

부산항 신항 부두 안벽 전면 퇴적원인 분석 연구

A Study on the Causes of Sedimentation at the Quay Wall in Busan New Port

김종원* · 이화수** · 임홍진*** · 유창일**** · 윤한삼*****

Jong Won Kim*, Hwa Su Lee**, Hong Jin Lim***, Chang Ill Yoo**** and Han Sam Yoon*****

요 지 : 부산항 신항 건설 이후 지속적인 선박 대형화로 항로 중심준설을 수행하였으나 최근 안벽 전면 퇴적현상이 확인되어 이에 대한 원인을 단순히 낙동강 하구역에서 유입되는 부유사의 영향이라고 초기 가정하였다. 따라서 낙동강 하구역과 인접한 연결잔교를 중심으로 해양물리조사, 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모의, 부산항 신항 항내 및 연결잔교에서 놀차도 사이의 수심측량을 수행하였다. 수심측량 결과, 항내 일정구역에 대해 2017년과 2022년의 항내 순 퇴적량은 $2,054 \text{ m}^3$ 이었고, 항로의 침식량이 박지의 퇴적량과 차이가 없었으나 퇴적물 이동 수치모의에서는 연결잔교를 제외하고 모든 영역에서 침식이 발생하고 실측된 지형변화량보다 연간 최대 5배 적게 퇴적되어 신항 안벽 전면 퇴적의 직접적인 원인이 아닌 것으로 판단되었다. 특히, 신항 중앙부 항로의 계획 수심인 D.L.(-)17 m보다 1.5 m 더 침식되는 영역이 넓게 분포되고 안벽으로 퇴적되는 현상은 초기 가정이 맞지 않음을 나타낸 것이다. 따라서 신항 해저에 영향을 줄 수 있는 마지막 인자인 대형선박에 대한 세굴을 추가로 검토하였으며, 선박 후류속도에 의한 해저 세굴식을 적용하였다. 그 결과, 입항 가능한 최대선박 240,000톤일 경우 선박 후류속도에 의한 최대 세굴 심도가 1.5 m 발생되고 세굴된 부유사는 항로의 법선방향으로 이동 가능함을 확인하였다.

핵심용어 : 연결잔교, 부유사, 중심 준설, 선박 후류속도, 세굴, 퇴적

Abstract : Since the construction of the Busan New Port, dredging has been performed to deepen the navigation channel due to the continuous enlargement of vessels. However, since the recent confirmation of the phenomenon of sedimentation across the entire quay wall, it was initially assumed that the cause was simply the influence of suspended sediment flowing in from the Nakdong River Estuary. Therefore, a marine physical survey and numerical simulation of seawater flow and sediment movement were conducted centered on the Pier bridge to the Nakdong River Estuary, and a bathymetric survey was conducted within the Busan New Port and between the Pier bridge and Nullcha-do. As a result of the bathymetric survey, the net sedimentation within the port in a certain area of the port in 2017 and 2022 was $2,054 \text{ m}^3$, and the amount of erosion in the fairway was no different from the amount of sedimentation in mooring basin. However, in the numerical simulation of sediment movement, erosion occurred in all areas except the Pier bridge, and the annual deposition was up to 5 times less than the actually measured topographic change, so it was determined that it is not a direct cause of the sedimentation across the entire quay wall of the New Port. In particular, the area that is eroded 1.5 m more than the planned depth of D.L.(-)17 m in the central part of the new port is widely distributed and the phenomenon of deposition on the quay wall shows that the initial assumption is not correct. Therefore, the scour for large vessels, the last factor that can affect the seabed of the new port, was additionally examined, and the seabed scour equation by the ship's wake speed was applied. As a result, it was confirmed that the maximum scour depth by the ship's wake speed is 1.5 m in the case of the largest vessel that can enter the port, 240,000 tons, and the scoured floating sand can move in the normal direction of the route.

Keywords : pier bridge, suspended sediment, additional dredge, propeller wash, scour, sedimentation

*부산항만공사 차장(Deputy General Manager, Busan Port Authority)

** (주)한국항만기술단 부사장(Vice President, Korea Port Engineering Corp.)

*** (주)한국항만기술단 상무(Executive Vice Director, Korea Port Engineering Corp.)

**** (주)씨쓰리디 대표(Corresponding author: Chang Ill Yoo, President, C3D Co., Ltd., 97 Centumjungang-ro, Haeundae-gu, Busan 48058, Korea, Tel: +82-51-783-4333, Fax: +82-51-980-2571, ciy@coast3d.com)

*****부경대학교 교수 (Professor, Pukyong National University)

1. 서 론

2006년부터 부산항 신항 컨테이너부두 개장 후 선박의 대형화로 인해 증심준설을 지속적으로 수행하였다. 2010년부터 2012년까지 1단계 증심준설은 수심 D.L.(-)15 m에서 D.L.(-)16 m로, 2015년부터 2016년까지 2단계 증심준설은 수심 D.L.(-)16 m를 D.L.(-)17 m로 수행하였다. 이와 같이 선박의 대형화로 인한 증심준설을 안정적으로 진행하였으나 2022년 10월 11일 국립해양조사원이 실시한 부산항 신항 내 정밀수로측량 결과, 부산항 신항 안벽전면에서 계획 수심 미달이 확인되었다. 이에 대한 조치로 2022년 12월 긴급 유지준설(1단계)을 부산항 신항 1부두, 4부두에서 수심 D.L.(-)15 m로 실시하였고, 2023년 5월부터 8월까지 긴급 유지준설(2단계)을 D.L.(-)16~17 m로 실시하였다. 그러나 2022년 정밀수로측량 결과 부산항 신항 연결잔교에 가장 가까운 1부두는 수심 D.L.(-)16 m, 2부두는 D.L.(-)17 m보다 낮은 수심이 나타났다. 이에 대한 원인으로 연결잔교를 통해서 유입되는 낙동강 하구역 부유사가 원인일 것으로 가정하여 관련문헌을 조사한 결과, 해양수리현상 연구개발 용역(3단계, 2013~2018년)에서 2013년 4월부터 2014년 5월까지 총 15개월 동안 연결잔교 항내측 부근 ADCP를 이용하여 부유사 순이동량을 산정한 결과, 하계에는 항내측, 동계에는 항외측으로 이동하는 특성이 있었으며 전체의 0.9%인 7,302 kg/m의 부유사가 항외측으로 순 유출된다고 하였다. 또한, 2014년 11월부터 2018년 1월까지 약 3년 동안 연결잔교 항외측에서 ADCP로 부유사량을 관측한 결과 전체의 7.6%인 97,024 kg/m의 부유사가 항외측으로 순 유출된다고 보고하였다. 또한, 2007년 3월 19일에서 4월 2일(1차), 5월 17일에서 31일(2차)에 걸쳐 부산항 신항 연결잔교에서 직접 현장조사를 통해 잔교부의 해수소통량을 평가한 결과, 1, 2차 관측시 최대 유속은 각각

13.18 cm/sec, 30.80 cm/sec로 나타났으며 1, 2차 해수소통량은 각각 낙동강 하구역 방향, 부산항 신항 항내 방향으로 유출되었다(Lee et al., 2008). 그러나 부산항 신항 항내 퇴적과 부유사와의 관련 연구보다는 부산항 신항 건설과 낙동강 하구 지형변화에 대한 연구가 대부분이다. 관련 연구를 요약하면, 부산항 신항 건설기간을 고려하지 않고 2008년 수심 기준 각각 동일한 파랑, 조류, 해저질 분포, 동일한 지층의 최상층 두께 및 지질, 동일한 유입유량, 토사성분 및 농도자료를 적용하여 각각 1년간 지형변화 시뮬레이션을 한 결과, 부산항 신항 건설로 인한 영향이 상대적으로 적으며, 전형적인 하구지역에서 발생하는 지형 변화로 판단하였다(Hong, 2018). 본 연구는 첫 번째 원인인 낙동강 하구의 부유사 유입에 대해, 해양수리현상 연구 결과를 토대로 조류 및 부유사 측정과 해저질 조사 등의 해양물리조사를 실시하고, 조사결과를 수치모의 실험의 입력값과 검증값으로 사용하여 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모의 실험을 수행하였다. 그리고 두 번째 원인인 대형선박의 통항에 따른 해저면의 변화를 알아보기 위해 해저에 영향을 줄 수 있는 대형선박을 선정하여 선박 후류속도(propeller wash), 저면 전단응력 등의 이론식을 적용하여 세굴깊이를 계산하였다. 마지막으로 안벽의 퇴적 원인에 보다 직접적으로 영향을 미친 정도를 확인하기 위해 2017년과 2022년에 수행된 항내 수심측량 결과를 통해서 산출된 지형변화량과 비교하여 주요 원인을 규명하고자 하였다.

2. 낙동강 하구 부유사의 부산항 신항 항내 유입 영향 분석

2.1 연결잔교 주변 해양물리조사

부산항 신항 내 유입되는 조류 및 부유사의 특성을 조사하기 위해, 층별연속 조류 및 부유사 관측, 연속 조류 및 부유

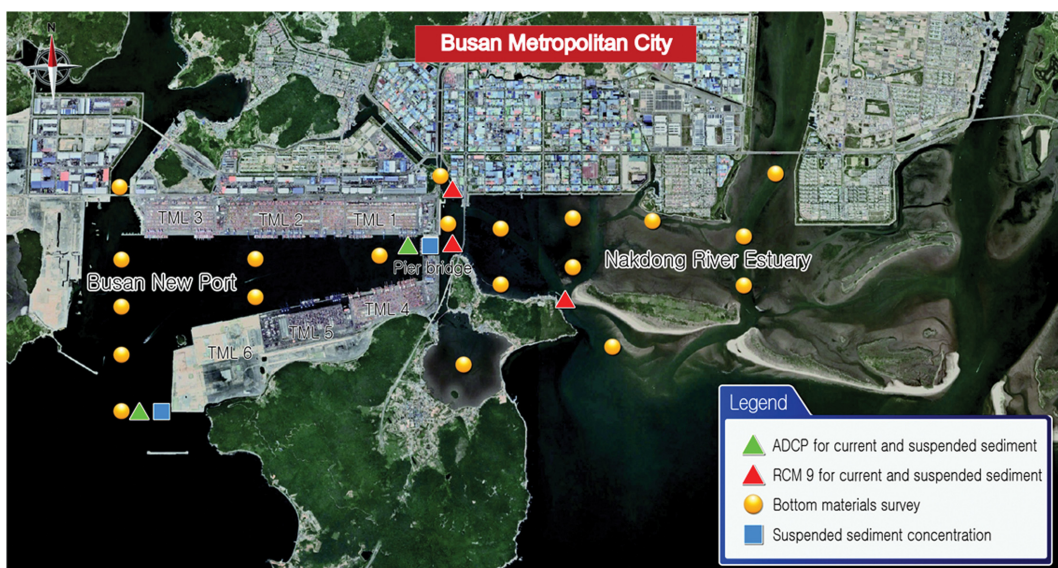


Fig. 1. Location of oceanographic survey points around Busan New Port.

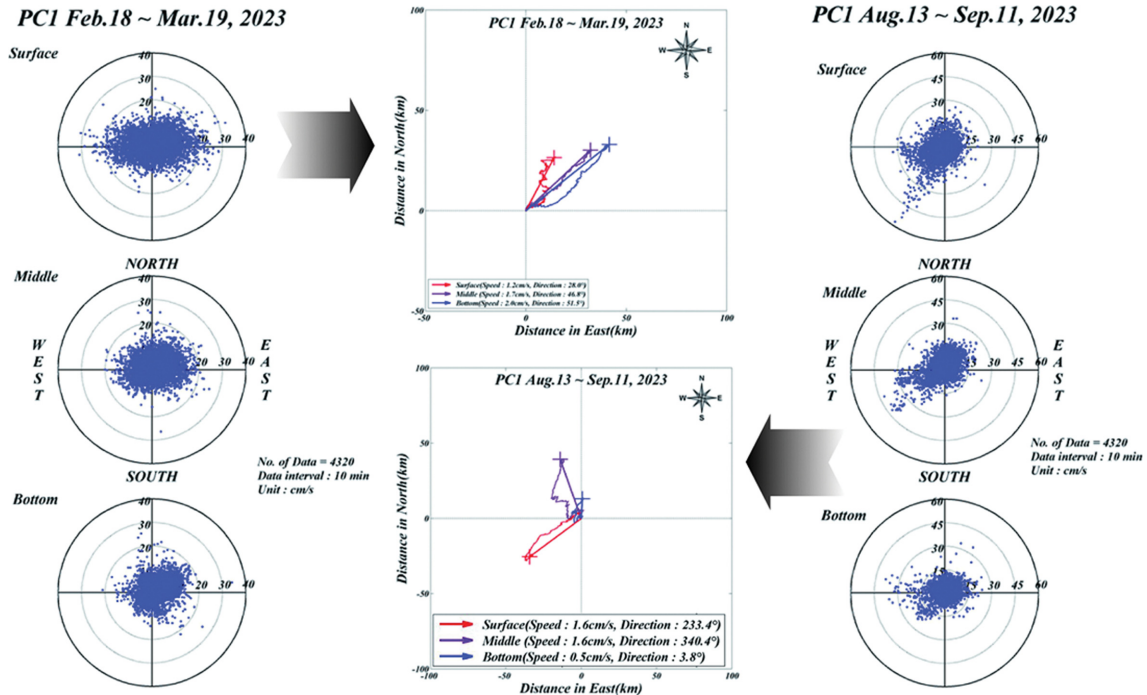


Fig. 2. Scatter and progressive vector diagram of observed currents by ADCP at pier bridge in (a) winter (b) summer, 2023.

Table 1. Suspend sediment concentration measured by ADCP between pier bridge and entrance

Device	Location	Season		Average concentration (mg/L)	
				Flood	Ebb
ADCP	Pier bridge	winter	Surface	30.3	30.1
			Middle	32.6	32.0
			Bottom	39.4	39.1
		summer	Surface	11.8	11.8
			Middle	14.0	14.0
			Bottom	15.3	15.3
	Entrance	summer	Surface	11.6	12.3
			Middle	14.4	14.6
			Bottom	16.4	16.2

사 관측, 해양저질조사, 공간 부유사와 같은 해양물리조사를 수행하였다. 각 조사의 정점은 Fig. 1에 나타내었으며, 동계 조사시기는 2023년 2월 18일에서 3월 19일까지, 하계는 동년 7월 31일에서 9월 11일까지 실시하였으며, 해저질 조사는 동계에만 실시하였다. 특히, 연결잔교(pier bridge) 서측부근에는 수심 D.L.(-)15 m에 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP, WH600-RDI사)를 해저에 설치하여 해저면으로부터 첫 관측점까지의 거리는 2.9 m, 수직 해상도는 1 m, 관측 간격은 10분 설정하여 30일 이상 측정하였으며, 동측부근에는 RCM 9(Aanderaa사) 유속계, XR-420CT+Tu(RBR사)를 설치하여 동계 대조기(3월 21일), 소조기(3월 16일)와 하계 대조기(9월 2일), 소조기(8월 26일)의 창·낙조시를 포함한 13시간 동안 10분 간격으로 연속 조류와 부유사를 측정하여 낙동강 하구역 부유사 유입 영향을 분석하고자 하였다.

Fig. 2는 부산항 신항 연결잔교 서측에서 수행한 동계, 하계시 층별 연속조류관측 결과를 나타낸 것이다. 동계시 잔차

류 방향은 연결잔교 동측(항외측) 방향이고, 하계시는 서측(항내측)이나 각각의 잔차류 유속은 각각 1.2~2.0 m/sec, 0.5~1.6 m/sec로 매우 적어서 뚜렷하게 한 방향으로 유입, 유출 된다고 단정하기 어렵다. 또한 ADCP 설치 후 연결잔교에서 수행한 부유사 관측 결과 Table 1과 같이 동계 부유사농도가 하계보다 높았다. 이것은 비슷한 잔차류 유속에서 동계 부유사 농도가 하계보다 높아 전체적으로 부유사 농도가 항외측으로 유출된다는 결과로 유추할 수 있다.

또한, 연결잔교의 단면 구조가 낙동강 하구역 방향의 수심은 D.L.(-)5 m, 부산항 신항 방향의 수심은 D.L.(-)15 m로서 유입된 부유사가 항외측 유속 발생시 낙동강 하구역 방향으로 이동하기 어려운 지형적 특징이 있다. 이와 함께 Fig. 3과 같은 해양저질조사 결과를 보면 낙동강 하구역으로 갈수록 모래(S)가 우세하고 부산항 신항 항내는 점토(M)가 매우 우세하다. 특히, 연결잔교 동·서측과 부산항 신항 남컨테이너 터미널 5부두, 연결잔교부터 진우도 사이의 협수로 모두 실



Fig. 3. Distribution characteristics of bottom materials by Folk's textual groups in the study area.

트질(sM)로 동일하다.

2.2 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모의 실험

해양물리조사 결과를 토대로 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모의를 수행하였다. 수치모의에 사용된 모델은 국내·외적으로 자주 사용되는 EFDC(Environmental Fluids Dynamic Code) 모형을 사용하였다. 인근 해역 수심과 금회 수심측량 결과 등을 포함하여 수치모형실험의 입력 자료로 활용하였으며 특히 조석의 경우 주요 4개 분조(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)를 조석 조건으로 적용하되 해역조건에 적합하게 기타 조화상수를 적

용하였다. 또한 광역 계산은 34.9×27.0 km에 50~600 m의 가변격자를 사용하여 총 58,088(274×212)개, 상세역 계산은 12.0×7.0 km에 12.5~100 m의 가변격자를 사용하여 총 108,091(750×309)개를 사용하였다. 마지막으로, 부유사의 농도의 초기 경계조건은 관측된 부유사 평균농도 33.52 mg/L로 설정, 흐름과 파랑에 의한 일반적인 퇴적한계 전단응력 $0.04\text{--}0.15$ N/m² 중 Mehta(1986)의 실험값을 고려해 0.12 N/m², 기준 침강속도는 Tanimoto and Hoskika(1994)의 실험치 및 해저질 분석 입도자료를 토대로 0.0135 mm/sec, 부유사 기준농도(C_0)는 초기 농도와 동일하게 적용, 침강계수(α)

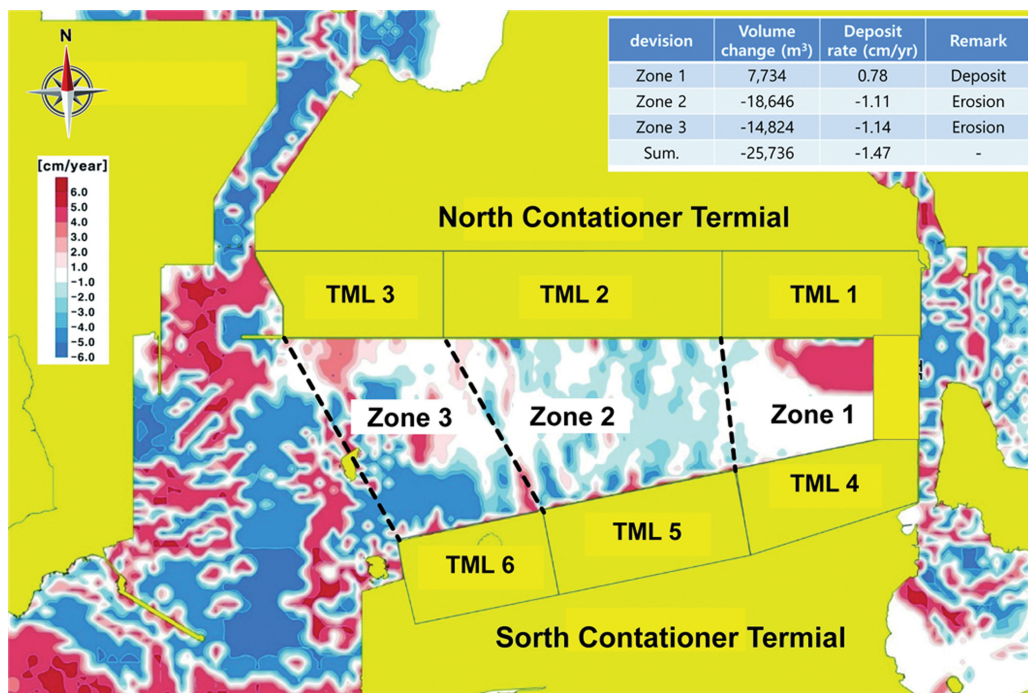


Fig. 4. Results of sediment movement prediction experiment under water depth in 2022.

는 1.0으로 적용하였다. 본 해수유동 수치모의 계산결과에 대한 모델 보정 및 검증은 가덕도 및 부산항 신항 조위관측소 자료와 연결잔교 해수유동 조사 결과 자료를 사용하였으며, 모델 반조차의 오차(Error)와 절대상대오차(ARE)를 계산하여 검증한 결과, 전반적으로 O_1 분조를 제외한 나머지 M_2 , S_2 , K_1 분조에서 약 5% 미만의 오차를 보임으로써 계산치와 관측치가 양호하게 일치하는 것으로 판단하였다. 퇴적물 이동 수치모의의 검증은 연결잔교 서측 부유사 관측 결과와 수치 실험 부유사 결과를 비교하여 검증한 결과 R-Square 값이 0.77로 나타났다. 퇴적물 수치모의 실험 결과는 Fig. 4와 같이 3개의 구역으로 나누어 각각의 영역에 대한 퇴적량과 연간 퇴적율을 산정하였다. Zone 1은 연결잔교 부근이며 연간 퇴적율이 0.78 cm/yr로 퇴적이 우세하였으나, Zone 2와 Zone 3은 연간 퇴적율이 각각 (-)1.11 cm/yr, (-)1.47 cm/yr로 침식이 우세하였다. 해당 수치모의의 정성적인 결과, 즉 연결잔교 퇴적은 지형적인 특징으로 잘 구현되었으나 안벽 전면의 퇴적형태는 발생하지 않았다.

2.3 낙동강 하구역 부유사의 제한적 영향

부산항 신항 연결잔교를 중심으로 해양물리조사를 수행하였으며, 취득된 물리조사 결과를 해수유동 수치모의로부터 퇴적물 이동 수치모의 실험까지 수행한 결과를 2007년부터 지금까지 수행되어 오고 있는 해양수리현상조사 연구결과와 함께 비교하여 분석하였다. 그 결과, 부산항 신항 내의 부유사는 하계는 항내측, 동계에는 항외측으로 이동하고 전체적으로 순유출과 순유입량의 차이가 전체 대비 0.5% 미만으로 나타나서 결과적으로 낙동강 방류는 낙동강 하구 인근에만 영향을 미치며 연결잔교를 중심으로 항외측 전면과 신항 내부로의 유

입 영향은 매우 미미한 것으로 나타났다.

3. 항로 세굴 및 안벽전면 퇴적 발생 원인 분석

3.1 부산항 신항 항내 수심변화량

연결잔교의 동측 수심은 D.L.(-)3.2~4.8 m로 서측 항내 수심인 D.L.(-)15 m보다 매우 낮고 해양물리조사와 수치실험으로 확인된 부유사 유입 영향이 제한적이므로 국부적인 퇴적이 발생할 수 있다고 판단하였다. 이를 뒷받침하는 결과를 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5에서 (a)는 2010년에서 2012까지 수행된 ‘1단계 중심 준설’에 대해 2013년에 수심측량 한 결과로서 항로의 수심이 D.L.(-)16 m이고 (b)는 2015년부터 2016년까지 ‘2단계 중심 준설’을 수행한 후 2017년에 측량된 수심으로 항로 수심이 D.L.(-)17 m 나타내어 안정적인 수심을 확보하였다. 다만, 2017년 수심(b)에서 2022년에 해양조사원에서 측량한 수심(c)을 뺀 결과, (d)의 수심변화량이 산출되었으며 파란색(양수)은 침식, 노란색(음수)은 퇴적을 나타낸다. 그 결과, 북컨테이너터미널 1~2 부두, 다목적부두, 남컨테이너터미널 4~5 부두 박지에서 1~2 m 퇴적이 발생하였다.

Table 2는 Fig. 5의 (d)에서 북컨테이너터미널 운영사 기준으로 Zone 1과 2로 나누어 수심변화량을 계산한 결과를 정리하였다. Zone 1에서는 대부분이 퇴적되었고, Zone 2의 박지(Mooring basin)에서는 퇴적, 항로(fairway)에서는 침식이 발생하였다. 주목할 점은 2~3 구역의 침식량 (-)419,561 m³이 나머지 영역의 퇴적량 (+)421,625 m³와 거의 유사하며, 그 차이는 침식량 대비 불과 0.49% 밖에 되지 않았다. 특히 ‘2단계 중심 준설’ 계획 수심 D.L.(-)17 m보다 더 깊은 최대 D.L.(-)18.5 m까지 항로가 침식된 지점도 확인되었다. 이 결

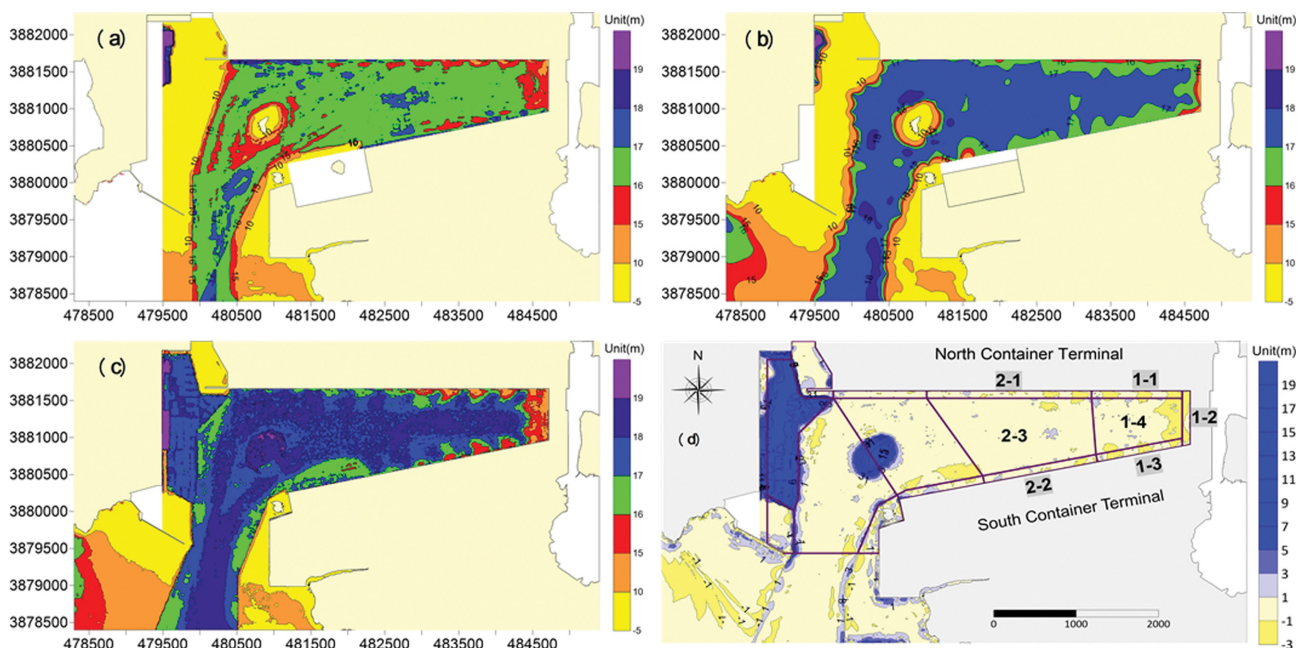


Fig. 5. Depth deviation in 2023 compared to the 2022 oceanographic survey bathymetry results ((a) 2013 year, (b) 2017 year, (c) 2022 year).

et al., 2019). 여기서 높은 전단 응력에 의해 발생된 부유사에 대해 현장 측정한 ADCP 프로파일 부유사 농도(suspended sediment concentration, SSC) 측정이 싱가포르의 탄중 파가르 터미널(Tanjong Pagar Terminal)에서 수행되었다(Stoschek et al., 2014). 그 결과, 싱가포르 탄중 파가르 터미널에서 높은 SSC를 발견하였고, 함부르크 항만 공사(Hamburg Port Authority)의 캠페인 결과에서도 매우 제한된 항로에서 출항하는 선박의 최대 SSC가 500 mg/L이고, 회전하는 선박을 사용한 추가 측정은 최대 SSC가 1,500 mg/L임을 보여주었다. 즉, 선박의 프로펠러에 의해 상당량의 부유사가 발생하는 것은 선박의 후류속도 때문이며, 이로 인해 항로가 세굴(scour)되어 재부유하는 것과 높은 상관성을 가지는 것으로 추측된다.

3.3 대형선박의 선박 후류속도에 의한 항로 세굴 및 안벽 퇴적 상관성

Fig. 7은 항내 선박 입출항시 선박 프로펠러 후류속도에 의한 해저면의 영향과 관련된 인자를 나타낸 것이다. 선박 프로펠러에 의해 발생하는 유속은 프로펠러 중심으로부터의 거리(x), 프로펠러 직경(D_p)의 비에 따라 유출영역(Efflux Zone), 확산 영역(Zone of Flow Establishment), 후류구간(Zone of Established Flow)으로 분류되며, 프로펠러에 의해 발생하는 유속은 다른 양상을 보인다. Fig. 7은 그 중에서 해저면과 만

나는 확산 영역에서의 후류속도 Hanmill(1987)의 제안식을 사용하였다. 여기서 $V_{x,max}$ 는 프로펠러의 중심유속, V_0 는 초기 유속, A , B 는 유속의 형상을 나타내는 계수 값이다. 산출된 $V_{x,max}$ 를 이용하여 횡방향 거리 x 와 원주방향 거리 r 에서의 해저면 유속($V_{x,r}$)은 Fuehrer et al.(1987)의 제안식을 사용하였다. 산정된 저면유속에 대해서 해저면에 발생하는 전단응력은 Maynard(2000)가 제안한 경험식을 활용하였다. V_{bed} 는 해저면 발생유속이고 H_p 는 프로펠러축에서 저면까지의 수직거리이다. 마지막으로 표면 임계 저항력(the critical bed shear stress)은 Hwang and Mehta(1989)의 제안식을 사용하였다. 여기서 b_1 은 단위중량(N/m^2), α 는 0.833, b 는 0.5, c 는 0.05를 적용하였다. 점토지반의 표면 임계 저항력이 22.53 N/m^2 보다 클 경우 세굴이 발생하는 것으로 계산하였다.

Fig. 8은 Fig. 7의 선박 후류속도에 의해 표면 침식이 발생하는 모식도에서 대상 선박의 흘수(a), 수심(h)를 확인하여 선박 후류속도에 의한 전단응력 발생시 발생하는 거리별 최대 세굴의 깊이($D_{sc,max}$)를 도식한 것이다. Fig. 8에 적용된 부산항 신항에 입항하는 각 대상선박(24만톤급, 20만톤급, 16만톤급, 12만톤급, 5만톤급)은 초기유속, 중심유속, 저면유속을 산정한 후 각 선박의 세굴심도를 나타내었으며, 24만톤급 선박의 세굴심도는 1.49 m, 20만톤급 1.30 m, 16만톤급은 1.29 m이다. 16만톤급 이하 선박에서는 세굴심도가 발생하지

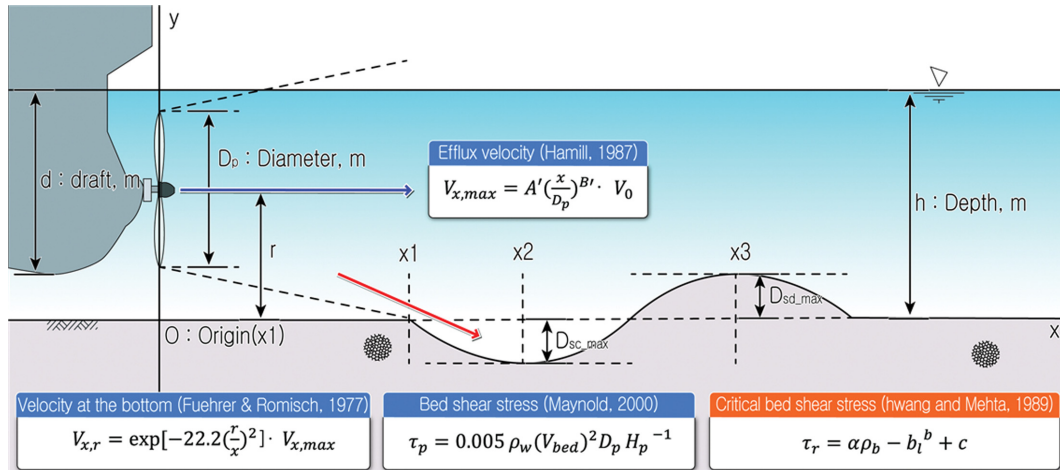


Fig. 7. Schematic diagram of seabed scouring caused by propeller wash.

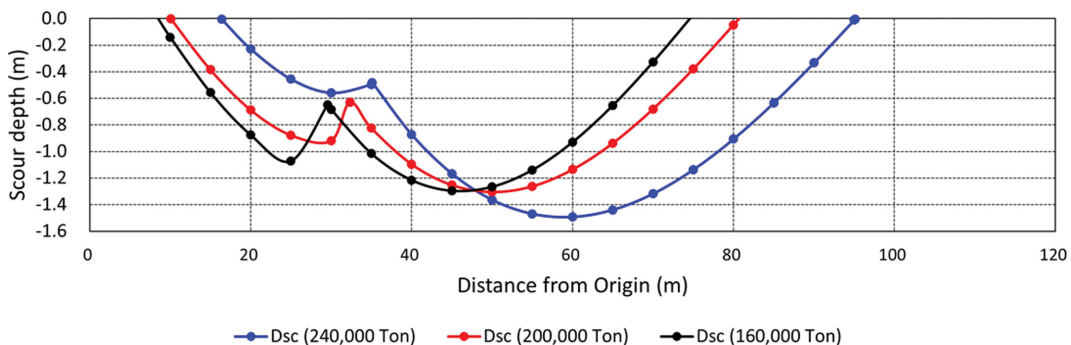


Fig. 8. Scour depth for large ships entering Busan New Port.

않았다. 결국 Fig. 6의 항로의 세굴심도가 부산항 신항에 입항하는 최대선박에서 이론적으로 산출한 세굴심도와 유사함을 확인하였다. 앞서 수심측량 확인된 최대 세굴 깊이가 D.L. (-)18.5 m이므로 계획수심 대비 (-)1.5 m가 세굴된 것으로 현재의 이론식 결과를 만족한다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 부산항 신항의 안벽 전면의 퇴적 원인을 초기에는 낙동강 하구역 유입 부유사의 영향으로 가정하였으나 해저지형변화량과 맞지 않아 나머지 원인인 선박 후류속도에 의한 세굴 및 퇴적 관점에서 분석하였다. 따라서 전통적으로 부유사 유입 영향을 분석하기 위해 해양수리현상 연구 결과 및 기존 문헌들을 참고하여 층별 연속조류 및 부유사, 연결 잔교에 대한 연속조류 및 부유사, 해저질 조사 등을 수행하였고 분석된 조사결과는 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모의 실험의 입력값과 검증값으로 사용하였다. 본 연구에서 수행된 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모의 실험 결과를 2007년부터 지속적으로 수행되고 있는 해양수리현상조사의 결과들과 비교하여 현상 구현을 검증하였으며, 최종적으로 퇴적물 이동 수치모의 지형변화량과 2017년과 2022년 수심 비교를 통해 산출된 변화량을 비교하였다. 그 결과 수심측량 결과로 산출된 지형변화량보다 5배 적게 퇴적되었고 신항 항내 안벽에 퇴적되는 형태는 찾아볼 수 없었다. 또한, 수심측량 지형변화량과 비교시 확인된 순 퇴적량은 항로 세굴 및 안벽 퇴적 등을 포함한 전체 수심변화의 약 0.5% 밖에 되지 않았다. 따라서 부산항 신항 안벽 퇴적의 원인은 선박 후류속도 (Propeller wash)에 의한 해저면 세굴 및 퇴적의 영향일 것으로 판단하였고 부산항 신항에 입항하는 대형선박을 선정하고 선박 후류속도 및 저면 전단응력의 초과로 인한 세굴 심도를 계산한 결과, 24만톤 선박 후류속도에 의한 계산된 세굴 심도는 (-)1.49 m로 실제 수심측량 결과인 계획수심 D.L.(-)17.0 m보다 (-)1.5 m 세굴된 D.L.(-)18.5 m의 형상과 유사하였다. 사실 본 연구에서는 해수유동과 퇴적물 이동 수치모의의 검증과정을 자세하게 설명하지 못한 것은 낙동강 하구역의 부유사 유입의 정확도를 높이는 것도 중요하지만 선박 프로펠러에 의한 해저 세굴(scour)이란 현상이 부산항 신항 운영에 보다 직접적인 위험요소이기 때문이며, 선박 후류속도에 의한 세굴은 인위적인 요인이므로 자연적 요인인 부유사 유입보다는 능동적으로 제거 가능한 발생 원인이라고 판단하였기 때문이다. 따라서 현재까지의 연구 결과로 살펴보면, 부유사 유입이 제한적인 부산항 신항에서 항내 안벽 퇴적을 발생시키는 주요 요인은 대형선박의 후류속도에 의한 세굴일 확률이 매우 높으며 지속적으로 대형화되는 선박의 후류속도에 대한 해저면 영향을 계획수심을 결정할 때 미리 고려하여야만 긴급준설 등의 비용발생을 예방하고 지속가능한 항만 운영이 가능할 것으로 판단된다.

References

- Fuehrer, M., Römisch, K. and Engelke, G. (1981). Criteria for Dimensioning the Bottom and Slope Protections and for Applying the New Methods of Protecting Navigation Canals. In Section I, Subject 1 of Proc. 25th International Navigation Congress, PIANC-Congress, Permanent International Association of Navigational Congresses (PIANC), Edinburgh, Scotland, 29-50.
- Hamill, G.A. (1987). Characteristics of the screw wash of a manoeuvring ship and the resulting bed scour. Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Queen's Univ. of Belfast.
- Hayes, D.F., Chintamaneni, R., Bommareddy P. and Cherukuri, B. (2010). Propwash impacts on water quality around dredging and other marine construction activities. Proc. of the 30th Annual WEDA Conf., 6-9, San Juan, US.
- Hong, N.S. (2018). Morphological change in seabed surrounding Jinwoo-Island due to construction of New Busan Port - qualitative evaluation through numerical simulation. J. Ocean Eng. Technol. 32(3), 192-201 (in Korean).
- Hwang, K.N. and Mehta, A.J. (1989). Fine-sediment erodibility in Lake Okeechobee, Florida. UFL/COEL-89/019, Coastal and Oceanographic Engineering Dept., Univ. of Florida.
- Kastner, S., Stearns, C., Horner-Devine, A. and Thomson, J. (2019). Ferry vessel propeller wash effects on scour at the Kingston ferry terminal, WA, USA. 15th Triennial Int. Conf., 500-511, Reston, ASCE.
- Lee, Y.B., Tawaret, A., Kim, H.T. and Yoon, H.S. (2008). Analysis of seawater transport based on field measurements at Pier-Bridge between Busan New-Port and the Nakdong River Estuary. Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, 14(3), 189-195 (in Korean).
- Maynard, S.T. (2000). Interim Report for the Upper Mississippi River-Illinois waterway system navigation study: Physical forces near commercial tows. ENV Report 19., Vicksburg, USACE, Engineer Research and Development Center.
- Mehta, A.J. (1986). Estuarine cohesive sediment dynamics. Lecture notes on coastal and estuarine studies, 14.
- Stoschek, O., Precht, E., Larsen, O., Jain, M., Yde, L., Ohle, N. and Strotmann, T. (2014). Sediment Resuspension and seabed scour induced by ship-propeller wash. PIANC World Congress San Francisco USA 2014, 1-17.
- Tanimoto, T. and Hoskika, A. (1994). Settling velocity of suspended particles in Osaka Bay and Etauchi Bay. Umi no Kenkyu, 3, 13-20 (in Japanese).
- Wang, P.F., Sutton, D., Richter, K. and Chadwick, B. (2000). Modeling migration of sediment and Sorbed contaminants resuspended by ship docking in San Diego Bay. Proc. 4th International Conf. on Hydrosience & Engineering Seoul, Korea.

Received 24 November, 2024

1st Revised 11 December, 2024

2nd Revised 15 December, 2024

Accepted 16 December, 2024