경년별 한반도 영향 태풍 활동 및 태풍 동반 강우 특성 변화 분석

A Study on the Time-Periodic Characteristics of Changes in Typhoon Activities and Typhoon-Induced Rainfall over the Korean Peninsula

강현웅* · 손찬영** · 박진혁*** · 장수형**** · 김정민*****

Kang, Hyunwoong*, Son, Chanyoung**, Park, Jinhyeog***, Jang, Suhung****, and Kim, Jungmin*****

Abstract

This study classified the typhoons that hit the Korean Peninsula in the past depending on the period and wind velocity, and analyzed the features of typhoon activities (maximum wind speed, minimum central pressure, occurrence frequency, genesis position, recurving position, and passage frequency) and variability and tendency of rainfall arising from the typhoon. The results of the analysis showed that compared with the typhoons that formed during Period 1 (1977-1994), the typhoons that formed during Period 2 (1995-2012) had stronger maximum wind velocities and lower minimum central pressures. It was revealed that on average, the relatively strong typhoons (wind speed of more than 95 kt) formed further west in Period 2 compared with those in Period 1, and the recurving positions of the typhoons were further north in Period 2 compared with those in Period 1; accordingly, the more recent relatively strong typhoons more directly affected the Korean Peninsula. The results of the analysis showed that hourly maximum rainfall and total rainfall arising from the typhoon were more widespread over the Korean Peninsula in Period 2 than in Period 1; in particular, the gap was wider in the southern region than in any other regions. The findings are expected to be used later as the basic data in drawing up a plan to positively utilize typhoons, such as by securing water resources and minimizing the damage from typhoons.

Key words : Typhoon Activities, Typhoon-induced Rainfall, Korean Peninsula

요 지

본 연구에서는 한반도 영향 태풍을 기간별, 풍속별로 구분하여 태풍 활동 특성(최대풍속, 최소중심기압, 발생빈도, 발생지점, 전향점, 이동경로)과 태풍 동반 강우의 변동성 및 경향성 분석을 수행하였다. 분석결과, Period 2 (1995-2012년)에서 Period 1 (1977-1994년)에 비해 최대풍속은 크게 나타났으며, 최소중심기압은 낮게 나타났다. 비교적 강도가 강한 태풍(풍속 95 kt 이상)의 평균 발생지점이 Period 2에서 Period 1에 비해 서쪽으로 치우쳐 발생하였고, 태풍의 전향점의 위치는 Period 2에서 Period 1에 비해 북쪽으로 치우쳐 발생함에 따라 비교적 강한 강도의 태풍이 과거에 비해 한반도에 직접 영향을 미치는 것으로 나타났다. 시간 최대 및 총 태풍 동반 강우량의 분석결과, Period 2에서 Period 1에 비해 한반도 전역에서 크게 나타났으며, 특히, 남부지역에서 많은 차이가 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후, 수자원 확보와 같은 태풍의 긍정적인 활용 방안과 태풍으로 인한 피해저감을 위한 치수대책 수립을 위한 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 태풍활동, 태풍 동반 강우량, 한반도

*정회원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: kanghw1013@uos.ac.kr)

Member, Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, University of Seoul

**교신저자, 정회원, 한국수자원공사 한강권역본부 선임연구원(Tel: +82-2-2150-0323, Fax: +82-2-2150-0381, E-mail: cyson@kwater.or.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Hangang River Regional Division, K-water

***정회원, 한국수자원공사 K-water융합연구원 수석연구원(E-mail: park5103@kwater.or.kr)

Member, Head Researcher, K-water Convergence Institute, K-water

****정회원, 한국수자원공사 K-water융합연구원 책임연구원(E-mail: kwaterjang@kwater.or.kr)

Member, Principal Researcher, K-water Convergence Institute, K-water

*****정회원, 한국수자원공사 K-water융합연구원 위촉연구원(E-mail: kimjm82@kwater.or.kr)

Member, Researcher, K-water Convergence Institute, K-water

1. 서론

서태평양 해양에서 발생한 태풍은 전 지구적인 대기 대순환 및 위도에 따른 해수 온도차 등에 따라 제각기 다른 이동경로를 통해 동아시아 지역에 상륙한다. 이때 태풍은 일반적으로 강풍과 폭우를 동반해 육지에 상륙하기 때문에, 단시간에 수많은 인명 피해와 막대한 사회·경제적 피해를 가져다주는 부정적인 대기 현상으로만 여겨지고 있다. 하지만, 물 부족 지역에 수자원을 공급하여 가뭄을 해결시키거나, 저위도에 과잉 축적된 에너지를 고위도로 운반하여 에너지 균형을 유지시키며, 정체된 대기 또는 해수의 순환을 통해 정화작용을 발생시키는 등의 긍정적인 면 또한 함께 고려되어야 하는 특별한 대기 현상이다(Beyrend-Dur et al., 2013). 이에 태풍으로 인한 자연재난 피해는 최소화하고, 긍정적인 혜택을 활용하기 위해서 태풍 활동 특성과 태풍에 따른 호우 예측 및 경향성에 대한 정량적인 연구가 필요하다(Son et al., 2013). 과거 국내·외 많은 연구자와 관찰자들에 의해 태풍 활동 특성에 대한 연구가 진행되었음에도 불구하고, 태풍 활동 특성에 대한 객관적인 결과에 대해선 아직까지 논란이 되고 있는 실정이다.

Chan and Shi (1996)는 1994년 이후 서북태평양지역에서 발생하는 태풍의 발생빈도가 증가하고 있다고 밝혔으나, Ho et al. (2004)는 1970년대 중반 이후 동남아시아의 필리핀 지역과 황해 남쪽인 동중국해 지역으로 이동하는 태풍의 빈도가 감소하고 있다고 밝혔다. Knutson et al. (2010)은 7개의 기후예측모델을 이용해 태풍이 빈번하게 발생하는 서북태평양, 동태평양, 북인도양, 대서양의 총 5개 해역에 대한 미래 태풍 활동 특성을 전망한 결과, 7개의 기후예측모델 모두 서북태평양에서 발생하는 태풍의 강도가 증가할 것이라 전망했으며, 동태평양, 북인도양, 북반구에서는 다수의 기후예측모델이 태풍의 강도가 감소할 것이라 전망했다. Tu et al. (2011)은 대규모 대기 환경 분석을 통해 2000년대 이후 변화된 기후 특성에 따른 해수면 온도, 연직 바람 시어, 대류권 수증기 등이 과거 보다 강력한 태풍 강도를 가진 태풍을 발생시키는데 긍정적으로 작용하고 있으며, 발생 빈도가 증가 경향을 보이고 있음을 밝혔다. Emanuel (2013)은 CMIP5 기후모델을 통한 예측 분석 결과, 서북태평양 지역에서 발생하는 태풍의 발생빈도는 증가하며, 태풍의 최대풍속은 과거와 비교해 미미한 증가가 나타날 것이라 전망했다. Choi et al. (2015)는 태풍의 발생 빈도와 이동 빈도 분석을 통해 1999년 이후부터 태풍 최대강도가 고위도에서 나타날 가능성이 높다고 전망했으며, 이는 종관환경장의 변화 분석을 통해 동아시아 중위도 지역의 남동풍 아노말리의 영향 때문이라 밝혔다.

이처럼, 주요 태풍 발생 해역에서의 태풍 활동의 변동성과 경향성 분석 연구는 대부분 수행되었으나, 한반도에 상륙한 태풍 또는 직·간접적으로 영향을 미친 태풍에 대한 구체적

인 연구는 상대적으로 미진한 상태이다. 더불어, 한반도에서 복합적인 대기현상에 따른 강수 현상의 변동성 및 경향성 분석에 대한 연구는 꾸준히 진행되었으나, 태풍 동반 강수와 기단의 상호작용에 따른 장마전선 그리고 집중호우 등을 독립적으로 분리해 수행된 정량적인 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 Son et al. (2014)가 제시한 한반도 영향 태풍 및 태풍 동반 강수 추출방법을 적용해 한반도 영향 태풍 및 태풍 동반 강수를 추출하였고, 이를 Period 1 (1977-1994년)과 Period 2(1995-2012년)으로 분류하였다. 또한, 태풍 최대풍속을 기준으로 35-64 kt, 65-94 kt, 95 kt 이상 3단계로 구분하여 기간별 태풍의 활동(발생빈도, 발생지점, 최대풍속, 최소중심기압, 전향점, 경로) 및 태풍 동반 강수량(강우강도, 총량)의 변동성 및 경향성 분석을 수행하였다.

2. 분석자료 및 연구방법

본 연구에서는 한반도 영향 태풍의 활동 특성 변화 및 태풍 동반 강수량의 변동성 및 경향성을 분석하고자, 6시간 단위로 관측된 태풍자료를 태풍연구센터(TRC)와 일본기상청(JMA)에서 제공 받아 활용하였으며, 강우자료는 관측 기록 연수, 지역적인 위치 등을 고려해 기상청(KMA) 관할 60개 강우관측소를 결정하였다(Fig. 1). 1977년부터 제공되고 있는 태풍의 풍속자료에 따라, 본 연구의 분석기간은 1977년에서 2012년까지 총 36개년의 자료를 이용했으며, 전체 서북태평양 발생 태풍 중 한반도 영향 태풍을 추출하고자 6시간 태풍의 경로자료(중심위치, 강도)를 1시간 등간격으로 내삽하여 분석하였다. 한반도 영향 태풍 및 태풍 동반 강수량 추출 기법은 Son et al. (2014)이 제시한 기법을 동일하게 적용하였다. Son et al. (2014)은 한반도 태풍도메인(120°E-138°E, 32°N-40°N)을 적용했을 때 지역별 태풍 동반 강수량 추출의 어려움 및 원인별 발생 호우의 개별 분리의 어려움 등의 한계를 보완하기 위해

Fig. 1. The KMA 60 Weather Stations in Korean River Basin

강우관측소와 태풍 중심 간 거리 및 규모를 고려한 태풍 및 태풍 동반 강우량 추출방법을 제시하였다. 또한, 추출된 태풍 동반 강우량은 수직통합수분플럭스를 통해 검증하여 적용성을 평가한 바 있다.

추출된 태풍을 바탕으로 시기별 태풍의 활동 특성 변화를 파악하기 위해 1977-1994년(Period 1)과 1995-2012년(Period 2)로 구분하였으며, 이를 태풍 풍속을 기준으로 강도를 35-64 kt와 65-94 kt 그리고 95 kt 이상으로 3단계로 분류하여 구체적인 분석을 수행하였다. 여기서, 각각 태풍 최대풍속(Maximum wind speed), 태풍 최소중심기압(Minimum Central pressure), 태풍발생빈도(Genesis frequency), 태풍발생지점(Genesis position), 태풍 전향점(Recurving position) 그리고 태풍 동반 강우량(Tropical cyclone induced rainfall)을 추출하여 비교 및 평가를 실시하였다. 태풍 발생빈도에 대한 경향성분석을 위해 가산자료 분석에 주로 사용되는 Poisson 회귀분석을 사용하였으며, 발생빈도를 제외한 한반도 영향 태풍의 활동 특성 및 태풍 동반 강우량에 대한 경향성분석은 통계학적 검정법 중 비모수검정법(Non-parametric testing method)인 Mann-Kendall 검정을 사용하였다.

3. 분석결과

3.1 한반도 영향 태풍의 강도와 발생횟수의 변화

본 연구는 Son et al. (2014)이 제시한 한반도 영향 태풍 및 태풍 동반 강우 추출기법을 적용하여 전체기간(1977-2012년)에서 총 189개 태풍을 추출하였으며, 추출한 한반도 영향 태풍을 대상으로 태풍의 활동 특성을 분석하고자 태풍의 최대풍속, 최소중심기압, 발생빈도, 발생위치 그리고 전향점 위치를 분석하였다.

Fig 2는 한반도 영향 태풍을 대상으로 태풍 강도인 최대풍속, 최소중심기압의 변화 추이를 선형 추세선으로 도시한 결과이다. 최대풍속 분석결과, Period 2의 최대 풍속(평균: 76.0 m/s)이

Period 1의 최대풍속(평균: 73.9 m/s)에 비해 강하게 나타났으며, 양의 경향성을 보였으나 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의한 결과를 보이진 않았다(Fig. 2(a)). 최소중심기압 분석결과, Period 2의 최소중심기압(평균: 953.4 hPa)이 Period 1의 최소중심기압(평균: 956.0 hPa)에 비해 낮게 나타났으며, 음의 경향성을 보였으나 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의한 결과를 보이진 않았다(Fig. 2(b)). 이처럼, 한반도 영향 태풍 강도의 변화는 한반도 근접 또는 내습시 태풍에 의한 재해 발생 가능성의 변화를 의미한다고 할 수 있으므로, 보다 효율적인 치수적인 대책 수립을 위해서는 태풍 강도 변화와 함께 태풍 활동 특성 변화에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 태풍 풍속을 기준으로 한반도 영향 태풍을 35-64 kt와 65-94 kt 그리고 95kt 이상으로 구분하여 각각의 태풍발생빈도, 발생지점, 전향점 등을 분석하였다.

Fig 3은 한반도 영향 태풍의 발생횟수를 나타낸 결과이다. 앞서 추출된 한반도 영향 태풍 총 189개 중에 Period 1에서는 95개가 Period 2에서는 94개의 태풍이 발생해 시기별로는 큰 차이가 없었다. 하지만, 풍속 35-64 kt 태풍의 경우 Period 1에서 36개 그리고 Period 2에서 25개로 감소한 반면, 풍속 64 kt 이상의 태풍의 경우 Period 1에서 59개 Period 2에서 69개로 증가한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3(a)). 월별 발생횟수 분석 결과, Period 1은 7-8월(71.6%)에 태풍발생이 집중된 반면, Period 2에서는 월별 큰 차이는 없었으나 8-9월(59.6%)에 비교적 많은 태풍이 발생한 것으로 분석되었다(Fig. 3(b)). 또한, 경향성 분석결과 35-64 kt와 65-94 kt 풍속의 태풍 발생횟수는 감소경향을 보였으며, 95 kt 이상 풍속의 태풍 발생횟수는 증가 경향을 보였다. 비록 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의한 결과를 나타내지는 않았으나, 상대적으로 약한 강도의 태풍 발생횟수가 감소하고 강한 강도의 태풍 발생횟수가 증가하고 있는 것으로 보아 한반도 영향 태풍의 한반도 근접 또는 내습시 피해 규모 또한 증가할 것으로 판단된다.

Fig. 2. Result of the Change in Typhoons Intensity

Fig. 3. Result of the Change in Typhoons Frequency

3.2 한반도 영향 태풍의 생성 및 전향점 위치 특성 변화

추출된 한반도 영향 태풍을 대상으로 시기별 및 강도별 태풍 발생지점과 전향점의 변화를 분석하였다. Fig. 4는 시기별 및 태풍 강도별 태풍 발생지점을 나타낸 것으로, 상단과 우측의 violin plot은 태풍발생지점의 위도, 경도와

대비하여 나타내었다. 일반적으로 태풍 활동의 주요에너지는 따뜻한 해수면에서 공급되는 수증기로 알려져 있고, 해수면의 온도가 높고 해수면에서 오래 지속될수록 태풍의 강도는 강해진다. 따라서, 태풍의 강도를 예측하기 위해 태풍 발생지점은 매우 중요한 의미를 갖는다(Emanuel, 2007).

Fig. 4. Seasonal Mean Genesis Position of Typhoons Affecting the Korean Peninsula (June-September)

전체적으로 태풍의 강도가 강할수록 태풍의 평균발생지점이 한반도를 기준으로 동남쪽에 치우쳐 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 풍속 35-64kt 태풍의 경우, 평균발생지점인 19.4N(위도), 132.3E(경도)에 비해 Period 1의 평균발생지점은 동북쪽(19.7N, 133.4E)에 Period 2의 평균발생지점은 서남쪽(18.9N, 130.7E)에 치우쳐 발생하고 있으며, Period 2의 발생 태풍이 Period 1의 발생 태풍과 비해 위도의 변동폭이 작게, 경도의 변동폭이 크게 나타났다. 풍속 65-94kt 태풍의 경우, 평균발생지점인 16.1N, 138.3E에 비해 Period 1의 평균발생지점은 동남쪽(15.8N, 139.3E)으로 Period 2의 평균발생지점은 서북쪽(16.5N, 137.5E)에 치우쳐 발생하고 있으며, Period 2의 발생 태풍이 Period 1의 발생 태풍에 비해 위도의 변동폭이 작게, 경도의 변동폭이 크게 나타났다. 그리고, 풍속 95kt 이상 태풍의 경우, 평균발생지점인 11.7N, 148.7E에 비해 Period 1의 평균발생지점은 동북쪽(11.9N, 149.0E)으로 Period 2의 평균발생지점은 서남쪽(11.6N, 148.4E)에 치우쳐 발생하고 있으며, Period 2의 발생 태풍이 Period 1의 발생 태풍에 비해 위도와 경도의 변동폭이 모두 크게 나타났다. 또한, Period 2의 태풍들이 Period 1의 태풍에 비해 상대적으로 평균발생지점이 서쪽으로 치우쳐 발생하

고 있음에 따라, 향후 동아시아지역의 내륙으로 내습할 가능성이 클 것으로 판단된다.

태풍의 진로를 결정하는데 있어 태풍의 전향점은 매우 중요한 정보이므로 태풍의 전향점에 대한 정확한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 Choi et al. (2010)이 제시한 태풍 전향점의 기준에 따라 한반도 영향 태풍의 전향점을 추출하여, 전향점 변화 및 경향분석을 실시하였다. 태풍이 발생하고 최초 이동경로를 따라 이동하다가 진행 방향을 변경하는 지점을 전향점이라 할 때, 분석결과 한반도 영향 태풍 189개 중 144개의 태풍이 전향점을 가지는 것으로 나타났다. 또한, 대기에서 북태평양 고기압의 확장 상태는 태풍의 전향점 및 이동경로와 상관성이 있으므로, 두 기간별 북태평양 고기압의 확장 상태를 함께 도시하였다. 여기서, 태풍은 일반적으로 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 이동하므로 북태평양 고기압을 표준고도 5880 gpm 이상인 영역으로 선정하였다(Fig. 5).

풍속 35-64kt 태풍의 경우, Period 2에서 평균 태풍 전향점은 29.2N(위도), 125.5E(경도)으로 Period 1의 평균 태풍 전향점인 26.8N, 124.3E보다 북동쪽에 치우쳐 나타났으며, 전향점의 위도의 경우에는 유의수준 5% 이내에서 통계적으

Fig. 5. Seasonal Mean Recurring Position of Typhoons Affecting the Korean Peninsula (June-September). The Contours Means 5880 gpm Averaged for P1 (dashed green line) and P2 (solid red line)

로 유의한 증가경향을 나타냈다. 풍속 65-94kt 태풍의 경우, Period 2에서 평균 태풍 전향점은 27.3N, 124.4E으로 Period 1의 평균 태풍 전향점인 27.4N, 123.2E보다 동쪽에 치우쳐 나타났다. 풍속 95kt 태풍의 경우, Period 2에서 평균 태풍 전향점은 27.6N, 125.5E으로 Period 1의 평균 태풍 전향점인 26.4N, 125.8E보다 북서쪽에 치우쳐 나타났으며, 통계적으로 유의하지는 않지만 위도는 증가경향을 나타냈으며, 경도는 감소경향을 나타냈다. 북태평양 고기압 위치는 기간별 서쪽확장의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았으나, Period 1의 북태평양 고기압의 위치해 비해 Period 2의 북태평양 고기압의 위치가 북쪽과 남쪽으로 더 넓게 확장되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig 6은 한반도 영향 태풍 이동경로 분석 결과를 기간별로 비교하여 나타낸 것이다. 풍속 35-64kt 태풍의 경우, Period 1의 태풍이 Period 2의 태풍에 비해 한반도와 일본 열도로 더 많이 이동하며, Period 2의 태풍은 대부분이 일본 열도의 남부해역으로 이동한 것으로 분석되었다. 풍속 65-94 kt 태풍의 경우, Period 2의 태풍이 Period 1에 비해 한반도 및 일본 열도로 더 많이 이동하며, 그 중 대부분이 일본 열도에 직접적인 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

풍속 95 kt 태풍의 경우, Period 2의 태풍이 Period 1에 비해 한반도 및 일본 열도로 더 많이 이동하며, 특히 그 중 대부분이 한반도에 직접적인 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3 한반도 영향 태풍의 태풍 동반 강우특성 변화

한반도 영향 태풍의 태풍 동반 강우의 특성 변화 분석을 위해 우선, 분석 기간 동안의 동아시아 지역에서의 전반적인 여름철 강우량 변화를 파악해 보았다. Fig 7은 미국해양대기청 (NOAA)의 Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) 자료를 활용해 한반도를 비롯한 동아시아 지역에서의 여름철 강우량 변화를 나타낸 것이다. Period 1의 경우, 중국의 화이하 유역, 양쯔강 유역, 주장 유역의 동남부지역 그리고 한반도에서 여름철 강우량이 평년대비 감소하는 것으로 나타났으며, 중국의 요하유역, 흑룡강 유역, 해하 유역의 북부지역과 일본의 규슈, 주코쿠, 간사이 그리고 오키나와의 남부지역에서 여름철 강우량이 평년대비 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Period 2는 여름철 강우량의 변화 양상이 Period 1과 비교해 반대 성향을 보이고 있어, 한반도를 비롯한 동아시아 지역에서 기상시스템의 변화가 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 6. Difference in Typhoons Passage Frequency (P2-P1)

Fig. 7. GPCC Composite Anomalies Between Two Period of 1977-94 and 1995-2012

한반도 영향 태풍을 대상으로 태풍 동반 강우량의 변화를 분석하고자 태풍 동반 강우량의 총량 및 시간 최대 태풍 동반 강우량을 산정하였으며, 연구 대상 기간 동안의 차이(P2-P1)를 Fig. 8과 같이 도시하였다. 앞선 한반도에서의 기간별 여름철 강우량 분석결과와 마찬가지로 Period 2의 태풍 동반 강우량이 Period 1의 태풍 동반 강우량에 비해 한반도 전역에서 많이 발생된 것으로 분석되었다. 특히, 시간 최대 태풍 동반 강우량의 경우, 금강 유역과 낙동강 유역의 서부지역에서 상대적으로 큰 차이(남해지점, 최대 5.23mm)를 보였으며, 총 태풍 동반 강우량은 동해안 지역, 낙동강 유역의 서부지역 그리고 제주 지역에서 큰 차이(강릉지점, 최대 65.1mm)를 보이는 것으로 분석되었다. 태풍 동반 강우량 및 시간 최대 태풍 동반 강우량의 경향성 분석 결과, 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았지만 증가경향을 나타냈다.

4. 결 론

본 연구에서는 Son et al. (2014)에서 제시한 태풍 및 태풍 동반 강우 추출방법을 적용하여, 한반도 영향 태풍 및 태풍 동반 강우를 추출하였고, 추출된 한반도 영향 태풍을 기간별, 풍속별로 분리해 태풍 활동 특성의 변화 및 태풍 동반 강우의 변동성 및 경향성 분석을 수행하였다. 본 연구의 주요결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 태풍의 강도 분석결과, Period 2(1995-2012년)의 최대 풍속(평균: 76.0 m/s)이 Period 1(1977-1994년)의 최대

풍속(평균: 73.9 m/s)에 비해 강하게 나타났으며, 최소 중심기압 역시 Period 2(평균: 953.4 hPa)가 Period 1(평균: 956.0 hPa)에 비해 낮게 나타났다. 최대 풍속과 최소중심기압의 경향성 분석결과, 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의하지는 않았지만 최대 풍속은 양의 경향성을 최소중심기압은 음의 경향성을 보였다.

- (2) 태풍의 발생빈도 분석결과, 추출된 한반도 영향 태풍 전체(189개) 중 Period 1은 95개, Period 2는 94개로 큰 차이를 보이지 않았으나, 비교적 강도가 약한 태풍(풍속 35-64 kt)은 Period 1의 36개에 비해 Period 2에서 25개로 감소한 반면, 강도가 강한 태풍(풍속 65-94 kt, 95 kt 이상)은 Period 1(37개, 22개)에 비해 Period 2(43개, 26개)에서 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 태풍의 발생지점과 전향점의 위치 분석결과, Period 1의 태풍과 비교해 Period 2의 태풍의 평균 발생지점이 서쪽으로 치우쳐 발생하고 있었으며, 전향점의 위치는 Period 1의 태풍과 비교해 Period 2의 태풍이 북쪽에 위치함에 따라, 태풍이 한반도에 직접 상륙하는 빈도가 과거에 비해 증가한 것으로 분석되었다. 또한, 태풍의 이동경로 분석결과에서도 95kt 이상의 비교적 강한 강도의 태풍이 과거에 비해 한반도에 상륙한 빈도가 많은 것을 확인할 수 있었다.
- (4) 여름철 한반도 영향 태풍의 태풍 동반 강우량 분석결과, 시간 최대 태풍 동반 강우량의 경우 금강 유역과 낙동강 유역의 서부지역에서 상대적으로 큰 차이를 보였으며, 총 태풍 동반 강우량의 경우 동해안 지역, 낙동강 유역의 서부지역 그리고 제주 지역에서 큰 차이를 보였다.

Fig. 8. Difference in Typhoons-induced Summer (June-September) Precipitation (P2-P1)

본 연구의 결과는 향후, 한반도에 영향을 주는 태풍과 관련해 수자원 확보 및 수질 개선 등과 같은 긍정적인 면의 활용 방안 및 태풍의 강풍과 폭우로 인한 피해 저감을 목적으로 한 치수대책 수립에 기초자료로 활용가능하며, 기후변화로 인한 태풍의 활동 특성 및 태풍 동반 강우의 특성 변화를 파악하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

- Chan, J.C.L., and Shi, J.E. (1996). Long-term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, Vol. 23, No. 20, pp. 2765-2767.
- Choi, K.S., Wu, C.C., and Cha, E.J. (2010). Changes of tropical cyclone activity by Pacific-Japan teleconnection pattern in the western North Pacific. *J. Geophys. Res.*, Vol. 115, D19114. doi:10.1029/2010JD013866
- Choi, K.S., Park, K.J., Kim, J.Y., and Kim, B.J. (2015). Synoptic analysis on the trend of Northward movement of tropical cyclone with maximum intensity. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, Vol. 36, No. 2, pp. 171-180.
- Beyrend-Dur, D., Souissi, S., Hwang, J.S. (2013). Population dynamics of calanoid copepods in the subtropical mesohaline Danshuei Estuary (Taiwan) and typhoon effects. *Ecological Research*, Vol. 28, No. 5, pp. 771-780.
- Emanuel, K.A. (2007). Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation. *Journal of Climate*, Vol. 20, No. 22, pp. 5497-5509.
- Emanuel, K.A. (2013). Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 110, No. 30, pp. 12219-12224.
- Ho, C.H., Baik, J.J., Kim, J.H., and Gong, D.Y. (2004). Interdecadal changes in summertime typhoon tracks. *Journal of Climate*, Vol. 17, No. 9, pp. 1767-1776.
- JMA (Japan Meteorological Agency). (2015). Retrieved January 15, 2015, from <http://www.jma.go.jp>
- KMA (Korea Meteorological Agency). (2015). Retrieved January 20, 2015, from <http://www.kma.go.kr>
- Knuston, T.R., McBride, J.L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., et al. (2010). Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, Vol. 3, pp. 157-163.
- Son, C.Y., Kim, J.S., Moon, Y.I., and Lee, J.H. (2013). Characteristics of tropical cyclone-induced precipitation over the Korean River basins according to three evolution patterns of the Central-Pacific El Niño. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 28, No. 5, pp. 1147-1156.
- Son, C.Y., Kwon, H.H., Kim, J.S., and Moon, Y.I. (2014). Comparative assessment of a method for extraction of TC-induced rainfall affecting the Korean peninsula. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 12, pp. 1187-1198.
- TRC (Typhoon Research Center). (2015). Retrieved January 12, 2015, from <http://www.typhoon.or.kr/>
- Tu, J.Y., Chou, C., Huang, P. and Huang, R. (2011). An abrupt increase of intense typhoons over the western North Pacific in early summer. *Environmental Research Letters*, Vol. 6, No. 3, 034013, pp.1-7.

Received	September 6, 2018
Revised	September 11, 2018
Accepted	October 5, 2018