

淺海의 스펙트럼 海波 模型: SWAN-WAM 結合 模型의 韓半島 海域에의 適用 Shallow Water Spectral Wave Model : Application of SWAN-MAN Coupled Model for Coastal Area of Korean Peninsula

최병호¹ · 김경옥¹ · 박상욱² · 엄현민³ · 고진석³ · 안성모⁴

Byung Ho Choi¹, Kyung Ok Kim¹, Sang Wook Park², Hyun Min Eum³, Jin Seok Ko³, Sung Mo Ahn⁴

1. 서 론

미육군 공병단이 해빈(근빈)의 해파예측을 위해 병렬적 CGWAVE(Pachang 과 Demirbilek, 1998) 및 STWAVE 모형(Fahey와 Smith, 2001)을 제시하는 반면 해군연구기금(Office of Naval Research)은 선진해파예측 연구를 쇄파대 외측의 해빈역 관측(SHOWEX)을 통해 수행하고 있는데 SWAN (Simulated Waves Nearshore) 모형을 중점적으로 적용하고 있다. 현재 SWAN cycle 3 (version 40.11)은 구면좌표계와 고차기법을 적용한 광역의 해파전파와 WAM (또는 WAVEWATCH III)내에 동지화(nesting)시킬 수 있게 개선되어 있다. SWAN이 포함하는 물리과정은 시공적 해파 전파, 천수 효과, 해류와 수심에 따른 굴절 해류 및 수심 변화에 따른 주파대 변위, 풍파의 발생, 3, 4 파 상호작용, 백파, 해저 마찰, 수심에 의한 쇄파, wave setup, 반사 효과를 포함하나 회절 및 분산 반사효과는 포함하지 않는데 WAM 모형과 주된 차이점은 수심에 의한 쇄파(depth-induced wave-breaking)과 3 파 상호작용(triad wave-wave interaction)의 물리과정이 포함된 점이다. SWAN의 출력은 1, 2 차원 스펙트럼 유의파고 및 평균주기, 평균파향 및 방향성 전파, 1, 2 차원 스펙트럼 근원항, 해저저적운동의 rms, 소산, 방사응력 경사에 의거한 파력, wave setup 등이다. 이와 같이 초기의 SWAN version 이 가졌던 1 차 풍상 음해수치기법

은 수치 확산성이 강해 고차기법으로 이러한 문제들이 해결되고 광역에 직접적으로 적용하거나 기존의 WAM 모형 내에 nesting 될 수 있도록 많이 개선이 이루어지고 있다. SWAN의 제약점은 수파장의 수평적 스케일에서 파고의 변화가 큰 경우에는 적합치 않으므로 방파제와 같은 장애물 근처 특히 항내파고 산정에는 적합치 않은 것을 유념해야 한다. 본 연구에서는 WAM-SWAN 결합모형에 의해 한반도 주변 천해역의 해파를 체계적으로 산정할 수 있는 일관적인 과정을 수립하여 1959년 사라호 태풍과 1999년 올가호 태풍에 의한 천해 해파 산정에 적용하였다. 이 경우 WAM 모형은 조석 해일 모형과 동시결합(synchr onously coupled)된 체계(Choi 등, 2002)에서 해파-흐름 상호작용이 고려될 수 있도록 하였다. 따라서 조류, 해일 유발유속과 해파의 상호작용과 조위변화 및 해일수위변화에 의한 수심변화가 큰 황해에 연한 천해역에 적용이 될 수 있는 새로운 해파산정체계가 본 연구에서 처음 제시되고 있는데 한반도 주변 해역의 '물리학적 특성'이 기본적으로 고려된 천해파 산정체계로서 철저한 해안해파관측을 통해서 세련화시킬 필요가 있다.

2. SWAN 모형의 이론

SWAN 모형에서의 해파는 에너지 밀도를 상대 주파수로 나눈 이차원 wave action 밀도 스펙트럼을

¹ 성균관대학교 토목환경공학과 (Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea)

² 기상청 수치예보과 (Department of Numerical Weather Prediction, Korea Meteorological Administration, Seoul, 156-720, Korea, 현재 Scripps Institution of Oceanography, Univ of California at San Diego, USA)

³ 헤인 E&C(Hyein Engineering and Construction Co.,Ltd)

⁴ 삼성물산(주) 건설부문(Samsung Engineering and Construction Co.,Ltd)

$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ 로서 표시하는데 해파 스펙트럼은 스펙트럼 action balance 식으로 아래와 같이 제시된다.

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

이 식의 왼쪽의 첫번째 항은 시간에 따른 action density의 변화의 국지적 비율, 두번째와 세번째 항은 각각 x 와 y 상에 전파속도 c_x, c_y 를 가지고 지리적 공간에서 action의 전파를 나타낸다. 네번째항은 σ 상에서 전파속도 c_σ 를 가지고 수심과 해류의 변화로 인한 상대 주파수의 이동을 나타낸다. 다섯번째 항은 θ 상에서 전파속도 c_θ 를 가지고 수심과 해류에 의한 굴절을 나타낸다. 이 전파속도에 대한 표현은 선형파 이론으로부터 가져왔다. 운동균형방정식의 오른쪽의 $S (=S(\sigma, \theta))$ 항은 생성, 소산과 비선형 파-파 상호작용의 효과를 나타내는 에너지 밀도 항의 근원항이다.

해파로 바람 에너지의 이동은 공진과 피드백 법칙으로 SWAN 안에서 표현하였다. 이 법칙들에 대한 부합되는 근원항은 선형파 지수의 성장의 합처럼 일반적으로 나타낸다.

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta)$$

여기서, A와 B는 해파의 주파수와 파향 그리고 바람의 속도, 풍향에 의존한다.

해파 에너지의 소산항은 3개의 다른 분포, 즉 백파 $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$, 바닥 마찰 $S_{ds,b}(\sigma, \theta)$, 그리고 수심에 의한 쇄파 $S_{ds,br}(\sigma, \theta)$ 의 합에 의해 표현된다. 백파는 해파의 가파름에 의해 우선 조절된다. 현재 운용되고 있는 3세대 해파 모형들에서 백파 식들은 WAMDI group(1988)에 의해 적용되었던 것처럼 파동에 기초한 모형(Hasselmann, 1974)을 근간으로 한다.

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \bar{\sigma} \frac{k}{\bar{k}} E(\sigma, \theta)$$

여기서, Γ 는 경사 종속계수, k 는 파수, 그리고 $\bar{\sigma}$ 와 \bar{k} 는 각각 평균 주파수와 평균 파수를 가리킨다(cf.

WAMDI group, 1988).

수심에 의한 소산은 일반적으로 다음과 같이 표현되는 바닥 마찰에 의해 일어난다.

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta)$$

여기서, C_{bottom} 은 바닥 마찰계수이다. JONSWAP은 경험적으로 얻어진 상수를 사용할 것을 제안했다. 알맞은 값을 선택하는 동안 많은 다른 상황들에서 잘 수행하였다. 수심에 따른 쇄파의 과정은 여전히 불충분하게 이해되고 스펙트럼 모형화에 대해서도 거의 알려져 있지 않다. SWAN에서는 다음과 같은 사용된다.

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta)$$

여기서, E_{tot} 는 전체 해파 에너지이고 D_{tot} 는 쇄파로 인한 전체 에너지의 소산비이다.

심해에서 4파 상호작용은 스펙트럼의 발전을 조절한다. 이것은 스펙트럼의 침두에서 더 낮은 주파수로(침두 주파수에서 낮은 값으로 움직인다) 그리고 더 높은 주파수로(에너지는 백파에 의해 소산된다) 해파 에너지를 이동한다. 천해에서는 3파 상호작용은 종종 조파에 의해 낮은 주파수에서 높은 주파수로 에너지를 이동한다(3파 상호작용에 의한 낮은 주파수 에너지 생성은 여기서는 고려하지 않는다). SWAN에서 계산값들은 DIA(Discrete Interaction Approximation)와 LTA(Lumped Triad Approximation)로 산출된다.

3. 모형의 운용 주안점

- 1) SWAN 모형의 경계 입력 스펙트럼을 작성하기 위해서는 WAM cycle 4의 SPE(binary file) 파일을 읽어서 user selected spectra를 ascii 형식으로 작성해야 한다. 현재 5min 격자 체계의 해파, 조석, 해일 완전 결합 모형에서의 WAM 모형(태풍 산정)으로부터 사라호(1959) 시뮬레이션 결과의 SPE file로부터 재주북향, 광양향, 부산향 및 울산향의 SWAN 모형 실험을 위한 spectra를 추출하였고, 또한 1999년 Olga호의 완전 결합모형의 WAM simulation 결과로부터는 제주 북향, 아산향 내역에 적용할 spectra를 추출하였다. SWAN에서의 time-series 스펙트럼 입력 파일로 변환한다. (autospe.f, reformat.f)
WAM cycle 4의 유속장파 수심변화 계산결과를

SWAN에 입력하여 계산한다.

- 2) Plot code의 option은 표준으로 HPGL이 있으며 선택으로는 Delft Hydro Lab.의 OPPL (Ocean Pack Plot Code)가 있어 상용되는 HPGL Library로 그래픽을 출력할 수 있다.
- 3) SWAN은 batch file mode와 Unix script mode로서 실행되는데 수립된 모형과 이용가능한 Hardware를 고려하여 선택 이용할 수 있다.
- 4) SWAN 모형은 직교좌표계 및 구면 좌표계 유한격자 체계에서 구성(Curvilinear 체계는 개발중) 시킬 수 있는데 대양 해파를 산정하기에는 오히려 WW III (병렬화) 또는 WAM(벡터화) 보다 효율성이 떨어지며 이러한 모형내에 nesting 시킬 것이 권장되고 있다.
- 5) 현재 SWAN 코드에서 Limiter option이 적용되면 Triad wave-wave interaction이 심해에서는 잘 계산되지 못하는 제약성이 있다.(Hashimoto, 2001, Personal communication)

4. WAM-SWAN 결합 모형의 실험

4.1 NRL의 수치실험

모형은 정상풍 모드(Stationary mode) 경우와 비정상풍 모드(non-stationary mode)로서 실제 해역조건에서 실험되었다. 수치 실험자료는 NRL(Naval Research Laboratory)의 Canyon (stationary) 프로젝트와 MS Bight 2 (non-stationary) 프로젝트의 두 경우를 이용하였다. 이 두 프로젝트의 경우에 대해 NRL-version의 SWAN(2000)과 최근 update된 SWAN cycle 3 (version 40.11)을 운용하여 전, 후처리 및 모형운용, 모수의 선택에 따른 모형의 민감도 분석 실험을 수행하였다. SWAN에서의 초기 해파 공간적 분포산정을 위해 1차 풍상차분법이 이용되었으나 개선된 version에서 고차 수치기법이 적용되므로 수치확산이 감소되게 하였다. 부가하여 세격자 체계의 적용은 수치분산만이 아니라 위상 오차도 감소시키는 효과가 있다. 이 경우 상당한 memory가 wave action matrix를 위해 필요하고 고차수치기법은 뚜렷한 정도가 개선되지 않는 한 저차 기법에 의한 계산시간의 부담의 절감이 필요한 것으로 보고되고 있다. Fig. 2(a)에 제시된 동시 결합된 조석·해일·해파의 산정체계를 적용하여 1959년 9월 태풍 사라호의 시뮬레이션이 수행되어 보고되었다(Choi 등, 2002) 이 동시 결합모형의 개방경계에서의 해파산정결과(Spectrum)와 수위, 유속변화를 Fig. 2(b)의 개략도에 제시된 대로 SWAN 모형에 입력되어 해

파·해류-수위(수심) 변화가 고려된 천해파가 산정된다.

4.2 한반도 해역에의 적용

이러한 일련의 과정을 통한 한반도 해안에서의 해파산정(Non-stationary Case)을 과거 주요 태풍 사상에 적용하기 위해서 다음과 같은 절차를 취하였다.

- 1) 과거 태풍 및 악기상 사상 해상풍 Dataset과 5분격자 WAM 모형을 이용하여 SWAN 모형 입력의 SPE file을 작성한다. 우선대상태풍으로는 1959년의 태풍사라호, 1999년의 태풍올가호를 대상으로 하여 SWAN 모형을 운용하였다.
- 2) Cardone의 PMBL 모형과 태풍바람장을 병합한 과거 태풍장의 작성(1959년 사라호)과 기상청의 RDAPS 모형(1999년 올가)을 입력으로 한 5분격자 Tide-Surge-Wave Coupled Process Model을 이용하여 Wave module에서는 SPE file을 생성시키고 Tide/Surge module에서는 current field (U, V), 변화되는 수위(수심), friction coefficient (enhanced)를 산정하여 SWAN 모형에 입력시킨다. 현재 Grant와 Madsen (1986)의 Simplified Bottom Boundary Layer Model이 Tide-Surge-Wave 복합모형에 적용되고 있어 변화되는 C_D (enhanced drag coefficient) 산정된다. Tide-Surge-Wave 모형의 해파에 의한 해저 유속은 H_s , T_m 을 이용한 간단한 선형파 이론에 근거한 방법과 WAM의 완전한 방향스펙트럼 에너지로 근거한 방법으로 비교한 결과, 전자에 방법에 의한 산정을 하였다.
- 3) 추가적으로 수립된 산정체계는 좁은 입구와 좁은 수로에 의해 외해와 연결된 아산만 및 광양만 내역에서의 국지적으로 발생하는 해파산정에 적용되었다. 광양만의 해파체계(wave regime)는 국지적으로 내만에서 발생하는 풍파가 우세할 것이며 조간대장의 해파는 수심제한(depth-limited)적이다. 짧은 취송거리에서 해파의 균속도는 조류강도와 비슷한 정도로서 조류의 영향을 크게 받는다.

5. 산정 결과

수치실험된 SWAN 모형은 제주항 근처의 해상(Fig. 1)을 대상으로 1959년 사라호와 1999년 올가호의 경우를 수행하였다. WAM 모형에서 산출된 8개 지점의 스펙트럼(Table 1, Fig. 1)을 경계조건으로 하여 입력되었으며, WAM 모형에서 산출된 유속장과 수위를 입력하였다.(Fig. 2)

Fig. 3은 태풍 사라호 기간에 유속장과 수위를 입력하지 않고 계산된 최대유의파고의 분포를 나타낸다. 4~7m의 최대유의파고가 나타난다. Fig. 4와 5는 제주항 북쪽 약 7km와 20km 지점의 시간에 따른 유의파고의 변화를 제시하였다. 제주항 북쪽 약 7km 지점은 9월 16일 22시에 3.92m, 17일 15시에 5.33m의 유의파고가 계산되었고, 제주항 북쪽 약 20km 지점은 16일 22시에 5.44m, 17일 15시에 5.43m가 계산되었다. Fig. 6과 7은 높은 유의파고가 계산되었던 16일 22시와 17일 15시의 유의파고 분포를 제시하였다.

Fig. 8~12는 태풍 사라호 기간에 WAM 모형의 유속장과 수위를 입력하여 계산된 결과를 나타낸다. 제주항 북쪽 약 7km 지점은 9월 16일 22시에 3.74m, 17일 15시에 5.30m의 유의파고가 계산되었고, 제주항 북쪽 약 20km 지점은 16일 22시에 6m, 17일 14시에 5.43m가 계산되었다.

Fig. 13~17은 태풍 올라호 기간에 유속장과 수위를 입력하지 않고 계산된 결과를 나타낸다. 제주항 북쪽 약 7km 지점은 8월 3일 4시에 2.19m, 4일 1시에 1.61m의 유의파고가 계산되었고, 제주항 북쪽 약 20km 지점은 3일 4시에 3.59m, 4일 0시에 1.86m가 계산되었다.

Fig. 18~22는 태풍 올라호 기간에 WAM 모형의 유속장과 수위를 입력하여 계산된 결과를 나타낸다. 제주항 북쪽 약 7km 지점은 8월 3일 4시에 2.35m, 4일 2시에 1.61m의 유의파고가 계산되었고, 제주항 북쪽 약 20km 지점은 3일 4시에 3.95m, 3일 23시에 1.81m가 계산되었다.

WAM에서 계산된 유속장과 수위를 입력한 SWAN 모형의 유의파고 계산치와 유속장과 수위를 입력하지 않은 SWAN모형의 결과값을 비교해 볼 때 유속장과 수위를 입력한 모형의 결과가 더 높은 유의파고를 나타내었다.

Table 1. SWAN 모형의 경계조건으로 사용된 WAM 모형의 스펙트럼 결과의 위 경도 위치

지점	위도	경도
1	126도 22.5분	33도 32.5분
2	126도 22.5분	33도 37.5분
3	126도 22.5분	33도 42.5분
4	126도 27.5분	33도 42.5분
5	126도 32.5분	33도 42.5분
6	126도 37.5분	33도 42.5분
7	126도 42.5분	33도 42.5분
8	126도 42.5분	33도 37.5분

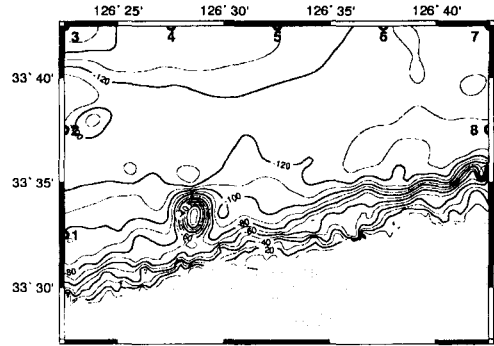


Fig. 1. 수치모형실험에 사용된 제주항 부근의 수심도와 스펙트럼 경계조건의 위치.

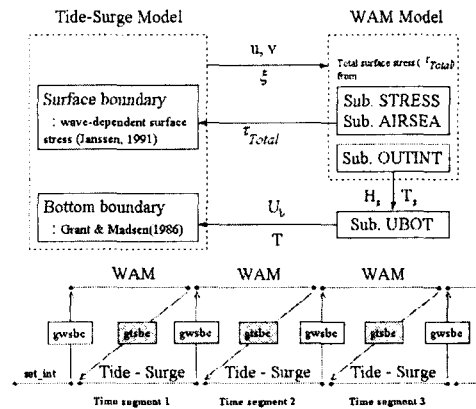


Fig. 2(a). 완전결합된 해파조석해일 모형의 모식도.

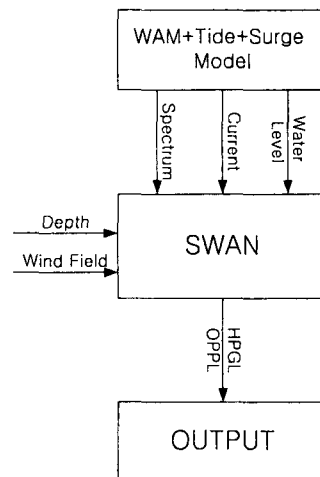


Fig. 2(b). WAM-SWAN 결합 모형의 수행 모식도.

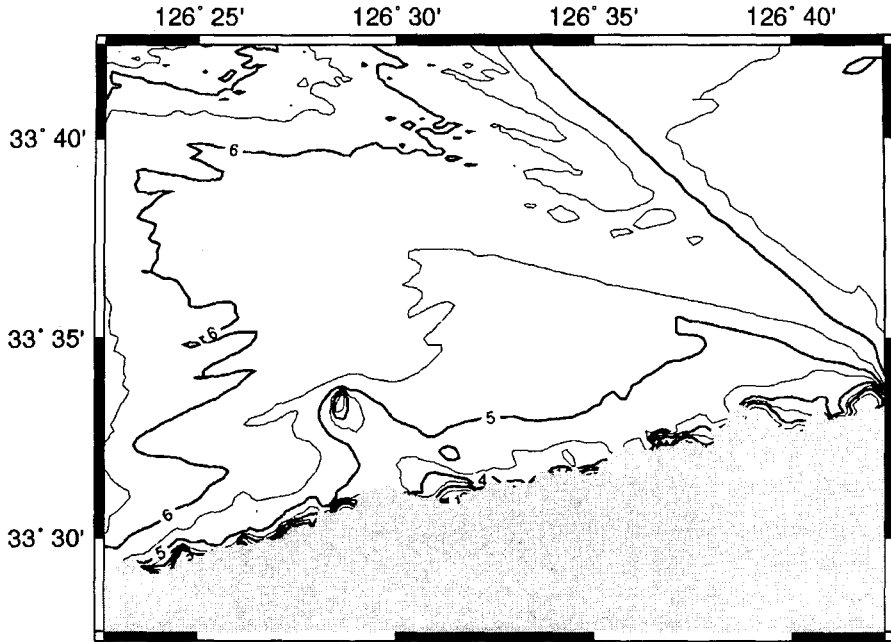


Fig. 3. 바람장을 고려하여 작성된 최대유의파고 분포도(Sarah호, 1959년 9월 15~19일).

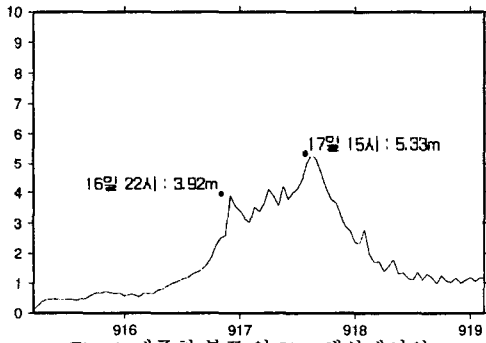


Fig. 4. 제주항 북쪽 약 7km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1959년, Y축: Hs-meter).

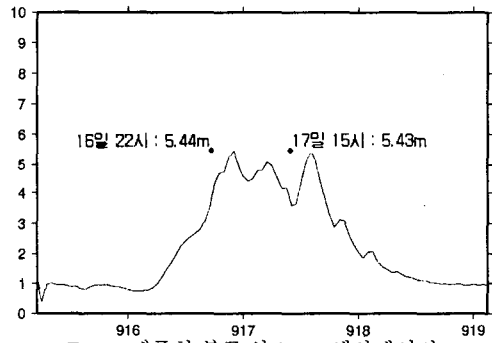


Fig. 5. 제주항 북쪽 약 20km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1959년, Y축: Hs-meter).

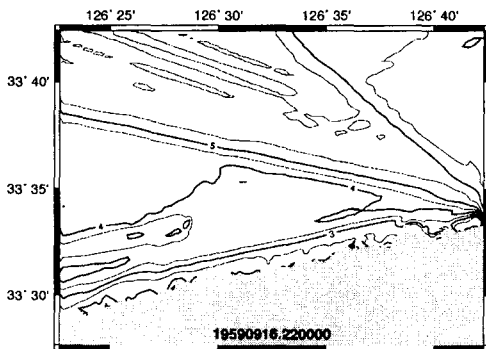


Fig. 6. 유의파고 분포도(1958년 9월 16일 22시).

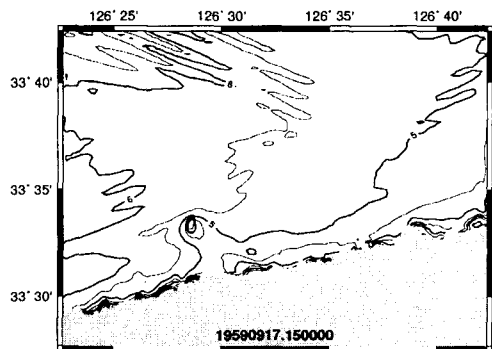


Fig. 7. 유의파고 분포도(1958년 9월 17일 15시).

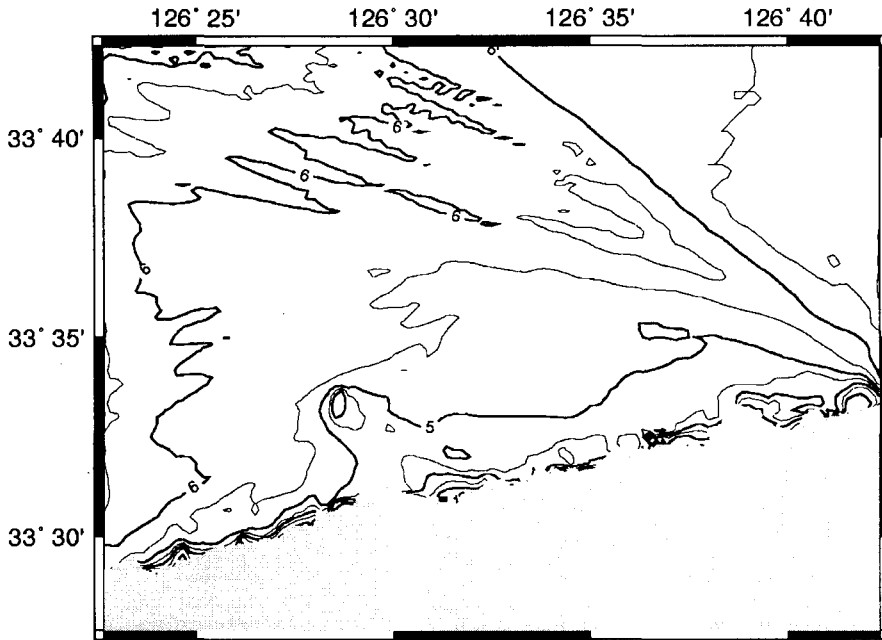


Fig. 8. 바람장, 유속장 및 수위를 고려하여 작성된 최대유의파고 분포도(Sarah호, 1959년 9월 15~19일).

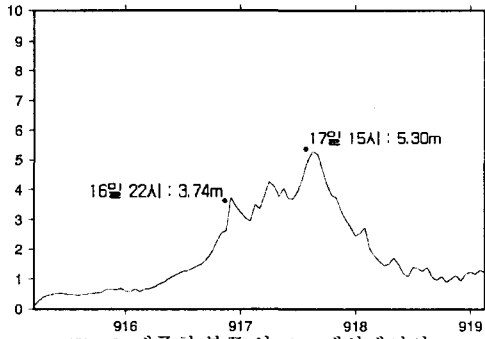


Fig. 9. 제주항 북쪽 약 7km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1959년, Y축: Hs-meter).

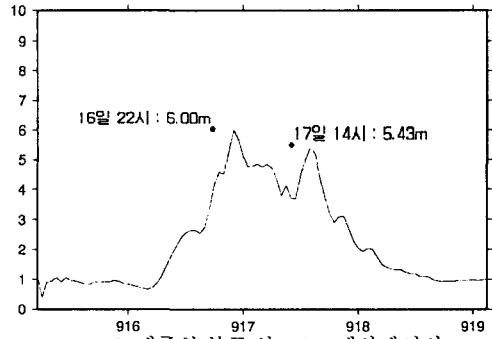


Fig. 10. 제주항 북쪽 약 20km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1959년, Y축: Hs-meter).

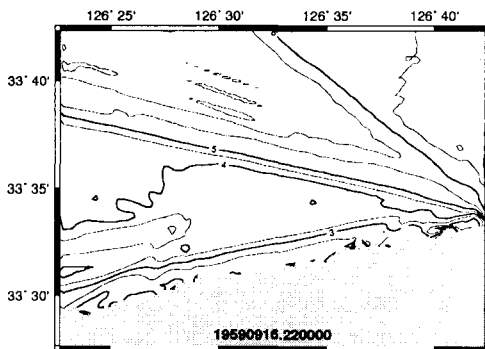


Fig. 11. 유의파고 분포도(1958년 9월 16일 22시).

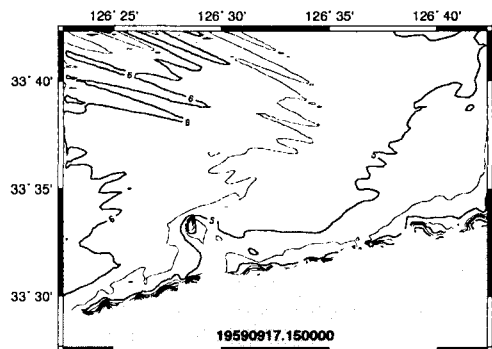


Fig. 12. 유의파고 분포도(1958년 9월 17일 15시).

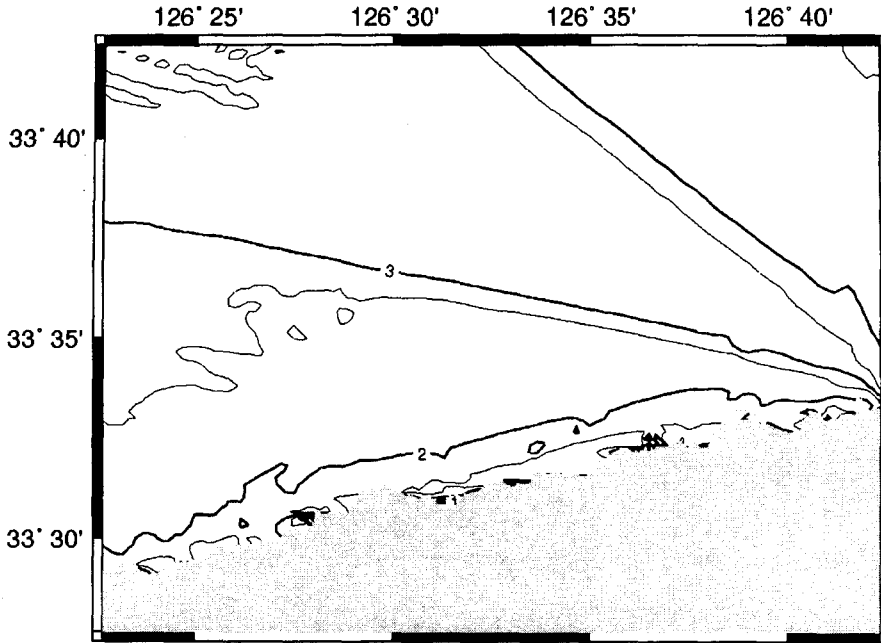


Fig. 13. 바람장을 고려하여 작성된 최대유의파고 분포도(Olga호, 1999년 8월 1~5일).

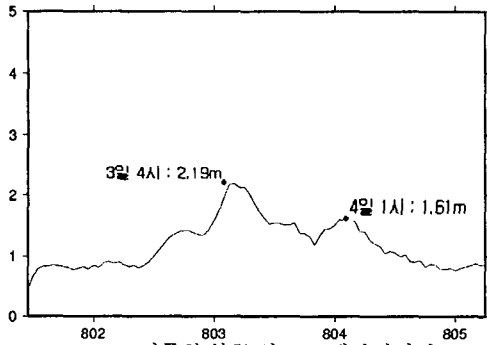


Fig. 14. 제주항 북쪽 약 7km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1999년, Y축: Hs-meter).

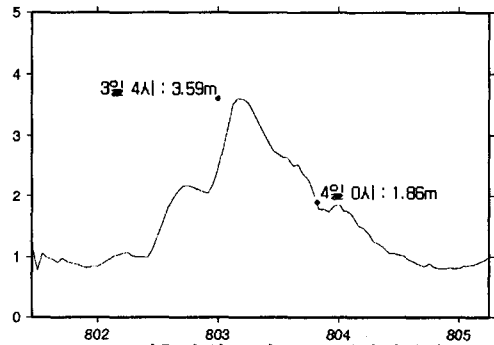


Fig. 15. 제주항 북쪽 약 20km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1999년, Y축: Hs-meter).

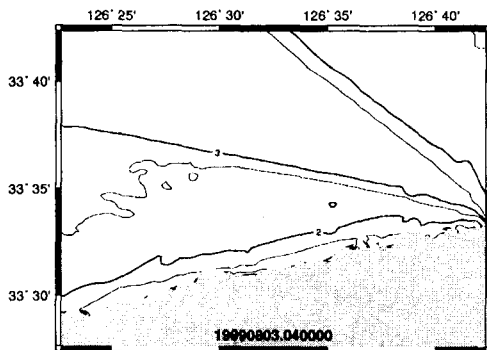


Fig. 16. 유의파고 분포도(1999년 8월 3일 4시).

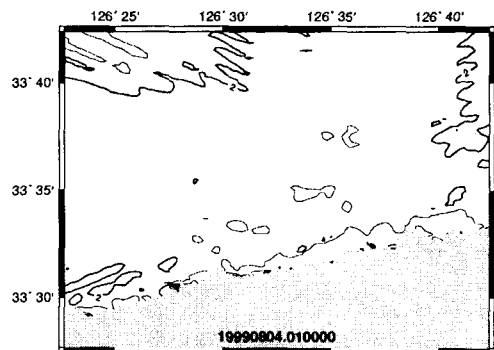


Fig. 17. 유의파고 분포도(1999년 8월 4일 1시).

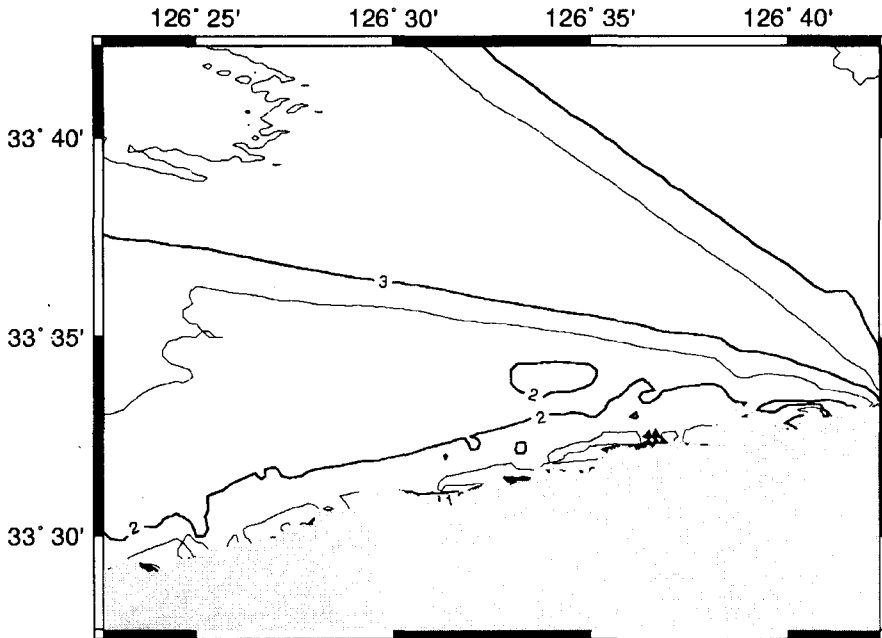


Fig. 18. 바람장, 유속장 및 수위를 고려하여 작성된 최대유의파고 분포도(Olga호, 1999년 8월 1~5일).

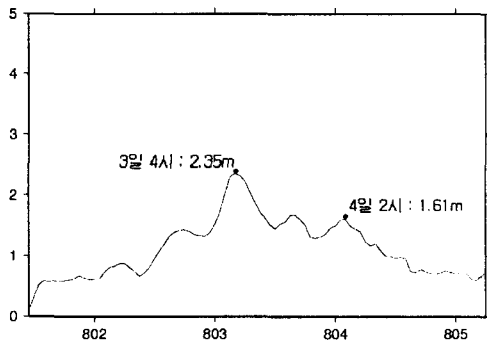


Fig. 19. 제주항 북쪽 약 7km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1999년, Y축: Hs-meter).

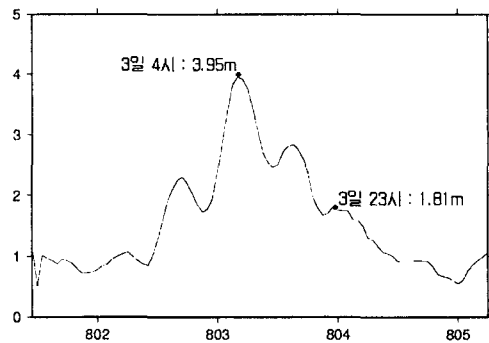


Fig. 20. 제주항 북쪽 약 20km 해상에서의 시간에 따른 유의파고의 변화 (X축: 월일-1999년, Y축: Hs-meter).

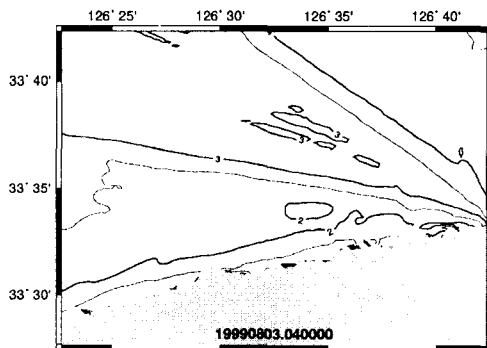


Fig. 21. 유의파고 분포도(1999년 8월 3일 4시).

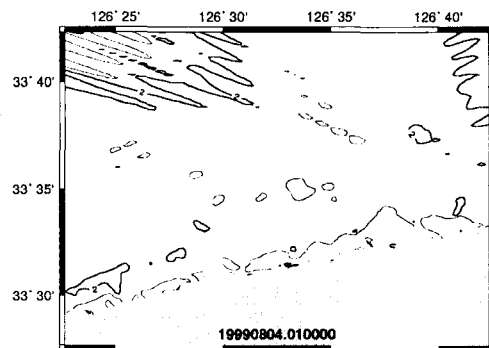


Fig. 22. 유의파고 분포도(1999년 8월 4일 1시).

6. 문제점 및 개선방향

- 1) 한반도 부근의 WAM 모형 영역의 내측에 SWAN 모형을 nesting 시키고 태풍 상황과 같은 비정상풍에 의한 천해파를 산정하는 시도가 체계적인 방법에 의해 처음으로 이루어 졌다. 태풍 상황에서의 천해파를 신뢰성 있게 산정하는 방법은 SWAN 모형이 배포됨으로써 접근이 가능하게 되었다. 그러나 이 모형을 천해에 적용함에 있어서 원격과 근역의 직접해파관측을 하여 모형의 신뢰성을 검증하는 일이 무엇보다도 중요한데, 우리나라 근해의 해파관측자료가 이러한 목적으로는 관측되고 있지 못하였다. 특히 비정상풍인 태풍상황에서는 바람방향과 파향이 해안을 향하지 않은 상황에서도 최대 파가 발생하기도 하기 때문에 항만설계에 참조하기 위해서는 주의깊은 해석이 앞으로 필요하다. 현장해파관측과 시물레이션에 대한 과업도 계속되어야 한다.
- 2) 해안역의 해파는 해안지형과 바람장의 강한 상호작용에 의존한다. 따라서 신뢰성 있는 해안 기상입력이 지역적 기상모형에 의해 산정되어야 하는데 격자 해상도는 수십~수백m의 모형수립과 운용이 필요한데 지구 및 국지 대기모형의 예보 또는 재분석 결과로부터 이러한 자세한 바람장을 산정하는 절차는 과거 수년에 걸쳐 큰 진전을 보아 왔는데 동지형 지역 기상모형으로는 병렬화 된 MM5, ARPS, RAMS 등이 이용될 수 있다. 이 경우 문제점으로서 병렬 해양모형과 달리 영역 분할에 의한 병렬화에 따른 계산시간 단축이 아니라 대기모형의 많은 계산 변수들이 분할 산정이므로 병렬 컴퓨터의 각 노드에서 대용량의 메모리가 소요된다는 점일 것이다.
- 3) 서남해안의 조간대를 적절하게 모사 시킬 수 있도록 SWAN모형의 일부 코드를 수정 시켰는데 이는 조석환경에서의 해파산정에 있어 필수적인 고려사항이라 하겠으며 무엇보다도 본 연구에 시도된 접근은 태풍 상황(또는 동계 계절풍)에서 한반도의 해안역은 변화되는 바람에너지 입력에 의한 해파 발생이 10% 이상인 것이 제시되고 있다. 따라서 과거에 해안역의 광역의 파랑 변형 산정에 있어 바람 입력이 고려되지 않은 접근은 적절치 못한 방법으로 판단된다.
- 4) 본 접근에서 배경이 되는 한반도 주변해역의 완전 결합된 해파-조석-해일 모형의 해상도는 5분(약 9km)로서 동지형 영역에서의 격자가 세밀할 경우에 충분히 자세한 정보가 전달되지 못할 경우도 있다. 따라서 이 골격모형의 해상도를 개선시키는 과업이 필요하다. 잠정적으로는 국지적인 고해상도의 조석-해일 시물레이션 결과가 사용될 수도 있다..

7. 결론 및 제안

WAM 모형과 연계하여 SWAN 모형의 운용을 1959년 9월 사라호 태풍과 1999년 8월 을가호 태풍의 경우에 적용하였다. 외해경계의 해파 스펙트럼과 변화되는 바람장만을 고려했을 경우와 부가하여 변화되는 폭풍시의 수위변화 및 유속의 동수력학적 변수를 WAM모형과 연계시킨 조석해일모형으로부터 입력시킬 때 산정되는 유의파는 30~40cm 정도가 더 높은 파가 산정되어 수위변화와 해류의 포함이 우리나라의 서남해안의 천해파 산정을 위해서는 필요한 고려 사항인 것으로 일차 제시되고 있다. 본 연구의 의미는 우리나라 서남해와 같이 수심이 얕으며 큰 조류가 발생하는 해역에서의 천해파 산정방법을 기본 물리현상을 충실하게 고려하는 접근에 의해 제시한 점이다.

참고문헌

- Booij, N., Haagsma, I.J.G., Kieftenburg, A.T.M.M., and Holthuijsen, L.H., 2000. SWAN implementation manual – SWAN Cycle III version 40.11.
- Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, 1996, The "SWAN" wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, pp. 668-676
- Choi, B.H., Eum, H.M. and Woo, S.B., Modeling of coupled tide-surge-process in the Yellow Sea, *Ocean Engineering*, Accepted
- Fahey, Rebecca, and Smith, Jane, 2001. STWAVE: A Case Study in Dual-Level Parallelism, U.S. Army Engineer Research and Development Center Major Shared Resource Center, ERDC MSRC PET Technical Report No.01-28, July, 2001
- Grant, W.D. and Madsen, O.S., 1986. The continental shelf bottom boundary layer. *Annual Review Fluid Mechanics*, 18, pp. 265-305.
- Günther, H., S. Hasselmann and P.A.E.M. Janssen, 1992: The WAM model Cycle 4 (revised version), Deutsch. Klim. Rechenzentrum, Techn. Rep. No. 4, Hamburg, Germany
- Janssen, P.A.E.M., 1989: Wave induced stress and the drag of air flow over sea waves, *J. Phys. Oceanogr.*, 19, pp. 745-754
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S. and P.A.E.M. Janssen, 1994: *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, 532 p.
- Panchang, V.G., and Demirebilek, Z., 1998. CGWAVE: A Coastal Surface Water Wave Model of the Mild

Slope Equation, U.S. Army Waterways Experiment Station, Technical Report CHL-98-26, September, 1998, p. 118

Ris, R.C., N. Booij and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification, *J. Geoph. Research*, 104, C4, pp. 7667-7681

Ris, R.C., N. Booij and L.H. Holthuijsen, 1998: A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification, *J. Geophys. Res.*, 104, C4, pp. 7649-7666

WAMDI group, 1988. The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, pp. 1775-1810.