중관 및 대규모 순환과 관련된 우리나라 여름철 극한강수 특성 연구

문자연¹ · 최영은² · 김유진² · 김민기²

¹하와이대학교 국제태평양연구소, ²건국대학교 지리학과

(2015년 11월 24일 접수, 2015년 12월 30일 수정, 2015년 12월 30일 게재 확정)

A Study on the Characteristics of Summer Extreme Rainfall over South Korea in Association with Synoptic and Large-scale Circulation Anomalies

Ja-Yeon Moon¹ · Youngeun Choi² · Yujin Kim² · Mingi Kim²

¹International Pacific Research Center, University of Hawaii, ²Department of Geography, Konkuk University

(Received 24 November 2015, Revised 30 December 2015, Accepted 30 December 2015)

Abstract : In this study, we analyzed the characteristics of summer extreme rainfall over South Korea and their relationships with the synoptic and large-scale circulation anomalies during 1979-2014. Heavy rainfall (R90p) is related with the strong convection surrounded by dry zone over Korean peninsula and the moist air delivered from the convection area over Bay of Bengal-South China Sea-Philippine Sea. The upper-level anticyclonic flow with the low-level dipole of anticyclonic circulation in the Southeast and cyclonic circulation to the northwest of Korean peninsula are the main characteristics when the extreme rainfall occurs. The barotropic Rossby wave developed over the Korean peninsula transfers its energy farther downstream to the western coast of North America. It is also found that the dominant low-frequency oscillation over the tropics (intraseasonal oscillation) play an important background role for the enhancement of extreme rainfall over South Korea.

Key Words : extreme rainfall, intraseasonal oscillation, heavy rainfall

주요어 : 극한강수, 계절안 진동, 호우

1. 서론

홍수, 가뭄, 산불, 토네이도, 태풍, 열파, 한파 등의 이상 기상 및 기후 현상은 이로부터 발생하는 수많은 인명과 재산 피해로 인해 최근 수년간 관심이 증가하고 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) 5차 평가보고서(IPCC, 2013)

에 따르면 1950년 이후로 이상기상 및 기후 현상이 전 세계적으로 증가하는 추세이며 특히 열파 및 호우 현상이 더 자주 발생하고 있다고 한다. 이는 단순한 자연적인 변동에 의한 영향도 있고 기후변화 및 자연 변동이 복합되어 결과적으로 발생하는 경우도 있어, 이들의 강도 및 영향력이 기후변화 또는 기후변동에 의해 어느 정도 설명이 되는지 파악

하기에는 부족한 점들이 많다(Stocker *et al.*, 2014).

우리나라의 여름철 강수 현상은 기온의 증가와 함께 강수량, 강수 강도, 강수 빈도 등의 경향이 과거에 비해 변하며 극한강수로 기록되는 경우가 늘어나고 있는 추세이며(Choi, 2004), 이에 관한 국내 연구 또한 최근 들어 많이 수행되고 있다(Choi *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2009; Jung *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2013; Kim and Choi, 2013; Kim *et al.*, 2013; Heo *et al.*, 2014). Choi *et al.*(2011)에 의하면 우리나라의 극한강수 현상에서 호우는 증가된 반면 미우는 감소하였으며 연강수량 중 호우의 기여 비율은 증가된 반면 미우는 감소하는 경향을 보였다. 1990년대 이후 호우는 규모와 빈도 면에서 더 큰 증가 경향이 나타났으며 지역적 특성을 보이지만 우리나라 모든 지역에서 증가하는 경향을 보였다(Choi *et al.*, 2013). 40mm 이상의 극한 강수일이 증가하면서 여름철 강수패턴의 변화가 발생하게 되었고 공간적으로 특히 태백산맥 주변 지역을 중심으로 그러한 변화가 뚜렷하게 보였다는 연구도 있다(Choi *et al.*, 2008). 한편, 호우로 인한 피해는 7월에 가장 높으며 1990년 이전 7월과 9월에 집중되던 것이 이후 7월과 8월로 이동하는 경향으로 나타났다(Heo *et al.*, 2014).

우리나라를 포함하는 동아시아 여름몬순의 경우도 최근 호우가 증가하는 경향을 보이며(Liu *et al.*, 2012), 한국, 중국, 일본에서 매년 여름 호우로 인한 피해가 속출하고 있다(Moon *et al.*, 2014). 2009년은 아시아 지역의 곳곳에 기록적인 폭우가 발생한 해였고 2010년 아시아에서는 파키스탄 홍수라는 4일간 내린 폭우에 의해 1929년 이래 최악의 집중호우가 발생하였고 2011년은 6월부터 7월까지 연속적인 많은 비와 폭우로 중국 및 우리나라에 많은 양의 강수가 기록되었다.

날씨 및 기상과 기후를 연결시켜 주는 중간자 적

인 역할을 하는 20~70일 규모의 계절안 진동은 전 세계 곳곳의 강수 발생에 많은 영향을 미치며 최근에는 극한강수 현상과도 관련이 있음이 밝혀지고 있다(Zhang, 2013; Hsu *et al.*, 2015). Hsu *et al.*(2015)은 여름철(5~8월) 계절안 진동의 첫 번째 지수의 위상이 2~4, 두 번째 지수의 위상이 5~7일 때 계절안 진동이 없을 경우에 비해 중국 남부지역의 75 퍼센타일(90 퍼센타일) 극한 강수의 30~50%(60%)가 증가함을 보였다. 그리고 과거 30년간 기록적인 홍수가 모두 계절안 진동이 강할 때 발생하였음을 제시하였다.

본 연구에서는 1979년부터 2014년까지의 장기간 관측 자료를 통해 우리나라 여름철 극한강수의 특성 및 종관규모와 대규모 순환과의 관련성을 분석하고자 한다. 극한강수 현상의 발생 및 증가 경향에 관한 이전 연구들은 많지만 대규모 순환과의 연관성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 여름철 극한강수 현상은 중규모 이내 규모로 주로 발생하지만, 최근에는 이러한 시간/공간적으로 작은 규모의 현상이 대규모의 기후변동에 의해 조절되며 증폭되는 부분이 기후예측의 측면에서 아주 중요하다고 부각되면서(Zhang, 2013), 이와 관련한 연구들이 수행되고 있다. 이 연구에서는 극한강수 현상을 유발할 수 있는 주변 종관장 및 대규모 원격 순환장의 특성에 초점을 맞추어 기후적인 관점에서 우리나라의 극한강수 현상의 특징 및 발생 메커니즘을 살펴보고자 한다. 먼저, 우리나라에 발생하는 극한강수 현상 중 몇 개의 사례를 선택하여 이를 중심으로 특징을 분석하고 극한강수의 호우 범위에 따라 합성장을 구해 발생 시의 주변 종관장의 특성을 알아보고자 한다. 극한강수 현상이 종관적인 발생 뿐 아니라 원격적인 영향에 의한 것임을 알아보기 위해 대규모적인 기후변동인 적도의 계절안 진동의 영향을 마지막으로 살펴보았다.

2. 자료 및 연구 방법

사용된 관측 자료는 1979년부터 2014년까지 한반도 45개 기상관측소의 6, 7, 8월 일강수량과 전구 영역 2.5° 간격의 NCEP/NCAR(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 재분석 일평균 200hPa, 850hPa 바람장과 고도장을 사용하였다(Kalnay *et al.*, 1996). 1979년부터 2013년까지의 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) OLR(Outgoing Longwave Radiation)을 이용하여 전구 분포의 대류활동을 분석하였다. 적도 계절안 진동의 영향을 살펴보기 위해 계절안 주기는 20~70일로 정의하였으며 일 자료를 이용하여 Lanczos band pass filter를 적용하여 분리하였다(Duchon, 1979). 계절안 진동의 지수는 여름철 가장 활발한 몬순 영역인 인도, 북서태평양 지역에 대해 850hPa 동서바람을 이용한 몬순 지수를 이용하였다(Moon *et al.*, 2013).

3. 지상관측 및 재분석 자료를 이용한 우리나라 여름철 극한강수 특징

우리나라 극한강수 현상이 발생할 때의 주변 중관장의 특징을 살펴보기 위해 1981년부터 2010년까지 여름철(6~8월) 과거 30년의 기후값을 이용해 R80p(80% 이상), R85p(85% 이상), R90p(90% 이상), R95p(95% 이상)의 구간별 극한강수(호우)를 정의하였다. Figure 1은 각 구간별 1979년부터 2014년까지 발생한 극한강수 일수를 연도별로 나타낸 것이다. R80p는 5~22일, R85p는 3~16일, R90p는 2~12일, R95p는 0~7일의 범위로 각각 발생하였다. R80p 기준으로 1998년 및 2003년이 22일로 가장 많이 발생하였고 1994년 및 2014년이 5일로 가장 적게 발생하였다. R85p 기준으로 1987년이 16일로 가장 많게, 2014년이 3일로 가장 적게 발생하였고 R90p 기준은 R85p와 마찬가지로 1987년에 12일, 2014년에 2일로 극값이 나타났다. R95p 기준으로는 2011년이 7일로 가장 많았고 2014년이 0일로 하루도 발생하지 않았다. 1997년을 기점으로 그 이전에는 극한강수 일수의 변동이 구간별로 유사한 경향을 보이며 증가 및 감소하는 것을 볼 수 있으나 그 이후에는 극값이 나타나는

Figure 1. Extreme rainfall days of R80p, R85p, R90p, and R95p during 1979-2014 summer (JUN-AUG) over South Korea.

해들이 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 즉, 극한 강수의 구간별 변동 특성이 1990년대 중반을 기점으로 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 1998년을 전후로 여름철 평균강수량의 레짐 이동(Moon *et al.*, 2011)과도 관련이 있을 것으로 보여 향후 추가연구가 필요하다.

Figure 1의 극한강수 발생일 분포에서 R80p에서 20일 이상이 나타나며, R90p의 경우에는 10일 이상이 나타나는 세 개의 해(1987, 2003, 2011년)를 선택하여 각 해별 여름철 내의 극한강수 발생 시 특성을 살펴보았다. Figure 2는 1987, 2003, 2011년

에 발생한 극한강수일 중에서 태풍이 발생했던 날(좌)과 하지 않은 날(우)에 대하여 각각 OLR, 상층(200hPa) 고도장, 하층(850hPa) 바람장으로 나타낸 것이다. 수평장은 1~3일에 대한 평균 분포로 단기적인 극한강수 현상이 나타난 날이기 때문에 각 일별 순환장의 분포에는 차이가 있다. 하지만 공통적인 점은 10~20°N 위도 밴드에서 발생하는 대류활동이 모든 경우에 존재하는 것이다. 좌측의 태풍이 없는 경우를 먼저 살펴보면, 1987년은 아라비아 해 및 벵갈만에 강한 대류 구역이 있고 이로부터 저기압성 순환에 의해 습윤 기류가 우리나라 쪽으로 남

Figure 2. Composite of OLR (W/m², shading), 200hPa geopotential height (m, contour), 850hPa wind (m/s, vector) in 1987 (upper), 2003 (middle), 2011 (bottom) without typhoon (left) and with typhoon (right) during R90p extreme rainfall days. Negative values of OLR indicate active convection.

서기류 형태로 유입된다. 2003년은 벵갈만, 남중국 해 및 필리핀 해에서 강하게 발생하며 남풍 형태로 유입된다. 2011년에는 남중국해 및 필리핀 해 그리고 동쪽까지 확장되어 대류구역이 나타나며 남동풍의 형태로 습윤 기류가 유입되는 것을 볼 수 있다. 이와 함께 우리나라의 동/남동쪽에 상하층에는 고기압성 순환이 위치하여 남쪽에서 유입되는 습윤 기류가 우리나라로 유입되는 환경을 제공하고 있다.

태풍이 있는 경우는(우측), 남쪽에서 우리나라로 향하는 가늘게 이어지는 대류구역과 저기압성 순환이 태풍의 이동경로로 보이며 모든 해에서 공통적으로 필리핀에서부터 북쪽으로 이어지는 형태로 나타난다. 태풍이 없는 경우와 마찬가지로 태풍이 있을 때에도 10~20°N 위도 밴드에서 발생하는 대류활동이 나타나며 우리나라 남동쪽에 상하층 고기압성 순환이 위치하는 것을 알 수 있다. 다른 점은 우리나라 서쪽에 건조구역과 하층 고기압성 순환이 나타나는데 우리나라를 중심으로 서쪽과 동쪽에 위치한 고기압성 순환으로 인해 태풍이 우리나라로 향하는 좁은 경로를 만들고 저기압성 순환이 강화되는 것으로 보인다.

우리나라의 여름철 강수량은 해마다 2~3개의 직접적인 태풍에 의한 영향을 받으며 각 현상별로 다르지만 태풍에 의해 기록적인 강수량을 갱신하는 경우가 자주 발생한다. 따라서 태풍이 우리나라에 직접적인 영향을 줄 경우 우리나라의 여름철 강수량에 과연 어떠한 영향을 주는지, 그리고 극한강수 발생과는 어느 정도 관련이 있는지를 알아보기 위해 Figure 3과 Table 1을 통해 그 상관성을 구하였다.

Figure 3은 태풍이 적도에서 발생하여 비상구역(28°N 북쪽, 132°E 서쪽)에 진입하고 태풍 특보가 발표되었을 경우로 우리나라에 태풍의 영향을 받게 되는 경우로서 각 해별로 나타난 태풍의 수를

시계열로 나타낸 것이며(KMA, 2015), 이와 함께 여름철 평균(6~8월) 강수량의 시계열을 함께 제시하였다.

우리나라에 영향을 준 태풍이 가장 많이 발생한 해는 2004년으로 총 5개의 태풍이 영향을 미쳤으며 1981, 1985, 1994, 2000, 2002, 2012년에 4개의 태풍이 각각 발생하였다. 1983년과 1998년, 그리고 2009년은 태풍의 영향이 한번도 없었던 해로 기록된다. 여름철 평균 강수량의 경우 1987년과 2011년이 가장 많은 해로, 1994년과 2014년이 가장 적은 해로 태풍의 발생이 많거나 적은 것과는 무관한 경향을 보이는 것을 알 수 있다(상관 계수 0.16).

여름철 극한강수 발생일수와 우리나라에 영향을 주는 태풍의 수 및 여름철 평균 강수량과의 상관 계수를 극한강수 구간별로 각각 상관계수를 구하여 Table 1에 제시하였다. 여름철 평균 강수량과 극한강수 발생일수와의 관련성을 보면 R80p의 경우 0.9의 아주 높은 상관을 보이는 것을 알 수 있다. 즉, 평균 강수량이 많다는 것은 극한강수가 많이 발생하였다는 것을 의미하는 것으로 간주할 수 있으며, 극한 현상의 경우도 평균 상태에 비례하여 나타나게 됨을 알 수 있다. R80p에서 R95p로 갈수록 상관 계수가 낮아지긴 하지만 R80p에서도 0.69로 여전히 높은 상관의 유의한 결과를 보여준다.

태풍의 경우 R80p와 R85p의 경우는 관련이 거의 없는 것으로 보이며 R90p 및 R95p에서는 유의한 결과를 나타내었고 특히 R90p에서 0.34로 가장 높은 값이 나타났다. 여름철 극한 강수는 우리나라에 영향을 준 태풍의 수와 부분적으로 관련이 있음을 알 수 있다.

Table 1에서 제시한 결과를 바탕으로 극한강수 발생 시 메커니즘을 분석하기 위해 전구적인 관련 순환장의 모습을 극한강수 R90p 발생 시 OLR, 하층 바람장 및 상하층 고도장의 합성도를 통해 살펴보고자 한다(Figure 4).

Figure 3. Time series of the number of typhoons which affected South Korea (upper) and summer (JUN-AUG) mean precipitation averaged over 45 stations in South Korea (bottom).

Table 1. Correlation between extreme rainfall days of R80p, R85p, R90p, R95p and (middle) number of typhoons which affected South Korea, and (bottom) summer mean precipitation, respectively.

Correlation Coefficient	R80p occurrence days	R85p	R90p	R95p	Bold: Significant at 95% confidence level
Typhoon affecting South Korea rainfall(Jun~Aug)	0.07	0.19	0.34	0.26	
summer mean(Jun-Aug) precipitation	0.9	0.82	0.8	0.69

Figure 4. Composites of OLR (W/m^2 , shading), 850hPa geopotential height (m, thick contour), 200hPa geopotential height (m, thin contour), 850hPa wind (m/s, vector: statistically significant regions at 95% confidence level) when the extreme rainfall (mm/day, R90p) occurs in South Korea. Negative values of OLR indicate active convection.

음영으로 표시된 OLR의 경우 극한강수 발생 시 한반도 전체 및 주변 바다에 강한 대류구역(음의 값)이 존재하며 이것과 관련하여 적도부근의 벵갈 만-남중국해-필리핀 해로 이어지는 밴드형 대류 구역이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이와 관련한 상하층 순환장을 살펴보면 하층에는(굵은선) 한반도 남동쪽에 고기압성 순환이, 북서쪽에 저기압성 순환이 dipole 구조로 나타나며 상층에는(얇은선) 한반도 상공에 고기압성 순환이 나타난다. 그리고 풍하층 방향으로 상하층 순압구조를 이루며 wave-train 형태로 캐나다 서쪽해안까지 로스비파의 에너지 전파가 나타난다. 이는 우리나라의 극한강수이 지역적인 현상이지만 대규모 순환과도 관련되어 나타나고 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 우리나라에 발생하는 극한강수는 10~20°N 위도 밴드에 위치하는 대류에서 온난습윤한 공기가 우리나라 중심에 dipole 구조로 위치한 저기압 및 고기압성 순환의 사이로 유입되며 영향을 받는 것을 볼 수 있으며 이렇게 발생한 우리나라의 극한강수는 상하층 순환장을 따라 북태평양까지 에너지가 전파됨을 알 수 있다.

4. 우리나라 여름철 극한강수와 계절안 진동과의 관련성

이 절에서는 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 가장 지배적인 영향을 미치며 최근 들어 그 영향력이 강조되고 있는 계절안 진동이 우리나라 극한강수에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 20~70일로 분리된 하층 바람 자료를 이용해 여름철 몬순 활동이 가장 활발한 인도 및 북서태평양 지역의 몬순 지수를 각각 구하였다(Moon *et al.*, 2013). Figure 5는 인도 및 북서태평양 여름철 계절안 몬순 진동이 활발할 때, 우리나라 극한강수

R90p이 발생한 경우로 전구 대류활동, 하층 바람장 및 상층 순환장의 합성도를 나타낸 것이다.

인도 계절안 몬순이 활발할 경우, 우리나라 극한강수는 아라비아 해-인도-벵갈만-남중국해-필리핀 해로 이어지는 긴 밴드 형태의 대류 구역과 관련이 있다. 하층 바람벡터에서 나타나듯이 아라비아 해부터 동쪽으로 향하는 서풍과 중태평양에서 필리핀으로 향하는 동풍의 수렴이 필리핀 해 부근에서 발생하여 대류구역에 의한 저기압성 순환 가장자리 및 그 위쪽의 고기압성 순환을 따라 우리나라 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 상층 순환에서는 중국대륙서부터 우리나라와 일본 상공을 지나 북태평양까지 파동 형태의 순환아노말리가 이어지는 것을 볼 수 있다.

북서태평양 계절안 몬순이 활발할 경우는 아라비아 해-인도-벵갈만 지역의 대류활동이 약해지고 남중국해 및 필리핀 해를 포함하는 북서태평양 몬순구역에 대류 활동이 집중되어 나타난다. 하층 바람은 아라비아 해로부터 서풍이 북서태평양의 강한 대류역에 의한 저기압성 순환의 가장자리의 동풍과 함께 수렴되어 우리나라 쪽으로 남동풍의 형태로 강하게 유입되는 것을 볼 수 있다. 우리나라 및 일본에 하층고기압이 강화되며 상층 순환과 함께 순압 로스비파의 형태로 풍하층으로 북미 서안까지 이어진다. 인도 몬순의 경우 풍상측, 북서태평양 몬순의 경우 풍하측에서 더 강한 파동의 전파가 나타나는 것이 특징적이며 이는 대류구역의 위치에 따른 영향인 것으로 볼 수 있다.

Figure 5로부터, 두 구역의 계절안 진동이 활발할 경우 대류역의 중심의 차이와 상하층 순환의 차이가 나타나지만 공통적으로 발생하는 것은 우리나라를 중심으로 상층 고기압 및 하층 동서로 dipole 구조, 그리고 남쪽에서 유입되는 온난 습윤 기류이다. 이는 앞서 보여준 극한강수 발생 시의 합성장과 아주 유사한 특징으로 여름철 계절안 진동

이 강할 경우 우리나라 극한강수가 발생할 수 있는 조건을 더 강하게 만들어 줄 수 있음을 시사한다. 따라서 계절안 진동의 영향이 극한강수 발생에 큰 역할을 하는 것임을 짐작할 수 있다.

계절안 진동의 발생 및 강도에 따라 우리나라 극한강수 발생일이 영향을 받는지 알아보기 위해 계절안 진동이 두 지역(인도 및 북서태평양)에서 활발할 경우 진동의 강도에 따른 극한강수 발생일 분포를 Figure 6에 제시하였다. 계절안 진동 몬순 지수가 표준편차(Standard Deviation, SD) 0.1부터 1.0까지로 구분하여 계절안 진동이 아주 약할 경우부터 강할 경우까지 각 극한강수 구간별 일수를 비교해 보았다. 인도 및 북서태평양 모두 계절안 진동의 강도가 강해질수록 R80p부터 R95p까지 극한강수 발생일이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 북서태평양 계절안 몬순이 활발할 경우 우리나라 극한강수 발생일이 특히 더 많이 증가한다.

5. 결론

본 연구에서는 여름철 우리나라에 발생하는 극한강수에 관해 조사하고 사례를 중심으로 특징을 살펴보았으며 합성도를 통해 메커니즘을 분석하였다. 대규모적인 기후변동의 영향을 고려하기 위해 적도의 대표적인 계절안 진동과 우리나라 여름철 극한강수와의 관련성을 분석하였다.

우리나라 여름철 극한강수 발생 시 한반도 전체 및 주변 바다에 강한 대류구역이 존재하며 그 주변으로 건조구역이 나타난다. 이와 관련하여 적도부근에는 벵갈만-남중국해-필리핀 해로 이어지는 밴드형 대류구역이 발생하며 이로 인한 저기압성 순환에 의해 우리나라 남쪽으로부터 습윤기류가 유입된다. 한반도 남동쪽에 고기압성 순환이, 북서쪽에 저기압성 순환이 dipole 구조로 하층에 발생하며 상층에는 한반도 상공에 고기압성 순환이 나

Figure 5. Composites of OLR (W/m^2 , shading), 200hPa geopotential height (m, contour), 850hPa wind (m/s, vector: statistically significant regions at 95% confidence level) when the extreme rainfall (mm/day, R90p) occurs in South Korea during intraseasonal (a) Indian and (b) Western North Pacific summer monsoon prevailed. Negative values of OLR indicate active convection.

Figure 6. Extreme rainfall days (R80p ~ R95p) over South Korea when the intraseasonal Indian. (left) and Western Pacific (right) monsoon indices are over 0.1, 0.3, 0.5, and 1.0 of its standard deviation, respectively.

타나, 풍하층 방향으로 순압 로스비파를 통해 에너지의 전파가 캐나다 서쪽해안까지 이어진다.

여름철 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수는 여름철 평균 강수량과는 무관한 것으로 나타났으며 극한강수 발생일수와는 R90p와 R95p에서 0.3 이상의 유의한 상관관을 보여주었다.

적도 계절안 진동의 경우 활동의 강도가 강해질수록 우리나라 극한강수 발생일수에 증가 경향이 뚜렷하게 나타났으며 북서태평양 계절안 몬순이 인도 계절안 몬순에 비해 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

우리나라 극한강수 발생 시 나타나는 전구적인 계절안 규모의 순환장을 살펴본 결과, 인도 계절안 몬순이 활발할 경우, 아라비아 해-인도-벵갈 만-남중국해-필리핀 해로 이어지는 긴 밴드 형태의 대류 구역이 아라비아 해부터 동쪽으로 향하는 서풍과 중태평양에서 필리핀으로 향하는 동풍의 수렴에 의해 필리핀 해 부근에서 수렴되어 우리나라 쪽으로 습윤기류를 유입시켰다. 상층 순환은 우리나라 풍상층에서부터 북태평양까지 파동 형태로 발생하며 우리나라 상공에 고기압성 순환이 위치하였다.

북서태평양 계절안 몬순이 활발할 경우는 남중

국해 및 필리핀 해를 포함하는 북서태평양 몬순구역에 대류 활동이 집중되어 나타나며 하층 바람은 아라비아 해로부터 서풍 및 필리핀 해로의 동풍이 수렴되어 우리나라쪽으로 남동풍이 강하게 유입되었다. 상하층 순환은 풍하층에서부터 북미 서안까지 현저한 로스비파의 전파가 발생하였다.

사사

이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2012R1A1A2005137)이며 기상청 이상기후 대응을 위한 장기예보 서비스 체계 구축 사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- Choi, G., Kwon, W.-T., Boo, K.-O., and Cha, Y.-M., 2008, Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea, *J. of Korean Geographical Soc.*, 43(5), 681-700.
- Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M.,

- Fukuda, Y., Afzaal, M., Pianmana, T., Gomboluudev, P., Huong, P. T. T., Lias, N., Kwon, W. T., Boo, K. O., Cha, Y. M., and Zhouc, Y., 2009, Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007, *International Journal of Climatology*, 29, 1906-1925.
- Choi, Y., 2004, Trends on Temperature and Precipitation Extreme Events in Korea, *J. of Korean Geographycal Soc.*, 39(5), 711-721.
- Choi, Y., Kim, M., Kim, Y., and Park, C., 2011, Characteristics and changes of extreme precipitation events in the Republic of Korea, 1954-2010: Their magnitude, frequency, and percent to total precipitation, *Journal of Climate Research*, 6(1), 45-58 (in Korean).
- Choi, Y., Lee, H., and Kwon, J., 2013, Recent change on frequency-magnitude of summer extreme rainfall events over the Republic of Korea, *The Geographical J. of Korea*, 47(1), 83-97 (In Korean).
- Duchon, C. E., 1979, Lanczos filtering in one and two dimensions, *J. of Applied Meteorology*, 18(8), 1016-1022.
- Heo, I. H., Jeong, J. H., and Lee, S. H., 2014, Changes of disaster regions by heavy rainfall in South Korea, *Journal of Climate Research*, 9(2), 93-106 (in Korean).
- Hsu, P.-C., Lee, J.-Y., and Ha, K.-J., 2015, Influence of boreal summer intraseasonal oscillation on rainfall extremes in Southeast China. *Inter. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.4433.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Working group 1 contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jung, I. W., Bae, D. H., and Kim, G., 2010, Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea, *International Journal of Climatology*, 31(3), 359-370, DOI: 10.1002/joc.2068.
- Kalnay, E. and Co authors, 1996, The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *BAMS*, 77, 437-471.
- Kim, E. S., Lee, J. H., Park, M. J., and Chung, G. H., 2013, Analysis of the Disaster Environmental Change Considering Climate Change: 1. Analysis of Flood Elevation, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(4), 207-217 (in Korean).
- Kim, Y. and Choi, Y., 2013, Characteristics and Changes of Climate Extreme Events in Jeju-do, *Journal of Climate Research*, 5(3), 202-218 (in Korean).
- KMA, 2015: *Typhoon Research Report of 2014*, National Typhoon Center, Note, 175pp.
- Lee, S. H., Kim, E. K., and Heo, I. H., 2011, A Study on Variability of Extreme Precipitation By Basin in South Korea, *Journal of The Korean Association of Regional Geographers*, 17(5), 505-520 (In Korean).
- Liu, H. W., Zhou, T. J., Zhu, Y. X., and Lin, Y. H., 2012, The strengthening East Asia summer monsoon since the early 1990s, *Chinese Science Bulletin*, 57, 1553-1558.
- Moon, J. Y., Park, C., and Choi, Y., 2011, Changes in the Characteristics of Summer Rainfall Caused by the Regime Shift in the Republic of Korea, *J. of Korean Geographycal Soc.*, 46(3), 277-290 (In Korean).
- Moon, J. Y., Wang, B., Ha, K. J., and Lee, J. Y., 2013, Teleconnections associated with Northern Hemisphere summer monsoon intraseasonal oscillation, *Climate Dynamics*, 40(7), 2761-2774.
- Moon, J. Y., Kwon, Y.-A., Choi, Y., and Park, I.-H., 2014, A study on characteristics of summer rainfall over South Korea in recent 5 years, *Journal of Climate Research*, 9(4), 269-282 (In Korean).
- Stocker, T. F. and Coauthors, Eds., 2014, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 1535 pp.
- Zhang, C., 2013, Madden-Julian Oscillation-Bridging the gap between weather and climate. *BAMS*, 1849-1870.

책임편집: 이경미

영문교열: 최영은