

# 태풍의 피크기에 관한 분석 연구

† 설동일

† 한국해양대학교 항해학부

## Analytical Study on the Peak Stage of Typhoons

† Dong-Il Seol

† Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 10년간(2002~2011년)의 기상 자료를 이용하여 태풍의 피크기에 대하여 분석하였다. 이 연구의 주요 목적은 태풍의 피크기에 대한 특성 및 경향을 선박의 항해자에게 제공하는 데에 있다. 총 221개의 태풍에 대하여 분석한 주요 연구 결과는 다음과 같다. 최대풍속 20~29m/s와 40~49m/s의 태풍이 각각 전체 태풍의 25%와 24%를 차지하고, 최대풍속 50m/s 이상의 초강력 태풍도 24%를 차지한다. 열대저기압 발생 후 피크기에 도달하는 평균 일 수는 3.6일이고, 열대 폭풍으로 발달한 후 피크기에 도달하는 평균 일 수는 2.1일이다. 대부분의 태풍에서 피크기가 유지되는 기간은 2일 이내이고, 피크기의 평균 유지 시간은 31시간이다. 태풍의 피크기가 주로 출현하는 위도대는 북위 15~25도, 동경 120~140도이다. 이 위험 해역은 서쪽에 타이완과 필리핀이 위치하고 동쪽으로는 광대한 북태평양이 펼쳐져 있는 해양 환경적 특성을 보인다. 이 해역을 항해하는 선박의 항해자는 각별한 주의를 요한다. 초강력 태풍은 9월에 가장 많이 발생하고, 마찬가지로 북위 15~25도, 동경 120~140도 해역에서 주로 피크기가 나타난다.

**핵심용어** : 태풍의 피크기, 선박의 항해자, 최대풍속, 초강력 태풍, 피크기의 평균 유지 시간

**Abstract** : This paper analyzed the peak stage of typhoons by using 10 years(2002~2011) data. The main purpose of this research is to provide the characteristic and tendency of peak stage of typhoons for navigators of ship. The research results show that typhoons of maximum wind speed 20~29m/s and 40~49m/s account for 25% and 24% of whole typhoon, respectively. Ultra Typhoon of maximum wind speed 50m/s and over accounts for 24% of whole typhoon. Peak stage mean arrival time from tropical depression and tropical storm are 3.6 days and 2.1 days, respectively. Duration time of peak stage is within 2 days and mean duration time of peak stage is 31hours. Latitudes and longitudes that mainly appears peak stage are at 15°~25° N and 120°~140° E. This dangerous sea area has the oceanic environmental characteristic that Taiwan and Philippines are locate west side and a vast the North Pacific occupy east side. Navigators of ship in this dangerous sea area keep strict watch. Ultra Typhoons occur most frequently in September. Peak stage of Ultra Typhoon also appears at 15°~25° N and 120°~140° E.

**Key words** : peak stage of typhoons, navigators of ship, maximum wind speed, Ultra Typhoon, mean duration time of peak stage

### 1. 서 론

태풍은 북태평양 남서부 해상에서 발생한 열대저기압(Tropical Depression, TD) 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s 이상으로 발달한 것을 말한다. 열대저기압과 온대저기압을 포함하는 저기압은 고기압과는 달리 비교적 규칙 바른 일생을 살아간다. 여기서 말하는 일생은 보통 발생기, 발달기, 피크기, 쇠약기, 소멸의 단계로 구분한다.

Seol(2013)에 의하면, 전향하는 태풍 즉, 정상 진로를 취하는 태풍의 발생기(formative stage)는 열대저기압에서 태풍이 되기까지의 시기를 말한다. 발생 초기에는 중심기압 1,000hPa,

최대 풍력계급 7 정도의 열대저기압이나 이것이 편동풍을 타고 서~북서진하여 북위 10도 이북으로 오면 급속히 발달하여 태풍이 된다. 이동 속도는 일정하지 않으나 10-20km/h 정도이다. 발달기(intensification stage)는 중심기압 990hPa 이하, 최대 풍력계급 12의 폭풍역이 나타나며 태풍 중심에는 작지만 뚜렷한 눈이 나타난다. 구름은 중심 부근에 모여 나선형의 분포를 보이고 이동 속도는 20-30km/h 정도이다. 그리고 피크기(peak stage)의 태풍은 중심기압이 최저(평균적인 태풍의 경우는 960hPa 정도, 강한 태풍의 경우는 900hPa 전후)로 되며 역내의 최대풍속도 100kt를 초과한다. 피크기를 맞은 태풍은 곧 이어 이동 속도가 느려진다. 이것은 태풍이 방향을 바꾸기 때문인데, 태풍이 방향을 바꾸는 것을 전향이라고 한다.

† Corresponding author : 종신회원, seol@kmou.ac.kr 051)410-4271

(주) 이 논문은 “태풍의 피크기에 관한 분석 연구”란 제목으로 “2014년 추계학술대회 논문집(동명대학교, 2014.10.23-24, pp. 94-95)”에 발표되었음.

전향한 태풍은 편서풍을 타고 급속히 가속되면서 북동진하게 되고 쇠약기(decaying stage)에 들어간다.

근래 지구 온난화에 동반하여 태풍의 발생 수는 미약하게나마 감소하는 추세를 보이나 태풍의 세기는 강해지고 있다는 연구 결과들이 있다(Haarsma et al., 1993; Bengtsson et al., 1996; Sugi et al., 1997, 2002; Knutson et al., 1998; Oouchi et al., 2006; Seol, 2010). 이들 연구 결과는 피크기에 있어서의 태풍의 세기가 더 강해지고 있다는 것인데, 이는 선박과 관련한 해양사고 및 기상재해 관점에서 매우 중요한 의미를 가진다.

태풍의 세기는 중심 부근의 최대풍속으로 구분하는 것이 일반적이는데, 세계기상기구(WMO)에서는 지상 10m 높이의 바람으로 10분간 지속해서 관측된 중심 부근의 최대풍속을 태풍 세기 구분의 기준으로 권장하고 있다. 이에 근거하여 일본 기상청(Japan Meteorological Agency, JMA)은 태풍을 TS(Tropical Storm, 최대풍속 17-24m/s), STS(Severe Tropical Storm, 최대풍속 25-32m/s), TY(Typhoon, 최대풍속 33m/s 이상)의 3등급으로 구분한다. 그러나 최근에는 태풍의 세기가 강해지면서 Violent Typhoon(최대풍속 54m/s 이상)이라는 용어를 사용하기도 한다. 1분 평균풍속을 태풍 세기 구분의 기준으로 사용하고 있는 미국 합동태풍경보센터(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)에서는 태풍을 TS(Tropical Storm, 최대풍속 17-32m/s), TY(Typhoon, 최대풍속 33-67m/s), SUTY(Super Typhoon, 최대풍속 68m/s 이상)의 3등급으로 구분하고, 이미 Super Typhoon이라는 용어를 채택하여 사용하고 있다(Kim, 2014).

해상에서 항해하는 선박은 태풍의 직접적인 영향을 받고, 그로 인해 큰 피해를 입기도 한다. 특히, 피크기 단계의 태풍은 매우 강한 바람과 함께 높은 파고를 동반하므로 선박의 안전에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 선박의 안전 운항을 책임지고 있는 항해자는 태풍의 세기 변화 및 이동 경로 등을 명확히 파악하고 그에 대한 효과적인 대응과 조치를 취함으로써 항해의 목적을 성공적으로 달성할 수 있다.

이 연구의 큰 목적은 태풍의 일생에 있어서 매우 중요한 의미를 가지는 태풍의 피크기에 대하여 분석함으로써 그 연구 결과를 현장에서 선박의 안전을 책임지고 있는 항해자들에게 제공하는 데에 있다. 그리고 궁극적으로는 해양사고 및 기상재해의 예방 및 최소화에 기여하고자 한다.

## 2. 사용 자료

이 연구에서는 최근 지구 온난화에 동반하여 강해지고 있는 태풍의 세기에 주목하여 10년간(2002-2011년)의 일본 기상청 자료(태풍의 이동 경로도 및 태풍 위치표)를 이용하여 태풍의 피크기에 관한 분석을 수행하였다. 여기서 피크기란 태풍 중심 부근의 최대풍속이 그 태풍의 일생 중에서 가장 강한 시기를 말한다. 일본 기상청에서 사용하는 태풍 세기의 분류 기준

인 최대풍속은 10분간의 평균풍속 중에서의 최대값을 의미한다.

10년간에 발생한 연구 대상 태풍은 총 221개로, 연평균 태풍의 발생 수는 22.1개이다. 이 연구에서는 해양사고 및 기상재해 발생에 있어서 매우 파괴적이고 위협적인 최대풍속(상기의 일본 기상청 분류 기준) 50m/s 이상의 태풍을 저자는 초강력 태풍(Ultra Typhoon)이라고 정의하여 분석에 사용하고자 한다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 최대풍속별 태풍 분포

Fig. 1은 10년 동안에 발생한 태풍의 수를 최대풍속별로 구분하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 최대풍속 20-29m/s와 40-49m/s의 태풍이 높은 비율을 차지하고 초강력 태풍에 해당하는 최대풍속 50-59m/s의 태풍도 3번째로 높은 비율을 차지한다.

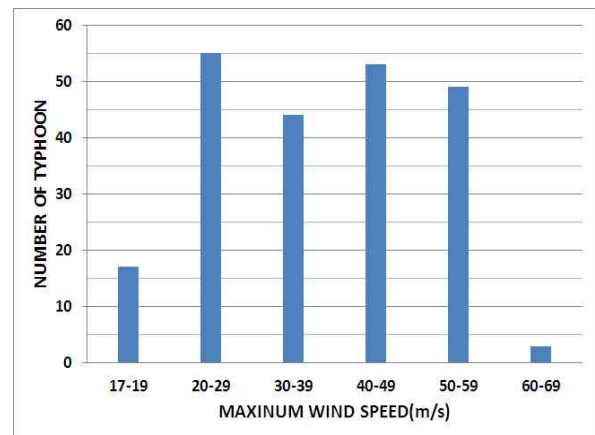


Fig. 1 Distribution for the number of typhoon by maximum wind speed(m/s)

좀 더 구체적으로 살펴보면, 최대풍속 20-29m/s의 태풍은 전체 태풍 수의 25%(55개)를 차지하고, 최대풍속 40-49m/s의 태풍은 24%(53개)를 차지한다. 그리고 최대풍속 50m/s 이상의 초강력 태풍도 전체 태풍 수의 24%(52개)를 차지하여 높은 비율을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이에 대한 항해자들의 각별한 경계를 요한다. 전체 태풍 221개의 평균 최대풍속은 36m/s이다.

### 3.2 피크기 도달일 수 및 피크기 유지 시간

북태평양 남서부 해상에서 열대저기압이 발생한 후 며칠 뒤에 피크기에 도달하는지 그리고 열대저기압이 태풍으로 발달한 후 며칠 뒤에 피크기에 도달하는지 그 일 수를 알아보았다. 그리고 피크기가 어느 정도 유지되는지도 분석해 보았다.

먼저, 열대저기압 발생 후 며칠 뒤에 피크기에 도달하는지 그 일 수를 살펴보면, 2일 이후에서 3일 이전이 전체 태풍의 25%를 차지하고 3일 이후에서 4일 이전이 23%를 차지한다. 따라서 전체 태풍의 약 절반이 열대저기압 발생 후 2일 이후에서 4일 이전에 피크기에 도달하게 된다. 4일 이후에서 5일 이전은 전체 태풍의 18%를 차지하여 3번째로 높은 비율을 보인다. 전체 태풍 221개를 대상으로 하여 구한, 열대저기압 발생 후 피크기에 도달하는 평균 일 수는 3.6일이다.

열대저기압이 발생하여 태풍으로 발달한 후 며칠 뒤에 피크기에 도달하는지 그 일 수를 살펴보면, 1일 이내가 전체 태풍의 31%를 차지하여 가장 높았고, 1일 이후에서 2일 이전이 26%를 차지한다. 결과적으로 열대저기압이 태풍으로 발달하면 약 1/3의 태풍이 1일 이내에 피크기에 도달하고, 약 2/3의 태풍은 2일 이내에 피크기에 도달한다는 사실을 알 수 있다. 전체 태풍 221개를 대상으로 하여 구한, 열대저기압이 태풍으로 발달한 후 피크기에 도달하는 평균 일 수는 2.1일이다.

위의 분석 결과에서 열대저기압 또는 태풍이 피크기에 도달하는 시간이 예상보다 빠르다는 사실을 알 수 있다. 대양을 항해하는 선박의 입장에서는 열대저기압이 발생하면 그의 발달 상황에 대하여 좀 더 이른 시기에 정확히 파악하고 그에 대한 피항 조치를 조기에 취할 필요성이 있다.

Fig. 2는 피크기에 도달한 태풍이 그 피크기를 유지하는 시간 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 통상 태풍의 수명은 6-7일이다. 여기서 태풍의 수명이란 초기 열대저기압부가 태풍으로 발달한 시점부터 태풍이 온대저기압으로 변질되거나 다시 열대저기압부로 약화되는 시점까지의 일 수를 말한다.

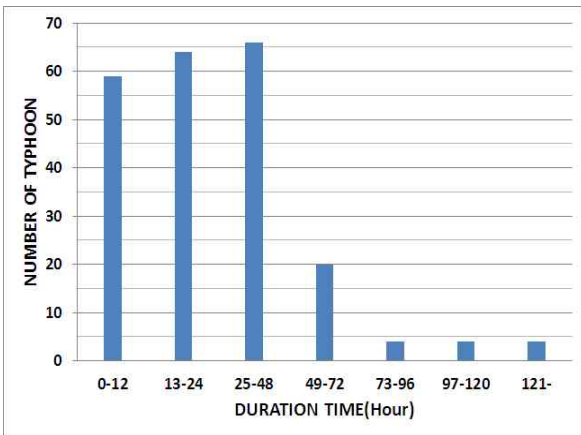


Fig. 2 Distribution of duration time of peak stage

그림을 통하여 태풍의 일생 중에서 세력이 가장 강한 피크기의 유지 시간을 살펴보면, 12시간 이내가 전체 태풍의 27%(59개), 13-24시간이 29%(64개), 25-48시간이 30%(66개)를 차지한다는 것을 알 수 있다. 피크기의 유지 시간이 24시간 이내인 경우는 전체 태풍의 56%를 차지하여 약 절반의 태풍이 이에 해당됨을 알 수 있다. 피크기의 유지 시간을 48시간으로 확장하

면 전체 태풍의 86%가 해당된다. 피크기 유지 시간이 3일(49-72시간)인 태풍은 9%(20개)로 낮은 비율을 보이고, 3일 이상인 태풍은 5%(12개)의 매우 낮은 비율을 차지한다. 이들 결과로부터 대부분의 태풍에서 피크기가 유지되는 기간은 2일 이내임을 알 수 있다. 그리고 전체 태풍 221개를 대상으로 하여 구한 피크기의 평균 유지 시간은 31시간이다.

### 3.3 피크기 출현 해역

Fig. 3과 Fig. 4는 태풍의 피크기가 나타나는 해역 즉, 출현 위도대 및 경도대의 분포를 나타낸 것이다. 그림을 통하여 알 수 있는 것처럼, 태풍의 피크기는 위도로 보았을 때는 주로 북위 15도에서 25도 사이에서, 경도로 보았을 때는 주로 동경 120도에서 140도 사이에서 출현한다.

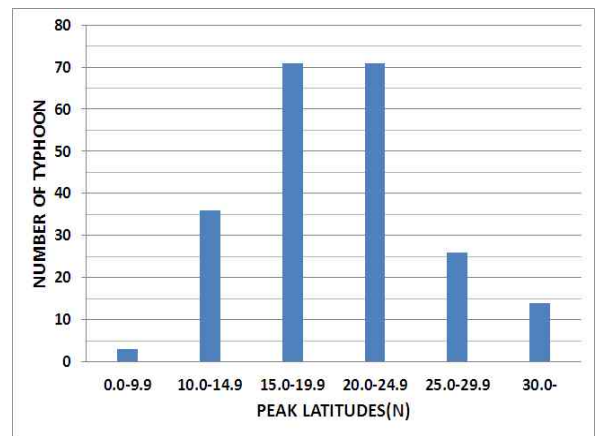


Fig. 3 Distribution of peak latitudes of typhoon

북위 15도에서 25도 사이에서 피크기를 보이는 태풍은 전체 태풍의 64%(142개)를 차지하고, 동경 120도에서 140도 사이에서 피크기를 보이는 태풍은 전체 태풍의 57%(125개)를 차지한다.

태풍의 피크기가 주로 출현하는 이 위험 해역(북위 15-25도, 동경 120-140도)은 서쪽에 타이완과 필리핀이 위치하고 동쪽으로는 광대한 북태평양만이 펼쳐져 있는 해양 환경적인 특성을 보인다. 그리고 8월의 평균 해수면 온도가 28℃ 이상을 보이는 고수온역이기도 하다. 수증기가 응결되면서 방출하는 잠열(습은열)을 에너지원으로 하는 태풍이 급격하게 발달할 수 있는 해역이라고 볼 수 있다. 타이완과 필리핀 동쪽의 북태평양을 항해하는 선박이 태풍의 영향을 받고 있을 때는 그 태풍이 일생 중에서 가장 강력한 단계 즉, 피크기일 가능성이 높으므로 보다 각별한 경계 및 대응을 요한다.

북위 15-25도 다음으로 태풍의 피크기가 자주 출현하는 위도대는 북위 10-15도로, 전체 태풍의 16%를 차지한다. 그리고 북위 10도 이남과 북위 30도 이북에서 피크기를 보이는 태풍은 적은 편이다(Fig. 3 참조). 전체 태풍 221개의 피크기가 나타나는 평균 위도는 북위 20도이다.

동경 120-140도 다음으로 태풍의 피크기가 자주 출현하는 경도대는 동경 110-120도(전체 태풍의 19%), 동경 140-150도(전체 태풍의 13%)이다. 동경 110도 이서와 동경 150도 이동에서 피크기를 보이는 태풍은 낮은 비율을 차지한다(Fig. 4 참조). 전체 태풍 221개의 피크기가 나타나는 평균 경도는 동경 131도이다.

결과적으로 태풍의 일생 중에서 세력이 가장 강한 피크기가 나타나기 시작하는 곳의 평균 위도 및 경도는 북위 20도 및 동경 131도라고 정리할 수 있다.

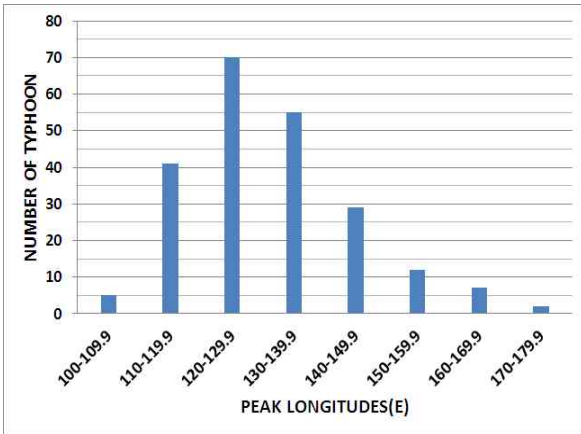


Fig. 4 Distribution of peak longitudes of typhoon

### 3.4 초강력 태풍

여기서는 해양사고 및 기상재해 관점에서 매우 중요한 의미를 가지는 최대풍속 50m/s 이상의 초강력 태풍(Ultra Typhoon)에 대하여 주요 출현 시기, 출현 해역(위도대 및 경도대) 등을 분석하고자 한다.

Fig. 5는 초강력 태풍 총 52개를 최대풍속별로 구분하여 그 분포를 나타낸 것이다. 최대풍속 50m/s 이상의 초강력 태풍을 등급별로 구분해 보면, 최대풍속 50m/s가 전체 초강력 태풍의 69%(36개), 55m/s가 25%(13개)를 차지하여 대다수를 점하고 있다는 사실을 알 수 있다. 그에 비하여 최대풍속 60m/s를 보이는 태풍은 전체 초강력 태풍의 4%(2개), 최대풍속 65m/s는 1개의 분포를 보인다. 태풍에 의한 선박이나 항만 구조물 등의 피해에 있어서 최대순간풍속은 매우 중요하고 직접적인 원인이 된다. 최대순간풍속은 최대풍속의 약 1.5배에 해당한다(Fukuchi, 1997). 따라서 초강력 태풍은 최대순간풍속이 100m/s에 가까운 경우가 많다.

Fig. 6은 초강력 태풍의 발생 월을 그래프로 나타낸 것이다. 초강력 태풍은 9월에 가장 많이 발생하고 5월, 8월, 10월에도 발생 빈도가 높다. 9월은 전체 초강력 태풍의 27%(14개)가 발생하고, 9월을 포함하는 8-10월에 전체의 58%(30개)가 발생한다. 그에 비하여 12-4월에는 초강력 태풍이 거의 발생하지 않는다. 항해자들은 5-11월, 특히 8-10월에 발생하는 열대저기압이

초강력 태풍으로 발달할 수 있다는 사실을 주목하여 주의할 필요가 있다. 9월에는 연평균 1-2개, 5월과 8월, 10월에는 연평균 1개 정도의 초강력 태풍이 발생한다.

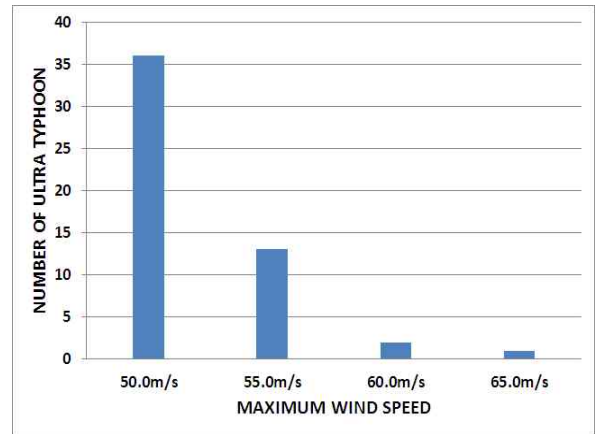


Fig. 5 Distribution for the number of Ultra Typhoon by maximum wind speed(m/s) for 10 years(2002-2011)

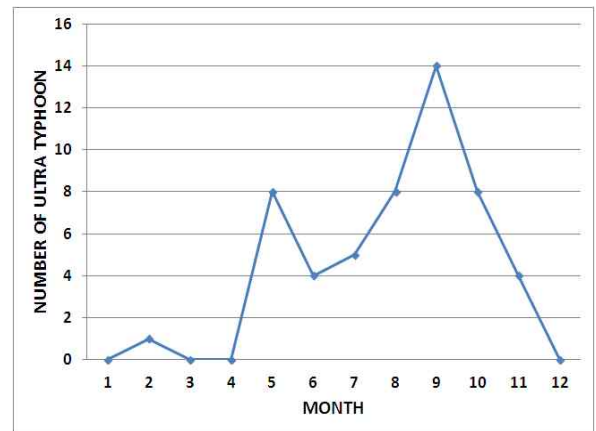


Fig. 6 The annual appearance frequency of Ultra Typhoon.

Fig. 7과 Fig. 8은 초강력 태풍이 피크기에 도달한 위도대 및 경도대를 나타낸 것이다. 북위 20도에서 25도 사이에서 피크기를 보이는 초강력 태풍이 전체 초강력 태풍의 39%(20개)를 차지하여 가장 많고, 그 다음은 북위 15도에서 20도 사이로 전체의 35%(18개)를 차지한다. 경도대를 살펴보면, 초강력 태풍이 피크기에 도달하는 경도대로 가장 높은 비율을 차지하는 것은 동경 120도에서 130도 사이라는 사실을 알 수 있다(44%, 23개). 그 다음 경도대는 동경 130도에서 140도 사이이다(39%, 20개). 위와 같은 사실로부터 초강력 태풍도 북위 15-25도, 동경 120-140도 해역에서 주로 피크기가 나타난다는 것을 알 수 있다. 이 위험 해역을 항해하는 선박은 보다 더 안전 위주의 항해를 하여야 한다.

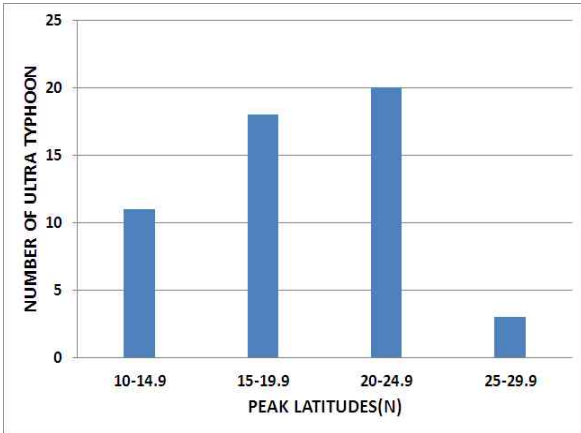


Fig. 7 Distribution of peak latitudes of Ultra Typhoon

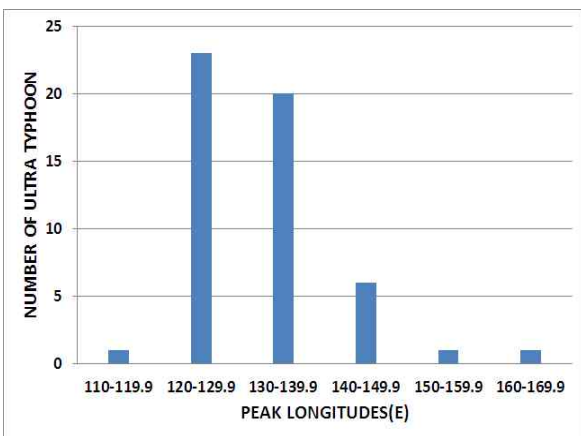


Fig. 8 Distribution of peak longitudes of Ultra Typhoon

#### 4. 결 론

3.3에서 분석한 바와 같이, 태풍의 일생 중에서 세력이 가장 강한 피크기(peak stage)는 위도로 보았을 때는 주로 북위 15도에서 25도 사이에서, 경도로 보았을 때는 주로 동경 120도에서 140도 사이에서 출현한다. 그리고 피크기가 나타나기 시작하는 곳의 평균 위도 및 경도는 북위 20도 및 동경 131도이다.

3.2에서는 태풍의 피크기가 유지되는 시간에 대하여 분석해 보았는데, 대부분의 태풍에서 피크기가 유지되는 기간은 2일 이내이다. 그리고 전체 태풍 221개를 대상으로 하여 구한 피크기의 평균 유지 시간은 31시간이다.

위의 결과들로부터, 태풍의 영향을 받을 가능성이 있는 북태평양을 항해하는 선박들은 특히, 북위 20도에서 25도 사이의 해역을 주의해야 한다는 중요한 사실을 알 수 있다. 이는 북위 20도는 평균적으로 태풍의 피크기가 시작되는 곳이고, 피크기의 평균 유지시간(31시간)과 태풍의 평균적인 이동 속도(약 20km/h)를 고려했을 때, 피크기가 끝나는 곳은 북위 25도 정도이기 때문이다.

결과적으로 정상 진로를 취하는 태풍의 피크기는 전항점의 남쪽 위도 5도부터 전항점을 포함하는 곳까지의 해역에서 출현한다는 사실도 충분히 유추할 수 있다. 전항 후 태풍은 일생의 단계 중에서 세력이 약화되는 쇠약기에 접어든다.

10년간(2002-2011년)에 발생한 총 221개의 태풍이 피크기에 보이는 특성을 분석하여 정리해 보았다. 최대풍속 20-29m/s와 40-49m/s의 태풍은 각각 전체 태풍의 25%(55개)와 24%(53개)를 차지한다. 최대풍속 50m/s 이상의 초강력 태풍도 전체 태풍의 24%(52개)를 차지하여 항해자들의 경계를 요한다. 열대저기압 발생 후 피크기에 도달하는 평균 일 수는 3.6일이고, 열대저기압이 태풍으로 발달한 후 피크기에 도달하는 평균 일 수는 2.1일이다.

태풍의 피크기가 주로 출현하는 위도대는 북위 15-25도, 동경 120-140도이다. 이 위험 해역은 서쪽에 타이완과 필리핀이 위치하고 동쪽으로는 광대한 북태평양만이 펼쳐져 있는 해양 환경적인 특성을 보인다. 이 해역을 항해하는 선박은 보다 각별한 주의를 요한다.

초강력 태풍은 9월에 가장 많이 발생하고 5월, 8월, 10월에도 발생 빈도가 높다. 9월은 전체 초강력 태풍의 27%(14개)가 발생하고, 8-10월에 전체의 58%(30개)가 발생한다. 9월에는 연평균 1-2개, 5월과 8월, 10월에는 연평균 1개 정도의 초강력 태풍이 발생한다. 초강력 태풍도 북위 15-25도, 동경 120-140도 해역에서 주로 피크기가 나타난다.

기상 분야에서 어떤 요소의 기후학적인 특성을 파악하기 위해서는 장기간의 자료를 사용하는 것이 일반적이나, 이 연구에서는 자료 입수의 제한으로 사용 자료의 기간이 10년으로 충분하지 못하다. 추후 이에 대한 보완이 있어야 할 것으로 판단되고, 궁극적으로는 보다 장기간의 자료를 사용하여 태풍의 피크기에 대한 추가적인 연구가 있어야 할 것이다.

#### References

- [1] Bengtsson, L., M. Botzet and M. Esch(1996), "Will greenhouse gas-induced warming over the next 50 years lead to higher frequency and greater intensity of hurricanes?", *Tellus*, 48A, pp. 57-73.
- [2] Fukuchi, A.(1997), *Ocean Meteorology Class*, Seizantou press, p. 20.
- [3] Haarsma, R. J., J. F. B. Mitchell and C. A. Senior(1993), "Tropical disturbances in a GCM", *Climate Dyn.*, 8, pp. 247-257.
- [4] Kim, B. Y.(2014), *Earth's Atmosphere and Climate Change*, Hakjin Books, p. 136.
- [5] Knutson, T. R., R. E. Tuleya and Y. Kurihara(1998), "Simulated increase of hurricane intensities in a CO<sub>2</sub>-warmed climate", *Science*, 279, pp. 1018-1020.
- [6] 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.

- [7] Seol, D. I.(2010), "Global warming and trends of typhoon variation", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 34,, No. 6, pp. 453-458.
- [8] Seol, D. I.(2013), Maritime Meteorology, Dasom press, pp. 282-283.
- [9] 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.
- [10] 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.

---

Received 19 November 2014

Revised 29 December 2014

Accepted 29 December 2014