

지구 온난화와 태풍



차 은 정
기상청 국가태풍센터 기상연구관
이학박사
E-mail: kme@kma.go.kr



권 혁 조
공주대 대기과학과 태풍연구센터 교수
이학박사
E-mail: khyeok@kongju.ac.kr

1. 서론

‘지구온난화’는 대기과학이라는 학문 범위를 넘어서 이제 우리의 일상생활까지 자연스럽게 스며들고 있다. 사회의 모든 현상에 그 영향이 나타날 것으로 예상되고 있기 때문이다. 장마, 집중호우, 태풍 등은 ‘지구온난화’라는 새로운 환경에서 어떻게 변화될 것인가? 또 그 변화들이 우리 생활에 구체적으로 어떤 영향을 줄 것인가는 중요한 이슈가 되고 있다.

우리나라는 자연재해가 약 70%를 차지하고 있고 우리나라에서 발생하는 자연재해에는 여름철 집중호우, 태풍, 장마 및 겨울철 폭설 그리고 이에 동반된 강풍 등이 악기상 시기에 주로 발생한다. 이 중에서도 여름철에 태풍과 장마 등에 의한 피해가 제일 큰 비중을 차지한다. 2000년대에 발생한 태풍 “루사(2002년)”와 “매미(2003년)”의 한반도 영향 시기에 각각 일강수량 극값 1위와 최대순간풍속 극값 1위를 기록하면서 우리나라 역사상 최악의 인

명·재산피해를 발생시켰다. 지난 2005년 9월 루이지애나주 뉴올리언스를 덮친 허리케인 “카트리나”는 미국 역사상 가장 큰 재산 피해를 안겨준 바 있다. 이와 같은 피해에 대하여 악기상의 강도가 점점 대형화 되어가고 있으면, 많은 학자들은 그 이유를 지구온난화 때문이라고 주장한다.

그렇다면 전 세계적으로 집중호우와 태풍을 포함한 악기상의 강도가 점점 세어지고 있는 것일까? 최근 발표된 많은 연구에서 2000년대 들어서 4등급 이상의 강한 허리케인의 수와 지속시간 그리고 강도가 계속해서 증가하고 있으며, 이런 증가현상이 화석연료 배출에 따른 지구온난화의 영향으로 보는 견해가 많다(Webster et al., 2005; Emanuel, 2005). 2007년 2월에 발표된 IPCC 4차 기후변화 평가보고서에서는 지난 백년(1906~2005년) 동안 전 지구평균온도가 0.74℃ 상승했으며, 백년 중 가장 따뜻했던 해 12회 중 11회가 최근 12년 동안에 발생한 것으로 보고되었다. 또한 이러한 온난화 현상으로 미래에는 폭염과 집중호우 등 악기상의 강도가 강해지고 그 빈도수도 증가

하며, 태풍과 허리케인 같은 열대폭풍은 열대 해수면 온도 상승과 더불어 그 위력이 강화될 것으로 전망하고 있다. 특히 지구온난화에 의한 기온과 수온의 상승은 고위도로 갈수록 훨씬 더 커지고 있어, 중위도에 위치한 한반도에서 그 영향은 더욱 커질 것으로 예상된다.

여기서 한 가지 지적하고 싶은 것은, 지구온난화를 뒷받침하는 결과들은 대부분 수치모델결과들이다. 현재 기술수준으로 수치모델의 성능이 과연 집중호우, 태풍 등을 완벽하게 재현할 수 있을까 하는 의문을 제기할 수도 있다. 또한 모델결과를 통계적인 방법에 의하여 신뢰도 검증할 수 있으나 관측자료와 비교할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 2007년에 신뢰성 있는 장기간의 관측자료 부족으로 인하여 '지구온난화' 라는 새로운 환경변화 속에서 악기상의 강도가 강해진다는 결론을 단정적으로 내리기는 어렵다는 주장이 나왔다(Landsea, 2007). 그 중 하나가 Kosshin et al.(2007)은 장기간 관측자료 분석을 통하여 허리케인, 태풍 등 열대저기압의 강도가 오히려 과거에 비하여 약해지고 있다는 결론을 보였다.

이와 같이 현재는 태풍과 허리케인을 포함한 악기상의 강도가 강해진다는 주장과 약해진다는 주장이 팽팽하게 맞서고 있다.

2. 우리나라의 집중호우와 태풍

이 장에서는 관측자료를 중심으로 우리나라에서 강수량과 집중호우 변화경향과 북서태평양에서 발생하는 태풍 활동 변화에 대하여 살펴보았다.

2.1. 강수량과 집중호우 변화 경향

기후학적으로 우리나라 강수량은 여름철 집중형으로 연강수량의 약 50% 이상이 6~9월에 내린다. 여름철 강수량은 2개 우기로 구분할 수 있는데 1차 우기는 주로 장마, 2차 우기는 복잡한 원인 - 태풍, 북태평양 가자자리에서 대기불안정, 소낙성 강수 등 - 에 기인한다.

첫째로 집중호우이다. 그동안 많은 연구결과에 의하면, 1990년대 후반부터 2000년 중반까지 장마종료 이후 특히 8월에 강수량과 집중호우가 증가하였고, 증가원인 중 하나는 태풍이다(Cha et al. 2007; 박창용 등 2008; 최의수와 문일주 2008). 이들에 의하면 8월에 과거에 비하여 우리나라에 태풍이 접근·상륙하였고 특히 한반도 동쪽, 강원도, 경상도에서 강수량과 집중호우가 증가하였다. 또한 최근에 전형적인 장마가 약해지고 있다(Cha et al. 2007). 이들의 연구에 의하면, 한반도에서 태풍의 상륙·접근 유무에 따라 2차 우기인 8월 강수량이 약 20~30% 정도가 달라진다. 한편, 2006년 7월에는 연속적인 3개(3호 예위니아, 4호 빌리스, 5호 개미) 태풍의 접근 및 상륙(차은정 등, 2007), 2007년 9월에는 11호 태풍 "나리" 때문에 각 월 강수량 극값을 기록하였고(차은정 등, 2008), 2008년에는 7호 태풍 "갈매기" 영향시기에 많은 비가 내려 9월 강수량편차가 평년보다 많았다(차은정 등, 2009). 이와 같이 태풍은 여름철 강수량 분포에 큰 비중을 차지한다.

2.2. 태풍

열대저기압은 중심부근 최대풍속이 17 m/s 이상이고 열대 해상에서 주로 발생하는 저기압의 총칭이다. 발생하는 해상별로 그 이름이 다르다. 북서태평양에서는 '태풍(Typhoon)', 대서양에서는 '허리케인(Hurricane)', 인도양과 남태평양에서는 '사이클론(Cyclone)' 이라고 불린다. 호주 원주민들 사이에는 '윌리윌리(Willywilly)' 라고도 하지만 거의 사용하지 않는다.

북서태평양에는 대표적인 태풍예보관련 기관이 2개 있다. 첫 번째는 세계기상기구에서 지정한 지역특별기상센터(Regional Specialized Meteorological Center, RSMC Tokyo, 일본 동경 소재)이다. 두 번째는 미 군시설로 하와이에 있는 합동태풍경보센터(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)이다. 두 곳 모두 6시간 간격으로 태풍의 위치와 강도를 포함한 최적경로(best track) 자료를 생산한다. 전자는 태풍의 강도를 태풍중심부근 최대

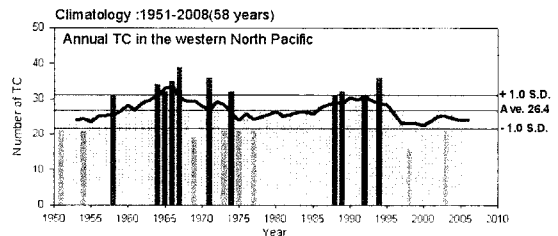
풍속을 10분 평균, 후자는 1분 평균풍속을 각각 사용하여 두 기관 자료를 그대로 비교하기는 어렵고 보통 10분 평균 풍속으로 환산하여 비교한다(Kamahori et al., 2006; Kwon et al., 2007).

차은정 등(2009)은 태풍의 장기간 변동 특징에 대하여 알아보기 위하여 1951년부터 2008년까지 58년간 RSMC Tokyo의 최적경로 자료를 사용하여 북서태평양의 태풍 활동도를 분석하였다. 이 태풍활동도에는 발생수(그림 1), NTA 지수(그림 2), 그리고 지속시간(그림 3)이 포함된다. 발생한 연도별 태풍 발생수(막대그래프)와 5년 이동평균(실선)을 나타내었다. 58년간 평균 태풍 발생수는 26.4개이고, ± 1 표준편차 범위를 벗어나는 해를 태풍이 평년보다 많이(+1 표준편차) 또는 적게(-1 표준편차) 발생한 해로 정의하였다. 이 정의에 의하면, 평년보다 많이 발생한 해는 1964~1967, 1971, 1974, 1989, 1994년이다. 적게 발생한 해는 1951, 1954, 1969, 1973, 1975, 1977, 1998, 2003년이다. 기록상 가장 많이 발생한 해는 1967년으로 39개가 발생하였고, 가장 적게 발생한 해는 1998년으로 16개가 발생하였다. 5년 이동 평균한 태풍 발생수의 경향을 보면, 많이 발생하는 시기(1960년대 중반, 1990년~1995년)와 적게 발생하는 시기(1970년 중반~1980년 전반)가 주기적으로 반복되어 나타남을 알 수 있다. 태풍 발생 수는 경년변동이 크게 나타나고 있지만, 최근 10년 동안 발생한 태풍 수 중 평균값을 초과한 해는 1997년의 28개와 2004년의 29개의 2개해로, 비교적 적게 발생하는 경향이 2008년에도 지속되었다.

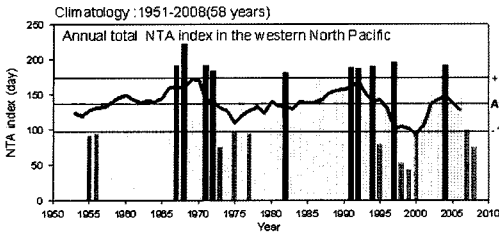
그림 1과 동일한 방법으로 그림 2에 Normalized Typhoon Activity(NTA) 지수를 이용하여 북서태평양의 태풍활동도 특징에 대하여 나타내었다. 태풍은 수명과 강도와 상관없이 강하고 긴 태풍도 1개, 약하고 짧은 태풍도 1개로 정하기 때문에 객관적으로 비교할 수 있는 지수가 필요하다. NTA도 이와 같은 지수들 중의 1개 이다. NTA에 대한 자세한 설명은 Kwon 등(2007)과 Lee 등(2007)을 참고하기 바란다. 58년간 평균 NTA는 135.9일이다.

평년보다 태풍활동이 강했던(약했던) 해는 10년(9년)이었다. 태풍활동이 가장 약했던 해는 1999년이었고, 가장 강했던 해는 1968년이었다. 태풍활동도 역시 발생수(그림 1)와 마찬가지로 주기적으로 반복되고 있고 경년변동이 큰 것을 알 수 있다. 최근 10년 동안 1997년과 2004년을 제외하고, 비교적 약한 태풍활동도가 2008년에도 지속되는 특징이 나타났다. 분석기간 동안 태풍발생수와 활동도 사이의 상관계수는 0.5이다. 태풍 지속시간(그림 3)도 발생수와 NTA 지수와 비슷한 특징을 보여주었다. 3가지 요소 모두 강한 시기와 약한 시기가 주기적으로 반복되는 약 10년 주기 변동성이 뚜렷하고 최근 10년 동안은 태풍활동도가 평년보다 약한 것이 흥미롭다.

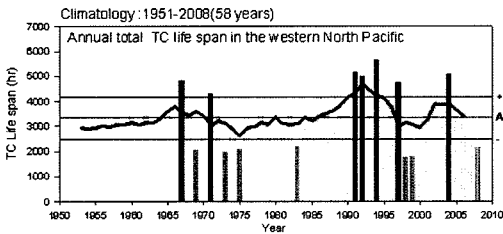
최의수와 문일주(2008)는 56년간(1951-2006년) 기상청 전 관측지점에서 관측된 일강수량 및 최대(순간)풍속의 극값을 분석하여 한반도 악기상의 강도변화를 간접적으로 살펴보았다. 실제로 56년간 일강수량 극값 기록 중 41%인 23번, 최대순간풍속 극값 자료 중 48%인 27번이 태풍시기에 관측되었다. 또한 56년간 태풍 시기에 기록된 연별 일강수량 극값자료만을 분석해 본 결과 일강수량 극값의 증가가 많은 부분 태풍에 의해 발생하였음을 알 수 있다. 이들은 우리나라에 영향을 준 태풍의 개수는 증가하고 있지는 않지만, 그 강도는 점점 더 강해지고 있고 따라서 한반도의 강수량과 풍속에서 나타나는 극값의 증가경향은 많은 부분 한반도에 접근·상륙하는 태풍의 강도가 강해졌기 때문으로 분석하였다.



(그림 1) 태풍발생수 경향(1951-2008). 굵은 실선은 5년 이동평균한 태풍발생수, 매년 태풍발생수(■), 평년보다 비정상적으로 많이 발생한 해(■), 비정상적으로 적게 발생한 해(■).



(그림 2) 태풍활동도 경향(1951-2008). 굵은 실선은 5년 이동평균한 태풍발생수, 매년 태풍발생수(■), 평년보다 비정상적으로 강했던 해(■), 비정상적으로 약했던 해(■).

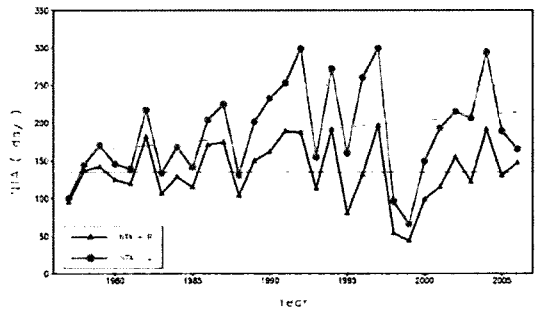


(그림 3) 태풍의 수명 경향(1951-2008). 굵은 실선은 5년 이동평균한 태풍 수명, 매년 태풍 수명(■), 평년보다 비정상적으로 길었던 해(■), 비정상적으로 짧았던 해(■).

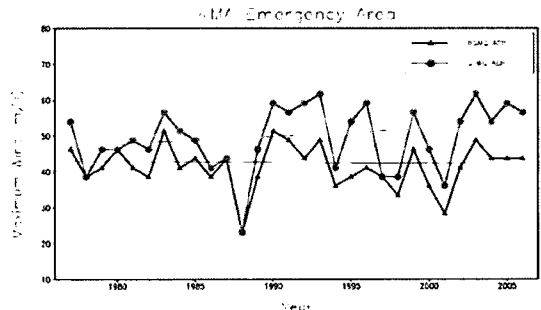
그러나 관측된 풍속은 관측소 고도, 지형 등 국지적 영향에 의해 크게 좌우되기 때문에 객관적인 분석결과를 얻기 어렵다. 이러한 점을 보완하기 위하여 Kwon (2008)은 1977-2006년 동안 JTWC와 RSMC Tokyo 최적경로를 이용하여 두 기관의 태풍의 강도분석을 하였다. 그 결과에 의하면 JTWC는 태풍강도가 강해지고 RSMC Tokyo는 약해지는 경향이 뚜렷하였다(그림 4). 또한 한반도의 태풍 비상구역(북위 28도 보다 북쪽, 동경 132도 보다 서쪽)에 진입한 태풍의 강도분석에서도 JTWC는 강해지고, RSMC Tokyo는 약해지는 결과가 나타났다(그림 5). 이와 같은 결과는 한반도에 영향을 주는 태풍 강도가 점점 강해진다는 최익수와 문일주(2008)의 결과와 반대되므로 추후 자세한 연구가 필요하다.

Kamahori et al.(2006)은 북서태평양의 대표적 2개 태풍예보기관의 최적경로의 차이점에 대하여 지적하였다. 태풍의 강도는 지상관측이 아니라 위성으로 관측된 적외, 가시영상을 분석한 결과이기 때문에 신뢰도 문제가 제기

될 수 있다. 그러나 1977년 이후부터는 해상관측 및 지상관측을 통한 재분석 결과이기 때문에 1977년 이전 자료에 비하여 신뢰도가 향상되었다. 또 위성분석에 주로 의존하기 때문에 분석자의 주관이 많이 개입될 여지가 있고, JTWC와 RSMC Tokyo는 각각 1분과 10분 평균풍속을 사용하기 때문에 차이가 생길 수밖에 없다. RSMC Tokyo에 비하여 JTWC의 태풍발생수가 더 많고 강도가 더 강한 것으로 분석된다.



(그림 4) RSMC Tokyo(직선과 세모)와 JTWC(직선과 원)의 강도변화 경향(1977-2006). 각각의 직선은 증가 및 감소 경향을 나타냄.



(그림 5) 태풍이 우리나라 비상구역에 진입했을 때 RSMC Tokyo(직선과 세모)와 JTWC(직선과 원)의 강도변화 경향(1977-2006). 각각의 직선은 증가 및 감소 경향을 나타냄.

3. 맺음말

'지구온난화'가 우리들의 일상생활에 영향을 주는 것으로 알려지면서 각 분야에서는 '지구온난화' 영향에 대하여 관심이 고조되고 있다. 최근 우리나라에서는 강수량과 태풍 등 악기상 발생빈도와 강도가 급격하게 증가되는 것으로 일컬어지고 있지만, 보다 정확한 분석 결과가 요구되

고 있다.

IPCC 보고서 등에서는 지구온난화 환경에서 집중호우와 강한 태풍은 증가하고 약한 태풍은 감소하는, 극한 사례(extreme cases)가 자주 발생할 것으로 예상하였다. 장기간 관측자료 분석에 의하면 최근 10여년 동안 우리나라의 강수량과 집중호우 발생빈도는 증가경향이 뚜렷하다. 특히 장마 종료 후 늦여름인 8~9월에 더욱 증가폭이 크다. 지역적으로는 한반도 동쪽인 강원도와 경상도에서 뚜렷하다. 이러한 경향은 최근 태풍에 영향이 큰 것으로 분석되었다.

태풍 발생수와 강도 변화 역시 관심의 대상이다. 하지만 태풍 변화에 대해서는 신중한 접근이 필요하다. 왜냐하면 연구에 사용된 관측자료에 따라 태풍의 활동이 강해진다는 주장과 약해진다는 주장이 공존하기 때문이다. 태풍의 강도는 지상관측이 아닌 주로 위성관측에 의한 것이다. JTWC는 강도가 강해지는 반면, RSMC Tokyo는 약해지고 있다.

본 논문에서는 최근 활발한 논쟁 중에 있는 지구온난화와 태풍의 변화에 대하여 지금까지 연구결과에 대하여 요약하였다. 보다 정확한 결론을 내리기 위해서 지금보다 장기간 대기와 해양의 신뢰할 만한 자료가 축적되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 국가태풍센터 시험연구비와 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2007-2310)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 차은정, 이경희, 박윤호, 박종숙, 심재관, 인희진, 유희동, 권혁조, 신도식, 2007 : 2006년 태풍 특징과 태풍 예보의 개선방향. 대기, 17(3), 299-314.
2. 차은정, 박윤호, 권혁조, 2008 : 2007년 태풍 특징. 대기, 18(3), 183-192.
3. 차은정, 심재관, 권혁조, 2008 : 현업예보 관점에서 태풍의

- 온대저기압화 판단 과정에 대한 고찰. 한국지구과학회지, 29(7), 567-578.
4. 차은정, 황호성, 원성희, 고성원, 양경조, 김동호, 권혁조, 2009 : 2008년 태풍 특징. 대기(심사중).
5. 최의수, 문일주, 2008 : 56년간 한반도 강수 및 풍속의 극값 변화. 대기, 18(4), 397-416.
6. 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, J. Korean Earth Science Soc., 28(5), 585-597.
7. Emanuel, K., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. Nature, 436, 686-688.
8. Kwon, H.-J., 2008 : Global warming and tropical cyclone activity over the western North Pacific. The Korea-China Joint Workshop on Tropical Cyclones, 1-5 December, KAL Hotel, Seogwipo, Korea.
9. Kwon, H.-J., W.-J. Lee, S.-H. Won, E.-J. Cha, 2007 : Statistical ensemble prediction of the tropical cyclone activity over the western North Pacific. Geophys. Res. Lett., 34, L24805, doi:10.1029/2007GL032308.
10. Kamahori, H., N. Yamazaki, N. Mannoji, and K. Takahashi, 2006: Variability in intense tropical cyclone days in the western North Pacific, SOLA, 2: 104-107, doi: 10.2151/sola.2006-027.
11. Kossin, J. P., K. R. Knapp, D. J. Vimont, R. J. Murnane, and B. A. Harper, 2007: A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends, Geophys. Res. Lett., 34, L04815, doi:10.1029/2006GL028836.
12. Landsea, C. W., 2007: Counting Atlantic tropical cyclones back to 1900. EOS, 88, 197-208.
13. Lee, W.-J., J.-S. Park, and H. J. Kwon, 2007 : A statistical model for prediction of the tropical cyclone activity over the western North Pacific. J. Korean Meteorol. Soc., 43, 175-183.
14. Webster, G. J. Holland, J. A. Curry, and H.-R. Chang, 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. Science, 309, 1844-1846.