

## 종관적 특징에 따른 남한 강수 특성 분석: 30년 (1973~2002) 기후 통계

나득균<sup>1</sup> · 곽종흠<sup>1,\*</sup> · 서명석<sup>1</sup> · 홍 운<sup>2</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 대기과학과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

<sup>2</sup>기상청, 156-720, 서울시 동작구 신대방2동 460-18

### Analysis of the Characteristics of Precipitation Over South Korea in Terms of the Associated Synoptic Patterns: A 30 Years Climatology (1973~2002)

Deuk-Kyun Rha<sup>1</sup>, Chong-Heum Kwak<sup>1,\*</sup>, Myoung-Seok Suh<sup>1</sup> and Yoon Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Science, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

<sup>2</sup>Korea Meteorological Administration, Seoul 156-720, Korea

**Abstract:** The characteristics of precipitation over South Korea from 1973 to 2002 were investigated. The synoptic patterns inducing precipitation are classified by 10 categories, according to the associated surface map analysis. The annual mean frequency of the total precipitation, its duration time and amount for 30 years are 179 times, 2.9 hours, and 7.1 mm, respectively. About 59% of the total precipitation events were associated with a synoptic low. The dominant patterns are identified with respect to seasons: A synoptic mobile low pressure pattern is frequent in spring, fall, and winter, whereas low pressure embedded within the Changma and orography induced precipitation are dominant in summer and in winter. For the amount of precipitation, precipitation originated from tropical air associated with typhoon, tropical convergence, and Changma is more significant than that with other pressure patterns. The statistical elapse time reaching to 80 mm, which is the threshold amount of heavy rainfall watch at KMA, takes 12.9 hours after the onset of precipitation. The probability distribution function of the precipitation shows that the maximum probability for heavy rainfall is located at the south-coastal region of the Korean peninsula. It is also shown that the geographical distribution of the Korean peninsula plays an important role in occurrence of heavy rainfall. For example, heavy precipitation is frequently occurred at Youngdong area, when typhoon passes along the coastal region of the back bone mountains in the peninsula. The climatological classification of synoptic patterns associated with heavy rainfall over South Korea can be used to provide a guidance to operational forecast of heavy rainfall in KMA.

**Keywords:** characteristics of precipitation, precipitation patterns, probability distribution function, heavy rainfall

**요 약:** 본 연구에서는 2003년 기상청에서 분류한 강수우발 기압우형을 근거로 1973년부터 2002년까지 30년간 전국 61소의 시간별 강수량 자료를 사용하여 우리나라 강수의 특성을 살펴보고있다. 시간강수량 자료를 이용하여 강수의 시작과 종료를 정의하여 지속시간과 집중호우까지의 도달시간을 조사하였고 집중호우 발생 확률을 분석하였다. 지난 30년 동안 한반도의 강수현상을 조사한 결과 연평균 약 179회의 강수가 발생하였으며, 강수지속시간과 강수량은 각각 2.9시간과 7.1 mm로 나타났다. 저기압형에 의한 강수가 전체의 약 59%를 차지했고, 여름에는 장미형, 가을에는 전선형과 태풍형, 겨울에는 지세형의 강수가 나타나는 계절적 특징을 보여주었다. 태풍과 장미 등 열대기류와 관련된 강수우형들은 10 mm 이상의 강수량을 보인 반면에, 극지적인 규모로 나타나는 우형들은 5 mm 미만의 약한 강수량을 보였다. 전체 강수현상 중 집중호우로 이어진 경우는 1.24%로 호우 기준까지 약 12.9 시간이 소요되었다. 집중호우를 자주 유발하는 유형은 장미형과 저기압형으로 나타났으나, 발생 확률은 태풍직접형, 태풍변신형, 열대류수렴형이 높았다. 지역별로는 남해안 지역은 태풍직접형과 태풍변신형, 영동지역은 태풍직접형, 경기 및 강원북부는 태풍변신형, 열대류수렴형과 장미형이,

\*Corresponding author: chkwak@kongju.ac.kr

Tel: 82-41-850-8526

Fax: 82-41-856-8527

그리고 충청지역은 태풍변신형과 열대류수령형에 의한 집중호우의 가능성이 큰 것으로 분석되었다. 기상청에서 분류하였던 강수의 유형은 다소 주관적인 면을 가지고 있으나 한반도 강수의 특성을 파악하는 데 별 무리가 없었다. 특히 새롭게 분류를 시도한 열대류수령형은 여름철에 많은 강수를 유발하는 기압계로 주목할 필요가 있다고 본다.

주요어: 강수특성, 강수유형, 확률분포함수, 집중호우

## 서론

최근 세계는 엘니뇨·라니냐 현상의 빈발, 가뭄과 홍수, 이상고온과 이상저온 등 지구온난화의 진행으로 극한기상 현상이 빈발하면서, 강수량의 증가와 강수량의 지역편차가 심화되고 있으며, 이로 인하여 기상재해가 날로 크게 증가되고 있는 추세이다(WMO, 2005).

중앙재난안전대책본부(2002, 2003)에 따르면, 최근 3년간(2001~2003년) 자연재해에 의한 피해는 지난 1990년대 이후 10년간 피해규모의 두 배에 달하는 등 매년 피해가 급증하고 있다. 특히 2002년 태풍 ‘루사’에 의한 기록적인 강수(일강수량 870.5 mm/day)와 2003년 태풍 ‘매미’에 의한 강풍(최대순간풍속 60 m/s)과 해일 동반으로 사상 유례 없는 수백 명의 인명피해와 평균 5조원에 가까운 막대한 재산 피해가 있었다. 또한 2004년 3월 대전 충청지역의 대설과 2005년 3월 영동 및 영남지역의 대설 등 다투는 대설로 인하여 많은 피해가 발생하기도 하였다.

이와 같이 우리나라 자연재해의 대부분은 강수현상에 기인한다. 특히 우리나라는 동아시아 여름 몬순에 의한 여름철 상마와 집중호우, 그리고 겨울철의 폭설 등이 사회적 문제를 야기하기 때문에 기상학적 수문학적 연구의 주제가 되어왔다. 이들 연구들을 살펴보면 강수의 시·공간적 분포와 기후학적 변동을 주제로 한 기후학적 특성에 관한 연구(이광호와 김문일, 1982; Park and Schubert, 1997; 윤원태 외, 2001; 하경자 외, 2003), 강수 발생 메커니즘과 관련된 연구(박순용 외, 1988; 전영신과 박순용, 1990; 임규호, 1997), 단시간 예측 가이드란스에 관한 연구로 단시간 예측기법(이배수와 이승만, 1985; 박혜숙 외, 2000; 송병현 외, 2004; 김용상 외, 2004)과 수치모델을 이용한 예측 연구(홍성유와 이동규, 1987; 이동규와 박정균, 2002; 장광범 외, 2004; 장병주 외, 2005)에 관한 것 등이 있다. 이들 연구결과들을 종합해보면 한반도 여름철 상마는 아열대 고기압과 티벳 고기압의 영향을 받으며 이들 세력에 따라 전선의 위치가 견

정되고, 하층제트에 의한 습기의 수송이 주된 강수원이 된다는 것을 보여 주었다. 또한 한반도 주변에 형성된 불안정도가 대류를 강화시키는 것으로 보였다. 한편 겨울철 몬순의 경우에는 시베리아 고기압의 영향을 받으며, 호남서해안 지역은 북서기류가 영동지역은 북동기류가 불 때 해변에서 증발된 습기가 중하층의 기형과 만나 국지적인 대류를 일으켜 상설이 유발됨을 보여 주었다.

한편 우리나라와 비슷한 동아시아 몬순순환의 영향을 받는 일본에서는 1960년대 말부터 집중호우를 유발하는 정체전선(우리나라에서는 상마, 중국에서는 Mei-yu, 일본에서는 Baiu라 함)에 대한 관측과 분석이 종합적으로 이루어졌다(Matsumoto et al., 1971; Ninomia, 1971; Matsumoto, 1972; Akiyama, 1973a, 1973b; Chen, 1983; Chen and Yu, 1988; Li et al., 1997). 이들 보대로 1980년대부터 집중호우의 역학과 장파 열역학적 특성을 수치모델에 모수화하여 집중호우를 모의하기 시작하였고, 최근에는 인드프로파일러, 도플러 레이더 및 위성으로부터 얻어진 자료를 수치모델에 동화시키는 자료동화방법과 지표모델을 대기 모델과 결합시켜 집중호우의 모의 성능을 향상시키고 있다(Anthes, 1977; Caniaux et al., 1995; Chen et al., 2001).

이러한 많은 연구결과들은 우리나라의 강수현상을 이해하고 예측하는 데 많은 도움을 주었지만, 대부분의 연구가 사례중심이거나 특정계절에 편중되어 있어 다양한 규모의 강제력이 혼재되어 나타나는 우리나라의 전체적인 강수 특성을 파악하는 데는 보나 체계적인 연구가 필요하다. 또한 원격탐사자료를 이용한 초단기 예측기술 연구와 수치모델을 이용한 연구 결과들도 강수의 단기 예측 가능성을 열어주었지만 아직도 한반도 강수의 정량적 예측에 한계가 있음을 보여 주었다(이동규와 박정균, 2002; 송병현 외, 2004). 최근 일부 과제들을 중심으로 상수물리과정에 대한 집중적인 관측이 이루어지고 있지만 아직까지 한반도 강수 발달 기구(Hong, 2004)에 대해 정량적으로 이해하기에는 관측 자료의 양과 질이 부족한 실정이다.

아직까지도 정량적 강수예보를 위한 다양한 방법들이 연구 중에 있기 때문에, 현업차원에서는 강수유형 분류에 의한 예측 방법(Swayne, 1956)이 현재에도 전체적인 예보 윤곽을 판단하는 데 이용되고 있다. 2003년 기상청에서 한반도에 강수를 유발할 수 있는 기압패턴을 분류한 것 역시 강수예보의 기초 자료로 활용하기 위해서였다. 따라서 이 연구에서는 기상청에서 분류하였던 기압배치 유형별로 강수현상의 통계적 특성을 분석하였다. 또한 각 기압배치 유형별로 강수 발생 확률분포를 분석하였고 분포함수로부터 집중호우 발생가능성을 조사하였다. 이러한 기압배치 유형별 강수 특성 자료는 예보관이 강수 특성을 판단하는데 기초 자료로써 사용될 수 있을 것이다.

## 자료 및 분석 방법

### 일별 강수유형 분류 자료

기상청(2003년)은 현업적 이용을 목적으로 우리나라의 강수 현상이 어떠한 기압배치에서 발생하는지를 조사 분석한 바 있다. 기상청의 강수유형분류는 강수시 빈번히 출현하는 기상기압 패턴을 Fig. 1과 같이 정의한 후 강수가 어떤 기압배치 하에서 발생하였는지를 지난 30년간(1973-2002) 일별로 분류한 것이다. 기상청에서 분류한 기압패턴은 총 11개로 분류의 기준은 다음과 같다.

**저기압형(Low pattern, Lo로 표기):** 전형적인 온대저기압이 우리나라를 통과하거나 직접적으로 영향을 미쳐서 내린 강수유형으로 저기압의 중심과 연결된 강수구역이 나타나는 경우이다. 저기압이 우리나라를 통과하는 과정에서 일시적으로 저기압에 동반된 전선의 영향을 받는 경우라도 모두 하나의 시스템으로 보아 동일 유형으로 분류하였다.

**전선형(Front pattern, Fr로 표기):** 전선 또는 전선에 준하는 기압골의 영향을 받는 유형으로서, 저기압 중심이 한반도경의 북쪽에 위치하고 여기서 발생된 전선이 우리나라에 영향을 주거나, 동해북부 해상이나 알류산 열도 부근에서 발달한 저기압으로부터 켈은 전선에 의하여 우리나라에 강수가 발생하는 경우이다.

**안장형(Col pattern, Co로 표기):** 저기압이나 전선

의 직접적인 영향이 아니고 고기압 사이의 안상부 또는 남쪽이나 북쪽으로부터의 약한 기압골의 영향을 받는 유형으로서 저기압형이나 전선형으로의 분류가 적절치 않은 유형이다.

**장마형(Changma pattern, Ch로 표기):** 장마형은 전형적으로 정체전선에 의하여 우리나라에서 강수가 발생하는 유형이다. 장마전선이 지속적으로 영향을 줄 때에는 하나의 유형으로 분류하였고 장마전선이 북상하였다가 남하하거나 남해상으로 남하하였다가 다시 북상하여 영향을 줄 때에는 별개의 유형으로 분류하였다.

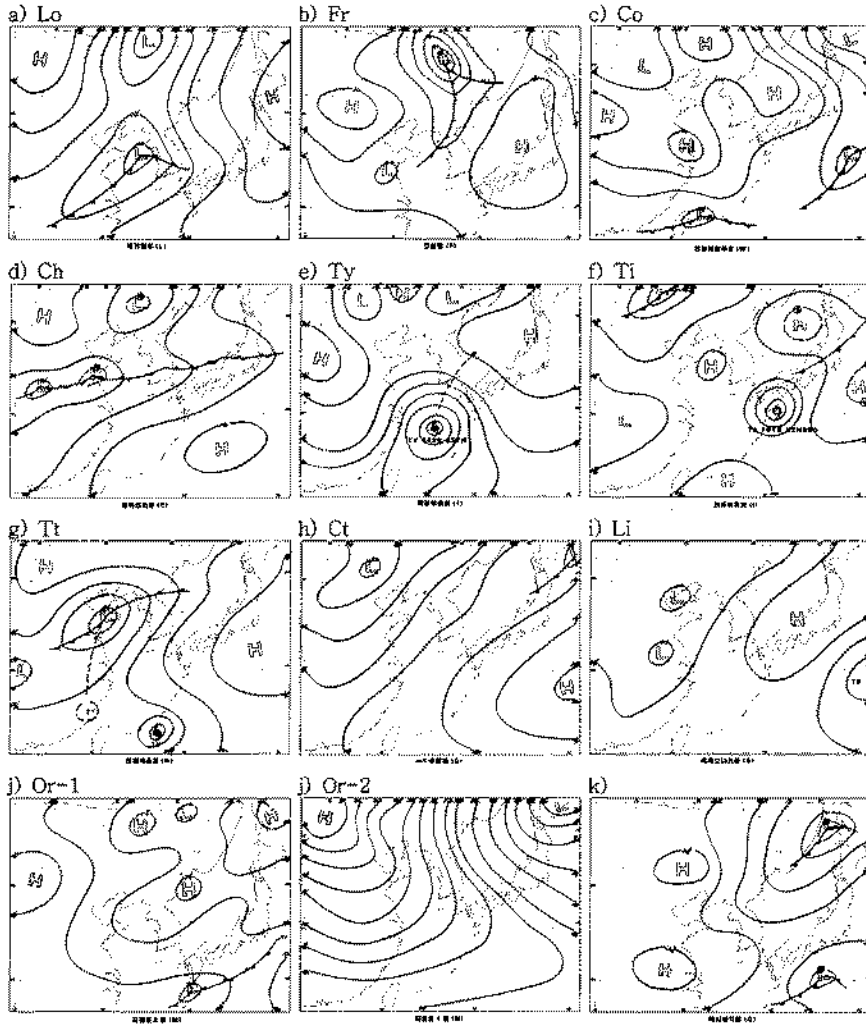
**태풍직접형(Typhoon direct effect pattern, Ty로 표기):** 우리나라가 태풍의 직접 영향권에 들어 강수가 내린 유형이다. 태풍이 우리나라에 직접 영향을 미친 경우에는 태풍이 접근하면서 발생한 강수도 모두 태풍직접형으로 분류하였다.

**태풍간접형(Typhoon indirect effect pattern, Ti로 표기):** 태풍의 간접적인 영향을 받는 유형이다. 태풍이 멀리서 영향을 미치거나 또는 태풍으로 성장하지 못한 열대저압부(Tropical Depression, TD)의 영향을 받는 유형으로서 태풍이 북상하다가 일본열도 쪽으로 진행하면서 우리나라에 직접적인 영향은 없지만 그 태풍의 여파로 간접적인 영향의 강수가 있었거나, TD가 남쪽에서 북상하면서 강수가 나타나는 경우이다.

**태풍변질형(Typhoon transformed pattern, Tt로 표기):** 태풍변질형은 태풍이 북상하다가 중국대륙으로 상륙하여 온대저기압으로 전환된 후 동진하면서 우리나라에 많은 강수가 나타나는 유형이다.

**열대류수렴형(Convergence of tropical air, Ct로 표기):** 다습한 열대기류가 남서기류의 형태로 우리나라로 강하게 수렴하여 우리나라에 호우를 유발하는 유형이다.

**지세형(Orography, Or로 표기):** 대륙성고기압 확장시에 서해안지역 등에 강수를 유발하거나, 북동기류 유입시 영동지역에 강수를 유발하거나, 남해상으로 태풍이 통과할 때 영동지역에 강수를 유발하거나, 한라산의 영향으로 한라산 주변에 강수를 유발하는



**Fig. 1.** Spatial distribution of representative surface pressure patterns causing precipitation over Korean Peninsula: a) low, b) front, c) Col, d) Changma, e) typhoon direct, f) typhoon indirect, g) typhoon transformed, h) tropical convergence, i) local instability, j) orography, and k) local cooling, respectively. The col and orography patterns are classified by two different patterns due to their seasonal characteristics. Descriptions of the patterns except for local cooling are shown in Table 1.

경우 등의 지형의 영향에 의해 강수가 유발되는 유형이다.

**극지불안정형(Local instability, Li로 표기):** 기단 내에서 지면가열에 의한 대기불안정으로 발생하는 소낙성 강수 유형이다. 일강수량 자료에서는 연속적인 강수로 오인할 수 있는 유형이다. 그러나 비가 단속적이기 때문에 별도의 강수사상으로 처리하였다.

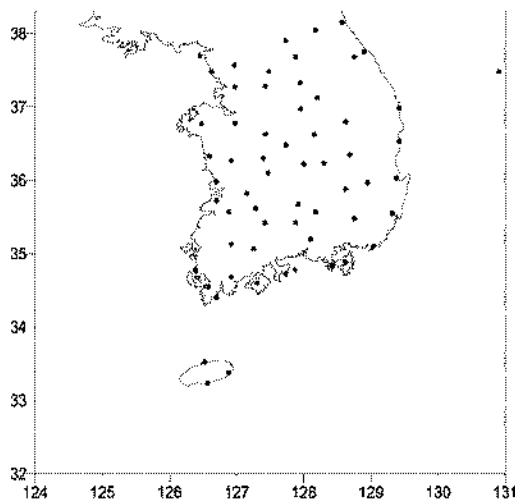
**극지안정형(Local cooling):** 기단 내에서 복사냉각

에 의한 대기 안정의 영향을 받는 유형이다. 안정된 기단에서 복사냉각으로 층운성 강수가 내려며 매우 극지적이고 적은 양의 강수(주로 이슬비)가 나타난다.

기상청에서 정의하였던 극지안정형의 경우 안개비 외의 강수현상이 거의 발생하지 않아(30년간 2회 발생) 분류에서 제외시켰다. 따라서 이 연구에서는 최종적으로 Table 1과 같이 10종류의 강수유형 패턴만을 사용하였다.

**Table 1.** Classification of the pressure patterns causing precipitation over Korean peninsula.

Patterns	Symbol	Description
Low	Lo	Extra tropical low pressure system passing through the Korean Peninsula.
Front	Fr	Front extended from the low pressure system over northern Manchuria or Aleutian
Col	Co	Col between two high pressure systems or weak trough from the north or the south.
Changma	Ch	Stationary Changma front in summer monsoon
Typhoon direct	Ty	Direct effect of typhoon
Typhoon indirect	Ti	Indirect effect of typhoon or direct effect of tropical depression.
Typhoon transformed	Tt	Extra tropical cyclones transformed from tropical cyclone after landfall.
Tropical Convergence	Ct	The strong tropical air convergence along the periphery of sub-tropical highs. Generally it transport high moist air to Korean peninsula.
Local instability	Li	Local instability due to strong surface heating. Generally precipitation is shower types.
Orography	Or	Orographic forcing.

**Fig. 2.** The location of observation sites used in this study.

### 분석방법

강수유형별 통계적 특성을 분석하기 위하여 시간별 강수량 자료를 사용하였다. 시간별 강수량 자료는 1973년부터 2002년까지 연속적으로 관측강수 자료를 가지고 있는 전국 61소(FIG. 2)의 자료이다. 강수지속시간 계산에 필요한 강수의 시작과 종료 시각은 다음과 같이 정의하였다. 강수 시작은 기상관서에서 0.1 mm 이상 기록한 최초의 시작을 강수시작으로 하고, 0.0 mm 가 두 시간 이상 지속될 때 첫 번째 시작을 강수종료시작으로 보았다. 그러나 겨울철(11월부터 익년 3월까지)에는 강설(신적설) 관측이 6시간 혹은 3시간마다 이루어지기 때문에 강수형태가 강설인 경우 즉, 3시간 혹은 6시간의 자료가 0.1 cm 이상을 기록한 경우 연속적인 강설로 간주하였다. 강수 현상이

일 경계를 넘어 연속될 때에는 하나의 강수현상으로 간주하였으며, 강수가 종료되었다가 다시 시작한 경우에는 다른 사상으로 간주하였다.

강수의 통계적인 발생빈도분포를 구하기 위하여 다음과 같이 감마분포를 갖는 강수분포 함수를 고려하였다.

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}, \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

여기에서  $x$ 는 강수의 계급,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 분포의 모양( $\alpha$ )과 규모( $\beta$ )를 결정짓는 모수이다.  $\alpha$ 가 1 보다 작으면 분포가 강하게 왼쪽(강수량이 작은 쪽)으로 치우치고, 1 보다 큰 경우에는  $\alpha$  값이 커질수록 치우침이 적어지고 확률밀도함수가 오른쪽(강수량이 많은 쪽)으로 이동한다.  $\beta$  모수는 확률밀도함수를 오른쪽 혹은 왼쪽으로 좁히거나 펼치는 역할을 하며,  $\beta$ 가 커질수록 분포가 오른쪽으로 펼쳐지고 높이는 낮아진다.  $\Gamma(\alpha)$ 는 감마함수로 다음과 같이 정의한다.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx, \quad \alpha > 0 \quad (2)$$

여기에서  $\alpha$ 는 정수이고  $\Gamma(\alpha+1) = \alpha!$ 의 성질을 가진다.

분포함수를 결정짓기 위하여  $\alpha$ 와  $\beta$  모수는 최우법(method of maximum likelihood)을 사용하는 Thom (1958)의 방법을 따랐다. 그러나 확률분포함수와 실제 분포사이의 차이가 나타나는 경우에 맞추기(fitting) 방법을 사용하여  $\alpha$ 와  $\beta$  모수값을 다시 정하였다. 임의의 구간에 대한 발생 확률은 강수유형별로 산출된 분포함수로부터 얻어졌다.

## 결 과

### 강수 발생 빈도 분석

우리나라에 강수현상이 얼마나 자주 발생하는지를 알아보기 위해 강수 발생 빈도수를 조사하였다. 앞서 설명한 바와 같이 강수 시작에서 종료까지를 하나의 사상으로 간주하였다. 여기에서 강수의 공간적 규모는 고려하지 않았다. 즉 동일시간에 인근 관측소에서 강수현상이 있더라도 각각의 다른 사상으로 간주하였다. 따라서 본 연구에서 산출한 강수현상 횟수는 사용한 관측 지점수에 영향을 받는다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 단속적인 강수의 경우 각각의 사상으로 간주되기 때문에 강수일수보다 강수횟수가 많을 수 있다.

1973년부터 2002년까지 30년 동안의 강수빈도를 조사한 결과 총 327,452회 강수현상이 발생하여 우리나라 유인관시별 연평균 강수 빈도수는 약 179회로 나타났다. 1971년부터 2000년까지 21소의 일강수 자료로 살펴본 남한의 연평균 강수일수 107.6일(김은희 외, 2005)과 비교하여 보면 강수 빈도수가 강수일수보다 꽤게 나온다. 이는 전체 강수의 약 96%가 12시간 이내에 종료되었기 때문이다. 30년 평균한 강수의 지속시간은 약 2.9시간이었고, 평균 강수량은 약 7.1 mm였다.

Fig. 3은 각 강수유형별 강수 발생빈도분포와 계절별 발생빈도수를 나타낸 것이다. 강수빈도분포를 보면 저기압형이 약 59%, 장마형이 16%, 전선형이 8%, 태풍직접형과 지세형이 5%이고 그 외는 2% 이내로 대부분의 강수가 저기압형에서 발생함을 알 수 있다. 한편 계절별로는 봄, 가을, 겨울에는 저기압에 의한 강수가, 여름에는 장마에 의한 강수가 대부분을 차지하였다. 봄철에는 이동성 고기압의 후면에서 발달하는 저기압에 의한 강수 형태가 대부분이었다. 여름철 후기

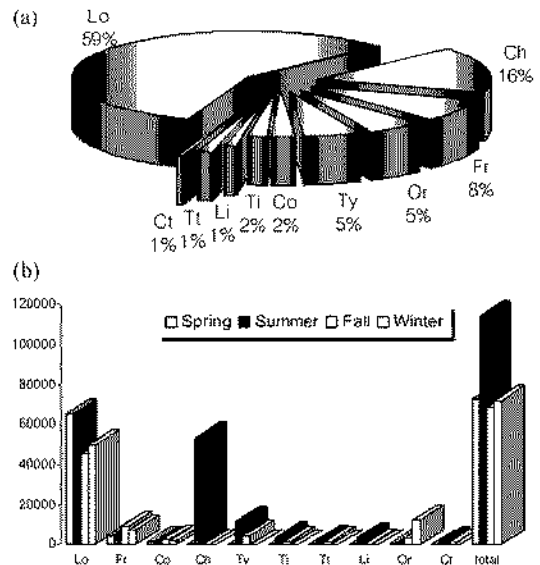


Fig. 3. The percentage of each precipitation patterns for the total precipitation events (upper) and seasonal frequency of each pattern (lower). Symbols are same as in Table 1.

의 대부분이 장마전선상과 관련된 강수이지만 장마 종료 후에는 저기압에 의한 강수도 빈번히 나타나고 있다. 가을철에 저기압형 다음으로 빈번히 강수를 유발한 형태는 전선형이었다. 이 유형은 주로 한반도 북쪽으로 지나는 저기압의 한랭전선의 일부가 한반도 쪽으로 길게 뻗치면서 짧은 시간에 강수를 유발하는 경우이다. 또한 가을철에는 북상하는 태풍에 의한 강수가 나타나고 있다. 겨울철에는 저기압에 의한 강수가 다수를 차지하고 있지만 지형에 의한 강수 또한 많이 발생하고 있다. 특히 시베리아 고기압 강출시 사해를 통과하는 기단이 해면으로부터 수증기를 공급받아 생기는 호남지역의 강설, 북동기류에 의한 영동지역의 강설과 같은 지형성 강설을 반영한 결과로 보인다. 이러

Table 2. Annual averaged precipitation events of each precipitation patterns over the past three decades (1973 to 2002), two decades (1983 to 2002), a decade (1993 to 2002), and 5 years (1998 to 2002). Symbols are same as in Table 1

Period	Lo	Fr	Co	Ch	Ty	Ti	Tt	Li	Or	total
30 years (73-02)	3568.3	614.2	168.6	987.6	315.1	104.4	68.4	108.2	307.6	6281.4
20 years (83-02)	3524.8	583.6	155.3	990.4	343.0	99.2	93.1	95.0	325.1	6255.2
10 years (93-02)	3047.3	508.0	203.7	997.3	427.8	135.7	64.2	129.9	445.4	5992.0
5 years (98-02)	3224.4	241.0	218.4	1154.8	490.2	179.2	92.0	89.2	585.2	6321.4

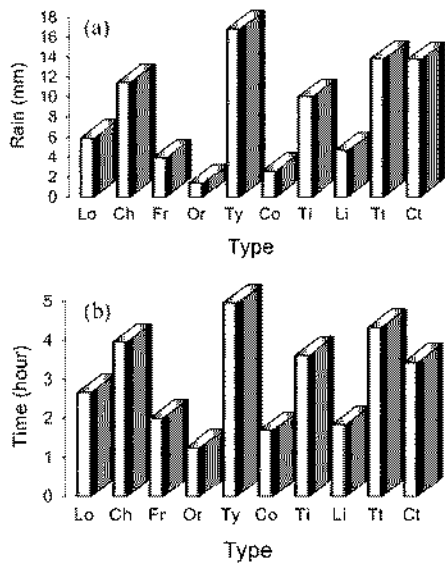


Fig. 4. (a) 30-year averaged rainfall amount (mm) and (b) duration (hour) according to the precipitation patterns.

한 유형별 발생빈도수는 한반도 강수 관련 연구(소선섭 외, 1995; 소선섭과 이영기, 1998; 정영근, 1999)들과 일치된 결과를 보여주었다.

한편 연도별 강수발생 빈도(Table 2)는 해에 따라 점차 줄어드는 추세였으나 최근 5년간에는 다시 증가하는 추세가 나타나고 있는데 이는 태풍과 지형 효과에 의한 강수가 증가한 것이 주 원인으로 작용할 것으로 보인다. 즉, 최근에 태풍과 풍계에 따른 지형성

강수현상이 점차 빈발하고 있음을 암시해 준다.

강수유형별 평균 강수량은 태풍직접형이 16.7 mm로 가장 많았고, 태풍변질형이 13.8 mm, 열대류수렴형이 13.7 mm, 장마형이 11.5 mm으로 나타났다(Fig. 4). 한편 전선형, 지세형, 안강형, 그리고 국지불안정형은 각각 5 mm 미만의 강수량을 보였다. 앞의 유형별 강수량에서 보는 바와 같이 우리나라에서 상대적으로 많은 양의 비가 내리는 것은 주로 열대태풍, 장마전선 및 열대류수렴형에 의한 것으로 우리나라 강수의 대부분이 고온다습한 열대기류와 관련되어 있음을 알 수 있다.

강수유형별 강수지속시간 및 강수강도도 강수량과 유사한 경향, 즉 강수량이 많을수록 강수지속시간이 길어지고 강수강도 또한 강해지는 경향을 보여주고 있다(Table 3). 즉, 강수현상별 평균 강수강도를 보면 열대류수렴형이 시간당 4 mm로 가장 강했고 태풍직접형이 3.4 mm, 태풍변질형이 3.2 mm, 장마형 2.9 mm로 나타나 강수량이 많은 유형일수록 강수강도가 강함을 알 수 있다. 따라서 집중호우와 같은 악기상을 정확히 예보하기 위해서는 강수강도가 강하게 나타나는 태풍의 직·간접형과 열대류수렴형을 예의 주시할 필요가 있다. 태풍과 관련된 강수 유형은 비교적 규모가 크기 때문에 어느 정도 예측이 가능하다. 그러나 열대 수렴형의 경우에는 우리나라가 북태평양 고기압의 북서 가장자리에 위치하여 대기가 국지적으로 매우 불안정한 상태에서 발생하기 때문에 예측하기가 매우 어렵다. 1998년 지리산 호우와 같이 단시

Table 3. Characteristics of precipitation according to the precipitation patterns for total events (left) and heavy rain events only (right). Elapsed time means that the time needed for the threshold amount (80 mm) of rainfall.

Pattern	Total Precipitation Events				Heavy Rain Events		
	Events	Duration (hour)	Rainfall (mm)	Intensity (mm/hour)	Events	%	Elapsed time (hour)
Lo	190273	2.67	5.88	2.20	1304	0.69	13.51
Ch	53594	3.96	11.47	2.90	1352	2.52	11.68
Fr	26397	1.99	3.92	1.97	127	0.48	9.58
Or	17463	1.23	1.41	1.15	8	0.05	13.63
Ty	16536	4.06	16.75	3.38	958	5.79	14.29
Co	7459	1.69	2.60	1.54	2	0.03	25.50
Ti	5584	3.63	9.98	2.75	118	2.11	13.46
Li	4166	1.84	4.63	2.52	2	0.05	7.00
Tl	3916	4.34	13.78	3.18	129	3.29	13.16
Ct	2064	3.44	13.70	3.98	66	3.20	7.52
Total	327,452	29.75	84.12	25.57	4,066	-	-
Weighted Average	178.94	2.87	7.07	2.32	-	1.24	12.86

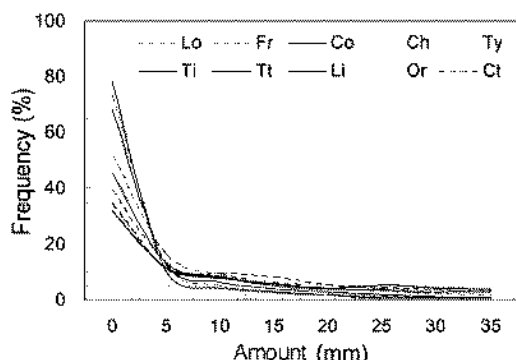


Fig. 5. Probability distribution function of each precipitation patterns. Symbols are same as in Table 1.

간에 국지적인 집중호우를 자주 유발하는 유형이 따로 열대류수렴형에 속한다. 따라서 방재 측면에서 예보관이 많은 관심을 갖고 대처해야 할 강수유형의 하나이다. 반면에 진선형, 지세형, 안장형 등은 시간당 2 mm 미만의 약한 강도를 보여주었다.

**강수 발생 확률 분포**

한반도 강수의 발생빈도 특성을 파악하기 위하여 강수량의 계급구간을 5 mm 간격으로 나누어 발생빈도수를 조사하였다. Fig. 5는 강수 계급구간별의 발생수를 전체 발생수로 정규화하여 백분율로 나타낸 것이다. 따라서 각 계급 구간별 백분율은 그 구간에서 강수현상의 기후학적 발생 비율을 나타낸다. 우리나라의 강수 분포는 강수량이 적은 쪽(왼쪽)으로 강하게 치우친 감마분포를 보여준다. 유형별로는 지세형이 강수량이 적은 쪽으로 가장 강하게 치우쳐 나타나며, 태풍관련 유형들은 왼쪽으로의 치우침이 상대적으로 약하게 나타난다. 즉 왼쪽으로 많이 치우칠수록 강수는 대부분 약한 강수가 되며 치우침이 약할수록 강한 강수가 내릴 가능성이 높다는 의미이다. 예를 들어, Fig. 5에서 지세형의 경우 강수의 85% 이상이 5 mm 이하의 강수이었음을 의미한다. 이러한 강수의 특징을 잘 설명할 수 있도록 각 관시별로 그리고 유형별로 감마분포의  $\alpha$ 와  $\beta$  모수를 구하여 관측에 fitting 시켜 강수의 분포함수를 결정하였다. 또한 강수강도별 분포함수로부터 임의의 강수계급에 해당하는 발생확률을 계산할 수가 있다. 계급구간을 강수량 대신에 지속시간으로 하여도 동일한 형태의 감마분포를 보여주었다. 즉 강수지속시간이 강수량과 밀접히 관련되었음을 의미한다.

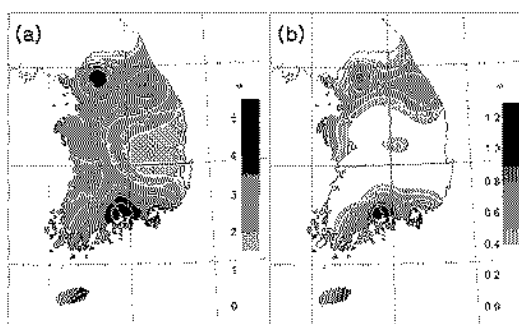


Fig. 6. Annual mean number of days (day/year) which heavy precipitation occurred from 1973 to 2002. (a) and (b) show the watch and warning levels in the operational purpose, respectively.

**호우 발생 분포**

일강수량으로 살펴본 우리나라의 호우 발생 빈도 분포(Fig. 6)를 보면 각 관시별 호우 주의보와 정보 기준 초과일수는 각각 2.1일과 0.4일이었다. 호우주의보는 백령도와 울릉도에서 0.9일로 가장 낮았고, 남해에서 4.7일로 가장 높았다. 호우의 발생일수는 지역별로 편차가 매우 심하게 나타났다. 호우주의보 기준을 초과한 강수가 자주 발생하는 지역은 경기북부와 강원산간, 그리고 지리산 남쪽 남해 지역과 서귀포 지역이었다. 호우경보 발생 일수 역시 주의보와 비슷한 분포를 보여주었다.

1973년부터 2002년까지 30년간 총 327,452회 강수 현상 중에서 80 mm 이상의 강수를 보인 경우는 총 4,066회 출현하여 전체 강수의 1.24%를 차지하였다. 80 mm 이상을 기록한 강수 사례의 경우, 강수가 시작된 이후 강수량이 80 mm에 도달하는 데는 평균 12.9시간이 소요되었으며, 300 mm 이상의 구간에서는 80 mm 도달시간이 계급 구간별로 매우 다양하게 나타나는 데(Fig. 7), 이는 계급구간을 10 mm로 작게 정해서 생긴 것으로 보다 큰 계급구간을 갖는다면 평균적인 도달시간에 접근할 것이다. 강수량의 계급구간 대신에 강수지속시간을 사용하여 구한 분포함수 역시 강수량을 사용한 것과 동일한 결과를 보여주었다(본문에 제시하지 않음). 또한 이 분포함수를 사용하여 구한 상위 1.24%(집중호우 발생빈도수)에 해당하는 시간 값으로 환산을 하면 12.1시간이 되었다. 대부분의 강수계급구간에서 호우주의보에 도달하는데 12시간 정도 소요되었으며, 강수계급 구간(누적 강수량)이 커질수록 소요시간이 짧아지는 경향을 보여주



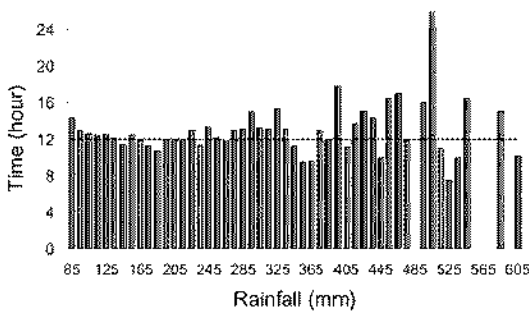


Fig. 7. Elapse time (hour) to 80 mm, which is threshold value for the heavy precipitation watch at Korea Meteorological Administration.

었다. 따라서 강수량이 호우주의보 기준에 도달하는 소요시간을 고려할 때 2004년도에 기상청에서 호우 특보기준을 종전 24시간에서 12시간으로 변경한 것은 적절한 조치였다고 사료된다.

호우주의보 기준인 80 mm에 도달하는데 소요되는 시간을 유형별로 보면(Table 3 참조) 국지불안정형이 가장 짧은 7시간이 소요되었으나 발생빈도수가 단지 2회에 그쳐 통계적 의미를 부여하기는 어렵다. 두 번째로 짧은 소요시간을 보인 유형은 열대류수렴형으로 7.52시간이었다. 앞에서 설명한 바와 같이 열대류수렴형의 경우 집중호우를 예측하기가 어려운 기압배치형이다. 더구나 강수가 시작되어 8시간 이내에 호우주의보 기준에 도달하므로 예보관의 입장에서는 가장 주의할 기압여야 되는 유형임을 알 수 있다.

각 유형별 강수의 분포함수로부터 호우 주의보 기준에 도달하는 강수가 발생할 확률을 산출하여 나타낸 것이 Fig. 8이다. 전체적으로 호우가 발생할 확률이 가장 높은 곳은 남해안지역으로 나타나 기후학적 발생빈도와 동일한 결과를 보여주고 있다. 호우로 성장할 확률이 가장 큰 유형으로는 태풍직접형, 태풍변질형, 열대류수렴형, 장마, 태동간접형으로 나타났으며 저기압에 의한 강수의 경우에는 매우 낮은 확률을 보여주었다. 태풍직접형의 경우 남해를 중심으로 한 남해안 일대와 영동 해안가에서 가장 높은 확률을 보여준다. 즉 태풍의 기류에 따라 다르겠지만 풍하측의 높은 산에 의한 수분축적 효과와 강제상승 효과가 복합적으로 집중호우를 유발할 수 있는 좋은 조건을 제공해 준다. 즉 남해안의 경우 풍하측에 지리산이, 영동 해안 쪽에서는 시쪽에 태백산맥이 위치하여 더 많은 양의 강수를 유발할 수 있는 조건을 갖추고 있다.

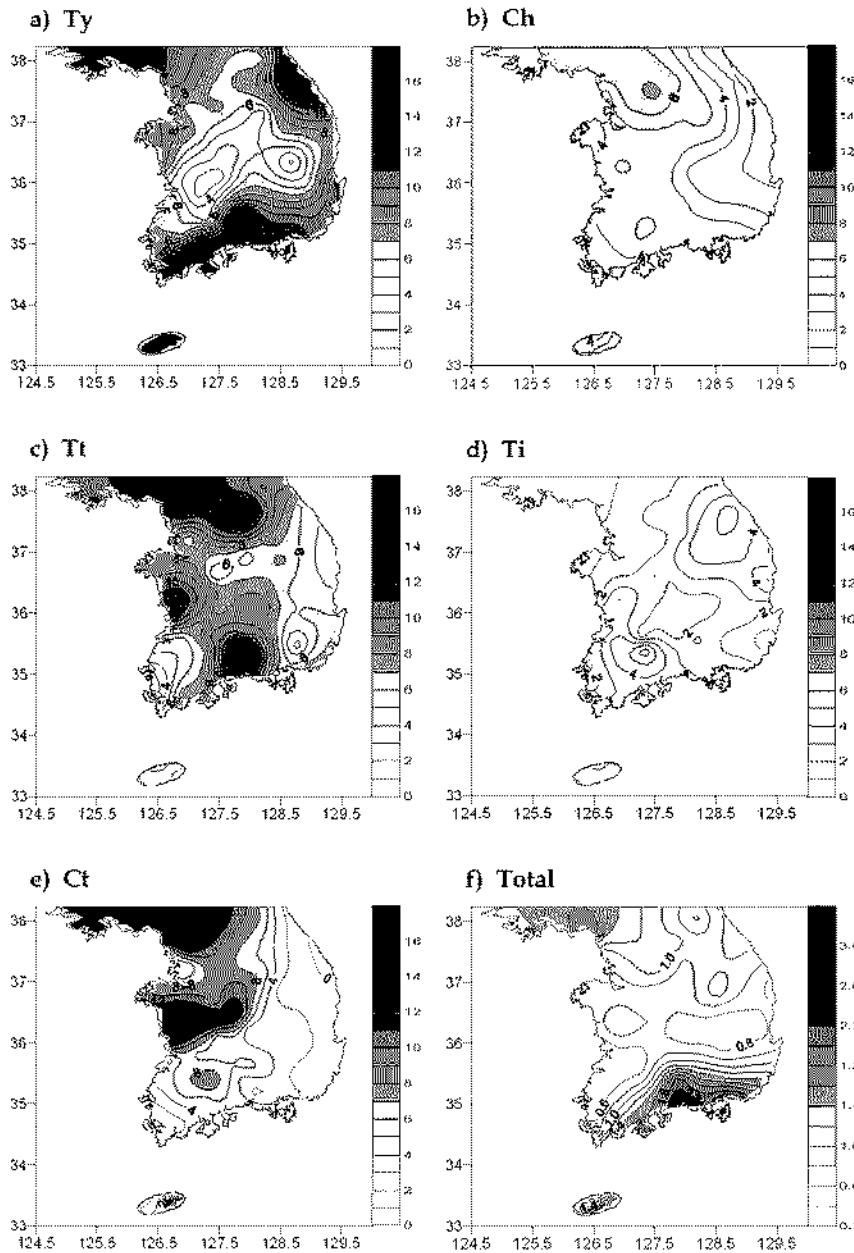
태풍 변질형의 경우에는 남해안과 충청 서해안 그리고 강원 및 경기 북부에서 발생할 확률이 높게 나타났다. 열대류수렴형의 경우에는 충청지역에 호우 발생확률이 높게 나타났다. 반면에 저기압형의 경우에는 앞서 기술한 유형보다 호우 발생확률이 아주 낮았다. 저기압형에 의한 강수빈도는 전체 강수빈도의 약 5%를 차지하고 있고 한반도 강수의 특성이 약한 강수에 많이 치우쳐 있는 분포를 보이기 때문에 상대적으로 낮은 호우발생 확률을 보였다.

## 결론

강수발생과 관련된 우리나라 주변의 기압매치에 대해 기상청에서 분류한 유형을 근거로 1973년부터 2002년까지 30년간 한반도 강수의 특성을 조사하였다. 기상청에서 분류한 강수유발 기압매치 유형은 당초 11종류이었으나 거의 강수 발생빈도가 없는 국지안정형을 제외한 10개의 유형에 대해서 강수 특성을 분석하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

지난 30년간 각 관측소에서는 평균적으로 약 179회의 강수가 발생하였으며 강수의 평균지속시간은 2.9시간, 강수량은 약 7.1 mm였다. 유형별로는 저기압형이 전체의 59%를 차지하였고, 장마형, 전선형, 태풍직접형, 지세형, 안장형, 국지불안정형, 태동간접형, 태풍변질형, 열대류수렴형 순으로 발생하였다. 계절별로는 봄, 가을, 겨울에는 저기압에 의한 강수가, 여름에는 장마에 의한 강수가 대부분을 차지하였고, 겨울철에는 저기압에 의한 강수가 다수를 차지하고 있지만 지형에 의한 강수 또한 많이 발생하고 있다. 이는 겨울철에 호남과 동해안 지역에서 자주 발생하는 지형성 강설과 관련된 것으로 보인다. 한편 연도별 강수발생빈도는 해에 따라 점차 줄어드는 추세였으나 최근 5년간에는 다시 증가하는 추세를 보여주었다. 최근 강수빈도가 증가한 것은 태풍과 지형 효과에 의한 강수가 증가한 것이 주 원인으로 작용하였다.

평균적인 강수량에 있어서는 열대기류와 관련된 태풍직접형, 태풍변질형, 열대류수렴형, 그리고 장마형이 평균 10 mm 이상의 강수를 기록하였으나, 전선형과 국지적인 규모로 나타나는 지세형, 안장형, 그리고 국지불안정형 등은 5 mm 미만의 강수량을 보여주었다. 강수지속시간도 강수량과 마찬가지로 강수량이 많을수록 긴 지속시간을 보여주었다. 강수량을 지



**Fig. 8.** Spatial probability distribution (%) of heavy rainfall watch (80 mm/12 hours) derived from the probability function according to the precipitation patterns. Symbols indicate the precipitation patterns as in Table 1.

속시간으로 나눈 평균 강수강도를 보면 열대류수렴형이 시간당 4 mm로 가장 컸고 열대기류와 관련된 기압배치형태가 강한 강수강도를 보여주었다.

한편 호우주의보 기준인 12시간에 80 mm 이상의 강수를 보인 경우는 총 4,066회 출현하여 전체 강수

의 1.24%를 차지하였다. 강수가 시작될 이후 80 mm에 도달하는 시간은 평균 12.9시간이 소요되었으며, 지속시간을 가지고 구한 분포함수로부터 계산한 80 mm 도달 시간 역시 12.1시간이었다. 따라서, 기상청에서 호우특보 기준시간을 24시간에서 12시간으로

변경한 일은 직접한 조치였다고 사료된다. 호우 발생 확률이 높은 유형으로는 태풍직접형, 태풍변질형, 열대류수렴형, 상마형 순으로 나타났다. 이중 열대류수렴형의 경우에는 집중호우 기준에 도달하는 시간이 다른 유형보다 짧아서 여름철 방재업무 수행에 주의할 요하는 유형으로 판단된다.

각 유형별/관측소별 강수의 분포함수로부터 강수 발생시 호우기준에 도달한 확률을 계산하여 호우발생가능성의 공간분포를 조사하였다. 집중호우가 발생할 확률이 가장 높은 곳은 남해안 일대로 나타났으며, 영동지역은 태풍직접형에 의한 호우 가능성이, 경기 및 강원북부는 태풍변질형, 열대류수렴형, 그리고 상마형에 의한 집중호우의 가능성이 각각 높게 나타났고, 충청지역은 태풍변질형과 열대류수렴형에 의한 집중호우의 가능성이 큰 것으로 나타났다. 남해안 지역은 태풍직접형과 태풍변질형에 의한 호우 가능성이 매우 높게 나타났다. 반면에 전체 강수의 59%를 차지하는 저기압형에 의한 호우의 가능성은 강수 빈도수가 많아 상대적으로 낮은 발생확률을 보였지만 호우발생 횟수로는 상마형에 이어 두 번째로 많은 발생빈도를 기록하였다.

이상에서와 같이 우리나라에 강수를 유발하는 기압계를 10개의 유형으로 분류할 수 있었으며, 유형에 따라 집중호우를 유발하는 지역이 다르게 나타나는 것을 효과적으로 분석할 수 있었다. 또한 열대류수렴형은 이제까지 매번 예측이 어려웠던 강수유형으로 우리나라에 많은 강수를 유발하는 기압계로 정의될 가능성이 큰 기압계로 사료된다. 그러나 이러한 유형 분류가 다소 주관적인 편을 가지고 있으므로 보다 객관적으로 기압배치 유형을 분류할 수 있는 기법 또는 지수개발이 필요하다.

## 사 사

이 연구는 “충청지방 악기상 예측 시스템 개발” 연구의 일부 지원에 의해 이루어졌다. 이 연구의 주된 동기는 2003년에 기상청이 용역사업의 일환으로 수행하였던 강수원인통계조사에서 행한 강수의 유형 분류이었다. 강수 유형분류에 수고해주신 사단법인 한국기상전문인협회에 감사드립니다.

## 참고문헌

기상청, 2003, 최근 30년간의 강수원인 통계조사, 55 p.

- 김홍상, 박옥란, 조현호, 2004, 불안정 지수를 이용한 여름철 악기상 현상 분석. 한국지료분석학회지, 6 (3), 703-715.
- 김은희, 김병기, 이우섭, 2005, 최근 30년간 한반도 일 강수강도의 지역적 특성. 한국지구과학회지, 26 (5), 404-416.
- 문영수, 이병곤, 권혜영, 1995, 강수량의 장기변동에 의한 한국의 지역구분. 한국지구과학지, 16 (1), 38-43.
- 박순웅, 안현주, 신영신, 1988, 1985년 장마기간에 동부아세아 지역의 대기순환의 시간적 변화. 한국기상학회지, 24 (3), 22-43.
- 박혜숙, 정효상, 노유정, 2000, TRMM/PR 관측에 의한 한반도에서의 여름철 호우의 특성: 사례연구. 한국원격탐사학회지, 16 (1), 55-64.
- 소선섭, 이영기, 1998, 영동 지방에서 발생한 극지적 호우의 사례 분석. 한국지구과학회지, 19, 590-609.
- 소선섭, 임재준, 나득균, 1995, 한국근래 기상관측이래 최대 일강수량을 나타낸 장충지방의 집중호우의 분석. 한국기상학회지, 31, 281-299.
- 송병현, 남재철, 남경엽, 최지혜, 2004, 레이더 자료를 이용한 충청지역 집중호우 사례 특성 분석. 한국기상학회지, 14 (1), 24-43.
- 윤원태, 박정규, 이재원, 이현수, 민승기, 2001, 1998년 여름철 한반도 집중호우 특성 분석. 한국기상학회지, 37 (2), 181-194.
- 이광호, 김도일, 1982, 집중호우의 중반기후학적 연구. 한국기상학회지, 18 (2), 11-17.
- 이배수, 이승만, 1985, 집중호우시 강우분포의 특성. 한국기상학회, 21 (1), 46-54.
- 이동규, 박정규, 2002, 동아시아 집중호우의 수치모의에 있어서 수분 물리 과정의 비교 연구. 한국기상학회지, 38 (6), 581-592.
- 임규호, 1997, 여름철 한반도 일강수량과 동아시아 및 태평양 상 등압면 고도의 선형 상관관계. 한국기상학회지, 33 (1), 63-74.
- 신영신, 박순웅, 1990, 1982년 과우장마때 이시가지지역의 대기순환의 특성. 한국기상학회지, 26 (1), 12-24.
- 정경범, 김지연, 권태영, 2004, 영동지역 겨울철 강수의 관련된 하층 바람의 특성. 한국기상학회지, 40 (4), 369-380.
- 정병주, 홍성유, 서명석, 나득균, 2005, 2004년 3월 4-5일 한반도 대설 사례의 역학·열역학적 특성에 관한 수치 연구. 한국기상학회지, 41 (3), 387-399.
- 정영근, 1999, 호남지방 대설 발생의 중관환경. 한국지구과학회지, 20 (4), 398-410.
- 중앙재난안전대책본부, 2002, 재해연보, 806 p.
- 중앙재난안전대책본부, 2003, 재해연보, 880 p.
- 하경자, 박정규, 김기영, 2003, 한반도 주변의 하계 강수량의 장년변동과 이에 연관된 동아시아 순환의 특성. 한국기상학회지, 39 (5), 575-586.
- 홍성유, 이동규, 1987, 중간 규모 모델에서의 겨울철 저기압의 시뮬레이션. 한국기상학회지, 23 (1), 35-55.
- Akiyama, T., 1973a, The large-scale aspects of the charac-

- teristic features of the Baiu front, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 24, 157-188.
- Akiyama, T., 1973b, Frequent occurrence of heavy rainfall along the north side to the low-level jet stream in the Baiu seasons, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 24, 379-388.
- Anthes, R. A., 1977, A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Monthly Weather Review*, 105, 270-286.
- Caniaux, G., J.-P. Lafore and J.-L. Redelsperger, 1995, A numerical study of the stratiform region of a fast-moving squall line. Part II: Relationship between mass, pressure, and momentum fields, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 52 (3), 331-352.
- Chen, F., T. T. Warner, and K. Manning, 2001, Sensitivity of orographic moist convection to landscape variability: A study of Buffalo Creek, Colorado, flash flood case of 1996, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 58, 3204-3223.
- Chen, G. T. J., 1983, Observational aspects of the Mei-Yu phenomenon in subtropical China, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 61, 306-312.
- Chen, G. T. J. and C.-C. Yu, 1988, Study of low-level jet and extremely heavy rainfall over Northern Taiwan in the Mei-Yu season, *Monthly Weather Review*, 116 (4), 884-891.
- Hong, S.-Y., 2004, Comparison of heavy rainfall mechanisms in Korea and the central United States, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82, 1469-1479.
- Li et al., 1997, Analysis of a heavy rainfall event during TAMEX, *Monthly Weather Review*, 125, 1060-1082.
- Matsumoto, S., 1972, Unbalanced low-level jet and solenoidal circulation associated with heavy rainfall, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 50, 194-203.
- Matsumoto, S., K. Ninomiya, and S. Yoshizumi, 1971, Characteristic features of "Baiu" front associated with heavy rainfall, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 49, 267-281.
- Ninomiya, K., 1971, Dynamic analysis of outflow from tornado-producing thunderstorms as revealed by ATS III pictures, *Journal of Applied Meteorology*, 10, 275-294.
- Park, C. K. and D. Schubert, 1997, On the nature of the 1994 East Asian summer drought, *Journal of Climate*, 10, 1056-1070.
- Swayne, W. W., 1956, Quantitative analysis and forecasting of winter rainfall patterns, *Monthly Weather Review*, 84, 53-65.
- Thom, H. C. S., 1958, A note on the gamma distribution, *Monthly Weather Review*, 86 (4), 117-122.
- WMO, 2005, Weather Climate Water and Sustainable Developments, WMO-No.974, 34 p.

---

2005년 8월 12일 원고 접수  
 2005년 9월 29일 수정원고 접수  
 2005년 9월 29일 원고 채택