 저기압이 정체하면서 발달하고 있다. 또한 동시에 타이완 서쪽의 중국 화남지방에까지 북서태평양 고기압이 뻗어있어 이 지역에서 우리나라까지 고도 기

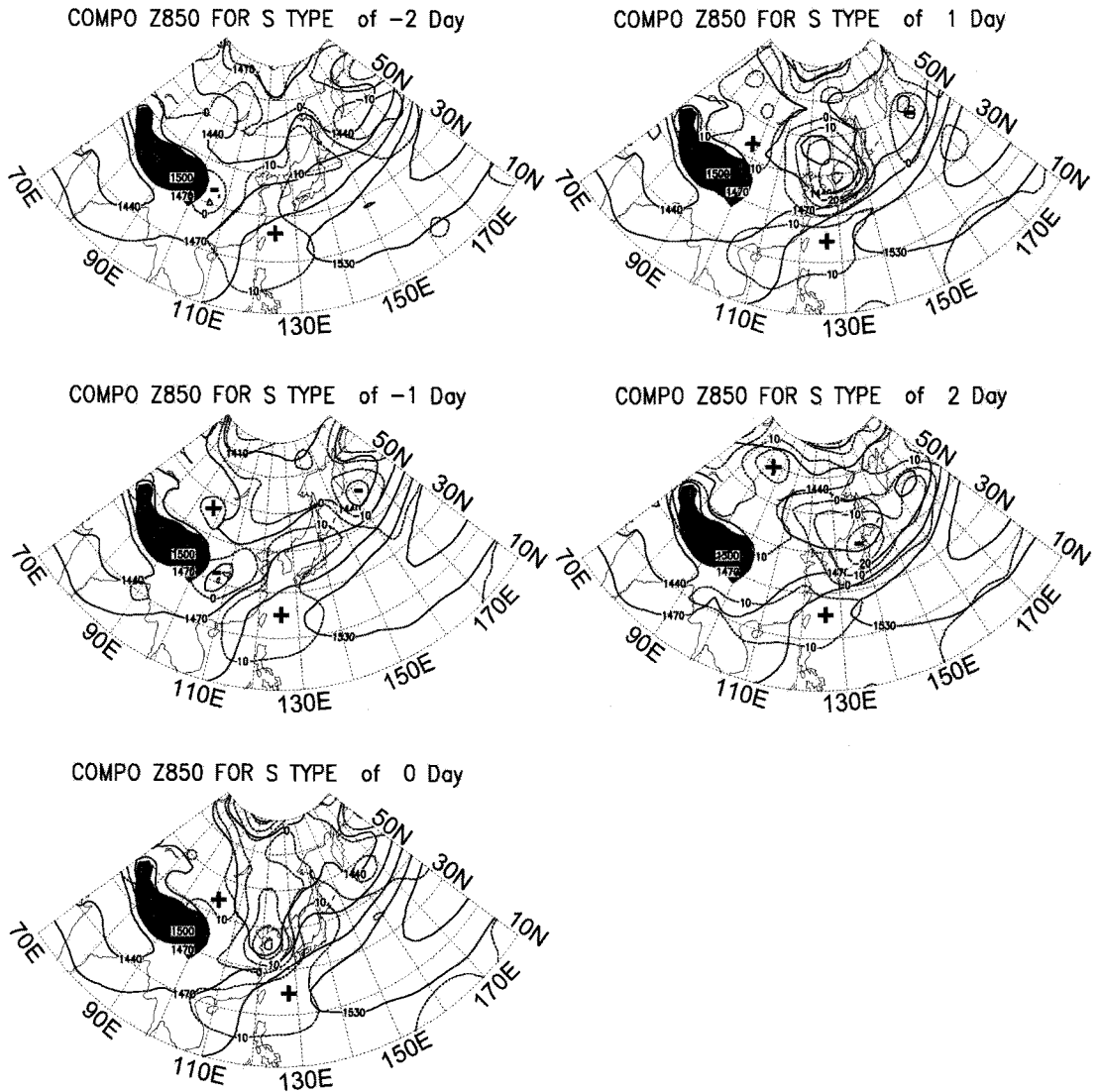


Figure 6. Continued

울기가 커지면서 남서풍이 강하게 불고 있다. 단기 강수의 경우 강수 2일 전에 바이칼 호 동쪽에 있던 기압골이 점차 남하하고 있으며 동시에 티베트 고원 동쪽에 있던 저기압은 발달하면서 동진한다. 이 기압골과 저기압이 연계하여 강수 시작일에는 우리나라 부근에서 매우 발달한 저기압이 되었다. 이때에 우리나라 동쪽에 기압능이 나타난다. 그런데 그 후에 기압능이 약화되면서 저기압은 동진하고 있다. 또한 타이완 서쪽까지 아열대고기압이 발달하여 남서풍이 발

달하고 있으나 우리나라 부근에 북서풍이 나타나 이 남서풍이 우리나라 남쪽을 지나간다. Figure 7은 장기 강수와 단기 강수에 대해 850hPa 면 기온과 편차의 일련의 합성도이다. 장기 강수의 경우 강수 2일 전에 티베트 고원 북동쪽에 위치한 저온역이 거의 남진하면서 강수 시작일에 우리나라 서쪽에 위치한다. 그 후 이 저온역은 우리나라 부근에서 약간 약해지기는 하나 거의 정체하고 있다. 이에 비해 단기 강수의 경우 강수 2일 전에 티베트 고원 북쪽에 있는

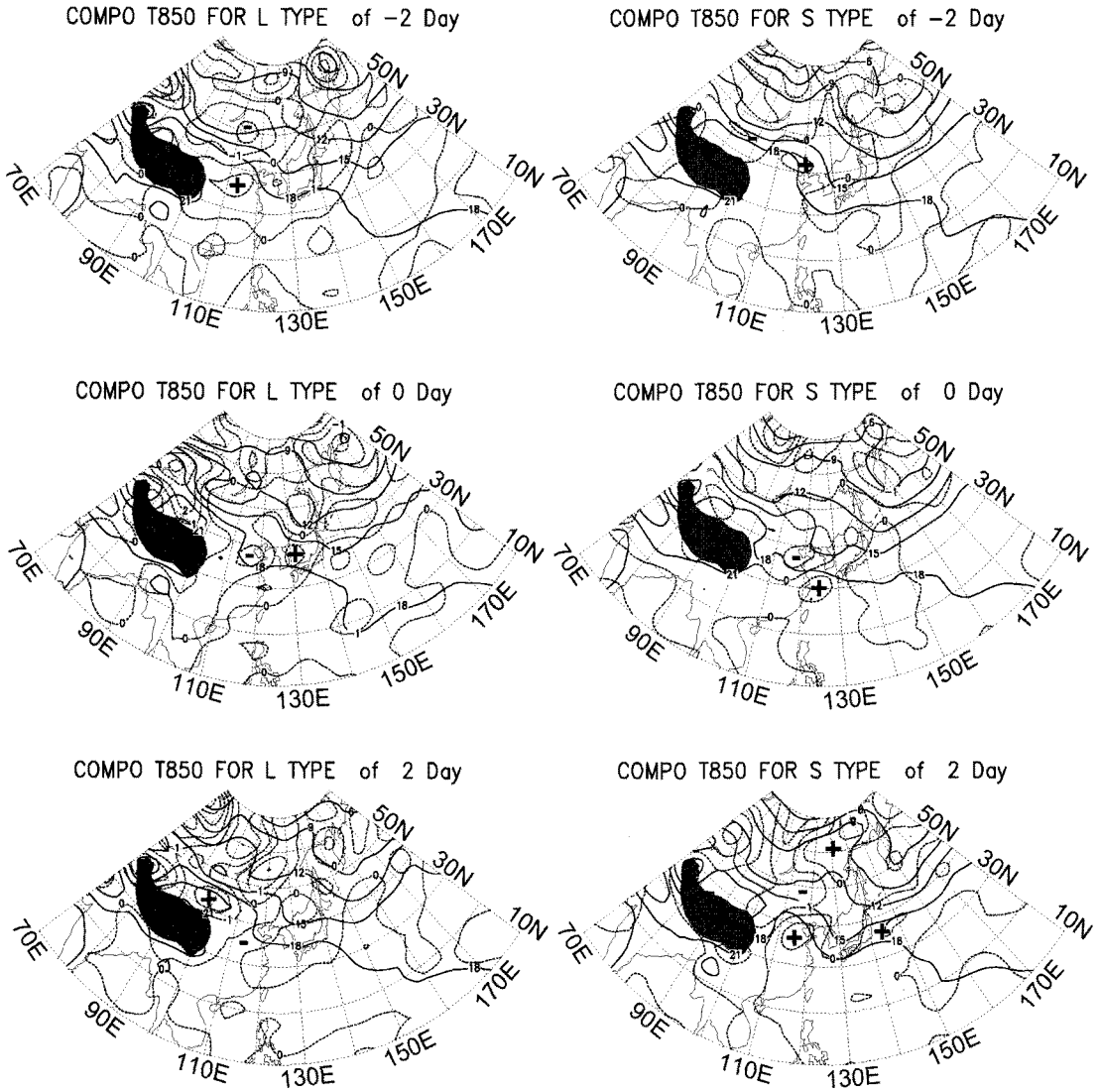


Figure 7. Sequence of the composite maps of the 850hPa temperature (T850, °C) and its anomalies for type L and S (Intervals of contours for T850 and anomaly are 3°C and 1°C, respectively).

장기 강수와 단기 강수에 대한 850hPa 면 기온(°C)와 편차의 일련의 합성도.

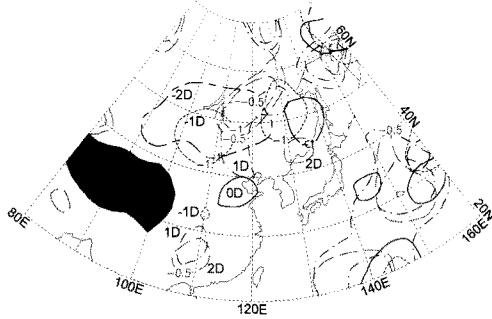
저온역이 남동진하면서 우리나라를 통과하고 있다. 이 결과는 Figure 2와 부합된다.

그런데 장기 강수의 경우 강수 시작일에 우리나라 서쪽에서부터 중국 화남 서부지역까지 음의 편차역이 분포한다. 단기 강수의 경우에는 화남 지방이 양의 편차지역이다. 이를 보다 상세하게 살피기 위해 장기 강수와 단기 강수의 -2일에서 +2일까지의 기간에 대해

850hPa 면 기온의 음의 편차 지역을 추출하여 하나의 지도에 합성하였다(Figure 8).

단기 강수의 경우 -2일에 티베트 고원 북쪽에 위치하던 저온역이 강수 시작일까지 남동진하고 있으며, 그 후에 기온 편차가 약해지며 천천히 동진하고 있다. 이 경우 중국의 화남 지방의 대부분은 양의 기온 편차 지역에 속하고 있어 고위도의 찬 공기가 화남지방으로

Cold Area Advection for L Type -2 ~ +2 days



Cold Area Advection for S Type -2 ~ +2 days

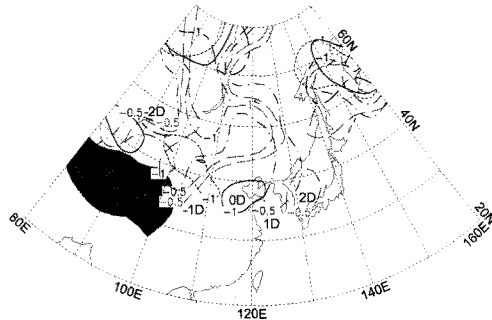


Figure 8. Negative anomaly areas of 850hPa temperature ($^{\circ}\text{C}$) of 5 days (-2 day ~ +2 day) for type L and S (-2D~2D: -2 day~+2 day, Contours for -2 day ~ 0 day are -1°C , those for 1 day and 2 day -0.5°C). 장기 강수와 단기 강수의 5일간(-2일~+2일)의 850hPa 면 기온의 음 편차 지역.

남하하지 않는다(그림 생략).

장기 강수의 경우 강수 2일 전에 티베트 고원 북쪽에서 북동쪽까지 넓게 자리 잡은 음의 편차 지역이 -1일에는 남쪽으로 남하하는데, 티베트 동쪽에 작은 음의 편차 중심이 있고 바이칼 호 남쪽에 큰 음의 편차 중심이 나타난다. 강수 시작일에는 화중지방의 음 편차 중심은 발달하면서 동진, 우리나라 서쪽에 있는 반면 북쪽의 음 편차 중심은 약화되었다. 이 때에 -0.5°C 의 등치선은 화중지방의 -1일의 음 편차 중심지역을 포함하고 있다(Figure 9). +1일 이후에 화중의 음 편차 중심은 계속 남하하고 있으며, 우리나라 부근의 음 편차 지역은 약화되고 있다.

장기 강수의 경우에 강수 -2일 전부터 강수 시작일 까지 티베트 고원 부근의 저온역의 이동을 보다 자세

하게 살펴보기 위해 이 기간 동안 12Z 간격의 850hPa 면 기온 편차 분포도를 작성하였다(Figure 9). 강수 2일 전 0Z에 음 편차 중심은 바이칼 호 남동쪽에 위치하나 티베트 고원 북쪽의 $90^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 지역에도 약한 음 편차 중심이 나타난다. 이 음 편차 중심이 12시간 후(-2일 12Z)에 티베트 고원의 동쪽으로 이동하고 있으며 북쪽의 음 편차 중심 지역은 중심이 2개로 나뉘어 하나는 동진, 하나는 서진하고 있다. 이중 서진하는 음 편차 중심은 기온 편차가 증가하였다. 다시 12시간 후(-1일 0Z)에 티베트 고원 동쪽으로 남하한 음 편차 중심은 동진하면서 발달하고 있고 바이칼 호 남쪽의 음 편차 중심은 정체하는 반면 그 동쪽의 음 편차 중심은 더 동진하면서 발달하였다. 다시 12시간 후(-1일 12Z)에 화중지방의 음 편차 중심은 발달하면서 동진하고 있으며 -0.5°C 이하의 음 편차 지역은 남동~북서 방향의 대상으로 나타난다. 바이칼 호 남쪽의 음 편차 중심은 약간 동진하면서 뚜렷하게 약화되고 있다. 이 때에 음 편차 지역은 거의 남북으로 분포하고 있다. 다시 12시간 후(0일 0Z)에 화중지방의 음 편차 중심은 중국의 동해안 부근까지 동진하였고 화중지방의 -0.5°C 이하 음 편차 지역은 거의 그대로 분포한다. 바이칼 호 남쪽의 음 편차 지역은 더 약화되고 있다. 12시간 후(0일 12Z)에 중국 동해안의 음 편차 지역은 거의 정체하고 있으며 화중지방의 음 편차 지역은 화남지방으로 남하하고 있다. 이 시기에 중국 동해안과 화남지방의 음 편차 지역은 -0.5°C 의 등치선으로는 분리되어 있다.

Takahashi(1991, 2003)에 의하면 티베트 고원 북동부에 상층 기압골이 있을 때 대기 하층에서 찬 공기가 티베트 고원 동쪽을 남하, 화중지방이나 화북지방에 활발한 전선이 나타나고 또 대상 강수역이 형성된다. 티베트 고원 동쪽에 남하한 찬 공기는 대기 하층에 한정된다. 본 연구의 장기 강수의 경우 500hPa면 기온 편차를 보면(그림 생략) 티베트 고원 동쪽의 하층 음 편차 지역에서 양의 편차가 나타나 찬 공기가 하층에 한정되고 있음을 알 수 있다. 따라서 장기 강수에서 나타나는 하층의 찬 공기 남하에 의해 중국의 화중지방의 전선 혹은 강수대가 활발해진다고 할 수 있다.

이상을 정리하면 다음과 같다. 장기 강수의 경우 강수 2일 전에 티베트 고원 북동쪽에 있던 기압골이 남동

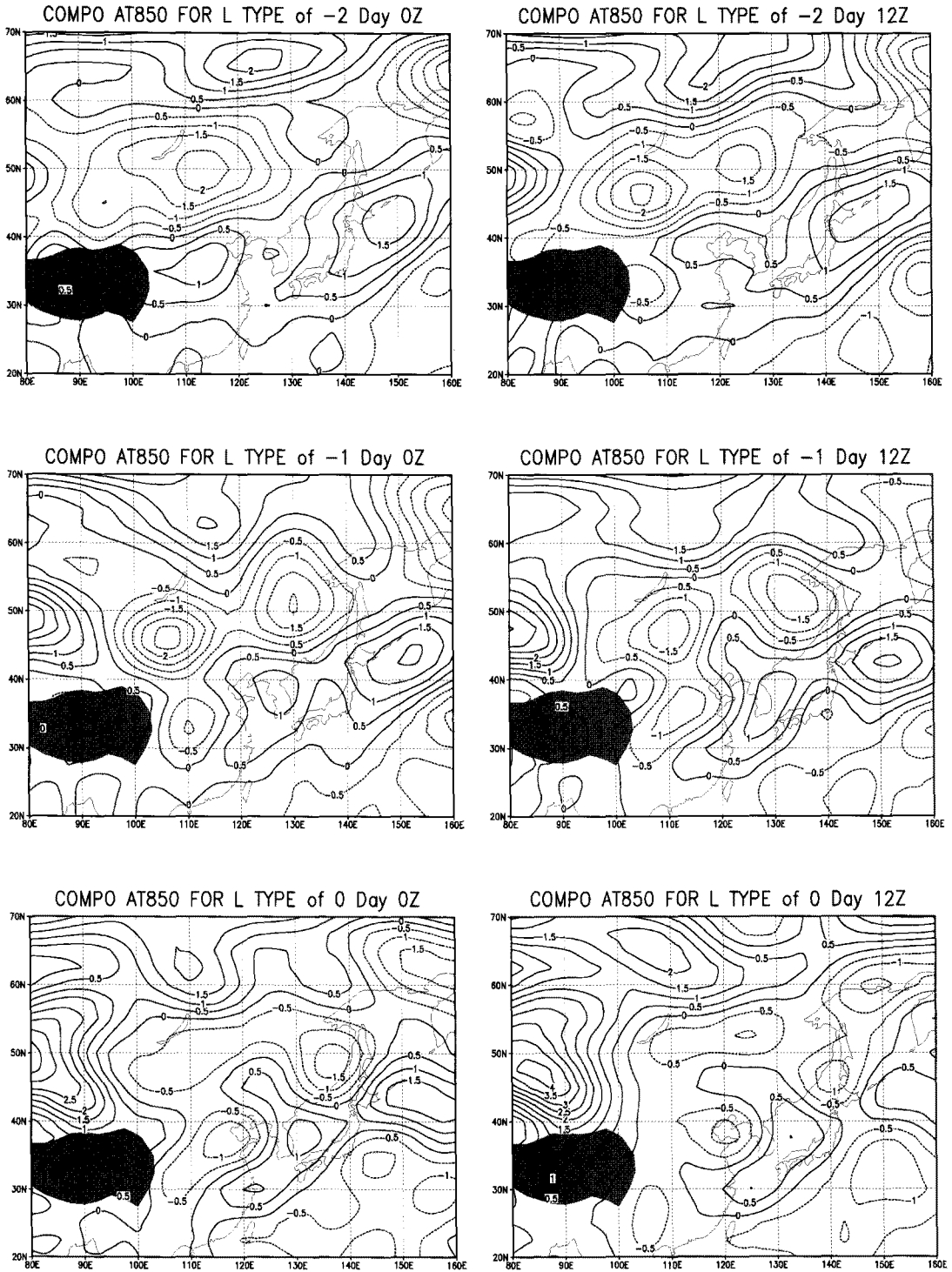


Figure 9. Sequence of the composite maps of the 850hPa temperature anomalies (AT850, °C) for type L during 3 days (Contour interval is 0.5°C and broken contours indicate minus anomaly).
장기 강수에 대한 850hPa 면 기온 편차(°C)의 합성도.

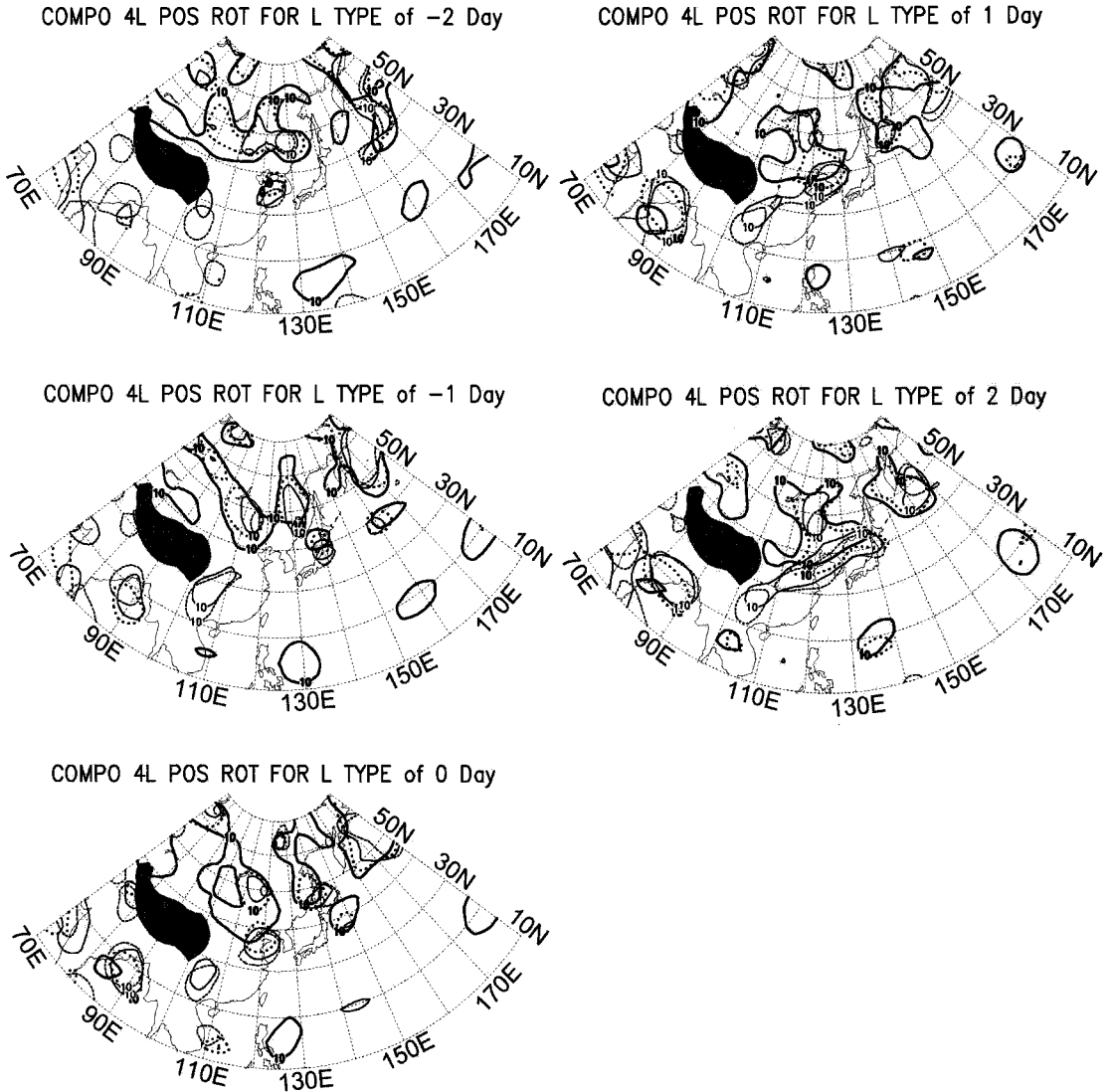


Figure 10. Sequence of the positive areas map of the composite vorticity fields for type L and S (The isolines of $10 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ on vorticity fields at 300hPa, 500hPa, 700hPa and 850hPa, are superimposed for each day. The thick solid and dotted lines represent the isolines for 300hPa and 500hPa, and the thin solid and broken lines for 700hPa and 850hPa, respectively). 장기 강수와 단기 강수의 합성 소용돌이도장의 양의 값 구역의 일련의 지도.

진하면서 우리나라로 접근한다. 동시에 하층의 찬 공기가 티베트 고원 북동부의 가장자리를 따라 화중지방으로 남하, 화중지방에 활발한 전선이 형성될 것으로 보인다. 따라서 화중에서 우리나라 부근까지 대상으로 저압부 혹은 전선대가 형성되는데, 우리나라 동쪽에 위치한 기압능으로 인해 저기압이 우리나라 부근에서

정체, 장기 강수가 나타나는 것으로 판단된다. 단기 강수의 경우 티베트 고원 북쪽의 저기압이 남동진하면서 우리나라에 접근한다. 이 때에 하층의 찬 공기는 장기 강수의 경우와는 다르게 화중지방이나 화남지방으로 남하하지 않는다. 그러나 고위도의 저기압 통과로 인해 화중지방의 강수계가 활발해져 강수 시작일에는 우

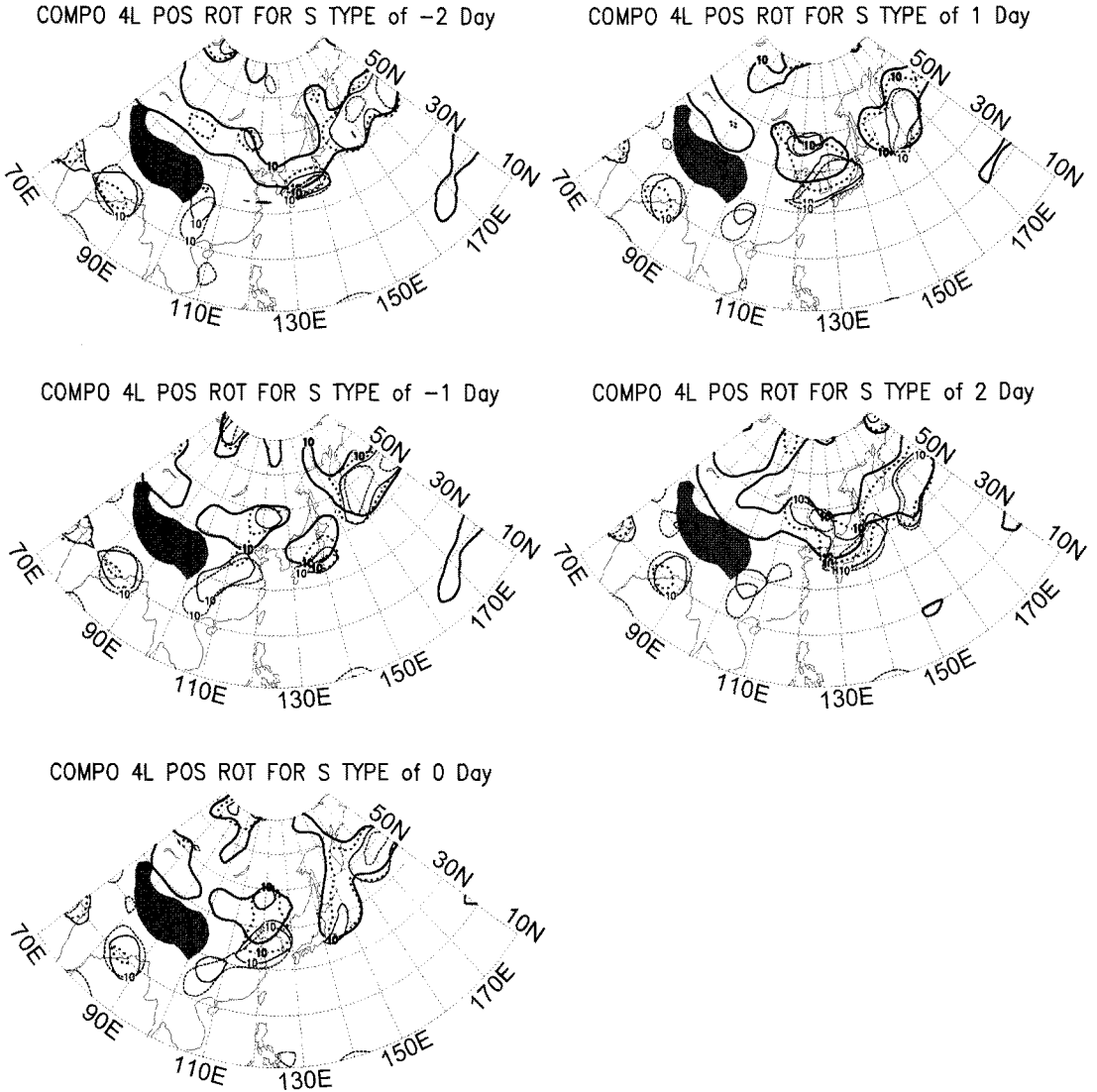


Figure 10. Continued

리나라에서 화중지방까지 대상의 강수대가 나타난다. 그런데 단기 강수의 경우 우리나라 동쪽의 기압능이 약해지거나 발달하지 않아 저기압이 우리나라를 통과하여 동진, 강수가 1~2일에 끝나게 된다.

2) 장마전선 구조의 비교

여기에서는 850hPa, 700hPa, 500hPa, 300hPa 등압면의 소용돌이도 분포도에서 양의 큰 값을 추출하여

하나의 그림으로 표현, 전선의 구조를 살핀다. 우리나라의 장기 강수와 단기 강수의 경우 전선 구조의 특성이 어떻게 나타나는지, 그리고 일본 남서부의 경우와 어떻게 다른지를 조사하기로 한다.

Figure 10은 장기 강수와 단기 강수의 경우에 -2일에서 +2일까지의 5일의 각 날에 대해 300hPa, 500hPa, 700hPa, 850hPa 면에서 합성된 소용돌이도 분포도에서 $10 \times 10^{-6} s^{-1}$ 이상의 양의 값을 보인 구역을 중첩한 것이다. 굵은 실선과 점선은 300hPa과 500hPa

면의 등치선을, 가는 실선과 파선은 700hPa과 850hPa 면의 등치선을 각각 나타낸다.

장기 강수의 경우 강수 2일 전에 중국의 남서부에 발달한 요란이 있고, 우리나라 북쪽 40°N 이북에 발달한 요란이 분포한다. 중국 남서부의 요란은 대기 하층에서 나타나나 고위도의 요란은 대기 상층까지 발달하고 있는 점이 다르다. 850hPa 면에서는 중국 남서부에

서 우리나라 부근까지 양의 소용돌이도가 대상으로 분포하고 있어(그림 생략), 장마전선이 나타남을 알 수 있다. 강수 1일 전에는 바이칼 호 남동쪽의 저기압이 발달하며 중국 남서부의 요란은 발달하면서 우리나라 쪽으로 확장되어 온다. 강수 시작일에는 황해에 대기 상층까지 발달한 요란이 있는데, 그 북쪽의 요란과는 대기 하층에서 분리되어 있으며(특히 850hPa 면에서는 음의 소용돌이도 구역으로 분리됨, 그림 생략) 남서쪽으로는 연결되어 있다. 강수 1일 후에 대기 하층에서 우리나라를 중심으로 남서쪽과 북서쪽으로 대상의 양의 소용돌이도 지역이 뿔어있으며, 대기 상층에서는 북서쪽으로부터 덩어리 모양으로 나타난다. 따라서 전체적인 양의 소용돌이도 지역의 모양은 종관저기압이 남동진하면서 화중지방의 요란과 연계되어 나타나는 λ 모양의 구름과 유사하다(Ninomiya, 2001). 이 패턴은 강수 2일 후에도 대체로 유지된다. 다만, 화남에서 우리나라까지 양의 소용돌이도 지역이 대상으로 잘 나타난다.

장기 강수의 강수 시작일에서 2일 후까지의 기간 동안 우리나라 부근에 저기압성 소용돌이도가 대기 하층에서 상층까지 나타나고 있다. 또한 상층으로 가면서 양의 소용돌이도 구역이 고위도로 이동하고 있어 중위도저기압임을 시사하고 있다. 따라서 Akiyama(1990)의 분류에 따르면 강수 시작일에서 2일 후까지의 장마전선은 깊은 활동전선 유형에 해당된다고 판단된다.

단기 강수의 경우를 보면 강수 2일 전부터 강수 시작일까지의 기간 동안은 장기 강수의 경우와 유사하다. 다만, 단기 강수의 경우가 강수 1일 전과 강수 시작일에 중국 대륙 쪽의 양의 소용돌이도 지역이 보다 더 대상으로 발달하고 있다. 강수 1일 후에는 강수 시작일과 유사한 패턴이 나타난다. 다만, 화남지방과 우리나라를 잇는 대상 지역에서 대기 하층 양의 소용돌이도는 등치선 값($10 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$)의 1/2보다 크다. 강수 2일 후에도 대기 하층에서는 화남지방과 양의 소용돌이도 지역으로 대상으로 이어지며, 상층에서는 동서의 대상으로 양의 소용돌이도 지역이 나타난다. 다만, 대기 하층의 양의 소용돌이도 중심은 우리나라 동쪽에 위치한다. 따라서 단기 강수의 경우에도 우리나라 부근의 장마전선은 Akiyama(1990)의 깊은 활동전선 유형에 해

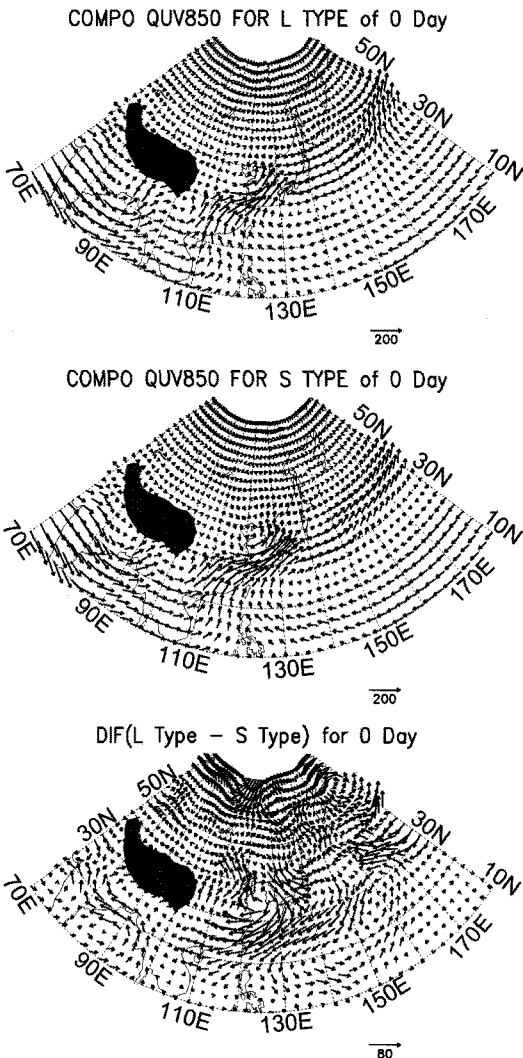


Figure 11. Composite moisture flux fields at the 850hPa level (Vq_{850} ; g/kg-m/sec) at 0 day for type L and S, and difference between types (subtract type S from type L). 장기 강수와 단기 강수의 강수 시작일의 850hPa 면 수증기 수송의 합성도(Vq_{850} ; g/kg-m/sec)와 이들의 차이.

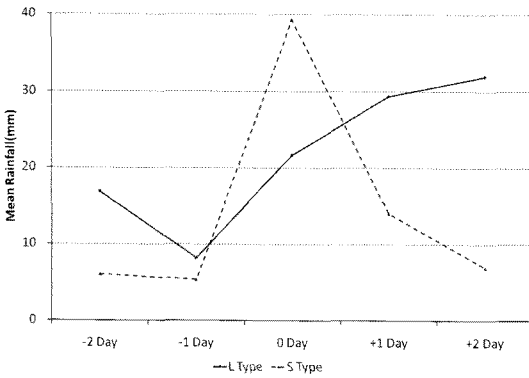


Figure 12. Composite areal mean rainfall for type L and S during 5 days (mm/day). 장기 강수와 단기 강수에 대해 5일 동안(-2일~+2일) 합성한 지역 평균 일강수량.

당한다고 판단된다.

이상의 결과는 Takahashi(1993)의 연구 결과와 다르다. 즉, 일본 남서부 지역에서는 장기 강수는 얇은 활동전선 유형의 전선과, 단기 강수는 깊은 활동전선 유형의 전선과 연관되어 있으나, 우리나라에서는 어느 경우나 깊은 활동전선 유형의 전선과 연관되어 있다. 따라서 장기 강수의 경우 우리나라와 일본 남서부 지역의 장마전선의 성질이 서로 다를 수 있다는 것을 시사한다. 단기 강수의 경우는 우리나라와 일본 남서부 지역에서 장마전선의 성질이 유사하다.

3) 850hPa 면의 수증기 수송

끝으로 장기 강수와 단기 강수에 대해 850hPa 면에서의 수증기 수송을 살펴보기로 한다. Figure 11은 장기 강수와 단기 강수의 강수 시작일의 850hPa 면 수증기 수송의 합성도와 이들의 차이를 보여준다. 강수 시작일의 수증기 수송은 유사하다. 주된 수증기 수송은 남중국해에서 고기압성 회전으로 유입되는 부분과 서태평양에서 아열대고기압의 서쪽 가장자리를 따라 남서기류로 들어오는 것이 우리나라 부근에서 합류하고 있다. 다만, 우리나라 서쪽의 수증기 수송을 보면 단기 강수의 경우 북서풍에 의한 수증기 수송이 장기 강수의 경우보다 더 강하게 나타난다. 이들의 차이를 보면 우리나라 남서쪽을 중심으로 강한 고기압성 회전이 나

타나고, 서태평양에서도 넓게 저기압성 회전이 나타난다. 따라서 장기 강수의 경우가 단기 강수의 경우보다 우리나라 부근으로의 수증기 수송이 적다는 것을 알 수 있다.

우리나라 부근으로의 수증기 수송량이 적다는 것은 우리나라의 평균 강수량도 적다는 것을 의미하며, 이는 0일의 일평균 강수량 합성에서도 나타난다(Figure 12). 강수 시작일의 평균 강수량은 장기 강수보다 단기 강수의 경우가 더 많으며, 이는 일본 남서부 지역의 경우와는 다르다. 일본 남서부 지역에서는 장기 강수의 경우가 단기 강수의 경우보다 강수량과 수증기 수송량이 더 많았다. 다만, 우리나라의 장기 강수의 경우 강수 시작일에서 1일 후와 2일 후로 가면서 평균 강수량이 점차 증가하고 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라의 지역평균 일강수량이 10mm 이상인 날이 4일 이상 지속된 경우(장기 강수)와 1~2일에 그친 경우(단기 강수)의 사례에 대해 합성기법을 사용하여 종관 특성의 차이를 살펴보았다. 얻어진 결과들은 다음과 같다.

장기 강수의 경우 강수 2일 전에 티베트 고원 북동쪽에 있던 기압골이 남동진하면서 우리나라로 접근한다. 동시에 하층의 찬 공기가 티베트 고원 북동부의 가장자리를 따라 화중지방으로 남하, 이곳에 활발한 전선이 형성되는 것으로 보인다. 따라서 강수일에 화중지방에서 우리나라까지 대상의 전선이 형성되는데, 저기압과 전선은 우리나라 동쪽에 발달한 기압능에 의해 정체, 우리나라에 장기 강수가 나타난다. 반면 단기 강수의 경우 티베트 고원 북동쪽의 저기압이 남동진하면서 우리나라에 접근한다. 이 저기압과 화중지방의 요란이 상호작용하여 강수일에 화중지방에서 우리나라 부근까지 전선이 형성되나 저기압이 우리나라를 통과 하면서 대상의 전선은 남하, 우리나라의 강수가 멎는다. 강수일에 우리나라 동쪽에 있던 기압능은 약화되어 저기압의 이동을 막지 못한다.

하층에서 상층까지 소용돌이도의 양의 영역을 장기 강수와 단기 강수의 -2일에서 +2일까지의 각 날에 중첩하여 전선의 구조를 살펴보았다. 그 결과 우리나라 부근의 전선은 장기 강수와 단기 강수 모두 하층에서 상층까지 양의 소용돌이도의 값을 갖는 경압성이 강한 전선이라는 것을 알 수 있었다. 이는 Akiyama(1990)의 깊은 활동전선 유형의 전선임을 의미하며, 따라서 강수의 지속성에 관한 한 한국의 장마전선은 장기 강수가 나타날 때의 일본 남서부 지역의 전선(Baiu 전선)과는 그 성질이 다르다는 것을 의미한다.

장기 강수와 단기 강수의 강수 시작일에 850hPa 면에서의 수증기 수송을 살펴보았다. 단기 강수의 경우가 수증기 수송량이 더 많았는데, 지역 평균 강수량에서도 단기 강수의 경우가 더 많았다. 장기 강수의 경우 강수 1일 후와 2일 후로 가면서 평균 강수량이 증가하고 있어 수증기 수송도 이 시기에 더 많아질 것으로 보인다.

이상에서 우리나라의 장마철에 4일 이상 지속되는 강수와 1~2일에 그치는 강수 사이에는 종관 특성에 차이가 있음을 알았다. 또한 단기 강수의 경우에는 전선의 구조가 우리나라와 일본 남서부 지역에서 거의 같았으나 장기 강수의 경우에는 달랐다. 즉, 우리나라의 장기 강수는 대류권 전체에 미치는 경압성이 큰 전선과 저기압에 의해 나타나나 일본 남서부 지역의 장기 강수는 하층에서만 나타나는 전선에 의해 나타난다. 따라서 우리나라 부근의 장마전선과 일본 남서부 지역의 장마전선이 무엇이 같고 무엇이 다른지를 보다 자세히 연구할 필요가 있을 것이다.

주

1) 여기에서 'active'는 서일본 부근의 전선 활동이 활발한 것을 나타내며, 이는 5일 평균 운량에 의해 정해졌고, 규슈 부근 평균 강수량과 잘 부합하였다. 그리고 전선의 구조는 대류권의 대표적인 등압면(850hPa, 700hPa, 500hPa, 300hPa)에서 양의 소용돌이도 값(저기압성 회전을 의미)이 나타나는 형태로 파악할 수 있다. 그 결과 'shallow type'은 전선이 대류권 하층(850hPa, 700hPa)에서만 잘 나타나며 'deep

type'은 대류권 전체에서 전선이 잘 나타나는 것을 의미한다.

- 2) 日本氣象協會에서 발행한 1971~1975年 天氣圖集成, 1976~1980年 天氣圖集成, 1981~1985年 天氣圖集成, 1986~1990年 天氣圖集成, 1991~1995年 天氣圖集成, 1996년 이후는 일본기상청의 天氣圖 CD-ROM의 지상일기도를 참고하였다.
- 3) 재해석자료는 NOAA Earth System Research Laboratory의 Physical Sciences Division(PSD)의 웹 사이트 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>에서 내려받았다(download). 자료 제공에 감사드린다(Thanks for data).

참고 문헌

- Akiyama, T., 1989, Large, synoptic and meso scale variations of the Baiu front, during July 1982. Part I: Cloud features. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 67, 57-81.
- Akiyama, T., 1990, Large, synoptic and meso scale variations of the Baiu front, during July 1982. Part II: Frontal structure and disturbances, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 68, 557-574.
- Kato, K., 1985, On the abrupt change in the structure of the Baiu front over the China continent in late May of 1979, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 63, 20-36.
- Lee, B. S., 1975, Weather climatology of Changma(early summer rainy season) and Kaul Changma(early autumn rainy season) in Korea in relation to two rainy seasons of East Asia, *Geographical Review of Japan*, 48, 459-484 (in Japanese).
- Lee, B. S., 1976, Weather-climatological study of Changma and Kaul Changma in Korea in relation to two rainy season of East Asia, *Journal of the College of Education (Sadae Nonchong)*, 14, 185-218.
- Lee, B. S. and Kim, S. S., 1983, Climatological characteristics of the Changma Season, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 19(1), 1-11 (in Korean).

- Lee, D. K., Park, J. G., and Kim, J. W., 2008, Heavy rainfall events lasting 18 days from July 31 to August 17, 1998, over Korea, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 86, 313-333.
- Ninomiya, K., 1984, Characteristics of Baiu front as a predominant subtropical front in the summer northern hemisphere, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 62, 880-894.
- Ninomiya, K., 2001, Large λ -shaped cloud zone formed around July 6, 1991 with pole-ward moisture transport from intense rainfall area in Meiyu-Baiu front, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 79, 805-813.
- Ninomiya, K. and Muraki, H., 1986, Large-scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 64, 409-429.
- Park, B. I., 1990, On the persistent rainy day in the early summer rainy season over South Korea and Kyushu, Japan, *Journal of Geography Education*, 23, 12-28 (in Korean).
- Park, B. I., 1996, On the distribution patterns of the daily rainfall in Korea and its relationship to the synoptic-scale features over East Asia for the Changma season, *Journal of Geography*, 22, 61-89 (in Korean).
- Saito, N., 1966, A preliminary study of the summer monsoon of Southern and Eastern Asia, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 44, 44-59.
- Takahashi, H., 1991, Migration of a cold air mass related to rain belt formation on the Chinese continent and atmospheric circulation systems during the Baiu season, *Geographical Review of Japan*, 64A, 697-718 (in Japanese).
- Takahashi, H., 1993, Synoptic condition over East Asia during the early-summer rainy season(Baiu season) from the point of view of the temporal continuity of rainfall in the southwestern part of Japan, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 71, 611-632.
- Takahashi, H., 2003, Observational study on the initial formation process of the Mei-yu frontal disturbance in the eastern foot of the Tibetan Plateau in middle-late June 1992, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 81, 1303-1327.
- 교신: 박병익, 151-742, 서울시 관악구 관악로 599, 서울대학교 사범대학 지리교육과(이메일: fbipark@snu.ac.kr, 전화: 02-880-9029)
- Correspondence: Byong Ik Park, Department of Geography Education, College of Education, Seoul National University, Gwanak-ro 599, Gwanak-gu, Seoul, 151-742, Korea (e-mail: fbipark@snu.ac.kr, phone: +82-2-880-9029)
- 최초투고일 2010. 10. 11
수정일 2010. 12. 3
최종접수일 2010. 12. 6