

태풍과 엘니뇨·라니냐 현상과의 관계

† 설동일

† 한국해양대학교 항해학부

Relationship between Typhoon and El Niño · La Niña Events

† Dong-Il Seol

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

요 약 : 이 연구에서는 최근 25년간의 우리나라 기상청 및 일본 기상청 자료를 사용하여 선박의 안전에 크게 영향을 미치는 태풍과 엘니뇨·라니냐 현상과의 관계를 분석하였다. 주요 분석 결과는 다음과 같다. 엘니뇨 발생년의 연평균 태풍 발생 수는 23.9개이고, 라니냐 발생년의 그것은 24.9개이다. 엘니뇨 발생년에 태풍의 발생 수가 감소한다는 사실을 알 수 있다. 태풍의 세기를 나타내는 평균 중심최저기압과 평균 최대풍속은 엘니뇨 발생년에 959.3hPa과 35.8m/s, 라니냐 발생년에 965.5hPa과 33.7m/s이었다. 즉, 엘니뇨 발생년의 태풍의 세기가 라니냐 발생년의 태풍의 세기보다 강함을 알 수 있다. 구체적으로 평균 중심최저기압은 6.2hPa 낮고, 평균 최대풍속은 2.1m/s 강하다. 이와 같은 결과는 태풍의 발생 해역과 밀접히 관련되어 있다. 즉, 엘니뇨 발생년에 태풍은 동경 150도 이동 해역과 북위 10도 이남 해역에서 상대적으로 더 많이 발생하고, 라니냐 발생년의 태풍은 동경 120-150도 해역과 북위 20도 이북 해역에서 더 많이 발생한다. 동경 150도 이동 해역과 북위 10도 이남 해역에서 발생한 태풍은 북태평양 서부의 광범위한 고수온역을 보다 장시간 이동하게 되므로 더 강력하게 발달할 수 있다.

핵심용어 : 태풍, 엘니뇨·라니냐 현상, 태풍의 발생 수, 중심최저기압, 최대풍속

Abstract : This paper studies relationship between typhoon and El Niño · La Niña events by using 25 years meteorological data on KMA and JMA. The results are listed below. Annual mean number of typhoon's occurrence in El Niño event year is 23.9, and that in La Niña event year is 24.9. The number of typhoon's occurrence decreases in El Niño event year. Mean central minimum pressure and mean maximum wind speed in El Niño event year are 959.3hPa and 35.8m/s, and those in La Niña event year are 965.5hPa and 33.7m/s respectively. Intension of typhoon is stronger in El Niño event year than La Niña event year. To be more specific mean central minimum pressure is lower 6.2hPa and mean maximum wind speed is stronger 2.1m/s. This result is closely connected with sea area of typhoon's occurrence. Typhoons in El Niño event year are more likely to occur in east of 150E and south of 10N, but those in La Niña event year are more likely to occur in 120-150E and north of 20N. Typhoons which occur in east of 150E and south of 10N can be stronger because the typhoons move in broad sea area of high sea surface temperature in western North Pacific.

Key words : typhoon, El Niño · La Niña events, number of typhoon's occurrence, central minimum pressure, maximum wind speed

1. 서 론

무역풍이 태평양 적도 해역의 표층수를 서쪽으로 이동하게 하여 통상 서부 태평양의 저위도 해역에는 대량의 난수(暖水)가 축적되고 해면의 수위(水位)도 서부 태평양 쪽이 동부 태평양 쪽에 비하여 약 60cm 높다. 태평양 열대 해역에 있어서의 해면수온은 서측에서 높고 28℃가 넘는 난수가 인도네시아제도로부터 태평양 중앙까지 넓게 덮고 있다. 한편, 동부 태평양은 꽤 해면수온이 낮고 특히 남미의 에콰도르나 페루 연안에서는 20℃ 이하의 분포를 보이는 것이 일반적이다(Wadachi, 1993). 무역풍이 약해지면 서부 태평양에 축적된

난수가 동쪽으로 흐르게 되고, 수위도 적도 부근에서는 날짜 변경선의 동쪽에서 상승한다. 그에 따라 적도 부근 동부 태평양의 해면수온이 평년(平年) 이상으로 높아지게 되는데, 이를 엘니뇨현상(El Niño event)이라고 한다. 남미대륙 연안부에 형성된 난수역은 통상 10월 경에는 태평양의 중앙부까지 그 세력이 확장된다. 보통 엘니뇨현상의 피크는 12월 경이지만, 그 해의 초기부터 일어나기 시작하여 그 다음해의 중반까지 계속된다(Yamazaki and Hirooka, 1993).

라니냐현상(La Niña event)은 엘니뇨현상의 역으로, 적도 부근 태평양의 중앙부로부터 동부에 걸쳐서 해면수온이 평년보다 낮게 되는 경우를 말한다.

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

(주) 이 논문은 “엘니뇨·라니냐 현상과 태풍과의 관계 - 태풍 세기를 중심으로-”라는 제목으로 “2011년 추계학술대회는문집(부산 해운대센텀호텔, 2011.11.17.-19, pp. 204-205)”에 발표되었음.

엘니뇨현상이 발생하면 그 전까지 필리핀 등의 서부 태평양역에 있던 대류활동이 활발한 곳이 날짜변경선 부근으로 이동하기 때문에 적도에 따라서 존재하는 동서방향의 순환 즉, 워커순환(Walker circulation)도 이동한다. 그 결과, 평년의 인도네시아나 필리핀은 대류활동이 활발하고 상승류가 강하며 세계에서 강우량이 많은 국가들로 유명하지만 엘니뇨현상이 발생하면 하강류가 강해지고 가뭄이 일어난다. 또 대기대순환의 남북순환도 변하기 때문에 세계 각지에 이상기상(異常氣象)을 가져온다. 이에 더하여 엘니뇨현상은 해양사고를 일으키는 제1의 원인이라고 할 수 있는 태풍에도 영향을 미친다. 엘니뇨현상 발생년의 태풍 발생 수는 다른 해에 비하여 적다는 연구 결과가 있다(JMA, 1994). 그리고 엘니뇨현상이 발생하면 북태평양고기압이 예년보다 남하하기 때문에 태풍의 발생 위도도 남하하는 경향이 있다(NHK, 1998). Seol et al.(2001)은 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수가 엘니뇨현상이 발생하면 감소하고, 라니냐현상이 발생하면 증가한다고 하였으나, 이는 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수에 관한 것으로 연구 결과가 제한적이었다.

이 연구에서는 상기의 내용 및 연구 결과 등에 주목하여 전세계적으로 이상기상을 가져오는 엘니뇨·라니냐 현상과 선박 및 항만 등의 안전에 매우 중요한 영향을 미치는 태풍과의 관계를 분석하고자 한다.

2. 연구 방법

이 연구의 분석 대상은 태풍의 발생 수 및 세기 등이고, 연구를 위하여 최근 25년간(1986-2010년)의 대한민국 기상청(KMA)과 일본 기상청(JMA) 자료를 사용하였다. 이 연구에서는 엘니뇨감시해역(북위 4도-남위 4도, 서경 150도-90도)의 해면수온의 기준치와의 차의 5개월 이동평균치가 6개월 이상 계속하여 +0.5℃ 이상이 된 경우를 엘니뇨현상, -0.5℃ 이하가 된 경우를 라니냐현상이라고 정의한다. 그리고 엘니뇨 발생년은 엘니뇨현상이 시작된 해부터 종료된 해까지를, 라니냐 발생년은 라니냐현상이 시작된 해부터 종료된 해까지로 정의한다. 통상 엘니뇨현상과 라니냐현상은 봄에 발생하여 그 다음해 봄에 종료된다. 현상이 종료된 후에도 태풍의 발생 수 및 세기 등에 영향을 미치는 해면수온의 변화는 완만하다는 전제 하에 엘니뇨 발생년과 라니냐 발생년을 정의하였다.

3. 연구 결과

3.1 태풍 발생 수와의 관계

Table 1은 25년(1986-2010년) 전 기간에 대하여 엘니뇨 발생년(E, 총 10년)과 라니냐 발생년(L, 총 10년)을 구분하여 태풍의 발생 수를 정리한 것이다. 그리고 Fig. 1은 엘니뇨 발생년(E)

과 라니냐 발생년(L) 그리고 25년 전 기간(T)에 대한 태풍의 연평균 발생 수를 그래프로 나타낸 것이다.

25년 전 기간의 연평균 태풍의 발생 수는 25.4개이다. 이는 25년을 포함하면서 보다 더 장기간인 60년간(1951-2010년)의 연평균 태풍의 발생 수 26.3개보다 약 1개 적은 값이다. 이 결과는 최근 지구온난화가 지속되면서 태풍(또는 허리케인)의 발생 수가 서서히 감소하는 추세를 보이고 있다는 여러 연구 결과(Emanuel, 1986, 1987; Bengtsson et al., 1996; Sugi et al., 1997, 2002; Knutson et al., 1998; Seol, 2010)를 뒷받침한다.

엘니뇨 발생년의 연평균 태풍의 발생 수는 23.9(표준편차 5.7)개로 라니냐 발생년의 24.9(표준편차 3.7)개, 전 기간의 25.4(표준편차 5.0)개보다 적다. 엘니뇨 발생년의 연평균 태풍의 발생 수는 라니냐 발생년의 연평균 태풍의 발생 수보다 1.0개 적고, 전 기간의 그것보다는 1.5개 적다. 이들 결과로부터, 엘니뇨현상이 발생하면 태풍의 발생 수가 감소한다는 사실을 알 수 있다.

Table 1 Number of typhoon's occurrence in El Niño event year(E) and La Niña event year(L)

Event year	Number of typhoon's occurrence
1986-1987(E)	52
1988-1989(L)	63
1991-1992(E)	60
1995-1996(L)	49
1997-1998(E)	44
1999-2000(L)	45
2002-2003(E)	47
2005-2006(L)	46
2007-2008(L)	46
2009-2010(E)	36

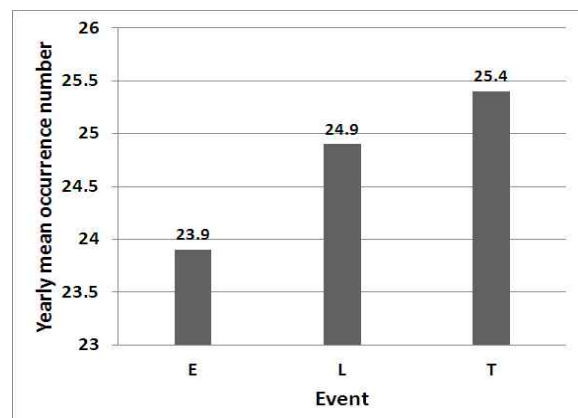


Fig. 1 Yearly mean occurrence number of typhoon in El Niño event year(E), La Niña event year(L) and total period(T)

엘니뇨 발생년에 태풍의 발생 수가 적은 것은 서부 태평양의 난수가 동쪽으로 흐르면서 해면수온이 평년보다 낮아지기 때문이다. 그리고 엘니뇨현상에 의한 위커순환의 변화로 태풍이 주로 발생하는 서부 태평양 열대역의 대류활동이 약해지고 그에 따라 상승류도 약해지기 때문이라고 해석할 수 있다.

3.2 태풍 세기와의 관계

Table 2는 25년(1986-2010년) 전 기간에 대하여 엘니뇨 발생년(E, 총 10년)과 라니냐 발생년(L, 총 10년)을 구분하여 태풍의 평균 중심최저기압과 평균 최대풍속을 정리한 것이다. 그리고 Fig. 2와 Fig. 3은 각각 엘니뇨 발생년(E)과 라니냐 발생년(L), 전 기간(T)의 태풍의 평균 중심최저기압과 평균 최대풍속을 나타낸 것이다. 태풍의 중심최저기압과 최대풍속은 태풍의 세기를 나타내는 대표적인 지표이다.

Table 2와 Fig. 2, Fig. 3을 통하여, 엘니뇨 발생년의 태풍의 평균 중심최저기압과 평균 최대풍속은 각각 959.3(표준편차 2.6)hPa과 35.8(표준편차 1.3)m/s라는 것을 알 수 있다. 그리고 라니냐 발생년의 그것들은 각각 965.5(표준편차 6.0)hPa과 33.7(표준편차 2.5)m/s이다. 이는 엘니뇨 발생년의 태풍 세기가 라니냐 발생년의 태풍 세기보다 평균 중심최저기압은 6.2hPa 낮고, 평균 최대풍속은 2.1m/s 강하다는 것을 의미한다. 결과적으로 엘니뇨 발생년의 태풍 세기가 라니냐 발생년의 태풍 세기보다 강하다는 사실을 알 수 있다.

Table 2 Mean central minimum pressure and mean maximum wind speed of typhoons in El Niño event year(E) and La Niña event year(L)

Event year	Mean central minimum pressure(hPa)	Mean maximum wind speed(m/s)
1986-1987(E)	955.3	37.2
1988-1989(L)	967.4	32.7
1991-1992(E)	959.6	35.2
1995-1996(L)	967.8	33.3
1997-1998(E)	962.4	34.0
1999-2000(L)	971.4	30.8
2002-2003(E)	959.7	36.1
2005-2006(L)	955.5	37.6
2007-2008(L)	965.0	34.2
2009-2010(E)	960.0	36.9

전 기간(T)의 평균 중심최저기압은 962.3hPa이고, 평균 최대풍속은 35.0m/s로, 역시 엘니뇨 발생년의 태풍 세기보다 약한 결과를 보인다. 엘니뇨 발생년의 태풍은 전 기간의 태풍보다 중심최저기압은 3.0hPa 낮고, 최대풍속은 0.8m/s 강하다.

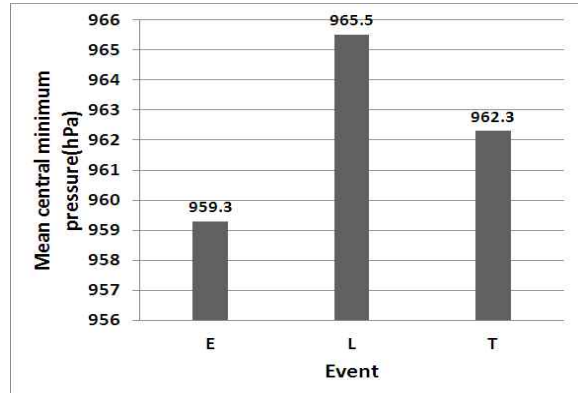


Fig. 2 As in Fig. 1, except for mean central minimum pressure of typhoons

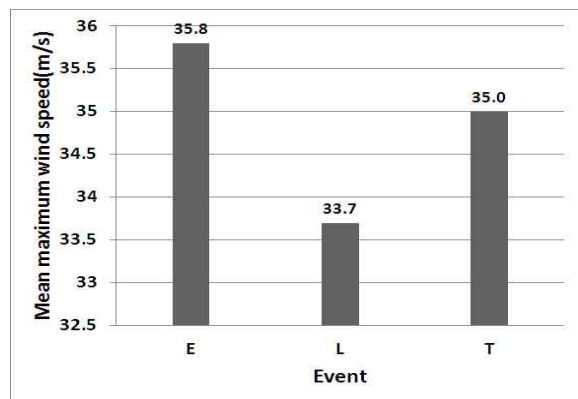


Fig. 3 As in Fig. 1, except for mean maximum wind speed of typhoons

4. 엘니뇨·라니냐 현상과 태풍 특성 분석

엘니뇨 발생년의 태풍 세기가 라니냐 발생년의 태풍 세기보다, 그리고 전 기간의 태풍 세기보다 강한 이유는 여러 가지로 생각해 볼 수 있으나, 가장 근거 있게 유추할 수 있는 것은 태풍 발생 해역의 차이일 것이다. 발생 해역에 따라 태풍의 세기가 서로 다른 것은 이미 다른 연구에서 밝혀진 바 있다(Hukuchi, 1997).

Fig. 4는 엘니뇨 발생년(E)과 라니냐 발생년(L) 그리고 25년 전 기간(T)에 대한 해역별 태풍의 발생 수를 나타낸 것이다. SEA AREA I은 북위 20도 이북 해역을, SEA AREA II는 남중국해를, 그리고 SEA AREA III-SEA AREA VI은 북위 10도와 동경 150도를 경계로 4개의 해역으로 구분하였다. 이는 태풍이 주로 발생하는 필리핀 동쪽의 북태평양 남서부 해역을 위도는 10도 간격으로, 경도는 30도 간격으로 균등하게 구분한 것이다.

Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이, 엘니뇨 발생년에 태풍은 동경 150도 이동(以東) 해역과 북위 10도 이남(以南) 해역에서 상대적으로 많이 발생한다(SEA AREA IV-SEA AREA VI

참조). 그에 비하여 라니냐 발생년에는 동경 120도-150도 해역과 북위 20도 이북(以北) 해역에서 태풍이 더 많이 발생한다(SEA AREA III과 SEA AREA V, SEA AREA I 참조). 남중국해와 북위 10-20도 해역에서는 엘니뇨 발생년과 라니냐 발생년에 있어서의 태풍의 발생 수에 거의 차이가 없다(SEA AREA II - SEA AREA IV 참조).

		SEA AREA I		20N
		E : 23 L : 53 T : 93		
SEA AREA II E : 31 L : 28 T : 74	SEA AREA III		SEA AREA IV	10N
	E : 81 L : 98 T : 236		E : 38 L : 19 T : 81	
	SEA AREA V		SEA AREA VI	EQ
	E : 20 L : 42 T : 79		E : 46 L : 9 T : 73	
		120E	150E	

Fig. 4 Typhoon numbers according to the sea areas of occurrence in El Niño event year(E), La Niña event year(L) and total period(T)

구체적으로 해역별로 살펴보면, SEA AREA I은 라니냐 발생년의 태풍 발생 수가 엘니뇨 발생년의 그것보다 약 2.3배 많다는 사실을 알 수 있다. 그리고 SEA AREA II는 엘니뇨 발생년의 태풍 발생 수와 라니냐 발생년의 태풍 발생 수가 거의 비슷하다는 것을 확인할 수 있다. SEA AREA III은 6개의 해역 중에서 태풍의 발생 수가 가장 많다. 전체 태풍의 발생 수 636개의 약 37%(236개)를 차지한다. 그리고 라니냐 발생년의 태풍 발생 수가 엘니뇨 발생년의 태풍 발생 수보다 많다. 그러나 그 차이는 그리 크지 않다. 그에 비하여 SEA AREA IV는 엘니뇨 발생년에 태풍이 더 많이 발생하고, 라니냐 발생년의 태풍 발생 수보다 2배 많다는 사실을 알 수 있다. SEA AREA V는 SEA AREA IV와는 반대로 라니냐 발생년의 태풍의 발생 수가 엘니뇨 발생년의 그것보다 약 2배 많다. SEA AREA VI은 라니냐 발생년보다 엘니뇨 발생년에 태풍이 약 5배 더 많이 발생한다.

북태평양 남서부 해역은 광범위하게 고수온역이 형성되어 있으므로 1년에 걸쳐 태풍이 발생할 수 있는 수역이다. 전 지구에서 발생하여 발달한 열대저기압(보퍼트풍력계급 8 이상)의 약 40%가 북태평양 남서부 해역에서 발생한다. 그와 같은 수역을 태풍이 보다 오랜 시간 이동해 간다면, 수증기를 에너지원으로 하는 태풍은 강력하게 발달할 수 있다. 즉, 태풍의

세기가 강해질 수 있다. 그에 비하여 육지에 가까운 수역에서 발생한 태풍은 바로 육지에 상륙할 가능성이 높기 때문에 마찰저항의 영향을 크게 받게 되고 에너지원인 수증기의 공급이 원활하지 않아 결국 크게 발달하지 못하고 쇠약, 소멸하게 된다.

결론적으로 발생 해역의 차이로 엘니뇨 발생년에 발생하는 태풍은 보다 강하게 발달할 수 있고, 라니냐 발생년에 발생하는 태풍은 상대적으로 크게 발달하지 못한다고 해석할 수 있다.

이에 더하여 대규모 엘니뇨현상과 라니냐현상이 발생했던 시기의 대표적인 태풍의 사례를 들어 각각의 경우에 있어서의 태풍 특성을 비교, 분석함으로써 태풍의 세기 차이의 원인을 고찰할 수도 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 대규모 엘니뇨 현상이 발생했던 1997년의 제23호 태풍 IVAN과 제24호 태풍 JOAN의 이동경로도이다. 이들 태풍은 1997년에 발생했던 태풍 중에서 중심최저기압이 가장 낮은 태풍 즉, 가장 강한 태풍에 해당한다(공히 중심최저기압 905hPa). 그리고 Fig. 7과 Fig. 8은 대규모 라니냐현상이 발생했던 1988년의 제24호 태풍 NELSON과 1989년의 제8호 태풍 GORDON의 이동경로도이다. 이들 태풍 역시 1988-1989년에 발생했던 태풍 중에서 중심최저기압이 가장 낮은 태풍에 해당한다(공히 중심최저기압 915hPa).

그림에서 알 수 있는 것처럼, 엘니뇨 발생년의 태풍 9723 IVAN과 9724 JOAN은 동경 150도 이동 해역에서 발생하여 넓은 북태평양 남서부 해역의 고수온역을 오랜 시간 이동하면서 크게 발달하는 모습을 보인다. 9723 IVAN과 9724 JOAN의 태풍으로서의 수명은 각각 11일과 10일이고, 세기를 나타내는 지표 중의 하나인 중심최저기압은 공히 905hPa이었다. 그리고 중심 최대풍속은 공히 53m/s를 기록하였다. 이들 태풍은 공통적으로 전향하면서 포물선 형태의 이동경로를 보인다. 즉, 정상진로를 취하는 태풍이었다.

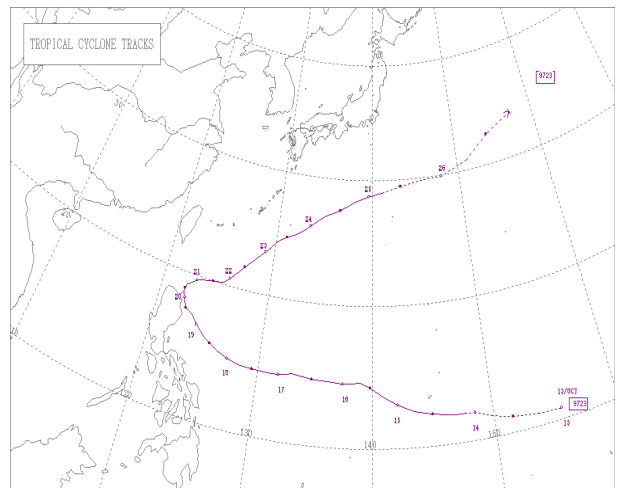


Fig. 5 Trajectory of Typhoon 9723 IVAN(Source : JMA)

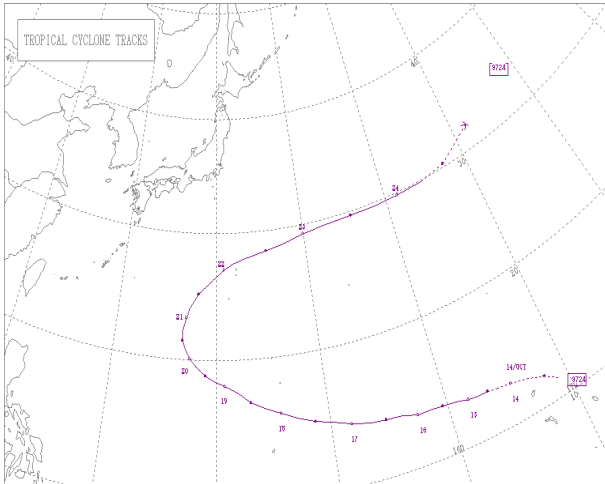


Fig. 6 Trajectory of Typhoon 9724 JOAN(Source : JMA)

그에 비하여 라니냐 발생년의 태풍 8824 NELSON과 8908 GORDON은 동경 150도 이서 해역에서 발생하였고, 상대적으로 짧은 수명을 보이는 특성이 있다. 8824 NELSON과 8908 GORDON의 태풍으로서의 수명은 각각 8일과 7일이고, 중심최저기압은 공히 915hPa이었다. 그리고 중심 부근의 최대풍속은 50m/s를 기록하였다. 이동경로 측면에서도 8824 NELSON은 정상진로를 보였으나, 8908 GORDON은 발생 후 곧 바로 북서진하는 서진형진로를 나타내었다.

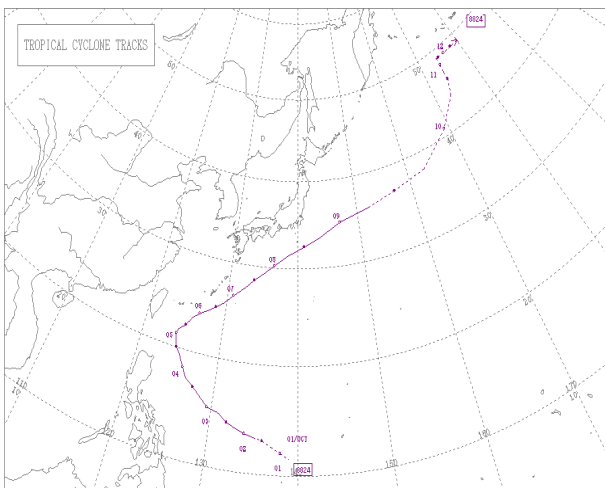


Fig. 7 Trajectory of Typhoon 8824 NELSON(Source : JMA)

이들 대표적인 사례에서도 엘니뇨 발생년의 태풍은 북태평양 남서부 해역의 보다 먼 동쪽 바다에서 발생하여 고수온역을 장기간 이동하면서 강하게 발달하는 경향을 보인다는 것을 확인할 수 있다. 그에 비하여, 라니냐 발생년의 대표적인 태풍 8824 NELSON과 8908 GORDON은 북태평양 남서부 해역의 비교적 서쪽 바다에서 발생하고 수명이 상대적으로 짧아 태풍으로서

더 강력하게 발달할 수 없는 환경의 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

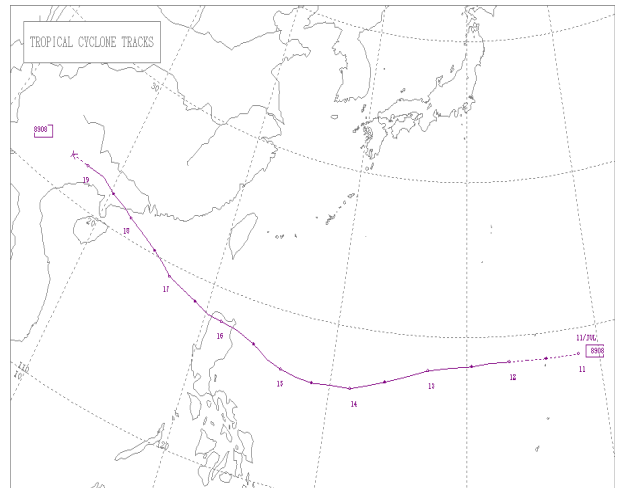


Fig. 8 Trajectory of Typhoon 8908 GORDON(Source : JMA)

5. 결 론

25년간(1986-2010년)의 자료를 사용하여 태풍과 엘니뇨·라니냐 현상과의 관계를 분석하였다. 주요 연구 결과를 요약, 정리하면 다음과 같다.

(1) 엘니뇨 발생년의 태풍의 연평균 발생 수(23.9개)는 라니냐 발생년의 연평균 태풍 발생 수(24.9개)보다 적다. 이는 엘니뇨현상이 발생하면, 서부 태평양의 난수가 동쪽으로 흐르면서 서부 태평양 열대역의 해면수온이 평년보다 낮아지기 때문이다. 그리고 엘니뇨현상에 의하여 태풍이 주로 발생하는 서부 태평양 열대역의 대류활동이 약해지고, 그에 따라 상층류도 약해지기 때문이다.

(2) 25년 전 기간에 대한 태풍의 연평균 발생 수는 25.4개로, 보다 장기간인 60년(1951-2010년)의 그것(26.3개)보다 적다. 이는 근래 지구온난화에 동반하여 태풍(또는 허리케인)의 발생 수가 감소하고 있다는 연구 결과들을 뒷받침한다.

(3) 태풍의 세기는 엘니뇨 발생년의 태풍(평균 중심최저기압 959.3hPa, 평균 최대풍속 35.8m/s)이 가장 강하였고, 그 다음은 전 기간의 태풍(962.3hPa, 35.0m/s), 라니냐 발생년의 태풍(965.5hPa, 33.7m/s) 순이었다. 이는 태풍의 발생 해역과 밀접히 관련되어 있다.

(4) 엘니뇨 발생년의 태풍은 동경 150도 이동 해역과 북위 10도 이남 해역에서 상대적으로 더 많이 발생하고, 라니냐 발생년의 태풍은 동경 150도 이서 해역과 북위 20도 이북 해역에서 더 많이 발생한다. 엘니뇨 발생년의 태풍은 북태평양 남서부의 광범위한 고수온역을 보다 장기간 이동하게 되므로 태풍으로서 더 강하게 발달할 수 있다.

이 연구에서 엘니뇨현상이 발생하면 태풍의 발생 수는 다소

감소하나 세기는 강해진다는 사실을 확인하였다. 최근 지구온난화에 동반하여 전 지구적으로 이상기상의 빈도가 높아지고 그에 따라 기상재해가 증가하고 있다. 엘니뇨현상은 해양 기상재해의 전형이라고 할 수 있는 태풍의 세기를 강화시키는 중요한 역할을 한다. 이는 결과적으로 선박의 안전한 항해, 항만 구조물 및 수산 시설 등의 안전 관리를 심각하게 위협할 수 있어 이에 대한 각별한 주의 및 대응이 요구된다.

원고접수일 : 2013년 9월 23일
 심사완료일 : 2013년 12월 18일
 원고채택일 : 2013년 12월 18일

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] Emanuel, K. A.(1986), "An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part 1: Steady-state maintenance", *J. Atmos. Sci.*, 43, pp. 585-604.
- [3] Emanuel, K. A.(1987), "The dependence of hurricane intensity on climate", *Nature*, 326, pp. 483-485.
- [4] Hukuchi, A.(1997), *Ocean Meteorological Class*
- [5] Japan Meteorological Agency(1994), *Unusual Weather Report*
- [6] Knutson, T. R., R. E. Tuleya and Y. Kurihara(1998), "Simulated increase of hurricane intensities in a CO₂-warmed climate", *Science*, 279, pp. 1018-1020.
- [7] NHK(1998), *Meteorological Hand Book*
- [8] Seol, D. I.(2010), "Global warming and trends of typhoon variation", *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 34, No. 6, pp. 453-458.
- [9] Seol, D. I., Kim, K. M., Lee, K. J. and Lee, D. J.(2001), "Relationship between El Niño and La Niña Phenomena and the Number of Typhoons Which have Affected on Korea", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-6.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Wadachi, K.(1993), *Encyclopedia of Meteorology*
- [13] Yamazaki, M. and T. Hirooka(1993), *Science of Meteorology and Environment*