2017년 한국항해항만학회 추계학술대회
2017년 11월 2일(목)~3일(금) 부산관광공사 아르피나

항만확장에 따른 통항안전 및 항만정온도 검토

문승효* · 권성민** · † 이중우

*,**한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 건설공학과 교수

Analysis of Traffic Safety and Harbor Tranquility due to Port Expansion

Seung-Hyo Moon · Seong-Min Kwon** · † Joong-Woo Lee*

*,**Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea*
† Department of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 화물량이나 해상관광객 유입 확대 등 항만수요의 증가에 따른 대응으로 항만을 확장하거나 신규항만을 계획하게 된다. 우리나라 어항의 경우 경관이 수려하고 청정지역으로 분류되어 개발여지가 크다. 이중 감포항의 경우도 해상을 통한 연안 화물의 운송확장과 어항의 기능에서 연안항의 여건을 갖추고 경주와 연계한 해양 관광벨트를 구성하여 친수공간 조성, 송대말 등대 컨텐츠 사업 등 해양관광의 거점으로 도약하기 위한 집중개발을 추진 중에 있어서 종합적인 관점에서 항만확장을 검토할 필요가 있다. 본 연구는 추진 중인 항만확장과 관련하여 남측 및 동측의 항만확장안에 대해 선박의 통항안전 및 계류한계파고에 대한 항만 정온도 여부를 제 3세대 수치파랑 모형인 SWAN모형과 강비선형 Boussinesq 방정식을 적용한 불규칙파 Bouss-2D 모형을 적용하여 모형간 특성을 도출한 후 현재안과 각 대안별로 파랑반응특성을 비교분석하였다. 이에 대한 결과는 각 대안별로 장래 항만확장에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 항만정온도, 파랑해석, 불규칙파, 개방경계 강비선형 Boussinesq방정식

1. 서 론

최근 우리나라 동해안은 해안관광지의 정비로 해양관광객 유치에 기여하고 있다. 경주시도 감포항의 확장, 친수공간 조성, 송대말 등대 사업 등 해양관광의 거점으로 도약을 위한 집중 개발한다는 계획 하에 감포항~울릉도 사동항 간 연안여객선의 항로를 개설을 추진하고 있다. 감포항의 경우는 해양문화관광의 활성화에도 기여하는 바가 커서 연안항으로 의의를 찾을 수 있다. 이에 어항시설, 친수시설과 함께 해상을 통한 연안화물의 운송을 통한 연안항으로서의 기능 확대가 필요하다. 장래 선회장, 화물처리장 및 야적장, 연안크루저부두, 화물부두, 해양레저센터, 해양수산공공시설, 관공선부두의 이설, 외곽시설 도입 등 여러 가지 항만확장 방안에 따른 항만정온 여부의 분석이 이루어졌으나(Moon et al., 2011) 최적 평면계획을 위한 상세해석이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 해안에서 파랑의 비선형적 반응특성을 분석하기 위하여 Boussinesq 방정식에 의한 수치모델로 대상해역을 해석하고 수정된 항만확장안에 대한 제3세대 파랑모델해석과 비교하여 계류한계파고에 대하여 항만정온도 문제를 해석하고자 하였다.

2. 수치모형의 적용

본 연구에서 적용한 수치모델의 기본방정식은 식(1)의 파랑작용 평형방정식에서 출발한 SWAN모형(WAMDI group, 1988)과 식(2),(3)과 같이 불규칙파를 해석할 수 있는 Boussinesq 방정식의 Bouss-2D 모형으로 항만 확장안에 대한 파랑반응을 분석하기로 하였다. 기본방정식의 항에 대한 설명은 참고문헌 [3]~[6]에 명시되어 있다.

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S}{\sigma} \tag{1}$$

$$\eta_t+\nabla\cdot u_f=0 \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
&u_{a,t}+g\nabla\eta+(u_\eta\cdot\nabla)u_\eta+w_\eta\nabla w\\
&\quad+(z_\alpha-\eta)[\nabla(u_{\alpha,t}\cdot\nabla h)+(\nabla\cdot u_{\alpha,t})\nabla h]\\
&\quad+\frac{1}{2}\left[(z_\alpha+h)^2-(h+\eta)^2\right]\nabla(\nabla\cdot u_{a,t})\\
&\quad-\left[(u_{a,t}\cdot\nabla h)+(h+\eta)\nabla\cdot u_{\alpha,t}\right]\nabla\eta\\
&\quad+\left[\nabla(u_{\alpha,t}\cdot\nabla h)+(\nabla\cdot u_{\alpha,t})\nabla h\right.\\
&\quad\left.+(z_\alpha+h)\nabla(\nabla\cdot u_{\alpha,t}\right]z_{\alpha,t}=0
\end{aligned} \tag{3}$$

† 교신저자, 종신회원, jwlee@kmou.ac.kr
* 정회원, vcxz442@naver.com, sobors@naver.com

Bouss-2D모형은 시간영역 파랑해석모형으로 SWAN모형과 같이 천수, 굴절, 반사 및 회절 현상의 반영이 가능하나 쇄파를 규칙파에 대한 경험계수에 의한 계산방법이 아닌 난류로 수치모의하여 파랑변형을 계산하는 모형이다. Nwogu(1993)는 파고가 수심에 비하여 충분히 작은 경우에 적용할 수 있는 약 비선형 Boussinesq 방정식을 유도하였으나, 대상해역과 같이 수심이 얕아져서 수심과 파고의 크기가 같은 정도일 경우 Nwogu(1996)가 유도한 강비선형 Boussinesq 방정식을 적용하기로 하였다.

SWAN모형은 광역, 중간역, 협역으로 구분하여 nesting기법을 적용하고, Bouss-2D모형에서는 SWAN모형의 중간역 계산결과를 개방경계에 적용하여 해석하는 것으로 하였다.

2.1 계산 영역 및 조건

대상항만은 감포항으로 기존 감포항의 동방파제 외측 또는 남측으로 항만을 확장하여 어항에 여객 및 화물복합기능의 추가하여 지역경제 활성화를 꾀하는 것이 목표이다. 현재 북측으로 관광지인 송대말 등대와 간출암이 있어 손상을 주지 않는 최소한의 범위로 외측방파제를 신설하고 감포항의 기존 남방파제 100m를 제거하여 선박의 항내 진입의 제한을 최소로 하는 안을 ALT-1로 하였다. ALT-2안은 현재 자연해빈이 존재하고 있는 남측지역에 화물선/여객선 부두, 방파제를 신설하는 계획으로써 저수심 해변지역에 선박의 통항안전을 고려하여 준설작업이 이행되는 대안이다. SWAN모형에서 광역, 중역 및 상세역의 계산영역은 광역($20km \times 30km, \Delta S = 100m$)에서 중역($8.5km \times 10km$, $\Delta S = 50m$), 협역($2km \times 3.2km$, $\Delta S = 10m$)으로 하여 광역의 파랑이 내습하여 대상항만에서 세부 파랑반응을 파악하도록 하였다. 실험은 약최고만조위(Approx. H.H.W)인 $0.262m$을 기준해면으로 하였다. Bouss-2D모형에서는 SWAN모형의 협역과 동일한 격자로 구축하였다. 심해설계파의 위치(한국해양연구원, 2005)와 계산제원은 Table 1 (a)와 같다. Fig.1은 대상해역의 모델구축범위를 나타내며 각 대안에 대한 11개의 구간을 설정한 것으로 심해설계파에 대한 부두역의 상세 파고분포도를 확인하고 정온도 여부를 분석하고자 하였다. 계류한계파고는 항만 및 어항설계기준(MOF,2014)를 참고하여 화물선 및 어업지도선 1.1m, 어선 0.7m를 기준값으로 하였다.

Table 1 Deepwater design wave height and period

Direction	Position	a) Offshore Input Condition	b) Coastal Input Condition
E	077117	9.19 m / 12.65 s	8.4 m / 12.65 s
NE		6.58 m / 10.15 s	5.4 m / 10.77 s
ESE	077119	9.76 m / 12.77 s	9.2 m / 12.47 s
SE		9.55 m / 12.73 s	8.6 m / 12.73 s
SSE		8.45 m / 12.27 s	6.9 m / 12.27 s

3. 계산결과 및 분석

앞서 추산된 심해설계파 제원과 풍속 보정 (Cavaleri & Malanotte-Rizzoli, 1981)을 통한 바람자료를 입력으로 하고, 입사경계제원을 SWAN모형에서의 중간역 해석을 결과에서 Table 1 (b)와 같이 추출하여 Bouss-2D모형으로 상세역을 해석하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 SE 파향에 대한 각각 SWAN모형의 협역과 Bouss-2D모형의 반응결과를 등파고선도로 나타낸 것이다. ALT-2 안은 남측해안선을 부두로 개발하는 것으로 E, NE 파향을 제외하고 S계열에서 어선 정박 부두인 신설 방파제 바로 뒤 부분 ST. G & ST. H, 화물 및 여객부두 ST. I & ST. J, 추가 남방파제 부분 ST. K 에서는 계류한계파고보다 높은 결과로 모든 Station에서 정온하지 않은 것을 확인하였다. S 계열에서 파랑이 항내로 차단되지 않은 상태로 내습하여 계류가 불안정한 것으로 나타났다. 따라서 ALT-2안의 경우는 남측 해변 앞 수심이 낮은 지역에 다량의 준설 및 매립으로 인하여 경제적 부담이 될 뿐만 아니라 정온도 확보에도 어려움이 있다. ALT-1안의 경우는 기존 감포항의 어선부두인 ST. C~E와 신설 화물 및 여객부두인 ST. A~B를 정온도 평가 기준을 계류한계파고로 하였을 때, S계열의 ST. A를 제외하고 모든 파향에서 정온도가 확보되는 것으로 나타났다. 그러나 S계열에서 추가 동측방파제의 끝단에서 회절되어 파랑의 에너지가 소산되지 않고 동측확장역의 ST. A로 밀고 들어와 파고분포가 기준보다 다소 높았는데 이것은 방파제 외측으로 소파제를 두어 파랑감쇠를 유도하거나 방파제 형상을 다르게 하여 S계열의 동측 화물부두의 정온도 확보가 가능할 것으로 본다. 반면에 S계열에서는 항로의 통항안정을 위해 기존남방파제를 100m 제거한 때문으로 현재상태보다 파랑의 진입이 용이해 파고가 다소 증가한 것으로 나타났다.

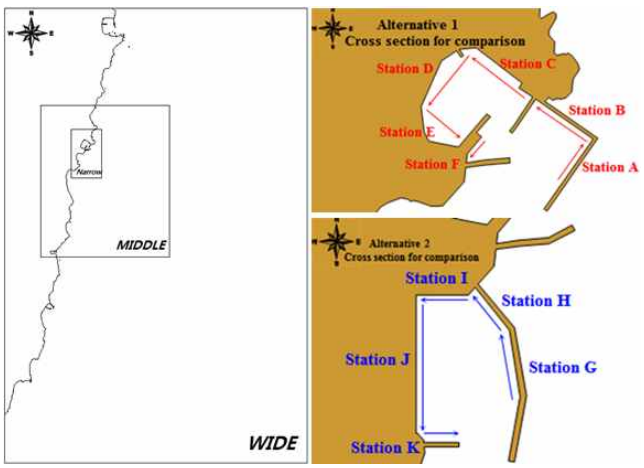


Fig. 1 Modeling area and cross sections for comparison

Fig. 4는 SE 파향에 대하여 ALT-1, ALT-2안의 반응결과

로 현재 감포항의 연안역인 경우를 제외하고 각 구간 별 평균 파고로 SWAN모형과 Bouss-2D모형의 결과를 비교한 것이다. 전반적으로 Bouss-2D모형의 결과에서 파랑반응이 높게 나타났다. 이는 SWAN 모형에서 파작용평형방정식에서 쇄파대 영역의 강한 비선형조건을 에너지스펙트럼으로 상호작용으로 생성되는 비선형저주파영역을 제외시킨 반면 Bouss-2D 모형의 경우 비선형 Boussinesq방정식에 근거한 파랑모델에서 강비선형조건으로 보완하였기 때문으로 볼 수 있다. 따라서 쇄파대를 포함한 항내 영역에서는 복합적인 반응이 잘 재현되는 강비선형 모형으로 항내 정온도해석을 수행할 필요가 있다고 보아야 할 것이다.

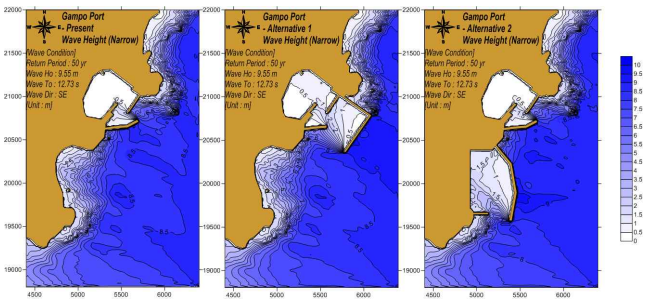


Fig.2 SWAN model results for SE wave

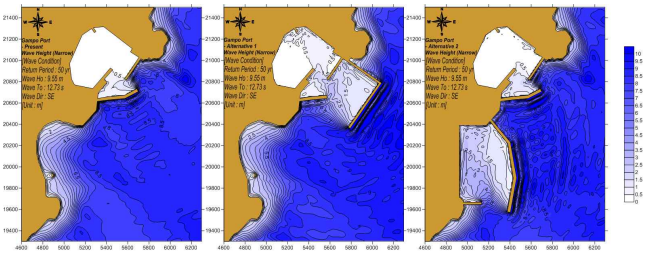
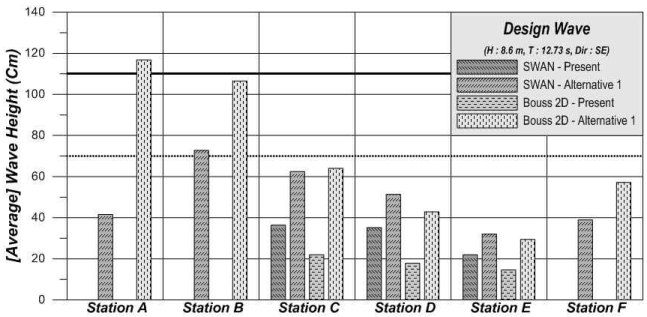
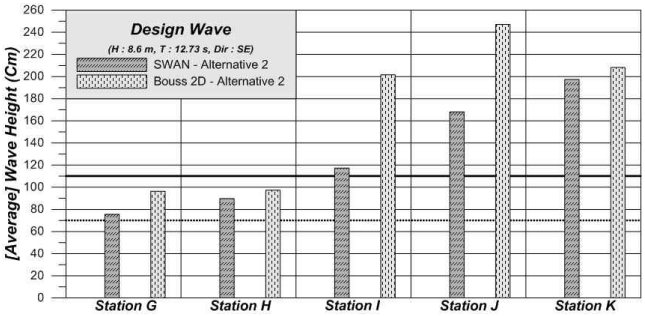


Fig.3 Bouss-2D model results for SE wave



(a) SE Wave for ALT-1



(b) SE Wave for ALT-2

Fig.4 Comparison of averaged wave heights from each model

4. 결　　론

감포항은 최근 화물량, 해양관광산업 등 항만수요의 증가로 종합적인 관점에서 항만확장을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 다양한 확장안에 대해 2가지 수치모형으로 실험을 수행하고 비교하였으며 이 결과는 개발계획의 기초자료를 활용 할 수 있을 것이다. 파랑반응 중 강비선형조건을 반영한 Bouss-2D모형의 계산결과가 높게 나왔다. ALT-2안은 남측으로 항만을 확장한 것으로 신규 방파제를 건설하였음에도 불구하고 S계열에서의 모든 Station에서 정온하지 않은 것으로 나타났으며, 준설, 매립, 안벽 및 방파제 건설 등 대규모 건설계획이 진행되는 만큼 경제적 부담을 줄 것이다. ALT-1안은 기존 감포항 동측으로 확장하고 통항안전을 위하여 기존 남방파제 100m를 제거한 계획으로 경제성과 정온도를 확보할 수 있어 적정한 계획으로 판단된다. 다만, S 계열의 파랑에 대해서는 화물부두인 ST. A의 정온도 확보를 위하여 방파제의 형상, 소파제의 도입 등 추가적인 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] KIOST(2005), Calculation report of Overall Deepwater Design Wave II.

[2] Cavaleri, L. and Malanotte-Rizzoli, P. (1981), "Wind wave prediction in shallow water: Theory and applications", J. Geophys.Res., 86, No.C11, 10, 961-10, pp. 973.

[3] MOF (2014), Design Standard and Explanation for Port and Fishing Port, Vol.1.

[4] Moon, S.H., Ha, C.S., Lee., S.H., and Lee., J.W. (2016), "Analysis of Wave Response Characteristics due to Coastal Harbor Design", 2016 Fall Conference, KINPR, 2016(2), pp. 69-71.

[5] Nwogu, O. G. (1993), "Alternative form of Boussinesq equations for nearshore wave propagation", J.

Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 119(6), pp. 618-638.

[6] Nwogu, O. G. (1996), "Numerical prediction of breaking wave and currents with a Boussinesq model", the 25th International conferenceon Coastal Engineering, ICCE'96, Orlando, FL.

[7] Nwogu, O. G. and Demirbilek, Z. (2001), "BOUSS-2D: A Boussinesq wave model for Coastal Regions and Harbors", ERDC/CHL TR-01-25, USACE, WA.

[8] WAMDI Group (1988), "The WAM model-a third generation ocean wave prediction model", J. Phys. Oceanogr., 18, pp. 1775-1810.