

산악지형에 의한 태풍의 강도 변화

- 제주도 및 대만 통과 시 -



차 은 정 >>
기상청 예보국 태풍항사팀 기상연구관
cha@kma.go.kr



심 재 관 >>
기상청 예보국 태풍항사팀 기상연구사
srsjk@kma.go.kr



김 은 정 >>
기상청 예보국 태풍항사팀 기상주사보
skydorothy@kma.go.kr

으로 북상한 뒤 소멸한다. 과거 연구에 의하면 구조 변화의 원인은 여러 가지가 있다. 그 중에서도 대만이나 제주도처럼 높은 산이 있는 지형을 지날 경우 강도가 약화되고 구조의 변화가 생긴다(Chang et al., 1993).

대만을 통과할 때 지형적인 원인으로 태풍의 강도나 진로가 변화하는 점에 주목하여 많은 연구들이 이루어졌다. 예를 들면 Brand and Brelloch(1974)는 미국 합동태풍경보센터(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)에서 발간된 연간보고서를 이용하여 1960~1972년까지 13년간 대만을 통과한 25개의 태풍 중에서 대만을 통과할 때 서쪽(혹은 북서쪽) 방향으로 이동한 22개 태풍에 대해 대만 상륙 48시간 전부터 대만 통과 12시간 후까지의 특성을 연구하였다. 이 연구에 의하면, 대만 상륙 12시간 전까지 태풍의 강도가 증가하다가 그 이후부터 감소하였다는 결과가 나왔다.

한편, 제주도는 대만에 비해 수평·연직규모가 작지만, 남한 최고 높이인 한라산이 위치하고 있기 때문에 태풍이 제주도에 상륙 또는 주변 해상을 통과할 때 강도변화가 있을 것이라고 예상할 수 있다. 그 대표적인 예가 제주도를 통과하여 우리나라에 상륙한

1. 서론

대부분의 태풍은 저위도 해상에서 발생하여 다양한 구조변화를 거치면서 우리나라를 비롯한 온대지방

"한라산이 태풍 '나리' 본토 피해 줄였다"

연합뉴스 기사입력 2007-09-17 17:35

제주는 상처 투성이.. '최악의 태풍' 기록될 듯

(제주=연합뉴스) 김승범 기자 = 제11호 태풍 '나리'가 제주도에 엄청난 상처를 입혔지만 당초 예상과는 달리 한반도 내륙에서 빨리 소멸해 본토에 별다른 피해를 주지 않은 것은 한라산 덕분이라는 분석이 나왔다.

그림 1. 제11호 태풍 '나리' 관련기사(연합뉴스에서 발췌)

2007년 제11호 태풍 '나리'이다. 그러나 태풍이 제주도를 통과하면서 강도가 급격히 변화할 것이라는 예상은 아직까지는 추측일 뿐이었다. 제11호 태풍 '나리'가 제주도를 통과할 때 한라산이 태풍강도 변화에 큰 역할을 한 것처럼 신문기사(그림 1)가 나갔으나, 실제 관측 자료에 의하면 중심최저기압은 960 hPa로 변화가 없었고, 지상에서 관측한 바람은 최고 기록을 경신하였으나 중심부근 최대풍속은 오히려 5 m/s 감소하였다.

이처럼 정확한 원인 규명을 위해서는 장기간의 관측 자료를 분석할 필요가 있다. 따라서 이 연구의 목적은 태풍이 제주도와 대만 등의 산악지형을 통과할 경우, 통과 전후에 지형적 여건에 의해 태풍이 어느 정도의 강도 감소효과가 이루어지는가를 기압 및 바람자료 등 장기간의 관측 자료를 통하여 살펴보는 데 있다.

2. 자료 및 분석방법

이 연구에서는, Brand and Blelloch(1974)가 연구했던 자료를 더 보강하고 세부적으로 분류하기 위해 1971년부터 2006년까지(36년)의 일본 동경에 있는 지역특별기상센터(Regional Specialized Meteorological Center, RSMC)-Tokyo와 JTWC의 최적경로(best track) 자료를 사용하였다. 1977~2006년의 여름철(7~9월)에 제주도를 통과한 태풍 28개와 대만을 통과한 79개 태풍을 분석하였다. 또한 2007년 우리나라 제주도(제11호 태풍 나리)와 대만(제8호 태풍 스팟, 제15호 태풍 크로사)을 통과한 태풍 사례에 대해서도 분석하였다.

태풍 이동 경로의 분류는 대만의 중심(23°N, 121°E)을 지나는 것을 (1), 남쪽(22°N, 121°E) 지나는 것을 (2), 북쪽(25°N, 122°E)을 지나는 것을 (3)으로 분류하였다. 설정된 위·경도를 중심으로 위·경도 영역을 통과한 사례를 선택하였으며, 대만의 남쪽과 북쪽을 통과한 경우 육상을 통과한 사례는 제외하였다. 제주도의 경우 대만보다 작기 때문에 제주도 중심(33°N, 126°E)으로 위·경도 영역을 통과한 태풍을 선택하였으며, 상륙한 경우를 (4), 서쪽 해상을 통과한 것을 (5), 동쪽 해상을 통과한 경우를 (6)으로 분류하였다. 태풍의 강도변화를 살펴보는데 있어서, Brand and Blelloch(1974)가 타이완을 지날 때 서진(혹은 북서진)하는 태풍에 대해서만 연구한 것과 달리 이 연구에서는 서진 뿐 아니라 영역 내의 모든 태풍(예를 들면 타이완을 지날 때 북동진하는 태풍)에 대하여 연구하였

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	년(상)/합계(하)
평년	0.5	0.1	0.4	0.8	1.0	1.7 (0.3)	4.0 (0.9)	5.5 (0.9)	3.9 (0.1)	3.9 (0.1)	2.5	1.3	26.7 (3.4)
2007	0	0	0	1	1	0	3 (2)	4	5 (1)	6	4		24 (3)

※ ()안의 숫자는 우리나라에 영향을 미친 월별 태풍의 수임.

※ 평년은 1971~2000년까지 평균한 자료이며, 소수점 한자리까지 표시하였음

※ 2007년 12월 3일 현재 24개 태풍이 발생, 그 중 7월에 2개(4호 마니, 5호 우사기), 9월에 1개(11호 나리)가 우리나라에 영향을 주었음. 2개(12호 위파, 15호 크로사)는 중국 화남지방에 상륙하였음.



다. 강도변화 분석방법은 Brand and Brelloch(1974)의 방법에 따라 제주도 및 대만 상륙 48시간 전부터 섬을 통과한 12시간 후까지 6시간 간격의 자료를 사용하였다. 한편 이 기간을 만족하지 못한 태풍은 이 연구에서 제외하였다. 또한 상륙한 태풍 중심이 제주도(대만) 중심과 가장 가까운 위치에서 관측된 시각을 제주도(대만) 중심을 통과한 시점으로 하였다.

이와 같이 선택된 태풍들에 대해 대만과 제주도 상륙 48시간 전부터 상륙 12시간 후까지의 중심기압 및 최대풍속의 변화를 통해 강도변화를 도출하였다. 또한 태풍의 강도에 따라 강도변화의 폭이 달라지는 것을 알아보기 위해 최대풍속이 64 knots(37 m/s) 이상인 태풍을 강한 태풍, 최대풍속이 64 knots(37 m/s)미만인 태풍을 약한 태풍으로 분류하여 각각에 대해 강도변화를 조사해보았다.

결론을 내리기에 앞서 제주도와 대만의 지리적 위치와 지형을 살펴보면, 제주도는 중심 위치가 약 북위 33도, 동경 126도이고 한라산(1.95 km)을 정점으로 동서 73 km, 남북 31 km로 동서로 긴 타원형이다. 한편, 대만은 중심이 약 북위 23.5도, 동경 121도이고 남북을 가로지르는 중앙산맥이 있는데 중앙산맥의 최고 높이는 3 km이다. 또한 동서로 145 km, 남북으로 260 km로 남북으로 긴 타원형이다. 제주도가 대만에 비해 수평·연직방향으로 작은 것을 알 수 있다.

3. 결론

3.1 2007년 사례 분석

3.1.1 제11호 태풍 '나리(NARI)'

태풍 나리는 9월 13일 15시경 일본 오키나와 남동쪽 약 660 km 부근 해상(북위 22.7도, 동경 132.9도)에서 비교적 고위도에서 발생하였다. 이후 계속 북상하여 9월 16일 낮 제주도 성산 부근을 지나, 18시 15분 경 전라남도 고흥반도(북위 34.5도, 동경 127.4도)로 상륙하였고, 9월 17일 00시경 안동 남서쪽 약

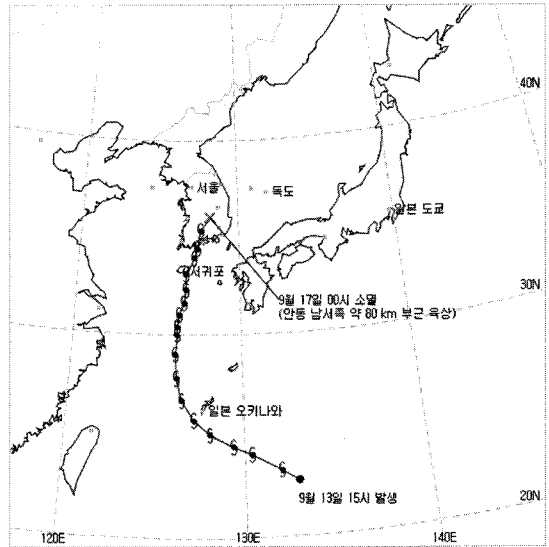


그림 2. 제11호 태풍 '나리' 진로도

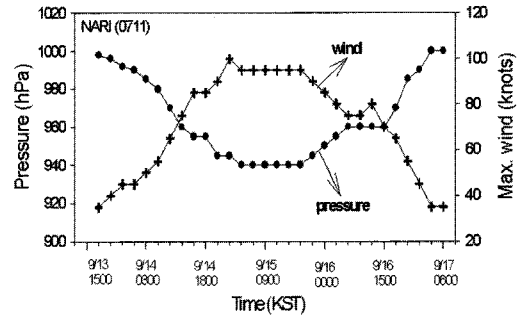


그림 3. 제11호 태풍 '나리'의 3시간 간격으로 관측한 중심 최저기압(●)과 최대풍속(+) 시계열 분포도. 왼쪽 종축은 중심기압(단위 : HPA), 오른쪽 종축은 최대풍속(단위 : KNOTS), 횡축은 한국 표준시임.

80km 부근 육상(북위 36.0도, 동경 128.2도)에서 온 대저기압으로 변질되어 일생을 마쳤다(그림 2).

11호 태풍은 제주도 통과 전·후로 풍속 2.5 knots (5 m/s) 감소, 중심기압은 960 hPa로 태풍 자체의 값은 거의 변화가 없었다(그림 3). 그러나 9월 16일 제주도 통과 시 지상에서 관측한 강수량과 최대 풍속은 극값을 경신하였다(표 1).

3.1.2 제8호 태풍 '스팟(SEPAT)'

태풍 '스팟'은 8월 13일 03시경 미국 괌 서북서쪽

표 1. 태풍 '나리' 로 인한 기상현상 기록값

구분	기상 요소	순위
1	일강수량 극값 경신	- 1위 제주 420.0 mm 2007. 9. 16. (1923년 관측 개시) · 2위 제주 301.2 mm 1927. 9. 11. ※ 일강수량 극값 전국 1위 : 강릉 870.5 mm (2002. 8. 31.)
2	일최대풍속(10분) 극값 경신	- 1위 성산 25.9 m/s 2007. 9. 16. (1970년 관측 개시) · 2위 성산 24.5 m/s 1985. 8. 9. - 3위 고산 43.0m/s 2007. 9. 16. (1987년 관측 개시) · 1위 고산 51.1 m/s 2003. 9. 12. · 2위 고산 43.7 m/s 2002. 8. 31. ※ 일최대순간풍속 극값 전국 1위 : 고산 51.1 m/s(2003. 9. 12.)
3	최대순간풍속 극값 경신	- 3위 고산 52.0 m/s 2007. 9. 16. (1987년 관측 개시) · 1위 고산 60.0 m/s 2003. 9. 12. · 2위 고산 56.7 m/s 2002. 8. 31. ※ 최대순간풍속 극값 전국 1위 : 속초 63.7 m/s (2006. 10. 23.)

약 1100 km 부근 해상(북위 16.9도, 동경 135.2도)에서 발생하였다. 이후 계속 북서진하여 8월 18일 09시(우리나라 시간) 대만에 상륙하였다. 8월 20일 09시경 중국 상하이 남서쪽 약 640 km 부근 육상(북위 27.1도, 동경 116.8도)에서 열대저압부로 약화되어 일생을 마쳤다(그림 4).

8호 태풍은 대만 통과 전·후로 풍속 15 knots (30 m/s), 중심기압은 25 hPa 감소하여 태풍은 급격하게 약화되었다(그림 5).

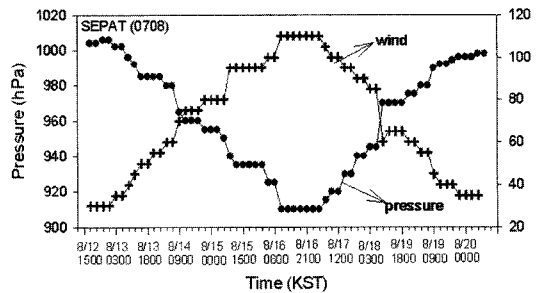


그림 5. 제8호 태풍 '스팟'의 3시간 간격으로 관측한 중심 최저기압(●)과 최대풍속(+) 시계열 분포도. 왼쪽 종축은 중심기압(단위 : hPa), 오른쪽 종축은 최대풍속(단위 : KNOTS), 횡축은 한국 표준시임.

3.1.3 제15호 태풍 '크로사(KROSA)'

태풍 '크로사'는 10월 2일 09시경 필리핀 마닐라

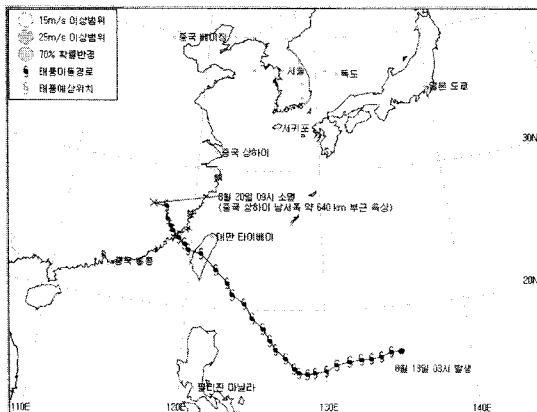


그림 2. 제11호 태풍 '나리' 진로도

동북동쪽 약 1100 km 부근 해상(북위 17.1도, 동경 130.9도)에서 발생하였다. 이후 계속 북서진하여 10월 6일 18시(우리나라 시간) 경에 Suao(북위 24.6, 동경 121.9)에 상륙한 뒤 남쪽으로 이동하여 고리모양으로 회전(아마도 대만의 지형효과 때문에, 2005년 5호 태풍 '하이탕' 사례와 유사)한 특이한 경로를 보였다(그림 6). 10월 7일 17시 30분경 중국 저장성 원저우 남쪽 약 80 km 부근에 상륙하였고, 10월 8일 21시경 중국 상하이 남남동쪽 약 250 km 부근 해상(북위 29.0도, 동경 122.0도)에서 온대저기압으로 변질되어 일생을 마쳤다(그림 7).

제15호 태풍 크로사는 대만 통과 전·후로 풍속 20 knots (40m/s)감소, 중심기압은 30 hPa 감소하



그림 6. 대만 통과시 제15호 태풍 '크로사'의 상세진로도

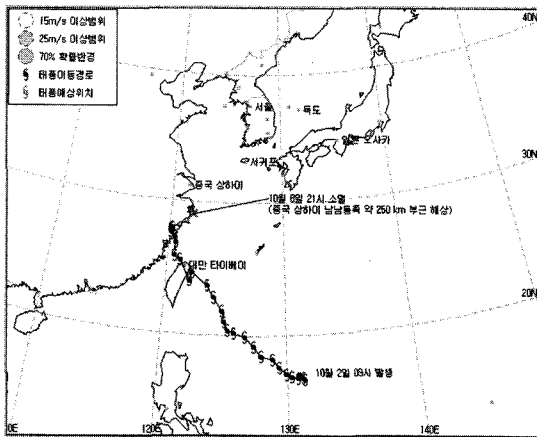


그림 7. 제15호 태풍 '크로사' 진로도

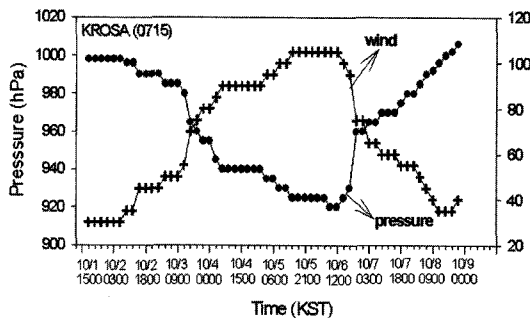


그림 8. 제15호 태풍 '크로사'의 3시간 간격으로 관측한 중심최저기압(●)과 최대풍속(+) 시계열 분포도. 왼쪽 종축은 중심기압(단위 : hPa), 오른쪽 종축은 최대풍속(단위 : KNOTS), 횡축은 한국 표준시임.

었다. 대만에서 약 6시간 동안 이동하면서 태풍은 급격하게 약화되었다(그림 8).

3.2 1977~2006년 분석 결과

3.2.1 제주도 통과시

RSMC 자료를 사용하여 그림 9에 1977~2006년의 여름철(7~9월)에 제주도를 통과한 28개 태풍을 대상으로 제주도 중심(14개, pass로 표시), 서쪽(9개, west로 표시), 동쪽(5개, east로 표시), 전체 평균(28개, total로 표시)의 중심기압 변화를 나타내었다. 제주도 통과 시점을 '0'으로 표시하였고 통과 전·후를 수직선으로 표시하였다. 시간별로 전체 기압을 평균 하였을 때, 제주도에 상륙 6시간 전- 통과 후 6시간까지의 기압 변화폭은 5 hPa로 총 기압변화의 29%에 해당하였다. 변화폭이 가장 큰 경우는 태풍이 제주도 동쪽으로 통과할 때였다.

그림 10은 그림 9와 동일하나 태풍 중심부근 최대

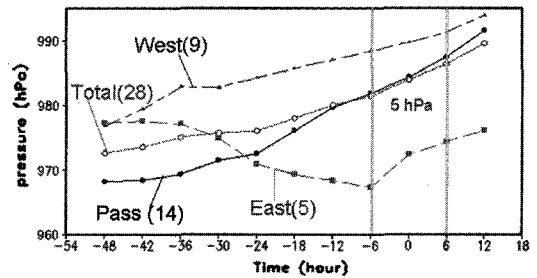


그림 9. 제주도를 통과한 태풍의 중심최저기압 변화 경향

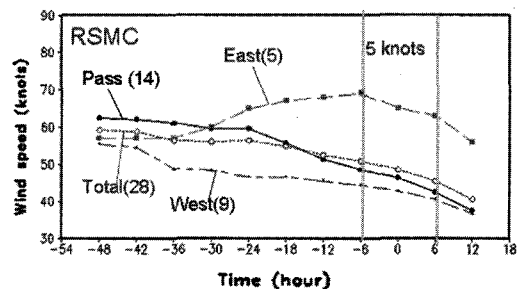


그림 10. 제주도를 통과한 태풍의 중심최대풍속 변화 경향

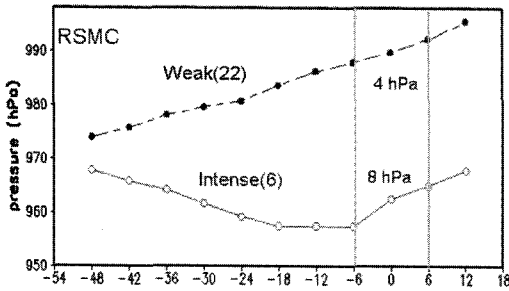


그림 11. 제주도를 통과한 강한 태풍과 약한 태풍의 중심 저기압 변화 경향

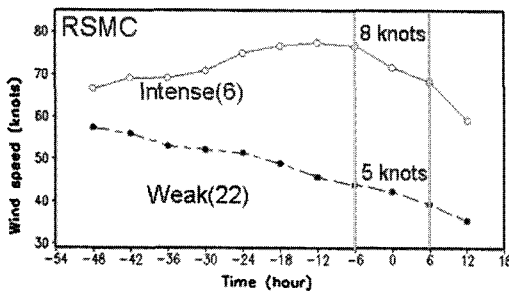


그림 12. 제주도를 통과한 강한 태풍과 약한 태풍의 중심 최대풍속 변화 경향

풍속 변화 경향을 나타내었다. 전체 평균한 값을 보면, 제주도에 상륙 6시간 전- 통과 후 6시간까지의 기압 변화폭은 5 knots로 총 풍속변화의 29%에 해당하였다. 최대풍속도 기압변화와 동일하게 태풍이 제주도 동쪽으로 통과할 때 가장 변화 폭이 컸다.

태풍을 강도별로 구분하여 재분석을 실시한 결과, 제주도를 통과한 28개 태풍 중에서 강한 태풍이 6개(intense로 표시), 약한 태풍이 22개(weak로 표시)로 제주도에 상륙한 태풍은 약한 태풍이 상대적으로 많았다(22개).

중심기압 변화 경향을 살펴보면, 제주도에 상륙하기 6시간 전- 통과 후 6시간까지 기간에 대해, 강한 태풍은 중심기압이 8 hPa이 감소하였는데, 이는 전체 기압변화의 72%로 변화 폭이 컸다. 한편 약한 태풍은 4 hPa이 감소하여 전체 기압변화의 20%로 그 변화의 폭이 강한 태풍에 비해 작았다(그림 11).

최대풍속에 대해 살펴보면, 제주도에 상륙하기 6

시간 전- 통과 후 6시간까지 기간에 대해, 강한 태풍은 풍속이 8 knots(16 m/s) 감소해 전체 풍속변화의 45%를 차지하여 변화 폭이 컸다. 한편 약한 태풍은 풍속이 5 knots(10 m/s) 감소하여 전체 풍속변화의 20%로 그 변화 폭이 작았다(그림 12).

3.2.2 대만 통과시

RSMC 자료를 사용하여 그림 13에 1977~2006년의 여름철(7~9월)에 타이완을 통과한 79개 태풍을 대상으로 대만 중심(51개, pass로 표시), 남쪽(23개, south로 표시), 북쪽(5개, north로 표시), 전체 평균(79개, total로 표시)의 중심기압 변화를 나타내었다. 대만 통과 시점을 '0'으로 표시하였고 통과 전·후를 수직선으로 표시하였다. 대만에 상륙하기 6시간 전- 통과 후 6시간까지의 기압 변화폭은 12.7 hPa로 총 기압변화의 76%에 해당하였다. 그림 14는 그림 13과 동일하나 태풍 중심부근 최대풍속 변화 경향을 나타내었다. 대만에 상륙하기 6시간 전- 통과 후 6시간까지의 기압 변화폭

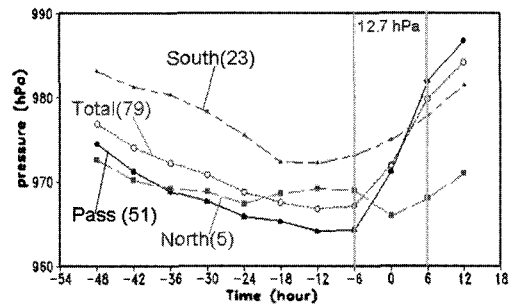


그림 13. 대만을 통과한 태풍의 중심최저기압 변화 경향

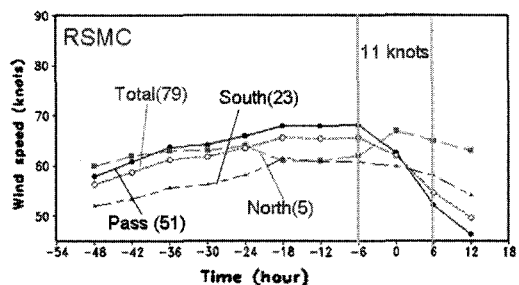


그림 14. 대만을 통과한 태풍의 중심최대풍속 변화 경향

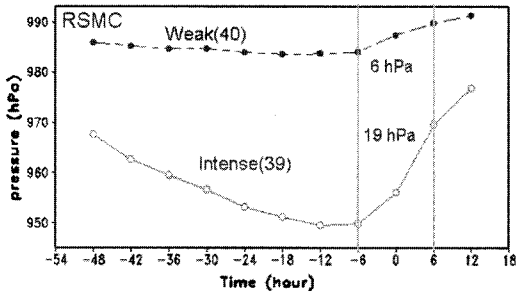


그림 15. 대만을 통과한 강한 태풍과 약한 태풍의 중심 최저기압 변화 경향

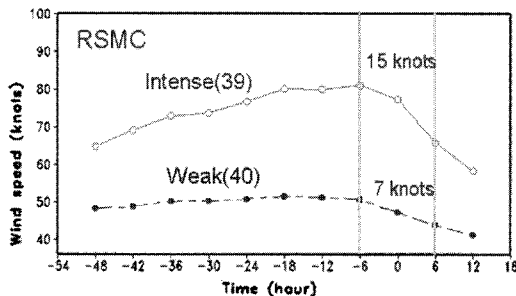


그림 16. 대만을 통과한 강한 태풍과 약한 태풍의 최대 풍속 변화 경향

은 11 knots로 총 풍속변화의 68%에 해당하였다.

태풍을 강도별로 구분하여 재분석을 실시한 결과, 대만을 통과한 79개 태풍 중에서 강한 태풍은 39개(intense로 표시), 약한 태풍은 40개(weak로 표시)로 대만에 상륙한 태풍은 강한 태풍과 약한 태풍의 비율이 비슷하였다.

중심기압 변화 경향을 살펴보면, 대만에 상륙하기 6시간 전- 통과 후 6시간까지 강한 태풍은 19 hPa이 약화되어 전체 기압변화의 72%로 변화 폭이 컸다. 한편 약한 태풍은 6 hPa이 약화되어 전체 기압변화의 74%를 차지하였다(그림 15).

최대풍속의 변화 경향을 살펴보면, 대만에 상륙하기 6시간 전- 통과 후 6시간까지 강한 태풍은 15 knots(30 m/s) 약화되어 전체 풍속변화의 70%로 변화 폭이 컸다. 한편 약한 태풍은 7 knots(14 m/s) 약화되어 전체 풍속변화의 66%를 차지하였다(그림 16).

4. 요약 및 향후 계획

본 연구에서는 지난 36년간(1971~2006년) 태풍의 중심기압, 최대풍속 자료를 이용하여 산악지형에 의한 태풍의 강도변화에 대하여 분석하였다. 산악지형의 대표적 사례는 중위도에 위치한 제주도와 대만을 대상으로 선정하였고, 제주도는 28개 사례, 대만은 79개 사례에 대하여 분석하였다.

대만을 지나는 태풍의 경우 상륙 12시간 전부터 강도가 감소하기 시작하는 경향이 나타나고, 경향 또한 뚜렷한 반면 제주도의 경우 대만을 지나는 태풍에 비해 소멸단계에 있는 경우가 많았기 때문에 강도는 증가경향 없이 계속 감소하는 경향으로 나타났다. 강한 태풍과 약한 태풍으로 나누었을 경우, 제주도와 대만 모두 강한 태풍의 강도변화가 크게 나타났다. 이것은 지형과 태풍 사이의 마찰력이 크게 작용한 것으로 추정할 수 있으나 자세한 메커니즘 아직 밝혀지지 않고 있다. Chang et al.,(1993)에 의하면, 태풍이 높고 가파른 지형을 만나게 되면 강한 동서방향의 기압경도력이 생기기 때문에 평지에 비하여 기압의 변화가 크기 때문이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 산악지형 통과 시 태풍의 강도 변화 특징에 대해서만 분석하였으나, 향후 사례별로 보다 자세한 분석이 필요하다. 또한 태풍 통과 위치에 따른 강수량 분포도 조사하여 궁극적으로 태풍이 우리나라에 상륙 또는 접근 시 태풍 예보의 기초 자료로 활용할 계획이다.

5 참고문헌

- Brand, S., and J.W.Blelloch, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. Mon. Wea. Rev., 102, 708-713
- Chang, C.P., T. C. Yen, and J.M. Chen, 1993: Effects of terrain on the surface structure of typhoons over Taiwan. Mon. Wea. Rev., 121, 1734-1752