

반폐쇄 내만에서 파랑모델의 검정과 천해 설계파 추산 Estimation and Verification of shallow design wave in semi-closed bay

최진용¹, 전기천², 이동영², 정원무³

Jin-Yong Choi¹, Ki Cheon Jun², Dong Young Lee² and Wonmoo Jeong³

1. 서 론

파랑이 얇은 수심의 연안으로 접근하면 수심, 해조류 등의 영향으로 변형되고, 해상풍 및 해저 마찰소실 등으로 파랑 에너지의 증감이 일어난다. 연안 쪽으로 파랑이 점차 비선형으로 되어감에 따라 파랑발달, 비선형상호작용 등도 심해와는 다르게 진행되고 결국 쇄파에 의하여 파랑에너지가 크게 감쇄된다. 모든 천해파 변형의 역학요소를 포함한 수치계산은 상당히 복잡하여 일반적으로 설계파산출 등의 연안파랑 추산에서 국지 해상풍의 영향을 무시하여 왔다. 그러나 남해 연안의 여러 항만의 경우에 외해에서 생성된 파랑에너지가 섬·반도 등에 의해 소실되었다가 국지 해상풍에 의한 영향으로 증가되는 경우가 많아 이에 대한 검토가 요구되어 왔다. 즉, 설계파 산출시에 연안 입사파를 장기 산출하여 극치 통계처리해서 재기년도별 설계파를 설정하고 이를 천해지역의 국지 모델의 경계조건으로 사용하는 과정에서 해상풍을 무시하고 굴절, 천수, 해저마찰소산, 회절 등 주요 메카니즘을 고려하여 계산하여 왔는데, 이와 같은 경우 발생할 수 있는 문제점을 남해안의 여러 항들과 같이 반폐쇄된 내만에서의 파랑 추산을 통하여 검토해 볼 수 있다.

본 논문에서는 남해안 거제도 부근에서 측정된 2차원 파랑 스펙트럼을 이용하여 태풍시와 비태풍시로 나누어 2007년 12월, 태풍 '나리' 시의 파랑 추산 결과와 비교 검토하여 반폐쇄 내만에서 파랑 추산에 대해 평가하고 아울러 남해의 여

러 항만에서와 같이 반폐쇄 내만에 위치한 항에 대한 설계파 추산 방법의 개선에 대해 소개한다.

2. 실 험

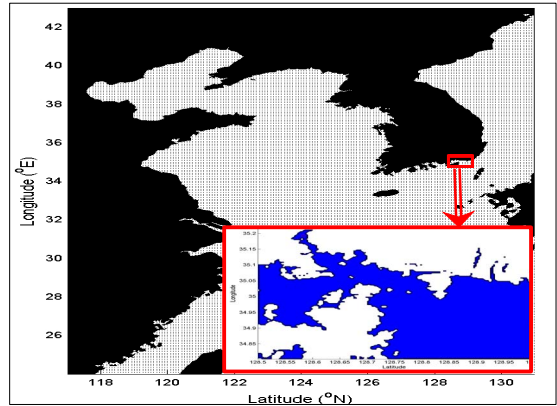


Fig.1. 모델의 광역격자와 상세격자

실험지역은 남해안의 거제도 부근(경도 128.5 - 129.0° E, 위도 34.80 - 35.22° N)으로 설정하였고(Fig.1), 비태풍과 태풍의 경우로 나누어 실험하였다. 비태풍시는 2007년 12월에서 ECMWF(European Center of Medium range Weather Forecast)모델 결과로부터 HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) 국지 기상 모델에 의해 nesting한 해상풍을 입력하여 사용하였고, 태풍시는 2007년 11호 태풍 '나리'가 영향을 미쳤던 기간의 HIRLAM과 태풍 파라미터를 이용하여 생성한 바람을 입력하여 광역격자(Fig.1)에서부터 SWAN 모델을 이용하여 실험하였다. 또

1 발표자: 한국해양연구원 기후연안재해연구부
 2 한국해양연구원 기후연안재해연구부
 3 한국해양연구원 연안개발에너지연구부

한 광역에 대해 산출한 파랑 결과로 상세 격자 영역에 대해 nesting 하여 국지 파랑을 추산한 결과와 대죽도 부근 (128.7704° E, 35.0046° N)의

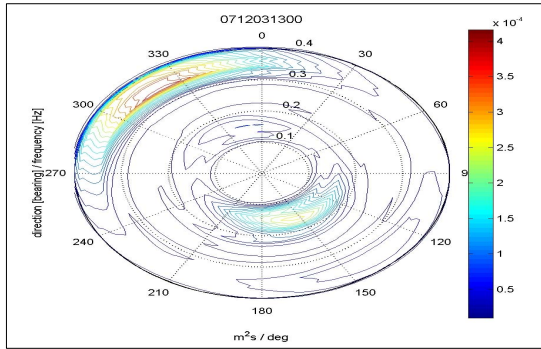


Fig. 2. 파향 파고 관측 부이로 관측한 2차원 스펙트럼

평균수심 20m인 정점에서 관측된 결과를 2차원 파랑 스펙트럼으로 비교 분석했다.

2.1 비태풍시 파랑 산출

2007년 12월 전형적인 파향과 주파수의 형태는 Fig.2와 같다. 실험지역은 남쪽에 외해가 있는 반폐쇄 해역이지만, 우리나라 겨울철에서는 몬순기후의 영향으로 북서쪽에서는 강한 바람이 불어오므로, 북서 계절풍이 실험지역 지역 파랑에 영향을 미치는데, 이는 실험지역 내에서 주기가 짧은 (2~3초) 파랑을 생성한다. 한편 남쪽에서는 먼 바다에서부터 전파되어온 비교적 주기가 긴(7~8초) 파랑이 입사하는 것을 볼 수 있다.

광역격자는 실험지역에서 1/12° 간격의 격자망을 설정하였고, 이를 세부격자로 내삽하였는데, 세부격자는 실험지역을 1/3° 간격의 격자망으로 하였다 (Fig.1). SWAN과 같이 스펙트럼을 이용한 파랑모델의 경우 주파수와 방향분산함수를 함께 고려하여 계산한다. 하지만 단순히 경계조건으로 사용하는 유의파고는 파향과 관계없이 모든 에너지의 합으로 구하고, 최대주기는 최대 에너지를 가지는 주기를, 주파향은 최대 에너지를 가지는 방향을 나타낸다. 따라서 두 개의 방향에서 입사하는 경우 방향과 주파수에 관한 상세한 비교가 불가능하므로 방향까지 고려한 2차원 스펙트럼을 추출하여 남쪽 외해에서 입사한 파랑과 북서쪽에서 불어오는 바람에 의해 생성된 파랑을 구분하여 모델 결과와 관측 결과를 비교해 보았다.

(1) 남쪽에서 입사하는 파랑만을 고려한 경우

광역 모델격자에서 시작하여 상세격자의 경계조건을 완성한 후 서쪽, 남쪽, 동쪽 경계에서 파랑 입력

자료를 사용하여 실험지역 모델을 구동하였다. 보다 객관적인 비교를 위해서 부이 관측결과 중 서-남-동에 걸쳐 입사하는 파랑만(점선)을 추출하여 함께 나타내었는데, 결과는 Fig. 3와 같다.

(2) 북서쪽에 불어오는 바람만을 고려한 경우

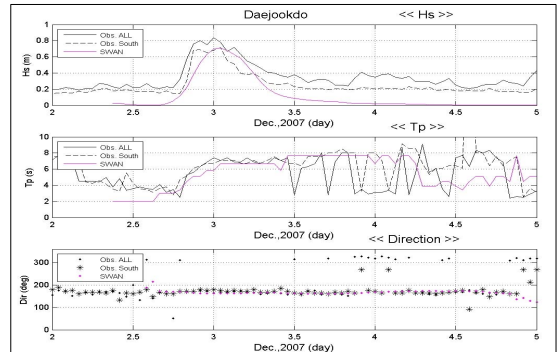


Fig. 3. 2007년 12월 2일 0시부터 5일 0시까지 대죽도에서의 모든 방향의 파랑, 남쪽에서 유입되는 파랑, 바람을 고려하지 않고 내삽한 모델결과

북쪽에서 불어오는 경우를 나타낸 그림은 Fig.4와 같은데 점선은 관측 결과에서 북쪽 성분만을 나타낸 것이고 이를 모델 결과와 비교할 수 있다. 상세격자에서 북서 방향의 영향도 크게 나타나는 것을 알 수 있는데, 유의파고의 경우 모델은 관측 결과 보다 다소 크게 모의하고 주기는 거의 2~3초이다. 관측결과가 북쪽에도 7~8초의 주기가 보이는 이유는 파랑이 반사되어 오는 것으로 사료된다.

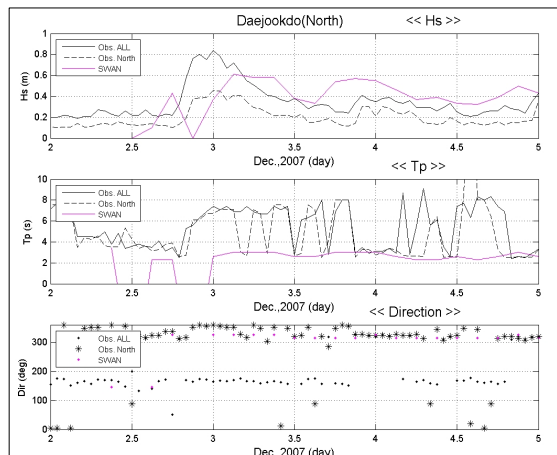


Fig. 4. 2007년 12월 2일 0시부터 5일 0시까지 대죽도에서의 모든 방향의 파랑, 북쪽에서 유입되는 파랑, 바람만을 고려한 상세 격자에서의 모델결과.

이와 같이 반폐쇄 내만에서 외해와 반대 방향으로 바람이 불어올 때, 실험지역에서는 두 방향

의 파랑 모두의 영향을 받게 되는데 설계파 산출 시 상세 격자에서도 바람의 영향을 고려하는 것이 필요하다.

2.2 태풍 '나리'시 바람과 파랑 산출

태풍 '나리'는 9월 13일에 발생하여 9월 17일에 소멸한 최저기압 935hPa 최대풍속 48m/s(10분 평균) KMA의 태풍이다. 이 태풍은 한반도에 상륙하여 특히 제주도에 큰 피해를 주었는데, 태풍의 발생과 경로는 Fig.5와 같다.

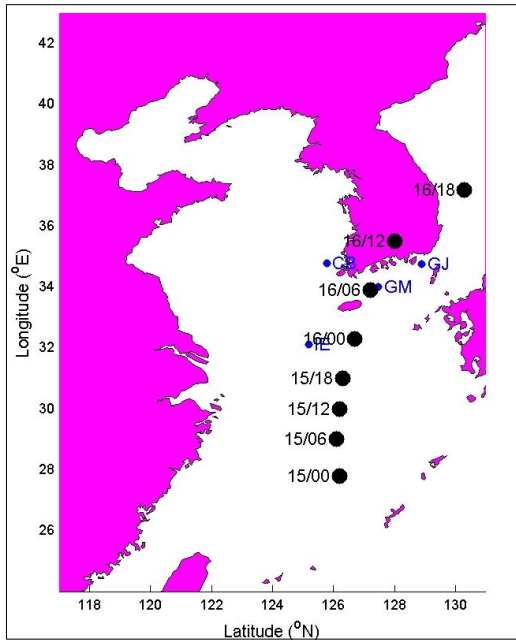


Fig. 5. '나리'의 이동경로와 관측 정점

태풍시 바람을 HIRLAM 자료와 Tp-96 자료, 두 가지 경우로 나누어 비교하였다. HIRLAM은 Fig.6에서와 같이 비태풍시 전체적으로 바람을 잘 재현하지만 태풍부근에서는 그 값이 과소평가 되는 경향이 있다. 반면에 태풍 중심 위치, 중심 기압, 최대풍 반경, 태풍 외부 기압, 태풍이 없을 때의 평균 바람장을 이용하여 태풍 파라미터를 산출하여 계산하는 Tp-96 모델은 태풍 부근의 기상을 보다 정확하게 재현해 낸다. HIRLAM과 파라메타 모델에서 태풍주변의 weight를 주는 방식으로 새롭게 바람 자료를 생성하면 보다 정확한 바람을 산출 할 수 있고 이를 태풍시 바람의 입력자료로 사용하였다. 광역 모델만 돌린 경우, 상세격자로 nesting까지 수행한 경우, 그리고 상세 격자에서 바람만을 고려한 경우로 나누어 관측결과와 모델결과들의 유의파고를 비교하면

Fig.7과 같다.

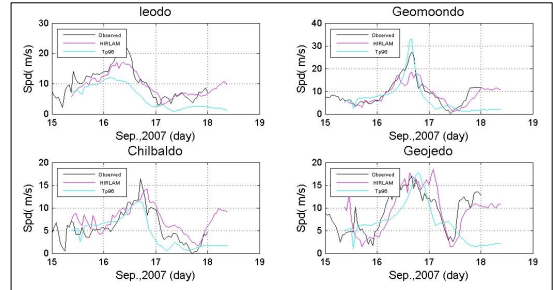


Fig. 6. '나리'시 관측, HIRLAM, Tp96의 바람 비교.

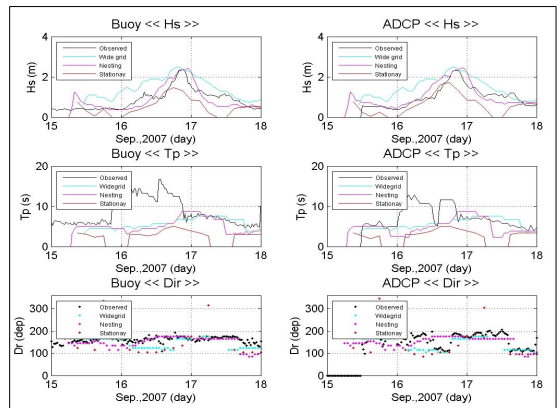


Fig. 7. '나리'시 관측결과와 광역 모델만 돌린 경우, 상세격자로 nesting까지 수행한 경우, 상세 격자에서 바람만을 고려한 경우 유의파고의 비교.

2.3 반 폐쇄 내만에서의 설계파 추산 방법의 개선

천해파랑 산출을 위해서는 국지 상세 격자 모델의 경계면의 모든 격자점에서 2차원 파랑 스펙트럼이 의해 경계조건으로 요구되고, 모든 격자점에서 해상풍이 표면 경계조건으로 요구된다. 또한 반폐쇄 내만에서는 트인 연안 보다 조류의 변화가 심하여 조류의 영향도 고려할 필요가 있다. 광역 파랑 모델을 이용한 입사 설계파를 산출하는 과정에서 파랑의 스펙트럼 특성(주파수 스펙트럼의 모양과 방향분산정보 등)과 해상풍의 정보는 손실되므로, 반폐쇄 내만에서 천해파 변환에 해상풍의 영향과 조류의 영향을 효과적으로 고려할 수 없다. 따라서 이를 보완하기 위해 광역 파랑 모델의 결과에서 얻은 이상 파랑에 대해 시간별 국지 상세격자 모델의 경계조건을 구하고 그 시간에 대한 해상풍 및 조류를 추산하여 이를 입력하여 천해파랑 변환을 하였다. 또한 각 천해 격자점에서 파랑의 시계열 자료를 얻을 수 있는

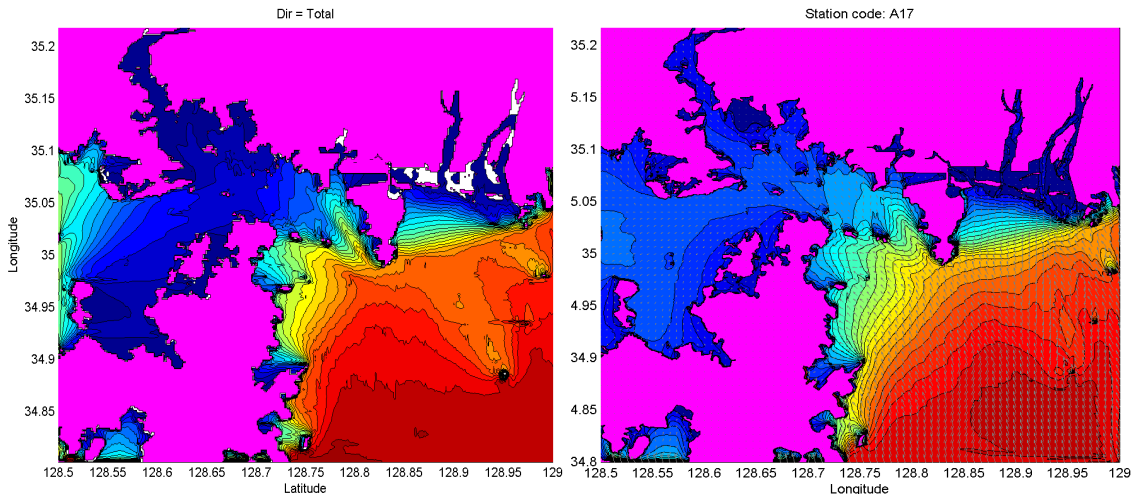


Fig. 8. 심해 설계파를 경계조건으로 사용한 방법(좌)과 천해파랑을 산출하여 극치 분석한 방법(우)의 유의파고 및 파향의 비교

데 천해 각 격자점에서 극치통계 처리하여 천해 변환 과정의 해상풍과 조류의 영향을 고려하는 방법으로 개선하였다.

즉, 과거 장기간 파랑 산출 결과를 유의파와 방향 정보로 단순화시켜 데이터 베이스화 해놓은 것 것으로부터 주요 태풍의 정보를 추출하였고, 이를 극지 모델의 모든 격자점에 내삽하였다. 이 내삽과정에서 주파수 파랑 스펙트럼과 방향분산 함수는 유의파로부터 역 추산하였고, 생산된 2차원 파랑 스펙트럼을 천해 파랑 모델의 경계 조건으로 사용하였다. 상세 격자의 해상풍 모델로 얻은 해상풍과 조류 모델로 조류를 입력으로 하여 이상파에 대한 천해파를 계산한 후 이를 극치 분석하여 상세 모델의 각 격자점에서 천해설계파를 구했다. 과거의 방법과 새로운 방법의 비교는 Fig.8과 같다.

3. 제 언

전산기 속도가 크게 빨라짐에 따라 과거에 간단하게 추정했던 천해 설계파의 산출 방법은 시대에 맞게 개선되어야 할 것이다.

트인 연안에서의 설계파 산출에서는 종전과 같이 심해 설계파로부터 극지 해상풍을 무시하고 천해 파랑을 추산해도 큰 문제가 없으나 우리나라 남해안의 여러 항만과 같이 반폐쇄 내만에서는 천해파랑 변환과정에 극지 해상풍과 조류의 영향을 고려하기 위해 각 태풍에 대해 해상풍과 조류를 입력으로 하여 천해 상세 격자에 대해 천해 파랑을 구한 다음 천해에서 극치통계처리하는

방법이 제시되었다.

이는 계산이 많기 때문에 광역 파랑 모델, 천해 파랑 모델, 해상풍 및 조석 조류 산출 체제제 반자동적으로 연결되어 계산의 복잡함을 감소시키는 것이 요구된다. 향후 태풍에 대해서도 반폐쇄 내만에 대한 천해파랑 산출 모델을 검증하고 개선하기 위해 태풍 내습시 체계적인 현장 실험과 아울러 일본의 NOWPHAS에서 관측된 자료를 최대한으로 활용하기 위해 일본 항만 기술 연구소와의 연구 협력이 도움이 될 것이다.

4. 참 고 문 헌

- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. "A third-generation wave model for coastal regions: 1. model description and validation" J. of Geoph. Research, vol. 104, pp. 7649-7666, April 1999.
- Gunther, H., Hasslmann, S., and Janssen, P.A.E, 1992: Report NO.4, The WAM Model Cycle 4, Edited by Modellberatungsgruppe, Hamburg.
- Lee, D.Y. et al., (1996), "Development of Shallow Water Wave Prediction System" Korea Maritime and Port Administration.
- Ris, R.C., Booij, N., Holthuijsen, L.H., Padilla-Hernandez, R. (1997) SWAN Cycle 2 User manual -Simulation of Waves in the Nearshore zone. Delft University of Technology, The Netherlands, 1997
- WAMDI Group, "The WAM model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model", J. of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1775-1810, 1988