



장기파랑 자료수를 제어한 퇴적물 이동 계산시간 감소 방안

A Method to Reduce the Calculation Time of Sediment Simulation by Controlling the Number of Long-term Wave Data

김권수 · 유하상 · 김상훈
 (주)세일종합기술공사 항만 및 해안개발 기술연구소

Gweon-su Kim · Ha-sang Ryu · Sang-hoon Kim
 Port & Coastal Development Institute, SEIL Engineering Co., Ltd., Seoul, Korea

Abstract

In order to solve the difficulty of performing a numerical model using a long-term wave time series, a method of reducing wave time series was considered. And Numerical simulation of the sediment by the Delft3d model at the Maengbang Beach was conducted to verify the validity of the method. NOAA wave data were collected for about 40 years from January 1979 to May 2019. Among them, waves, which are judged to have insignificant effect on the beach, were removed and the wave time series was reduced. To this end, the entire wave time series was graded at intervals of 0.5m, period 2sec, and wave direction 10° to generate a total of 749 representative waves, and a numerical simulation of sediment was performed for each representative wave for 1 day. When the maximum sediment height was less than 0.01m/day, it was assumed that the influence of the representative wave on the area was negligible. As a result of conducting numerical simulation of the sediment using the 23-month real-time waves and the wave by the reduced time series, the difference between the two simulation results indicates a local sedimentation difference of 0.1 to 0.5 m near Deokbongsan. There is a difference in sedimentation of 0.01 to 0.1m overall, and the pattern of repeated erosion and sedimentation along the entire coast is very similar to both real-time waves and reduced time series waves.

Keywords : Sediment, Delft3d model, Long-term wave, Representative wave

1. 서론

자연 해빈은 고파랑의 내습에 의해 세굴되고 잔잔한 파랑에 의해 퇴적되는 과정을 반복하면서 연안방향과 횡단방향으로의 균형을 유지하고 있다. 그러나 하천으로부터의 토사 공급이 감소하거나, 연안에 건설된 구조물에 의한 파랑 및 흐름의 변화로 인해 평형상태는 깨져 해빈의 변형이 발생하게 된다. 따라서 방파제, 이안제, 돌제, 방사제 등의 구조물 건설에 앞서 파랑 및 흐름의 변화를 고려하고, 이에 따른 침·퇴적 변화를 예상할 수 있다면 설계 단계에서 적절한 대책을 마련할 수 있으리라 사료된다.

과거 파랑에 의한 퇴적물 이동 실험은 50년 빈도, 평상파 또는 계절파(Kim et al., 2018) 등의 단일 파랑 조건을 사용하였다. 또는 실시간 파랑조건을 이용하여 해수유동과 파랑을 연계(Coupling)하여 수치모의를 수행하거나, 실시간에 대한 부담을 줄이고자 입력감소기법(Deltares, 2017)을 이용하여 표사이동 실험(Kim and el, 2019; Kim and el, 2020)을 수행하였다.

단일 파랑 조건의 경우 수치실험에 소요되는 계산시간이 획기적으로 줄어들고 이벤트성 파랑에 대해 퇴적물 이동을 모의할 수 있으나, 과대한 연간 침·퇴적량이 산정될 수 있고, 평상파의 경우 반대로 과소 평가될 가능성이 높다고 판단된다. 실시간 파랑의 경우 가장 타당성 있는 기법이긴 하나, 해수유동과 연계하기 위해 일정 시간(5분, 10분 등) 간격으로 파랑 변형실험을 수행해야 하므로, 발달된 현대 기술에도 불구하고 막대한 계산 시간이 소요된다는 단점이 있다. 또한 입력감소기법을 이용한 경우, 실시간 파랑을 분석하여 전체 파랑 조건을 대변한 다수의 대표파랑을 선정할 수 있으나, 각 대표파랑에 의한 침·퇴적 양을 파랑 등급 비율대로 합산하여 실제 파랑의 선·후 관계 및 바닥 저면의 침·퇴적 변화를 연속적으로 고려할 수 없다.

본 연구에서는 가장 타당성 있는 기법인 실시간 파랑을 고려하여, 해양수산부 연안침식현황 자료(Ministry of Oceans and Fisheries, 2019)에서 2016년부터 “심각” 판정을 받은 맹방해수욕장에 대하여 퇴적물 이동 실험을 수행하고 표사 이동량을 산정하고자 하였다. 그러나 전술한 바와 같이 물리

적인 기술 확보, 프로그램의 병렬화와 컴파일러의 속도 향상 등에도 불구하고 여전히 계산시간이 소요되고 있는데, 이는 기술력과 함께 보다 정밀한 수치모의에 대한 욕구가 서로 평행하기 때문이며, 앞으로도 그럴 가능성이 큰 것으로 사료된다. 따라서, 해석결과의 신뢰성을 유지하면서 좀 더 입력조건을 단축시키는 방법을 고려하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

이를 위해 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 WaveWatchIII 파랑 자료(NOAA/ National Weather Service, 2019) 중 맹방해수욕장 외해로부터 약 40년 간의 자료를 수집하였다. 전체 118,083개의 파랑 자료를 이용하여 파향, 파고, 주기를 등급화하고 749개의 대표파랑을 선정하였고, 대표파랑을 이용하여 각각 1일 동안 퇴적물 이동 실험을 수행하였다. 기존 수행된 입력감소기법에 의한 표사이동 실험(Kim and el, 2019; Kim and el, 2020)의 경우 1일 퇴적물이동 실험 결과를 각 대표파랑의 가중치에 따라 합산하여 최종 결과를 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 대표파랑 결과를 단순 합산하지 않고, 전체 시계열을 고려한 결과를 제시하고자 하였다. 이를 위해 각 파랑에 의한 바닥 저면의 변화를 분석한 후, 영향이 매우 미미할 것으로 판단되는 대표파랑을 선정하였다. 그리고 전체 시계열 중 이 영향이 없는 파랑군에 속한 파랑을 제거하여 시계열을 다시 작성하였다. 마지막으로 이를 입력조건으로 활용하여 전체시계열에 의한 수치모의 결과와 비교 검토하였다.

2. 모델 수립

수치실험은 파랑모델과 유동모델을 연계(coupling)하여 수행하였다. 파랑 변형 실험은 Delft3d-wave 모델(Deltares, 2018b)을 이용하고, 유동 실험은 Delft3d-flow 모델(Deltares, 2018a)을 이용하여 수치모의 하였다. Delft3d-morphology 모델은 앞서 계산된 파랑 및 수리 현상에 의해 모래 이송을 계산하여 해저면의 변화를 산출한다. 비점작성 퇴적물 이동 실험을 모의하기 위해 다음과 같이 소류사와 부유사로 구분된 Van Rijn(2001) 및 Van Rijn et al.(2003) 경험식을 사용하였다.

$$S_b = 0.006\rho_s w_s D_{50} \left(\frac{v_{eff}^2}{(s-1)gD_{50}} \right)^{0.5} \left(\frac{(v_{eff} - v_{cr})^2}{(s-1)gD_{50}} \right)^{0.7} \quad (1)$$

$$S_{s,w} = f_{susw} \gamma \left(\frac{U_{on}^4 - U_{off}^4}{U_{on}^3 + U_{off}^3} \right) (0.007\rho_s D_{50}) \left(\frac{(v_{eff} - v_{cr})^2}{(s-1)gD_{50}} \right) \quad (2)$$

$$v_{eff} = \sqrt{v_R^2 + U_{on}^2} \quad (3)$$

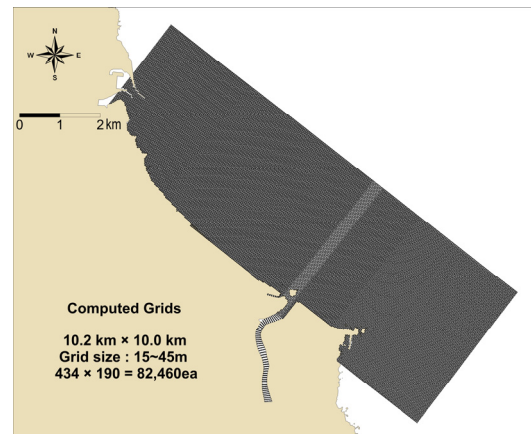
여기서, S_b 는 소류사의 이송률, $S_{s,w}$ 는 파랑과 관련된 부유사 이송률, g 는 중력가속도, f_{susw} 는 사용자 정의 변수, ρ_s 은 퇴적물의 밀도, w_s 은 침강속도, D_{50} 은 중앙입경, v_{cr} 은 이

동하기 시작하는 임계 깊이 평균 속도(m/s), v_R 은 대수 속도 프로파일을 가정하여 바닥층 속도로부터 계산된 등가 깊이 평균 속도(m/s), U_{on} 및 U_{off} 은 단파에 의한 바닥층 인근의 고주파 궤도 속도(m/s)를 나타낸다.

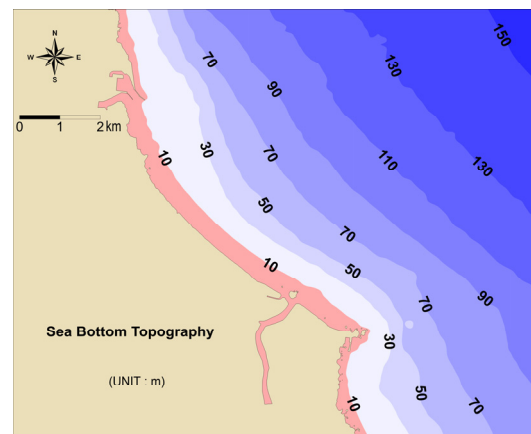
수치실험 시 대상해역은 동해안의 강원도 삼척항으로부터 남측으로 약 4km 거리에 있는 개방형 해안인 맹방해수욕장을 대상으로 하였고, 평균 해안선은 북을 기준으로 반시계 방향으로 약 45° 기울어져 있으며, 해안선을 따라 수심 분포가 이루어져 있다. 수치모델의 영역은 동서방향 10.2km, 남북방향 10.0km의 해역으로 설정하였고, 격자간격은 최소 15m, 최대 45m의 가변 격자로 구성하여 대상영역의 해상도를 최대한 반영하였다(Table 1). Fig. 1에 격자망도와 수심도를 도시하였고, 초기 수심은 2017년 3월 관측된 자료를 활용하였다.

Table 1. Operating conditions for numerical simulation

Domain size	10.2km × 10.0km
Grid size	Δx or $\Delta y = 15m \sim 45m$
Grid number	82,460 (434×190)



(a) Numerical grid



(b) Bathymetry

Fig. 1. Numerical grid and bathymetry

3. 단축방안 연구

3.1 파랑 검증 및 대표파랑 생성

맹방해수욕장으로 내습하는 파랑의 특성을 분석하기 위해 NOAA WaveWatchIII 자료를 활용하였다. WaveWatchIII 자료는 0.5°간격의 격자로 구성되었고, Fig. 2에 도시한 바

와 같이 맹방해변으로부터 약 26km 이격된 경도 129.5°, 위도 37.5° 위치의 자료를 활용하였다. 파랑자료는 1979년 1월부터 2019년 5월까지 3시간 간격으로 배포되었고, 118,083 개의 파고와 주기, 파향의 자료로 구성되었으며, 시계열을 Fig. 3에 도시하였다.

NOAA 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여, 파랑변형 실험

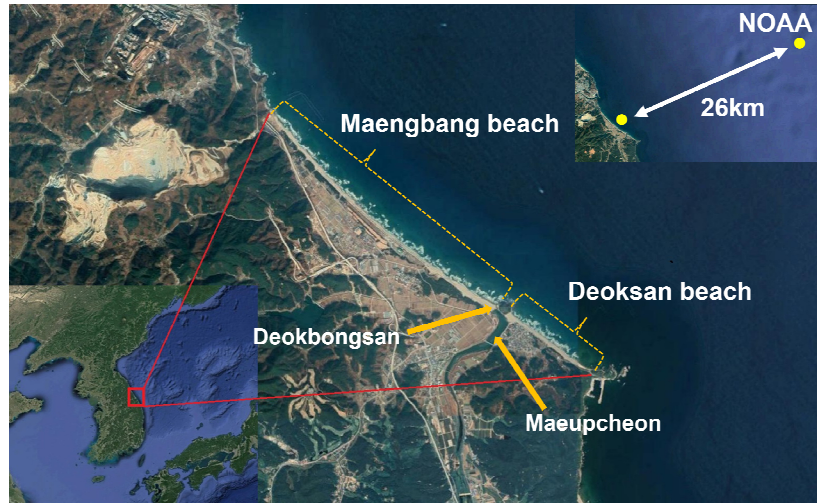
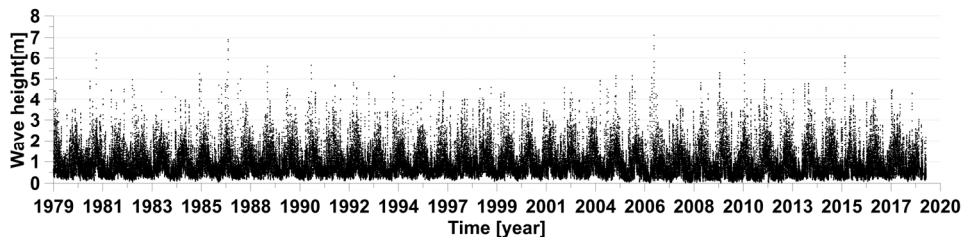
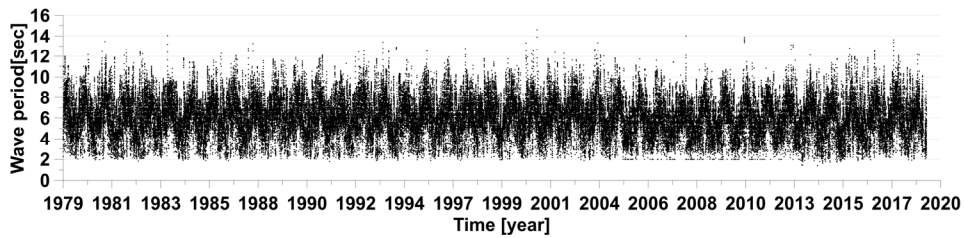


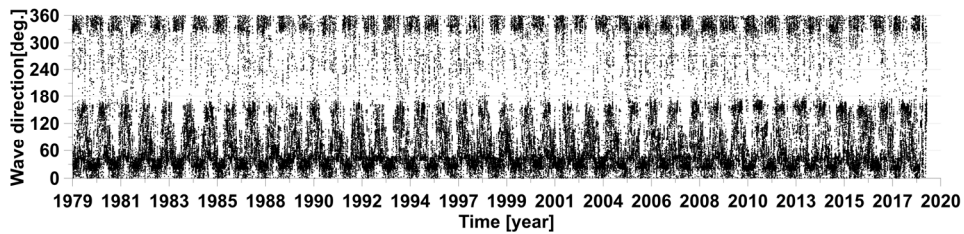
Fig. 2. Overview of target area (Maengbang beach, Gangwon, Korea)



(a) Time series of significant wave height



(b) Time series of wave period



(c) Time series of wave direction

Fig. 3. NOAA wave data at Maengbang beach offshore

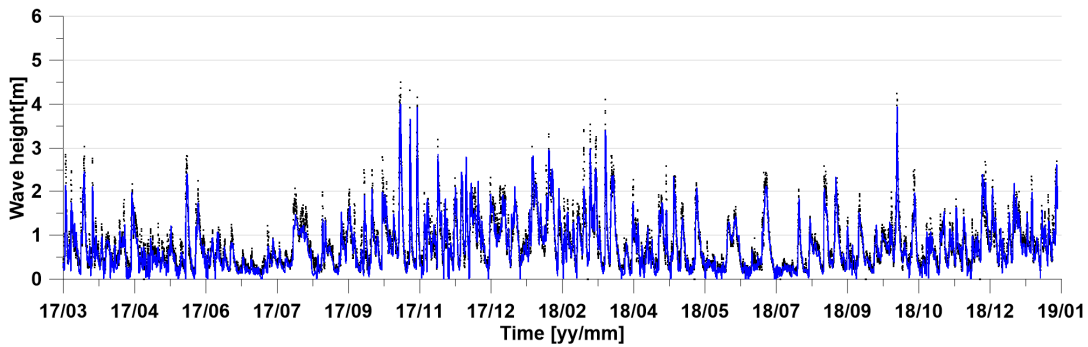


Fig. 4. Comparison of numerical results with observation data (● : Obs. ; — : Num.)

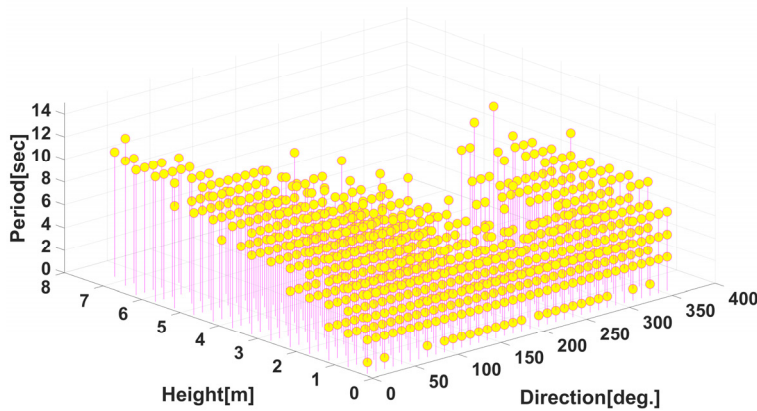


Fig. 5. Representative wave by class

에 따른 파고의 변화를 비교·검토하였다. 비교 자료는 해안선으로부터 약 800m 이격되어 약 31.5m 수심 저면에 설치된 초음파식 기기로부터 2017년 3월 1일부터 2019년 1월 26일까지 약 23개월간 수집된 파랑 관측 자료를 이용하였다.

Fig. 4는 동기간 관측자료와 수치결과 시계열을 비교한 것이며, 관측치의 고파랑에 비해 수치결과의 파고가 다소 낮게 계산되었다. 이 결과는 NOAA WaveWatchIII 격자 간격이 0.5°로써 수심 및 지형의 해상도가 낮게 재현되어, 모델 입력자료로 구성한 NOAA의 파고 자료가 낮게 산출된 결과로 판단된다. 그러나 오차 분석 결과 Bias는 0.05, RMSE (Root mean square error)는 0.23으로 산출되어, 진폭 및 위상 예측결과가 비교적 유사하여 대표파랑을 생성하기에 적절한 자료라 판단된다.

NOAA 자료를 이용하여 대표파랑을 생성하기 위해 파고 0.5m, 주기 2sec, 파향 10°간격으로 분할하여 분석하였다. 등간격으로 구분된 파랑자료를 파고 15등급, 주기 8등급, 파향 36등급으로 구성하였고, 모두 749개의 대표파랑을 생성하여, 파고-주기-파향에 대한 대표파랑을 Fig. 5에 도시하였다. 대표파랑 중 초반 30개의 파랑과 후반 30개의 파랑에 대한 파고, 주기, 파향을 Table 2에 제시하였다. 동일한 파고에 대해 서로 다른 주기와 파향을 모두 고려하고 있으며, NOAA 자료에 존재하지 않는 파랑 등급(예를 들어 파고

0.25m, 주기 1초, 파향 45도 ; 파고 6.75m, 주기 12초의 모든 파향)에 대해서는 고려하지 않았다.

또한 대표파랑의 파랑 등급별 파고, 주기, 파향에 대한 발생빈도 분석 결과를 Fig. 6에 도시하였고, 등급별 심볼 사이즈 및 색의 변화는 상대적인 발생빈도 크기를 나타낸 것이다. 파고시계열 분석 결과, 최소 파고는 0.02m, 최대 파고는 7.11m이며, 0.5 ~ 1.0m에서 37.0%로 가장 많은 분포를 나타내고 있고, 주기시계열은 최소 주기가 1.39sec, 최대 주기가 13.24sec이며, 4.0 ~ 6.0sec에서 35.6%, 6.0 ~ 8.0sec에서 34.8%로 비슷한 분포를 보이고 있다. 또한 파향시계열은 20 ~ 30°에서 발생빈도가 14.2%로 가장 많이 나타났고, 약 40%의 파향이 20 ~ 50°에서 내습하는 것으로 나타났다.

3.2 대표파랑 실험

749개의 각 대표 파랑별 퇴적물 이동 실험을 실시하였으며, 모의 기간은 24시간으로 하였다. 대표 파랑 중 파고가 3.25m, 주기 7sec인 경우에 대해, 파향이 해안선에 북측에서 입사한 경우(파향 : 5°, 대표파랑 : 607번)와 직각으로 입사한 경우(파향 : 35°, 대표파랑 : 610번), 그리고 남측에서 입사한 경우(파향 : 65°, 대표파랑 : 613번)의 침·퇴적 결과를 Fig. 7에 도시하였다.

Table 2. Representative wave specifications

Order	Hs [m]	Tp [s]	θ_m [deg.]	Order	Hs [m]	Tp [s]	θ_m [deg.]
1	0.25	1.00	205.00	720	4.75	11.00	35.00
2	0.25	1.00	215.00	721	4.75	11.00	45.00
3	0.25	1.00	225.00	722	4.75	11.00	55.00
4	0.25	1.00	235.00	723	4.75	11.00	65.00
5	0.25	1.00	245.00	724	4.75	11.00	75.00
6	0.25	1.00	255.00	725	4.75	11.00	85.00
7	0.25	1.00	265.00	726	5.25	9.00	355.00
8	0.25	1.00	275.00	727	5.25	9.00	5.00
9	0.25	1.00	285.00	728	5.25	9.00	25.00
10	0.25	1.00	315.00	729	5.25	9.00	35.00
11	0.25	1.00	335.00	730	5.25	9.00	45.00
12	0.25	1.00	5.00	731	5.25	9.00	65.00
13	0.25	1.00	25.00	732	5.25	11.00	5.00
14	0.25	1.00	75.00	733	5.25	11.00	25.00
15	0.25	1.00	95.00	734	5.25	11.00	35.00
16	0.25	1.00	105.00	735	5.25	11.00	45.00
17	0.25	1.00	115.00	736	5.75	11.00	5.00
18	0.25	1.00	125.00	737	5.75	11.00	15.00
19	0.25	1.00	135.00	738	5.75	11.00	25.00
20	0.25	1.00	145.00	739	5.75	11.00	35.00
21	0.25	1.00	155.00	740	5.75	11.00	45.00
22	0.25	1.00	165.00	741	6.25	11.00	5.00
23	0.25	1.00	175.00	742	6.25	11.00	15.00
24	0.25	1.00	185.00	743	6.25	11.00	25.00
25	0.25	3.00	205.00	744	6.25	11.00	35.00
26	0.25	3.00	215.00	745	6.25	11.00	55.00
27	0.25	3.00	225.00	746	6.75	11.00	15.00
28	0.25	3.00	235.00	747	6.75	11.00	25.00
29	0.25	3.00	245.00	748	6.75	13.00	15.00
30	0.25	3.00	255.00	749	7.25	11.00	25.00

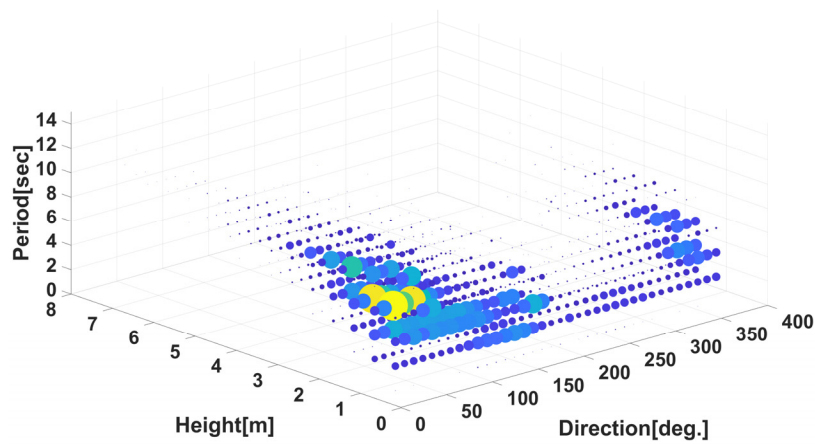


Fig. 6. Frequency of data occurrence by NOAA wave class

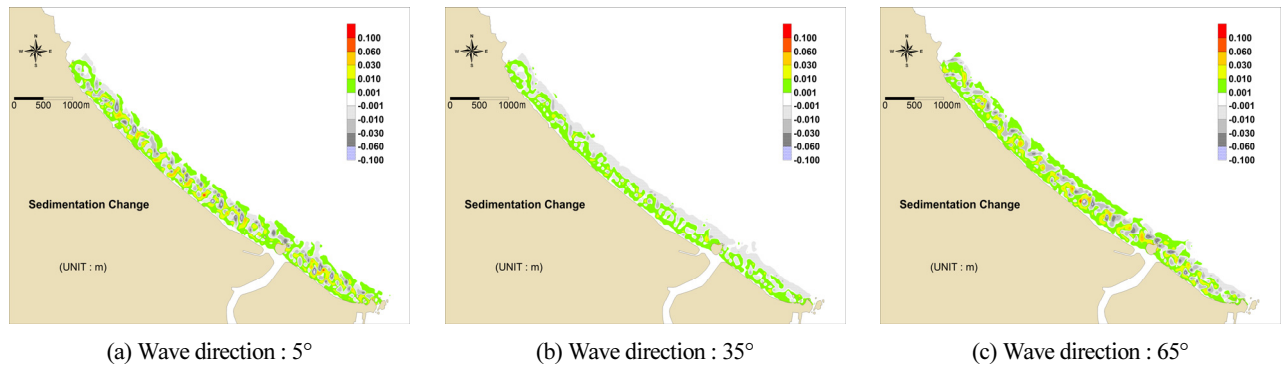


Fig. 7. Comparison of bathymetry change between wave class

3.3 시계열 변환

각 대표 파랑별 침·퇴적 영향을 파악하기 위하여, 749개의 대표 파랑별 퇴적물 이동 실험으로부터 모든 격자에서 바닥 저면에 대한 변화량을 추출하였고, 이로부터 각 대표 파랑별 최대로 쌓인 높이를 산출하였다. 그 결과 초반 246개의 대표파랑은 변화가 거의 0에 가깝게 미미하게 나타났으며, 후반으로 갈수록 변화가 큰 것으로 나타났다(Fig. 8). 본 연구에서는 최대 퇴적 변화가 미미한 경우 이 대표파랑 등급에 속하는 파랑은 침·퇴적 발생에 영향이 없는 것으로 판단하였고, 그 기준은 0.01m/day로 설정하였다.

맹방해수욕장에 내습한 파랑 중 2017년 3월부터 2019년 1월까지 약 23개월 내습한 것에 대해, 앞서 설정한 기준을 적용하여, 영향이 미미할 것으로 판단되는 파랑을 제거하고 시계열을 재생산하였다. Fig. 9(a)에 도시한 바와 같이, 3시간 간격의 전체 파랑수 5,617개의 원본 데이터 중, 파고가 약 0.5m 이하에서는 주기와 파향에 관계없이 침·퇴적에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 1.0m 이상 파고 중 일부 구간에서도 영향이 미미한 것으로 나타났다. 따라서 파랑에 의한 침·퇴적 변화는 파고뿐만 아니라 주기와 파향에 의해 영향을 받을 것으로 판단되고, 이 기간 중 약 62.2%에 해당하는 3,495개의 파랑 영향이 미미한 것으로 분석되었다. 이는 Fig. 9(b)에 도시한 바와 같이 약 37.8%의 파랑만을 이용하여 원본 데이터를 대체할 수 있음을 나타낸다.

3.4 비교 및 검토

2017년 3월부터 2019년 1월까지 약 23개월의 실시간 파랑(Case A)과 이 중 약 37.8%를 이용하여 재생산된 시계열에 의한 파랑(Case B)을 이용하여 침·퇴적 실험을 각각 수행하였다. 원본 데이터를 이용한 실시간 파랑(Case A) 수치 실험 결과, 0.1 ~ 1.0m의 침식과 퇴적이 반복되는 양상이 맹방해수욕장 전 연안을 따라 분포하고 있으며, 마읍천 하류에 위치한 덕봉산 인근에서는 1.0 ~ 2.0m의 퇴적 구간이 발생하고 있다(Fig. 10(a)). 재생산된 시계열에 의한 파랑

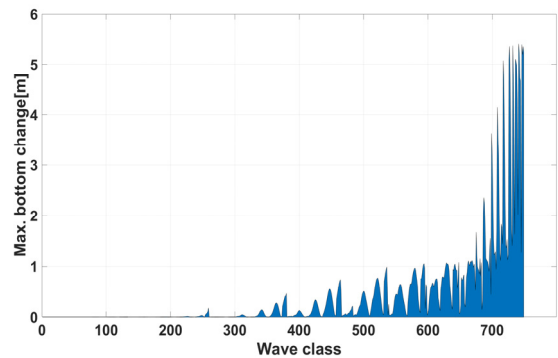
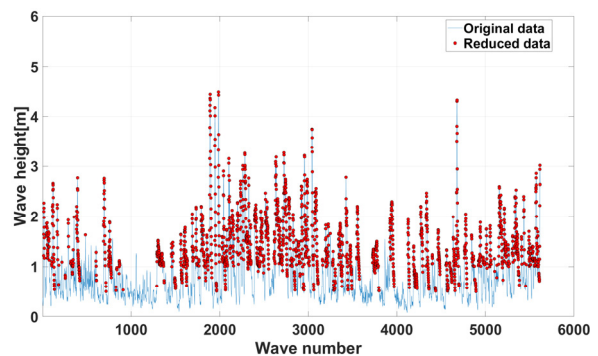
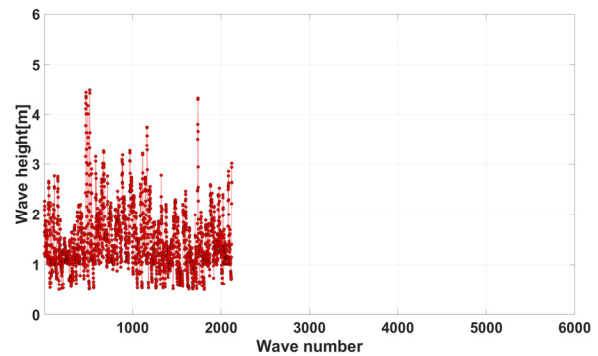


Fig. 8. Maximum bottom change of each wave class



(a) Comparison of original data and reduced data



(b) Significant wave height time series of reduced data

Fig. 9. Maximum bottom change of each wave class

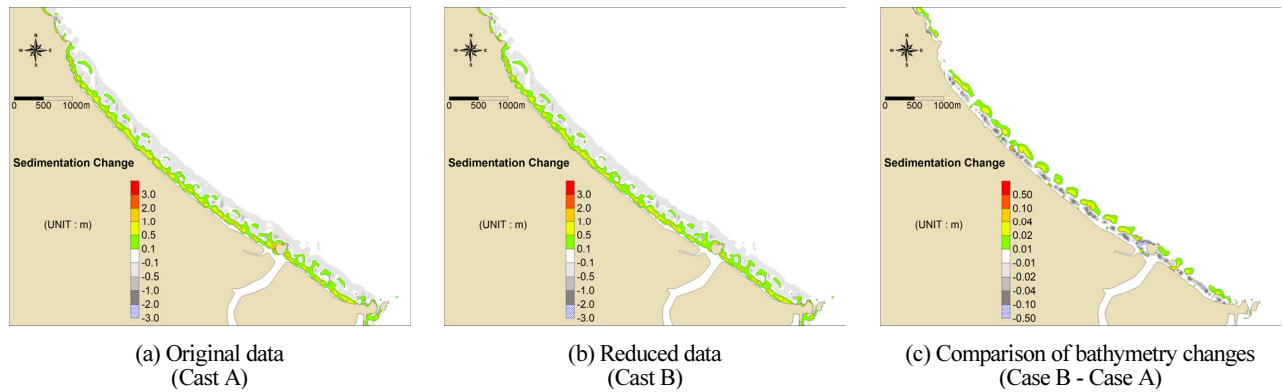


Fig. 10. Numerical result of bathymetry changes between original data and reduced data

(Case B) 수치실험 결과, Fig. 10(b, c)에 도시한 바와 같이 덕봉산 인근에서 나타난 국지적인 퇴적 변화는 0.1 ~ 0.5m로 다소 적게 나타났으나, 전체적으로 실시간 파랑(Case A)과 비교하여 0.01 ~ 0.1m의 차이가 발생하고 있고, 침·퇴적이 발생하는 양상은 전 연안을 따라 매우 유사한 결과를 나타내고 있다. 두 실험결과의 차이는, 원본 데이터 중 제외된 약 62.2%의 파랑에 의한 영향이라 판단되며, 전체적인 침·퇴적 크기와 양상을 고려할 때 재생산된 시계열 파랑에 의한 수치실험 결과는 매우 양호한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 장기간의 파랑 시계열을 입력조건으로 수치모델을 수행하는데 따른 어려움을 해소하기 위하여, 전체 파랑 시계열을 재생산하여 입력조건을 단축시키는 방법을 고려하였으며, 동해 맹방해수욕장을 대상으로 퇴적물 이동 실험을 수행하여 그 타당성을 검토하였다.

입력조건을 단축시키기 위해 NOAA로부터 수집한 전체 파랑 시계열 118,083개의 파랑 정보(1979.01 ~ 2019.05) 중 맹방해수욕장에 미치는 영향이 미미할 것으로 판단되는 파랑을 제거하고 파랑 시계열을 재생산하고자 하였다. 이를 위하여 전체 파랑 시계열을 파고 0.5m, 주기 2sec, 파향 10° 간격으로 등급화하여 전체 749개의 대표 파랑을 생성하였고, 각각의 대표 파랑에 대해 1일 동안 퇴적물 수치실험을 수행하였다. 수치실험 결과로부터 바닥 저면고의 변화를 추출하였고, 최대 퇴적고가 0.01m/day 이하인 경우 대표 파랑이 해당지역에 미치는 영향이 미미한 것으로 가정하였다.

한편 약 40년의 NOAA 전체 파랑 시계열은 그 양이 방대하여 많은 수치모의 시간이 소요될 것으로 판단되어, 본 연구에서는 2017년 3월과 2019년 1월에 수집된 바 있는 수심 측량 성과와 동일한 기간을 대상으로 입력조건을 구성하였다. 이 기간의 파랑 자료는 3시간 간격으로 모두 5,617개의 파랑으로 구성된 시계열이며, 이 중 앞서 수행한 대표파랑

결과를 적용하여 영향이 미미한 파랑을 제거한 결과, 약 62.2%가 감소된 2,122개의 파랑으로 연속된 시계열을 구성하였다.

23개월의 실시간 파랑과 재생산된 시계열에 의한 파랑을 이용하여 퇴적물 이동 수치실험을 수행한 결과, 두 실험결과의 차이는 마읍천 하류부 덕봉산 인근에서 0.1 ~ 0.5m의 국부적인 퇴적 차이를 나타내고는 있으나, 전체적으로 0.01 ~ 0.1m의 침·퇴적 차이가 발생하고 있으며, 전 연안을 따라 침식과 퇴적이 반복되는 양상은 실시간 파랑과 재생산된 시계열 파랑 모두 매우 유사하게 나타내고 있다. 따라서 재생산된 파랑 시계열은 퇴적물 이동 수치실험의 입력조건으로 활용하기에 타당한 것으로 판단되며, 장기적인 수치실험에 더욱 효과적일 것으로 사료된다.

장기간의 파랑을 이용하여, 퇴적물 이동 실험을 수행하기 위해 지금까지 사용된 방법은 전체 시계열을 대변할 수 있는 여러 대표 값(97.5%, 평균파랑, 에너지등가파랑, 50년 빈도 파랑 등) 및 기간 등을 설정하거나, 막대한 계산시간을 감수하고 장기 파랑을 모두 모의하여 왔다. 모든 파랑을 고려하는 것이 가장 이상적이긴 하나, 계산 시간을 고려했을 때 가장 타당한 방법은 해석 결과의 신뢰성을 유지하면서 좀 더 입력조건을 단축시키는 방법이라 판단되며, 본 연구에서는 약 37.8%의 파랑만을 이용하여 유의미한 결과를 도출하였다. 본 연구 방법에 의해 장기간 파랑 변화에 의한 퇴적물 이동 실험이 보다 수월해질 것으로 판단되며, 동해안의 연안 표사 수치 평가와 관리체계 수립 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(20180404 연안침식 관리 및 대응기술 실용화)결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Deltares (2017). “*Input Reduction Tool - Description and User Manual.*”
- Deltares (2018a). “*Delft3D-FLOW User Manual.*”
- Deltares (2018b). “*Delft3D-WAVE User Manual.*”
- Kim, G. S., Ryu, H. S. and Kim, S. H. (2019). “Evaluation of Coastal Sediment Budget on East Coast Maeongbang Beach by Wave Changes.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 33, No. 6, pp. 564-572. <https://doi.org/10.26748/KSOE.2019.099>
- Kim, G. S., Ryu, H. S., Kim, S. C. and Kim, M. J. (2020). “Evaluation of Coastal Sediment budget on Bongpo Beach by Structure installation.” *Journal of Coastal Disaster Prevention*, Vol. 7, No. 4, pp. 251-258. <http://doi.org/10.20481/kscdp.2020.7.4.251>
- Kim, M. J., Son, D. H. and Yoo, J. S. (2018). “Analysis of Seasonal Morphodynamic Patterns using Delft3D in Anmok Coast.” *Journal of Coastal Disaster Prevention*, Vol. 5, No. 4, pp. 183-192. <http://doi.org/10.20481/kscdp.2018.5.4.183>
- Ministry of Oceans and Fisheries (2019). Coast Erosion Status, [Online] *Ministry of Oceans and Fisheries*, Korea, <http://coast.mof.go.kr/coastErosion/status/erosionLoad1.do> (last date accessed: 20 October 2019).
- NOAA/ National Weather Service (2019). NWW3 Data Access, [Online] *NOAA/National Weather Service*, USA, <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/download.shtml> (last date accessed: 20 October 2019).
- Van Rijn, L. C. (2001). “*General view on sand transport by currents and waves : data analysis and engineering modelling for uniform and graded sand (TRANSPOR 2000 and CROSMOR 2000 models).*” Delft Hydraulics, The Netherlands.
- Van Rijn, L. C., Walstra, D. J., Grasmeyer, B. T., Sutherland, J., Pan, S. and Sierra, J. (2003). “The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models.” *Coastal Engineering*, Vol. 47, pp. 295-327.