

약결합된 해파-조석-해일 모형에 의한 한반도 주변해면의 최극해파 추정 Extreme Wave Hindcast in the Neighboring Seas of Korea from Loosely Coupled Wave-Tide-Surge Model

최병호¹, 엄현민¹

Byung Ho Choi¹, and Hyun Min Eum¹

1. 서 론

한반도 주변해역은 고조위와 태풍의 내습에 의한 강한 파랑으로 특징지어진다. 저조위때에 나타나는 1700km²에 달하는 갯벌로 이루어진 서해안과 황해 동쪽 지역의 해안의 조건은 경기만에 10m 범위의 높은 조위차와 동계계절풍과 태풍으로 인한 4~5m에 달하는 높은 파고를 발생시키는 고에너지와 높은 탁도 환경을 만들어내는 매개체가 된다. 전통적으로 풍파의 정보는 특별한 목적에 맞게 간단하게 모수화된 파랑 모형에 의해서 얻어왔다. 예를 들면 항구와 해안 구조물 또는 석유 시추시설의 설계과 결정을 위해 국지적이고 정점적인 파고 결정이 주로 관심사이었다. 현재 우리의 관심은 해안 지역에서의 설계과와 내해 지역의 더욱 자세한 천해파 모형을 위한 대륙붕 및 외해역의 경계 파랑조건을 제공하기 위해서 한반도 주변의 넓은 해안에 대해 해파를 추정하는데 일차적인 초점을 두었는데 해안역의 설계과 결정에도 유용할 수 있다. 대기 경계층과 풍파 사이의 결합은 태풍이 발생할 동안 표면 저항계수의 증가를 가져온다. 이 증가는 풍파뿐만 아니라 해류의 분포와 해일 과정과도 관련이 있다. Wolf 등(1988)은 대륙붕 해역의 파랑과 조석-해일모형사이의 결합을 처음으로 시도하였다. 또한 폭풍해일의 생성에 파에 종속된 해표면 저항계수의 효과(Mastenbroek et al., 1993)와 바람에

의해 발생한 해일류와 조석에 파와 해류의 상호작용에 의한 바닥 응력의 증가가 연구되기 시작하였다. 이 경우에 동수역학 모형이 운용되었고 파랑장이 외부에서 입력되기 때문에 해류 모형으로부터 동적 상황의 피드백은 없었다. 외해의 넓은 지역에도 조석과 해일이 발생할 때 파랑 모형에서도 해수위와 해류의 변화가 포함된 총수심의 비정상 효과가 포함되어야 한다는 필요성이 제기되었다(Tolman, 1990). 그러나 대륙붕 해역에서의 실제적인 시도들은 철저하게 이루어지지 않았다. Wu and Flather (1992)는 이미 1990년 2월의 아일랜드 해의 폭풍해일에 대해 특히 해안 지역을 자세히 검토하여 국지적인 파고의 변화들이 중요하다는 것을 보여주었다. Yin (1996)은 발해 지역에 대해 파랑과 조석-해일 모형을 결합하는 것을 시도하였다. Li and Zhang (1997) 과 Zhang and Li (1998)은 남중국해의 북쪽지역에 대해 1983년의 태풍 Ellen과 1985년의 태풍 Tess의 재현을 위해 3세대 해파 모형과 2차원 폭풍해일 모형의 동시적인 결합을 하였다. 서울대학교의 문(2000)은 해양 순환 모형과 해파 모형을 결합하여 해양 해파-순환 모형을 구성하였다. 그러나 아직도 이러한 동시접합 모형이 해수면 경계층과 육붕해저 경계층의 역학과정을 동시에 자세히 포함시키지는 못하고 있다. 본 연구에서는 우선 첫 단계로 약결합에 의한 해파산정을 수행하고 다음 단계로 동시접합 모형으로의 진전을 계획하고

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

있다.

2. 조석-해일 모형

구면좌표상에 형성된 이류가속항과 해면응력, 해저마찰항, 해면기압 경사항을 포함한 비선형 조석 및 해일모형의 기본방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial (dU)}{\partial x} + \frac{\partial (dV \cos \phi)}{\partial \phi} \right\} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} - 2\omega \sin \phi V + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{V}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (U \cos \phi) = \frac{-g}{R \cos \phi} \frac{\partial \xi}{\partial x} - \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{kU(U^2 + V^2)^{1/2}}{d} + \frac{F^{(s)}}{\rho d}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} - 2\omega \sin \phi U + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial U}{\partial x} +$$

$$\frac{V}{R} \frac{\partial V}{\partial \phi} = \frac{-g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P}{\partial \phi} - \quad (3)$$

$$\frac{kV(U^2 + V^2)^{1/2}}{d} + \frac{F^{(s)}}{\rho dL}$$

식 (1)~(3)은 수직 적분된 동수역학적 방정식이며, 여기서

- t : 시간
- x, ϕ : 동경 및 위도
- ξ : 정수면상에 대한 수위
- h : 정지해면 하의 수심
- $d = h + \xi$: 총 수심
- R : 지구의 곡률반경
- ω : 지구회전의 각속도
- g : 중력가속도
- k : 해저마찰계수 (= 0.0025)
- $F^{(s)}, G^{(s)}$: x, ϕ 방향의 바람에 의한 해면응력
- P : 해면기압

상기 식 (1)~(3)은 이류항의 경우 Roberts 와 Weiss(1967)에 의해 제시된 angled-derivative scheme 을 이용하여 수치 해를 구하였다.

순수 조석모형의 경우 $\xi = U = V = 0$ 의 초기상태에서 산정토록 하였는데 초기 교란효과를 제거하기 위해서 예비 계산이 필요하며 개방경계인 외해측에서 발해만까지는 조석과 파급 시간이 10 여 시간이 소요되어 모델 범위상 3 일 정도가 필요하였다.

육지 경계조건으로는 경계면에 수직인 유속성분을 영으로 두었으며 외해 경계조건으로는 조석과 해일의 상호작용을 고려할 수 있는 형태를 사전에 구성하였고 동시에 방사 경계조건(Radiational boundary condition, Reid 와 Bodine, 1968)의 개념에 따라 부여되는 해수면 변화와 계산되는 해수면 변화와의 관계로부터 경계면에서의 유속을 결정하였다.

해일산정기간을 통해 모형의 매 격자점 마다 기상 조건에 의한 외력항인 해면풍에 의한 응력성분 $F^{(s)}, G^{(s)}$ 와 대기압경사 P, Q 가 입력되는데 이 성분은 프로그램내에서 바람과 기압정보로부터 응력산정식과 기압 경사가 산정된다. P, Q는 다음 식과 같다.

$$P = \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad Q = \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P}{\partial \phi} \quad (4)$$

해면에서 바람에 의한 응력은 일반적으로 다음과 같이 표시된다.

$$F^{(s)} = C_D \rho_a W_x W \quad (5)$$

$$G^{(s)} = C_D \rho_a W_\phi W \quad (6)$$

- 여기서, C_D : 바람 전단력의 항력계수 (Drag coefficient)
- ρ_a : 공기의 밀도
- W : 해면상 10m에서의 풍속
- W_x, W_ϕ : x, ϕ 방향의 풍속 성분

이번 연구에서는 Nova Scotia 의 Sable Island 에서의 관측자료 결과로 Verboom 등(1992)의 북해에서의 폭풍해일 산정시 바람저항계수의 영향을 검토한 후 적정성을 제시한 Smith 와 Banke(1975)식이 적용되었다.

$$C_D \times 10^{-3} = 0.63 + 0.066W \quad (7)$$

태풍해일 수치모형 운용은 태풍 조건하 해일

성분을 산정하기 위해 운영되었는 바 반일주조 (M_2, S_2, N_2, K_2) 와 일주조 (K_1, O_1, P_1, Q_1) 의 주요 8개 분조에 대해 조석도 작성이 이루어지고, 각 분조에 대해 관측치와 계산치 간의 오차를 최소화하도록 하여 실시간 조석 상황 재현을 위한 개방 경계조건으로 하였다.

3. 해파 모형

제 3 세대 해파모형인 WAM(WAMDIG, 1988)은 현재 가장 정확하고 검증된 모형중의 하나이고 스펙트럼 형태에 따른 추가적인 가정이 없이 2차원 해양 해파 스펙트럼의 생성을 나타내는 기본 운동 방정식을 적분한다. 바람 입력, 비선형 전달과 백파 소산으로 나타내는 세 개의 근원함수들은 양해적으로 규정되었다. 추가적인 바닥 소산 근원함수와 반사항은 모형의 유한-수심 버전에 포함되었다. WAM에서 풍파는 스펙트럼 밀도 변수인 $F(\omega, \theta)$ 을 사용하여 나타낸다. 변하는 수심과 해류로 전파하는 동안에 이 밀도 변수의 변화는 다음의 평형방정식을 사용하여 나타낸다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot [(c_g + \bar{U})N] + \frac{\partial}{\partial \theta} [c_\theta N] = \frac{S}{\sigma}, \quad (8)$$

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = n \frac{\sigma}{k}, \quad n = \frac{1}{2} + \frac{kd}{\sinh 2k}, \quad (9)$$

$$c_\theta = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right], \quad (10)$$

$$c_\omega = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial t} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} \quad (11)$$

여기서, $N = F/\sigma$ 는 스펙트럼 운동 밀도이고 S 는 파의 변화에 대한 source 와 sink 의 순수 효과를 나타낸다. 식 (8)의 좌변은 운동 밀도 (처음 항) 의 공간적인 변화와 전파의 효과를 나타낸다. 좌변의 두 번째 항은 풍파와 평균 해류사이의 에너지 교환을 포함하는 지리적인 공간에서 직선적 전파를 나타낸다. 세 번째 항은 반사, 네 번째 항은 수심과 해류가 비정상 조건일 때의 주파수 이동을 나타낸다. 식 (8)의 우변은 파의 생성, 소산, 바람에 의한 파의 생성, 비선형 파의 상호작용, 백파와 바닥 마찰에 의한 파에너지 소산의 모든 효과를 포함하고 있다. 여기서 표면중력과 파수, 주파수의 선형이론은 분산관계로 상호관계를 가지게 된다.

$$\omega = \sigma + \bar{k} \cdot \bar{U} \quad (12)$$

$$\sigma^2 = gk \tanh kd \quad (13)$$

여기서 $\omega(-2\pi f_s)$ 는 절대 라디안 주파수이고 해저 바닥을 기준하며 기준 틀에서 관측되는 것과 같고 $\sigma(=2\pi f_p)$ 는 상대 주파수로 평균해류 속도 \bar{U} 로 움직이는 좌표계에서 관측되는 것과 유사하다. 수심은 해파장에 지역적으로 평균된 d 로 표현되고 \bar{k} 는 절대값 k 와 방향 θ 의 파수 벡터이고 g 는 중력가속도이다. 모형은 취송거리 제한된 파의 생성자료에 대해 검증되었다. 단지 2개의 바꿀 수 있는 모수들이 백파 소산 근원 함수에 적용된다. 모형은 잘 문서화되었고 과학적인 기본이나 실제 적용도 잘 설명되어 있다(Günther 등, 1992). 파의 생성, 소멸에 관련되는 물리적 과정에 대해 불명확한 이해에도 불구하고 모형에 의한 예측은 경험적인 관계로서 모형에서 기술적으로 적용될 수 있어 실용적인 관점에서는 충분히 만족스럽다. 조석-해일 모형과 해파모형에 입력되는 태풍 바람장의 예가 그림 1에 나타나 있다.

과거 태풍의 추산은 태풍 바람장의 신뢰성에 크게 좌우되는데 근래에는 인공위성 및 향상된 대기 예보 모형의 결과로서 정확성이 향상되었지만 한반도 주변에 영향을 미친 과거 50년의 태풍, 악기상의 바람장을 재현하기 위해서 과거 일기도 (6시간 간격)의 기압장과 해면기온, 해수면 온도에 근거한 PMBL 모형과 모수화된 태풍파의 결합으로서 종속적인 절차에 의존할 수 밖에 없었으나 단순한 모수화된 태풍 모형에 의한 바람장의 재현보다는 진일보한 방대한 바람장의 산출과정으로 여겨진다.

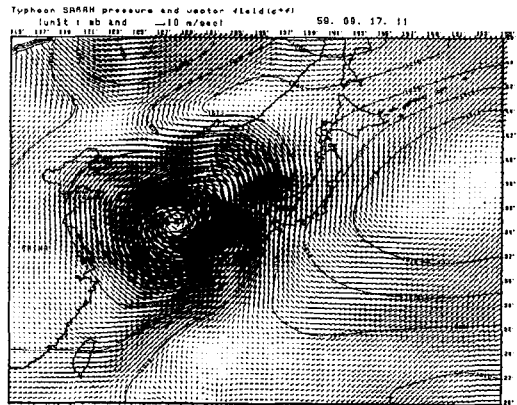


그림 1. 태풍 바람장의 예 (Sarah, 5914).

표 1. 75개 사상의 태풍 및 동계약기상 목록

No.	Selected Period	Typhoon Number(Name)	No.	Selected Period	Typhoon Number(Name)
1	0300 13/10 - 2100 17/10/51	5115 (Ruth)	39	0300 18/06 - 0300 21/06/78	7803 (Polly)
2	0300 09/09 - 2100 14/09/54	5412 (June)	40	0300 24/11 - 2100 30/11/78	7826 (Winnie)
3	0300 26/09 - 2100 30/09/55	5522 (Louith)	41	0300 13/08 - 2100 18/08/79	7910 (Irving)
4	0300 30/07 - 2100 02/08/56	5606 (Wanda)	42	1500 20/08 - 2100 26/08/79	7911 (Judy)
5	0300 14/08 - 2100 19/08/56	5609 (Babs)	43	0300 27/08 - 2100 31/08/79	Tro. Depression
6	0300 07/09 - 0900 11/09/56	5612 (Emma)	44	0300 09/09 - 2100 12/09/80	8013 (Orchid)
7	0300 18/08 - 0900 22/08/57	5708 (Agnes)	45	0300 24/12 - 2100 31/12/80	Win. Monsoon
8	0300 24/12 - 2100 28/12/58	Win. monsoon	46	0300 28/07 - 0300 02/08/81	8108 (Ogden)
9	0300 03/08 - 0900 10/08/59	5906 (Ellen)	47	0300 29/08 - 2100 04/09/81	8118 (Agnes)
10	0300 15/09 - 0300 19/09/59	5914 (Sarah)	48	3000 08/08 - 2100 11/08/82	8211 (Cecil)
11	0300 23/09 - 2100 27/09/59	5915 (Vera)	49	0300 24/08 - 2100 28/08/82	8213 (Ellis)
12	0300 16/08 - 0900 23/08/60	6014 (Carmen)	50	0300 24/09 - 0900 29/09/83	8310 (Forrest)
13	0300 18/12 - 2100 20/12/60	Win. Monsoon	51	0300 25/12 - 2100 31/12/83	Win. Monsoon
14	0300 12/09 - 2100 19/09/61	6118 (Nancy)	52	0300 16/08 - 2100 22/08/84	8409 (Holly)
15	0300 26/12 - 2100 31/12/61	Win. Monsoon	53	0900 05/08 - 0900 10/08/85	8508 (Kit)
16	0300 30/07 - 0900 04/08/62	6209 (Nora)	54	0300 29/08 - 2100 01/09/85	8512 (Pat)
17	0300 02/12 - 2100 06/12/62	Win. Monsoon	55	0300 04/10 - 2100 07/10/85	8520 (Brenda)
18	0300 17/06 - 2100 21/06/63	6304 (Shirley)	56	0300 24/08 - 2100 28/08/86	8613 (Vera)
19	0300 30/07 - 0900 03/08/64	6411 (Hellen)	57	0300 13/07 - 2100 16/07/87	8705 (Thelma)
20	0300 20/09 - 2100 26/09/64	6419 (Wilda)	58	0300 28/08 - 2100 01/09/87	8712 (Dinah)
21	0300 16/12 - 2100 18/12/64	Win. Monsoon	59	0300 01/12 - 2100 08/12/87	Win. Monsoon
22	0300 06/09 - 2100 11/09/65	6518 (Shirley)	60	0300 15/12 - 2100 18/12/88	Win. Monsoon
23	0300 01/12 - 2100 05/12/69	Win. Monsoon	61	0300 25/07 - 0300 29/07/89	8911 (Judy)
24	0300 30/06 - 2100 05/07/70	7002 (Olga)	62	0300 25/12 - 2100 30/12/90	Win. Monsoon
25	0300 09/08 - 2100 14/08/70	7009 (Wilda)	63	0300 27/07 - 0900 30/07/91	9109 (Caitlin)
26	0300 26/08 - 2100 31/08/70	7011 (Billie)	64	0300 17/08 - 2100 24/08/91	9112 (Gladys)
27	0300 31/07 - 2100 07/08/71	7119 (Olive)	65	0300 25/09 - 2100 28/09/91	9119 (Mireille)
28	0300 08/08 - 2100 12/08/71	7120 (Polly)	66	0300 22/09 - 2100 25/09/92	9219 (Ted)
29	0300 17/07 - 2100 27/07/72	7207 (Rita)	67	0300 06/12 - 2100 10/12/92	Win. Monsoon
30	0300 20/07 - 2100 26/07/72	7209 (Tess)	68	0300 28/07 - 0900 31/07/93	9306 (Percy)
31	0300 13/08 - 0900 18/08/73	7310 (Iris)	69	0300 08/08 - 0900 11/08/93	9307 (Robyn)
32	0300 22/12 - 2100 30/12/73	Win. Monsoon	70	1500 30/07 - 1500 02/08/94	9411 (Brendan)
33	0300 03/07 - 2100 08/07/74	7408 (Gilda)	71	0300 07/08 - 2100 11/08/94	9413 (Doug)
34	0300 16/08 - 2100 26/08/74	7414 (Mary)	72	0300 09/10 - 2100 11/08/94	9429 (Seth)
35	0300 14/08 - 1500 18/08/75	7505 (Phyllis)	73	0300 21/07 - 2100 23/07/95	9503 (Faye)
36	0300 08/09 - 2100 14/09/76	7617 (Fran)	74	0300 15/09 - 2100 23/09/96	9617 (Violet)
37	0300 07/12 - 2100 10/12/76	Win. Monsoon	75	0300 16/08 - 2100 21/08/97	9713 (Winnie)
38	0300 07/09 - 2100 11/09/77	7709 (Babe)			

4. 계산 과정

약결합된 해파-조석-해일 시뮬레이션은 다음과 같은 방법으로 형성되었다.

- 1) 개방경계에 8개분조와 시간별 기상 바람장을 사용하는 북서 태평양의 조석 해일모형은 75개 사상 태풍과 동계 계절풍(표 1 참조)에 대한 실시간 조석과 해일을 계산하는데 사용하였다.
- 2) 비결합 과정(Decoupled process) 수행 - 해파 모형 시뮬레이션은 기상 바람장으로 구성되었다.
- 3) 결합 과정(Loosely coupled process) 수행 - 해파 모형 시뮬레이션은 기상 바람장과 함께 과정 1)의 조석 해일 시뮬레이션에서 계산된 조석과 해일의 높이와 속도장의 시간별 입력으로 이루어졌다.

5. 결 과

근원항과 전파의 적분에 대해 모형 계산에 결정된 28055(181×155)개의 격자와 1/6° 경위도 간격을 갖는 것을 고려하여 120 초로 하였다. 에너지 평형 방정식은 0.0418Hz에서 시작하여 10%씩 증가하는 25개의 주파수와 12방향으로 계산된다.

시뮬레이션 결과들은 태풍 사라(5914)와 동계계절풍(1973년 12월)에 대한 최대유의파고와 첨두주기 분포도(그림 2, 3, 4, 5)와 결합되지 않은 해파모형과 결합된 모형에 대한 변화값 분포(그림 6, 7)와 선점에서의 유의파고와 파향의 변화(그림 8, 9)로 나타내었다. 또한 전체 75경우에 대한 시뮬레이션 기간동안의 최대 유의파고(그림 10), 첨두주기(그림 11)와 결합모형과 비결합 모형의 최대유의파고와 첨두주기의 변화(그림 12, 13)도 다음과 같이 나타내었다. 선점에 대한 계산된 유의파고(Hs)의 시계열에서 보는 것처럼 결합과정에 대한 Hs는 결합되지 않는 과정보다 확실히 크게 나타났다. 우리는 황해 서쪽의 항주만과 한반도의 남서지역의 파고의 변화를 알 수 있는데 특히 항주만에서 3m에 이르는 것을 볼 수 있다. 이 변화들은 수심이 황해 동쪽보다 얇은 서쪽에서 크게 나타난다는 것도 알 수 있다.

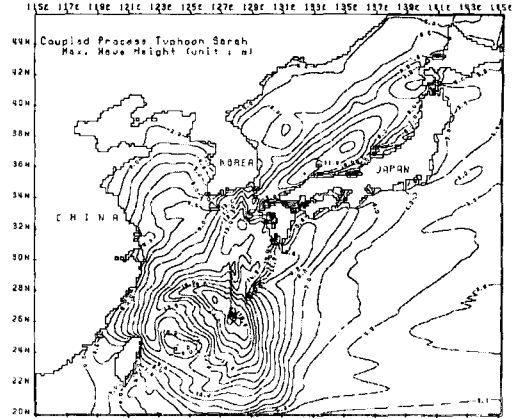


그림 2. 태풍 사라(5914)의 최대유의파고 분포도.

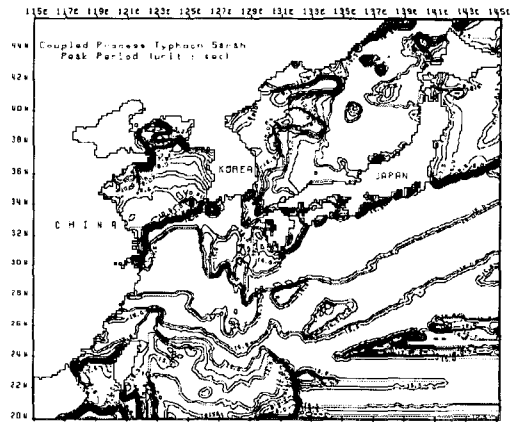


그림 3. 태풍 사라(5914)의 첨두주기 분포도.

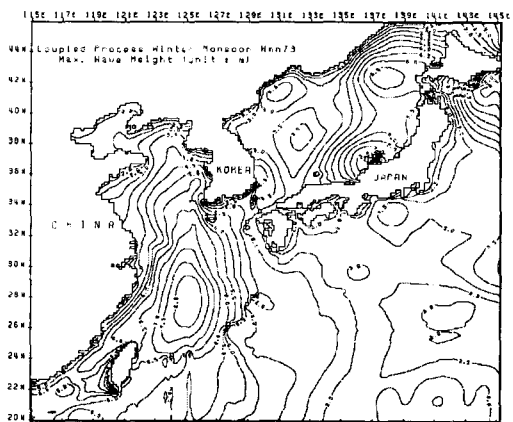


그림 4. 동계계절풍 (1973년 12월)의 최대유의파고 분포도

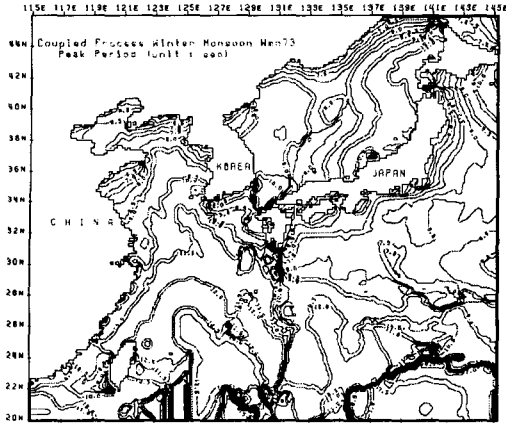


그림 5. 동계계절풍 (1973년 12월)의
첨두주기 분포도

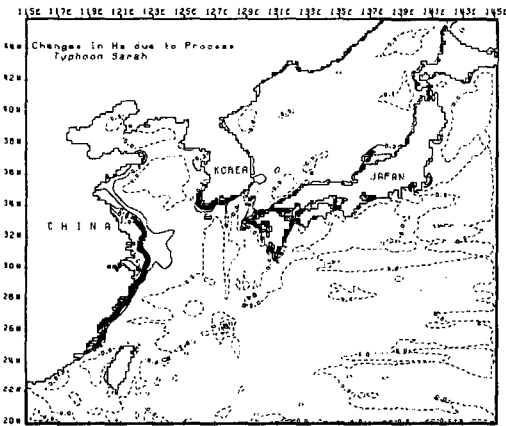


그림 6. 태풍 사라(5914)에 대한 결함 모형과 비결함
모형사이의
최대유의파고 변화값 분포도.

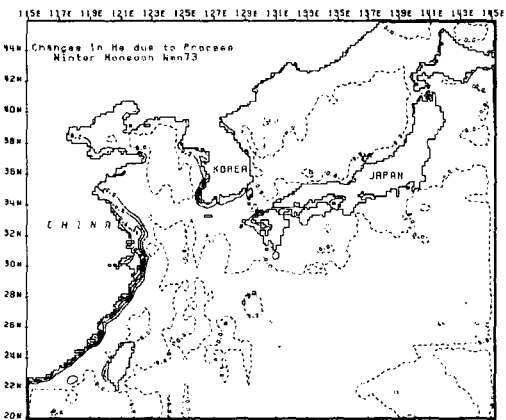


그림 7. 동계계절풍 (1973년 12월)에 대한 결함
모형과 비결함 모형사이의 최대유의파고 변화값
분포도

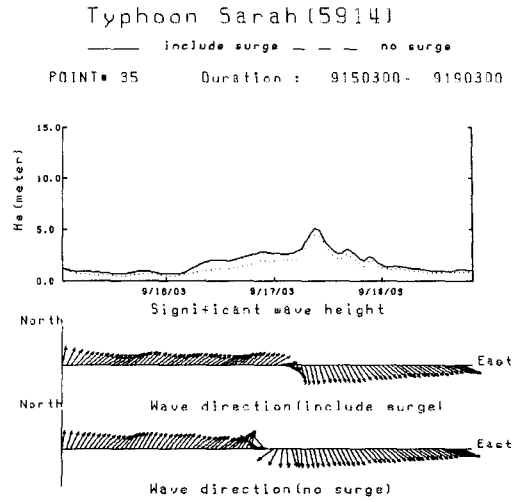


그림 8(a). 태풍 사라에 대한 결함 모형(실선)과
비결함 모형(점선) 사이의 유의파고와
파향 변화의 비교(목포해안).

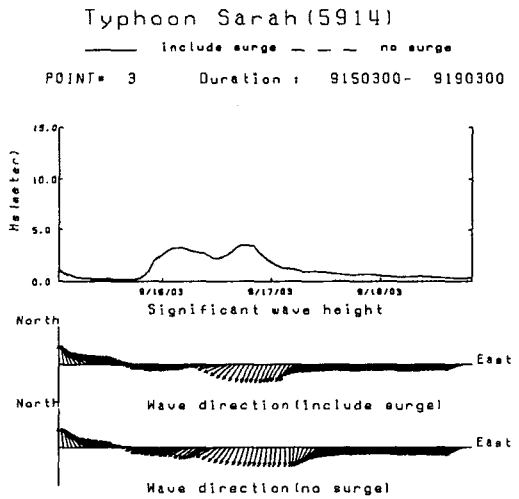


그림 8(b). 태풍 사라에 대한 결함 모형(실선)과
비결함 모형(점선) 사이의 유의파고와
파향 변화의 비교(항주만).

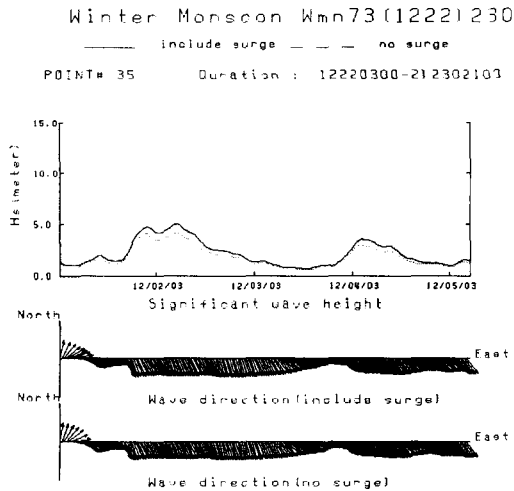


그림 9(a). 동계계절풍 (1973년 12월)에 대한 결합 모형(실선)과 비결합 모형(점선) 사이의 유의파고와 파향 변화의 비교(목포해안).

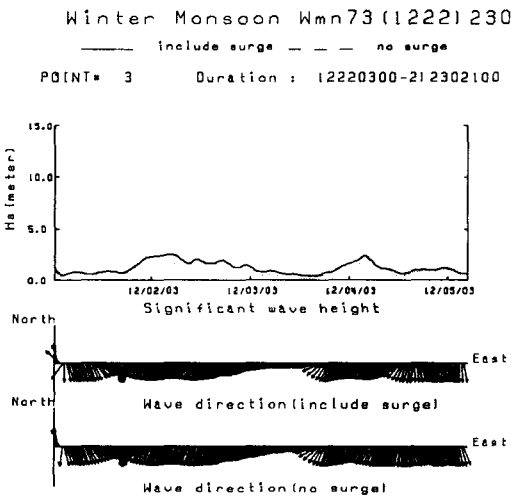


그림 9(b). 동계계절풍 (1973년 12월)에 대한 결합 모형(실선)과 비결합 모형(점선) 사이의 유의파고와 파향 변화의 비교(항주만).

그림 10의 산정된 최고 유의파의 분포는 장강입구와 제주도를 연결하는 선을 경계로 황해에서는 10m 이하의 파고와 동중국해에서는 15~20m의 파고를 갖는다. 제주 해협과 대한해협을 연결하는 10m의 파고 등치선이 형성되며 구주 남단의 서측과 남측 해안은 20m의 유의파고가 산정되고 이두(伊豆) 반도와 준하만(駿河灣) 남측해역에는 20m의 높은 유의파가 산정된다. 중국해안에서는 절강(浙江)성 남측해역에 14m의 높은 파고가 산정된다. 이러한 최대 유의파를 발생시킨 태풍과 동계계절풍은 한국서해안의 경우는 73년 12월, 90년 동계계절풍이었으며 남해안의 경우는 태풍 Sarah호(1959년), 대한해협 북측에서는 태풍 Vera호(이세만 태풍, 1959년)이고 동해안 남측에서는 태풍 Olive(1971년), 북측은 태풍 Sarah (1959년), 원산만에서는 Gilda호(1974년), 함경도 북측해안에서는 Agnes(1957년)에 의해 산정되었다. 구주 서측해안에서는 1977년의 태풍 Babe, 1991년의 태풍 Caitlin 이 큰 파고를 발생하고 사국(四國) 남측해안에서는 1963년의 태풍 Shriley, 본주(本州)남측해안에서는 1995년의 Vera호 (Ise만 태풍), 북측에서는 1970년의 태풍 Billie가 큰 해파를 발생하였다.

중국 발해만에서는 1976년 12월, 1978년의 태풍 Winnie에 의한 큰 해파가 발생하였고, 산둥, 강소성 해안에서는 1997년 태풍 Babe, 강장 입구 및 항주만에서는 1956년 태풍 Wanda, 절강, 복건성해안, 대만 서측해안에는 1961년의 Nancy에 의한 큰 해파를 발생시켰다.

이러한 최대유의파고를 발생시킨 태풍, 동계악기상 상황의 해파의 침두주기 분포는 한국서해안에서는 서한만에서 7~9초, 경기만에서는 8초, 금강하구에서 전남해역은 9~12초, 남해안은 16초, 제주 주변은 18초, 부산인근에서 동해안은 9~12초의 주기가 산정되는데 항주만 및 구주 서측, 일본의 태평양측 해안에서는 18초의 침두주기가 산정되었다.

이 침두주기는 비결합과정(decoupled)의 산정결과와 비교할 때 해안의 천해역을 제외한 해역에서는 해일유속과의 복합과정에서는 침두주기가 전반적으로 최대 2~3초가 감소되거나 결합과정에 의한 상호작용이 큰 지역에서는 4~5초의 큰 증가도 산정되었다.

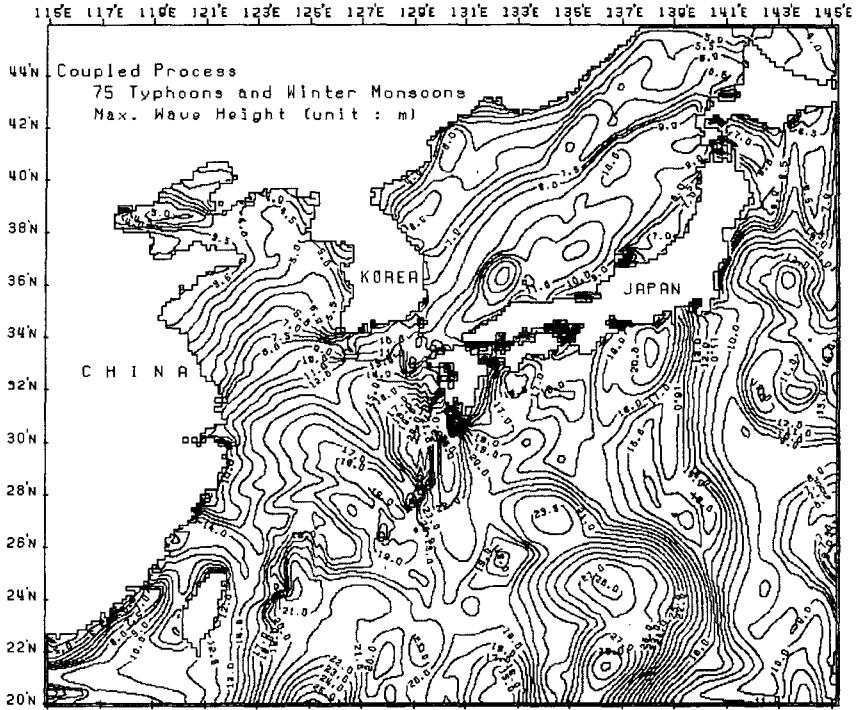


그림 10. 75개 사상에 대한 최대유의파고 분포도.

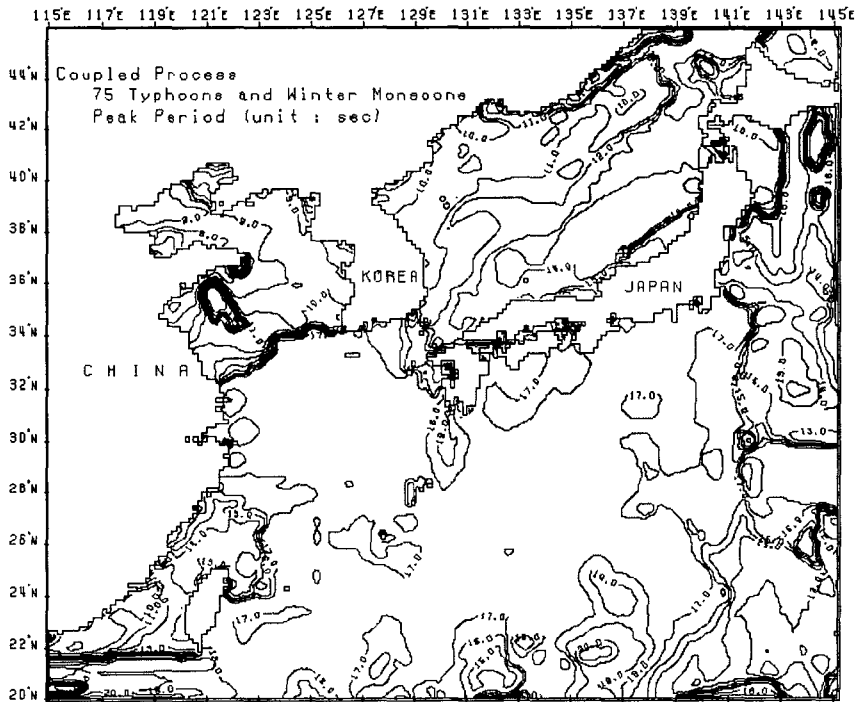


그림 11. 75개 사상에 대한 첨두주기 분포도.

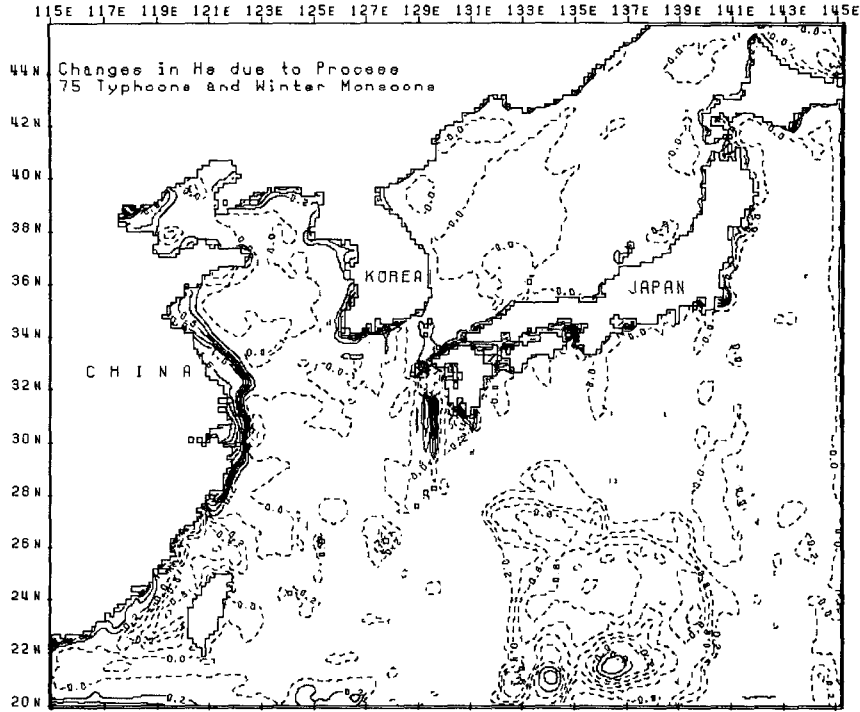


그림 12. 75개사상의 최대유의파고에 대한 결합 모형과 비결합 모형간의 변화값 분포도.

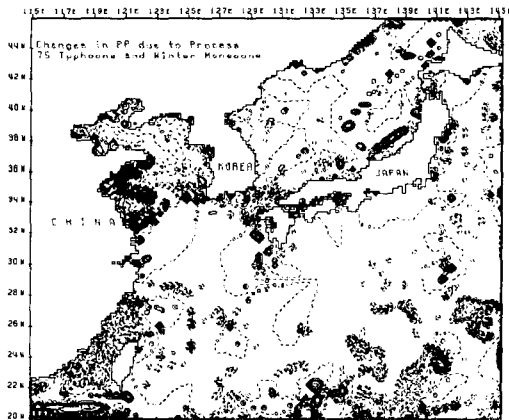


그림 13. 75개사상의 침두주기에 대한 결합 모형과 비결합 모형간의 변화값 분포도.

방향의 스펙트럼 모양을 갖는 모형 결과들은 해안의 극한 해파 상태를 계산하기 위해 천해 모형의 경계값으로 사용될 수 있다. 현재 연구에서 75사상의 태풍과 동계계절풍에 대한 약결합된 해파-조석-해일 과정의 시물레이션의 수치 실험이 수행되었다. 결과들은 심해에서 결합모형, 결합되지 않은 모형의 유의파고 분포는 거의 동일하지만 강한 조석과 해일이 발생한 천해 지역, 특히 항주만과 한반도 남서 해안에서의 유의파고 분포는 변화가 큼을 알 수 있었다. 궁극적으로 수심이 50m 이내 지역의 조석강도가 높은 넓은 황해 해역에서는 이 복합과정의 고려가 해파산정에 중요함을 제시하였으며 또한 산정된 결과 최대유의파고의 분포는 과거 50년의 발생사상으로서 50년 재현주기의 설계파로서 유용하게 이용될 수 있다.

5. 결 론

방대한 시물레이션의 해파 재현은 동시에 폭풍해일의 재현에 사용된 바람 입력자료로 WAM 모형을 사용하여 수행되었다. 75 사상의 우리나라 근해에 영향을 미친 태풍과 동계약기상 시물레이션이 약결합된 해파-조석-해일 복합과정 모형에 수행되고 한반도 주변해역의 최극해파분포가 제시될 수 있었다.

참고문헌

- Günther, H. and Hasselmann, S. and Janssen, P.A.E.M. (1992). "Wamodel Cycle 4", Technical Report No. 4, Hampurg.
- Li, Y. S. and Zhang, M. Y. (1997). "Dynamic coupling of wave and surge models by eulerian-lagrangian method". *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, 123(1), 1-7.

- Mastenbroek, C., et al. (1993). "The dynamical coupling of a wave model and a storm surge model through the atmospheric boundary layer". *J. Phys. Oceanogr.*, 23(8), 1856-1866.
- Moon, I. J. (2000). "Development of a coupled ocean wave-circulation model and its application to numerical experiments for wind waves, storm surges and ocean circulation of the Yellow and East China Seas". Seoul National University Ph. D. Thesis.
- Reid, R. O. and Bodine, B. R. (1968), "Numerical model for storm surges in Galveston bay", *Proc. Am. Soc. Civ. Eng. J. Waterways Harbors Div.*, 94(WW1), 33-37.
- Robert, K. V. and Weiss, N. O. (1967), "Convective difference schemes", *Math. Compute.*, 20, 272-299.
- Smith, S. D. and Banke, E. G. (1975), "Variation of the sea surface drag coefficient with wind speed", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101, pp 665-673.
- Tolman, H. L. (1990), "The influence of unsteady depth and currents of tides on wind-wave propagation in shelf seas", *J. Phys. Oceanogr.*, 20, 1166-1174.
- Verboom, G. K., Ronde, J. G. and van Dijk, R. P. (1992), "A fine grid tidal flow and storm surge model of the North Sea", *Continental Shelf Research*, 12(23), 213-233.
- WAMDIG (1988), Hasselmann, S. and Hasselmann, K. and Bauer, E. and Bertotti, L. and Cardone, C.V. and Ewing, J.A. and Greenwood, J.A. and Guillaume, A. and Janssen, P.A.E.M. and Komen, G.J. and Lionello, P. and Resitad, M. and Zambresky, L., "The Wam Model - a third generation ocean wave prediction model", *J. Phys Oceanogr.*, 18(12), 1775-1810.
- Wolf, J., Hubbert, K. P. and Flather, R. A. (1988), "A feasibility study for the development of a joint surge and wave model", Third international workshop on wave Hindcasting and Forecasting, Montreal, 19-22 May
- Wu, X. and Flather, R. A. (1992), "Hindcasting waves using a coupled wave-tide-surge forecasting", in: Third international workshop on wave hindcasting and forecasting, Montreal, Quebec, 19-22 May, Environment Canada, Ontario.
- Yin, B. (1996), "Theoretical and Numerical study on the wave-tide-surge interaction in the Bohai Sea", Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences Qingdao Ph. D. Thesis. (Chinese)
- Zhang, M. Y., and Li, Y. S. (1996). "The synchronous coupling of a third-generation wave model and a two-dimensional storm surge model". *Oc. Engrg.*, 23(6), 533-543.