IPCC AR5 RCP 8.5 시나리오 기반 태풍발생 공간분석

Spatial Analysis of Typhoon Genesis Distribution based on IPCC AR5 RCP 8.5 Scenario

이승수* · 김가영**

Sungsu Lee · Ga Young Kim

요약 최근 전 세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화로 태풍, 폭염, 폭설등과 같은 자연재해의 피해가 대규모로 확대되고 있다. 근본적으로 지구온난화를 유발하는 가장 큰 원인은 대기 중의 온실가스를 들 수 있으며, 온실가스의 농도 증가로 인해 우리나라가 속해있는 북반구는 점점 더 지구표면온도가 증가하고 있고, 그에 따른 극한 기상 발생률이 크게 증가하고 있다. 본 연구에서는 최근 이산화탄소 농도 추세를 반영한 RCP(Representative Concentration Pathway) 8.5 시나리오를 이용하여 미래의 태풍발생의 공간분포를 추정하였다. 공간분포를 추정하기 위해 먼저 RCP 8.5 월 자료를 사용하여 1982~2100년 기간 동안의 태풍발생지수(GPI; Genesis Potential Index)를 계산하였다. 1982~2010년 동안 발생한 태풍의 발생위치정보와 월평균 GPI 값을 이용하여 태풍발생의 확률분포(PDF)를 추정하였으며, PDF의 0.05, 0.1 및 0.15에 해당하는 GPI의 범위를 설정하여 0.05GPI, 0.1GPI 및 0.15GPI로 정의하였다. 이를 바탕으로 1982~2010년, 2011~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년의 태풍발생의 공간 확률 분포를 추정 하였으며, 공간 확률 분포와 함께 과거 태풍발생정보를 이용하여 공간밀도를 분석하였다. 분석 결과, 미래에 태풍이 발생할 가능성이 높은 지역이 필리핀의 동쪽에 위치한 위도 10°~20° 영역으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 추후 미래의 태풍발생 가능지역을 추정하고, 이를 기반으로 태풍의 경로를 추정하는데 활용하여 태풍의 발생 위치에 따라 한반도에 미치는 영향을 추정하는데 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 태풍발생지수, RCP 8.5 시나리오, 태풍발생

Abstract Natural disasters of large scale such as typhoon, heat waves and snow storm have recently been increased because of climate change according to global warming which is most likely caused by greenhouse gas in the atmosphere. Increase of greenhouse gases concentration has caused the augmentation of earth's surface temperature, which raised the frequency of incidences of extreme weather in northern hemisphere. In this paper, we present spatial analysis of future typhoon genesis based on IPCC AR5 RCP 8.5 scenario, which applied latest carbon dioxide concentration trend. For this analysis, we firstly calculated GPI using RCP 8.5 monthly data during 1982~2100. By spatially comparing the monthly averaged GPIs and typhoon genesis locations of 1982~2010, a probability density distribution(PDF) of the typhoon genesis was estimated. Then, we defined 0.05GPI, 0.1GPI and 0.15GPI based on the GPI ranges which are corresponding to probability densities of 0.05, 0.1 and 0.15, respectively. Based on the PDF-related GPIs, spatial distributions of probability on the typhoon genesis were estimated for the periods of 1982~2010, 2011~2040, 2041~2070 and 2071~2100. Also, we analyzed area density using historical genesis points and spatial distributions. As the results, Philippines' east area corresponding to region of latitude 10°~20° shows high typhoon genesis probability in future. Using this result, we expect to estimate the potential region of typhoon genesis in the future and to develop the genesis model.

Keywords : Genesis Potential Index, RCP 8.5 scenario, Typhoon Genesis

1. 서론

최근 전 세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화로 태풍, 한파, 폭염, 가뭄, 폭설등과 같은 자연재해의 피

해가 대규모로 확대됨에 따라 기후변화에 대한 관심이 증가하고 있다. 근본적으로 지구온난화를 유발하는 가장 큰 원인은 대기 중의 온실가스를 들 수 있으며, 산업혁명 이후 온실가스의 농도가 여러 인간 활동

* This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2012.

Sungsu Lee, Civil engineering, Chungbuk National University. joshua@cbnu.ac.kr

* Ga Young Kim, Ph.D Candidate, Civil System engineering, Chungbuk National University. enthusiasm3535@gmail.com

** (Corresponding Author)

으로 인하여 직·간접적으로 증가하였으며 현재까지도 해마다 증가하는 것으로 조사되었다[1]. 온실가스의 농도 증가로 인해 우리나라가 속해있는 북반구의 중·고위도는 점점 더 지구표면온도가 증가하고 있으며 그에 따라 빙하 감소로 인해 해수면이 상승하고 기상이면 발생률이 크게 증가하고 있다[2,3]. 우리나라의 여름인 경우엔 비가 너무 내리지 않아 가뭄현상이 나타나다가도 극심한 호우로 인해 홍수가 일어나 극단적인 날씨를 보여주는 현상이 종종 나타나고 있다. 2013년 5월, 미국 하와이 마우나로아 관측소에서 측정한 대기 중 이산화탄소 농도가 상징적 기준점으로 여겨지는 400ppm을 초과하였으며, 20세기부터 이산화탄소 증가량이 점차 증가하고 있다고 발표하였다[1]. 지금까지 많은 연구에 의하여 온실가스의 대기 중 농도 증가와 지구온난화를 연관하여 어떠한 관계가 있는지 설명하기 위해 여러 기후모델을 사용하였으며, 모든 기후모델의 실험 결과 지구온난화의 주된 원인이 온실가스의 농도 증가라는 것을 증명하였다[1,3]. 기후변화로 인한 영향을 분석하기 위하여 많은 연구에서는 IPCC 4차 보고서[3]에서 제시한 8개의 사회·경제적인 시나리오와 GCMs, RCMs와 같은 기후모형을 결합하여 활용한바 있으며, 최근엔 4차보고서의 연구와 더불어 RCP 시나리오 기후변화전망에 따른 영향예측 자료가 활용된 5차보고서를 이용하여 연구되고 있다. 우리나라 국립기상연구소는 RCP에 기반한 전 지구/지역 기후변화 시나리오 개발과 더불어 국가 차원의 기후변화 대응을 위한 국가 표준 기후변화 시나리오를 개발하고 있다[4].

RCP 데이터는 총 4가지 시나리오를 포함하고 있으며 최근 온실가스 농도 증가의 추세를 반영한 시나리오는 RCP 8.5시나리오이다[4]. 이러한 온실가스 농도의 증가에 따른 자연재해에 대한 연구가 많은 연구진들에 의해 수행 중에 있다. 특히 태풍에 의한 피해가 점차 증가하면서 태풍의 발생, 강도, 경로를 예측하는 연구의 필요성이 대두되고 있다. Bisterl[5]은 기상요소를 이용하여 계산하는 태풍의 잠재적강도(Potential Intensity; PI)를 제시하였으며, Emanuel[6]은 태풍발생지수(Genesis Potential Index; GPI)를 제시하였다. GPI는 태풍의 잠재적 발생 지수로 태풍의 잠재적 강도[6]와 850hPa 절대와도, 850-200hPa wind shear, 700hPa 상대습도 자료를 이용하여 계산하여 태풍의 발생을 정량적으로 표현하는 지수이다. Camargo[7]는 이를 이용하여 전 지구영역을 대상으로 태풍발생지수와 이력태풍발생의 관계를 분석하고, 엘니뇨, 라니냐와의 상관 연구를 수행하였다. Kim[8], Park[9]은 엘니

뇨 해에는 열대성 저기압의 주요 발생지역이 평년에 비해 북태평양의 남동쪽으로 치우쳐 대륙에서 더욱 멀어지며, 발달 후 북동쪽으로 전향하는 특징을 보임을 제시였다. 이에 따라 열대성 저기압은 엘니뇨시기에 더욱 강한 태풍으로 발달할 수 있는 조건을 가지고, 열대성 저기압의 수명 또한 평년에 비해 더욱 길어지는 것으로 나타났다. 이와 같이 태풍의 발생 위치에 따라 한반도에 미치는 영향이 크게 변화할 수 있어 기후변화를 고려한 발생 위치의 추정과 공간분석은 매우 중요하다.

각국의 태풍발생 탐지 및 분석에는 종관분석, 위성분석과 같은 전문적인 기술력을 사용하고 있다. 일본의 경우에는 위성분석을 중심으로 구름시스템을 분석, 구름의 발달 정도 및 유지 정도 등에 따른 여러 분석을 토대로 태풍 발생을 선언한다. 또한 우리나라의 경우 저기압성 순환 존재, 24시간동안 순환 지속 여부 등 10가지 분석요소를 평가하여 모델 출력자료를 이용하여 태풍 발생을 선언한다[10]. 하지만 많은 연구진들에 의해 과거의 태풍발생기록을 이용하여 통계학적 접근을 통해 태풍의 발생을 추정하는 연구가 수행되고 있다[11,12,13]. 통계학적 접근방법은 종관분석, 위성분석과 같은 전문적인 기술을 요하지 않는, 오직 과거 태풍의 발생위치(위·경도)를 이용하여 태풍의 발생을 추정하는 것이다. 하지만 통계학적 접근방법을 이용한 연구는 정성적으로 태풍발생을 추정하였을 뿐, 태풍 발생의 공간을 분석한 연구는 수행되지 않고 있다. 하지만 공간분석에 통계학적으로 접근하여 여러 분야에서 연구가 되고 있다. Park[14]은 금강유역을 대상으로 기상·수문 요소간의 통계분석과 토지 피복도와 용수이용량 자료의 변화 분석을 수행하여 기후변화의 영향을 정량적으로 파악하였다. 또한 Shin[15]은 지상 기온 관측 자료의 시공간적인 한계점을 극복할 수 있는 대표적인 위성자료인 MODIS 지표면 온도 자료와 지상기온에 영향을 미칠 수 있는 토지 피복, DEM 등의 보조 자료를 이용하여 다양한 지구통계 기법들을 통해 남한 지역의 지상기온을 추정하였다. 본 연구에서는 과거 태풍발생이력자료와 기후변화 인자가 포함된 GPI를 이용하여 태풍발생가능지역과 공간분석을 수행하였다.

2장에서는 연구절차와 태풍정보 및 데이터에 대한 분석을 기술하고, 3장에서는 계산된 GPI를 기반으로 공간분포를 분석하여 미래 태풍발생분포에 대한 고찰을 기술하였다.

2. 데이터 정보

2.1 연구방법 및 절차

Figure 1은 태풍발생가능지역을 추정하기 위한 수행절차이다. 첫 번째 단계로 1982~2100년 기간 동안의 RCP 8.5 월 자료와 태풍발생정보를 수집하고 두 번째 단계로 수집한 RCP 8.5 월 자료를 이용하여 연구 영역에 대해 GPI를 계산을 하였다. 세 번째 단계에서는 1982~2010년 기간 동안 태풍발생위치를 이용하여 그에 해당되는 GPI값을 산출하고 네 번째 단계에서는 세 번째 단계에서 산출된 GPI값들의 확률분포를 추정하였다. 다섯 번째 단계와 여섯 번째 단계에서는 통계분석을 실시하였다. 다섯 번째 단계에서는 네 번째 단계에서 추정된 확률분포로부터 밀도가 0.15, 0.1, 0.05에 해당하는 GPI범위를 설정하고 1982~2100년 기간

Figure 1. Classification Process to estimate typhoon genesis possibility area

Figure 2. The black points show individual genesis events over the period from 1982 to 2010

동안 매 월의 각 지점별 GPI로부터 각각의 GPI범위가 해당되는 영역을 카운트하였다. 각 지점별로 카운트된 수를 1982~2010년, 2011~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년, 4기간으로 묶어 합산하여 각 기간의 총 개월 수로 나누어 각각 해당하는 밀도(0.15, 0.1, 0.05)를 곱하여 각 기간별 공간 확률 분포를 분석하였다. 여섯 번째 단계에서는 GPI가 계산되는 격자간격(위도 1.25°, 경도 1.875°)과 동일한 격자에서 각 격자별 태풍발생개수를 카운트 하였다. 그리고 다섯 번째 단계에서 산출된 각 격자별 확률 값을 격자별 태풍발생개수와 곱하여, 격자별 밀도를 산출하였다. 이로부터 가장 높은 밀도를 나타내는 영역을 태풍발생가능지역으로 산출하였다.

2.2 데이터 분석

태풍발생이력자료로는 RSMC(Regional Specialized Meteorological Center) 도쿄태풍센터에서 제공하는 최상경로(best tracks), 1982~2010년 기간 자료를 이용하여 태풍발생위치의 위도, 경도자료를 추출하였다. 본 연구에서 연구영역은 RSMC best track에 기록되는 북태평양의 주 발생 영역에서 RCP data를 획득할 수 있는 북위 0.625~40.625°, 동경 111.5625°~171.5625° 구간으로 정의하였다(Figure 2 참조).

29년 기간 동안 RSMC 최상경로에 기록된 태풍은 모두 739개로 연간 약 25.5개의 태풍이 발생하는 것으로 나타났다. 반면에 본 연구에서 정의한 영역에서 발생한 태풍은 29년 기간 동안 691개로 연간 약 23.8개의 태풍이 발생하는 것으로 나타났다.

기후 자료는 기상청의 IPCC AR5에서 정한 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP)를 이용하였다[4]. RCP 시나리오에는 4종이 있으며, 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우 RCP 8.5, 지구가 회복력을 가질 수 있는 최대 한계 값인 RCP 2.6, 그리고 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우인 RCP 4.5/6.0로 구성된다(Table 1 참조). 여기서 숫자는 복사강제력의 양으로서 단위는 Wm⁻²이다. RCP 시나리오의 4가지 종류 중 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우 RCP 8.5(월 자료)를 사용하였다. RCP 8.5 월 자료는 지점 데이터로서 위도는 1.25, 경도는 1.875간격으로 추출된다.

본 연구에서 사용하는 GPI(Genesis Potential Index)는 Emanuel[6]에 의해 개발된 지수로 발생 잠재적 지수, 즉 각 지점에서 태풍이 발생할 수 있는 가능성을 말한다. 이는 PI와 850hPa 절대와도, 850-200hPa wind

Table 1. Concentration and radiative forcing with the corresponding type of RCP Scenario

Name	Radiative forcing	Concentration	pathway
RCP 8.5	> 8.5 c	>1370 CO ₂ -eq (in 2100)	stable
RCP 6.0	~6 Wm ⁻²	~850 CO ₂ -eq (level off after 2100)	stable
RCP 4.5	~4.5 Wm ⁻²	~650 CO ₂ -eq (level off after 2100)	stable
RCP3-P D(2.6) ³	~3Wm ⁻² Maximum and then decreasing	before 2100 ~490 CO ₂ -eq maximum and then decreasing	decrease after increase

shear, 700hPa 상대습도 자료를 이용하여 계산하였다. 이 중 850hPa 절대와도, 850-200hPa wind shear는 RCP 시나리오의 850hPa, 200hPa의 동쪽방향, 북쪽방향 바람자료를 사용하여 계산하였다. GPI를 구하는 식은 다음과 같다.

$$GPI = |10^5 \eta_{850}|^{3/2} (1 + 0.1 V_{shear})^{-2} \left(\frac{\Pi}{70} \right)^3 \left(\frac{H_{700}}{50} \right)^3 \quad (1)$$

η_{850} 는 850hPa 절대와도(absolute vorticity). V_{shear} 는 850hPa과 200hPa에서의 바람 시어(wind shear), Π 는 태풍의 잠재 강도(PI), H_{700} 는 700hPa에서의 상대습도(relative humidity)를 나타낸다.

GPI를 구하기 위한 변수 중 PI(Potential Intensity)는 Emanuel[5]에 의해 개발된 지수로 태풍의 잠재적 강도를 말한다. PI를 구하기 위한 변수로 해수면온도(SST), 해면기압, 고도별 기온, 고도별 비습 자료를 사용하였다. 이 중 비습자료는 혼합비로 다시 계산하여 사용하였다.

PI는 식 (2)와 같이 계산[5]하며, 단위는 m/s이다.

$$\Pi = \sqrt{\frac{C_k}{C_D} \frac{T_s}{T_0} (CAPE^* - CAPE)} \quad (2)$$

여기서, C_k 는 교환 계수, C_D 는 항력 계수, T_s 는 해수면 온도, T_0 는 부력이 중립에 이르는 층에서의 평균 기온, $CAPE^*$ 는 상승기류의 대류불안정지수, $CAPE$ 는 주변기류의 대류불안정지수를 나타낸다[5]. $CAPE$ 와

$CAPE^*$ 는 혼합비와 기온자료를 이용하여 계산하는 지수로 값의 범위에 따라 대류의 가능성과 스톰(storm) 발달 가능성을 판단할 수 있다.

3. RCP 8.5 월 자료에 기반 한 GPI 특성

본 절에서는 RCP 8.5 월 자료를 이용하여 1982~2100년 기간 동안 GPI를 계산하여 기간별 공간 확률 분포를 추정하고, 이를 이용하여 태풍발생위치 정보와 함께 공간 밀도의 분포를 추정하였다. GPI 계산 지점은 연구영역인 북위 0.625°~40.625°, 동경 111.5625°~171.5625°에서 위도 1.25°, 경도 1.875°간격으로 총 1,089개 지점이다.

Figure 3은 1982~2100년 기간 동안 GPI의 증감변화를 나타낸 것이다. 여기서 1982~2010년, 2011~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년의 GPI는 각 셀(1,089개)별로 30년(1982~2010년: 29년)동안의 평균 GPI이다. Figure 3의 (상)은 2011~2040년과 1982~2010년 평균 GPI의 차, (중)은 2041~2070년과 2011~2040년 평균 GPI의 차, (하)는 2071~2100년과 2041~2070년 평균 GPI의 차이이다. 모두 한반도 근역인 북서태평양 지역에서 GPI가 증가하는 경향을 보이고 있으며 특히 위도 20°~30°부근에서는 다른 영역에 비해 큰 폭으로 GPI가 증가하였다.

3.1 GPI 공간 확률분포 분석

1982~2010년 기간에 발생한 태풍의 발생위치에 해당하는 GPI를 이용하여 GPI 변화에 따른 태풍발생 확률분포를 Figure 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 대부분 0~5 범위에 속한 것으로 나타났으며 GEV(Generalized Extreme Value) 분포와 잘 맞는 것으로 나타났다. 이는 $\sigma = 2.1633$, $\mu = 2.4865$, $K = 0.2217$ 을 따른다. GEV 분포의 μ 를 기준으로 좌우 1 σ 에 해당되는 GPI의 범위는 0.3232~4.6498로 이 범위에 속하는 태풍개수는 전체 태풍개수에 대해 57.2%에 해당되었다. GPI에 따른 태풍발생 확률분포(Figure 4 참조)로부터 확률밀도가 0.15, 0.1, 0.05 이상일 때 각각 GPI의 범위를 0.15GPI, 0.1GPI, 0.05GPI라 정의하였으며, 각각의 GPI 범위는 $1.1385 \leq 0.15GPI \leq 3.22511$, $0.4314 \leq 0.1GPI \leq 4.63055$, $0 \leq 0.05GPI \leq 6.918$ 로 나타났다.

3.2 태풍 발생 공간 확률분포 분석

앞서 수행한 특정범위의 GPI를 이용하여 1982~2100년 기간 동안 시간에 따른 0.15GPI, 0.1GPI, 0.05GPI의

Figure 3. Increase and decrease of GPI during 1982~2100; (top) difference of time-averaged GPI between 2011~2040 and 1982~2010(middle) difference of time-averaged GPI between 2041~2070 and 2011~2040(bottom) difference of time-averaged GPI between 2100~2071 and 2070~2041

공간분포 흐름을 추정하였다. 우선 1982~2100년 기간 동안 매 월의 위치 별 GPI를 이용하여 0.15GPI, 0.1GPI, 0.05GPI에 해당하는 셀을 카운트하였다. 각 셀별로 카운트된 수를 1982~2010년, 2011~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년, 4기간으로 묶어 합산하여 각 기간의 총 개월 수로 나누어 각각 해당하는 밀도(0.15, 0.1,

Figure 4. Distribution of GPI corresponding to historical typhoon genesis point

Table 2. The 0.15GPI cell count of each monthly based on historical typhoon genesis point

0.15GPI	max count	max probability(0.15)
1982~2010	157	0.06767
2011~2040	164	0.06833
2041~2070	168	0.07
2071~2100	165	0.06875

Table 3. The 0.1GPI cell count of each monthly based on historical typhoon genesis point

0.1GPI	max count	max probability(0.15)
1982~2010	312	0.08966
2011~2040	317	0.08806
2041~2070	312	0.08667
2071~2100	310	0.08611

Table 4. The 0.05GPI cell count of each monthly based on historical typhoon genesis point

0.05GPI	max count	max probability(0.15)
1982~2010	348	0.05
2011~2040	360	0.05
2041~2070	360	0.05
2071~2100	360	0.05

0.05)를 곱하였다. 1982~2010년은 식 (3)을, 그 외 기간은 식 (4)를 이용한다.

$$\frac{x}{348} \times 0.15 (\text{or } 0.1 \text{ or } 0.05) \quad (3)$$

$$\frac{x}{360} \times 0.15 (\text{or } 0.1 \text{ or } 0.05) \quad (4)$$

Figure 5. Probability distribution of 0.15GPI

Figure 6 .Probability distribution of 0.1GPI

Figure 7. Probability distribution of 0.05GPI

Table 2, 3, 4는 기간별로 0.15, 0.1, 0.05GPI에 해당되는 셀 개수 최댓값과 최대 확률 값을 나타낸 것이다. 0.15GPI의 경우 max count 값은 전체적으로 비슷한 값이 나타났으며 이는 각 기간별로 한 지점에서의 전체 개수 대비 약 45%이다. 0.1GPI의 경우도 마찬가지로 전체적으로 비슷한 값이 나타났으며 이는 각 기간별로 한 지점에서의 전체 개수 대비 약 88%이다. 각각 max probability가 0.15, 0.1임을 감안할 때 0.1보다 0.15GPI의 경우 최대로 가질 수 있는 0.15에 비해 크게 작은 확률 값이 나타났다. 0.05GPI의 경우 1982~2010년 기간 동안 최대로 나타날 수 있는 348(29년×12개월)개가 나타났으며, 그 외 기간 마찬가지로 360(30년×12개월)개가 나타나 최대 확률 값 또한 0.05로 나타났다.

Figure 5, 6, 7은 기간별로 0.05, 0.1, 0.15GPI의 공간 확률분포를 나타낸 것이다. 0.15GPI와 0.1GPI의 경우 (Figure 5, 6 참조) 점차 미래로 갈수록 위도 20~30° 부근에서 확률 값이 점차 낮아지고 낮은 확률의 분포가 점차 동진하는 것으로 나타났다. 또한 높은 확률이 분포한 필리핀 근역에서는 확률 값이 점차 낮아지는 것으로 보아 시간의 흐름에 따라 전체적으로 점차 확률이 낮아지는 경향을 보이고 있다. 0.05GPI의 경우 (Figure 7 참조)에는 0.05GPI의 범위 안에 매일 포함되

어 확률이 0.05(최대 확률 0.05)인 경우가 많다. 한반도 근역을 제외한 나머지 영역은 대부분 높은 확률을 나타내고 있으며 위도 15~25도 영역에서는 확률 값이 점차 낮아지는 경향을 보이고 있다. 0.05/0.1/0.15GPI 모두 비슷한 영역에서 확률의 값이 낮아지는 것으로 보아 Figure 3에서 나타난 위도 약 20~30°부근에서 GPI가 증가하는 것과 비교하였을 때 값이 증가함에 따라 0.15/0.1/0.05GPI에 해당되는 영역에서 벗어나는 것으로 보인다.

3.3 태풍발생 공간 확률분포와 과거태풍의 공간상관도

본 절에서는 과거 태풍발생위치와 3.1의 결과인 범위별 태풍발생 공간 확률분포와 과거태풍의 공간상관도를 분석하였다. 우선 GPI가 계산되는 격자간격(위도 1.25°, 경도 1.875°)과 동일한 격자에서 각 격자별 태풍발생개수를 카운트 하였다. 그리고 3.1에서 산출된 각 격자별 확률 값을 격자별 태풍발생개수와 곱하여, 격자별 밀도를 산출하였다.

Figure 8은 0.15GPI의 공간밀도를 나타낸 것이다. 필리핀 근역인 위도 5~20N°, 경도 110~120N°와 위도 20~30N°, 경도 140~170N° 영역에서는 밀도가 낮아지

Figure 8. Spatial density of 0.15GPI

Figure 9. Spatial density of 0.1GPI

Figure 10. Spatial density of 0.05GPI

는 것을 볼 수 있으며 높은 밀도가 분포한 낮은 위도 영역에서는 시간의 흐름에 따라 밀도가 높아지는 곳도 종종 볼 수 있다. Figure 9는 0.1GPI의 공간밀도를 나타낸 것이다. 0.1GPI의 공간밀도는 0.15GPI의 공간밀도와 비슷한 분포를 나타내고 있으며 0.1GPI 역시 필리핀 근역인 위도 5~20N°, 경도 110~120N°와 위도 20~30N°, 경도 140~170N° 영역에서는 밀도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. Figure 10은 0.05GPI의 공간밀도를 나타낸 것으로 0.15/0.1GPI에 비해 넓은 영역에서 높은 밀도가 나타났지만 위도 20N° 이상인 영역에서는 전체적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다.

0.15GPI, 0.1GPI, 0.05GPI의 공간밀도 최댓값은 각각 0.27123, 0.3583, 0.3238로 나타났으며, 가장 낮은 공간밀도를 갖는 0.15GPI 경우 0.15GPI의 범위에 포함하는 영역에서 다른 0.1/0.05GPI에 비해 비교적 적게 태풍이 발생하는 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 IPCC AR5에서 정한 RCP 시나리오

중 8.5 월 자료를 사용하여 1982~2100년 기간 동안의 태풍발생지수를 계산하여 분석하였다. 태풍발생지수는 PI, 700hPa 상대습도, 850-200hPa wind shear, 850hPa 절대와도를 이용해 계산된다. 이들은 각각 RCP 시나리오로부터 700hPa 상대습도, 해수면온도, 해면기압, 고도별 비습&기온, 200hPa, 850hPa eastward/northward wind 자료를 추출하여 계산하였다.

과거 1982~2010년 기간 동안 연구영역에서 발생한 태풍 691개가 각각 발생했을 당시 갖는 월 GPI 값을 살펴본 결과 대부분 0~5범위에 속한 것으로 나타났으며 GEV분포와 잘 맞는 것으로 나타났다. 이 분포의 밀도를 이용하여 0.05, 0.1, 0.15에 해당되는 GPI 범위를 각각 0.05GPI, 0.1GPI, 0.15GPI라 정의하였다. 이를 이용하여 1982~2010년, 2011~2040년, 2041~2070년, 2071~2100년의 공간 확률 분포를 분석하였다. 0.15GPI와 0.1GPI의 경우 점차 미래로 갈수록 위도 20~30° 부근에서 확률 값이 점차 낮아지고 낮은 확률의 분포가 점차 동진하는 것으로 나타났다. 또한 높은 확률이 분포한 필리핀 근역에서는 확률 값이 점차 낮아지는 것으로 보아 시간의 흐름에 따라 전체적으로 점차 확

률이 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 공간 확률의 분포와 위치별 태풍발생 개수를 이용하여 공간밀도를 분석하였다. 0.15/0.1/0.05GPI 경우 모두 밀도가 높은 영역은 점차 위도가 낮아져 위도 10°~20° 영역으로 치우치는 경향을 보이고 있으며, 위도 20~30°, 경도 140~170N° 영역에 점차 밀도 값이 낮아지는 것으로 보아 이는 공간 확률분포에서 20~30°, 경도 140~170N° 부근의 확률 값이 낮아지는 것의 영향으로 추정된다. 또한 필리핀의 동쪽 부근에서는 꾸준히 큰 밀도가 나타났다. 이는 기후인자들을 토대로 미래에 태풍이 발생할 가능성이 높은 지역이 필리핀의 동쪽에 위치한 위도 10°~20° 영역이라 추정할 수 있다. 이러한 결과를 통해 추후 미래의 태풍발생 가능지역을 추정하고, 이를 기반으로 태풍의 경로를 추정하는데 활용하여 태풍의 발생 위치에 따라 한반도에 미치는 영향을 추정하는데 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Korea Meteorological Administration. 2013, Report of Global Atmosphere Watch 2012, Korea.
- [2] Hwang, I. S. 2005, Study on the Kyoto Protocol and the corresponding system of Korea-Focusing on new renewable energy policy, Master's Degree Thesis, Ulsan University.
- [3] IPCC. 2007, Climate Change 2007, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC.
- [4] National Institute Meteorological Research. 2011, Climate Change Scenario Report, Korea.
- [5] Bister, M; Emanuel, K. A. 2002, Low frequency variability of tropical cyclone potential intensity 1. Interannual to interdecadal variability, Journal of Geophysical Research, 107(D24):ACL 26-1-ACL26-15.
- [6] Emanuel, K. A; Nolan, D. S. 2004, Tropical cyclone activity and the global climate system, Paper presented at the 26th conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, May 2.
- [7] Camargo, S. J; Emanuel, K. A; Sobel, A. H. 2007, Use of a Genesis Potential Index to Diagnose ENSO Effects on Tropical Cyclone Genesis. Journal of Climate, 20(19):4819-4834.
- [8] Kim, H. M; Lee, M. I; Peter J. Webster; Kim, D; Yoo, J. H. 2013, A Physical Basis for the Probabilistic Prediction of the Accumulated Tropical

Cyclone Kinetic Energy in the western North Pacific, Journal of Climate, 26(20):7981-7991.

- [9] Park, D. S; Ho, C. H; Kim, J. H. 2014, Growing threat of intense tropical cyclones to East Asia over the period 1977-2010, Environmental Research letters, 9(1):014008.
- [10] Korea Meteorological Administration. 2007, Development and use of typhoon occurrence predictive guidance.
- [11] Xun Guo Lin. 2004, Probabilistic framework of cyclone risk assessment, Paper presented at the 5th annual meeting for the Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, Australia, December 12-15.
- [12] Hall, T. M; Jewson, S. 2007, Statistical modelling of North Atlantic Tropical cyclone tracks, Tellus, 59A:486-498.
- [13] Rumpf, J; Weindl, H; Hoppe, P; Rauch, E; Schmidt, V. 2007, Stochastic modelling of tropical cyclone tracks, Mathematical Methods of Operations Research, 66(3):475-490.
- [14] Park, J. H; Lee, G. S; Yang, J. S; Kim, S. W. 2012, Journal of Korea Spatial Information Society, 20(3):39-50.
- [15] Shin, H.; Chang, E; Hong, S, 2014, Estimation of Near Surface Air Temperature Using MODIS Land Surface Temperature Data and Geostatistics, Journal of Korea Spatial Information Society, 22(1): 55-63.

논문접수 : 2014.6.3
수 정 일 : 2014.8.21
심사완료 : 2014.8.22