

태풍“매미”내습시 파랑산정에 관한 기초적 연구

이경선 · 김홍진* · 윤한삼* · 류청로
부경대학교 해양공학과
*부경대학교 해양산업개발연구소

A Study on the Numerical Calculation for Wind Waves During the Passage of Typhoon "Memi"

GYONG-SEON LEE, HONG-JIN KIM*, HAN-SAM YOON*, CHEONG-RO RYU

Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

*Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

KEY WORDS: Typhoon wave 태풍파랑, Typhoon wind field 태풍의 풍역, Wind wave 풍파, Wave action balance eq. 파랑작용 평형 방정식

ABSTRACT: A Typhoon wave is generated by wind fields during the Passage of Typhoon. Transporting wind field makes wind wave and swell in the open sea, and then, those wave components are transported in the shallow water. Typhoon waves in the shallow water is generated by Typhoon wind field and incident wave. Besides, Incident waves to the shallow water are deformed by topographic conditions. This paper estimated the analysis of the Typhoon waves by wind fields and incident waves according to wave action balance equation model. As the result of wave numerical experiment, wave field during the passage of Typhoon 'Memi' in the shallow water is strongly effect by wind fields. Wave action balance equaion can be partially used for Typhoon wave simulations.

1. 서 론

연안에 설치되는 해양구조물은 일반적으로 파랑과 수위증가가 그 주요 외력인자이며, 우리나라 해안의 구조물 설계를 위한 기준 또한 태풍의 내습빈도에 따른 파랑의 통계적 특성 값이 근간이 되고있다. 그러나 최근에 와서 구조물의 안정성에 영향을 미치는 주요 요인인 파랑조건이 이상기상현상 등으로 점점 그 규모와 강도가 커지고 있고, 여기에 따른 대책과 설계 기준 강화의 필요성이 대두되고 있는 것이 현실이다. 또한, 우리나라 남해안에 열대성 저기압의 내습으로 강력한 바람과 해일로 인해 해안구조물의 파괴가 빈번히 일어나고 있고, 이때 마다 복구와 대책에 관한 연구가 진행되었다. 태풍에 의한 해양구조물의 안정성에 대한 평가를 위해 태풍내습이 해역의 파랑장에 끼치는 영향에 대해 추정하여, 구조물 설계시 태풍파랑에 의한 피해를 최소화할 수 있는 방안을 연구할 필요가 있다. 이를 위해서는 먼저 태풍파랑에 대한 보다 정확한 예측과 과거의 태풍시에 발생되었던 파랑의 정확한 추정 연구가 선행되어야하나, 태풍통과시 우리나라 주변 해상에서 관측된 파랑자료가 거의 전무한 상태였기 때문에 이 분야에 대한 국내에서의 연구가 매우 부진하였다.

태풍에 의한 구조물의 피해에 관한 연구는 구조물의 설계 외력인자인 파랑에 대한 검토를 중심으로 이루어져야 하며, 최근 류(1984; Mansard et al., 1982; Goda, 1985; Rye, 1982)에 의

해 해양시설물의 설계 및 배치시 외력인자로서 대표파(설계파)를 도입함에 따른 문제점을 해결하고 해양의 풍파를 효과적으로 외력인자화 하기위해 해양파랑의 특성, 불규칙파랑과 구조물의 상호작용 등에 관한 연구가 활발히 진행된 바 있다. 또한 불규칙파의 외력인자화가 단순한 통계파에 의한 대표파의 개념에서 벗어나, 스펙트럼형상, 파군특성 등을 고려하는 추세로 변화하고 있으며, 해양파의 스펙트럼해석과 파별해석법을 이용한 해석결과를 비교검토하는 연구가 수행된 바 있다.(Ryu et al. 1988)

우리나라에 내습하는 태풍은 대개 북태평양 서부에서 발생한 열대성저기압에 의해 발생한다. 이러한 태풍은 강한바람과 주변보다 낮은 기압장을 가지고 진행하며, 이에 따라 바람에 의한 풍파와 저기압과 풍응력에 의한 해수면상승이 나타난다. 또한, 태풍에 의한 높은 파고는 연안의 구조물에 큰 피해를 준다. 안(1976)등은 우리나라 해역의 특성과 태풍 및 기상특성을 검토한 결과, 남해 및 남해의 일부항만의 설계파는 태풍에 의해서 결정해야하고, 서해 및 남해안의 일부, 그리고 제주도의 북쪽 해안의 각 항의 설계파는 동기 계절풍에 의해 결정해야 한다는 것을 강조하기도 하였다.

일반적으로 바람에 의한 풍파를 산정하는 방법은 유의파법과 Spectrum법이 있으나, 실제로 해안의 파랑을 산정하는데는 유의파법이 주로 사용된다. 이 방법은 Sverdrup-Munk에 의해서 제안된 유의파의 개념을 사용하여 바람과 파랑의 관계를 표현

한 것이며, 그 후 Bretschneider에 의해서 보정이 가해지고, 소위 S-M-B법이 수립되었다. S-M-B법은 심해파의 유의파고, 주기와 풍속, 취송시간 및 취송거리의 관계를 무차원적으로 표시한 것이며, 풍역이 이동하지 않을때에 대한 것이다. 천해파에 대해서는 Thijse 및 Bretschneider등에 의해서 연구되었다. 이후, Wilson은 풍역이 이동하는 경우 심해파의 발달과정을 도식적으로 구하는 방법을 발표하였으며, 이것이 소위 H-t-F-T도이다. 井島등은 풍역이 이동하는 경우, 천해파가 발달하면서 진행되는 과정을 Wilson의 방법과 동일한 방법으로 도식적으로 구할 수 있는 H-t-F-C_G도를 작성하였다.

심해에서의 풍파의 형성은 주로 바람에 의한 마찰력과 파와 파간의 상호간섭 그리고 white capping 현상등에 의한 1차 에너지 손실에 의하여 이루어지며, 이러한 심해역에서의 파의 변이를 해석할 때 굴절, 회절, 및 마찰손실 등에 의한 천해역 현상은 무시할 수 있으며 풍파의 형성은 주로 바람조건에 좌우된다. 그러나 파랑이 천해역으로 들어오게 되면 천수, 굴절, 회절 및 마찰손실등에 의하여 급격히 변이된다. 따라서 천해역에 구조물을 설치할 때, 구조물 주변의 설계파 선정에는 풍파의 생성과정과 백파등에 의한 에너지 감쇄효과 뿐만 아니라, 굴절, 회절, 천수효과 등에 대한 고려도 충분히 이루어져야 한다. 일반적으로 천해역에서 발생하는 천해파의 특성을 반영하기 위해 불규칙파를 스펙트럼파로 해석하는 기법을 사용하여 천해파랑을 재현하고 있다.

본 연구는 최근 우리나라에 내습하여 해안구조물에 피해를 준 태풍“매미”를 중심으로 그 특성을 파악하고, 해안구조물에 작용하는 외력조건중 파랑산정에 관련하여 대상해역에 태풍의 풍역이 진입되는 시간에 대한 해역의 파랑환경을 보다 현실적으로 재현하는 것을 목적으로 한다. 태풍에 의한 대상해역의 파랑조건을 산정하기 위해, 본 연구에서는 간략하게 기존 연구 자료를 통한 태풍“매미”의 기상·해상 변동을 검토하고, 시간별 파랑관측자료를 근거로 하여 천해파 산정실험을 실시하였다. 또한, 태풍은 일정지역을 기점으로 볼 때, 시간에 따라 풍역과 영향범위가 달라지며 이에따라 파랑생성요인이 달라지므로, 천해파 수치모형실험시 태풍 특성에 부합하는 경계조건(풍역과 관련한)의 결정이 중요하다. 따라서, 구조물이 설치되는 천해역을 대상으로하여 일반적인 파랑산정과정에 대한 검토와 태풍의 내습시, 천해파랑의 변동인자를 바람에 의한 풍파와 입사심해파, 해일에 의한 수위증가로 평가하고, 실제 지난 2003년 태풍“매미”내습시 부산신항 방파제 근처 해역을 대상으로 태풍통과에 따른 시간별 수위증가와 바람장의 변화를 고려한 천해파랑을 산정하여 실제 관측자료와 비교하려 한다. 이상의 연구흐름중 본 논문은 태풍시 바람장의 변화만을 고려하였으며, 설정된 실험 경계내에서는 풍역이 일정하다고 가정하고 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 파랑수치모형의 적용성

태풍파랑을 재현하기 위해 최근 우리나라에서 사용되고 있

는 수치모형은 심해파랑 추산에 활용되고 있는 HYPAMODEL이며, HYPAMODEL은 풍파모형(wind wave model)과 너울모형(swell model)에 대한 복합모형이 사용되며 해상풍의 변화와 해상조건에 따라 유기적으로 해상상태를 파악하도록 고안되었다. 그러나 HYPAMODEL 모델은 심해에서 적용가능한 모형으로 천수, 굴절, 해저만갈등의 천해효과가 무시되기 때문에 남해나 서해와 같은 천해역에서는 적용이 어렵다. 이러한 이유로 수심의 효과를 고려하지 않아도 되는 영역까지의 파랑추산은 HYPAMODEL 모형으로하며, 그 이후의 천해역으로의 전파는 별도의 천해파 산정모형을 사용하고 있다.

SWAN모형은 수치파랑모형로서 주어진 바람, 해저면 및 해류조건으로부터 연안역, 호수 및 하구의 파랑을 계산한다. 이모형의 기본방정식은 파랑작용의 평형방정식(wave action balance equation)이며 사용되는 파랑에너지에 따라 제 1세대, 제2세대, 제 3세대모형으로 분류된다. SWAN에서 고려되는 전파과정은 수심과흐름에 따른 굴절현상, 천수현상, 반대방향 흐름에 대한 파랑의 반사등이 고려된다. 또한 모델에서 고려되는 원천항(source term)은 바람에 의한 파랑에너지 생성, 백파, 쇄파, 저면 마찰에 의한 에너지 소산, 비선형상호작용에 의한 에너지 교환등이 있다. 그러나 태풍파랑의 산정이라는 측면에서 SWAN모형은 풍역이 일정할 경우 풍파는 계산이 가능하나 풍역을 벗어난 너울(swell)의 고려에는 한계가 있다.

본 연구에서 태풍내습시 연안에 설치된 구조물 근방의 파랑장을 예측하기 위해서 이상의 파랑수치모형의 적용한계와 관련하여, 파랑관측 데이터를 중심으로 파랑수치모형 실험을 실시하고, 금번 태풍“매미”통과시 풍역을 검토하여 대상해역의 천해파를 산정하고자 한다.

2.2 수치모형

가) 태풍의 풍역산정

자연적 태풍의 풍역은 주로 강력하고, 그 중심 부근에서 기압과 바람의 시·공간적으로 변화가 크고 태풍의 중심이 빠른속도로 이동하고 있으며, 관측자료가 거의 전무하므로 중심 부근의 기압과 바람을 파악하기가 어려운 실정이다. 일반적으로 태풍 통과시의 해상풍 산출은 주로 중심기압, 최대풍 반경, 주변기압 분포 등의 태풍파라미터로부터 경험적 함수 관계를 도출하여 사용하고 있는데, 이는 관측된 기상자료 분석에 의해 산출된 바람장으로 일기도의 기압장을 분석하는 과정에서 큰 오차를 낼수 있는 단점이 있다. 반면, 태풍의 영향권내의 등압선을 동심원으로 가정하여, 몇 개의 파라미터로 태풍 중심 주위의 기압분포를 해석해내어 해상풍을 추정하는 것이 가능하며, 본 연구에서 사용되어지는 바람장 특성은 이상의 방법으로 산정한 최대풍향·풍속을 바탕으로 태풍“매미”내습시의 산정된 일기도상의 기압장 분포를 분석하였으며, 이에 따라 풍역범위가 태풍 중심부근과 영향범위밖의 평상풍역을 기준으로 하였을때 선형적으로 분포한다고 가정하여 바람장을 추정하였다.

나) 파랑수치모형(SWAN) 기초방정식

SWAN wave model에서 파랑스펙트럼의 발생은 Cartesian 좌표계에 대해 spectral action balance equation에

의해 설명된다.(Hasselmann et al., 1973)

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial X} c_x N + \frac{\partial}{\partial Y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (9)$$

여기서 σ 는 상대주파수, θ 는 파향, N 은 wave action

density이며, 상대주파수에 의한 energy density와 구분된다. $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta)$. $E(\sigma, \theta)$ 는 wave energy density이다.

식(9)는 흐름의 분포와 간단한 저면지형을 포함한 약산식이다. 식(9)에서 좌변의 첫 번째 항은 시간에 대한 action density의 변화율을 표현한다. 두 번째, 세 번째 항은 x -, y -공간에서 속도 c_x 와 c_y 의 전달을 포함한 지형적 공간에서 운동의 전달을

말한다. 네 번째 항은 σ -space에서 전달속도 c_σ 를 갖는 수심

과 흐름의 변화에 대한 상대주파수의 변형을 표현한다. 다섯 번째항은 θ -space에서 전달속도 c_θ 를 가진 수심과 흐름에

의해 변형하는 굴절을 표현한다. Action balance equation의 우측항의 S 는 파랑에너지 생성과 소산, 비선형 파랑-파랑상호간섭의 효과를 제시한 에너지 밀도의 term에 대한 근거가 되는 항이다. SWAN모델에서 고려되는 항을 Table 1에서 정리하였다.

Table 1 Theory of source terms of the SWAN models

본 연구에서, SWAN모델에서의 물리적 파라미터의 기본 설정값이 적용되었고, 대상해역에서 태풍파랑에 대한 SWAN의 적용성을 평가하려 한다. Action balance eq.의 적분값은 다섯 개의 차원(시간, 지형공간, 스펙트럼 공간)에서 유한차분 schemes을 적용하여 SWAN wave model에서 실행된다. 유한

Source terms	SWAN wave model
Linear wind growth	Cavaleri and Malanotte-Rissoli(1981) ^a
Exponential wind growth	Komen et al. (1984) ^a Janssen(1991)
Whitecapping	Komen et al.(1984) Janssen(1991)
Quadruplet interaction	Hasselmann et al. (1985)
Triad interaction	Eldeberky(1996)
Depth induced breaking	Battjes and Stive (1985) Nelso,(1994)
Bottom friction	Hasselmann et al.(JONSWAP)(1973) Collins(1972) Madsen et al.(1988)

차분형은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \left[\frac{N_i^{i,n} - N_i^{i-1}}{\Delta t} \right]_{i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta} + \left[\frac{[c_x M]_{i_x} - [c_x M]_{i_x-1}}{\Delta x} \right]_{i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta}^{i,n} \\ & + \left[\frac{(1-\nu)[c_\sigma M]_{i_\sigma+1} + 2\nu[c_\sigma M]_{i_\sigma} - (1+\nu)[c_\sigma M]_{i_\sigma-1}}{2\Delta\sigma} \right]_{i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta}^{i,n} \\ & + \left[\frac{[c_y M]_{i_y} - [c_y M]_{i_y-1}}{\Delta y} \right]_{i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta}^{i,n,t} \\ & + \left[\frac{(1-n\nu)[c_\theta M]_{i_\theta+1} + 2n\nu[c_\theta M]_{i_\theta} - (1+n\nu)[c_\theta M]_{i_\theta-1}}{2\Delta\theta} \right]_{i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta}^{i,n,t} \\ & = \left[\frac{S}{\sigma} \right]_{i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta}^{i,n,t} \end{aligned}$$

식(10)

여기서 Δt 는 전달시간step이고, $\Delta x, \Delta y, \Delta \sigma, \Delta \theta$ 등은 지

형적 공간과 스펙트럼공간의 증가분이고, i_t 는 time-level

index이고, $i_x, i_y, i_\sigma, i_\theta$ 등은 격자수이고, n^* 은 explicit

or implicit 근사에 대한 n 또는 $n-1$ 과 같다. 이것은 source term에 의존하며 여기서 n 은 반복횟수이다. 계수 ν, ν_u 는 scheme이 스펙트럼 공간에서 upwind or central인 정도를 결정한다. 불연속인 주파수는 낮은 주파수와 기준 주파수사이에서 건너뛰어 Phillips(1995)에 의해 초기의 극저주파에서 절사된 f^{-m} 의 tail은 고주파에서 비선형 파랑-파랑간 간섭을 계

산하는데 사용되고 파랑 파라미터 적분을 계산하기 위해 사용된다. SWAN wave model에서 Komar et al.(1984)와 Janssen(1991)의 wind input 공식이 선택적으로 적용될 수 있다. 파랑으로의 wind energy 변환은 공진(Phillips, 1957)과 feed-back(Miles,1967) 메카니즘으로 SWAN에서 설명된다. 이러한 메카니즘 재현을 위한 관련 source term은 선형중첩(the sum of linear)과 지수적 증가(exponential growth)의 항으로 일반적으로 묘사된다.

$$S_\epsilon(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (A2)$$

여기서 A와 B는 파랑의 주파수와 방향, 풍속과 풍향에 의존하고 있다.

2.3 태풍“매미”에 의한 기상 및 해상조건

태풍“매미” 내습시 남해안 일대에 많은 자연재해가 발생했고, 그 중 파랑에 의한 해안구조물의 피해와 관련하여 기상·해상 조건을 간단히 분석하면 다음과 같다.

가) Wind condition

대상해역의 바람조건은 태풍의 진행에 따라 2003년 9월 12일 정오부터 우리나라 남해안의 계절평균을 초과하는 풍속분포를 보이며, 12일 21시를 기점으로 서서히 예년 풍속을 되찾는 경향을 보인다.

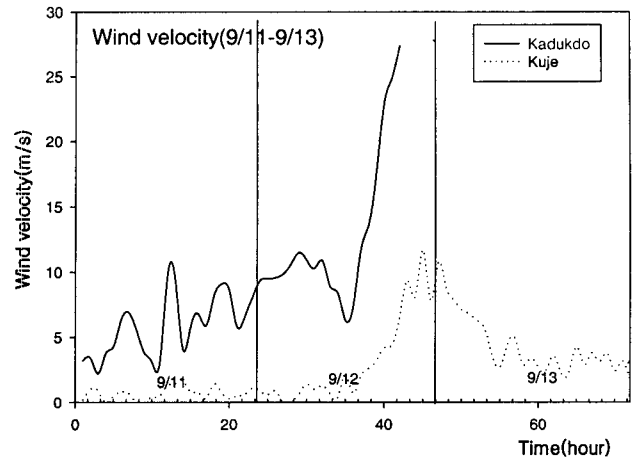


Fig. 1 Wind velocity measurements in atmospheric measurement stations.

나) Topographical condition

Capture Eye. Capture Solution. SProsoft. <http://www.sprosoft.com>

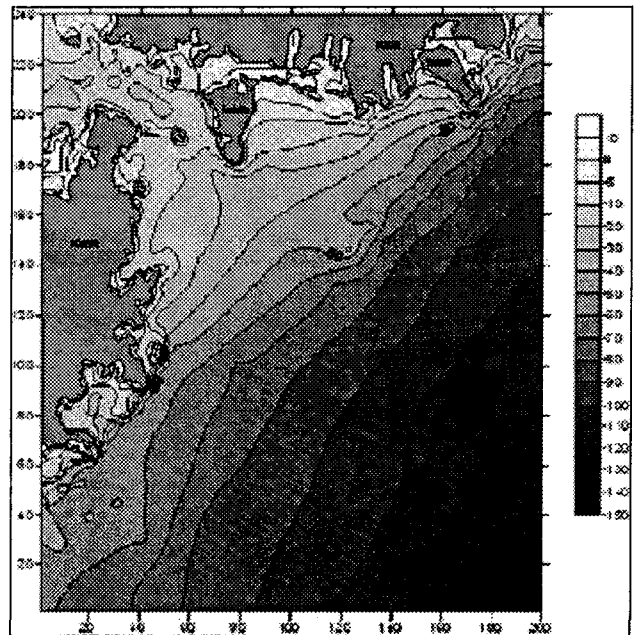


Fig. 2 Study area.

연구 대상해역은 우리나라 남동해안에 위치한 부산신항 전면해역(가덕수로)이며, 태풍“매미”진입시의 파랑, 기상관측이 비교적 정확히 시행되었으며, 또한, 태풍으로 인한 많은 피해와 구조물의 파괴가 발생하여 태풍파랑의 검토가 필요한 해역으로 판단된다.

다) Wave condition

태풍“매미”내습시 대상해역내의 두개의 지점에서 파랑관측 데이터가 입수되었고, 하나는(거제도 전면) 심해역의 파랑장의 검증자료로, 나머지(부산신항 동방파제 전면)는 천해역의 파랑장 검증자료로 사용될 수 있는 지형적 조건을 갖추고 있

다.

두개의 파랑관측자료를 정리한 결과 Fig.4에서 볼 수 있듯이 태풍의 풍역이 진입하기 전인 12일 12시 이전에는 거제전면파고가 부산신항 전면 파고보다 큰 경향을 보이다가, 태풍의 풍역이 대상해역에 본격적으로 영향을 끼치면서 천해역(부산신항측)의 파고가 심해역(거제도전면)의 파고보다 큰 경향이 우세해 지는 것으로 볼 수 있다.

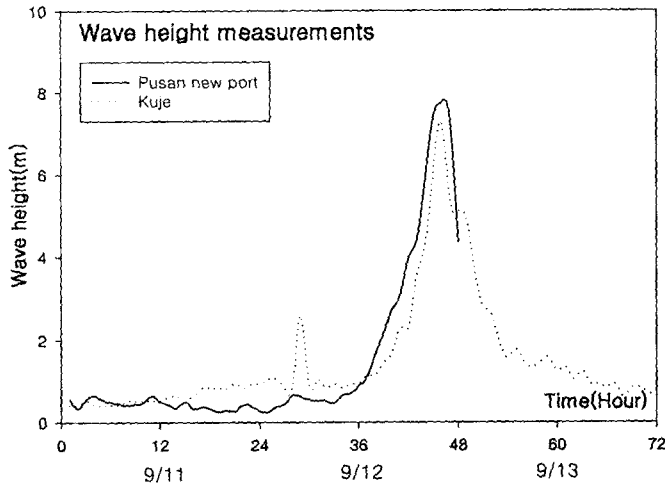


Fig. 3 Wave height measurements in Pusan new port and Kuje Wave measurement stations.

2.4 파랑수치모형 실험조건

상술한 기상, 해상조건에서 태풍“매미”의 진입은 대상해역의 파랑장에 정상시와는 다른 외력조건을 부과하게 된다는 것을 알 수 있다. 여기서, 태풍 내습시 해안구조물이 받을 수 있는 외력조건은 간략하게 Fig.4와 같고, 태풍내습이 연안의 파랑장에 영향을 주는 인자를 풍역진입에 따른 풍속·풍향, 심해파랑 입사, 해일등에 의한 수위상승으로 정리할 수 있다.

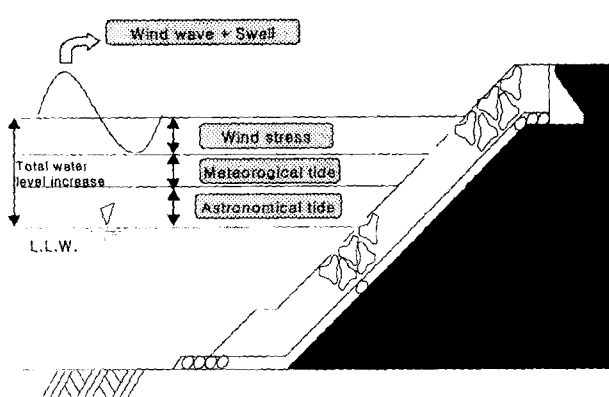


Fig. 4 Impact factor of coastal structure stability during the passage of Typhoon.

2.5 실험결과

태풍의 풍역이 진입하면서 대상 해역의 파랑장에 영향을 주는 요소를 Wind wave energy와 심해파의 전달에 의한 wave energy로 선정하여, 각각의 관측데이터와 풍역산정결과를 바탕으로 파랑수치모형실험을 하였다. 이러한 실험결과에 대해 분산관계가 성립할 때, 각 실험결과를 중첩하여 관측지점에서의 파고값과 비교해 보았다. 그리고 풍역진입효과를 배제한 일반적 경우의 파랑산정모형의 결과와도 비교해 보았다. 이상의 결과, 금번 모형실험은 기존 사용되는 실제파고 산정결과와 비교했을때 관측결과와 보다 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

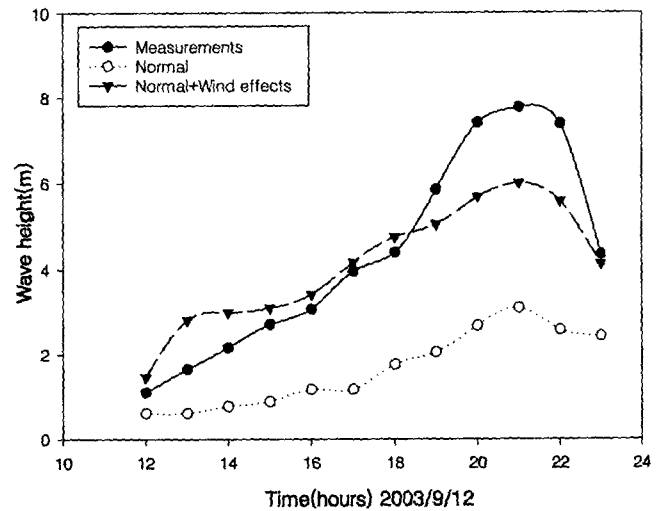


Fig. 5 Results of wave numerical simulation.

3. 결론 및 요약

연안의 구조물의 안정성에 위협이 되는 태풍파랑은 그 주요발생원이 바람이며, 태풍의 풍역이 이동하면서 발생시키는 풍파이외에도 태풍 전후에 발생하는 swell성분 또한 함께 고려되어야 한다. 그리고, 수심의 영향의 받지 않는 심해역의 파랑은 상술된 풍파와 나머지 swell성분이 대부분이지만, 해안구조물이 설치되는 천해역에 진입하게 되면 수심과 지형의 영향으로 인한 파랑의 변형또한 추가로 고려되어야 한다.

본 연구에서는 이러한 천해역의 파랑변형과 풍역진입에 따른 풍파를 함께 고려하였으며, 이러한 수치모형실험 결과를 파랑관측결과와 비교하여 보았다. 그 결과 풍파의 영향을 제외하고 수심의 영향만 고려한 일반적 파랑산정모형의 결과는 태풍파랑의 재현에 적용하는데 한계가 있으며, 풍역에 따른 풍파를 고려한 결과를 함께 고려하였을때 보다 관측값에 근접한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 풍역의 강도가 가장강한 시간대에서 다소 산정치가 작게 평가된 것은 풍파이외에 수위증가에 관한 영향이 추가적으로 고려된다면, 좀 더 현실성 있는 파랑 재현이 이루어 질수 있을것으로 판단된다.

참고문헌

기상청,(2002) 기상연보
최예환, 김중대, 김기성, (2001). "태풍의 진도에 따른 피해영향

- 강시환 등, (1985). 해난·재해예보시스템 연구“, 해양연구소, BSPE-00056-87-1. pp.317.
- 유명진 황충현.(1971) “울산만의 파랑추정”
- 안수한,이상주,박인보 (1976) “우리나라 연안의 태풍시의 파랑 계산에 대하여”. 대한토목학회지, 제24권 4호, pp.101~110.
- 최 효, 등.(1979) “동해에서 발생하는 태풍에 관한 파랑의 산정에 관한 연구”. of Kor. Met. Soc. Vol 15, No. 1, pp.35~42
- 전기천,강시환,박광순,김상익, (1990) “태풍 Vera 통과시 남해에서의 파랑추정”, Inst. Environ. Res., Kyungnam Univ., Vol.12, pp.79~94.
- 유동훈, 원유승,(1996) “방조제 주변 설계파 추정”, 한국해안·해양공학회 발표논문초록집.
- 류청로.(1984) “사석방사제의 수리학적 최적설계에 관한 기초적 연구”. 오사카대학교공학부 토목공학과 박사학위논문, 162p.
- 류청로,윤홍주,박종화,김현주,(1993) “한국연안의 극치 파랑환경과 Freak Wave의 특성에 관한연구”.
- 류청로 등.(1989) “해양파랑의 통계적 변동성 해석”. Korean Fish. Soc. 22(1), pp.41~47.
- Longuet-Higgins, M. S.(1952) “On the statistical distributions of the heights of sea waves”. Jour. Mar.Res. p245~266.
- Nolte, K. G. and F. H. Hsu.(1979) “Statistics of larger waves in a sea state”. Jour. Waterw., Port. Coast. and Ocean Eng. 3(1). p134~138.
- Brestschneider, C.L.(1958) “Revisions in Wave Forecasting : Deep and Shallow water”, Proc. 6th Conf. Coast. Eng.
- Wilson, B.W., (1955) “Graphical Approach to the Forecasting of Waves in Moving Fetches”, Tech. Memo., 73, B.E.B
- Wilson, B.W., (1961) “Deep Water Wave Generation by Moving Wind Systems”, Proc. ASCE, 87-WW3.
- Wilson, B. W.,(1965) “Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December 1959. Deutsche Hydrographische Zeit-Schrift, 18, Heft 3.
- Holland, G. J.,(1980) “An analytic model of the wind and pressure profiles in Hurricanes”. Mon. Wea. Rev., 108, 1212-1218.
- Shan-Hwei Ou et. al., (2002), Simulating typhoon waves by SWAN wave model in coastal waters of Taiwan. Ocean Eng, 29, 947-971.
- L.H. Holthuijsen, et al. (2003), Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. Coastal Eng. 49, 291-305.