

한반도의 태풍 동반 강우의 통계적 예측

Statistical Estimation of Typhoon-Induced Rainfall around Korean Peninsular

구혜윤* · 이승수** · 이영규***
Ku, Hyeyun · Lee, Sungsu · Lee, Young-Kyu

Abstract

Considering the loss due to typhoon is increasing, estimation and analysis of a typhoon's influence has become more important. On this basis, the statistical models were presented in this paper by two principal elements. Comparisons between the estimated rainfall rate of these models and the observed value in the duration of Typhoon NARI(2007) were analyzed to confirm the availability of these models.

1. 서론

태풍은 지구상의 열적 평형 상태를 유지시키기 위해 저위도 지방의 따뜻한 공기에 의해 바다로부터 공급되는 수증기에 의해 생성되어 강한 바람과 많은 비를 동반하여 무역풍과 편서풍에 의해 고위도 지방으로 이동하는 기상현상이다. 더욱이 1991년부터 2005년 사이에 우리나라에 영향을 끼친 56개의 태풍 중 87.55%에 해당하는 49개의 태풍이 7월, 8월 및 9월에 집중적으로 발생하였으며 사피어-심슨 기준(Saffire-Simpson Scale)[1]에 따라 태풍을 분류할 경우 2등급 및 3등급 태풍의 수가 늘어나고 있다. 또한 풍수해 피해예측시스템 구축방안 연구[2]에 따르면 우리나라에서 발생하는 전체 자연재해에 의한 피해 중 58%가 태풍에 의해 발생하고 있어 태풍 재해에 대한 사전 및 사후 영향에 대한 평가가 필요한 것으로 판단하였다. 또한 본 논문에서는 태풍 피해의 주요 요인인 강풍과 호우 중에서 태풍에 동반되는 강우에 초점을 맞추어 통계적인 방법에 의해 태풍 동반 강우를 모사하는 연구를 진행하였다.

2. 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형

2.1 분석 대상 태풍

현재 우리나라에서 기상관측을 위해 사용하고 있는 기상관측지점은 76개이다. 우리나라를 기호, 영서, 영동, 영남 및 호남지방으로 분류하고 서울, 인천, 제천, 대관령, 춘천, 강릉, 동해, 부산, 함천, 거제, 군산, 여수 및 제주 지점을 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형을 위한 기상관측지점으로 선택하였다.

1991년부터 2006년까지 발생한 44개의 태풍을 선정하였으며 태풍연구센터[3]에서 제공하는 태풍경로도를 기초로 태풍경로를 세 가지 형태로 다음과 같이 구분하였다. 우선 태풍이 우리나라와 일본 규슈지방 사이의 대한해협을 통과하는 남동해안형으로 구분하였고 우리나라의 남해안으로 상륙하여 우리나라를 통과하는 남해안형 및 우리나라의 서해안으로 상륙하여 동해안으로 통과하거나 소멸하는 서해안형으로 구분하였다. 본 논문에서는 세 가지 해안형으로 분류된 44개의 태풍 영향 시간에 대한 13개의 기상관측지점에서 관측된 매시 누적 강우량 자료를 추출하여 통계적 접근 방법을 위한 기초 자료로 사용하였다.

2.2 태풍 동반 강우의 영향 인자

태풍의 크기를 나누는 기준으로써 본 연구에서 이용한 사피어-심슨 기준은 태풍의 중심기압, 태풍 내에서 발생

* 충북대학교 구조시스템공학과 · 석사과정 · E-mail : soul1518@nate.com
** 정회원, 충북대학교 토목공학부 토목시스템공학전공 · 부교수 · E-mail : joshua@cbnu.ac.kr
*** 충북대학교 구조시스템공학과 · 박사과정 · E-mail : youngkyulee@cbnu.ac.kr

하는 최대 풍속의 크기 및 태풍 영향의 반경에 의해서 태풍의 크기를 결정한다. 이를 기초로 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형을 위한 주요 영향인자를 태풍의 중심기압과 태풍 중심으로부터 특정 지점까지의 거리로 결정하였다.

또한 1994년의 Rodgers et. al[4]는 서북대서양의 싸이클론의 강우 특성을 SSM/I(Satellite Sensor Measure/Image)의 자료를 이용한 연구로부터 잠열과 관련하여 강우 강도가 세어지고 이동 속도, 방향 및 위치에 따라 강우 강도가 달라지는 결과를 얻었다. 이에 따라 본 논문에서는 태풍 이동 방향을 기준으로 특정 지점의 상대각도를 이용하여 관측된 강우량 자료를 사분원으로 나눈 통계적 예측 모형을 제안하였다. 본 논문에서는 통계적 예측 모형에 의해 근사된 분포 형상을 부산 지점에 대해서만 제시하고 있다.

2.3 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I

태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I을 구축하기 위해 주요 영향 인자인 태풍 중심 기압과 태풍 중심으로부터의 거리에 따른 매시 누적 강우량을 남동해안형, 남해안형 및 서해안형으로 구분된 44개의 태풍에 대해 태풍 이동 방향을 기준으로 그림 1과 같이 나누어진 사분면에 대해 나누고 부산지점에서 남해안형 태풍에 대해 나타난 것은 다음 그림 2와 같다. 사분면에 따라 태풍 동반 강우가 집중되어 발생하는 곳이 각각 다르게 나타나고 있으며 이 특정 범위 내에서 극값이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상으로부터 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형을 위해 극값을 표현하는 함수의 형태가 적절한 것으로 판단하여 다음 식 (1)과 같은 Nonlinear Lorentzian Equation을 모형을 위해 사용하였다. 이 때, 상수 a, b, c, d, e, f 및 g는 관측된 강우량과 예측된 강우량 사이의 적합도가 최적인 상수로써 각 기상관측지점별로 태풍의 진행형에 따라 상이하게 나타난다.

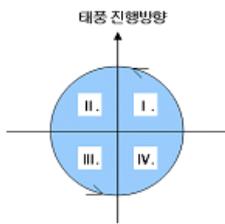
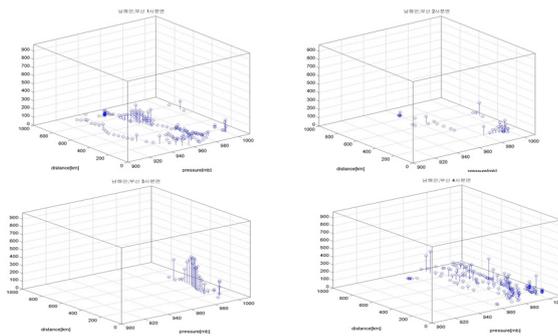


그림 1. 태풍 진행 방향에 대한 사분원 분리 기준



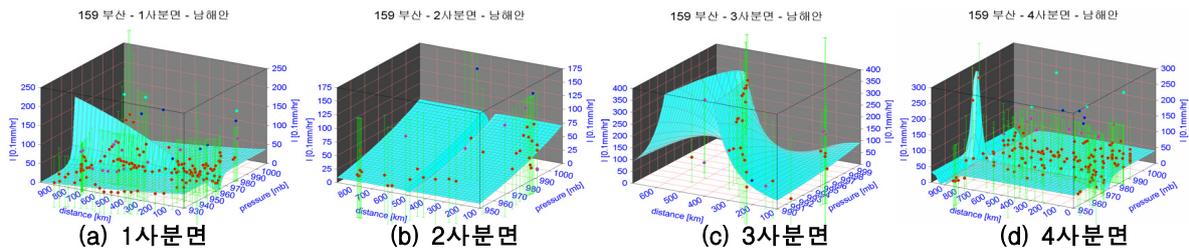
(c) 3사분면

(d) 4사분면

그림 2. 부산지점에서 태풍 진행 방향에 대해 분리된 강우의 분포 형상 (남해안형)

$$z = a + b / (1 + ((x - c) / d)^2) + e / (1 + ((y - f) / g)^2) + h / (1 + ((x - c) / d)^2) (1 + ((y - f) / g)^2) \quad \text{식 (1)}$$

강우가 집중된 특정 지점에서 태풍에 동반되는 집중호우를 고려하기 위해 극값을 나타내는 함수를 이용하여 통계적 예측 모형을 제안하였다. 부산 지점에서 태풍 동반 강우의 통계적 모형 I에 의해 예측된 매시 누적 강우량에서 최대의 값이 나타나는 태풍 중심 기압과 태풍 중심으로부터의 거리는 다음의 표 1과 같다. 남해안형 태풍에 대해 부산 지점에서 4사분면에서는 같은 시점에서 최대값이 나타나지만 다른 세 개의 사분면에서는 서로 다른 시점에서 나타나고 있다. 더욱이 2사분면의 경우 최대의 매시 누적 강우량이 나타나는



(a) 1사분면

(b) 2사분면

(c) 3사분면

(d) 4사분면

그림 3. 부산 지점에서 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I 적용 (남해안형)

지점에서의 예측된 값의 차이가 크게 나타나며 태풍 중심으로부터의 거리의 차이 또한 다른 세 개의 사분면보다 크게 나타나고 있다. 또한 식 (1)에 의해 모사된 분포를 그림 3을 통해서 확인할 수 있다.

표 1. 남해안형 태풍에 대해 부산 지점에서 관측된 매시 누적 강우량과 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I에 의하여 예측된 매시 누적 강우량

사분면	태풍 중심 기압[mb]	태풍 중심으로부터의 거리[km]	매시 누적 강우량[mm/hr]	
			관측	예측
1	962.50	652.10	20.80	10.98
	963.57	622.00	15.50	13.53
2	963.57	622.00	15.50	15.99
	965.00	520.97	20.50	6.86
3	994.29	383.90	37.70	32.46
	995.43	415.29	36.20	40.31
4	975.00	905.45	28.00	27.59

2.4 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 II

태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 III은 2.3과 동일하게 세 가지의 태풍 진행형에 따라 분류된 44개의 태풍에 의해 관측된 매시 누적 강우량을 두 가지의 영향인자인 태풍 중심기압과 태풍 중심으로부터의 거리에 대해 나타내지만 태풍의 중심이 육지에 상륙하기 전 해상으로부터 에너지를 확보할 때 강우가 집중하는 점을 고려하여 태풍 전면에 강우가 집중될 것으로 추정하여 태풍 진행 방향을 기준으로 45° 기울어진 축을 중심으로 그림 4와 같이 사분면을 분리하였다. 이렇게 분리된 사분면에 대해 통계적 예측 모형II를 통하여 강우량을 모사했을 경우 최대의 강우가 나타나는 중심기압 및 태풍 중심으로부터의 거리와 실제 관측된 매시 누적 강우량과 예측된 강우량을 표 2를 통해서 나타내었다.

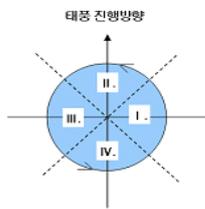
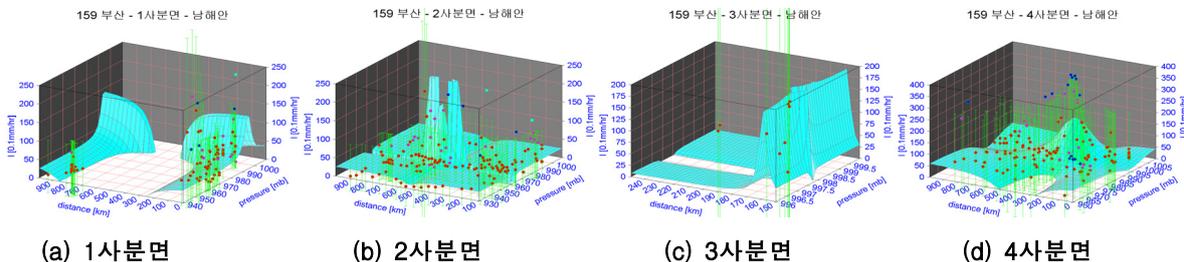


그림 4. 태풍 진행 방향에 대해 각도 45° 기울어진 중심축에 대한 사분면 분리 기준

표 2. 남해안형 태풍에 대해 부산 지점에서 관측된 매시 누적 강우량과 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 II에 의하여 예측된 매시 누적 강우량

사분면	태풍 중심 기압[mb]	태풍 중심으로부터의 거리[km]	매시 누적 강우량[0.1mm/hr]	
			관측	예측
1	994.00	355.01	13.50	12.20
	1000.00	129.00	23.80	5.63
2	962.50	652.10	20.80	18.70
	962.86	643.34	14.00	14.31
3	994.29	383.90	37.70	19.21
	994.86	399.52	30.50	19.23



(a) 1사분면 (b) 2사분면 (c) 3사분면 (d) 4사분면
그림 5. 부산 지점에서 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I 적용 (남해안형)

태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 II를 통하여 부산 지점에서의 남해안형 태풍에 동반되는 강우를 모사한 것에서 강우량의 차이는 최소 2.23%에서 최대 91.86%까지 나타나고 있다. 그러나 최대의 강우 위치가 나타나는 지점을 살펴 볼 경우 동일한 위치에서 최대 강우량이 나타나는 2사분면을 제외하고는 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I보다 태풍 중심 기압의 차이나 태풍 중심으로부터의 거리의 차이가 적게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 5를 통하여 식 (1)을 이용하여 남해안형의 태풍에 대해 부산지점에서

태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 II에 의해 모사된 분포를 확인할 수 있다.

2.5 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형의 검증

본 연구에서 태풍 동반 강우의 주요 영향인자로 채택한 태풍 중심기압과 태풍 중심으로부터의 거리에 따라 두 가지의 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형을 제안하였다. 통계적 예측 모형의 검증을 위해 UTC를 기준으로 2007년 9월 14일 6시에 발생하여 9월 16일 18시에 소멸하기까지 제주도를 포함한 남부지방에 집중 호우 및 바람에 의해 많은 피해를 남긴 태풍 나리(NARI)의 관측 자료를 이용하였다. 검증을 위해 선택된 기상관측지점은 총 15개 지점으로써 표 3을 통해서 각 지점별 실제 총 강우량 및 예측 총 강우량과 실제 총 강우량을 기준으로 오차율을 나타내었으며 RMS(Root Mean Square)의 계산 결과를 확인할 수 있다. 통계적 예측 모형에 의해 최소 및 최대의 오차율은 각각 -0.66과 -0.72, 2.31과 0.58을 나타내고 있으며 예측 모형 II로 인하여 나타나는 오차율의 범위가 작을뿐더러 RMS의 값 또한 0.42로 적게 나타났다. 이로써 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 II를 통해서 태풍 동반 강우량을 예측하기에 더 용이할 것으로 판단된다.

표 3. 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I, II에 의한 총 강우량 결과와 실제 총 강우량 사이의 오차율 및 RMS 계산 결과

지점	총 강우량 [mm]	I		II		지점	총 강우량 [mm]	I		II	
		결과	오차율	결과	오차율			결과	오차율	결과	오차율
여수	51.0	168.8	2.31	80.6	0.58	완도	114.5	86.6	-0.24	69.3	-0.39
제주	421.5	142.6	-0.66	121.4	-0.71	부안	111.5	90.6	-0.19	71.0	-0.36
고흥	239.5	178.0	-0.26	222.7	-0.07	진주	135.5	78.1	-0.42	73.1	-0.46
성산포	196.0	162.4	-0.17	181.1	-0.08	구미	83.0	82.8	0.00	96.6	0.15
서귀포	267.0	147.8	-0.45	143.4	-0.46	산청	140.0	200.0	0.43	221.3	0.58
순천	90.0	99.5	0.11	89.3	-0.01	거창	101.0	42.0	-0.58	107.3	0.06
장흥	100.5	98.1	-0.02	121.1	0.20	대전	123.0	84.5	-0.31	74.5	-0.39
진도	195.5	65.7	-0.66	54.7	-0.72	RMS 계산 결과			0.70		0.42

3. 결 론

본 연구는 태풍으로 인한 피해가 증가함에 따라 태풍의 영향을 평가하기 위한 목적으로 시행되었다. 태풍에 동반되는 강우에 초점을 맞추어 주요 영향 인자로 태풍의 중심기압과 태풍 중심으로부터의 거리를 채택하였고 태풍 내에서 강우의 영향이 동일하지 않은 연구 결과에 따라 태풍 이동 방향을 기준으로 사분원으로 나눈 태풍 동반 강우의 통계적 예측 모형 I과 45° 각도로 기울어진 축을 기준으로 사분원으로 나눈 태풍 동반 강우의 예측 모형 II를 제안하였다. 또한 2007년 발생한 태풍 나리(NARI)를 대상으로 모형을 검증하였으며 예측 모형 II를 이용하여 강우량을 예측하는 것이 더욱 용이한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 국립방재교육연구원 방재연구소의 ‘웹GIS를 활용한 국내 재해정보 DB 및 태풍위원회 재해정보시스템 구축’ 연구 과제의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. C. Donald Ahrens(2005), Essentials of Meteorology-An Invitation to the Atmosphere, 4th edition, U.S.A, Thomson Brooks/Cole, pp.311
2. 자연재해 위험관리-사업장의 풍수재해 대책 중심으로(2006), 한국화재보험협회, pp.27 - pp.134
3. 태풍연구센터, www.typhoon.or.kr
4. Edward B. Rodgers(1994), A Satellite Observational and Numerical Study of Precipitation Characteristics in Western North Atlantic Tropical Cyclones, J. Appl. Meteor., Vol. 33, pp.129 - pp.139