

상륙 태풍에 의한 마산만 폭풍해일 변동성 분석 - 1. 극치 모의 태풍 시나리오의 결정

Variation Analysis of Storm Surges in Masan Bay due to Typhoon Landing-1. Extreme Simulation Typhoon Scenario

Sungdae Han^{a,*}

a Department of Civil Engineering, University of Kyungnam, Changwon city, Republic of Korea

ABSTRACT

Based on the typhoon paths landed on the southern coast of Korea, the distribution of typhoon moving directions follow the Beta probability density function and that of pressure drops in typhoon eyes follow the Rayleigh probability density function. Consequently, the extreme typhoon simulation scenarios for six landing positions are determined as most probable one in moving direction and extreme one of Typhoon Maemi level in pressure drop. The variation of storm surges in Masan bay associated with simulated typhoon landing position is analyzed through the numerical experiments in the next paper as the second part.

KEYWORDS

typhoon,
typhoon landing,
the extreme
typhoon simulation,
Masan bay,
distribution
function

남해안에 상륙한 태풍 자료를 기초로 하여 분석한 결과, 태풍 이동방향의 분포는 Beta 확률 밀도함수를 따르며, 태풍 눈에서의 기압저하는 Rayleigh 확률밀도함수를 따르는 것으로 판단되었다. 이를 바탕으로 6개 상륙 지점에 따라 가장 확률적으로 높은 태풍의 진로와 기압저하에 따른 태풍 매미급의 극치 태풍 모의 시나리오를 결정하였다. 모의된 태풍의 상륙지점에 따른 마산만에서의 폭풍해일 변동성이 후속 연구에서 수치 모의될 것이다.

태풍
태풍 상륙
극치 태풍 모의
마산만
분포 함수

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-55-249-2668, Fax. 82-505-999-2165, Email. sdhan@uok.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Oct. 28, 2015
Revised Dec. 14, 2015
Accepted Dec. 28, 2015

1. 서론

매년 6월부터 10월 사이에 한반도를 찾아오는 태풍은 Table 1과 같이 우리나라 연안에 재산 및 인명손실 등 큰 피해를 남겨 주었다. 이 중에서도 태풍 SARAH(1959), THELMA(1987), GLADYS(1991), OLGA(1999), RUSA(2002), MAEMI(2003) 등은 남해안에 상륙한 태풍으로서 역대의 큰 재산 피해를 초래하였으며, 태풍 중심에서의 큰 저기압에 따른 폭풍해일로 저지대에 많은 침수 피해가 있었다. 남해안에서의 조차분포는 서측에서 4m로부터 동측 1m까지 변하는 곳으로 태풍이 상륙할 때의 조위가 재해규모에 큰 영향을 미친다. 특히 비슷한 크기의 저기압으로서 상륙하였지만 태풍 루사보다는 매미가 만조위의 시각에 상륙하였던 까닭에 Fig. 1에서 보는 바와 같이 마산만 일대의 저지대에서는 엄청난 피해가 발생되었다(마산시, 2005). 본 연구에서는 폭풍해일에 대한 취약성 분석을 위하여 한반도에 상륙하는 태풍만을 대상으로 태풍의 진행과 기압강하의 특성을 분석하였다.

Table 1. Ranking of fatal losses and damages from typhoons(The weather center)

인명 피해				재산 피해			
순위	피해발생기간	태풍명	사망·실종(명)	순위	피해발생기간	태풍명	피해액(억원)
1위	1936.08.20~28	3693호	1,232	1위	2002.8.30~9.1	루사(RUSA)	51,479
2위	1923.08.11~14	2353호	1,157	2위	2003.9.12~13	매미(MAEMI)	42,225
3위	1959.09.15~18	사라(SARAH)	849	3위	1999.7.23~8.4	올가(OLGA)	10,490
4위	1972.08.19~20	베티(BETTY)	550	4위	1995.8.19~30	재니스(JANIS)	4,563
5위	1925.07.15~18	2560호	516	5위	1987.07.15~16	셀마(HELMA)	3,913
6위	1914.09.07~13	1428호	432	6위	1998.09.29~10.1	예니(YANNI)	2,749
7위	1933.08.03~05	3383호	415	7위	2000.08.23~9.1	쁘라삐룬(PRAPIROON)	2,520
8위	1987.07.15~16	셀마(HELMA)	343	8위	2004.08.17~20	메기(MEGI)	2,508
9위	1934.07.20~24	3486호	265	9위	1991.08.22~26	글래디스(GLADYS)	2,357
10위	2002.08.30~9.1	루사(RUSA)	246	10위	2011.07.28~8.9	무이파(MUIFA)	2,183

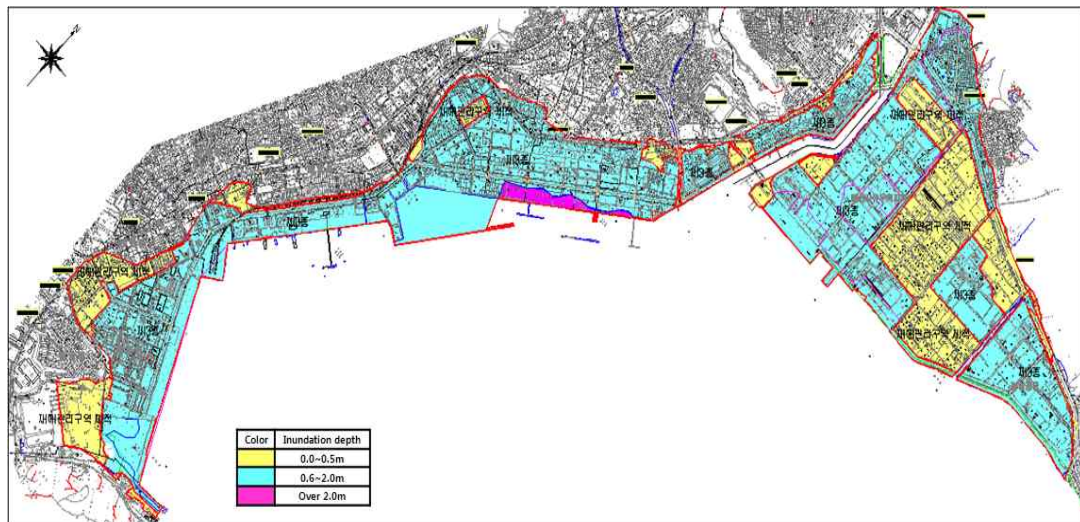


Fig. 1. Inundation of low-lying coastal area in Masan due to Typhoon Maemi Landing

그동안 폭풍해일로 인한 재난을 극복하기 위하여 저감시설과 예측모형에 대한 연구가 활발하게 이루어 졌다. 특히 폭풍해일로 인한 대표적인 국내 피해지역인 마산해역에 국내외에서 개발된 많은 해수순환모형이 hindcast 및 forecast 목적으로 적용되었다 (Yasuda 등 2004; 한성대 등 2009; Kang 등 2009). 대표적인 hindcast 적용 사례로서 Yasuda 등(2004)은 Navier-Stokes 식을 이용한 3차원 MARS(Multi-interface Advection and Reconstruction Solver)모델로 태풍 매미로 인한 마산범람 및 인명피해가 컸던 빌딩 지하공간으로의 해수유입 현상을 모의하였다. 또한 대표적인 forecast 적용사례로는 한성대 등(2009)이 신속하고 안정된 수치 계산이 가능한 수심적분 범람모형을 개발하여 재난관리 공무원들이 쉽게 사용할 수 있는 예경보시스템을 제시한 바 있다. 그러나 2003년 태풍 매미로 인한 재해가 발생한 지 거의 12년이 경과한 현시점에 있어서도 남해안을 대상으로 하는 nowcast/forecast 적용을 위하여 구축된 모형은 거의 없는 실정이다. 미국은 hydrodynamic model을 기반으로 한 예보시스템(CSP, Coastal Storms Program)을 플로리다의 북동부 St. John's River 지역을 시작으로 수립해나가고 있다(McAloon et al., 2005).

한반도에 영향을 주는 태풍자료의 통계학적 연구를 보면, 한반도를 중심으로 상륙 특성에 따라 태풍을 5가지로 구분한 박종길(1992)과 태풍의 전향 특성에 따라 8가지로 분류한 이동규 등(1992), 동중국해를 거치는 태풍을 7가지 유형으로 분류한 윤용훈 등(1999)의 연구들이 있다. 박종길 등(2006)은 태풍의 진로 변화와 강도, 피해 정도를 함께 고려하여 한반도에 영향을 미친 태풍의 발생과 피해에 대한 통계적 특성을 분석하였고, 최기선 등(2007)은 한반도에 상륙한 51개 태풍을 대상으로 상륙 후 강도변화를 예측하기 위한 회귀모형을 개발하였다. 박두선 등(2008)은 경상북도에서 태풍의 영향과 유형별 진로특성을 분석하였고, 문일주 등(2011)은 한반도 근접태풍의 정의와 기준을 결정하였다. 태풍의 이동속도에 대한 위도별 변화에 대한 분석 결과는 태풍백서(2011)에 제시되었는데, 태풍이 서쪽으로 이동하는 편동풍대에 있는 동안은 평균 이동속도가 20km/h 정도로 느리지만 북쪽을 향하여 전향한 후에는 속도가 지속적으로 증가하여, 우리나라 남해안에 상륙할 때에는 평균 이동속도가 30km/h 정도로 상승하여 최대 60km/h 이상의 이동속도를 보인다는 분석이다.

한편 연안방재와 관련한 연구를 보면, 마산시는 태풍 매미에 의한 피해를 종합한 재해백서의 발간(2003)과 재해관리구역 지정 타당성조사 및 구역지정계획을 수립(2005)하였으며, 서규우는(2004)는 전국적인 연안방재시스템구축 및 해양관련 모니터링기법 개발에 대한 제안을 하였고, 강윤구(2005)는 태풍 매미 내습 시 호안, 안벽에서의 수위증가 패턴을 고찰하였다. 최근 김효석 등(2014)은 해수면 상승과 태풍시나리오를 설정하여 침수 취약성 평가에 대한 연구를 하였고, 고재순(2015)은 ICT기술을 이용하여 재해경감을 위한 방재정보의 효율적인 환류기능 확보방안을 연구하였다.

본 연구에서는 1970년 이후부터 약 40년간 우리나라 남해에 상륙했던 태풍의 진로와 기압 특성 등을 파악하여 우선 기상적 모의 태풍을 결정하였으며, 그리고 남해안을 따라 서로 다른 6개의 상륙 지점에 대해 마산만에 영향을 미치는 폭풍해일의 특성을 조사하여 상륙 지점에 따른 마산만 폭풍해일의 취약성을 분석하였다. 또한 연구의 전반부로서 우리나라 남해에 상륙했던 19개 태풍의 진로와 기압특성 등을 분석하여 가장 확률적으로 가능성이 크고 태풍 매미급의 기압강하를 초래하는 태풍 시나리오를 결정하였다.

2. 남해안 상륙 태풍 조사

1970년 이후부터 2012년까지 우리나라 남해안에 상륙했던 태풍의 수는 19개이며 상륙할 때의 시점과 상륙 위치, 상륙 시의 기압 등이 Table 2에 제시되었다. 남해안에 상륙하는 태풍을 Fig. 2와 같이 임의로 6개 권역으로 구분하였다. 상륙기준은 편의상 북위 34.8°N를 기준으로 하였다. 전라남도 서측으로부터 경도 126.6°E, 127.2°E, 127.8°E(전남, 경남 경계)로 Z1(목포), Z2(고흥만), Z3(여수)로 나누고, 다시 128.4°E, 129°E 및 부산 동측으로 Z4(남해), Z5(진해만), Z6(부산) 등 6개 권역으로 구분하였다.

Table 32. Typhoons Landed through Southern Coast

번호	상륙일시 (y.m.d.h)	태풍명	태풍번호	상륙지점	상륙 시 기압(hPa)	상륙각 (진북기준)
1	1978.08.20. 00:00	CARMEN	7811	목포	985	36.36°
2	1985.08.10. 12:00	KIT	8508	목포	994	24.27°
3	1986.06.25. 00:00	NANCY	8605	진해만	990	40.31°
4	1986.09.21. 00:00	ABBY	8616	부산	1000	40.23°

번호	상륙일시 (y.m.d.h)	태풍명	태풍번호	상륙지점	상륙 시 기압(hPa)	상륙각 (진북기준)
5	1987.07.15. 12:00	THELMA	8705	고흥만	970	20.89°
6	1989.07.28. 12:00	JUDY	8911	여수	990	334.30°
7	1991.08.23. 09:00	GLADYS	9112	여수	988	313.67°
8	1994.10.11. 21:00	SETH	9429	고흥만	980	35.42°
9	1995.07.23. 09:00	FAYE	9503	남해	968	19.79°
10	1997.08.08. 21:00	TINA	9711	남해	985	43.71°
11	1999.08.03. 06:00	OLGA	0215	목포	975	0.00°
12	2000.07.30. 21:00	BOLAVEN	0314	부산	990	17.44°
13	2002.08.31. 09:00	RUSA	0603	고흥만	963	354.01°
14	2003.09.12. 12:00	MAEMI	0711	남해	955	33.96°
15	2006.07.10. 03:00	EWINIAR	1004	목포	980	16.90°
16	2007.09.16. 09:00	NARI	0711	여수	970	22.68°
17	2010.08.11. 00:00	DIANMU	1004	진해만	988	63.60°
18	2012.08.30. 06:00	TEMBIN	1214	고흥만	994	28.04°
19	2012.09.17. 03:00	SANBA	1216	남해	965	5.34°

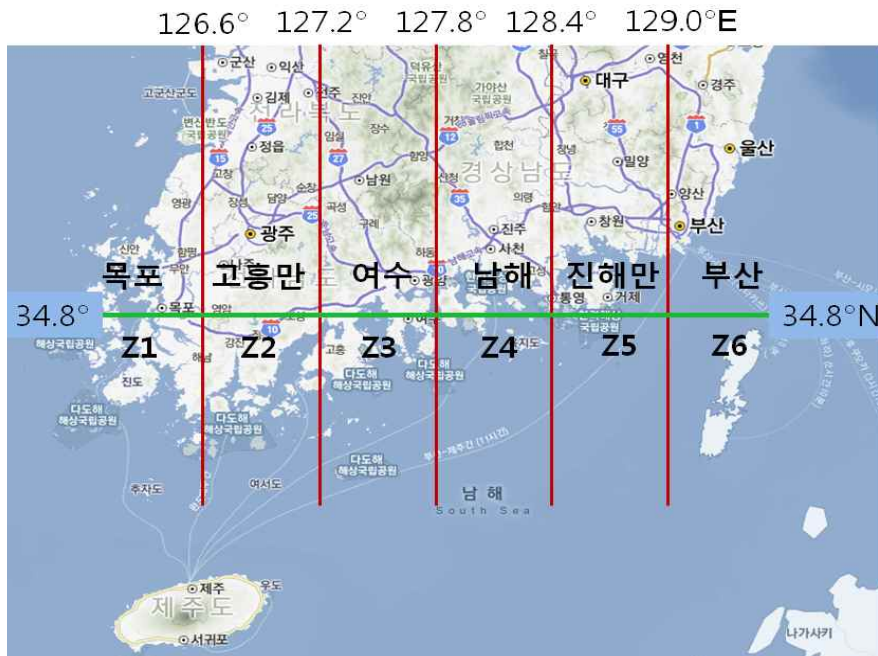


Fig. 2 A latitude base of typhoon landing and zoning into 6 zones

Fig. 3은 Fig. 2의 각 권역으로 상륙하는 태풍 19개를 구별하여 도시한 것이다. CARMEN(1978), KIT(1975), OLGA(1999), EWINIAR(2006) 등 4개의 태풍이 Z1로 상륙하였으며, THELMA(1987), RUSA(1994), SETH(2002), TEMBIN(2012) 등 4개 태풍이 Z2로, JUDY(1989), GLADYS(1991), NARI(2007) 등 3개 태풍이 Z3로, FAYE(1995), TINA(1997), MAEMI(2003), SANBA(2012) 등 4개 태풍이 Z4로, NANCY(1986), DIANMU(2010) 등 2개 태풍이 Z5로, 그리고 ABBY(1986), BOLAVEN(2000) 등 2개 태풍이 Z6로 상륙하였다. Z6의 경우 태풍의 눈이 한반도에 상륙하지는 않았지만 최대 풍속을 갖는 태풍권은 상륙한 것으로 간주하였다. 자료가 충분하진 않지만 전체 권역으로 균등하게 상륙하는 경향을 보이고 있다.

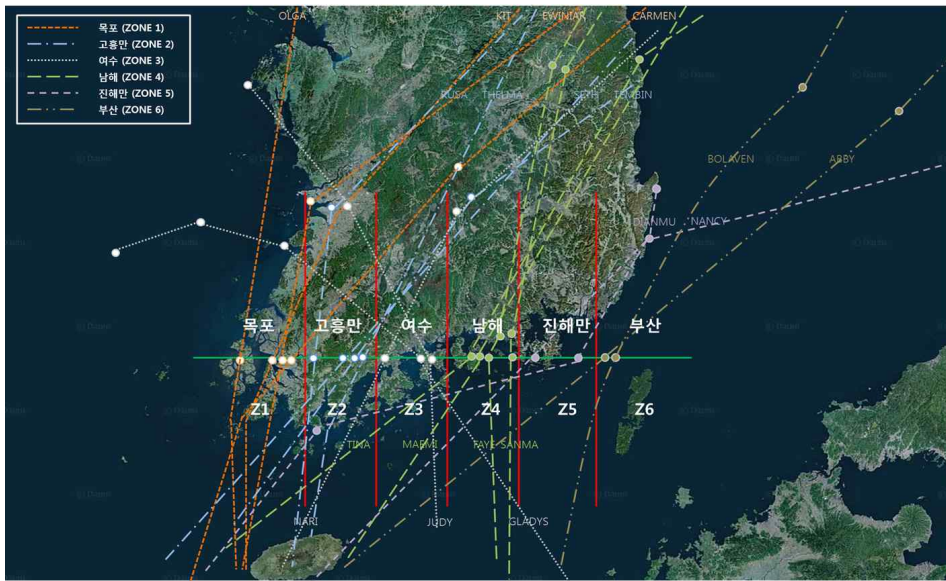


Fig. 3 Typhoons landed on Korean Peninsula from 1970 to 2012.

3. 상륙 태풍의 특성 분석

3.1 진로특성 분석

남해안에 상륙하는 태풍의 진행방향을 진북으로부터의 사잇각에 대하여 조사하면, Fig. 4, 5와 같이 -90° 에서부터 90° 사이의 분포를 보이고 있는데, 30° 방향 등급에서 가장 확률적으로 높은 값을 보이고 있다. 또한 Beta 분포 함수와 비교 하여도 상당히 유사한 경향을 보여 태풍 진행방향에 대한 사잇각의 분포가 Beta 함수로 표현될 수 있다고 판단되었다.

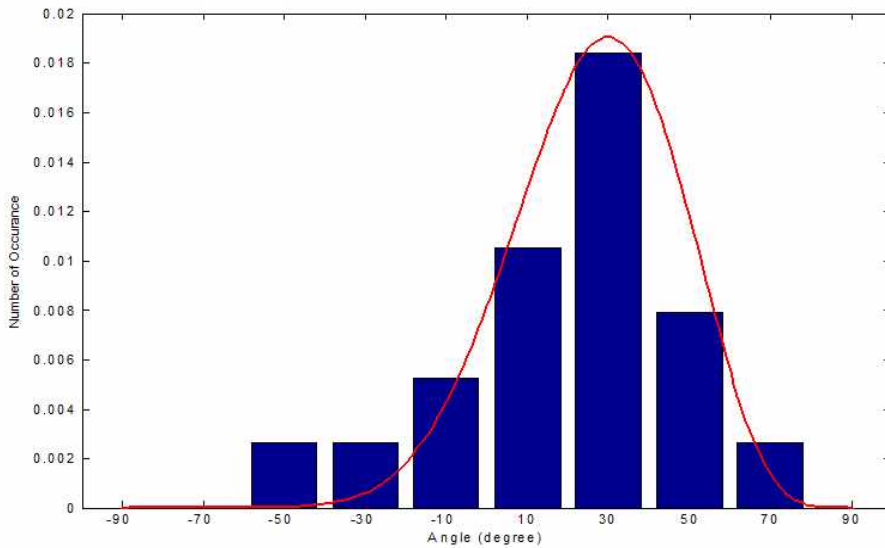


Fig. 4. Beta distribution of angles for typhoons landed to the southern coast of Korea

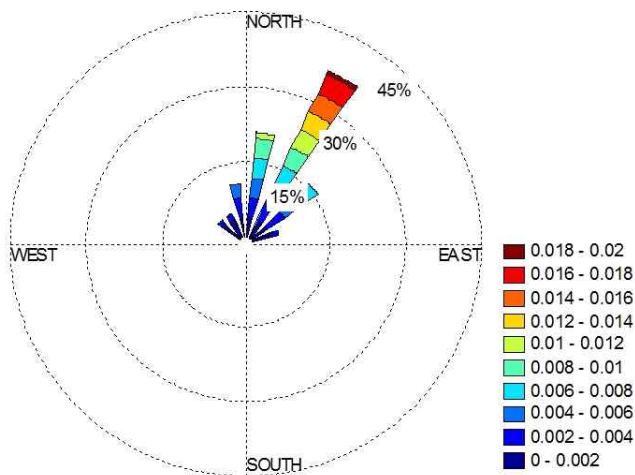


Fig. 5. Wind rose of angle probability for typhoons landed to the southern coast of Korea

Beta 확률밀도함수(Beta pdf)는 변수영역이 한정된 분포에 적용되는 대표적 함수로서 다음과 같이 (a, b) 가 변수영역의 한계인 경우 다음과 같은 확률밀도함수로 주어진다.

$$f(x;p,q) = \frac{1}{B(p,q)} \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}}, \quad a \leq x \leq b \tag{1}$$

여기서, a 는 하한 값으로 -90° 를, b 는 상한 값으로 90° 를 적용하였다. p 와 q 는 매개변수로 영보다 큰 값이면 자료의 평균(μ)과 분산(σ^2)으로부터 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$p = \frac{\mu - a}{b - a}v \quad \text{and} \quad q = \frac{(b - \mu)}{b - a}v \tag{2}$$

여기서, $v = \frac{(\mu - a)(b - \mu)}{\sigma^2} - 1$ 이다.

p 와 q 가 같은 값이면 평균에 대하여 대칭인 분포를 보이며, $p > q > 1$ 이면 분포의 최대값이 x 가 큰 쪽으로 치우치고 $1 < p < q$ 이면 x 가 작은 쪽으로 치우친다. $p = q = 1$ 이면 동일한 확률을 갖는 분포이고 p, q 가 1보다 작으면 양쪽에서 큰 값을 갖는 분포 특성을 띤다. 1보다 큰 값인 p, q 로부터 가장 확률이 높은 최대값은 다음 식으로 결정된다.

$$x_p = a + \frac{p-1}{p+q-2}(b-a) \tag{3}$$

따라서 본 연구에서는 식 (3)으로부터 가장 확률이 높은 진행각을 구하고 회귀분석하여 모의태풍에 대한 위도별 태풍의 진로 패턴을 결정하였다. Fig. 6은 북위 29, 31, 33, 35°N에 대하여 남해안에 상륙한 19개의 태풍에 대한 분포와 Beta 확률밀도함수를 비교한 것으로 서로 상당히 유사한 결과를 보이고 있다.

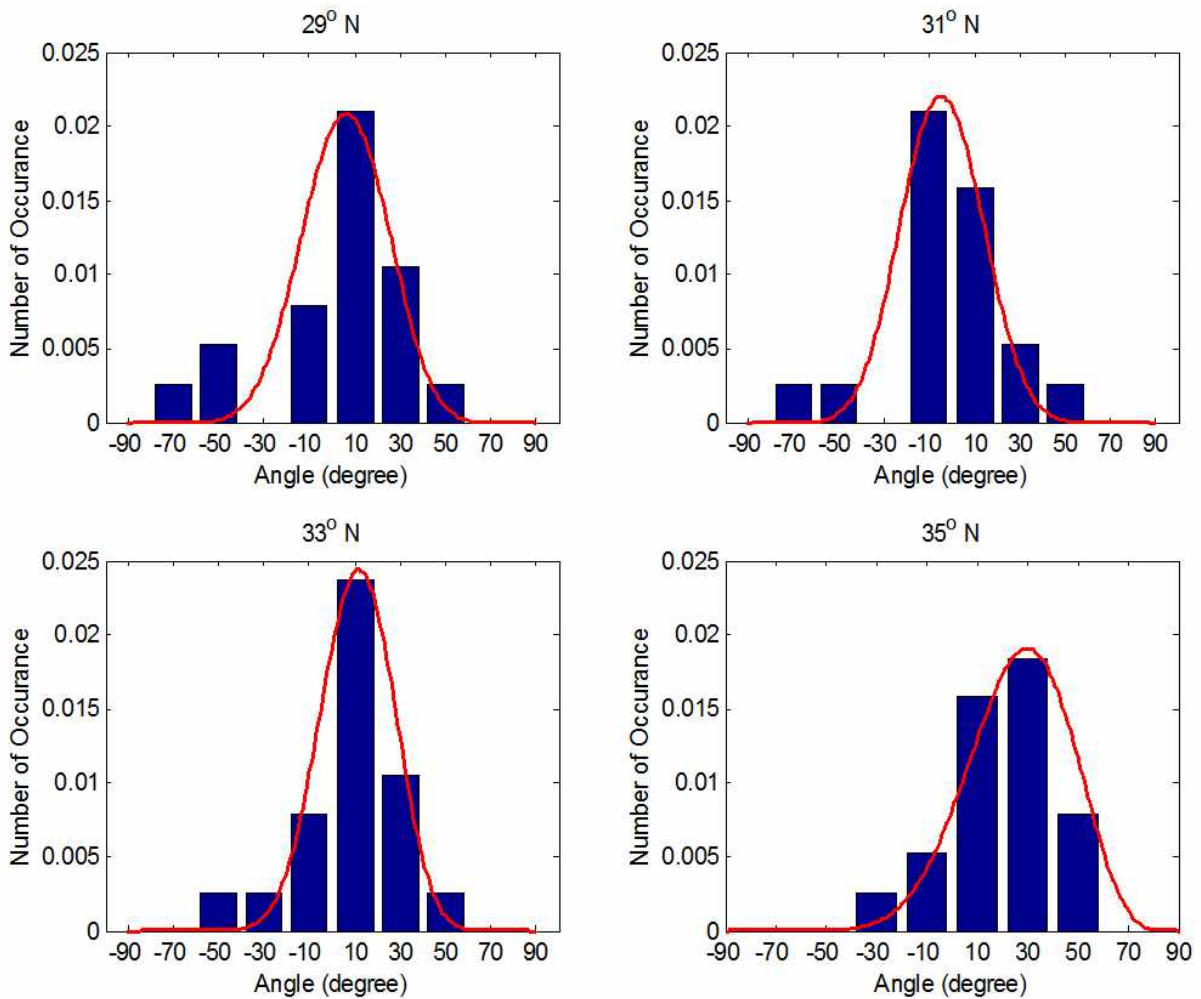


Fig. 6. Comparison between Beta pdf (dashed line) and distribution of typhoon moving angles for latitudes 29, 31, 33 and 35°N

Fig. 7은 북위 25°N로부터 35°N까지 1°간격으로 남해안에 상륙한 19개 태풍의 진행각을 나타낸 것으로, 1°간격의 위도마다 19개 태풍의 진행각에 대하여 평균 및 분산을 구한 다음 식 (3)으로부터 x_p 를 구하여 도시하였다(circle). x_p 는 해당 위도에서 확률적으로 가장 가능성이 높은 태풍의 진행각을 의미하는 것으로 위도에 따라 선형적 변화를 보이고 있다. 따라서 위도(L)에 대하여 태풍 눈의 확률진행각(x_p)을 선형회귀분석을 통하여 구하면 다음과 같다.

$$x_p = -157.6 + 5.15L \quad \text{for } 25^\circ \leq L \quad (4)$$

예를 들어 남해안에 상륙하는 것으로 판단하는 북위 34.8°N에서의 확률진행각은 21.62°가 된다. Table 3은 북위 25°N로부터 35°N까지 1°간격으로 19개 태풍의 진행각의 평균(α_{mean})과, 가장 큰 진행각(α_p), 식 (4)로부터 구한 확률진행각(α_{fit}) 그리고 태풍 매미의 진행각(α_{maemi})을 제시한 것이다. 북위 35°N에서 매미의 진행각과 확률진행각은 약 6°차이를 보인다. 식 (4)의 결과는 진행각이 0이 되는 지점에서 태풍이 선회하는 것이므로, 위도 약 30.6°N에서 선회하는 것을 알 수 있다.

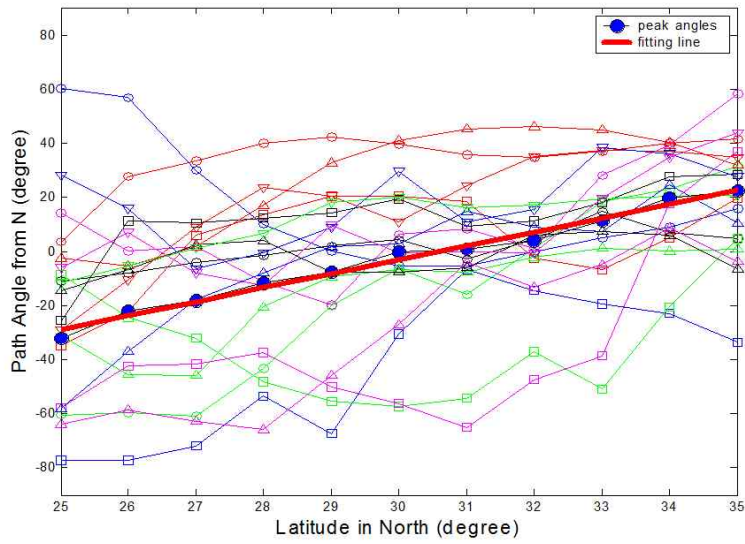


Fig. 7. Paths of landing typhoons and a fitting curve (red dashed line) showing the most probable path angles (blue circles) w.r.t. latitudes

Table 3. Beta distribution analysis of typhoon path angles w.r.t latitudes

Latitude(°N)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
α_{mean}	-20.3	-14.9	-13.4	-9.1	-5.5	-0.1	0.8	3.4	9.3	17.6	19.4
α_{peak}	-32.0	-22.0	-18.3	-11.8	-7.4	-0.2	1.0	4.0	11.3	19.5	22.3
α_{fit}	-28.8	-23.7	-18.5	-13.4	-8.2	-3.1	2.1	7.3	12.4	17.6	22.7
α_{macmi}	-25.5	11.2	10.4	12.5	14.5	19.5	9.6	11.4	18.0	27.9	28.4

3.2 중심 기압 특성 분석

태풍의 눈은 저기압 발달로 형성되는 대표적인 현상으로 표준대기압보다 낮은 기압강하(pressure drop)의 특징을 가지고 있다. 또한 기압의 강하 정도는 태풍의 강도를 좌우하는 대표적인 인자이다. 남해안 상륙 태풍의 기압강하 특성은 Fig. 9와 같으며 Rayleigh 분포를 따르는 것으로 나타났다.

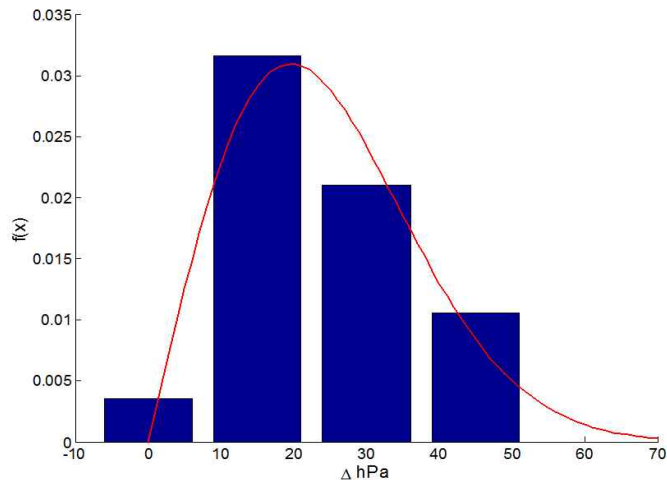


Fig. 8. Rayleigh pdf and distribution of pressure drops for typhoons landed to the southern coast of Korea

기압강하(Δp)는 hPa 의 단위로 다음 식과 같이 산정하였다.

$$\Delta p = 1,013 - \alpha - p$$

여기서, p 는 기압이고, α 는 기압강하 특성을 파악하기 위한 Δp 의 interval의 반에 해당하는 값으로, 본 연구에서는 $7.5hPa$ 로 취하였으며 좀 더 Rayleigh 분포에 가깝도록 하는 역할을 한다. 그러나 표준대기압의 변동성을 감안할 때 태풍의 영향과 관련된 기저기압(base pressure)으로서의 역할을 할 수도 있다고 판단되었다.

Rayleigh 확률밀도함수는 변수영역이 0으로부터 무한대인 변수에 적용되는 것으로서 파고의 확률밀도함수에 사용되는 대표적인 것으로 다음과 같은 함수로 주어진다.

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \quad x \geq 0 \tag{5}$$

여기서, scale factor σ 는 N 개의 자료로부터 다음과 같이 근사적으로 구해진다.

$$\sigma = \frac{\Gamma(N)\sqrt{N}}{\Gamma(N + \frac{1}{2})} \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \tag{6}$$

Rayleigh 분포를 기반으로 N 개 자료 중에서 극치 값을 구하면 다음과 같이 근사 값을 구할 수 있다.

$$\Delta p_{1/N} \cong \sqrt{\ln N} \sqrt{2\sigma^2} \tag{7}$$

남해안에 상륙한 태풍 19개에 대하여 적용하면 Table 4와 같이 위도 25°N부터 35°N사이에서 평균적으로 거의 태풍 매미와 비슷한 수준의 기압강하 값을 갖는 것으로 평가되었다.

Table 4. Rayleigh distribution analysis of $\Delta p(hPa)$ for landed typhoons w.r.t latitudes

Latitude (°N)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	Average
Δp_{mean}	40.3	42.5	42.5	41.6	39.8	39.3	37.5	35.7	32.9	28.7	23.4	
Δp_{rms}	46.5	47.2	46.8	45.9	43.8	42.6	40.8	38.8	35.7	31.9	26.5	
Δp_{extrm}	79.8	81.0	80.3	78.7	75.2	73.1	70.1	66.6	61.3	54.7	45.5	
Δp_{fit}	79.9	80.4	80.0	78.8	76.7	73.8	70.1	65.6	60.2	54.0	46.9	69.7
Δp_{maemi}	96.4	88.0	74.0	71.0	68.8	62.8	60.5	59.3	55.1	55.6	52.6	67.6

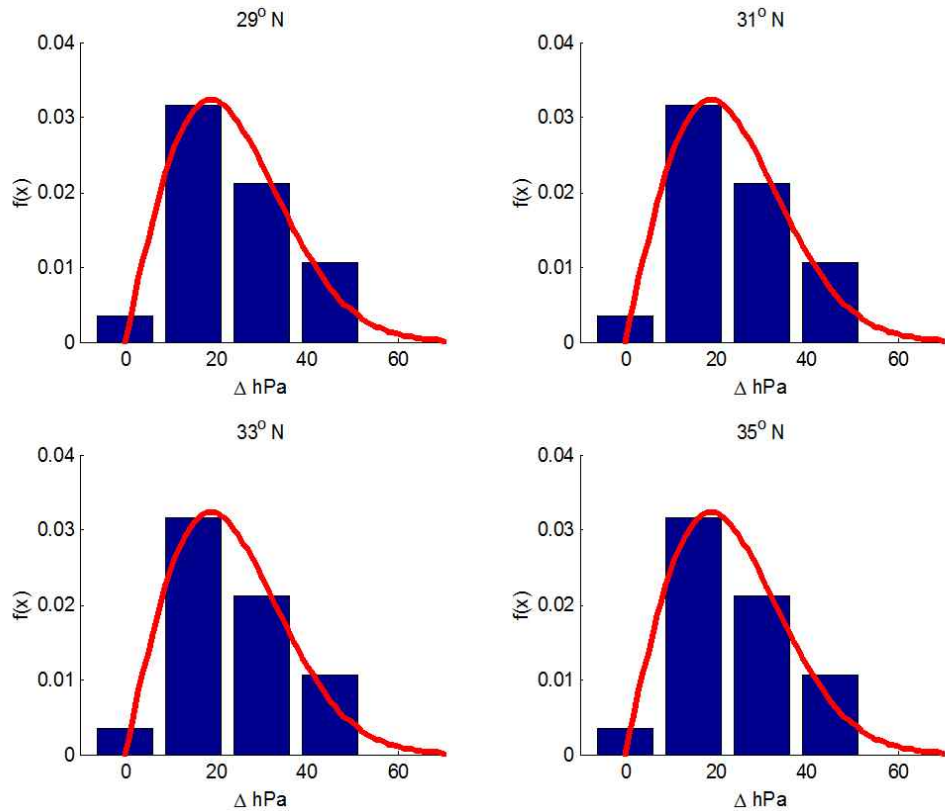


Fig. 9. Comparison between Rayleigh pdf (dashed line) and distribution of typhoon pressure drops for latitudes 29, 31 33 and 35°N

따라서 본 연구에서는 식 (7)의 극치 값을 각 위도에 대한 기압강하 자료에 적용하여 맞춤(fitting)한 다음 이를 모의 태풍의 위도별 태풍 눈의 기압강하 값으로 사용하였다. 2차 polynomial 함수로 맞춤하여 얻은 위도별 수식은 다음과 같다.

$$\Delta p_{extrm} = -248.8 + 24.94L - 0.47L^2 \tag{8}$$

기압강하의 최소자승에 해당하는 기압에 대해서도 polynomial로 가정하고 위도별 맞춤함수를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta p_{rms} = -145.0 + 14.53L - 0.275L^2 \tag{9}$$

식(9)는 기압강하가 0이 되는 위도가 13.35°N와 39.48°N이고, 또한 북위 26°N를 기점으로 기압강하 구배가 위도를 따라 선형적으로 감소한다는 것을 의미한다. 이는 한반도에 도달하는 태풍은 13.35°N와 39.48°N사이에서 그 영향력을 발휘한다고 볼 수 있다. Fig. 10은 19개의 상륙 태풍의 기압강하와 극치기압강하의 맞춤된 곡선을 보여주고 있는데, 식(9)의 결과에서와 같이 26°N 부근에서부터 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서 남해안으로 상륙하는 태풍은 대부분 북한 원산부근보다 약간 위에 위치한 위도 39.48°N 선상에서 소멸되는 통계적 특성을 가지고 있으며, 필리핀 수도 마닐라 보다 약간 아래쪽에 위치한 13.35°N 선상에서 대부분 발생한다고 판단할 수도 있다.

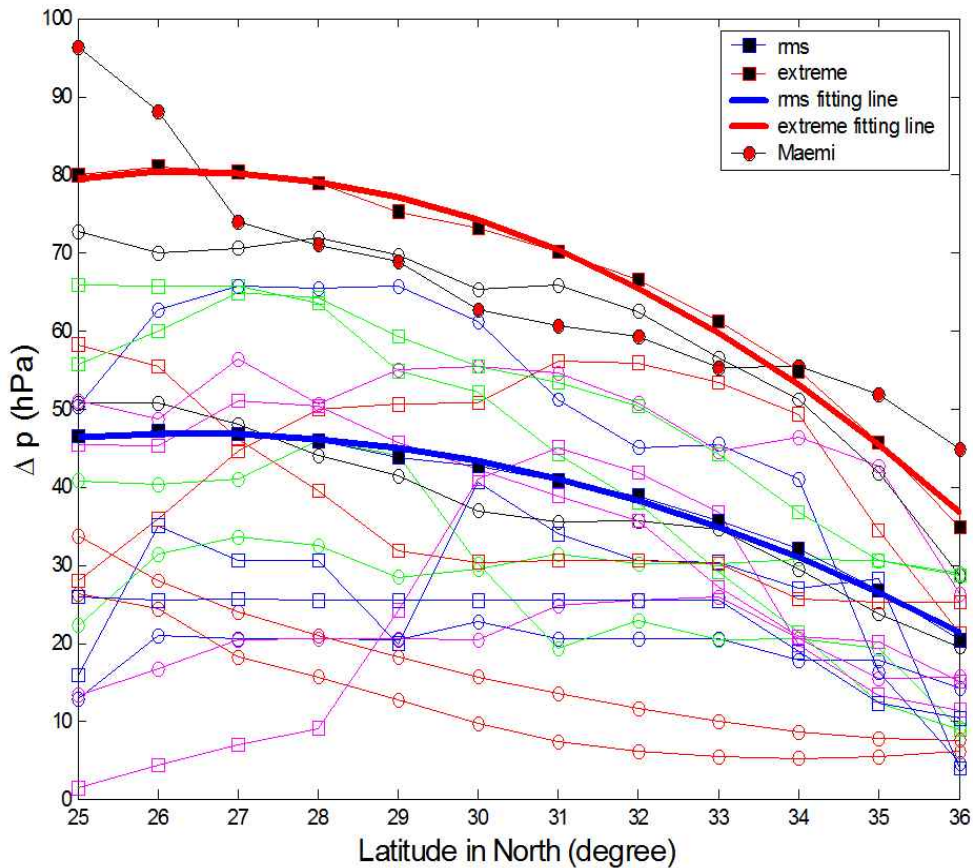


Fig. 10. Pressure drops of landing typhoons and a fitting curve (red dashed line) showing the extreme pressure drops of Typhoon Maemi level (blue circles) w.r.t. latitudes

4. 극치 태풍 모의 시나리오

Fig. 11은 경도 간격 0.6°로 남해안에 상륙하는 6개의 태풍 시나리오를 남해안에 상륙한 태풍의 진로와 함께 도시하였다. 남해안에 상륙하였던 태풍만을 도시한 관계로 도시된 태풍의 진로는 시나리오 태풍에 비하여 남해안의 기준 위도를 벗어날수록 경도 상에서 퍼지는 형태를 보이고 있다. 본 연구 결과에서 얻어진 태풍 진행각의 확률분포를 Beta 함수로 가정하고 위도별 p , q 를 이용하면 태풍의 위도별 진행각에 따라 남해안에 상륙할 확률을 추정할 수 있다. 식 (4)의 결과에서와 같이 진행각이 0이 되는 지점에서 태풍이 선회하는 것이므로 위도 약 30.5°N에서 선회하는 결과를 보이고 있다.

박종길 등(2006)은 한반도에 영향을 미치는 태풍의 경우 위도는 9.5~19.5°N와 경도는 130~149°E에 위치하는 것으로 분석하였다. 이는 본 연구의 진행각 분석과 비교하여 상당히 유사한 결과를 제시한다. 즉, 태풍 기압강하가 소멸되는 원산에서의 태풍 시나리오의 경도 위치와 태풍이 발생하는 경도 위치가 같게 되므로 130~135°E사이에 위치하는 것으로 분석되고 있다. Table 5는 6개 태풍 시나리오에 대한 위도별 경도를 제시한 것이다.

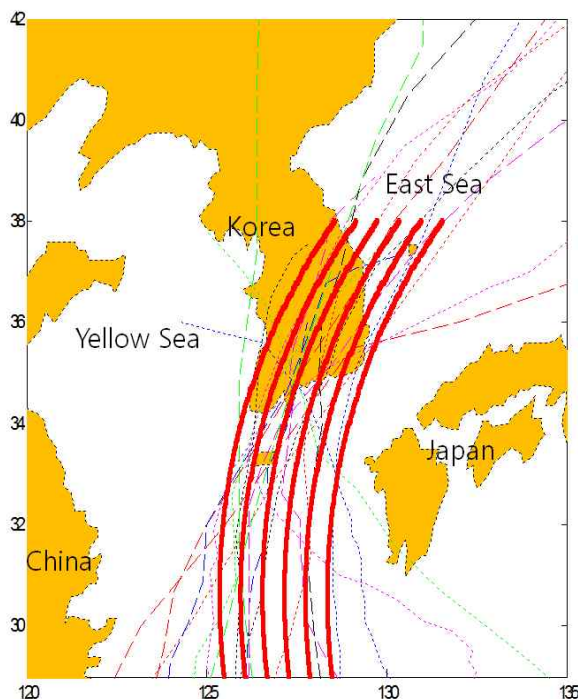


Fig. 11. Path lines of extreme simulation typhoons for six landing positions(°E, °N)

Table 5. Position of 6 typhoon scenarios for six landing positions

Latitude (°N)	Paths w.r.t. zones(Longitude °E)					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
30	125.37	125.97	126.57	127.17	127.77	128.37
31	125.36	125.96	126.56	127.16	127.76	128.36
32	125.45	126.05	126.65	127.25	127.85	128.45
33	125.65	126.25	126.85	127.45	128.05	128.65
34	125.96	126.56	127.16	127.76	128.36	128.96
35	126.39	126.99	127.59	128.19	128.79	129.39
36	126.96	127.56	128.16	128.76	129.36	129.96
37	127.67	128.27	128.87	129.47	130.07	130.67
38	128.55	129.15	129.75	130.35	130.95	131.55

5. 결론

본 연구에서는 남해안에 1970년 이 후에 상륙한 19개의 태풍자료를 분석하여 태풍 매미급의 모의 태풍 시나리오를 결정하였다. 상륙한 태풍자료의 분석을 통하여 태풍 진행각도는 Beta 확률밀도함수를 따르며 기압강하는 Rayleigh 확률밀도함수를 따르는 것으로 판단되었다. 태풍은 서쪽으로 향하다가 위도 30.6°N에서 진행각도를 동쪽으로 가장 자주 방향을 트는 것으로 분석되었으며, 남해안에 상륙할 때는 진북으로부터 21.6°로 북북동진하는 경우가 가장 자주 발생하였다. 기압강하 분석으로부터 한반도에 도달하는 태풍은 13.35°N와 39.48°N사이에서 그 영향력을 크게 발휘하였다. 이는 대부분의 태풍이 북한 원산 보다 약간 위쪽에 위치한 39.48°N 부근에서 소멸되는 통계적 특성을 가지고 있으며 북위 26°N에서 가장 큰 기압강하를 보이는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구에서는 이 결과를 바탕으로 6개 상륙 지점에 따라 가장 확률적으로 높은 진로와 매미급의 모의태풍 시나리오를 결정하여 제시하였다. 이 모의태풍의 상륙지점에 따라 후속 연구에서는 마산만에서의 폭풍해일 변동성이 수치 모의될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014학년도 경남대학교 연구년 연구비 지원에 의한 것임.

또한 자료분석에 도움을 준 성균관대학교 건축토목공학부 이정렬교수에게 감사드립니다.

References

- Kang S. W., Jun K. C., Park K. S. and Han S. D. (2009) "Storm surge hindcasting of typhoon Maemi in Masan bay, Korea", *Marine Geodesy*, 32, 218-232.
- McAloon C., Garza R.C., Sylvestre J., Watts M., Wildman A., Kay M., Mahoney J., McGinley J., Shaw B., Smart J., Welsh P., Bogenschutz P., Rogers E., and Nicolini T. (2005) "The coastal storms program: Improved prediction of coastal winds, waves and flooding", *Proc. Solutions to Coastal Disasters 2005*, ASCE, pp. 227-236.
- Yasuda Y., Hiraish t., Kawai H., Nagase K. (2004) "Numerical analysis of storm surge inundation in Masan", *Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Workshop on Waves and Storm Surges around Korean Peinsula*, 75-79.
- Lee D. K., Jang D. E., Wee T. K. (1992) "Typhoon Approaching Korea, 1960-1989 Part I: Statistics and Synoptic Overview", *J. of The Korean Meteorological Society*, Vol. 28, No. 2, 133-147.
- Youn Y. H., Kim C. K. (1999) "Analysis of the Characteristics of Storm Surges According to the Typhoon Path", *J. of The Korean Meteorological Society*, Vol. 35, No. 3, 344-353.
- Masan City (2003), A Disaster White Book
- Masan City (2005), Hazard Map
- Seo K. W. (2004) "Disaster Characteristics Analysis at Busan Coastal Areas by Typhoon Maemi in 2003", *J. of Advanced Research in Ocean Engineering*, Vol. 18, No. 2, pp 25-32,
- Kang Y. K. (2005) "Pattern of Water Level Increase by Storm Surge and High Waves on Seawall/Quay Wall during Typhoon Maemi", *J. of Advanced Research in Ocean Engineering*, Vol. 19, No. 6, pp 22-28
- Park J. K., Kim B. S., Jung W. S., Kim E. B., Lee D. G. (2006) "Change in Characteristics of Typhoon Affecting the Korean Peninsula", *J. Atmosphere*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-17
- Choi K. S., Kim B. J., Lee J. Y. (2007) "A Simple Regression Model for Predicting the TC Intensity Change after Landfall over the Korean Peninsula", *J. Atmosphere*, Vol. 17, No. 2, pp 135-145
- Park D. S., Ho C. H., Hwang J. K. (2008) "Influence of Typhoon Landfall and Its Track Characteristics in Gyeongsangbuk-do", *J. Atmosphere*, Vol. 18, No. 4, pp 525-532
- Han S. D., Lee J. L. (2009) "A Warning and Forecasting System for Storm Surge in Masan Bay", *J. of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(5), 131-138.
- National Typhoon Center (2011), Typhoon White Book
- Moon I. J., Choi E. S. (2011) "A Definition and Criterion on Typhoons Approaching to the Korean Peninsula for the Objective Statistical Analysis", *J. Atmosphere*, Vol. 21, No. 1, pp 45-55
- Kim H. S., Yoon H. S., Kim T. W. (2014) "Monitoring Sea-Level-Rise in Coastal Area", *Spring Symposium of The Korean Society of Disaster Information*, pp 263-264
- Ko J. S. (2015) "A Study on Obtaining Feedback Function of Disaster Information Management using Information & Communication Technology", *J. of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 11, No. 1, pp 73-88