

제3세대 파랑추산모형을 이용한 태풍 '매미'의 극한파랑 재현 (II)

- 태풍 '매미'가 야기한 우리나라 남해안 일대의 극한파랑 특성 -

신승호* · 홍기용**

*, ** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양개발시스템연구본부

Reproduction of Extreme Waves Caused by Typhoon MAEMI with Wave Hindcasting Method, WAM (II)

- Characteristics of extreme waves generated by Typhoon MAEMI
in the south coast of Korea -

Seung-Ho Shin* · Key-Yong Hong**

*,** Ocean Development System Research Div., Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KORDI

요약 : 본 연구는 신 등(2004)의 후속연구로서, 연근해의 상층 공간 분할의 계산에 적용하여 높은 정밀도의 파랑 추산이 가능한 수정 WAM cycle 4 모형을 토대로 2003년 9월 한 달 동안의 파랑을 상세히 추산하고, 태풍 '매미'가 야기한 우리나라 남해안 일대의 극한파랑 특성을 분석한 것이다. 계산된 파랑 제원은 이어도 해양종합기지에서 관측된 파랑 제원과의 비교를 통하여 모형의 정밀도를 확인하였고, 우리나라 남해안 주요 4개 지점의 전면 해상에 대해서는 1시간 간격의 파랑 추산 결과의 분석을 통해 태풍 '매미'가 야기한 외해 극한파랑을 다음과 같이 추산하였다. 1) 제주도 서편 차귀도 전면 해상 ; 2003년 9월 12일 16시에 최대 유의파고 7.41m, 평균 주기 13.6s, 평균 파향 6.4°, 2) 마산만 입구 ; 12일 21시에 최대 유의파고 12.50m, 평균 주기 13.65s, 평균 파향 1.2°, 3) 부산 수영만 전면 해상 ; 12일 22시에 최대 유의파고 13.85m, 평균 주기 13.81s, 평균 파향 0.2°, 4) 울산항 전면 해상 ; 12일 23시에 최대 유의파고 11.00m, 평균 주기 13.25s, 평균 파향 2.8°.

핵심용어 : 태풍 매미, 수정 WAM 모형, 파랑추산, 극한파랑, 남해안

Abstract : Following a preceding study of Shin et al.(2004), wave fields for a month of September of 2003 are simulated based on the modified WAM cycle 4 model that enables the precise wave hindcasting with fine spatial meshes, and characteristics of extreme waves at the south coast of Korea are analyzed. The accuracy of applied wave model is verified by comparing computed wave parameters and corresponding ones measured at Ieodo ocean research station. The wave hindcasting of typhoon 'Maemi' with an hour time interval reveals the extreme wave characteristics at 4 primary locations of south coast of Korea as follows: 1) At the front sea of Chaguido in the south of Jeju-do, the maximum significant wave height, mean wave period and mean wave direction appear to be 7.41m, 13.65s and 6.4°, respectively at 16:00 KST of Sep. 12, 2003. 2) At the entrance of Masan Bay, 12.50m, 13.65s and 1.2° at 21:00 KST of Sep. 12. 3) At the front sea of Suyoung Bay, 13.85m, 13.81s and 0.2° at 22:00 KST of Sep. 12. 4) At the front sea of Ulsan port, 11.00m, 13.25s and 2.8° at 23:00 KST of Sep. 12.

Key words : Typhoon MAEMI, Corrected WAM model, Wave hindcasting, Extreme wave, South coast of Korea

1. 서 론

항만이나 어항 및 연안 해역에 있어서 공공의 토목시설 혹은 해양개발과 관련한 설계 및 구조 검토를 행할 경우, 파랑은 가장 중요한 외력 요소의 하나이다. 일반적으로 사용되고 있는 파랑의 정보는 파고, 주기, 파향 등으로서 이는 파랑의 관측 및 추산 그리고 그 결과에 기초한 극치통계해석에 의해 산정될 수 있고, 설계파의 결정에는 구조물 혹은 배후 시설에 가장 불리하게 작용하는 파의 제원이 주로 이용되고 있다.

우리나라에서는 풍향·풍속이나 우량 등의 기상관측에 비해 파랑의 정상관측에 대한 역사가 극히 짧으며, 파랑 관측의 지점도 특정 지점에 한정되어 있어 해양 혹은 항만 개발의 시행을 위해 해당 지점에서 충분한 파랑 정보를 획득하고 있지 못한 실정이다. 또한 신 등(2004)에서도 언급하였듯이 실제 해당 해역에서의 정상 파랑관측을 행하고 있는 경우라 하더라도 극한파랑의 내습에 의해 관측기기 자체가 파손 혹은 유실되어 정작 필요로 하는 극한의 파랑 정보를 관측해내지 못하는 경우도 종종 발생한다. 이러한 예는, 2004년 9월에 한반도에 상륙하여 우리나라 연·근해에 극한

* 대표저자 : 신승호(중신회원), shinsh@kriso.re.kr, 042)868-7584

** 중신회원, kyhong@kriso.re.kr, 042)868-7511

파랑을 야기함으로써 항만 혹은 연근해 해양 개발에 있어서 또 하나의 중요한 설계과 기준을 제시한 태풍 '매미'의 경우에 있어서도 마찬가지이다(한동대, 2004).

신 등(2004)은 대표적인 제3세대 파랑추산모형인 WAM Cycle 4의 수정을 통하여, 연근해를 대상으로 한 상세 공간 격자에 대한 모형의 적용성을 높였으며, 이어도 해양과학기술지에서 관측한 2003년 9월 한 달 동안의 정밀 파랑관측 자료와의 비교 분석을 통하여 그 타당성을 확인하였다. 본 연구는 신 등(2004)의 후속연구로서 동일한 영역내, 동일계산으로 수행한 9월 한 달의 파랑 추산을 통하여 태풍 '매미'가 야기한 우리나라 남해안 일대의 극한파랑을 분석하고자 하였다.

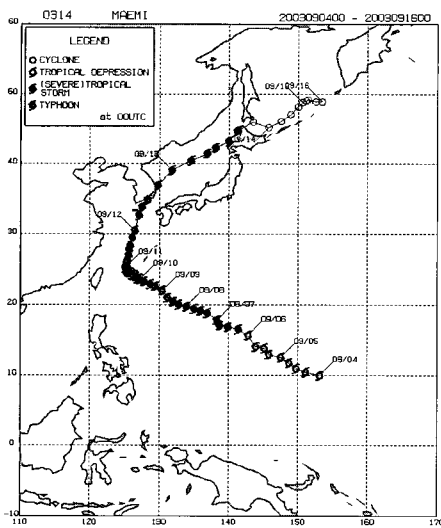


Fig. 1 The track of typhoon 'MAEMI'(Typhoon Research Center, 2004)

2. 태풍 '매미'의 개요

2003년 9월 4일 9시(KST, 이후 모두 KST를 기준으로 기술함) 트럭 열도(Truck Is.) 북쪽 해상(N 9.9°, E 153.1°)에서 발생한 열대 저기압은 북서로 진행한 후 6일 15시에 마리아나 열도(Mariana Is.)의 서쪽 해상(N 16.5°, E 141.4°)에서 태풍 14호(매미)로 되었다. 북서로 거의 직진하면서 발달한 태풍 '매미'는 10일 21시에 오키나와 남쪽 미야코지마(宮古島) 남동 해상(N 24.3°, E 126.0°)에서 세력이 최대로 되고 그 세력을 유지한 채 11일 4시 미야코지마 부근(N 24.6°, E 125.4°)을 통과하였다(Fig. 1). 진로를 북북동으로 바꾼 태풍 '매미'는 동지나해를 지나 12일 21시 경 한반도에 상륙하였으며, 그 후 동해로 진행하며 세력이 약해지고 14일 6시에 오호츠크 해상(N 46.0°, E 143.5°)에서 온대저기압으로 되어 16일 15시 쿠릴 열도(Kuril Is.) 근해에서 소멸되었다(일본 기상청, 2003).

Fig. 2는 인공위성에서 촬영한 구름 사진으로서 (a)는 태풍 '매미'가 최대로 발달한 10일 21시의 모습이며, 이때 미야코지마 남동 해상에서의 일본 기상청 관측치에는 중심기압 912hPa, 최대풍속 38.4m/s, 최대순간풍속 74.1m/s로 기록되었다(일본 기상청, 2003). Fig. 2(b)는 12일 12시의 모습으로서 일본 기상청에서 제시한 태풍 '매미'의 중심기압은 932.5hPa, 최대풍속은 47.5m/s(중심위치;N 31.6°, E126.8°)이었으나, 같은 시간 중심에서 가장 근접되었던 이어도 해양관측지(N 32.1°, E 125.18°)에서는 기압 982.19hPa, 최대풍속 31.7m/s가 관측되었다(심 등, 2004). 한편, Fig. 2(c), (d)는 각각 한반도에 상륙한 12일 21시(중심기압 955hPa, 최대풍속 40m/s) 및 동해상으로 진행하며 다소 세력이 약해진 13일 09시의 태풍 '매미'(중심기압 975hPa, 최대풍속 30m/s)에 대한 위성사진의 모습이다.

3. 수정 WAM 모형의 계산 조건과 검증

WAM Cycle 4는 기본적으로 직교 좌표계 및 구면 좌표계에 대한 방정식을 제공하며, 입력되는 해상풍을 토대로 파의 발달을 계산하면서 천수 효과, 굴절을 고려한다. 본 연구에서는 흐름 U 의 효과를 고려한 위도 ϕ 경도 λ , 지구 반경 R 에 대한 구면 좌표계로 표현된 파 작용 평형방정식 (1)을 토대로 계산하였지만, 계산 영역 내 흐름은 없는 것으로 처리하였다.

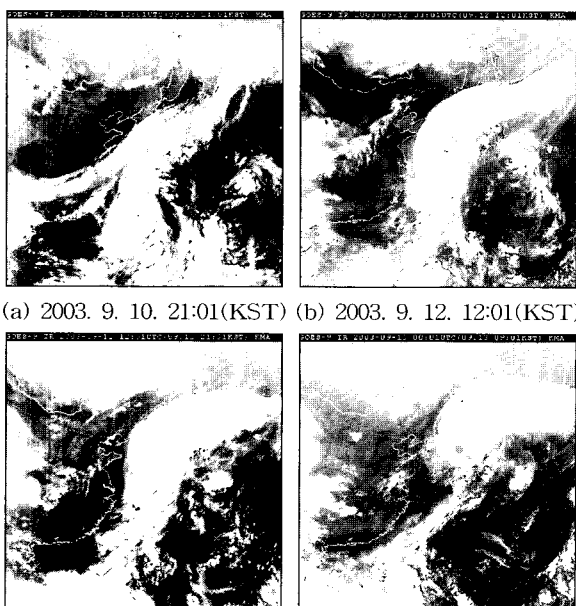
$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{1}{(\cos \phi)} \frac{\partial (\dot{\phi} \cos \phi E)}{\partial \phi} + \frac{\partial (\lambda E)}{\partial \lambda} + \frac{\partial (\dot{\omega} E)}{\partial \omega} + \frac{\partial (\dot{\theta} E)}{\partial \theta} = S_{in} + S_{ds} + S_{bf} + S_{nt} \quad (1)$$

$$\dot{\phi} = (C_g \cos \theta - U|_{north})R^{-1} \quad (2)$$

$$\dot{\lambda} = (C_g \sin \theta - U|_{east})(R \cos \phi)^{-1} \quad (3)$$

$$\dot{\theta} = C_g \sin \theta \tan \phi R^{-1} + \dot{\theta}_D \quad (4)$$

$$\dot{\omega} = \frac{\partial \Omega}{\partial t} \quad (5)$$



(a) 2003. 9. 10. 21:01(KST) (b) 2003. 9. 12. 12:01(KST)
(c) 2003. 9. 12. 21:01(KST) (d) 2003. 9. 13. 09:01(KST)

Fig. 2 Satellite images of typhoon 'MAEMI'

$$\theta_D = \left(\sin \theta \frac{\partial \Omega}{\partial \phi} - \frac{\cos \theta}{\cos \phi} \frac{\partial \Omega}{\partial \lambda} \right) (kR)^{-1} \quad (6)$$

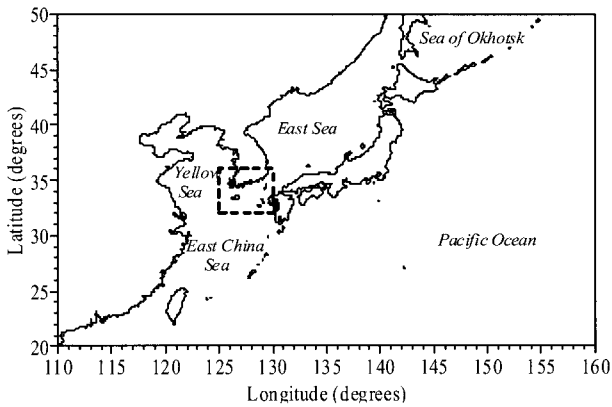


Fig. 3 Computational region ($\Delta x = \Delta y = 0.1^\circ$)

여기서, E 는 $E(\omega, \theta)$ 로서 파의 각주파수 $\omega (= 2\pi f)$ 및 파향 θ 의 함수인 파의 방향스펙트럼이고, k 는 파수, $C_g (= \partial \Omega / \partial k)$ 는 파의 군속도이며, Ω 는 심해 조건에서 식 (7)과 같은 분산관계식을 만족한다.

$$\Omega = \sqrt{gk} - k U \quad (7)$$

식 (1)의 우변은 에너지 소스항으로서 S_{in} 은 Janssen(1991)의 준선형 이론(quasi-linear theory)에 기초하여 바람으로부터 파로 전달되는 에너지 수송을 표현한 항이고, S_{ds} , S_{br} 는 실험과 경험식을 바탕으로 각각 쇄파와 해저마찰에 의한 에너지 소산을 표현한 항이며 S_{nl} 은 Hasselmann *et al.*(1985)이 제시한 성분파간의 비선형 상호작용에 의한 에너지 교환을 나타내는 전달함수이다.

3.1 모형의 계산 조건

계산은 신 등(2004)에서 제시된 모형 내의 파향격자 분할법 및 파 발달 제한조건을 수정한 개량 WAM 모형을 적용하였다. 모형의 계산 조건은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 열대성 저기압이 태풍 '매미'로서 위용을 갖춘 지점부터 9월 16일 소멸된 해상이 모두 포함된 N 20~50°, E 110~160°의 영역을 해상도 $\Delta x = \Delta y = 0.1^\circ$ (약 11km)의 상세 격자로 분할($n_x \times n_y = 501 \times 301$, x, y 는 방향 분할수)하고 이에 따라 CFL 안정조건을 만족하는 $\Delta t = 360s$ 의 시간 간격으로 계산하였다.

파 발달의 계산을 위해 6시간 간격으로 입력되는 해상풍(3.2절에서 상세 기술)은 각 시간 간격(Δt)에 맞추어 내삽되며, 계산 결과는 Fig. 3에 제시한 전체 계산 영역의 모든 격자점에 대해, 9월 한 달 전 기간에 걸쳐 1시간 간격으로 유의파고(H_s), 평균주기(T_{mean}), 평균 파향을 출력하고, 이어서 해양양과 화기지, 제주해역 차귀도 전면 해상, 마산항 입구, 부산수영만 전면 해상, 울산항 전면 해상에 대해서는 계산의 검증

및 해당 해역의 상세 파랑 변화를 파악하기 위해 방향스펙트럼을 시계열로 출력하였다.

3.2 입력 해상풍 자료의 특성

해역에서의 파랑의 발달을 계산하기 위해서는 기본적으로 시간·공간적으로 변화하는 해상풍 정보의 연속적인 입력이 필요하며, 추산된 파랑의 정밀도는 모형 자체의 신뢰성뿐만 아니라 계산하고자 하는 공간 격자에 대한 해상풍의 정밀도에도 크게 의존한다. 특히 연안 해역에서는 해상풍이 주변 지형의 영향으로 인해 복잡하게 변화하므로 보다 상세한 공간 해상도의 해상풍 데이터가 요구된다.

(1) JMBSC의 해상풍 데이터와 좌표계의 변환

지구 규모의 광역에 대한 고정밀도의 기상 자료를 제공하는 대표적 기관에는 유럽의 ECMWF(European Center for Medium Range Weather Forecast), 미국의 NCEP(National Center for Environment Prediction) 그리고 일본의 기상업무지원센터(Japan Meteorological Business Support Center, JMBSC)가 있다. 본 연구에서는 우리나라를 포함하는 동아시아의 영역에 대해 20km의 상세 공간 격자의 기상 데이터를 별도 제공하는 JMBSC의 해상풍 자료를 이용하였다.

동아시아 영역에 대한 JMBSC 기상 데이터는 기본적으로 $\Delta X = \Delta Y = 20km$ 의 GPV(Grid Point Value) 데이터로써 주어지지만 투영 기준점을 N 30°, E 140°에 둔 람베르트 정각원추좌표계(Lambert conformal conic projection)를 기준으로 구성되어 있으며, 그에 따라 해상풍도 해당 좌표계를 기준으로 한 풍속 성분(U, V)으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 모형에의 적용을 위하여 람베르트 정각원추좌표계를 경위도 형식의 구면 좌표계로 전환하였으며, 풍속 성분에 있어서도 구면 좌표계에서의 동서 및 남북 방향 풍속 성분(U_E, V_N)의 값으로 변환하였다.

(2) 해상풍의 입력

구면 좌표계에서의 값으로 변환된 JMBSC 해상풍 자료를 2003년 9월 1일 00시(UTC)부터 30일 18시(UTC)까지 매 6시간 간격으로 Fig. 3에 제시한 영역의 각 공간 격자점에 부여하였으며, 모형의 내부에서는 주어진 6시간 간격의 해상풍 자료로부터 공간 격자($\Delta x, \Delta y$)와 계산 시간 간격(Δt)에 맞추어 자동 내삽되어 모든 격자점에서 파랑의 발달을 추산하게 된다.

Fig. 4는 9월 한 달 동안의 파랑추산을 위해 입력한 6시간 간격의 해상풍 자료(120 set)중 하나의 예로서 태풍 '매미' 중심이 N 30.5°, E 126.5°에 위치했던 2003년 9월 12일 09시의 해상풍 자료와 동일 시각의 천기도를 함께 제시한 것이다. 한정된 지면에 광역의 많은 정보량이 그림으로 표현된 관계로 각 격자점에서의 바람에 대한 정량적인 파악은 어렵지만, 계산 영역내에 입력되는 바람 정보의 조밀성은 쉽게 확인할 수 있다. 또한 마찰이 적은 해역에 있어서는 기압 배치에 따른 바람장이 잘 반영되어 있음을 천기도와 비교로 알 수 있으나, 육지역에서는 풍속의 약화뿐만 아니라

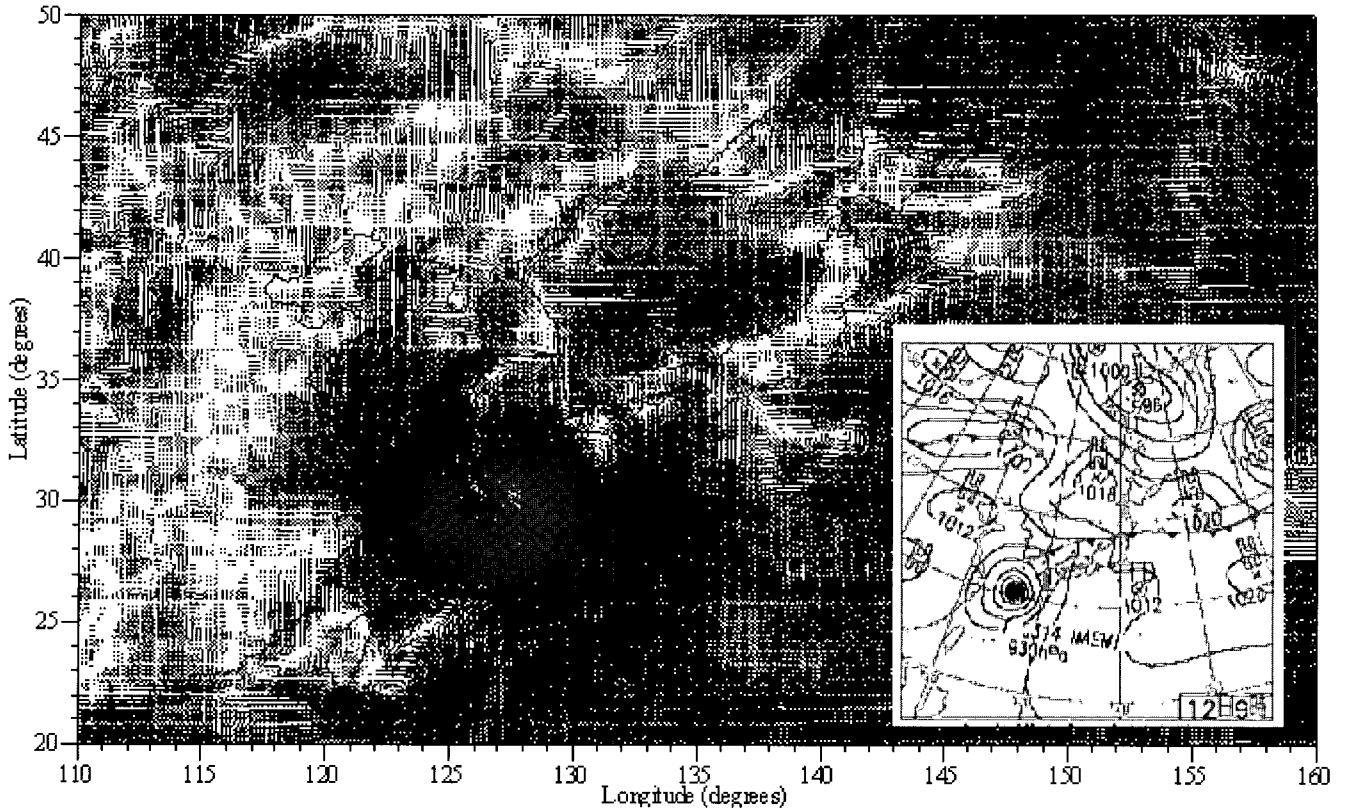


Fig. 4 An example of input wind data(U_{10}) and weather chart - 00:00(UTC), Sept. 12 2003

라 풍향에 있어서도 기압배치와는 다소 다른 경향을 나타내는 등 지형의 변화, 지면과의 마찰 등의 영향이 고려된 상세 영역의 바람장임을 유추할 수 있다.

3.3 이어도 파랑관측 결과와의 비교를 통한 계산 결과의 검증

본 연구에서 수행한 2003년 9월 한 달동안의 파랑추산에 대한 검증은 마라도 서남방 149km에 위치한 이어도 해양과학기지(이하 이어도 관측기지)에서 동일 기간 관측된 정밀 파랑관측 자료와의 비교분석을 통해 수행하였다. 비교를 위한 대상 지점은 N 32.1°, E 125.2° 지점(Fig. 6 참조)이며, 2003년 9월 한 달의 전 기간에 걸쳐 1시간 간격의 관측치 및 계산치에 대해 동일 시각의 유의파고, 주기, 파향의 직접적인 비교와 상관분석으로 파랑추산의 정도가 양호함을 확인하였다.

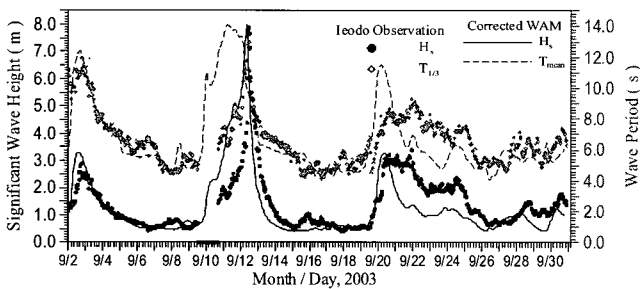


Fig. 5 Comparison of computed and observed time series of wave components

Fig. 5는 신 등(2004)에서 수행한 추산 정도의 검증분석에 대한 일부 자료로서 유의파고와 주기에 대해 관측치와 계산치를 시계열 비교한 것이다. 신 등(2004)은 이어도에서 관측된 바람장과 JMBSC의 해상풍 자료의 비교와 더불어 관측된 파랑 재원과 본 모형으로 계산한 결과에 대한 상세한 분석을 통해, 파랑추산의 정밀도가 우수함을 확인하였다. 구체적인 내용은 신 등(2004)을 참조하기로 한다.

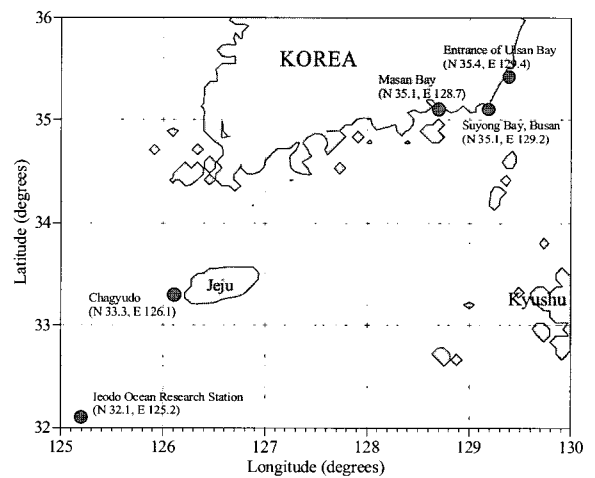


Fig. 6 Data acquisition locations for Time series of directional wave spectrum(enlarged figure of the dashed-line box in Fig.3)

4. 태풍 '매미'가 야기한 남해안의 극한파랑

2003년 9월에 발생한 태풍 '매미'는 강한 폭풍과 호우를 동반하였을 뿐만 아니라 제주도 동측을 통과하여 경남 사천 부근에서 육상에 상륙함에 따라 제주 해역을 비롯한 우리나라 남해안 일대에 극한파랑을 야기하였다. 본 연구에서는 연안 해역에서의 정밀도 높은 파랑추산을 위해 수정한 WAM 모형(신 등, 2004)을 적용하여 Fig. 3에 제시한 동북아시아 전역에 대해 태풍 '매미'의 발생기간을 포함한 2003년 9월 한 달 동안의 파랑을 추산하여 우리나라 남해안 일대의 극한파랑을 분석하였다.

Fig. 7, 9, 11은 2003년 9월 한 달에 대해 6시간 간격으로 출력한 동북아시아 해역의 유의파고 및 평균 파향의 분포 가운데에서 Fig. 6에 제시한 제주 및 남해안 해역(Fig. 3에서 굵은 점선으로 둘러싸인 영역)만을 나타낸 것으로써, 태풍 '매미'의 진로는 굵은 실선, 해당 시간의 중심 위치는 별 모양, 파향은 식별을 용이하게 하기 위해 두 배의 선간격으로 표현한 것이다. Fig. 8, 10, 11은 Fig. 7, 9, 11과 각각 동일한 시각에 있어서 Fig. 6에 나타낸 (a)제주도 서편 차귀도 전면 해상, (b)마산항 입구, (c)부산 수영만 전면 해상, (d)울산항 전면 해상에 대해 계산된 방향 스펙트럼으로서 파향은 정북으로 진행하는 파(0°)를 기준으로 시계방향으로 정의하였다.

Fig. 7은 태풍 매미의 중심(935hPa, 이동속도 40km/h)이 제주도 남동 해상(N 32.7°, E 127.1°)에 위치한 9월 12일 15시의 유의파고 및 평균 파향 분포를 나타낸 것이다. 태풍 '매미'의 진로상 우측 반원에 해당하는 해역에서는 유의파고 10m 이상의 고파랑 영역이 존재하며 특히 일본 Iki섬 서측 해역은 13m를 상회하는 유의파고 분포가 재현되어 있으나, 제주도 북측 해상은 태풍 '매미'에 대해 상대적인 차폐역으로 존재하게 되어 유의파고 4m 이하의 해상으로 나타나 대조적인 양상을 보이고 있다. 한편, 동일한 시각에 대한 제주·남해 연안의 주요 4 지점의 방향스펙트럼 분포에서는 태풍이 근접되어 있는 제주도 서편 차귀도 전면 해상에서 유의파고 7.1m, 평균 주기 13.87s의 높은 파고가 형성되어 있지만, 부산 및 마산 전면 해상에서는 아직 파랑 발달의 정도가 덜하며, 울산항 입구에서는 육지역의 차폐 영향으로 2m 정도의 유의파고를 나타내고 있다.

Fig. 9, 10은 6시간 후 태풍 '매미'가 경남 사천 부근을 상륙한 2003년 9월 12일 21시의 양상이다. 당시 태풍 '매미'는 중심기압 955hPa, 이동속도 45km/h로서 최대풍속 40m/s를 기록하였다(일본 기상청, 2003). 태풍의 진행 경로상 우측 반원에 최대로 근접된 마산, 부산 외해역은 유의파고 14m 이상을 나타내고 있으며, Fig. 10의 (b)마산만, (c)부산 수영만 입구에 대한 방향스펙트럼에서도 최대로 발달한 파랑 스펙트럼 양상을 보이고 있다. 동 시각의 (a)제주 서편 차귀도 전면 해상은 유의파고 5.9m 정도로 파랑이 약화되어 있으며, 방향에 있어서도 6시간 전에 북향으로 집중되었던 파향이 90°~360°까지 다방향으로 분포됨을 볼 수 있고, (d)울산

항 입구에서는 유의파고 9.2m, 평균 주기 11.61s로서 본격적인 고파랑이 나타나고 있다.

경남 사천으로 상륙한 태풍 '매미'는 경상도 일대에 집중호우를 동반하며 내륙을 통과하였고 다소 그 세력이 약화되어 동해상으로 빠져나갔다. Fig. 11, 12는 태풍 '매미'의 상륙으로부터 6시간 후인 13일 03시로서 태풍의 중심이 동해상(N 37.0°, E 129.8°, 중심기압 970hPa, 최대풍속 30m/s)에 위치한 때의 유의파고 분포 및 방향스펙트럼을 나타내고 있다. 태풍의 영향권으로부터 벗어난 제주도 주변 해역은 유의파고 2.7m 정도의 해황을 보이고 있고 Fig. 12(a)의 방향스펙트럼에서도 그 양상이 잘 나타나 있으나 마산, 부산, 울산 전면 해상에서는 아직 태풍의 영향권에서 완전히 벗어지지 못하고 있음을 알 수 있다(Fig. 12(b), (c), (d)).

Fig. 13은 제주 차귀도, 마산만, 부산 수영만, 울산항 입구 해역에 대해 추출된 9월 2일~16일의 유의파고 및 평균 주기의 시계열 변화를 나타내고 있어, 태풍 '매미'가 발생시킨 극한파랑의 발달 정도와 변화 양상을 파악할 수 있다.

12일 21시에 경남 사천으로 상륙한 태풍 '매미'는 우리나라 남해안에 기록적인 극한파랑을 발생시켰으며, 당시 태풍으로 인한 폭풍해일과 만조위가 겹침에 따라 특히 마산, 부산 등지에서 많은 피해를 남겼다. 본 계산에서 태풍 '매미'는 제주도 서편 차귀도의 경우 12일 16시, 마산만의 경우 12일 21시, 부산 수영만 입구는 12일 22시, 울산항 입구에서는 12일 23시에 각각 최대 유의파고 7.41m, 12.50m, 13.85m, 11.00m를 기록하였으며, 추산된 유의파고, 평균 주기 및 평균 파향은 Table 1에 따로 정리하였다. 이와 같은 태풍 '매미'에 의해 발생한 남해안 해역의 극한파랑 정보는 해양관련의 각종 설계 기준에 있어서 중요한 참고자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.

Table 1 Characteristics of extreme waves caused by typhoon 'MAEMI' at at primary locations of South coast of Korea

위 치	파랑제원		평균주기(s)		평균파향(°)	
	관측	계산	관측	계산	관측	계산
이여도해양종합기지 (N 32.1°, E125.2°)	7.89	8.02	10.00	10.00	334.7	318.8
제주, 차귀도 (N 33.3°, E 126.1°)	-	7.41	-	13.60	-	6.4
마산만 입구 (N 35.0°, E128.7°)	-	12.50	-	13.65	-	1.2
부산, 수영만 (N 35.1°, E 129.2°)	-	13.85	-	13.81	-	0.2
울산항 입구 (N 35.3°, E 129.4°)	-	11.00	-	13.25	-	2.8

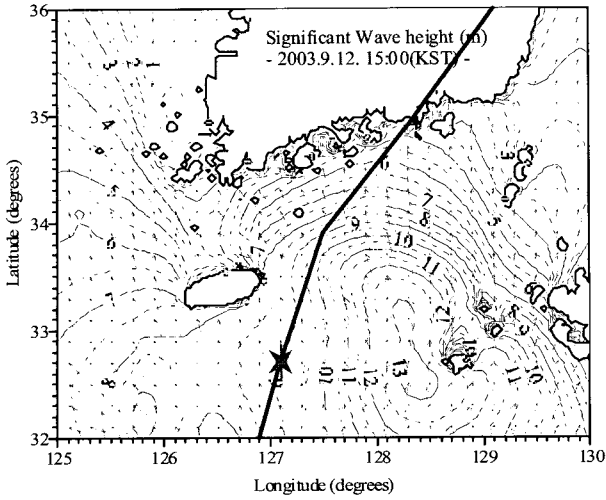


Fig. 7 Significant wave heights and directions at Sept. 12, 16:00 KST

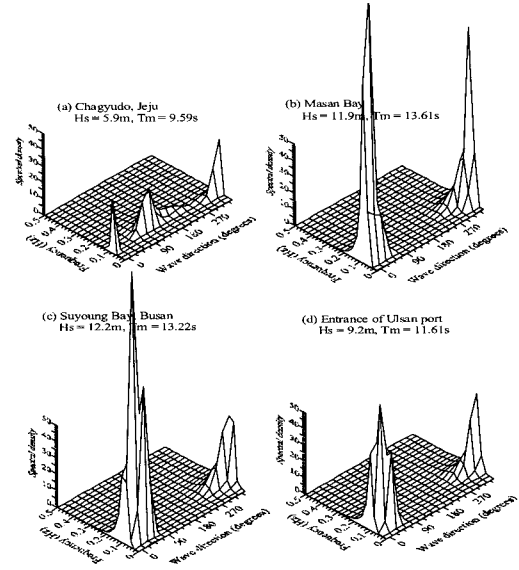


Fig. 10 Directional wave spectra at Sept. 12, 21:00 KST

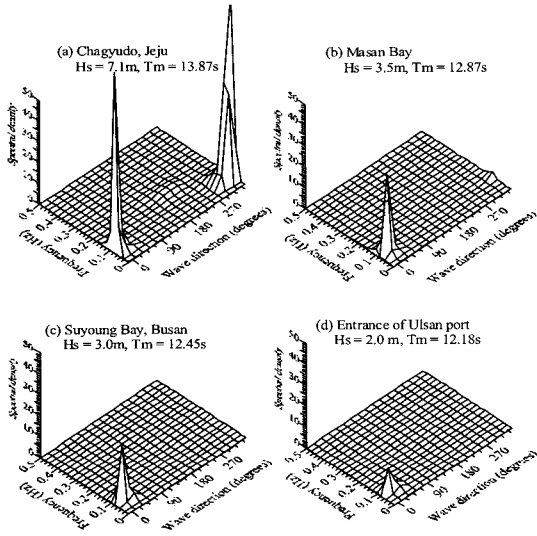


Fig. 8 Directional wave spectra at Sept. 12, 16:00 KST

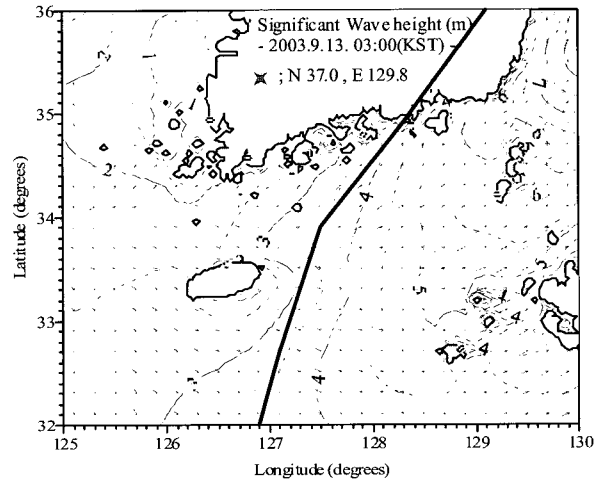


Fig. 11 Significant wave heights and directions at Sept. 13, 03:00 KST

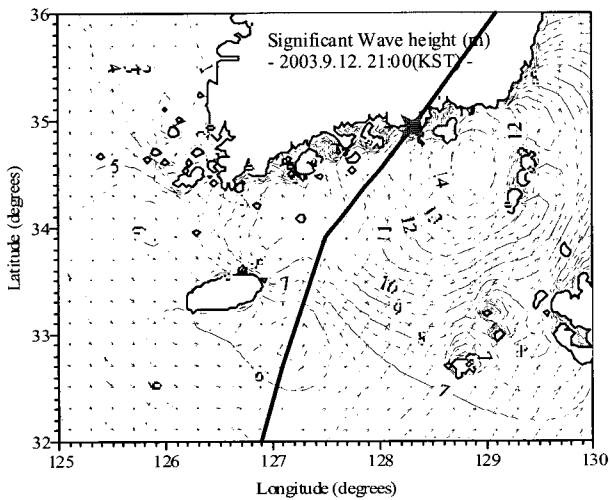


Fig. 9 Significant wave heights and directions at Sept. 12, 21:00 KST

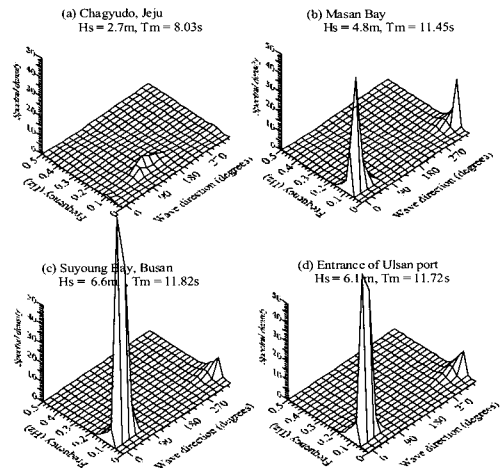


Fig. 12 Directional wave spectra at Sept. 13, 03:00 KST

5. 결 론

본 연구는 신 등(2004)의 후속연구로서, 연근해의 상세 공간 분할의 계산에 적용하여 높은 정밀도의 파랑 추산이 가능한 수정 WAM Cycle 4 모형을 토대로 2003년 9월 한 달 동안의 파랑을 상세히 추산하고, 태풍 '매미'가 발생시킨 우리나라 남해안 일대의 극한파랑을 분석하였다.

계산된 파랑 제원은 이어도 해양종합기지에서 관측된 파랑 제원과의 비교를 통하여 모형의 정밀도를 확인하였고, 우리나라 남해안 주요 4개 지점(제주, 마산, 부산, 울산)의 전면 해상에 대해서는 1시간 간격으로 산출한 파랑추산 결과의 분석을 통해 태풍 '매미'가 야기한 외해 극한파랑을 다음과 같이 추산하였다.

1) 제주도 서편 차귀도 전면 해상에서는 2003년 9월 12일 16시에 최대 유의파고 7.41m, 평균 주기 13.6s, 평균 파향 6.4°를 추산하였고,

2) 마산만 입구에서는 2003년 9월 12일 21시에 최대 유의파고 12.50m, 평균 주기 13.65s, 평균 파향 1.2°를,

3) 부산 수영만 전면 해상에서는 2003년 9월 12일 22시에 최대 유의파고 13.85m, 평균 주기 13.81s, 평균 파향 0.2°를 각각 추산하였다.

4) 한편, 울산항 입구 전면 해상에서는 2003년 9월 12일 23시에 최대 유의파고 11.0m, 평균 주기 13.25s, 평균 파향 2.8°를 추산하였다.

본 연구에서는 20km 공간 격자에 대한 해상풍 자료로부터 동북아시아의 해역에 대해 0.1° 계산 공간 격자로 파랑을 추산하였다. 이와 같은 공간 해상도는 만 또는 항의 입구에 해당하는 전면 해상에서의 파랑 추산에는 적합하지만, 육지 지형의 영향을 최대한으로 받는 만 내부 등의 파랑 추산에는 아직 부족한 감이 있다. 이를 극복하기 위해서는 제공되는 해상풍 자료를 토대로 다시 내부 육지 지형의 변화에 따른 바람장을 보다 상세히 산출해낼 필요가 있으며, 이는 추후 연구과제이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국제공동연구사업인 “극한파 특성의 비선형 해석 및 해양구조물 적용 연구”와 해양수산부의 지원으로 수행된 “파력발전 실용화 기술 연구” 연구결과 중 일부입니다.

참 고 문 헌

- [1] 신승호, 홍기용, 최학선, N. Hashimoto (2004), “제3세대 파랑추산모형을 이용한 태풍매미의 극한파랑 재현 (I) -WAM 모형의 파향격자 분할법 및 파 발달 제한조건 수정-”, *한국항해항만학회지* 28권 6호, pp. 557-564.
- [2] 심재실, 이재학, 민인기 (2004), “이어도 해양과학기술기지에서 관측한 태풍 매미 자료분석” 한반도 해역의 고파, 폭풍해일 워크샵 논문집, pp. 49-55.
- [3] 일본 기상청 (2003), “일본기상청 천기도 - 2003년 10월”, CD-ROM 데이터.
- [4] 태풍연구센터(2004), 홈페이지, <http://www.typhoon.co.kr>
- [5] 한동대학교 건설환경연구소 (2004), “울산신항 방향성 파고계 설치 및 유지관리·자료분석 연구용역 4차년도 보고서”
- [6] Hasselmann, S., K. Hasselmann, J. H. Allender and T. P. Barnett (1985), “Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave model”, *J. Phys. Oceanogr.* 15, pp. 1378-1391.
- [7] Janssen, P. A. E. M. (1991), “Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting”, *J. Phys. Oceanogr.* 21, pp. 1631-1642.

원고접수일 : 2004년 8월 31일

원고채택일 : 2004년 10월 11일