

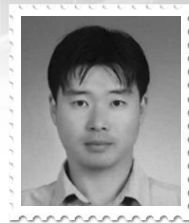
한반도 영향태풍 진로와 강수분포 특징에 관한 연구



황 호 성
기상청 국가태풍
센터 기상주사보
hhs79@kma.go.kr



차 은 정
기상청 국가태풍
센터 기상연구과
(이학박사)
cha@kma.go.kr



고 성 원
기상청 국가태풍
센터 연구원
tmzaf@kma.go.kr



양 경 조
기상청 국가태풍
센터 연구원
kcyang@kma.go.kr



원 성 희
기상청 국가태풍
센터 기상연구사
shwon@kma.go.kr



김 동 호
기상청 국가태풍
센터 기술시기관/
센터장
dhkim@kma.go.kr

1. 서론

우리나라에서 발생하는 자연재해의 대부분은 기상재해가 차지한다. 그 중에서도 큰 비중을 차지하는 기상현상은 태풍과 호우이다(표 1). 특히, 2002년, 2003년, 2006년에는 태풍으로 인하여 인적·경제적 측면 모두 기록적인 피해가 발생하였다.

일반적으로 태풍은 1년 중 여름~초가을(6~9월)에 가장 많이 발생하여 우리나라에 영향을 준다. 최근 10년간(1998~2007년) 북서태평양에서 233개의 태풍이 발생하여 33개의 태풍이 한반도에 영향을 주었으며, 이 중에서

도 30개가 여름~초가을에 영향을 주었다. 한편, 우리나라 연평균 강수량은 약 1300 mm이고, 이 중 70~80%가 태풍의 집중영향기간, 즉 여름~초가을(6~9월)에 내린다. 따라서 우리나라 연평균 강수량은 태풍과 밀접한 관련이 있다.

Cha et al.(2007)에 의하면, 우리나라 여름철 강수량의 20~30%는 태풍에 의한 것이며, 최근 10년 동안 동아시아에서 8~9월 강수량이 증가하는 경향이 뚜렷하다. 그 원인 중의 하나가 태풍의 진로 때문이라는 연구결과가 있다. Choi et al.(2007)에 의하면, 최근 태풍의 전향 경도가 과거에 비해 동쪽으로 이동하여 태풍이 우리나라로 접근시

남동쪽으로 편향되고 있다는 것이다. 태풍 전체 영역 중 진행방향 전면에서 가장 강한 수렴역이 발생한다. 태풍이 한반도의 서쪽보다 남~동쪽으로 접근을 하게 되면 태풍 전면에 위치한 한반도에서는 강한 수렴역이 나타나고, 남부내륙 및 동해안 지역에서는 지형적인 효과가 더해져서 강한 강수역이 형성되기 쉽다. 그 예로, 2002년 제15호 태풍 “루사(RUSA)”의 경우, 제주도 동쪽에서 점차 북상하여 8월 31일 남부지방에 상륙하였다. 이로 인해, 영동지방은 태풍전면에 놓이게 되었으며 지형적인 효과로 인해 기록적인 집중호우가 발생하였다. 특히, 강릉에서는 8월 31일 일강수량이 870.5 mm로 전국 관측 이래 일최대강수량 1위의 값을 경신하였다. 이것은 강릉의 연평균강수량의 60%가 단 하루 만에 내린 것으로 해석할 수 있다. 이와 같이 태풍의 이동진로에 따라 지역별로 집중호우 발생 확률이 다르다.

일반적으로 태풍이 중위도에 위치한 우리나라에 접근·상륙시에는 강도가 약화되어서 태풍자체보다는, 태풍 북상시 동반되는 온난습윤한 공기와 중위도 기상현상(예, 상층 강풍류)과 상호작용 때문에 집중호우가 발생하기 좋은 조건을 형성하게 된다.

본 연구에서는 기상청 관측자료와 전지구 격자자료를 사용하여 태풍이 우리나라에 접근 또는 상륙시 강수구조 특징에 대하여 분석하였다.

(표-1) 기상재해 기록 순위(재산피해를 기준으로 한 순위)

순위	재해기간	재해종류	피해지역	사망·실종명	재산피해액원
1	2002년 8.30~9.1.	태풍(루사)	전국	246	51,479
2	2003년 9.12~9.13.	태풍(메미)	전국(서울, 인천제외)	131	42,225
3	2006년 7.9~7.29.	호우(태풍(에위니아))	전국	62	18,344
4	1998년 7.31~8.18.	호우	전국(제주 제외)	324	12,478
5	1999년 7.23~8.4.	호우(태풍(을가))	전국	67	10,490
6	2002년 8.4~8.11.	호우	경기, 강원, 충북, 경북, 경남 등	23	9,181
7	2004년 3.4~3.5.	대설	충남, 충북, 대전, 경북 등	-	6,734
8	2001년 1.7~1.9.	폭풍설	전국	4	6,590
9	2005년 12.3~12.24.		대설(충남, 전북, 전남)	14	5,206
10	1990년 9.9~9.12.	호우	서울, 경기, 강원, 충북	163	5,203

※ 이 자료는 중앙재난안전대책본부(소방방재청) 통계 자료를 이용하였음.

※ 피해액은 당해연도 가격 기준임.

2. 자료

최근 10년간(1998년~2007년) 미국 기상청(National Centers for Environmental Prediction- National Center for Atmospheric Research, NCEP-NCAR) 재분석 자료를 이용하여 약 12km 고도의 바람장을 분석하였다. 태풍이 한반도로 접근·상륙시 강우강도 분포 특징을 분석하기 위해 기상청 현업 레이더(구덕산, 면봉산 기상레이더관측소 등의 레이더 빔 파장 약 8~10cm 인 S-band 레이더)를 이용하였다. 또한 지상의 강수량 분포를 분석하기 위하여 기상청 자동기상관측망(Automatic Weather System, AWS) 관측자료를 사용하였다. 태풍진로를 분석하고자 일본 동경 지역특별기상센터(Regional Specialized Meteorological Center, RSMC) 최적진로(best track)자료를 이용하였다.

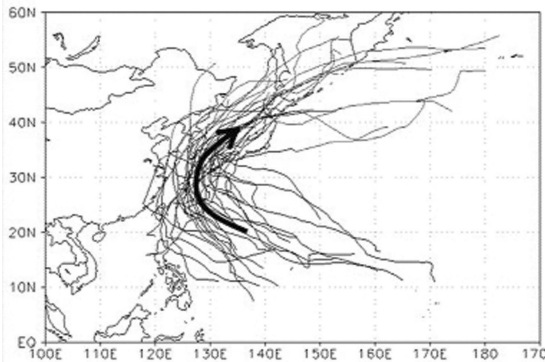
3. 최근 태풍진로 및 강수분포 특징

최근에 우리나라의 강수량 패턴이 변화되고 있는 것으로 나타났다. Cha et al.(2007)은 1954년부터 2004년까지 우리나라 11개 장기기간 관측지점의 강수량을 분석하였다. 이들의 결과에 의하면, 1990년대 후반부터 여름철 특히 최근 8월 강수량 증가 경향이 뚜렷하고, 그 원인 중 하나는 태풍인 것으로 밝혀졌다. 그러나 2006년과 2007년 여름철 강수량 패턴은 전혀 다른 특징을 보여주었다. 2006년 여름철 중 7월에 가장 많은 비가 내렸는데 이것은 1954년 이후 최고 기록이었다. 그 이유는 연속 3개의 태풍[3호(에위니아), 4호(빌리스), 5호(개미)] 때문이었다(차은정 등, 2007). 반면 2007년은 9월 강수량이 많았는데, 그 이유는 11호 태풍 “나리” 때문이었다(차은정 등,

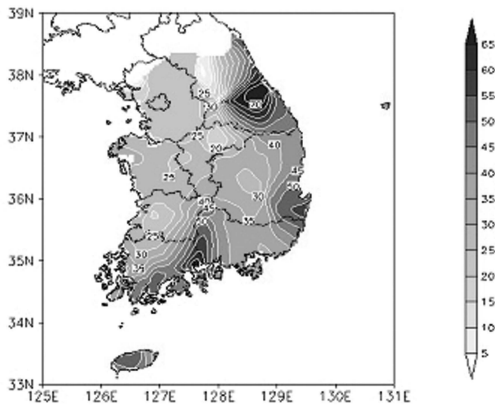
2008). 이와 같이 여름철 강수량은 태풍에 의하여 크게 좌우된다.

Choi et al.(2007)에 의하면, 최근 한반도 내습 태풍의 이동진로가 과거보다 남동쪽으로 편향하는 특징이 나타난다. 그림 1은 최근 10년간 한반도에 영향을 준 태풍의 진로이다. 박창용 등(2008)에 의하면 1950년부터 2007년까지 분석한 결과 한반도는 꾸준히 강수가 증가하고 있으며, 최근 10년이 가장 증가폭이 크다. 그 중에서도 영동지방에서 증가비율이 가장 뚜렷하였다.

위의 내용을 종합하면, 최근 태풍이 한반도의 남동쪽으로 주로 이동함에 따라 동해안과 남해안지역에 강수량이 증가하는 것으로 사료된다(그림 2).



〈그림 1〉 최근 10년간 한반도에 영향을 준 태풍 진로(총 33개), 굵은 화살표는 평균 진로를 나타냄.



〈그림 2〉 최근 10년간 태풍이 한반도 주변(북위 30~38도, 동경 124~132도)을 통과할 때의 일강수분포도(총 60일 평균, 단위 : mm/day)

4. 제트류의 위치와 태풍주변 강수분포 특징

한반도가 위치한 중위도에는 1년 내내 고도 9~12 km 부근에 제트류(jet stream, 대기 상층에서 풍속 25 m/s 이상의 강한 바람영역) 라는 강한 바람역이 존재한다. 이 제트류 입구(entrance) 지역의 상층에서는 발산이, 하층에서는 수렴이 탁월하다. 즉, 공기의 상승과 하강운동이 나타난다. 따라서 우리나라로 접근하는 태풍을 중심으로 상층 제트류의 위치에 따라 강수량과 분포형태가 달라질 수 있다.

또한 제트류는 태풍의 소멸과정에서도 큰 역할을 한다. 한반도로 접근하는 태풍은 대부분 온대저기압으로 변질된다(Extratropical transition). 온대저기압으로 변질되는 과정에서 상층의 제트류 때문에 연직시어가 강해져 태풍이 약화된다(Harr et al., 2000).

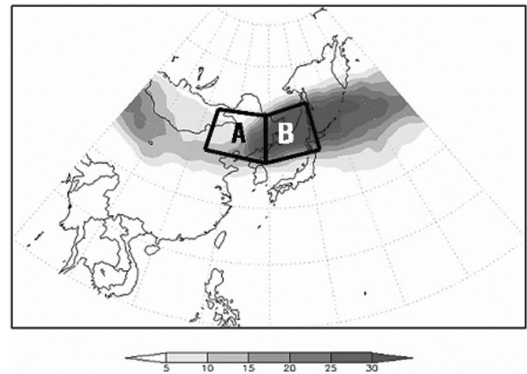
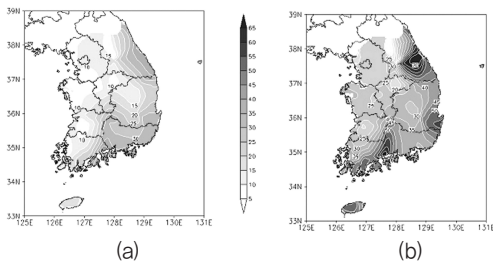


그림 3. 최근 10년간 태풍이 북위 30~38도, 동경 124~132도 영역 안에 존재했을 때, 상층 200 hPa (약 12 km 상공) 등압면에서의 제트류가 나타난 빈도 분포도. A 영역: 북위 40~50도, 동경 110~130도, B 영역: 북위 40~50도, 동경 130~150도.

두 번째 특징은 차고 건조한 공기가 태풍전면에 유입되면서 온난습윤한 태풍을 약화시키게 된다(Klein et al., 2000). 그러나, 태풍이 한반도로 접근할 때, 상층에 제트류가 동반되지 않는다면 태풍의 강도는 약화되지 않은 상태에서 영향을 줄 수 있다. 이번 장에서는 태풍이 한반도

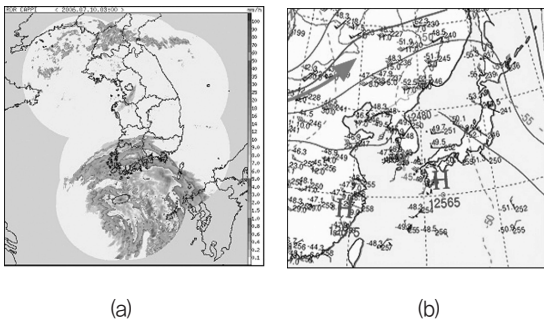
로 접근할 때 제트류의 위치에 따른 태풍전면의 강수구조를 분석하였다.

그림 3은 태풍이 북위 30~38도, 동경 124~132도 영역 안에 존재했을 때, 상층 200 hPa (약 12 km 상공) 등압면에서 제트류(풍속=(u^2+v^2)^{1/2} 40m/s 이상, 여기서 u는 동서성분의 바람성분, v는 남북방향의 바람성분이다.)가 존재한 일수 분포도이다.

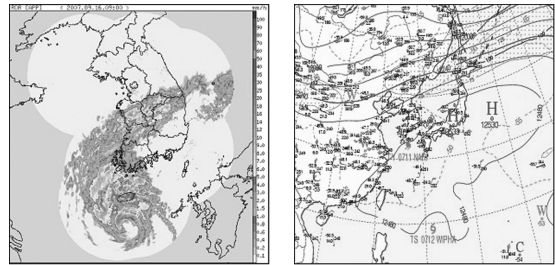


〈그림 4〉 태풍이 한반도 주변을 지날 때의 일평균 강수분포도
(a) 그림 3의 A영역에서 제트류가 탁월할 때,
(b) 그림 3의 B영역에서 제트류가 탁월할 때

전반적으로 우리나라로 태풍이 접근할 때 B영역인 태풍의 북동쪽에 제트류가 나타나 온대저기압이 진행된다. 하지만, A영역에서 제트류가 나타나거나 또는 약할 경우에는 연직시어가 약하여 태풍이 강한 상태를 유지하면서 한반도로 접근하게 된다(이하 A 타입). B영역에 제트류가 우세할 때 강수량이 더 많이 나타난다(이하 B 타입). 그림 4에는 A 타입과 B 타입으로 구분하였을 때 강수량 분포도이다. 전반적으로 B 타입일 때, 강수량이 많고, 특히 동해안과 남해안에 많았다.

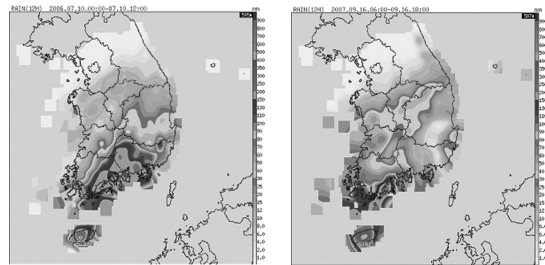


(a) (b)



(c) (d)

〈그림 5〉 태풍의 접근시 레이더 에코의 강우강도 분포와 일기도
(a) 그림 3의 A영역 제트류 존재시의 사례(2006년 3호 태풍 “에위니아(EWINIAR)”, 2006. 07. 10.),
(b) 그림 3의 B영역 제트류 존재시의 사례(2007년 11호 태풍 “나리(NARI)”, 2007. 09. 16.),
(c) (a)와 같은 시간 200 hPa 등압면 일기도,
(d) (b)와 같은 시간 200 hPa 등압면 일기도

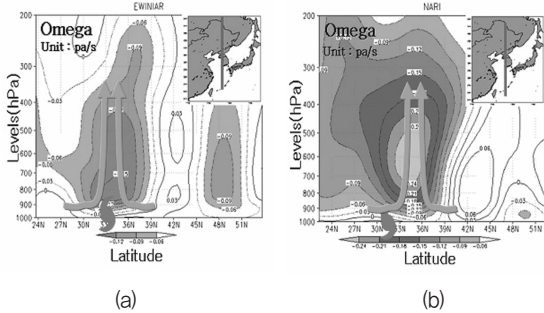


(a) (b)

〈그림 6〉 태풍이 한반도로 접근시 12시간 강수분포도
(a) 2006년 3호 태풍 “에위니아(EWINIAR)”, 2006. 07. 10. 00:00~12:00(KST),
(b) 2007년 11호 태풍 “나리(NARI)”, 2007. 9. 16. 06:00~18:00(KST)

A 타입과 B 타입의 강우강도를 분석하기 위하여 사례 분석을 실시하였다. A 타입은 2006년 제3호 태풍 “에위니아”를 B 타입은 2007년 제11호 태풍 “나리”를 각각 선정하였다(그림 5).

그림 5a의 경우는 상층발산역이 우리나라에 존재하지 않는 기압패턴이기에 태풍에 의한 직접적인 강수만 존재한다.



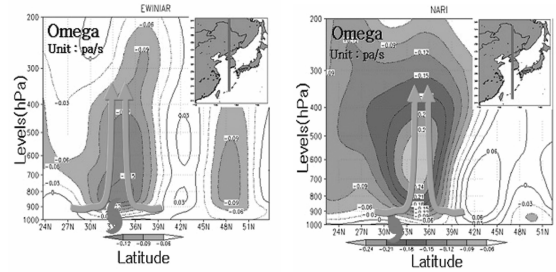
(a) 2006년 3호 태풍 "에위니아(EWINIAR)", 2006. 07. 10. 10:00(KST),
(b) 2007년 11호 태풍 "나리(NARI)", 2007. 9. 16. 06:00(KST)

그러나 더욱 위험한 것은 이러한 경우 태풍이 제트에 의한 온대저기압화가 되지 않아 태풍이 열대지역에서처럼 강한 강도로 상륙하기 때문에 좁은 영역에 아주 많은 양의 강수를 동반하는 특징이 있는 것으로 나타난다(그림 6a). 그림 5b의 경우는 태풍전면의 제트기류 주변 상층발산 지역이 한반도 주변에 형성되어 우리나라에서 태풍의 영역 외에 더 넓은 범위에서 2차 에코(secondary echo)가 형성되어 있는 모습이다. 이러한 경우는 태풍이 상륙하기 전부터 비가 오기 때문에 넓은 지역에서 골고루 강수가 분포한다(그림 6b). 제11호 태풍 "나리"로 인하여, 제주의 2007년 9월 16일 일강수량 관측값이 420 mm로 1923년 제주지역 관측개시 이래 일강수량 극값을 경신하였다. 하지만, 강우강도는 A의 경우가 더 강하게 나타난다.

따라서, 태풍의 전면에 제트기류의 입구가 위치하게 되면 태풍전면에 강한 상승기류역이 형성되어 태풍전면으로 해서 수렴역을 형성시킨 것이 강수를 유발한 것으로 보인다(그림 7b참조). 하지만, 태풍의 전면에 제트가 약할 경우('에위니아'), 태풍의 전면에 공기괴의 상승구역이 형성되지 않고, 태풍의 중심에서만 상승역이 형성되어 태풍전면의 수렴역이 좁아져 강수역이 좁게 나타났다(그림 7a참조).

5. 태풍전면 지형효과에 의한 강우강도 강화

박창용 등(2008)에 의하면 우리나라에서 최근 10년간 여름철 강수량이 가장 많이 증가한 지역은 영동 지방이다. 그 이유는 동일기간에 태풍의 진로가 남동해안쪽으로 보다 편향되어 태풍 전면대 수렴에 의한 강수 때문이다(Cha et al., 2007; Choi et al., 2007). 태풍이 한반도로 접근시, 전면에 산악지역이 존재할 때는 역학적인 전면수렴대외에 지형효과가 더해져서 더욱 많은 비가 온다(그림 8a). 영동 지방은 태백산맥이, 영남지방에는 소백산맥이 위치하고 있어 이 지역에 많은 양의 강수가 나타난다(그림 8b).



(a) 2005년 14호 태풍 "나비(NABI)", 2005. 09. 06. 15:00 ~ 18:00(KST),
(b) 2007년 11호 태풍 "나리(NARI)", 2007. 9. 16. 18:00 ~ 21:00(KST)

6. 토의

본 연구에서는 기상레이더 및 AWS자료를 이용하여 최근 태풍의 한반도 영향 태풍진로와 강수분포 특징에 대하여 분석하였다. 태풍이 접근할 때, 동해안과 남해안 지역에 양의 강수 편차가 나타났다. 이는 최근 태풍이 한반도 남동쪽으로 편향되어 이동함으로써, 태풍전면 수렴역에 소백산맥 및 태백산맥이 위치하여 이 수렴역을 더욱 강화하는 역할을 하였다. 한편 태풍은 중위도에 위치한 한반도로 접근시 상층 강풍역을 만나면서 온대저기압으로 변질되는 경우가 일반적이다. 이때는 강수범위가 넓은 범위에 걸쳐 나타나는 특징이 있다. 하지만, 태풍전면에 제트류

가 존재하지 않거나 약하게 나타날 경우, 온대저기압화가 진행되지 않아 태풍이 강한 상태로 유지되며 태풍전면에서의 강수역이 좁게 그리고 단시간에 많은 양의 비를 동반하게 되는 특징이 있다. 즉, 상층 강풍대 위치에 따라 태풍에 의한 강수분포가 달라질 수 있다.

태풍으로 인한 강수분포 형태를 일반화하기는 어렵지만 앞으로 보다 많은 사례에 대한 연구결과를 태풍이 한반도 영향시에 강수량 예보의 기본 자료로 활용할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소의 주요사업인 “진보된 태풍 분석 및 예측시스템 개발 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은, 2008, 최근 한반도 여름철 강수 특성의 변화, 대한지리학회지, 43(3), 1-13.
- 차은정, 이경희, 박윤호, 박종숙, 심재관, 인희진, 유희동, 권혁

- 조, 신도식, 2007: 2006년 태풍 특징과 태풍 예보의 개선방향. 대기, 17(3), 299-314.
- 차은정, 박윤호, 권혁조, 2008: 2007년 태풍 특징. 대기, 18(3), 183-197
- Cha, E.-J., Kimoto, M., Lee, E.-J., and Jhun, J.-G., 2007, The recent increase in the heavy rainfall events in August over the Korean Peninsula, Journal of Korean Earth Science Society, 28(5), pp. 585-597.
- Choi, K. S. and B. J. Kim, 2007, Climatological characteristics of tropical cyclones making landfall over the Korean peninsula, Journal of the Korean Meteorological Society, 43(2), 97-109.
- Harr, P. A., and R. L. Elsberry, T. F. Hogan, 2000, Extratropical transition of tropical cyclones over the western North Pacific. Part II: The Impact of Midlatitude Circulation Characteristics. Monthly Weather Review, 128, 2634-2653.
- Klein, P. M., P. A. Harr, and R. L. Elsberry, 2000, Extratropical transition of western North Pacific tropical cyclones : An overview and conceptual model of the transformation stage. Weather and Forecasting, 15, 373-396.