이어도 기상 관측 자료를 활용한 장마 시작일 분석

오효은¹⁾ · 하경자^{1)*} · 심재설²⁾

¹⁾부산대학교 지구환경시스템 학부 대기과학전공, ²⁾한국해양과학기술원

(접수일: 2014년 1월 9일, 수정일: 2014년 2월 25일, 게재확정일: 2014년 2월 28일)

Analysis for Onset of Changma Using Ieodo Ocean Research Station Data

Hyoeeun Oh¹⁾, Kyung-Ja Ha^{1)*}, and Jae-Seol Shim²⁾

¹⁾Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan, Korea

²⁾Operational Ocean Science and Technology Department,
Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan, Korea

(Manuscript received 9 January 2014; revised 25 February 2014; accepted 28 February 2014)

Abstract The definition of onset date of Changma is revisited in this study using a quality controlled Ieodo ocean research station data. The Ieodo station has great importance in terms of its southwest location from Korean Peninsula and, hence, makes it possible to predict Changma period in advance with less impact of continents. The onset date of Changma using the Ieodo station data is defined by the time that meridional wind direction changes and maintains from northerly to southerly, and then the zonal wind changes from easterly to westerly after first June. This definition comes from a recognition that the establishment and movement of the western North Pacific subtropical high (WNPSH) cause Changma through southwesterly flow. The onset data of Changma has been determined by large-scale dynamic-thermodynamic characteristics or various meteorological station data. However, even the definition based on circulation data at the Ieodo station has a potential for the improved prediction skill of the onset date of Changma. The differences between before and after Changma, defined as Ieodo station data, are also found in synoptic chart. The convective instability and conspicuous circulations, corresponding low-level southwesterly flow related to WNPSH and strong upper-level zonal wind, are represented during Changma.

Key words: Ieodo ocean research station data, Ieodo, changma, onset date, WNPSH, southwesterly flow

1. 서 론

동아시아 여름 몬순은 지역별로 다양한 특징과 이름으로 중국에서는 메이유(Meiyu), 일본에서는 바이유(Baiu) 그리고 한국은 장마(Changma)로 불린다. 장마는 중국의 메이유, 일본의 바이유와 비슷한 특징을

가진다고 인식하지만 실제로는 대륙의 영향까지 포함되는 복잡한 중위도 현상이다(Lim and Park, 1991). 장마 기간은 6월 중순에서 7월 하순의 여름에 걸쳐 있으며 이 기간에 집중되는 강수는 한반도 연 총 강수량의 약 30% 정도를 차지한다. 장마를 포함한 동아시아 여름 몬순은 아시아 대륙의 지표가열로 형성된 하층 열저기압에 의해 동아시아 해안을 따라 습윤한 남서풍이 강화되면서 시작한다. 이와 함께 대륙의 가열로 데워진 공기가 팽창하면서, 상층의 티베트 고기압으로 인해 대륙에서의 건조한 공기가 장마전선으로 이동하여 대기의 불안정을 유발한다. 이렇게 형성

*Corresponding Author: Kyung-Ja Ha, Division of Earth Environmental System, Pusan National University, 30 Jangjeondong, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea.
Phone : +82-51-510-2177, Fax : +82-51-515-1689
E-mail : kjha@pusan.ac.kr

된 장마전선에 동반된 집중호우는 일상생활뿐만 아니라 사회경제적으로 많은 피해를 주고 있다. 따라서 장마의 시작일을 예측하고 대비하는 것이 필요하다. 많은 선행 연구들이 장마의 시작일을 정의하고자 하였고, 장마의 강도나 경년 변동성이 북태평양 고기압의 위치, El Niño and Southern Oscillation의 변동성 등 외부의 현상과 밀접하게 관련되어 있다는 것 역시 밝혔다(Ahn *et al.*, 1997; Kang, 1998; Ha *et al.*, 2003; Ha *et al.*, 2005a; Ha *et al.*, 2005b; Ha and Lee, 2007; Yun *et al.*, 2008; Yun *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010; Seo *et al.*, 2011; Chu *et al.*, 2012; Son and Seo, 2012; Lee *et al.*, 2013). 특히 Ha *et al.* (2005a)은 우리나라의 기상학적인 대표성을 갖는 대표 6개 지점에서의 장마 시작일을 다음과 같이 봄철 우기의 평균 최대 강수량보다 많은 양의 비가 3일 이상 지속적으로 내리기 시작하면서 일사량이 감소하고 상대습도가 75% 이상이거나 전운량이 7 이상인 날로 정의하였다. 위의 조건만으로 장마 시작일을 결정하기 어려운 경우 남풍의 최대값이 나타나기 전 남풍 증가 시점을 장마 시작일로 정의하였다. Seo *et al.* (2011)에서는 장마의 시작일을 결정하기 위해 장마 시작일 부근에서 상당온위의 남북경도 최소점 위치, 상당온위 335 K, 그리고 5850 gpm이 북위 32.5°를 지나서 북상하는 것을 이용하였다(Table 1). 이러한 선행연구들은 지상 관측소 자료나 대규모에서 장마 전선을 표현하는 기상 변수를 이용하여 장마 시작일을 정의하였다. 지상 관측소 자료를 사용하여 장마 시작일을 정의하는 방법은 지역적 편차를 알 수 있으나, 풍향의 변화가 작고 지표 마찰의 영향으로 인해 풍속이 약하게 관측되어 분석하는 데 어려움이 존재한다. 따라서 내륙의 영향을 받지 않는 외해에서의 관측자료를 이용한 정의를 개발한다면 그에 따른 더 효과적인 대비가 기대된다.

이어도 종합해양과학기지에서 관측된 자료는 해상에 존재하는 위치상의 이유로 결측값이 많지만 과거 선행연구에서 제공하는 관측 자료의 표준화 방법을

통해서 높은 신뢰도를 확인하였고, 따라서 그 활용가능성을 인정받고 있다(Oh *et al.*, 2010; Oh *et al.*, 2011). 외해에서의 관측자료는 위성 관측, 부이 관측, 그리고 선박 관측에 의존하여 진행되고 있었으나 이어도 종합해양과학기지의 구축으로 한반도 남쪽에서 내습하는 태풍 및 장마와 같은 악기상에 대한 중요 정보 수집이 가능해졌다. 이어도 종합해양과학기지는 육지의 영향을 받지 않는 마라도의 남서쪽 149 km에 떨어진 해상에 위치하고 있어 지상의 여러 요인들에 의하여 좌우되는 육지 관측 바람과 달리 지형의 영향을 받지 않는 외양의 특징을 관측할 수 있다(Oh and Ha, 2005). 특히 육지 관측 바람과 달리 육지로 상륙하기 전의 이어도 종합해양관측기지에서의 풍향은 장마 시작의 뚜렷한 변화로 장마의 시작일을 알 수 있는 지표로 사용할 수 있다. 장마의 시작일 결정을 종관적 관점에서 하는 다양한 방법에 육지 자료를 활용하는 것은 많은 불확실성이 존재하므로 이어도 종합해양과학기지자료와 육상의 자료를 비교 분석하여 최적의 자료 구성 및 자료의 통계치를 찾을 필요가 있다. 또한 해상 기지 자료를 이용한 장마 시작일의 객관적 지표 개발이 강우대에 의한 집중호우나 몬순 시기를 분석하는 데 기여할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구는 장마 시작일의 지표 개발로 인한 불확실성을 해소하고 몬순시기 정의를 확립하는 것이 목적이다.

2. 자료와 관측 자료의 표준화

기존 연구에서의 10 Hz 플렉스 자료는 tilt correction과 구체적인 자료질 검사를 통하여 질의 개선을 보이 고자 하였다(Oh *et al.*, 2007; Oh *et al.*, 2010; Oh *et al.*, 2011). 본 연구의 30분 평균된 기상 자료도 자료질 검사를 거친 후 주위의 기상관측소나 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA-interim 재분석 자료와 비교하였을 때, 자료의 패턴이나 크기가 상당히 유사하여 그 활용 가능성이 큰

Table 1. Changma onset indices defined in the previous studies.

Indices	Definitions of Changma onset
KMA (2011) - KMA	Circulation index using 200 hPa geopotential height and wind
Ha <i>et al.</i> (2005a) - HI	The starting point of continuous rainfall exceeding climatologic spring maximum for 3 days; Continuous decrease of insolation, Above 75% of relative humidity, above 7 of cloudiness at 6 representative Korean stations. If not, maximum southerlies
Seo <i>et al.</i> (2011) - SI	Use of equivalent potential temperature, 500hPa geopotential height and 200 hPa zonal wind fields
Present study - II	After first June, the time that meridional wind direction changes and maintain from northerly to southerly, and then the zonal wind changes from easterly to westerly using Jeodo station data

것을 확인하였다. 따라서, 표준화시킨 자료를 이용하여 장마의 시작일을 정의하고자 한다(Oh and Ha, 2005).

2.1 자료

이어도 종합해양과학기지는 30 m의 높이로 건설되었으며 기상타워는 43 m의 높이를 가진다. 기상 타워에서는 온도1, 2, 습도1, 2, 풍향1, 2, 풍속1, 2, 가시거리, 기압, 일사량, 강우량과 같은 기상요소가 2003년 이후부터 매 10분마다 생산되고 있으며 자세한 내용은 Oh and Ha (2005) Table 1에 설명되어 있다. 본 연구에서는 2004년부터 2011년까지(2006년, 2009년 제외) 기간 동안의 풍속, 풍향, 온도, 습도, 그리고 일사량을 분석하였으며, 장마 시작일 정의에는 풍속, 풍향 정보를 사용하였다. 풍속, 풍향, 온도, 상대습도에 붙은 1, 2의 의미를 간략하게 설명하면 풍속1과 2는 이어도 기지 5층에 설치되어 있는 등대의 풍향풍속계 1, 2의 자료이고, 온도-습도1, 2 중 온도-습도1은 기상탑의 온습도계로부터 관측된 자료이며, 온도-습도2는 등대에 설치되어 있는 온습도계 자료이다. 일반적으로 설치된 기상센서의 위치가 같아 그에 따른 기상관측자료의 차이가 크지 않다. 장마 시작일을 정의하기 위해 사용한 자료는 6월 동안 연속하는 결측값이 5일 이하인 풍속1, 풍향1이다. 같은 기간 풍속1의 결측값이 50% 이상 존재하였던 2006년과 2009년은 제외하였으며 이동평균을 하였을 경우 결측값이 존재하지 않는 2004년부터 2011년(2006년과 2009년 제외)까지 분석에 사용하였다. 또한, $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ 격자 간격인 ECMWF ERA-Interim 재분석 자료의 일평균자료(daily)도 역시 2004년부터 2011년까지(2006년과 2009년 제외) 사용하였다.

2.2 관측 자료의 표준화

본 연구에서 자료의 표준화를 위하여 바람은 일반적인 해상풍 고도인 10 m로 변환하였다. 44 m에서 관측된 바람을 10 m로 변환하기 위하여, Oh and Ha (2005)에서 사용한 Monin-Obukhov 이론을 이용하였다.

$$u_z = \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \Psi_M\left(\frac{z}{L}\right) + \Psi_M\left(\frac{z_0}{L}\right) \right], \quad (1)$$

$$L = \frac{u_*^2 T}{\kappa \theta_* g_0}, \quad (2)$$

$$\theta_* = -H(\rho c_p u_*)^{-1}. \quad (3)$$

u_z 는 고도에서의 풍속, u_* 는 마찰속도를 나타내며 κ 는 Karman 상수인 0.4 그리고, z_0 는 이전의 논문에서 처럼 외해와 연안지역에서의 거칠기 길이의 중간 정도인 5×10^{-4} m로 정의하여 이용하였다(Stull, 1988;

Oh and Ha, 2005). Ψ_M 는 운동량에 대한 안정도 함수, L 은 Monin-Obukhov 길이이며 이의 함수로써 현열플럭스(H)로 이루어진 θ_* 는 temperature scale이다. 여기서 식 (1)을 중립 상태로 가정하여 안정도 함수 Ψ_M 를 0으로 두고, z 고도에 각각 10 m와 44 m를 적용하면 간단하게 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$u_{10\text{ m}} = u_{44\text{ m}} \times \frac{\ln\left(\frac{10\text{ m}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{44\text{ m}}{z_0}\right)}. \quad (4)$$

위의 식을 따라 이어도 기지에서 관측하여 보정한 바람 자료는 선행연구에서 재분석 자료와의 높은 상관관계를 보임으로써 그 신뢰도와 활용가능성을 증명하였다. 풍속의 연직 또는 수평경도가 가장 중요한 요인으로 작용하는 대기안정도는 바람의 세기를 결정하는 데 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 대기안정도를 중립 상태를 가정하여 분석하였지만, 기존 선행 연구에 따르면 안정한 상태에 대해서는 과대평가하는 경향이 또한 불안정한 상태에 대해서는 과소평가한 경향이 있다는 점을 고려하여야 한다(De Rooy and Kok, 2004).

3. 바람장을 이용한 장마 시작일 분석

3.1 자료 바탕의 구성 및 장마시작일 정의

본 연구에서는 지형적인 영향으로 에러를 포함하는 내륙 관측 자료를 배제하고, 한반도 남서해상에 있는 이어도 종합해양과학기지의 관측 자료를 이용해 정확도를 높이고 보다 사용이 용이한 장마 시작일을 정의한다. 위치적 특성상 결측값이 많은 이어도 종합해양과학기지의 자료를 다양한 이동평균을 통해 자료의 활용성을 높이고자 과거 6년간의 기상 자료의 시계열 자료를 5일 이동평균부터 +2일씩 15일 이동평균까지 가공하였다(Fig. 1). 그리고 6월 결측값이 50% 이상 존재하는 해를 제거하는 자료질 검사를 통하여 해당하는 2006년과 2009년의 해를 분석에서 제외하였다. 6월 1일 이후 관측 자료의 남북 바람 방향, 동서 바람 방향을 판단하여 기상청에서 사후 정의한 제주지역 장마시작일과 비교하였을 때 가장 상관관계가 높고 유의한 7일 이동평균 데이터를 사용하여 정의하였으며, 관측 자료의 바람 방향이 남풍에서 남서풍으로 바뀌는 시점을 통하여 결정하였다. 또, 이러한 장마 시작일의 정의는 제주도 서귀포지역보다 먼저 이어도에서 남풍이 시작되고, 장마 시작일 이후(남서풍이 불기 시작) 서귀포에서는 남풍이 시작되는 경향이 있다는 점이 Ha *et al.* (2005a)의 정의와 유사하다. 장마 시작일 정의 방법은 여름철 북태평양 고기압이 발달

Fig. 1. Procedure for determining onset of Changma using Ieodo Ocean Research Station data.

Fig. 2. Seasonal variations (May~Sep.) of daily mean U and V winds in 2008; Perpendicular dashed line denotes onset of Changma.

하면 그 가장자리를 따라 한반도로 불어오는 남서풍으로 인해 수증기가 유입되면서 장마가 시작되는 특성을 이용한 것이다.

7일 이동 평균한 데이터인 2008년의 해를 예로 들어 본 연구에서 정의한 장마 시작일에 대해 간략하게 확인해 보면, 6월 1일 이후 남북 바람의 방향이 북풍에서 남풍으로 먼저 변화하여 유지되고 이어서 동서 바람이 동풍에서 서풍으로 바뀌는 시점(즉, 남풍에서 남서풍)을 장마 시작의 인자로 사용하여 결정하였다(Fig. 2). 그림에서 보면 장마기간의 특성은 기존에 알려진 사실과 달리 남북바람의 성분 변화에만 민감한 것이 아니라 동서바람의 성분 변화에도 민감하여, 남풍이 1차적으로 발달한 후 서풍이 강해짐을 알 수 있다. 북서태평양 고기압의 가장자리를 따라 수증기가 수송되면서 장마가 시작하는 특징을 잘 모의하며, 여름철 북서태평양 고기압의 성립과 확장에 따라 한반도에 영향을 주는 바람이 남풍에서 남서풍으로 변화

Fig. 3. Time series of 7 days running average of Changma onset indices including Ieodo, KMA (Korea Meteorological Administration), and SI (Seo *et al.* (2011) Index) during the period 2004-2011.

하는 것을 살펴볼 수 있기 때문에 남북, 동서 바람으로 장마 시작일을 판단하는 것은 적합하다. 이렇게 정의한 지수를 본 연구에서는 II(Ieodo Index)로 명명한다.

Figure 3은 Korea Meteorological Administration (2011)에서 사후 결정한 제주지역 장마 시작일(KMA로 명명)과 선행 연구인 Seo *et al.* (2011) (SI로 명명)에서 정의한 장마 시작일, 그리고 II를 사용하여 정의한 장마 시작일의 결과이다. Ha *et al.* (2005a) (HI로 명명)은 본 연구 기간과 다르고 각 지점마다 차별되어 있기 때문에 제외하였고, 나머지 두 가지 장마 시작일을 비교하는데 사용하였다. II는 기상청에서 정의한 장마시작일과 +5일 정도의 오차를 가지고 있지만, 두 장마 시작일과 충분히 유사한 모습을 보이고 있음을 알 수 있다. 기상청의 정의는 국지적인 강수 현상도 장마 시작으로 모의할 수 있기 때문에 대규모의 장마 전선과 순환 패턴에 의해 정의되는 지수들 간의 차이가 나타나는 것으로 사료된다. II는 기존의 선행연구인 대규모의 장마 전선의 패턴을 사용하거나 내륙지역의 다양한 관측 지점에서의 많은 변수를 사용하지 않고 한반도 남서쪽 외해에 위치한 이어도 종합해양과학기지의 바람장만으로 장마 시작일을 분석할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이를 통해, 이어도 기지 자료의 중요성을 강조하는 동시에 바람장을 이용하여 장마 시작일을 분석하는 데 유용할 것이다.

이러한 바람장의 특징을 Ha *et al.* (2005a)에서 정의한 제주도 성산과 이어도와 가장 가까운 관측지인 고산에 적용하여 확인해 보았다(Fig. 4). 두 지역에서 모두 선행연구와 일치하게 장마 시작일 이후 남풍이 최대값을 나타냈다. 주로 남풍이 지배적인 역할을 하는 것을 확인할 수 있으며 2008년의 경우 성산은 주로 남동풍, 고산은 남서풍의 역할이 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 다른 해에 적용해보았을 때도 동서바람보다 남북바람인 남풍의 역할이 큰 것을 확인할 수 있었지만, 장마 시작일 정의에 사용하기에 통계적으로 유의한 결과를 보이지 못했다(그림 미제시).

Fig. 4. Seasonal variations (May~Sep.) of daily mean U and V winds in 2008 at (a) Seongsan and (b) Gosan in Jeju; Perpendicular dashed line denotes onset of Changma.

3.2 시작일 이전과 이후의 종관장의 특성

2004년부터 2011년까지 이어도 관측 자료를 사용하여 나타난 장마 시작일은 2004년 6월 23일, 2005년 6월 24일, 2007년 6월 22일, 2008년 6월 19일, 2010년 6월 18일, 그리고 2011년 6월 4일이다. 따라서, 2006년과 2009년을 제외한 총 6년의 장마 전후 7일 평균한 공간장의 특징을 살펴보고 기존 선행연구와 비교하여 그 유의함을 살펴보고자 한다. Figure 5는 상층 제트를 나타내는 200 hPa 동서바람과 850 hPa 하층 바람, 그리고 북태평양 고기압을 나타내는 5880 gpm 이다. 장마 시작일 전 7일 평균한 공간장을 (a)에 장마 시작일 후 7일 평균한 공간장은 (b)에 나타내었으며, (c)는 그 차이를 나타내었다. 장마 기간의 특징은 한반도 부근, 약 북위 35~40도에 제트기류가 강한 모습을 보이고 있으며, 북위 20~30도 부근에서는 약해지는 것을 확인할 수 있다. 이는 장마 기간 때 상층 제트가 북상하는 특징을 보여주고 있으며, 북서태평양 고기압의 북상도 역시 확인할 수 있다. 북서태평양 고기압이 강화되며 북상하는 역학적 구조를 통해 한반도 부근의 풍향이 남풍에서 남서풍으로 바뀌는 특징을 찾을 수 있다. 이러한 기압 배치는 서쪽으로부터의 요란이 서해를 거쳐 우리나라 서해안으로 강한 수증기 유입을 가능하게 하여 대기를 불안정하게 만들고, 하층에서는 남풍 계열의 온난하고 습한 수증기 공

Fig. 5. Spatial distribution of the 500 hPa geopotential height (contour), 850 hPa wind (vector), and 200 hPa zonal wind (shading) (a) before Changma, (b) during Changma, and (c) their difference. Shaded areas in (c) represent significant areas of 200 hPa zonal wind (95% confidence level).

급이 원활하여 공기 중의 수증기 양을 증가시킨다. 기온과 이슬점의 차이인 포차 역시 장마 전후의 차이가 한반도 부근과 남쪽에서 유의하게 나타난다(Fig. 6). 포차의 크기는 한반도를 거쳐 일본에 길게 존재하는데 이는 장마 전선의 모습과 유사하여 본 연구 결과를 뒷받침하고 있다. 또한 850 hPa에서의 상당온위로 나타난 장마 전과 후의 기단의 변화를 살펴보면 장마가 시작한 후, 즉 장마 기간에 상당온위의 남북 경도가 한반도 남쪽에 매우 크게 존재하고 있음을 알 수 있다. 이것으로 성질이 다른 두 기단, 북쪽의 오호츠크해 기단과 남쪽의 북태평양 기단을 이용하여 이 지역에서 만나는 장마의 성격을 설명할 수 있다(Fig. 7). 하층 상당온위의 연직적 차이도 한반도에서 뚜렷한 모습을 확인할 수 있기 때문에 장마 기간에 하층 불

Fig. 6. Spatial distribution of specific humidity (contour) and saturation deficit (shading) (a) before Changma, (b) during Changma, and (c) their difference. Shaded areas in (c) represent significant areas of saturation deficit (95% confidence level).

안정이 더욱 강화되었다는 것을 통하여 이어도 관측 자료만으로도 장마 시작일이 잘 정의됨을 알 수 있다.

4. 결 론

장마의 시작을 정의하는 데 있어 바람에 의한 수증기의 이류가 크기 때문에, 북태평양 고기압의 확장에 따른 바람장을 이해하는 것이 중요하다. 이러한 사실을 이용하여 시작 시점 결정 방법을 개발하기 위해 한반도 남서해상에 위치한 이어도 해상과학기지의 관측 자료의 획득이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 북

Fig. 7. Spatial distribution of the 850 hPa equivalent potential temperature (contour) and equivalent potential temperature between 850 hPa and 700 hPa (shading) (a) before Changma, (b) during Changma, and (c) their difference. Shaded areas in (c) represent significant areas of equivalent potential temperature between 850 hPa and 700 hPa (95% confidence level).

서태평양 고기압의 가장자리를 따라 수증기가 수송되면서 동아시아 여름 몬순이 시작되는 특징을 바탕으로 한반도 지역 물순환의 주요 지점으로써 이어도 종합해양과학기지 자료를 재평가 하였다. 위치적 특성상 결측값이 많아 다양한 이동평균을 취한 2004년부터 2011년까지(2006년과 2009년 제외)의 풍향, 풍속 자료의 시계열 자료를 이용하여 최적의 활용 자료를 구성하였고 이를 이용한 장마 시작일을 분석하였다.

여름철 북서태평양 고기압의 확장에 따른 순환장 변화로 인한 풍향의 변화가 한반도에 영향을 미치기

전에 한반도 남서쪽에 위치한 이어도 종합해양과학기지에서 먼저 관측되어 몬순의 시작을 알리는 것을 확인하였으며, 이를 통해 몬순 시작 지수로써의 활용 가능성을 제시하였다. 특히 기상청의 몬순 시작 정의와 유사함을 확인하여 연구결과의 신뢰도를 높였으며 몬순 시작일의 비교 자료로 활용이 가능할 것이라고 기대된다.

이를 확인하기 위해 ECMWF 재분석 자료를 사용하여 장마 시작일 전과 후의 특징을 살펴보았다. 장마 시작일 전과 후에는 북위 35~40도에서 제트기류가 강한 모습을 보이며 북상하며 북서태평양 고기압 역시 북상하기 때문에 한반도 부근의 풍향이 남풍에서 남서풍으로 바뀌는 특징이 있는 것을 확인하였다. 상대습도와 기온이슬점 차에서도 역시 장마 전후의 차이가 한반도 부근과 남동쪽에서 유의하게 나타났다. 하층 상당온위의 연직적 차이는 한반도에서 뚜렷한 모습을 확인할 수 있기 때문에 장마 기간에 하층 불안정이 더욱 강화되었다는 것을 알 수 있었다. 이것은 이어도 관측 자료만으로도 장마 시작일을 충분히 잘 정의할 수 있다는 것을 뒷받침한다.

따라서 장마 기간 내 한반도에서 북태평양 고기압을 따라 변화하는 풍향을 바탕으로 지형적인 영향이 배제된 해상의 관측 자료를 이용하여 객관적으로 장마 시작일을 결정하는 것은 몬순 강우대에 의한 집중호우나 몬순 시기를 정확하게 정의하는 데 도움이 될 것이며, 동아시아 여름 몬순 시작의 지표 개발로 불확실성 감소에 기여할 것으로 기대된다. 이어도 종합해양과학기지에서 관측된 자료는 장마뿐만 아니라 한반도 남쪽에서 내습하는 태풍과 같은 악기상에도 중요한 정보를 제공해주고 있기 때문에 그 활용가치가 높아 지속적인 연구가 필요하며, 결측이 발생하지 않도록 지속적인 장비의 관리와 보수 등이 이루어져야 한다.

감사의 글

이 논문은 2014년 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(종합해양과학기지 구축 및 활용연구).

REFERENCES

- Ahn, J.-B., J.-H. Ryu, E.-H. Cho, and J.-Y. Park, 1997: A study of correlations between air-temperature and precipitation in Korea and SST over the tropical pacific. *Atmosphere*, **33**, 487-495.
- Chu, J.-E., S. N. Hameed, and K.-J. Ha, 2012: Non-linear, intraseasonal phases of the East Asian summer monsoon: Extraction and analysis using self-organizing maps. *J. Climate*, **25**, 6975-6988.
- De Rooy, W., and K. Kok, 2004: A combined physical-statistical approach for the downscaling of model wind speed. *Wea. Forecasting*, **19**, 485-495.
- Ha, K.-J., S.-K. Park, and K.-Y. Kim, 2003: Interannual variability in summer precipitation around the Korean Peninsula and its associated East Asian summer circulation. *Atmosphere*, **39**, 575-586.
- _____, K.-S. Yun, J.-G. Jhun, and C.-K. Park, 2005a: Definition of onset/retreat and intensity of Changma during the boreal summer monsoon season. *Atmosphere*, **41**, 927-942.
- _____, S.-K. Park, and K.-Y. Kim, 2005b: On interannual characteristics of climate prediction center merged analysis precipitation over the Korean peninsula during the summer monsoon season. *Int. J. Climatol.*, **25**, 99-116.
- _____, and S.-S. Lee, 2007: On the interannual variability of the Bonin high associated with the East Asian summer monsoon rain. *Clim. Dynam.*, **28**, 67-83.
- Kang, I.-S., 1998: Relationship between El-Nino and Korean climate variability. *Atmosphere*, **34**, 390-396.
- Korea Meteorological Administration, 2011: *white paper on Changma*. Korea Meteorological Administration. 36-42.
- Lee, S.-S., P. N. Vinayachandran, K.-J. Ha, and J.-G. Jhun, 2010: Shift of peak in summer monsoon rainfall over Korea and its association with ENSO. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **115**, D02111, doi:10.1029/2009JD011717.
- _____, Y.-W. Seo, K.-J. Ha, and J.-G. Jhun, 2013: Impact of the western North Pacific subtropical high on the East Asian monsoon precipitation and the Indian Ocean precipitation in the boreal summertime. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **49**, 171-182, doi:10.1007/s13143-013-0017-y.
- Lim, J.-S., and S.-U. Park, 1991: The Moisture Transport and Budget over Korea during the 1988 Changma Period. *Atmosphere*, **27**, 221-240.
- Oh, H.-M., and K.-J. Ha, 2005: Analysis of marine meteorological characteristics at Ieodo Ocean Research Station from 2003 to 2004. *Atmosphere*, **41**, 671-680.
- _____, _____, J.-S. Shim, Y.-K. Hyun, and K.-S. Yun, 2007: Seasonal characteristics of turbulent fluxes observed at Ieodo Ocean Research Station. *Atmosphere*, **17**, 421-433.
- _____, _____, K.-Y. Heo, K.-E. Kim, S.-J. Park, J.-S. Shim, and L. Mahrt, 2010: On drag coefficient parameterization with post processed direct fluxes

- measurements over the ocean. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **46**, 513-523, doi:10.1007/s13143-010-0030-3.
- _____, K.-E. Kim, K.-J. Ha, L. Mahrt, and J.-S. Shim, 2011: Quality control and tilt correction effects on the turbulent fluxes observed at an ocean platform. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **50**, 700-712, doi:10.1175/2010JAMC2367.1.
- Seo, K.-H., J.-H. Son, and J.-Y. Lee, 2011: A new look at Changma. *Atmosphere*, **21**, 109-121.
- Son, J.-H., and K.-H. Seo, 2012: Dominant modes of the East Asian summer monsoon using equivalent potential temperature. *Atmosphere*, **22**, 483-488.
- Stull, R. B., 1988: *An introduction to boundary layer meteorology*. Kluwer academic publishers, 377-386 pp.
- Yun, K.-S., K.-H. Seo, and K.-J. Ha, 2008: Relationship between ENSO and northward propagating intraseasonal oscillation in the East Asian summer monsoon system. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **113**, D14120, doi:10.1029/2008JD009901.
- _____, B. Ren, K.-J. Ha, J. C.L. Chan, and J.-G. Jhun, 2009: The 30~60 day oscillation in the East Asian summer monsoon and its time-dependent association with the ENSO. *Tellus*, **61A**, 565-578.