표준태풍 모의를 통한 해일고 빈도해석

Frequency Analysis on Surge Height by Numerical Simulation of a Standard Typhoon

강주환* · 김양선* Ju Whan Kang* and Yang-Seon Kim*

요 지: 빈도별 최대풍속을 발생시키는 태풍조건을 역추적함으로써 빈도별 표준태풍을 생성할 수 있다(Kang et al., 2016). 본 연구에서는 이렇게 얻어진 표준태풍의 해일모의를 통해 서해안 영광지역의 해일고 빈도해석을 수행하는 방안을 제시하고자 한다. 본 연구에 사용된 모형은 MIKE21모형으로서 태풍 BOLAVEN(1215)에 대한 검증 결과 서 해안 여러 지역에서 관측결과와 비교적 잘 일치하는 결과를 얻었다. 서해안 태풍해일특성을 감안하여 경로변경을 설 정한 후 빈도별 해일고를 구한 결과는 관측치로부터 산정된 결과와 부합하는 결과를 보이고 있다. 이 방법은 관측 자료가 충분치 않은 곳에서 수많은 태풍에 의한 해일모의를 수행하는 기존 방법에 비해 빈도별로 한 개의 태풍만 을 대상으로 하므로 매우 효율적인 방법이다.

핵심용어 : 표준태풍, 해일특성, MIKE21모형, 빈도해석, 영광

Abstract: A standard typhoon, which results in extreme wind speeds having various return period, can be reconstructed by combination of typhoon parameter informations(Kang et al., 2016). The aim of this study is to present a kind of surge-frequency analysis method by numerical simulation of a standard typhoon at Yeonggwang. MIKE21 was adopted as a numerical model and was proved to simulate the surge phenomena of the typhoon BOLAVEN(1215) well at several sites of the Western Coast. The simulation results with change of typhoon track which reflects typhoon-surge characteristics of the Western Coast show to have something in common with the observational results. This method is considered to be very efficient method on the point of simulating only one typhoon, while existing methods need to simulate a lot of typhoons.

Keywords : standard typhoon, surge characteristics, MIKE21 model, frequency analysis, Yeonggwang

1.서 론

해일고와는 달리 최대풍속은 태풍조건으로부터 개략적으로 산출이 가능하며 관측자료 역시 풍부한 편이다. 또한 일본 기 상청에서 운영하는 RSMC-Tokyo에서는 1951년 이후의 태풍 정보를 최적경로자료 형태로 제공하고 있는데, Kang et al.(2016)은 이러한 자료를 사용하여 몬테칼로(Monte Carlo) 시 뮬레이션을 통해 태풍에 의한 빈도별 최대풍속을 산정한 후 해 당 최대풍속을 유발한 태풍환경을 역추적하여 빈도별 표준태 풍을 생성한 바 있다. 즉, 자료가 풍부하여 쉽게 구할 수 있는 빈도별 풍속을 발생시키는 빈도별 태풍을 재현하는 것인데,이 를 통해 구성된 빈도별 표준태풍에 대한 태풍-해일 수치모의 를 수행함으로써 빈도별 해일고 역시 산출할 수 있게 된다. 영광 조위관측소는 2001년 11월부터 관측이 개시되어 축적 된 폭풍해일자료가 십여년에 불과하기에 기존의 확률분포함수 법을 적용하기 어려운 실정이다. 이처럼 국내연안은 관측자료 가 부실한 해역이 대부분이기에 국토해양부(MLTM, 2010)에 서 정밀격자 수치모델을 통해 1951년 이후 국내에 영향을 미 친 201개 태풍에 의한 52개 무역항 및 연안항에서의 빈도별 해일고를 산정한 바 있다. 여기에서는 FVCOM 수치모델을 사 용하였는데 이 방법을 이용하여 특정 지점의 결과를 얻기 위 해서는 수많은 태풍의 해일모의를 수행한 후 빈도해석을 실시 함으로써 궁극적인 빈도별 해일고 결과물을 얻을 수 있다. 반 면에 본 연구에서 제시된 방법을 사용하면 한 개의 빈도별 표 준태풍을 구성한 후 해당 태풍에 대한 해일모의를 통해 결과 를 얻을 수 있으므로 매우 효율적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해일 관측자료가 충분치 않은 영광지점을 선정하 여 표준태풍에 대한 해일모의를 통해 빈도별 해일고를 산정 하는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 서해안의 해일특성

2.1 연구동향

서해안을 포함한 국내 연안에서의 조석 및 해일 특성과 관

*목포대학교 토목공학과 (Corresponding author: Ju Whan Kang, Dept. of Civil Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Jeonnam 58554, Korea, Tel:+82-61-450-2473, Fax:+82-61-452-6468, jwkang@mokpo.ac.kr)

Table 1. Ratio(α) of tidal amplitude to maximum surge height.

련된 최근의 국내 연구는 다음과 같이 진행되어 왔다. Kang et al.(2011)은 국내 20개 조위관측소 자료분석을 통해 국내연 안에서 해일강도특성을 파악하고자 하였는데, 서해안의 경우 해일 발생이 주로 계절풍에 기인하여 동절기에 크게 나타나 고 있는 반면 남해안과 동해안은 하절기 태풍에 의한 영향이 지배적인 것으로 파악하고 있다. 또한 Kang et al.(2013a; 2013b)은 조위편차에 대한 웨이블릿 분석을 통해 서해안에서 크게 나타나고 있는 단주기의 경우 조차와 밀접한 상관관계 를 갖는 조석잔차가 주종을 이루고 있으며, 중주기의 경우에 는 서해안에서 특히 계절별 변화가 크게 나타나 계절풍의 영 향이 지대한 것으로 나타나고 있다. 또한 Seo and Kim(2014) 은 태풍 BOLAVEN(1215)의 해일 관측치를 분석한 후 서해 안에서 다음과 같은 결과를 제시하였다. 즉, 주변 수심이 깊 은 섬에서는 기압차에 의한 해면변화가 발생 해일고의 약 50% 를 초과하는 정도로 나타나는 반면 해안에 위치한 경우 바람 에 의한 해면상승이 80% 이상인 것으로 나타났으며, 영광 이 북 해안의 해일고는 매우 높아 1 m를 상회하였으나, 저조에 발 생하여 실제 해면은 높지 않았다. 한편 Kang(2015)은 태풍시 기의 조석-해일 비선형성을 분석한 결과 국내 서남해안에서 비 선형성이 가장 우세하다는 점과 남해안 상륙 태풍의 해일 위 험도가 가장 크다는 점 등을 피력한 바 있다.

한편 한반도 주변에서 해일발생과 관련된 국외연구는 다음 과 같다. Feng et al.(2012)이 국내에서도 적지 않은 영향을 미쳤던 태풍 WINNIE(9713)에 대한 수치실험을 통해 중국연 안에서의 해일발생을 모의한 바 있다. 또한 Yasuda et al.(2014)은 동아시아에서 장래 폭풍해일 위험성을 평가한 바 있고, Zhang and Sheng(2015)은 몬테칼로 방법을 적용하여 동북아에서 극치해면고를 산정한 바 있다. 이때 국내 서해안 과 같이 조석이 크게 작용하는 해역에서의 연고극조위는 주 로 높은 조위와 중간이나 작은 정도의 해일고 조합으로 이루 어지므로(Antony et al., 2016) 조석과 해일의 상대적인 크기 에 대한 정량화가 요구된다. 이를 위해 해당해역에서 발생한 최대해일고에 대한 4대분조 진폭합의 비를 α로 정량화 (Oliver et al., 2012; Zhang and Sheng, 2015)하여 상대적 인 크기에 대한 평가가 이루어진다.

국내 연안에서의 α값을 Table 1에 제시하였는데 서해안에 서는 3을 초과하는 반면 동해안에서는 1을 밑돌고 있다. 서 해안이 동해안보다 조차가 훨씬 크기 때문이기도 하지만 서 해안과 남해안에 비해 동해안에서는 조차 뿐 아니라 해일고 역시 작게 나타나는 것은 특기할 만하다. 일정 풍속에서 해 일고는 수심에 반비례(Horsburgh and Wilson, 2007)하기 때 문에 수심이 깊은 동해안의 경우 해일고가 작게 형성되는 요 인이 있고, 조석자체에 기인하는 조석잔차 역시 동해안에서 작기(Kang et al., 2013a) 때문에, 그리고 동해안이 위험반원 이 되려면 태풍경로가 육지를 통과하여 세력이 많이 약해진 다음이기에 전반적으로 동해안에서 해일고가 작게 나타나고 있다.

	Site	Tidal ampl.(cm) (A)	Max surge(cm) (B)	α (A/B)
West	Incheon	470	140	3.36
	Gunsan	369	106	3.48
	Mokpo	246	73	3.37
South	Yeosu	171	125	1.37
	Tongyoung	137	157	0.87
	Busan	62	72	0.86
East	Ulsan	30	71	0.42
	Mukho	20	46	0.43
	Sokcho	19	54	0.35

이외에도 서해안에서 태풍통과 후 일정시간 경과후에 최대 해일고가 발생하는 현상과 함께 태풍의 이동특성에 따른 차 이에 의해 서해안의 해일양상은 여타 해역과는 구분되는 특 성이 있다(Kang, 2015). 이와 같이 국내 해역은 해역별 특성 차가 매우 크며 특히 복잡한 양상을 보이는 서해안에서의 해 일특성은 주의 깊게 살펴볼 필요가 있으며 본 연구에서도 이 러한 특성을 해석에 반영하고자 하였다.

2.2 표준태풍

본 연구에서는 조위 관측자료가 십여년에 불과한 영광 지 역의 빈도별 해일고를 산정하기 위하여 Kang et al.(2016)이 제시한 빈도별 표준태풍에 대한 수치모의를 수행하였다. 즉, 관측자료가 부실한 해역에서 빈도별 해일고를 산정하기 위해 서는 수많은 가상태풍에 대한 모의를 통해 산정하는 것이 일 반적이지만, 서해안 특성이 반영된 빈도별 표준태풍을 이용 하면 한 개의 태풍에 대한 수치모의를 통해 해당빈도의 해일 고를 산정할 수 있게 된다.

Kang et al.(2016)이 제시한 표준태풍 작성방법을 간략히 제시하면 다음과 같다. 먼저 최대풍속 산정을 위해 태풍의 바 람장 모델인 Holland(1980) 모델을 이용하였는데 태풍의 눈 에서 r만큼 떨어진 곳의 1분 평균 경고도 풍속은 다음 식 (1) 과 같이 표현된다.

$$V_{g,1}(r) = \frac{V_T \sin\theta - f \cdot r}{2} + \sqrt{\left(\frac{V_T \sin\theta - f \cdot r}{2}\right)^2 + \frac{\Delta P \cdot B}{\rho} \left(\frac{r_0}{r}\right)^B e^{-\left(\frac{r_0}{r}\right)^B}} \quad (1)$$

여기서 V_T 는 태풍 이동속도(translation velocity)(m/s), θ 는 태풍 진행 방향을 기준으로 시계방향의 관심지점 사이의 각 도(°), r_{θ} 는 최대풍속반경(radius to maximum wind; RMW) (km), $\Delta p(= p_{\infty} - p_c)$ 는 기압차(pressure deficit)(hPa), p_{∞} 와 p_c 는 각각 태풍 영향권 밖의 기압(=1013hPa)과 중심기압, f는 코리올리 파라메타, ρ 는 공기밀도, B는 태풍 프로파일의 형상을 결정하는 파라메타이다.

식 (1)의 각 매개변수에 적합한 확률분포함수를 설정한 후 임의로 발생시킨 매개변수 세트를 구성하여 몬테칼로 시뮬레 이션 방법을 통해 빈도별 최대풍속을 산정하게 된다. 이와 관 련된 자세한 내용 및 방법은 생략한다.

이 방법을 통해 특정지점에서 빈도별 최대풍속을 산정한 후 해당 최대풍속을 유발한 평균적인 태풍환경을 역추적하여 빈 도별 표준태풍을 생성하기 위한 매개변수를 추출한다. 또한 태풍 진행방향에 따라 해당지점을 전후로 몇 개 지점에서 동 일한 방식으로 태풍 매개변수를 각각 설정함으로써 표준태풍 의 경로와 기압강하량 등을 비롯한 제반 태풍정보 등 궁극적 인 표준태풍의 제원을 확정할 수 있다.

3. 해일모의 수치실험

3.1 해일모의 방법

본 연구에 적용된 수치모형은 MIKE21모형으로서 HD모듈 로 해수유동이 재현되고 CYWIND 부프로그램으로 태풍외력 이 설정된다. 본 모형의 국내 적용사례는 Kang et al.(2009) 을 비롯해 Park et al.(2010; 2011) 등 다수 있으며 이러한 연구경험을 토대로 실제 태풍인 BOLAVEN(1215)과 가상태 풍 및 표준태풍에 대한 수치모의를 통해 서해안에서의 해일 특성을 반영한 해일고 빈도해석을 시행하고자 한다.

적용영역은 Fig. 1에 보인 바와 같이 총 7단계로 구성하고, 격자간격 32,400 m인 Area_1 영역은 한반도, 일본, 대만 등 광범위한 해역을 포함하여 태풍의 생성 및 진행경로의 재현 이 충분히 이루어지도록 하였다. 격자망 구축에 있어서 선행 연구(Kang et al., 2009; Park et al., 2010; 2011)와 마찬가 지로 MIKE21 모형의 둥지형 격자망 구축시 공간상 해석능 력의 제약을 감안하여 격자간격을 1/3씩 감소시켜 Table 2와 같이 설정하였다. 격자간격이 270 m인 Area_5 영역은 관심 지역인 영광을 포함한 서남해안에서의 해상도를 높인 상태에 서 태풍모의가 이루어지도록 하였고 영광 조위관측소 부근은 격자간격 30 m인 Area_7 영역으로 세밀하게 설정하였다.

3.2 태풍 BOLAVEN(1215) 해일모의

모형의 검증 및 서해안 해일특성 규명을 위해 서해안을 근 접 통과하여 서해안 여러 지역에서 관측사상 최대해일고를 유 발한 태풍인 BOLAVEN(1215)을 선정하여 해일모의를 수행 하였다. 특히 Kang et al.(2016)은 BOLAVEN(1215) 경로가 서해안 지역의 표준태풍 경로와 매우 유사하게 나타나기에 서 해안 진입태풍의 대표적 태풍으로 선정한 바 있다. 해일모의 를 통해 얻어진 해일고 계산치의 시계열을 관측치와 함께 Fig. 2에 제시하였는데 보령과 군산 등 서해중부지역에서 첨두해 일고 발생부분에서는 관측치와 대체적으로 잘 일치하고 있음 을 볼 수 있다. 그러나 대흑산도를 제외한 모든 지점에서 최 대해일고 발생직전 관측치와는 달리 계산치에서 음의 해일이 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있는데, 이 현상은 육지 에서 바다로 부는 육상풍의 수치모의의 한계에 기인하는 것 으로 추정된다. 즉, 실제로는 육지에서 마찰 등으로 인해 풍 속이 매우 약해지는데 반해 모형상에서는 이러한 육지효과가

Table 2. Grid specifications.

	$\Delta x = \Delta y (m)$	$Nx \times Ny$
Area_1	21,870	110×150
Area_2	7,290	106×115
Area_3	2,430	226×220
Area_4	810	550×274
Area_5	270	481×451
Area_6	90	280×286
Area_7	30	346×271



(a) Whole domain

(b) Detailed domain

Fig. 1. Computational domain (a) Whole domain (b) Detailed domain.



Fig. 2. Comparison of observed and simulated results during the typhoon period of BOLAVEN(1215).

제대로 반영되지 않음에 기인하는 것으로 파악된다. 이 현상 은 섬들로 둘러싸인 목포 지역의 해일모의에서도 유사하게 나 타나고 있어 섬을 거치면서 풍속감소가 제대로 모의되지 않 는 모형상의 한계로 인해 다른 지역에 비해 관측치에 비해 계 산치의 최대해일고가 크게 산정되고 있다.

한편 영광지점에서 태풍 BOLAVEN(1215) 통과전, 통과취, 통과후 각 시점에서 해일고 시계열을 해당시점의 바람장과 함 께 Fig. 3에 제시하였는데, 최대해일고 발생시점이 BOLAVEN (1215) 통과시가 아닌 통과후 일정 시간 경과후라는 것은 특 기할 만하다. 즉, 그림에서 풍향을 주시하면 태풍 통과전 동 풍인 육상풍에 의해 음의 해일이 크게 발생한 이후 태풍 통 과시에는 해안에 평행한 남풍의 바람이 불어 바람에 의한 해 일고는 크지 않은 반면 최근접거리를 통과하는 순간 기압에 의해 해일고의 극대값이 형성된다. 그 이후 수 시간 경과후 태풍중심이 지나간 다음 비로소 서풍인 해상풍에 의한 육지 방향의 수면경사에 기인한 해일고의 최대값이 발생하게 되는 데, 이는 서해안을 따라 북상하는 태풍들에 의해 서해안 각 지 역에서 나타나는 전형적인 해일발생 특성이라 할 수 있다. 이 현상은 Fig. 2에서도 확인할 수 있듯이 영광 뿐 아니라 보령, 군산 및 목포 등 서해연안 지역에서 공통적으로 발생하는 현 상으로서 최대해일고 발생시점이 태풍 최근접시가 아닌 이후 수 시간 경과 후에 발생하는 시차를 보이고 있다.

3.3 가상태풍 해일모의

본 절에서는 태풍 BOLAVEN(1215)의 실제 상황에 부가하 여 Fig. 4에 제시한 바와 같이 실제경로를 영광지점 통과직후 변경한 가상적인 경로에 대한 영향성을 파악하고자 한다. 서해 안 통과 태풍의 경우 통과후 일정시간 후에 최대해일고를 보 이는 현상에 대하여 전절에서 설명한 바 있다. 즉, 서해안 지 역에서 최대풍속이 발생하는 시점은 태풍의 중심이 해당 지 점의 최근접거리를 통과하는 순간인 반면 최대해일고는 태풍 중심 통과후 수 시간이 경과한 다음이기에 표준태풍의 중심 기압 및 풍속이 다소 약화된 시점에 발생하게 된다. 이와 같 이 태풍 진행에 따른 최대풍속 시점과 최대해일고 시점 사이 에 시차가 발생하게 되므로 풍속을 기준으로 하는 빈도별 태 풍이라는 개념에 근거하는 표준태풍과 이를 토대로 수치모의 를 통해 얻어진 빈도별 해일고는 동일 시점이 아니어서 두 가 지 상황을 동일 빈도로 처리하는 본 연구의 기본가정에 다소



(d) Time series of surge height

Fig. 3. Wind fields and corresponding time series of surge height during the typhoon period of BOLAVEN(1215) at Yeonggwang.



Fig. 4. Virtual typhoon tracks.

위배되는 측면이 존재한다.

이러한 문제점을 경감시키기 위하여 표준태풍의 경로를 일 정 각도만큼 육지쪽으로 변경하여 해당지점의 북쪽을 통과하 도록 가상적인 경로변경을 시도하였다. 즉, 서해안을 연하여 북상하던 태풍이 해당지점의 최근접거리 통과시점에서 육지 쪽으로 방향을 틀어 상륙하는 시나리오를 상정한 것인데, 이 릴 경우 Fig. 4에 보인 바와 같이 시차는 여전히 존재하더라 도 태풍영향시간을 더 오래 유지시킬 수 있게 된다. 이를 통 해 태풍강도의 약화가 둔화되는 효과가 있으며 이에 따라 해 일고 감소 역시 최소화시킬 수 있다. 서해안 진입태풍이 임 의의 지점에서 해일고가 극대화되기 위해서는 이렇게 경로가 육지쪽으로 선회하는 경우라 할 수 있으며 그 효과를 파악하 기 위하여 경로가 변경된 가상태풍에 대한 해일모의를 수행 하였다. Fig. 4에 보인 바와 같이 볼라벤 경로에서 20도, 30 도, 40도 경로가 틀어진 경우 해일양상은 Fig. 5와 같이 나타 나고 있다. 즉 경로변경에 따라 상륙지점 북쪽에서는 가항반 원이 형성되는 반면 상륙지점 남쪽에서는 위험반원이 형성되 며 태풍약화가 둔화되는 효과에 의해 해일고 역시 증가하고 있으며 30도인 경우 태풍과의 거리가 최대풍반경으로 유지되 기 때문에 해일고가 가장 크게 증가하고 있음을 볼 수 있다.

3.4 표준태풍 해일모의

2장에서 언급한 바와 같이 Kang et al.(2016)은 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 구한 빈도별 풍속을 초래하는 평균적인 태 풍상황을 의미하는 표준태풍의 생성방법을 제시한 바 있다. 바람장의 주요 매개변수인 기압, 최대풍반경, 이동속도, 경로 등을 결정하면 한 개의 태풍사상이 수립된다. 즉, 위험반원에 해당하고 최근접거리가 최대풍반경에 근접한 상태의 빈도별 최대풍속을 초래하는 매개변수 세트 중에서 기압강하량과 이 동속도의 평균값을 선정함으로써 특정지점에 최근접한 상태 의 표준태풍을 설정할 수 있다. 이렇게 만들어진 영광지점에 대한 빈도별 표준태풍의 한 가지 사례의 제원을 Table 3에 제 시하였다. 즉, 이렇게 작성된 표준태풍이 해당지점에서 해당빈



Fig. 5. Simulated surge height for corresponding direction change.

Table 3. Specifications of standard typhoons.

Return period	Max. wind speed (m/s)	Radius of max. wind (km)	Closest distance (km)	Pressure deficit (hPa)	Translation velocity (m/s)
50	29.8	101.7	106.5	48.2	8.9
100	31.2	110.6	103.7	53.8	11.3
200	33.9	86.5	99.1	57.6	12.5



Fig. 6. Direction-changed track and pressure variation of 100-yr standard typhoon.

도의 최대풍속을 발생시키는 대표태풍으로 설정된 것이다. 서 해안 주요 지점에 대하여 동일한 방법을 적용함으로써 표준태 풍의 공간적인 기압변화를 설정할 수 있으며 Kang et al.(2016)이 제시한 표준태풍의 경로는 태풍 BOLAVEN (1215)의 경로와 유사하게 Fig. 6에 제시하였다. 그러나 앞 에서 살펴본 바와 같이 이러한 표준태풍에 의한 최대해일고 의 발생시차문제를 완화시키기 위하여 Fig. 6에 함께 제시 하였듯이 해당지점의 최근접지점에서 육지쪽으로 30도 경로 를 변경한 태풍으로 경로를 설정하였다. 이때 기압의 공간 적 분포를 비롯한 각종 매개변수 값은 경로 변경전과 동일 하게 설정하였다.
 Table 4. Results of frequency analysis for central pressure, wind speed and surge height.

	50	100	200	Real Bolaven
Surge height (cm)	89	106	126	102
Wind speed (m/s)	30.7	32.0	35.9	32.9
Pressure (hPa)	965	960	955	960

이와 같은 표준태풍에 대한 수치모의방법을 사용하여 영광 지역에서 50년, 100년, 200년 빈도의 최대해일고를 산정하여 실제 볼라벤 태풍의 관측 해일고와 함께 Table 4에 정리하였 다. 이를 보면 실제 태풍의 해일고가 102 cm임에 비해 50년, 100년, 200년의 각 빈도별 해일고는 89 cm, 106 cm, 126 cm로 산정되고 있어, 해일고 측면에서 볼 때 태풍 BOLAVEN(1215) 이 영광지역에서 100년 빈도에 가까운 정도의 태풍이었음을 시사하고 있다.

3.5 확률분포함수법과의 비교

자료기간이 제한적일 경우 해당 자료가 임의의 확률분포함 수에 적합함을 보이는 동시에 매개변수를 산정함으로써 자료 기간을 초과한 빈도분석이 가능해진다. 이 경우 자료의 동질 성이 보장되어야 함은 물론이고 최소 25년 이상의 자료가 필 요하며 자료기간의 4배 이내에서 외삽이 이루어져야 한다 (Pugh, 2004). 일본 기상청에서 운영하는 RSMC-Tokyo에서 는 1951년 이후의 태풍정보를 최적경로자료 형태로 제공하 고 있다. 이 자료를 이용하면 확률분포함수법을 통해 200년 빈도까지 태풍변수값을 추출해내는데 별 문제가 없다. 영광 지역에서 산정된 태풍시 중심기압 및 최대풍속에 대한 확률 분포함수법에 의한 빈도분석결과를 Table 4에 함께 제시하였다. 태풍 BOLAVEN(1215)의 경우 앞서 기술한 바와 같이 해일고는 물론이고 중심기압과 최대풍속 측면에서의 결과 역시 100년 빈도의 태풍임을 시사하고 있다. 따라서 풍속자료 로부터 설정된 표준태풍에 대한 수치모의를 통해 취득한 해 일고 역시 중심기압 및 풍속과 빈도측면에서 부합하는 결과 임을 확인할 수 있다.

이와 같이 태풍발생시 중심기압이나 최대풍속 등의 기상자 료는 풍부한 편이어서 확률분포함수법으로 빈도해석을 시행 하는데 큰 문제가 없는 편이다. 그러나 조위관측소에 축적된 조위자료로부터 산정되는 해일자료의 경우 충분한 기간 동안 자료가 확보되지 않아 확률분포함수법의 적용이 불가한 경우 에는 본 연구에서 제시한 방법이 효율적으로 적용될 수 있을 것이다. 본 연구의 대상지역인 영광지역의 경우 해일자료기 간의 제약 때문에 확률분포함수법의 적용에 한계가 있어 본 연구에서 제시한 방법을 적용하기에 적지로 판단된다. 분석 결과를 확률분포함수법에 의한 결과와 비교하기에도 영광조 위관측소의 자료기간이 너무 짧아 차선책으로 후술되는 방법 에 의한 결과와 비교함으로써 본 연구에서 제시한 방법의 타 당성을 제한적이나마 입증하고자 하였다.



Fig. 7. Comparison of surge heights at Yeonggwang and Gunsan.



Fig. 8. Result of frequency analysis.

영광 조위관측소의 경우 2001년 11월부터 관측이 개시되 어 자료축적 기간이 분석에 필요한 최소기간인 25년에 미달 하여 정상적인 빈도분석이 불가하다. 이에 따라 1980년부터 30여년간 자료가 축적되어 자료기간의 4배에 해당하는 100 년 빈도까지 산정이 가능한 인근의 군산 조위관측소 자료와 의 비교를 시도하였다. 2002년 이후 서해안에 영향을 미친 14 건의 태풍영향시기동안 영광 및 군산 조위관측소에서 관측된 해일고의 크기를 상호 비교하여 Fig. 7에 제시하였다. 그 결 과 선형회귀선의 기울기가 1에 가까워 동일 태풍에 의해 발 생한 최대해일고는 두 지점에서 거의 같은 것으로 판단할 수 있다. 따라서 영광 조위관측소 지점에서 표준태풍 해일모의 를 통한 빈도분석 결과를 해일고 관측자료에 대한 확률분포 함수법을 적용하여 빈도분석을 시행한 결과와 비교하기 위하 여 영광조위관측소 해일자료 대신 자료기간이 두 배 이상인 군 산조위관측소 해일자료를 채택하여 비교검증에 활용하였다. 그 결과를 Fig. 8에 제시하였는데 제시된 결과와 같이 빈도별 해 일고의 크기는 확률분포함수법에 의한 결과와 부합하고 있어 본 방법의 타당성을 입증할 수 있다. 군산 조위관측소 역시 자료기간이 30여년에 불과하여 확률분포함수법을 적용한 세 가지 방법(GEV, Gumbel, Weibull) 역시 100년을 초과하는 빈도해석은 불가한 반면 자료기간이 25년에 미달하여 확률분 포함수법에 의한 빈도해석이 불가한 영광과 같은 곳에서도 풍 속자료만 제공된다면 표준태풍의 해일모의에 의한 빈도해석 을 통해 200년 빈도까지 결과를 도출할 수 있다는 것이 본 연구의 주성과이다.

4. 결론 및 제언

표준태풍의 해일모의를 통해 서해안 지역의 해일고 빈도해 석을 수행하는 방안을 제시하였다. 관측자료가 충분치 않은 곳에서 수많은 태풍에 의한 해일모의를 수행하는 기존 방법 에 비해 본 연구에서 제시하는 방법은 해당빈도의 태풍만을 수치모의함으로써 매우 효율적인 방법으로 평가된다. 본 연 구에 적용된 모형은 MIKE21모형으로서 HD모듈로 해수유동 이 재현되고 CYWIND 부프로그램으로 태풍외력이 설정되는 데 태풍 BOLAVEN(1215)에 대한 검증 결과 서해안 여러 지 역에서 관측결과와 비교적 잘 일치하는 결과를 얻었다.

서해안으로 유입되는 태풍의 경우 서해안 지역에서는 태풍 최근접시 기압에 의한 극대값 이후 수 시간 경과후에 바람에 의한 수면상승으로 최대해일고가 발생하고 있기 때문에 대상 지점 부근에서 해일고가 최대가 되도록 표준태풍의 경로변경 을 설정하였다. 이렇게 표준태풍의 해일모의 방법을 영광지 역에 적용한 결과 50년, 100년, 200년 빈도의 해일고는 89 cm, 106 cm, 126 cm로 각각 산정되고 있다.

이와 같이 관측자료가 미비된 곳에서도 풍속자료만 갖고 표 준태풍의 해일모의를 통해 200년 빈도까지 빈도별 해일고를 산출할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 관측자료가 부실한 서해안 각지에 적용할 수 있는 기틀을 마련하였으며 이를 통 해 조석이 지배적인 해역의 극치해면고를 산정하는 EST (empirical simulation technique) 방법(Kang et al., 2012)의 Training set에 포함된 가상태풍의 해일고 산정에 이용될 수 있다. 즉, 본 연구의 방법과 함께 EST방법을 적용함으로써 서 해안 지역의 효율적인 극치해면고 산정이 가능해질 것이다. 더 나아가 빈도별 태풍을 설정하는 방식이기에 해일모의와 함 께 퇴적물 이동이나 오염물질 확산 등과 같은 여타 모형을 함 께 모의하게 되면 빈도별 태풍해일에 수반되는 각종 현상의 통합적 모의가 가능해질 것이다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 원자력연구개발사업의 '극한외 부사건 리스크 평가기술 개발' 사업 위탁과제 연구임(국내원 전부지에 대한 태풍 및 태풍해일 시뮬레이션 기술 개발).

References

- Antony, C., Unnikrishnan, A.S. and Woodworth, P.L. (2016). Evolution of extreme high waters along the east coast of India and at the head of the Bay of Bengal, Global and Planetary Change.
- Feng, X., Yin, B. and Yang, D. (2012). Effect of hurricane paths on storm surge response at Tianjin, China, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 106, 58-68.
- Holland, G.K. (1980). An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, Monthly Weather Review, 108.
- Horsburgh, K.J. and Wilson, C. (2007). Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea. J. of Geophysical Research, 112, 1-13.
- Kang, J.W. (2015). Typhoon-surge characteristics in relation with the tide-surge interaction, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 27(1), 25-37. (in Korean)
- Kang, J.W., Kim, Y.-S. and Cho, H. (2013a). Decomposition of tidal residual data using a wavelet method and characteristic analysis of their short-period components, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 25(3), 165-171. (in Korean)
- Kang, J.W., Kim, Y.-S. and Shim, J.-S. (2013b). Characteristic analysis of the tidal residuals' mid/long-period components using a wavelet method, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 25(4), 200-206. (in Korean)
- Kang, J.W., Kim, Y.S., Cho, H.Y. and Shim, J.-S. (2011). Characteristics of nearshore surge-intensity, Journal of Korean Society

of Coastal and Ocean Eng., 23(6), 458-465. (in Korean)

- Kang, J.W., Kim, Y.S., Cho, H.Y. and Shim, J.-S. (2012). Estimation of extreme sea levels at tide-dominated coastal zone, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 24(6), 381-389. (in Korean)
- Kang, J.W., Kim, Y.-S., Kwon, S.-D. and Choun, Y.-S. (2016). Generation of a standard typhoon using for surge simulation consistent with wind in terms of return period, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 28(1), 53-62. (in Korean)
- Kang, J.W., Park, S.J., Moon, S.R. and Yoon, J.T. (2009). Effects of typhoon's characteristics on the storm surge at Gyengnam coastal zone, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 21(1), 1-14. (in Korean)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010). Development of storm surge and tsunami prediction system and estimation of design water level for major ports in Korea. (in Korean)
- Oliver, E.C.J., Sheng, J., Thompson, K.R. and Blanco, J.R.U. (2012). Extreme surface and near0bottom currents in the northwest Atlantic, Natural Hazards.
- Park, S.J., Kang, J.W., Kim, Y.S. and Moon, S.R. (2010). Applicability of coupled tide-surge model, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 22(4), 248-257. (in Korean)
- Park, S.J., Kang, J.W., Moon, S.R. and Kim, Y.S. (2011). Simulation of inundation at Mokpo City using a coupled tide-surge model, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 23(1), 93-100. (in Korean)
- Pugh, D. (2004). Changing sea levels; Effects of tides, weather and climate, Cambridge University Press, Cambridge.
- Seo, S.N. and Kim, S.I. (2014). Storm surges in West Coast of Korea by typhoon BOLAVEN(1215), Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., 26(1), 41-48. (in Korean)
- Yasuda, T., Nakajo, S., Kim, S.Y., Mase, H., Mori, N. and Horsburgh, K. (2014). Evaluation of future storm surge risk in East Asia based on state-of-the-art climate change projection, Coastal Engineering, 83, 65-71.
- Zhang, H. and Sheng, J. (2015). Examination of extreme sea levels due to storm surges and tides over the northwest Pacific Ocean, Continental Shelf Research, 93, 81-97.

Received 20 October, 2016 Accepted 24 October, 2016