

지구 온난화와 태풍의 변화 경향

*설 동 일

* 한국해양대학교 항해학부

Global Warming and Trends of Typhoon Variation

*Dong-Il Seol

* Division of Navigation Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 이 연구에서는 장기간의 기상 자료를 이용하여 지구 온난화와 태풍의 변화 경향과의 관계를 분석하였다. 연구 결과에 의하면, 태풍의 연 평균 발생 수는 감소하고, 태풍 역내의 최대풍속은 서서히 강해지는 추세를 보인다. 이는 대부분의 수치 시뮬레이션 결과와 일치한다. 그리고 태풍의 정상진로는 증가하는 추세를 보이는 반면 서진형진로는 감소하는 경향을 나타낸다. 최근 10년간의 태풍의 이동경로는 정상진로 6 : 서진형진로 3 : 이상진로 1의 비율을 보인다. 우리나라에 영향을 미치는 태풍은 남해안을 통과하는 것이 가장 많다. 최근에는 서해안을 통과하는 태풍의 수가 감소하고 동해안을 통과하는 태풍의 수는 증가하는 추세를 보인다. 지구 온난화와 관련하여 특히 주목할 점은 태풍의 세기가 점점 강해지고 있다는 사실이다. 기상재해의 예방 관점에서 이에 대한 주의와 대책이 요구된다.

핵심용어 : 지구 온난화, 태풍 변화 경향, 최대풍속, 정상진로, 서진형진로

Abstract : This paper studies relationship between global warming and trends of typhoon variation by using the meteorological long-term data. The results show that yearly mean typhoon's occurrence numbers decrease and maximum wind speeds strengthen gradually. These results are in accord with most of simulated results. While the normal course of typhoon is increased, the westward course of that is decreased. Typhoon trajectories show that the ratios of normal course 6 : westward course 3 : abnormal course 1 in the last 10 years. Among typhoons which affect to the Korea ones pass through the southern coast of Korea are the most. The numbers of typhoon pass through the western coast of Korea are decreased and those pass through the eastern coast of Korea show increasing trend lately. The notable point in relation to the global warming is that typhoon intensity is strengthened gradually. Watch and counterplan in the viewpoint of prevention to the meteorological disasters are required.

Key words : global warming, trends of typhoon variation, maximum wind speeds, normal course, westward course

1. 서 론

근래, 이산화탄소로 대표되는 온실효과 기체의 증가에 동반하여 대류권의 기온이 점점 상승하고 있다고 한다(山崎·廣岡, 1993). 소빙하기가 끝난 19세기 말부터 현재에 걸쳐 전 지구의 평균 지상 기온은 약 0.6°C/100년의 비율로 상승하였다. 특히, 1910년대 후반부터 40년에 걸쳐 급히 상승하였고, 그 후 1960년대 후반까지 저온 경향을 보였지만, 1970년대부터 다시 기온이 상승하는 등 수 10년 규모로 기후는 변동하고 있다. 1980년대부터의 기온 상승은 특히 급격하고, 지구 온난화 문제는 전 지구적 관심사가 되었다(NHK放送文化研究所, 1998).

2007년, IPCC(International Panel on Climate Change, 기후 변화에 관한 정부간 협의체) AR4(Fourth Assessment Report)에 제시된 미래의 지구 평균기온은 향후 20년간 0.2°C/10년 이상의 비율로 상승할 것으로 전망된다. 또한, 온실효과 기체의 배출량이 많아질수록 온도가 증가하는 추세는 더욱 빨라지는데, 산업혁명 이전의 농도인 280ppm의 약 2배가 되는 550ppm

이 되면 21세기 말 기온은 약 2°C 상승할 것으로 예상되며, 약 3.5배인 1,000ppm이 되면 약 4°C 상승할 것으로 예상된다. 이와 함께 해수면도 18-50cm 상승할 전망이다(국립기상연구소, 2009).

지구 온난화에 동반하여 해수면온도(海面溫度, SST : Sea Surface Temperature)도 상승한다. 국립기상연구소의 연구 결과(국립기상연구소, 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008)에 의하면, 해수면온도는 양극 주변에서 낮아지는 것을 제외하고 대부분의 해역에서 상승한다. 고위도의 해빙이 존재하는 해역은 해수면온도가 어느점으로 유지되어 온도 변화가 거의 없다. 그러나 우리나라와 근접한 북태평양의 해수면온도 상승이 가장 두드러지며 계절적으로는 여름철에 더 높게 상승할 것으로 전망된다. 해빙 면적도 온실효과 기체의 농도가 증가할수록 축소될 것으로 전망된다. 이와 같이 지구 온난화가 지속되면 이상기상(異常氣象, unusual weather)이 지구상 각지에서 빈발할 것이라는 주장도 제기되고 있다. 이상기상은 과거 평년(平年)의 기상 상태에 비하여 현저하게 차이가 나는 기상현상을 말한다. 이상

* 교신저자 : 종신회원, seol@hhu.ac.kr 051)410-4271

기상의 대표적인 경우로는 냉하(冷夏)나 난동(暖冬), 일조 부족, 한발 등을 들 수 있으나, 태풍이나 집중호우 등에 의한 막대한 인명 피해 및 재산상의 손실이 있을 때 그것들의 원인이 된 기상현상도 이상기상이라고 부른다(日本氣象學會, 1998).

태풍은 북태평양의 남서부 해역에서 발생하는 열대저기압이 발달(중심 부근의 최대풍속이 17.0m/s 이상)한 것으로, 막대한 에너지를 갖는 거대한 공기의 소용돌이로 기상현상 중에서 가장 강렬하고 파괴적인 것의 하나이다. 그리고 맹렬한 폭풍우를 동반하는 것이 보통으로 그것이 통과하면 부근에 많은 인적, 물적 피해를 입히게 된다(설·민, 1992).

지구 온난화와 태풍과의 관계에 대하여는 수치 시뮬레이션에 의한 연구가 활발하게 진행되어 왔다(Brocccoli and Manabe, 1990; Haarsma et al., 1993; Sugi et al., 1997, 2002; Oouchi et al., 2006). 이들 연구 결과의 주요 내용은 지구 온난화가 진행되면 태풍의 발생 수는 감소하고, 세기는 강해진다는 것으로 요약할 수 있다. Sugi et al.(2002)은 지구 온난화가 진행되면 태풍의 발생 수가 감소하는 이유는, 해수면온도의 상승에 의한 수증기의 증가로 태풍에 공급되는 열에너지가 증가하는 효과와 지구 온난화로 열대 대기의 상층이 하층보다 따뜻하게 되어 대기의 성층이 안정화하는 것에 의하여 태풍에 공급되는 운동에너지의 감소 효과를 비교하였을 때, 후자가 더 크기 때문이라고 해석하고 있다. 그리고 해수면온도의 상승은 더 많은 수증기의 발생을 가져오고 그에 따라 태풍의 세기는 강해진다고 볼 수 있다.

지구 온난화와 관련한 상기의 선행 연구 등을 통하여, 지구 온난화가 진행되면 이상기상의 원인을 제공하는 태풍의 여러 가지 측면에서의 변화 가능성을 충분히 생각할 수 있다. 수 10년 전에는 해수면온도가 높은 해역이 적도 부근으로 한정되어 있었기 때문에 태풍의 발생 장소 및 발생 시기도 제한되어 있었지만, 지구 온난화에 동반하는 해수면온도의 상승으로 그것들이 변화하고 있을 가능성이 충분히 있는 것이다.

이와 같은 점에 주목하여, 이 연구에서는 지구 온난화가 지속적으로 진행되고 있는 1951년부터 최근인 2008년까지 총 58년간에 대하여 태풍 발생 수의 변화 경향을 분석하고, 사용 가능한 자료의 제한으로 태풍의 세기 변화에 대하여는 1986년부터 2008년까지 23년간에 대하여 해석하고자 한다. 그리고 태풍의 이동경로 변화 분석에는 1959년부터 2008년까지 총 50년의 자료를 사용하고자 한다. 이 연구에서 사용한 자료는 우리나라 기상청에서 제공하고 있는 기상정보와 일본 기상청에서 제공하고 있는 태풍경로도이다.

금번의 연구 결과는 기후 변화에 따른 이상기상의 출현과 관련하여 특히, 태풍에 대한 기상재해의 최소화 및 기상재해 예방계획의 수립 그리고 항해 또는 정박중인 선박의 안전 확보 관점에서 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 태풍의 발생 수 및 세기의 변화

현재 WMO(World Meteorological Organization, 세계기상기

구)의 권고에 의하여 기후를 나타내는 표준값으로서 사용되는 평년(平年)값은 1971-2000년의 30년간 평균값이다. 1971-2000년에 발생한 태풍의 총 수는 802개이고, 연 평균값은 26.7개이다. Fig. 1은 1951-2008년의 58년간에 대하여 태풍의 연별 발생 수를 시계열 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 태풍의 연별 발생 수는 시간이 흘러감에 따라 서서히 감소하는 경향을 보인다. 1964-1967년, 1971년과 1994년에 많은 태풍의 발생 수를 보이나, 전체적으로는 태풍의 발생 수가 감소하는 추세를 보인다. 특히, 1998년 이후에 태풍의 발생 수가 상대적으로 크게 감소하는 경향을 보인다.

연구 기간의 전기(前期) 20년간(1951-1970년)의 연 평균 태풍 발생 수는 27.2개인데 비하여 후기(後期) 20년간(1989-2008년)의 연 평균 태풍 발생 수는 25.9개로 1.3개의 감소를 보인다. 태풍이 가장 많이 발생한 해는 1967년(39개)이고 가장 적게 발생한 해는 1998년(16개)으로, 무려 23개의 차이를 보인다.

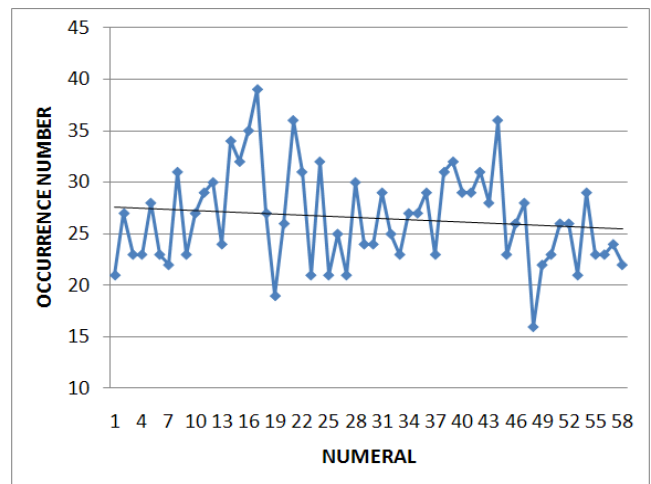


Fig. 1 Time series of yearly mean typhoon's occurrence numbers(The numerals of 1-58 on x-axis denote the year starting from 1951 to 2008).

태풍의 세기는 보통 역내의 최대풍속으로 나타낸다. Fig. 2는 태풍의 일생 중에서 가장 강한 최대풍속을 23년간(1986-2008년)에 대하여 연별로 평균하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 태풍의 최대풍속은 완만하지만 해가 지나면서 서서히 강해지는 경향을 보인다. 최대풍속이 가장 강한 해는 1987년으로 39.3m/s를 기록하였고, 그 다음은 2006년으로 38.2m/s이었다. 특히, 최근인 2000년부터 2006년까지는 최대풍속이 지속적으로 강해지는 특성을 보인다.

23년 동안에 발생한 태풍의 총 수는 600개인데, 그 중에서 최대풍속이 50m/s 이상의 매우 강한 태풍은 73개로 전체의 12.2%를 차지한다. 선박 및 항만구조물 등의 안전에 직접적으로 영향을 미치는 최대순간풍속은 최대풍속의 약 1.5배에 상당한다(福地, 1997). 따라서 지구 온난화가 급격하게 이루어진 1980년대 이후에 약 75m/s 이상의 매우 강한 최대순간풍속을 보이는 태풍은 1년에 평균 3.2개 정도 발생한다고 볼 수 있다.

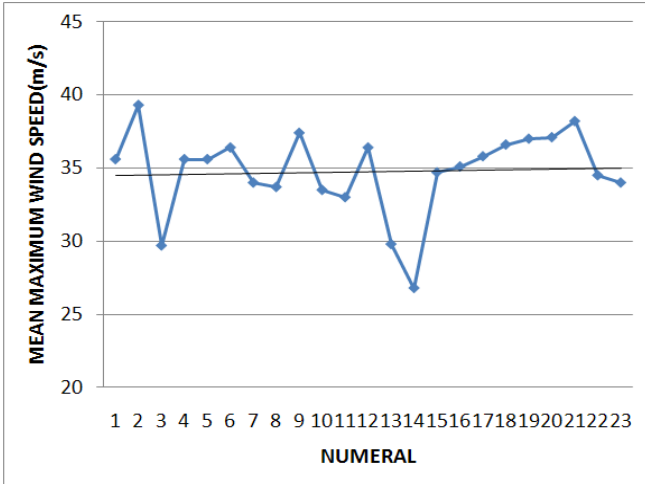


Fig. 2 Time series of yearly mean maximum wind speed of typhoons(The numerals of 1-23 on x-axis denote the year starting from 1986 to 2008).

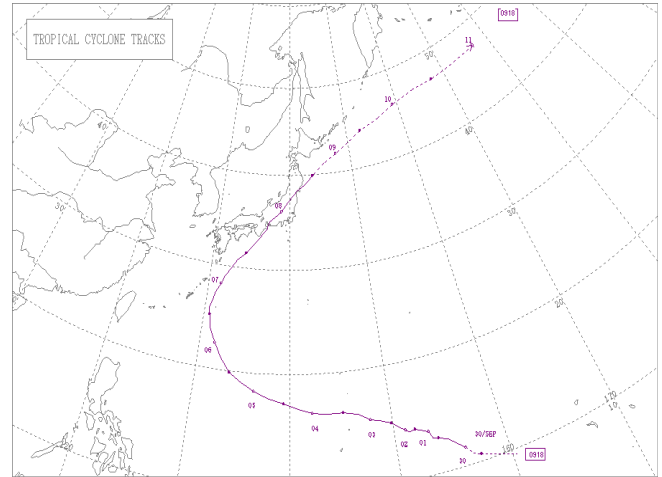


Fig. 3 An example of Normal course (Typhoon 0918 Melor). Source: JMA.

Fig. 1과 Fig. 2에서 살펴본 바와 같이, 지구 온난화에 동반하여 북태평양의 남서부 해역에서 발생하는 태풍의 발생 수는 감소하는 추세를 보이고, 태풍의 세기를 나타내는 중요한 지표인 최대풍속은 서서히 강해지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 연구 결과는 지구 온난화가 진행되면 태풍의 발생 수는 감소하고, 세기는 강해진다고 하는 대부분의 수치 시뮬레이션 결과와 일치한다. 설(2009)은 22년간(1986-2007년)의 기상청 자료를 사용하여 발생 해역별로 태풍의 수와 세기를 분석한 결과, 지구 온난화와 관련하여 태풍의 연별 발생 수가 서서히 감소하고 있으며, 세기(태풍의 중심 최저기압)는 완만하지만 점점 강해지고 있음을 보였다. 금번의 연구 결과는 선행 연구(설, 2009)의 경우보다 장기간의 자료를 사용했다는 점과 태풍 세기의 지표로서 태풍 역내의 최대풍속을 채택하였다는 점에서 그 차별성이 있다고 할 수 있다. 참고로, WMO에서는 태풍의 계급 분류 기준으로 태풍 중심 부근의 최대풍속을 채택하고 있다. 그리고 Fig. 2에서 추세선의 기울기가 완만하게 증가하여 태풍의 세기가 시간의 흐름과 함께 서서히 강해지고 있다는 결과에 대하여 보다 신중한 판단이 요구되나, 선행 연구(설, 2009)에서 거의 같은 기간에 대하여 태풍의 중심 최저기압이 서서히 낮아지고 있음을 확인한 바, 금번의 연구 결과는 선행 연구에 의하여 지지받고 있음을 알 수 있다.

3. 태풍의 이동경로 변화

태풍의 대부분은 열대 해역에서 발생하여 점차 발달하면서 북서로 진행하고 아열대고기압의 기압마루 부근에서 북동으로 방향을 바꾸어 우리나라와 일본 부근을 통과한다. 이들 태풍은 대체로 북태평양고기압의 외연(外緣)을 포물선을 그리면서 이동하는데, 이와 같은 태풍의 이동경로를 정상진로(Normal course, Fig. 3)라고 한다.

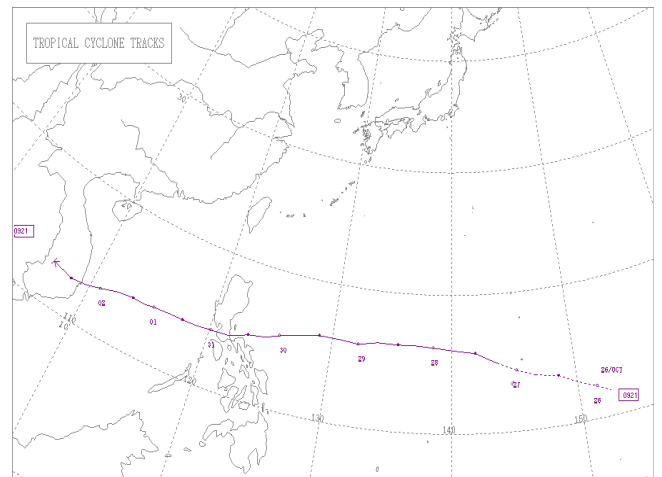


Fig. 4 An example of Westward course (Typhoon 0921 Mirinae). Source: JMA.

포물선 궤도는 하계에는 서쪽으로 뺏고 추계에는 동쪽으로 후퇴하는 것이 보통이다. 즉, 7월에는 동중국해를 거쳐 대륙으로 상륙하거나 우리나라를 통과하는 것이 많고, 8월에는 우리나라의 남부지방을 그리고 9월에는 일본을 통과하는 것이 많다. 10월이 되면 북태평양고기압이 쇠약하여 후퇴하므로 빨리 전향하여 일본의 남쪽 해상을 북동진하는 것이 많다.

7-10월 이외의 달에는 열대 해역에서 서진을 계속하여 북서 방향으로 이동하는 것이 대부분이다. 이와 같은 이동경로를 서진형진로(Westward course, Fig. 4)라고 한다. 정상진로와는 대단히 다른 이동경로를 이상진로(Abnormal course, Fig. 5)라고 하는데, 이상진로는 정해진 형이 없이 이동경로가 복잡하며, 때로는 고리 모양을 그리기도 한다. 이상진로는 취하는 태풍은 일반적으로 이동속도가 느린 경우가 많고, 대부분은 8월에 나타난다(설, 2008a).

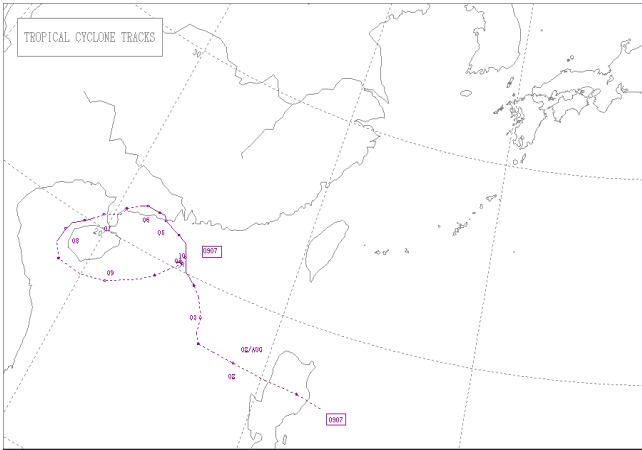


Fig. 5 An example of Abnormal course (Typhoon 0907 Goni). Source: JMA.

일반적으로 태풍의 이동경로를 위의 3가지로 구분하지만, 경우에 따라서는 이 3가지에 포함시키기 어려운 이동경로도 있을 수 있다. 예를 들어, 태풍의 수명이 매우 짧아 정상진로, 서진형진로 또는 이상진로로 규정하기 어려운 경우가 그런 예라고 할 수 있는데, 이 연구에서는 이와 같은 태풍을 기타진로(Other course)라고 하여 분석하고자 한다.

Fig. 6은 1959년부터 2008년까지 총 50년간에 대하여 10년씩 기간을 정하여 태풍의 이동경로별 비율을 시계열 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 정상진로는 시간의 흐름에 따라 증가하는 추세를 보이고, 서진형진로는 감소하는 경향을 보인다. 특히, 서진형진로는 1969-1978년 이후에 지속적으로 감소하는 경향을 보인다. 시계열 상으로 변화 경향을 보이는 정상진로 및 서진형진로와는 달리 이상진로와 기타진로는 거의 변화 경향을 보이지 않는다.

전체 50년간에 대하여 정상진로는 전체 태풍 수의 약 51%를 차지하고 서진형진로는 약 36%, 이상진로는 약 10%를 차지한다. 이를 개략적인 비율로 환산하면, 정상진로 5 : 서진형진로 4 : 이상진로 1의 분포이다. 기타진로는 전체 태풍 수의 약 3%를 차지하여 매우 미미한 정도이다. 그러나 최근 10년간(1999-2008년)의 이동경로 분포를 살펴보면, 정상진로 6 : 서진형진로 3 : 이상진로 1의 비율을 보여 서진형진로의 태풍은 감소하고 정상진로의 태풍이 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

이처럼 태풍의 정상진로는 증가하고 서진형진로가 감소하는 경향을 보이는 것은 북태평양고기압의 강화와 연관되어 있다. 村山(2006)에 의하면, 지구 온난화에 의해 북태평양 남서부 열대 해역의 해수면온도가 상승하면 그로 인해 더 많은 수증기가 발생하면서 상승 기류가 발달하게 되고 대류 활동이 강해진다. 결과적으로 적도역에서 상승하여 아열대역으로 하강하는 헤들리순환(Hadley circulation)이 강해지고 그에 따라 북태평양고기압의 세력이 강해지게 된다. 즉, 지구 온난화로 북태평양고기압의 세력이 강화, 확장되고 그에 따라 북태평양고기압의 외연을 포물선형으로 이동하는 정상진로의 태풍이 증가하게 된다고 해석할 수 있다.

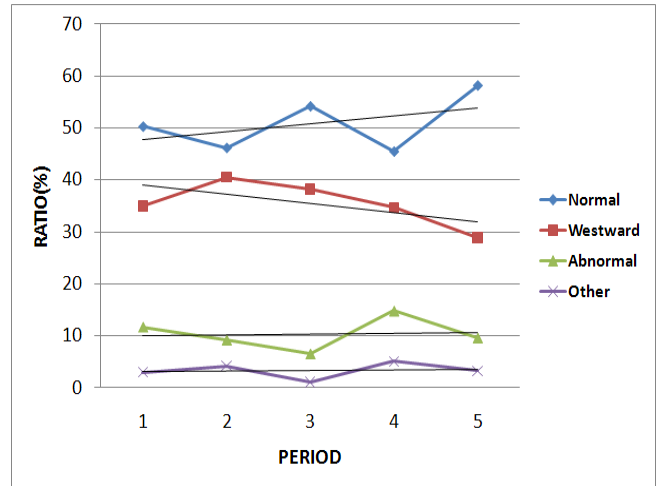


Fig. 6 Time series of ratios of typhoon's courses(The numerals of 1-5 on x-axis denote 10 years duration starting from 1959 to 2008).

4. 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 이동경로 변화

우리나라에 영향을 미치는 태풍의 이동경로는 정상진로이고 우리나라 부근에서 태풍은 대부분 북-북동진한다. 이와 같은 특성을 고려하여, 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 이동경로 변화를 분석하기 위하여 태풍의 이동경로를 크게 3가지(서해를 통과하는 경우, 남해를 통과하는 경우, 동해를 통과하는 경우)로 구분하였다. 여기서 서해는 동경 126도 이서(以西)이고, 동해는 동경 129도 이동(以東)이다.

Fig. 7은 총 50년간(1959-2008년)에 대하여 우리나라에 영향을 미친 태풍의 이동경로 분포를 10년씩 기간을 정하여 시계열 그래프로 나타낸 것이다. 50년간, 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수는 총 162개로, 1년에 약 3.2개의 태풍이 우리나라에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 연대별로 살펴보면, 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수는 1979-1988년대 이후 약간 감소하는 경향을 보인다. 1959-1968년의 경우는 36개이고 1969-1978년의 경우는 33개이나, 1979-1988년의 경우는 29개로 감소하였다. 그리고 가장 최근에 해당하는 1999-2008년의 경우는 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수가 총 30개로 연평균 3.0개에 해당한다. 이는 Fig. 1에서 이미 살펴본 바와 같이, 열대 저위도 해역에서의 태풍 발생 수의 감소와 밀접히 관련되어 있다. 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수는 8월에 가장 많고, 그 다음은 7월, 9월, 6월, 10월의 순서이다. 7-8월에 영향을 미치는 태풍의 수가 전체의 약 67%를 차지하고, 6월과 10월은 드물게 내습한다.

우리나라에 영향을 미친 태풍의 이동경로를 분석해 보면, 50년간 총 162개의 태풍 중에서 서해를 통과한 태풍(West)이 50개, 남해를 통과한 태풍(South)이 58개, 동해를 통과한 태풍(East)이 54개이다. 즉, 남해를 통과하면서 영향을 미치는 태풍의 수가 가장 많고, 그 다음은 동해, 서해의 순이었다. 남해를 통과하는 태풍의 대부분은 북동진하여 동해 또는 일본 쪽을 향하게

된다. 이동경로를 백분율로 환산해 보면, 서해를 통과한 경우가 전체의 약 31%, 남해를 통과한 경우가 전체의 약 36%, 동해를 통과한 경우가 전체의 약 33%를 차지하여 서로 큰 차이를 보이지는 않는다.

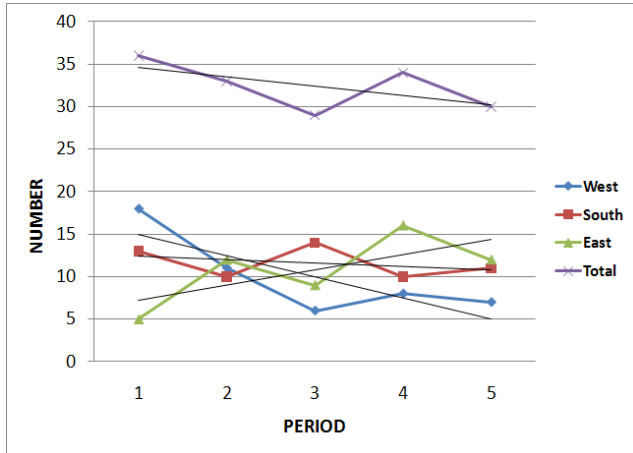


Fig. 7 Time series of numbers of typhoon which affect to the Korea(The numerals of 1-5 on x-axis denote 10 years duration starting from 1959 to 2008).

Fig. 7에서 알 수 있는 것처럼, 서해를 통과하면서 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수는 전체적으로 감소하는 경향을 보이고, 대신 동해 쪽을 통과하는 태풍의 수는 증가하는 추세를 보인다. 보통 우리나라에 대규모의 기상재해를 입히는 태풍은 남해안을 통과하는 경우인데, 이들 태풍의 수는 시계열 상 큰 변화 없이 10년간에 10-14개의 분포를 보인다. 설(2008b)은 36년간(1970-2005년)의 자료를 이용하여 우리나라 남해안의 해수면온도가 지속적으로 상승하고 있으며, 그에 따라 남해안을 통과하면서 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 세기가 점점 강해지고 있음을 보였다.

5. 요약 및 결론

장기간의 기상청 자료를 이용하여 지구 온난화와 관련한 태풍의 변화 경향을 분석하였다. 연구의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 지구 온난화에 동반하여 태풍의 발생 수는 감소하고, 태풍 역내의 최대풍속은 서서히 강해지는 추세를 보인다. 이는 대부분의 수치 시뮬레이션 결과와 일치한다.
- (2) 태풍의 정상진로는 증가하는 추세를 보이고, 서진형진로는 감소하는 경향을 보인다. 이상진로와 기타진로는 시계열 상 거의 변화를 보이지 않는다.
- (3) 50년간(1959-2008년)의 태풍의 이동경로는 정상진로 5 : 서진형진로 4 : 이상진로 1의 분포를 보이지만, 최근 10년간의 이동경로는 정상진로 6 : 서진형진로 3 : 이상진로 1의 비율을 나타낸다.
- (4) 우리나라에 영향을 미치는 태풍은 남해안을 통과하는 것

이 가장 많고, 그 다음은 동해안, 서해안의 순이다. 최근, 서해안을 통과하는 태풍의 수는 감소하고 동해안을 통과하는 태풍의 수가 증가하는 추세를 보인다.

(5) 우리나라에 대규모의 기상재해를 발생시키는 태풍은 주로 남해안을 통과하는 태풍인데, 이들 태풍은 시계열 상 큰 변화 없이 10년에 10-14개의 분포를 보인다.

지구 온난화와 관련한 태풍의 변화 경향 중에서 특히 주목해야 할 점은 태풍의 세기가 점점 강해지고 있다는 사실이다. 2003년 9월 12일 20시 경, 남해안인 경남 사천시 부근에 태풍 매미(Maemi)가 상륙하였는데, 그 때 통영에서 관측된 해면기압은 954hPa로 우리나라에 영향을 미친 태풍 중에서 두 번째로 낮은 기압을 보였으며(1위는 1959년 태풍 사라(Sarah), 부산 951.5hPa 관측), 최대순간풍속은 제주와 고산에서 각각 60.0m/s를 기록하여 1904년 우리나라 기상 관측 이래 극값을 경신하였다. 미국에서는 해수면온도가 0.5℃ 상승하는 것만으로도 허리케인에 의한 피해가 배증(倍增)할 것이라는 연구 결과(村山, 2006)도 있어, 앞으로 지구 온난화와 관련하여 슈퍼 태풍의 발생과 내습에 대한 대비가 요구되는 시점이라고 할 수 있다.

사 사

논문을 심사해 주시고 부족한 부분을 세심하게 지적해 주신 익명의 심사위원님들께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 일부 자료(Fig. 6)의 정리에 도움을 준 권민수, 김요한, 이진영 학생에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 국립기상연구소(2003), 기후변화협약대응 지역기후 시나리오 산출기술개발(Ⅱ), 국립기상연구소
- [2] 국립기상연구소(2004), 기후변화협약대응 지역기후 시나리오 산출기술개발(Ⅲ), 국립기상연구소
- [3] 국립기상연구소(2005), 기후변화협약대응 지역기후 시나리오 활용기술개발(Ⅰ), 국립기상연구소
- [4] 국립기상연구소(2006), 기후변화협약대응 지역기후 시나리오 활용기술개발(Ⅱ), 국립기상연구소
- [5] 국립기상연구소(2007), 기후변화협약대응 지역기후 시나리오 활용기술개발(Ⅲ), 국립기상연구소
- [6] 국립기상연구소(2008), 기후변화협약대응 지역기후 시나리오 활용기술개발(Ⅳ), 국립기상연구소
- [7] 국립기상연구소(2009), 기후변화 이해하기Ⅱ, 국립기상연구소
- [8] 설동일(2008a), 해양기상학, 다솜출판사
- [9] 설동일(2008b), “남해 해수면온도 변화와 태풍 세기와의 관계”, 한국해양학회지, 제32권, 제5호, pp. 403-407.
- [10] 설동일(2009), “발생 해역별 태풍의 수와 세기에 관한 연구”, 한국해양학회지, 제33권, 제10호, pp. 679-683.
- [11] 설동일, 민병연(1992), “태풍에 의한 우리나라의 기상재해

에 관한 통계적 연구”, 한국항해학회지, 제16권, 제4호, pp. 47-54.

- [12] NHK放送文化研究所(1998), 氣象ハンドブック, NHK出版
- [13] 日本氣象學會(1998), 氣象科學事典, 東京書籍
- [14] 福地 章(1997), 海洋氣象講座, 成山堂書店
- [15] 村山 貢司(2006), 台風學入門
- [16] 山崎道夫, 廣岡俊彦(1993), 氣象と環境の科學, 養賢堂
- [17] Broccoli, A. J. and S. Manabe(1990), “Can existing climate models be used to study anthropogenic changes in tropical cyclone climate? ” , Geophys. Res. Lett., 17, pp. 1917-1920.
- [18] Haarsma, R. J., J. F. B. Mitchell and C. A. Senior(1993), “Tropical disturbances in a GCM” , Climate Dyn., 8, pp. 247-257.
- [19] Oouchi, K., J. Yoshimura, H. Yoshimura, R. Mizuta, S. Kusunoki and A. Noda(2006), “Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analyses” , J. Meteor. Soc., Japan, 84, pp. 259-276.
- [20] Sugi, M., A. Noda and N. Sato(1997), “Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model” , WMO/TD-No. 792, 7.69-7.70.
- [21] Sugi, M., A. Noda and N. Sato(2002), “Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model” , J. Meteor. Soc., Japan, 80, pp. 249-272.

원고접수일 : 2010년 5월 31일
심사완료일 : 2010년 8월 20일
원고채택일 : 2010년 8월 23일