

## 한반도 주변의 하계 강수량의 경년 변동과 이에 연관된 동아시아 순환의 특성

하경자 · 박성규 · 김기영

부산대학교 대기과학과

(2003년 6월 17일 접수; 2003년 10월 14일 승인)

## Interannual Variability in Summer Precipitation around the Korean Peninsula and Its Associated East Asian Summer Circulation

Kyung-Ja Ha, Sung-Kyu Park and Ki-Young Kim

*Dept. Atmospheric Sciences, Pusan National University*

(Manuscript received 17 June 2003; accepted 14 October 2003)

### Abstract

To understand rainy season characteristics in Korea, CMAP(Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) Rain Index was made with area- and period-averaged precipitation around Korea. Strong versus weak rainy season years were defined as years of which precipitation anomaly is over than  $\pm 0.5\sigma$ . Domain and period of influence for rainy season were selected around Korean peninsula ( $31.25\text{--}41.25^\circ\text{N}$ ,  $123.75\text{--}131.25^\circ\text{E}$ ) and the season from late June to late July using CMAP precipitation data during 1979-2001. In 200hPa wind field, strong westerly jet is extended to the Japan Sea in strong rainy season years. In strong rainy season years, strong upper-level wind speed divergence near Korean peninsula located at the entrance of mid-latitude jet core may lead to develop low pressure in the lower layer. At the same time, v-component wind is rapidly changed from negative to positive over Korean peninsula and then cyclonic flow occurs. In the case of 850 hPa wind, composite difference between strong and weak rainy season years is dominant throughout the South Sea of Korea and South Japan with monsoon southwesterly. Southwesterly extended from the Bay of Bengal and southeasterly from the west marginal edge of North Pacific High are merged over the South Sea of Korea.

The strong and weak rainy season indices developed by interannual variability of rainy season rainfall are not well correlated with the dynamical monsoon index such as MHI(Monsoon Hadley Index) and RM(Regional Monsoon)2. There are some distinguished characteristics in strong and weak rainy season years, respectively. Weak rainy season is well correlated with weak North Pacific High in SLP (Sea Level Pressure) and 500hPa geopotential height, and with weak wind speed in lower level and upper level jets. Strong rainy season is well correlated with strong migratory high to the north of Korean peninsula in SLP. The association of strong Changma with the migrating high may be due that strong Changma year is forced by the synoptic system during late time of Changma season.

**Key words:** CMAP Rain Index, Changma index, strong rainy season and weak rainy season

### 1. 서론

우리나라의 기상 및 계절 기후는 몬순의 영향을 크게 받고 있어 여름철 강수, 겨울철 몬순 기

상에 대한 예보 문제는 가장 중요한 중·장기 예측 과제 중의 하나이다. 여름철 한반도 강수와 장마 특성에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다. 윤원태 등(2001)은 1998년 여름을 사례로 우리나라 주변의 여름 강수의 강약은 북태평양 고기압에 크게 영향을 받으며 특히 장마후기의 강수량에 엘니뇨와 적도 파동 활동은 크게 영향을 미칠 수 있다고 하였다. Park and Schubert(1997)는 동아시아에 비가 적었던 1994년 여름을 사례로 대규

모 순환을 분석하였고 동아시아 몬순의 이례적인 전개에 대한 메카니즘을 제안하였다. 박순웅 등(1988)은 1985년 장마기간에 동부 아시아 지역의 대기순환의 시간적 변화를 연구하였는데 한반도의 장마기간은 태평양 상에 위치한 아열대 고기압이 북쪽으로 이동하고, 이와 동시에 티벳고원에서 강화되는 고기압이 동쪽으로 그 세력을 확장하여 한반도에 영향을 미치는 시기와 일치하여 나타났다고 하였다. 전영신·박순웅(1990)은 한반도에서 장마기간에 강수가 적었던 1982년을 과우장마해로 분류하여 1985년 다우장마해(박순웅 등, 1988)의 분석 결과와 비교하였다. 그들은 과우장마해에 아열대 고기압의 세력이 상대적으로 약해지고 한반도 대류권 하층의 수증기량도 적었을 뿐만 아니라 인도몬순과 관련되어 나타나는 티벳고원 남쪽 하층 습윤대의 영향을 적게 받는다고 하였다.

한편, Kang *et al.*(1999)은 EOF 분석을 통해 아시아 여름 몬순의 계절 전개를 적절하게 묘사하였고 3번째 모드가 한반도 장마와 관련되어 있음을 밝혔다. Oh *et al.*(2000)은 장마의 시작과 종료 모두에서 한반도와 일본 남부에 500 hPa 지위 고도가 급증하고 또한 중-고위도(55-75°N)에서의 지위고도가 장마 시작 며칠 전에 증가함을 밝혔다. 그들은 이러한 결과로 한반도와 일본 남부에서의 아열대 고기압의 북쪽 이동이 중-고위도에서의 대기순환에 영향을 받는다고 하였다. Lu(2002)는 이른 장마 종료 시에 동아시아 상공의 상층제트의 약화와 북상이 일어나고 시베리아의 지표 기온의 양의 아노말리가 늦은 장마 종료를 야기한다고 하였다. 박순웅 등(1989)은 장마 전선 상에서 호우가 발생할 때의 중관 기상장의 변화를 살펴보았는데, 티벳고원 북쪽에 위치한 한랭 소용돌이가 티벳고원 동쪽 하층 수렴대를 따라 남동쪽으로 이동하여 만주지방에 이르러 지어졌을 때 장마전선이 활성화되어 호우가 발생하였음을 밝혔다. 한편, 상층 제트기류와 관련되어 나타난 2차 순환의 상승운동이 한반도 부근의 하층 습윤한 공기를 상승시킬 수 있게 되어 강한 대류 현상을 일으킬 수 있었다고 하였다. 정순갑·김성삼(1983)은 장마전선에서의 평균동서류는 경압불안정하고 장마전선을 따라 나타나는 요란은 세 개의

상이한 파장(1000 km, 2500 km, 4000 km)을 가지며 이는 Baiu front에서 관측된 요란(Yoshizumi, 1977, 1978)의 규모와 일치한다고 하였다. 또한, 그들은 장마 시 집중호우와 많은 연관이 있는 1000 km의 중간규모요란 (Matsumoto *et al.*, 1970)은 하층제트와 밀접한 관계를 가지며 경압적으로 가장 불안정함을 밝혔다. 한편, Huang *et al.*(1997)은 동아시아 하계 몬순의 연구에 있어서 진척과 문제점 및 동아시아 하계 몬순이 전구기후에 미치는 영향을 재검토하였다.

이와 같이 여름철 한반도 강수와 몬순에 대한 이해에 있어 많은 연구자들이 밝혀낸 기존 결과는 북태평양 고기압, 상층 티벳 고기압, 상층의 제트, 그리고 저층 제트와 불안정의 역할에 대한 연구 등으로 크게 분류된다. 그러나 몬순이나 한반도 여름 강수는 예년에 비하여 강하거나 약하게 발달하는 경향이 뚜렷하며, 이러한 여름철 강수의 경년 변동에 관한 연구는 김성삼 등(1983) 등에 의해 다루어 졌지만 많은 경우 몇 해의 사례를 중심으로 이루어져서 이에 대한 예측의 문제에 대해서는 아직도 연구해야 될 문제가 산적해 있다고 본다. 현재 몬순과 장마 예측의 능력의 재고를 위해서는 객관적인 종관적 정의가 있어야 하며, 경년 변동을 초래하는 시스템이 가져야 할 주요 체계를 밝혀야 한다. 이는 몬순 및 장마 물리 과정을 모사하고 외부적 강제에 대한 피드백 과정을 정확히 모사하는 역학적 예측 문제를 위하여 선행되어야 될 주요 과제라고 본다. 따라서 본 연구에서는 한반도 하계 강수량의 경년 변동과 연관이 있는 동아시아 순환의 특성을 규명하고 그러한 경년 변동을 설명하는 지수를 개발하고자 한다.

장마전선은 근본적으로 기단 배치의 모사와 더불어 예측이 가능하며 한대 기단 및 적도 기단, 한대 전선 및 한랭 전선의 형성 및 진행에 대한 감시 및 예측은 연구 내용의 근간을 이룬다. 이 문제는 ITCZ(Intertropical Convergence Zone), STCZ(Subtropical Convergence Zone)의 발달과 무관하지 않으므로 문제 해결을 위하여 장마를 종관장으로부터 정의해야 한다. 본 연구에서는 기간과 영역으로 정의된 한반도 여름철 우기에 의하여 다우해와 과우해로 구분하여 각 해의 합성

도 분석을 수행하였다. 그리고 합성도 분석을 통해 다우해와 과우해를 초래하는 해의 종관적 특성의 차이를 찾아 우기 강수의 경년 변동을 초래하는 동아시아 몬순 시스템의 과정을 규명하고자 하였다.

## 2. 자료 및 분석 방법

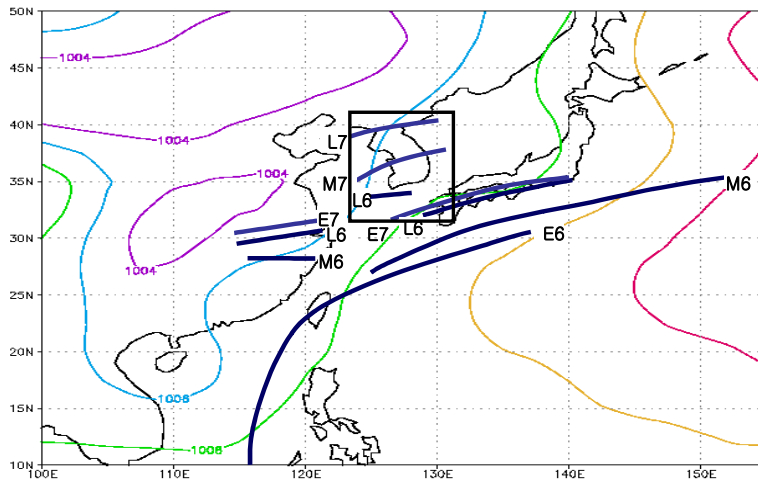
이 연구에서는 지역 편중성이 있는 지점별 강수를 사용하는 대신 기후학적 격자 강수 자료인  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  격자점의 CMAP(Climat Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) 강수의 5일 평균 자료(pentad)를 사용하였다. CMAP 강수 자료에 대한 보다 상세한 설명은 Xie and Arkin (1997)에 의해 다루어 졌는데 지점 관측과 위성 자료를 사용하여 균질한 자료 바탕을 가지고 있다. 사용된 자료의 기간은 1979년에서 2001년까지이다. 또한  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  격자점의 미국 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)에서 생산된 1979년부터 2001년까지 6-7월 동안의 해면 기압, 500 hPa, 200 hPa 고도면에서의 지위고도, 850 hPa, 200 hPa 고도면에서의 바람장의 일평균 재분석(Re-Analysis) 자료를 사용하였다.

본 연구에서는 CMAP 자료로부터 여름철 동아시아 지역에서의 다우대의 순별 이동을 살펴보고 이를 이용하여 한반도에서의 우기를 정의하였다. 우기 동안 한반도 부근의 강수량의 경년 변동을 분석하여 강수 편차가 반표준편차 이상인 해와 반표준편차 이하인 해를 각각 다우해와 과우해로 분류하였다. NCEP 재분석 자료를 이용하여 다우해와 과우해에 대한 합성도 분석과 함께 이들 합성도의 차에 대한 분석이 이루어졌으며 합성도 차의 결과의 신뢰성을 얻기 위해 t 테스트를 수행하였다. 마지막으로, 다우해와 과우해 기상요소들 사이에서 유의한 차이를 보이는 지역의 면적 평균값을 지수화하여 우기 동안의 한반도 부근 강수와의 상관성을 살펴보았다.

## 3. 우기의 정의와 우기 강수의 경년 변동

### 3.1 다우대의 이동과 우기의 정의

이 연구에서는 전선에 의해 강수가 발생하는 장마의 정의가 아니라 우기의 정의를 목적으로 하였기 때문에 태풍이나 비전선성 강우의 구분을 따로 수행하지 않았다. 따라서 기후학적인 우기의



**Fig. 1.** Schematic diagram showing maximum rain axis in band precipitation with CMAP data around Korean peninsula during boreal summer season from early June to late July. Solid line represents axis for maximum rain band,  $R > 8$  mm/day for CMAP 10-day mean precipitation. Mean sea level pressure during middle July is shown in the background. Rectangular box over Korean peninsula indicates the area where is influenced by maximum rain band during late June-late July (E: Early, M: Middle, L: Late).

시작과 전개를 살펴보기 위해 1979년부터 2001년까지의 CMAP 강수의 순별 평균 자료를 분석하였다. Fig. 1의 실선은 순별 강수량으로부터 얻은 다우대( $R > 8 \text{ mm/day}$ )지역의 중심축이다. 그림에서 알 수 있듯이 6월 상순에서 7월 하순까지 순별 다우대의 시간 이동을 살펴보면 다우대의 북쪽전이가 뚜렷하며 이는 북태평양과 오호츠크해 기단의 전이와 강약에 매우 밀접하게 관련되어 있다(Fig. 1에서 가는 실선 참조). 순별로 다우대의 이동을 살펴보면, 6월 상순에 다우대가 남중국해에서 타이완을 지나 일본 남쪽 먼 해상에 나타난다. 이러한 다우대는 시간이 경과함에 따라 북상하여, 6월 하순에 일본의 큐슈와 시코쿠, 한반도 남해에 위치하여 우리나라 남해상과 제주에 강수가 증가함을 알 수 있다. 이 때를 우기의 시작으로 보고 이로부터 다우대가 한반도 북쪽 지역으로 빠져나가는 7월 하순까지 41일을 우기로 정의하였다. 정의된 우기는 한반도 장마 기간과 유사한 시기를 보인다. 우리나라에 다우대의 영향이 나타나는 이 기간 동안의 한반도 주변 지역(31.25-41.25°N, 123.75-131.25°E, 그림에서 사각 지역)의 지역 평균의 강수를 CMAP 강수 지수(CMAP Rain Index, CRI)로 정의하였다.

그림에서 몬순과 바이유(Baiu)가 우기 강수의 시작과 특성에 있어서 영향을 줌을 알 수 있고 7

월 상순에서 중순으로 전이될 때, 다우대의 북쪽 이동에서 뚜렷한 변화가 있었다. 한편, 6월 중순에서 7월 상순까지 중국 동부에서도 다우대가 나타나 일본의 바이유(Baiu)와 더불어 중국의 메이유(Meiyu) 또한 우리나라의 우기와 연결되어 있는 것으로 보여진다.

한반도 여름 강수는 바이유, 메이유와 더불어 여름 몬순계의 바람장과 밀접하게 연관되어 있어 저층 제트와 북태평양 고기압의 강약이 분석되어 왔다. Fig. 2는 NCEP 자료로부터 얻은 850 hPa 고도에서의  $6 \text{ ms}^{-1}$  이상의 저층 제트와 500 hPa 고도의 5850 gpm 선의 순별 이동을 보인 것이다. 남서몬순류의 세기는 여름철 몬순류의 세기의 하나의 척도가 된다. 850 hPa에서의 바람의 세기를  $6 \text{ ms}^{-1}$ 의 이상을 실선으로 표현하였을 때 그림에서 시간이 경과함에 따라 저층 제트의 북쪽 전이가 뚜렷하다. 저층 제트의 역할은 다우대의 북쪽 이동과 매우 상관되어 있으며 특히 다우대의 남서쪽에 저층 제트가 놓여있어 저층 제트가 남서쪽에서의 습윤한 공기를 이동시키고 있음을 알 수 있다. 한편, 기간으로 살펴보면 저층 제트는 7월 중순까지 한반도 남쪽의 북서태평양 부근에 뚜렷하게 나타나며 7월 하순에는 이 부근에서 저층 제트가 나타나지 않고  $160^\circ\text{E}$  동쪽부근까지만 나타난다. 따라서 이 시기 이후 그의 역할은 약해

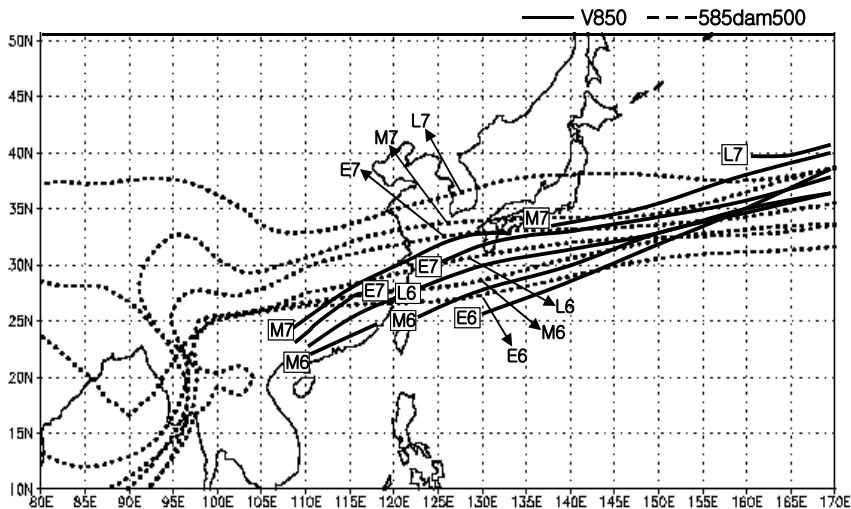


Fig. 2. Time evolution pattern of maximum wind axis (solid) over  $|V| > 6 \text{ ms}^{-1}$  in 10-day mean 850 hPa wind field and 5850 gpm (dashed) contour of 10-day 500 hPa North Pacific High during boreal summer season from early June to late July.

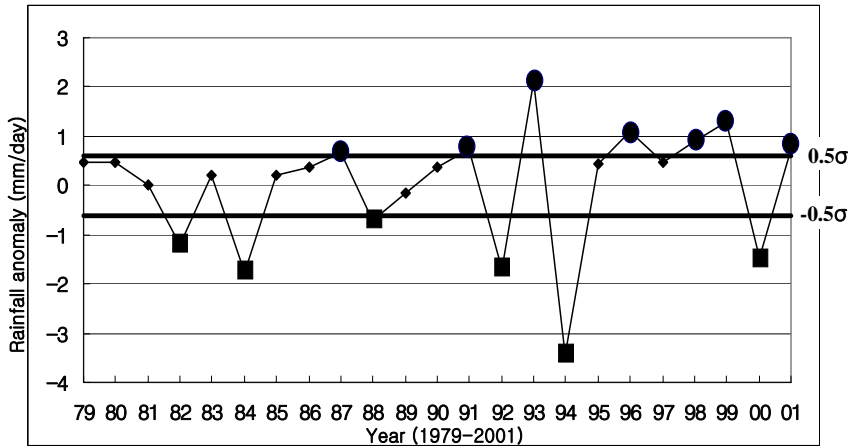


Fig. 3. Interannual variation of area (31.25-41.25°N, 123.75-131.25°E)-period (late June - late July) mean rainy season rainfall anomaly. Years over than  $0.5\sigma$  and less than  $-0.5\sigma$  are defined by strong and weak rainy season years.

질 것으로 본다. 본 연구에서의 장마의 시기가 6월 하순에서 7월 하순까지의 강수에 국한하고 있는데, 이 저층 제트가 7월 중순 이후에 약해지기 때문에 저층 제트가 몬순과 연관된 강수량에 대한 주요한 파라메타임을 짐작할 수 있다. 저층 제트의 북쪽 이동과 더불어 500 hPa 고도의 5850 gpm 선의 이동도 시간에 따른 북쪽 전이가 뚜렷하며 북태평양 기단의 위치는 다우대의 남쪽 연변으로 서로 일치하고 있다. 6월 하순경이 되면 5850 gpm 선으로 본 태평양 고기압의 강화와 함께 인도양과 태평양 쪽에서 따뜻하고 습한 기류의 유입이 전선의 형성과 습윤한 불안정층의 형성을 유도한다. 이렇게 준정체 전선 안으로 유입되는 다습한 공기는 찬 오호츠크해 고기압이 버티고 있어 응결되게 된다.

### 3.2 CRI (CMAP Rain Index)와 경년 변동

앞에서 정의한 우기 동안 한반도 부근(31.25-41.25°N, 123.75-131.25°E)의 평균 강수량인 CRI를 이용하여 다우해와 과우해를 구분하고자 하였다. Fig. 3은 정의된 CRI의 경년 변동을 나타내는 시계열도이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 우기 강수의 경년 변동은 대체적으로 크다. 영역 평균 강수량은 7.1 mm/day이었으며, 다우해와 과우해는 CRI의 반표준편차( $0.5\sigma$ ) 이상과 이하의 강수를 가지는 해로 정의하였다. 그 결과 다우해(1987, 1991,

1993, 1996, 1998, 1999, 2001) 7년과 과우해(1982, 1984, 1988, 1992, 1994, 2000) 6년이 선정되었으며 이들의 종관적 특성을 다음 장에서 비교하였다.

### 3.3 우리나라 지점 강수와의 상관도

우기 동안 한반도에 균일하게 분포되어 있는 기상청 61개 지점 관측소 자료를 이용한 한반도

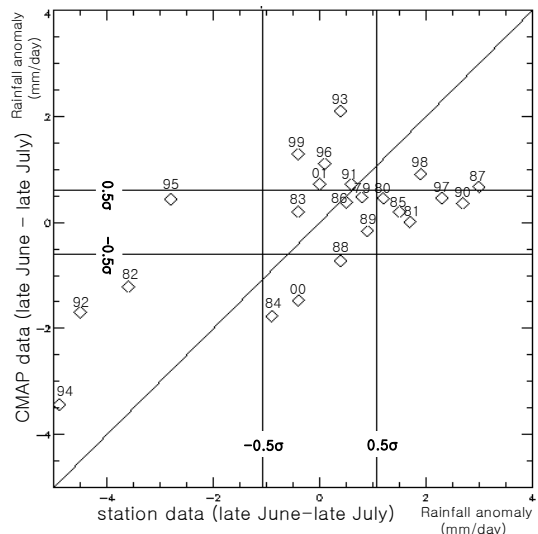


Fig. 4. Correlation diagram of rainfall anomaly between station data and CMAP data during rainy season (late June-late July).

지점 강수와 CMAP을 이용한 CRI를 비교하였다. Fig. 4는 우리나라 지점 강수와 CMAP의 상관도이다. 상관도가 전체적으로 다소 넓게 분포되어 있어 강수량에 있어서 지점 자료와 CMAP 자료와는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 전영신·박순웅(1990)에 의하면 1982년은 과우해이고 1985년은 다우해이며 허소정 등(1997)에 의하면 1993년은 다우해이다. 그림에서 1982년은 CMAP과 지점 강수 모두에서 과우해로 일치하지만 1985년은 지점 강수로 볼 때는 다우해이지만 CMAP으로 볼 때는 평년이다. 반면, 1993년은 오히려 CMAP으로 볼 때는 다우해이지만 지점 강수로 볼 때는 평년이다.

대체로, CMAP 다우해들 중 많은 부분(71%)은 지점 강수량으로 볼 때 평년이고 CMAP 과우해들 중 절반 또한 지점 강수량에서 평년이다. 이러한 차이는 지점 관측에서의 국지적인 효과와 관측소의 대표성 문제 등으로 인한 것으로 사료된다.

#### 4. 다우해와 과우해의 종관 특성

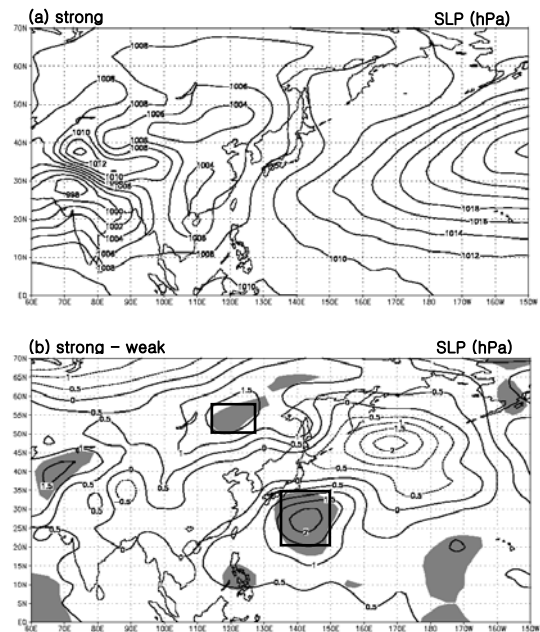
다우와 과우해의 특성을 더욱 강조하기 위하여 CRI 지수가 매우 강한 해와 매우 약한 해의 차이를 합성도로 나타내었다. CRI의 경년 차이는 해면 기압, 500 hPa 지위 고도, 200 hPa 지위 고도, 200 hPa 바람 그리고 850 hPa 바람에 있어 유의한 차이를 한반도를 중심으로 한 지역에서 나타내었다. 본 연구에서는 1979년부터 2001년 동안 다우해 7년과 과우해 6년을 선택하여 합성도 분석을 수행하였고 합성도 차를 이용하여 다우해의 특성을 분석하였다.

##### 4.1 해면 기압과 중·상층(500 hPa - 200 hPa) 지위 고도

우기 동안 다우해와 과우해에 속하는 해들의 합성도의 차를 이용하여 우기의 종관 특성을 얻었다. 이는 우기 강수량의 경년 변동에 대한 평균적 특성에 대한 신뢰성을 높이기 위해서다. Fig. 5는 다우해에 합성된 해면 기압(a)과 다우해와 과우해에 합성된 해면기압의 차이(b)를 보인 것이

다. 회색 지역은 t 테스트에 의한 95% 유의 지역이다. 다우해에 일본 남쪽의 북서 태평양 지역과 오후츠크해 지역으로 기압능이 확장하고 있고 한반도는 그 사이의 기압골에 놓여 있다. 해면 기압의 차이를 살펴보면 양의 기압의 유의한 지역이 북서 태평양과 만주 북쪽에 나타나며 이는 다우해의 특성이 북서 태평양에서의 북태평양 고기압의 강화뿐만 아니라 중국 북동부에서의 이동성 고기압의 활동과 관련되어 있음을 보여준다. 이러한 두 지역에서의 사각 지역은 우기 지수 중의 하나로 고려되어 진다. 전영신·박순웅(1990)은 다우장마해에 대류권 전 층에 걸쳐 오후츠크해 근처의 고도 값이 상대적으로 낮다고 하였는데 본 연구에서는 오후츠크해 근처에서 뚜렷한 특징을 찾기가 힘들다. 이러한 차이는 그들이 다우장마해와 과우장마해에 대해 각각 한 해의 사례를 가지고 연구하였기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6는 Fig. 5와 같으나 500 hPa 고도를 보인 것이다. 다우해에 베링해와 오후츠크해 상공에 기압골 축이 위치하며 한반도 서쪽 상공에 기압



**Fig. 5.** Composite field for (a) sea level pressure of strong rainy season years and (b) the difference of the two values between the SLP (Sea Level Pressure) in weak rainy season years and SLP in strong rainy season years. Shaded areas represent significant areas (95%). Rectangular box in significant area will be considered to make an index.

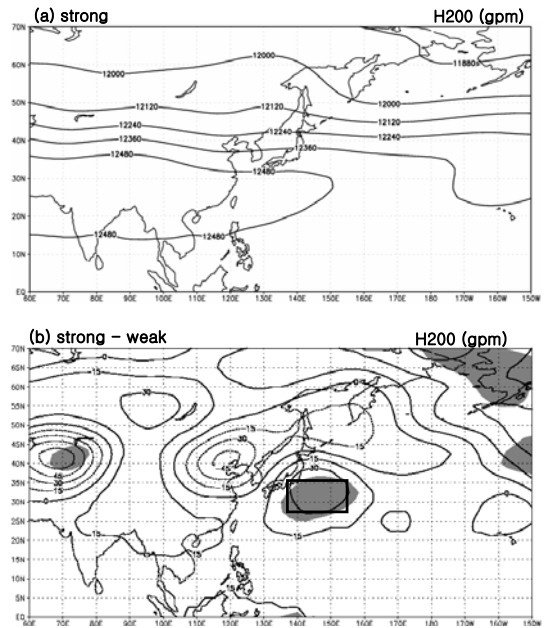
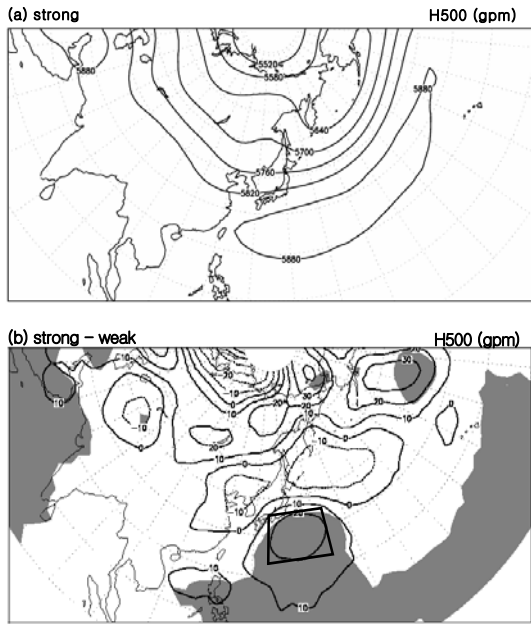


Fig. 6. As in Fig. 5 except for the 500 hPa geopotential height.

Fig. 7. As in Fig. 5 except for the 200 hPa geopotential height.

골이 나타난다. 합성도의 차를 보면, 해면 기압과 마찬가지로 북서태평양에 유의한 양의 값이 나타난다. 즉, 북서태평양에서의 북태평양 고기압의 발달은 다우해의 주요 특성이다. 한편, 한반도 북부를 중심으로 음의 값이 북동에서 남서로 걸쳐 있지만 유의하지는 않다.

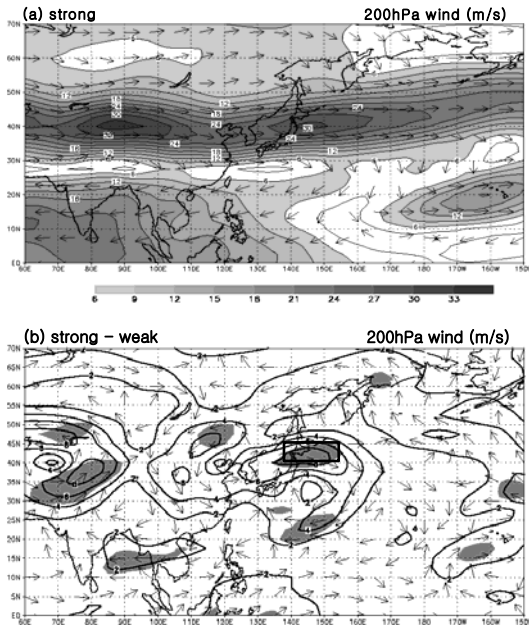
Fig. 7은 Fig. 5와 같으나 200 hPa 고도를 보인 것이다. 다우해에는 평균장과 유사하게 티벳 고기압이 동서로 뻗어 있으며 베링해와 오호츠크해 상공에 기압골이 나타난다. 합성도 차를 살펴보면, 동아시아 근처에서 500 hPa 고도에서의 합성도 차와 비슷한 특징이 나타나 barotropic한 구조를 보인다. 북서 태평양에 유의한 양의 값이 나타나 다우해에 상층 티벳 고기압이 더욱 동쪽으로 확장됨을 알 수 있다. 한편, 한반도 북서쪽을 중심으로 음의 고도가 나타나고 이러한 음의 값은 북동쪽으로 뻗어있다.

#### 4.2 상 · 하층 바람장

한반도 여름 강수에 있어서 제트의 역할을 중요하게 생각하여 이에 대한 연구가 있어왔다. 전영신 · 박순웅(1990)은 과우장마해의 장마 시작

때에는 한반도가 상층제트의 출구에 위치하여 제트의 남쪽인 한반도 중부이남지방이 간접순환에 의해 하강운동의 영역에 속하여 강수가 억제 또는 약화될 수 있는 조건을 구비하고 있다고 하였다. 한편, 그들은 다우장마해의 장마 시작 때에는 한반도가 제트기류의 입구에 놓여 직접순환에 따른 상승운동의 영역에 속하게 되어 강수가 강화될 수 있는 조건을 갖추고 있다고 하였다.

우기 동안 상층제트의 특성을 살펴보기 위해 Fig. 8에서 다우해의 200 hPa 고도의 바람(a)과 다우해와 과우해의 200 hPa고도의 바람의 차이(b)를 보였다. 그림에서 한반도 동서에 걸쳐 저기압성 순환이 나타난다. 이러한 저기압성 순환은 한반도 동쪽에서 발달하는 제트 핵(그림 8a)과 연관되어 있다. 다우해에 중위도 제트 핵의 입구에 위치한 한반도 근처에서의 강한 속도 발산은 하층에서의 저기압 발달을 유도할 수 있을 것이다. 이러한 한반도 downstream 제트를 우기 지수 중의 하나로 택하였다. Fig. 9에서 다우해의 200 hPa 고도에서의 바람의 동서 성분(shading)과 남북 성분(contour) (a)을 보였고, 다우해와 과우해의 200 hPa 고도의 동서 성분(b)과 남북 성분(c)의 차이를 보였다. 제트의 남북 성분을 살펴보면 한반도의 upstream

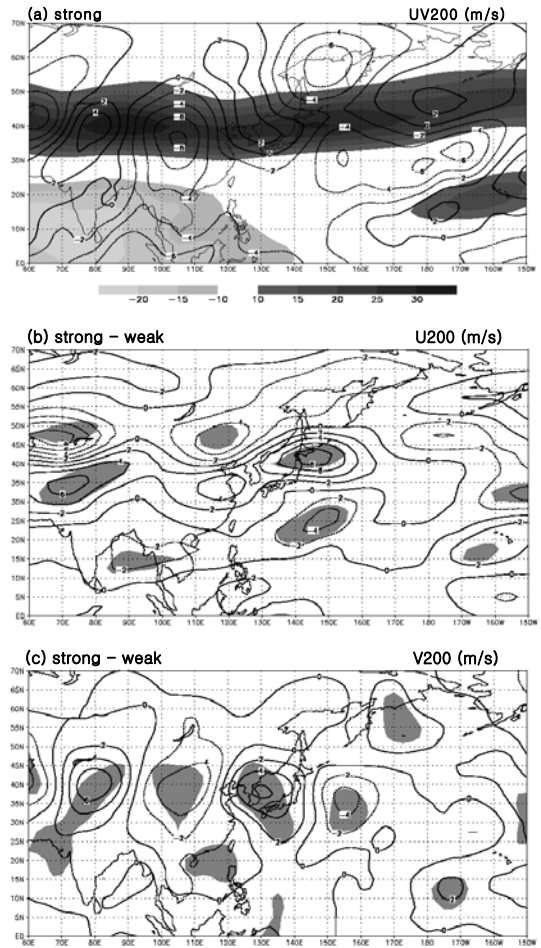


**Fig. 8.** As in Fig. 5 except for the 200 hPa wind. Shaded area for significance is for wind speed.

지역에서 음(-)에서 양(+)으로의 전환이 일어나 저기압성 흐름이 생긴다. 이러한 한반도 upstream과 downstream에 존재하는 출구와 입구 지역에서의 북풍과 남풍의 비지균적인 바람 성분은(Fig. 8 참조) 저기압성 와도의 유도와 하층 수렴의 발달을 유도할 수 있다고 본다.

Fig. 8, 9에서 다우해 시 한반도를 걸치는 상층 제트의 뚜렷한 강화가 분석되었다. 장마의 경년 변동을 이른 장마 종료와 느린 장마 종료로써 설명한 Lu(2002)는 한반도 근처에서의 상층 제트의 동서 성분의 발달이 늦은 장마 종료와 관련 있다고 하였으며 반대로 이른 장마 종료는 제트의 북상과 약화와 관련되어 있다고 하였다. 따라서 다우해가 다소간의 늦은 장마 종료와 상관성이 있을 지도 모른다.

Fig. 10는 수증기의 수송의 역할을 하는 850 hPa고도에서의 바람장을 보인 것이다. 하층 제트에 의한 수증기와 온난 공기의 이류는 전선 부근에서의 대류 불안정의 발생과 대류 활동의 유지에 필수적이다(Ninomiya, 1980). 합성도 차를 통해 본 850 hPa 바람에 대한 다우해의 특성은 일본 큐슈와 시코쿠 지역 남해상에서의 뚜렷한 남서풍과 남동풍의 강화이다. 하층의 남서 기류는 뽕



**Fig. 9.** (a) u(shading) and v(line) component of 200 hPa wind in strong rainy season years and (b) u and (c) v component differences between the mean value of the strong rainy season years and that of the weak rainy season years.

갈만으로부터 시작되며 북서태평양 고기압의 연변에서 남동풍과 결합되게 된다. 이는 과우장마해와 다우장마해의 850 hPa 풍속의 수평분포의 특성을 보인 전영신·박순웅(1990)의 결과와 일치한다. 이러한 남풍 계열의 바람이 수증기를 한반도와 일본 부근으로 수송한다.

## 5. CRI와 타 지수와의 비교

많은 연구에서(Goswami *et al.*, 1999; Lau *et al.*, 2000 등) 아시아 몬순 지수를 개발하였다. 본 연구에서는 우기 강수의 경년 변동을 설명하는 지수를 개발하기 위해 앞의 합성도 차(Fig. 5b~



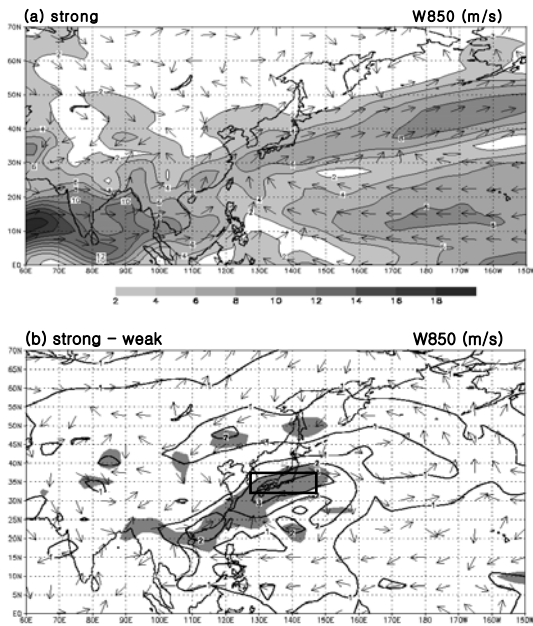


Fig. 10. As in Fig. 4 except for the 850 hPa wind. Shaded area for significance is for wind speed.

Fig. 10b)에서 유의한 차이를 나타내는 지역(각각의 합성도 차에서 사각 지역)을 고려하였고 이들 지역에서의 면적 평균한 값을 우기 지수로 정의하였다. 또한 이러한 지수들은 몬순해들리지수(Monsoon Hadley Index, MHI) (Goswami *et al.*, 1999), RM(Regional Monsoon)2 (Lau *et al.*, 2000)등의 이미 개발된 역학 지수 및 엘니뇨 지수 등에 비교되었다. 몬순해들리지수(MHI)는 국지적인 해들리 순환의 강도로써, 10-30°N, 70-110°E 지역에서의 상(200 hPa)·하(850 hPa)층 남북 방향 바람의 차이로 경압성의 강도를 나타내는 지수이다. RM2는 한반도 남북쪽의 두 지역(27-37°N, 110-150°E, 42-52°N, 110-150°E)을 선택하여 두 지역간의 200 hPa 제트류의 동서 방향 바람의 차이를 지수화한 것이다. Table 1은 CRI와 각 지수들과의 상관도로써, 각 지수들과 한반도 우기 강수의 상관성을 정량화 하였다. 다우해와 과우해에 대한 원인을 구분하기 위하여 이들을 각각 제외한 해들을 이용한 지수들과의 상관성도 함께 살펴보았다. 이미 개발된 역학지수인 MHI, RM2와 ENSO SST 지수는 CRI와의 상관성이 약하였다. 이로써 우기의 특성이 새로이 분석되어야 함을 시사하고 있었다. SLP(Sea Level Pressure) 지수는

Fig. 5(b)의 합성도 차에서 유의한 양의 값을 보인 두 지역(20-35°N, 135-150°E, 50-57.5°N, 115-127.5°E)의 평균 해면기압을 각각 이용하여 구하였다. 해면기압장에서는 CRI가 북태평양 고기압뿐만 아니라 중국 북부의 이동성 고기압의 강약과 관련성이 높았다. 500 hPa 고도 지수는 Fig. 6(b)에서 유의 지역(25-35°N, 135-152.5°E)의 평균 지위고도를 이용하여 구하였다. 200 hPa 고도 지수는 Fig. 7(b)의 북서태평양에서의 유의 지역(27.5-35°N, 137.5-155°E)의 평균 지위고도를 이용하였다.

200 hPa과 850 hPa의 바람 지수는 Fig. 8b, 10b의 각각의 합성도에서 뚜렷한 차이를 보이는 유의지역(40-45°N, 137.5-155°E, 32.5-37.5°N, 127.5-147.5°E)에서의 바람의 강도를 이용하여 구하였다.

우기의 시스템 중에 다우해와 과우해를 지배하는 순환 특성의 차이를 설명하기 위하여 Table 1과 같이 횡단의 상관계수를 다양하게 구분하여 구하였다. 굵은 숫자는 유의(95%)한 상관관을 나타낸 것이다. 3번째(4번째)의 상관 계수들은 다우해(과우해)를 제외하여 과우해(다우해)의 특성을 더욱 잘 나타내고자 하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 해면기압의 강도 경년 변화에서 북서 태평양 고기압의 강도는 총 분석 해와 과·다우해, 다우해를 제외한 해에 대해서는 높은 양의 상관관을 보이는 반면 과우해를 제외한 해에는 약한 상관관을 보이고 있다. 이는 북서태평양 고기압이 과우해를 지배하는 특성을 지니고 있음을 나타낸다. 즉, 북서태평양 고기압이 약할 때 과우해가 야기된다고 볼 수 있다. 해면기압의 북서태평양 고기압뿐만 아니라 500 hPa 지위고도의 북서태평양 고기압, 200 hPa 지위고도, 200과 850 hPa 제트는 과우해를 지배하는 특성을 보이고 있고 해면기압 중에 한반도 북쪽의 이동성 고기압들의 강도는 다우해를 지배하는 특성을 보인다. 한편, 해면기압에서 북서태평양 고기압과 이동성 고기압의 강도의 합은 과우해를 지배하는 특성을 보이고 있다. 따라서 대부분의 우기 지수들은 과우해를 지배하는 특성을 보이고 있다. 한편, 상·하층의 바람 지수는 CRI와의 상관성이 상대적으로 다소 약하다. 이로부터 과우해의 특성은 적도와 상관성이 높은 남서몬순류의 강약과 북태평양 고기압의

**Table 1.** Correlation coefficients between precipitation variability and variables (indices). The four precipitation time series are used, which are for all years from 1979 to 2001 years, strong and weak rainy season years, years except for strong rainy season, and years except for weak rainy season. Bold numbers represent confidence level (95%). The variable indices include ENSO SST index, MHI(Monsoon Hadley Index), RM(Regional Monsoon)2, area-averaged sea level pressure index, area-averaged 500hPa height index, area-averaged 200hPa height index and area-averaged wind index. Area used in averaging are different from each variables such as Fig. 5(SLP), Fig. 6(H500), Fig. 7(H200), Fig. 8(w200), and Fig. 10(w850).

Index	years	79-01 years	strong and weak rainy season years	years except for strong rainy season	years except for weak rainy season
	Nino3 index	0.24	0.26	0.26	0.02
	MHI	-0.07	-0.16	0.02	-0.07
	RM2	-0.28	-0.36	-0.17	<b>-0.45</b>
SLP	south+north	<b>0.64</b>	<b>0.70</b>	<b>0.60</b>	0.37
	south	<b>0.57</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	-0.17
	north	<b>0.49</b>	<b>0.57</b>	0.35	<b>0.50</b>
	500 hPa HGT area index	<b>0.63</b>	<b>0.68</b>	<b>0.67</b>	-0.04
	200 hPa HGT area index	<b>0.55</b>	<b>0.61</b>	<b>0.60</b>	0.14
	200 hPa wind area index	<b>0.46</b>	<b>0.51</b>	<b>0.42</b>	0.31
	850 hPa wind area index	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	0.24

세기와 상관성이 높으나 장장마시에는 우리나라 북쪽을 지나는 고기압의 활동에 더 민감하게 관련되어 있으며 장마 후기에 강수를 가속함을 알 수 있었다. 이러한 특성은 북태평양 고기압의 난기와 북쪽으로부터의 한기가 우리나라 부근에서 수렴을 발달시킬 수 있는 조건을 만드는 것으로 사료된다.

## 6. 요약 및 결론

이 연구에서는 우리나라의 장마시기를 대규모 강수 밴드의 이동과 함께 정의하려고 하였다. CMAP 강수의 22년간의 10일 평균값으로부터 다우대 (8 mm/day)의 순별 이동을 살펴보고 6월 하순에 우리나라 남해상과 제주에 다우대가 걸쳐 있을 때 우리나라 제주도와 남부에 강수가 발생하였는데 이 때를 우기의 시작으로 정의하였다. 이 때는 기후학적으로 850 hPa 고도에서 격자 평균 남서 몬순풍이  $6 \text{ ms}^{-1}$ 의 크기로 제주남부까지 영향을 미치고 500 hPa 고도의 585 dam의 등고선은 일본 규슈의 남부를 지나는 시기이다. 이 시점부터 다우대가 한반도 중부에 걸쳐 있을 때인 7월 하순까지를 우기로 정의하였다. 이 기간 동안

한반도 주변 지역(31.25-41.25°N, 123.75-131.25°E)의 지역 평균 강수의 연내 변동과 비교하면 이 기간은 여름철 우기의 첫째 기간에 해당한다. 한반도 주변의 강수의 경년변동을 강조하기 위하여 CMAP 강수 지수(CMAP Rain Index, CRI)를 구하고 이의 경년 변동으로부터 다우 및 과우해로 정하였다. CMAP 강수로부터 다우대는 6월 하순 이후 서태평양으로부터 한반도를 향하여 급격히 북쪽으로 전이되며 하층 제트와 500 hPa의 5850 gpm 선이 동시에 북쪽으로 전이되고 있었다.

강수로부터 정의된 우기의 강수량 시계열에서 0.5표준편차 이상과 이하를 각각 다우해와 과우해로 정의하여 지난 1979년과 2001년 사이에 각각 7년과 6년의 합성도를 얻어 이로부터 다우해의 종관적 특성을 찾고자 하였다. 한편, CMAP 자료로부터 선정된 과·다우해와 한반도 지점 자료로부터 선정된 과·다우해는 다소 차이가 있는데, 이는 지점 관측에서의 국지적인 효과와 관측소의 대표성 문제 등으로 인한것으로 사료된다.

다우해는 과우해에 비해 상대적으로 북서 태평양 고기압의 서쪽 확장 혹은 강화로 나타나며, 오호츠크 고기압의 강약은 유의하게 나타나지 않았다. 두 기압능 사이에 놓인 기압골은 두 고기압

사이에 위치하고 있으나 우기 강수의 강약에는 오히려 고기압보다는 중국 북동부와 한반도의 북쪽을 이동하는 이동성 고기압의 강화가 더욱 유의하게 나타났다. 500 hPa 일기도에서도 북서태평양 고기압대의 상대적인 강화가 다우해에 나타났다. 한편, 다우해에 상층의 티벳 고기압이 더욱 동쪽으로 확장되어 나타났다.

200 hPa 고도의 바람을 분석하여 상층 바람의 상류와 하류에 뚜렷한 우기 특성이 분석되었다. 다우해에는 한반도의 서쪽에 제트의 출구와 동쪽에 입구가 위치하고 강한 북풍과 남풍을 각각 한반도 서쪽과 동쪽에 나타냄으로써 코리올리 토크에 의한 제트의 지속을 강화시키고 있었다. 남북 바람장에서 제트의 출구와 입구쪽에서의 강한 남북류의 형성은 한반도 주변으로 기압골을 강화시키고 있다고 본다. 다우해에 중위도 제트핵의 입구에 위치한 한반도 근처에서의 강한 속도 발산 역시 하층에서의 저기압 발달을 유도할 수 있을 것이다.

850 hPa 고도의 바람에서의 다우해의 특성은 일본 큐슈와 시코쿠 지역 남해상에서의 뚜렷한 남서풍과 남동풍의 강화이다. 이러한 남풍 계열의 바람은 온난 다습한 수증기를 한반도 부근으로 수송하는 역할을 한다.

다우해와 과우해는 어떠한 역학적 장에 지배적인 특성을 보이는지를 알아보기 위하여 본 연구에서 CRI와 종관장의 차이로 얻은 지수들의 상관관계를 다른 역학지수들과 엘니노 지수와 함께 비교하였다. 기존의 ENSO SST 지수, MHI, RM2는 CRI와의 상관이 약하였다. 본 논문에서 개발된 지수들은 기존의 지수들보다 CRI와 더 높은 상관을 보였다. 해면기압과 500 hPa면 지위고도의 북태평양 고기압의 강도, 200 hPa 지위고도, 200과 850 hPa 제트의 강도는 과우해를 지배하는 특성을 보였다. 이는 북서태평양 고기압의 강도와 상·하층 제트가 약할 때 과우해가 야기된다고 볼 수 있다. 한편 해면 기압 중에 한반도 북쪽의 이동성 고기압들은 오히려 다우해를 지배하는 특성을 보여 이들 이동성 고기압들의 빈도가 높거나 강도가 셀 경우 다우해가 야기된다고 볼 수 있다. 이로부터 과우해의 특성은 적도로부터의 남서몬순류의 강약에 지배적이나 장장마시에는 우

리나라 북쪽을 지나는 고기압의 활동에 더 민감하게 관련되어 있어 북태평양 고기압의 난기와 북쪽으로부터의 한기가 우리나라 부근에서 수렴을 발달시킬 수 있는 조건을 만드는 것으로 사료된다. 또한 장장마와 약장마의 특성은 장마후반기의 강수량이 지배하며 이 후반기의 강수는 중국 북부에서 발생되어 이동되는 고기압의 활동과 상층의 파상 흐름에 더 지배적임을 암시하고 있다. 이에 대한 역학적 규명은 앞으로 더 연구되어야 될 것으로 본다.

이상에서, 한반도 다우해와 과우해를 지배하는 경년 특성은 여름 몬순류, 북태평양 고기압, 북쪽의 이동성 고기압, 상층류 등의 특정 종관장의 강화나 약화에 상관이 있음을 밝혔다. 따라서 이들 종관장을 지수로 나타내고 지수들 각각의 변화과정 또는 공간적 위치의 이동을 추적함으로써 보다 나은 여름철 평균 강수의 예측이 이루어질 것으로 본다.

사 사

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발사업의 하나인 “동아시아 몬순-장마 순환계 예측 기술개발” 과제에서 수행된 것입니다.

## 참고문헌

- 김성삼, 정창희, 박순웅, 1983: 다우장마와 과우장마시의 장마전선의 구조적 특징. *한국기상학회지*, **19(1)**, 12-32.
- 박순웅, 안현주, 전영신, 1988: 1985년 장마기간에 동부 아시아 지역의 대기 순환의 시간적 변화. *한국기상학회지*, **24(3)**, 22-43.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 1989: 한반도 중부지방 장마전선상에 발생한 호우와 관련된 종관기상장의 변화. *한국기상학회지*, **25(3)**, 168-191.
- 전영신, 박순웅, 1990: 1982년 과우장마때 아시아 지역의 대기순환의 특징. *한국기상학회지*, **26(1)**, 12-24.
- 정순갑, 김성삼, 1983: 장마전선에서의 선형 경압불안정성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **19(2)**, 37-46.
- 윤원태, 박성규, 이재원, 이현수, 민승기, 2001: 1998년 여름철 한반도 집중호우 특성 분석. *한국기상학회지*, **37(2)**, 181-194.
- 허소경, 하경자, 문승의, 1997: 1993년과 1994년의 동아시아 여름 몬순의 특징. *한국기상학회지*, **33(4)**, 737-751.

- Goswami, B. N., V. Krishnamurthy and H. Annamalai, 1999: A broad scale circulation index for the interannual variability of the Indian summer monsoon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **125**, 611-634.
- Huang, R. H., S. E. Moon, B. J. Kim and C. S. Yoo, 1997: Recent Progresses and Problems in the Study of the East Asian Summer Monsoon. *J. Korean Meteor. Soc.*, **33(4)**, 627-639.
- Kang, I. S., C. H. Ho, Y. K. Lim and K. M. Lau, 1999: Principal Modes of Climatological Seasonal and Intraseasonal Variations of the Asian Summer Monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 322-340.
- Lau, K. M., K. M. Kim and S. Yang, 2000: Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon. *J. Climate*, **13**, 2461-2482.
- Lu, R. Y., 2002: Association between the Surface Temperature in Eurasian and the Changma Withdrawals. *Kor. J. Atmos. Sci.*, **5(S)**, 63-71.
- Matsumoto, S., S. Yoshizumi and M. Takeuchi, 1970: On the structure of the "Baiu front" and the associated intermediate-scale disturbances in the lower atmosphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, **48**, 479-491.
- Ninomiya, K., 1980: Enhancement of Asian subtropical front due to thermodynamic effect of cumulus convection. *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 1-15.
- Oh, J. H., R. Y. Lu, W. T. Kwon and S. B. Ryoo, 2000: The 500 hPa Geopotential Fields in the Mid-High Latitudes Associated with Changma. *Kor. J. Atmos. Sci.*, **3(2)**, 83-95.
- Park, C. K. and S. D. Schubert, 1997: On the Nature of the 1994 East Asian Summer Drought. *J. Climate*, **10**, 1056-1070.
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539-2558.
- Yoshizumi, S., 1977: On the structure of intermediate-scale disturbances on the Baiu front. *J. Meteor. Soc. Japan*, **55**, 107-120.
- \_\_\_\_\_, 1978: On an upper tropospheric disturbance of 2.5-day period around the jet stream in the Baiu frontal zone. *J. Meteor. Soc. Japan*, **56**, 243-252.

---

최종 원고채택 : 2003년 10월 15일