

관측자료 분석을 통한 포항신항의 하역중단 원인 분석

A Study on Downtime in Pohang New Harbor by Field Measurement Date Analysis

정원무¹, 류경호², 궤문수³, 최혁진⁴
 Weon-Mu Jeong¹, Kyong-Ho Ryu², Moon-Su Kwak³ and Hyuk-Jin Choi⁴

1. 서 론

영일만에 위치한 포항신항은 1969년에 개항하였으며 POSCO의 조강능력 확대에 따라 계속 확장되었으며 1985년 12월, 외항 및 동항 완공시 포항신항의 배치는 15만톤 부두와 제1~8부두 및 길이 393 m의 제1과제제로 구성되었다. 그러나 하역중단시간(Downtime)이 빈번하게 발생함에 따라 항내정온도 문제가 지속적으로 제기되었으며 그 원인 및 해결방안을 위한 많은 연구 및 용역사업이 수행되었다. 특히 장주기파와 부진동에 의한 영향에 대해서는 많은 논란이 있었다.

본 연구에서는 2008년 11월~2009년 4월까지의 포항신항 내·외에서의 장기 파랑자료와 풍향·풍속자료, 기상청의 강수자료, 각 선석별 하역중단 기록을 가지고 항내하역중단 원인을 상세하게 분석하고 대안을 제시하고자 하였다.

2. 하역중단 기록분석

본 연구에서는 부두 운영사와 하역사의 하역일지, Port-Management Information System 등을 활용하였으며 이 외에도 하역중단시 현장방문 및 조사를 병행하여 하역중단기록 자료를 수집하였다. 하역일지와 방문조사 자료 등을 종합하여 Table 1에 분석기간 동안의 하역중단 기록을 정리하여 제시하였다. 기록을 살펴보면 분석기간중 총 23회의 Downtime Events가 발생한 것으로 나타났다.

Table 1. Analysis table of downtime records in Pohang New Harbor(2008. 11.~2009. 4).

time	wharf	reason		Event
		starting time	duration	
'08 11/8 10H~11/9 7H	4	gale-wind wave	wind wave	1-1
'08 11/9 20H~11/11 13H	3, 4, 5, 7, 8	wind wave	wind wave+swell	1-2
'08 11/28 16H~11/29 10H	3, 4, 5, 7, 8	swell	swell	2-1
'08 11/30 16H~12/1 7H	7	swell	swell	2-2
'08 12/14 1H~12/15 7H	2, 4, 7, 8	swell	swell	3
'08 12/18 21H~12/20 7H	3, 4, 5, 7, 8	swell	swell	4-1
'08 12/21 19H~12/23 7H	2, 4, 5, 7, 8	swell	swell	4-2
'08 12/28 13H~12/29 7H	7, 8	swell	swell	5-1
'08 12/31 8H~'09 1/4 18H	2, 3, 4, 5, 7, 8	swell	swell	5-2
'09 1/9 18H~1/15 12H	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	gale+swell	swell	6
'09 1/30 8H~2/2 7H	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	gale-wind wave	swell	7
'09 2/15 16H~2/16 7H	3, 7	swell	swell	8-1
'09 2/18 4H~24H	4, 5, 7, 8	swell	swell	8-2
'09 2/23 21H~2/24 10H	3, 7, 8	wind wave	swell	9
'09 2/26 1H~7H	7	swell	swell	10
'09 3/2 8H~18H	7	wind wave	wind wave	11
'09 3/19 19H~3/21 7H	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	gale-wind wave	swell	12
'09 3/23 7H~3/24 10H	4, 7, 8	swell	swell	13
'09 4/1 10H~4/2 10H	4, 7, 8	swell	swell	14
'09 4/14 8H~4/15 7H	3, 5, 7, 8	gale-wind wave	swell	15
'09 4/16 16H~4/17 7H	3, 5, 7, 8	gale-wind wave	swell	16
'09 4/24 10H~22H	5, 7	swell	swell	17
'09 4/26 10H~4/29 15H	3, 4, 5, 7, 8	swell	swell	18

3. 현장관측 및 자료분석

3.1 현장관측

파랑관측은 항외측의 경우 항입구에서 북동쪽으로 약 2.3 km 떨어진 지점인 W1(Fig. 1 참조)에 파고·파향계(Directional Waverider Buoy)를 설치하여 30분 간격의 단주기파 연속관측을 실시하였다. 항내에서는 정점 W3~W10에 수압식 파고(Wave & Tide Gauge)계를 설치하였다.

DWB를 통해서 0.78125초의 sampling interval로 30분 간격으로 2,048개의 자료(약 26.7분)를

1 한국해양연구원 연안개발·에너지 연구부 책임연구원
 2 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 연구원
 3 명지전문대학교 토목과 교수
 4 (주)대영엔지니어링 기술연구소 부장

수집하였으며 수압식 과고계를 통해서 0.5초의 sampling interval로 30분 간격으로 2,048개의 자료를 수집하였다.

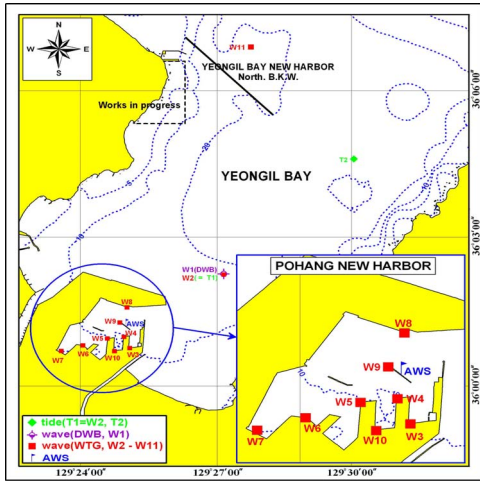


Fig. 1. Location map of Pohang New Harbor and the measurement stations.

바람자료는 제2과제제 중앙에 자동기상관측장비(AWS)를 설치하여 풍향·풍속 자료를 수집하였다. 한편, 시간별 강수량자료는 기상청 자료를 사용하였다.

3.2 자료 분석 방법

3.2.1 단주기파

DWB에 의한 자료에 대해서는 파별분석법(wave by wave analysis method), 스펙트럼법(spectral method), LHM(Longuet-Higgins' Method) 및 MEM(Maximum Entropy Method)을, 수압식 과고계에 의한 자료에 대해서는 스펙트럼법과 파별분석법을 각각 적용하여 파랑특성계수들을 산출하였다.

파별분석법은 시계열의 파랑 자료를 영점 하향 교차(zero-down crossing) 또는 영점 상향 교차(zero-up crossing) 방법으로 분석한 후 개개의 파를 통계적으로 처리하여 파랑특성계수를 산출하는 방법이다. 본 연구에서는 보다 사용빈도가 높은 영점 상향교차법을 적용하였다.

스펙트럼법은 관측된 파의 시계열 자료를 FFT(Fast Fourier Transform) 기법으로 분석하고 파랑의 에너지 스펙트럼을 구하여 파랑 특성을 파악하는 방법이다. 이는 불규칙파를 분석하는 일반적인 방법으로 불규칙성을 가진 자료의 분석에 매우 유용하다.

3.2.2 장주기파

장주기파(외중력파; Far-Infra-Gravity Wave) 자료 분석은 스펙트럼 분석법을 이용하여 실시하

였다. 즉, 수압식 과고계로부터 취득한 0.5초 간격의 수압자료를 온도보정을 거친 후, 시계열의 수면변동자료로 변환하였다. 이후 장주기파 분석을 위해 자료들을 90분 길이로 분할하였다. 90분 간격의 자료로 분할하므로 조석성분은 따로 제거하지 않고 평균값 및 경향성만을 제거하였다. 이로부터 파고에 대한 스펙트럼을 구하여 다음의 관계식을 이용하여 분석을 수행하였다.

$$H_L = 4 \sqrt{m_0} \quad (1)$$

$$T_L = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (2)$$

여기서, H_L 은 장주기파의 유의파고, T_L 은 장주기파의 평균주기를 나타내며, m_0 와 m_2 는 0차 및 2차 모멘트를 의미한다.

$$m_n = \int_{f_1}^{f_2} f^n \cdot S(f) df \quad (3)$$

여기서, f 는 주파수, $S(f)$ 는 주파수 f 에 대한 수면변동에 대한 스펙트럼 밀도함수, f_1 과 f_2 는 각각 하한 및 상한 절단주파수이며, 하한 절단주파수 f_1 은 단주기파와 장주기파를 구분하는 주파수이다.

본 연구에서는 日本港灣協會(2007)의 기준을 적용하여 $f_1 = 1/300(Hz)$, $f_2 = 1/30(Hz)$ 로 설정하였다.

3.3 단주기파 분석

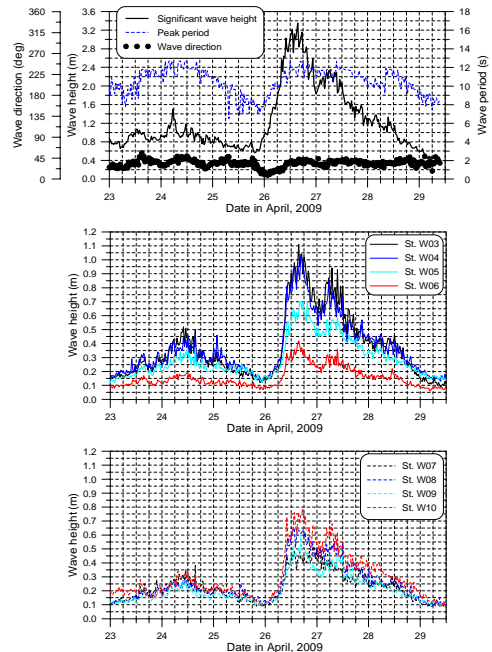


Fig. 2. Results of field data at St. W1, W3~W10(2009. 4. 23~2009. 4. 29).

항의 정점 W1에서 DWB에 의해 관측된 유의파고 (H_s), 첨두주기(T_p) 및 대표파향($\bar{\theta}$; 첨두주기 T_p 에서의 파향)의 시간적 변화를 검토하여 영일만의 파랑특성을 검토하였다.

영일만에서의 대표파향은 N-NE 파향이며 NNE가 가장 우세하였다. 영일만의 형상을 고려하면 이는 당연한 것으로 판단된다. 한편, 최대 유의파고는 2009년 4월 26일 15시 30분의 3.35 m(첨두 주기는 11초, 대표파향은 N35.0° E)로 제시되었다. 또한 하역중단시의 파랑특성은 유의파고 0.6~3.35 m, 첨두주기 2.6~13.0초 파향은 NNE~NE인 것으로 나타났다. 또한 항내 정점 W3~W10에서의 파고자료 분석결과 Downtime Event별 최대유의파고는 0.31~1.11 m(첨두주기 7.5~12.8초)인 것으로 나타났다.

Fig. 2에 2009년 4월 23~29일 동안의 정점별 단주기파 분석결과를 도시하였다.

3.4 장주기파 분석

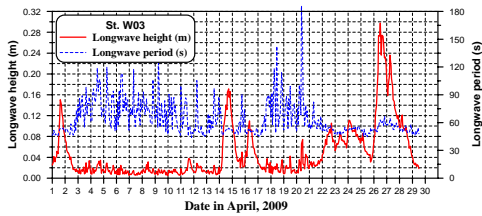


Fig. 3. Variation of H_L and T_L at St. W3(2009. 4).

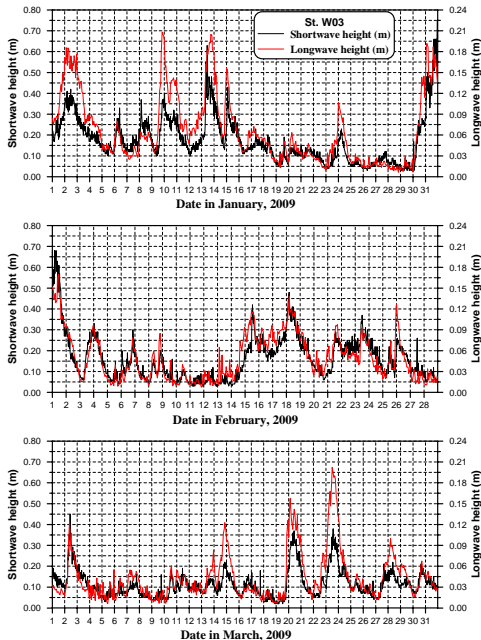


Fig. 4. Variation of H_L and H_S at St. W3(2009. 3~2009. 4).

전술한 식 (1)~(3)을 사용하여 구한 정점W3에서의 장주기파(외중력파) 분석 결과중 일부를 Fig. 3에 제시하였다. 한편, 최대 장주기 파고 H_L 은 약 0.3 m(주기 T_L = 62.9초, 2009년 4월 26일 12시 30분, Event 18, W3)인 것으로 나타났다.

Fig. 4에는 정점 W3에서의 2009년 1~3월 동안의 장주기파와 단주기파의 파고를 도시하고 그 특성을 비교하였다. Fig. 4를 살펴보면 대부분의 장주기파의 파고가 커지는 경우에는 단주기파의 파고도 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 정점별로 살펴보면 slip内の 선석에서는 너울과 외중력파의 다중반사로 인한 중복파가 형성되어 직선안벽의 선석보다 파고비가 상대적으로 높게 나타났다.

4. 하역중단 원인 검토

하역중단 원인을 심도있게 검토하기 위하여 하역중단 발생원인과 지속원인으로 분류하여 검토하였다(Table 1 참조). 분석기간 동안 하역중단 발생원인은 너울(14회, 61%), 강풍과 풍파(5회), 풍파(3회), 강풍과 너울(1회)의 순으로 나타났으며 하역중단 지속원인은 너울(20회, 87%), 풍파(2회), 풍파와 너울(1회)의 순으로 나타나는 등 하역중단의 주된 발생 및 지속원인이 너울인 것으로 나타났다. 또한 하역중단 발생시 부두에 배가 접안되지 않아 하역작업일지 작성이 없었던 경우 등을 포함하면 하역중단이 발생하면 대부분의 부두에서 동시에 하역중단이 일어나는 것으로 파악되었다.

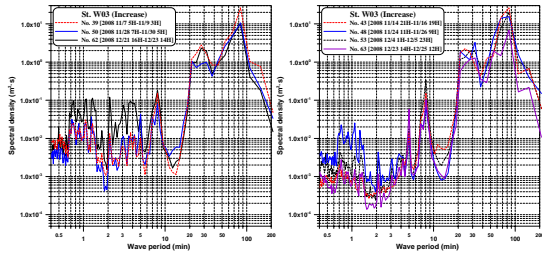
4.1 주기 3분이상 장주기파와 Downtime Events와의 연관성

본 연구에서는 Downtime Events 발생시 장주기파의 PSD(Power Spectral Density)와 작업가능시 장주기파의 PSD를 비교·검토하여 논란이 되어왔던 주기 3분이상의 장주기파와 하역중단과의 연관성을 검토하였다.

주기 3분이상의 장주기파를 분석하기 위해 0.5 초 간격의 관측 자료를 5초 간격의 자료로 re-sampling한 후 조석성분을 제거하고 46시간 자료로 분할하였다. 다시 46시간 간격의 자료를 FFT분석 후 Averaging하여 장주기파의 주기별 스펙트럼을 분석하였다. 분석결과 영일만과 포항신항의 공진주기는 포항신항의 경우 5분, 8.1분, 21.3~32.1분, 영일만의 경우 84분로 나타났다.

Fig. 5(a)와 Table 2에는 Downtime 발생시 정점 W3에서의 PSD를 제시하였다. 이를 살펴보면, 정점 W3의 Downtime 발생시에는 공진주기 84분

과 공진주기 21.3~32.1분에서는 39번 자료에서 최대값을 보였으며 공진주기 8.1분에서는 62번 자료에서, 공진주기 5분에서는 50번 자료에서 최대값을 보였다.



(a) during downtime events. (b) during possible working times.
Fig. 5. Variation of PSD measured at St. W3.

Table 2. PSD measured at St. W3 during downtime events.

no.	PSD				event
	84.0 min	21.3~32.1 min	8.1 min	5.0 min	
39	26.27	2.810(27.7)	0.154	0.0103	1-1
50	10.68	1.051(21.3)	0.080	0.0436	2-1
62	10.11	2.340(27.7)	0.179	0.0369	4-2

Table 3. PSD measured at St. W3 during possible working times.

wave period(min)	no.	PSD	no.	PSD
84.0	43	26.45	44	20.92
	53	19.70		
21.3~32.1	17	2.13(27.7)	18	1.62(21.3)~2.72(27.7)
	32	1.77(21.3)~2.16(27.7)	34	2.11(27.7)
	37	2.39(32.1)	41	2.19(32.1)
	43	2.22(24.2)	48	3.27(32.1)
	61	2.26(27.7)~2.02(32.1)	62	2.34(27.7)
8.1	17	0.134	18	0.173
	32	0.166	39	0.154
	43	0.155	53	0.342
	61	0.274	68	0.146
5.0	44	0.032	45	0.037
	63	0.058	68	0.046

반면에, Fig. 5(b)과 Table 3에는 작업가능 시간동안의 정점 W3에서의 PSD 중 Downtime 발생시 공진주기별 최대 PSD를 초과하거나 유사한 경우의 값들을 제시하였다. 이를 살펴보면, 정점 W3의 작업가능 시간 동안에도 공진주기 84분에서는 자료 43번에서, 공진주기 21.3~32.1분에서는 48번 자료에서, 공진주기 8.1분에서는 53번 자료에서, 공진주기 5분에서는 63번 자료에서 상당한 크기의 PSD 값을 보였으며 Downtime 발생시의 PSD 최대값보다 오히려 더 큰 값들을 나타냈다.

5. 결론 및 토의

항내정온도가 문제시되는 포항신항에서 DWB, 수압식 파고계 및 AWS를 사용하여 6개월 동안 현장관측한 장·단주기파 자료, 바람자료 및 기상청 강수자료와 포항신항의 하역중단 기록을 이용하여 포항

신항의 Downtime의 원인에 대해 종합적으로 분석하였다. 본 연구를 통해 구해진 결론은 다음과 같다.

2008년 11월부터 2009년 4월까지 총 23회의 downtime events가 발생하였으며 현장관측한 바람 및 파랑자료와 기상청자료, 하역작업일지를 비교·검토한 결과 모든 events가 단주기파(풍파, 너울)에 의해서 발생하였다.

단주기파와 장주기파(외중력파)의 파고 특성을 비교한 결과 장주기파가 커지는 경우에는 단주기파도 커지는 경향을 보였으며, 하역중단시와 하역가능시의 장주기파(주기 3분이상)를 비교·검토한 결과를 감안하면 현재까지의 관측결과로 판단할 때 영일만파 포함신항의 부진동(주기 80분, 21.3~32.1분, 8.1분, 5분) 등 장주기파는 포함신항의 하역중단과 관계가 낮은 것으로 보인다.

slip内の 선석에서는 너울과 외중력파의 다중반사로 인한 중복파가 형성되어 직선안벽의 선석보다 파고비가 상대적으로 높게 나타났다. 항내 수면이 잔잔할 때 선박의 장주기 동요에 의해 작업을 못한 경우가 가끔 발생한다는 하역작업 종사자의 傳言은 Slip 內에서 너울(15초 전후) 및 외중력파(1분 내외)에 의한 선박의 동요가 부진동(5분 이상)에 의한 것으로 오해되었을 가능성이 있다.

추가 관측기간의 자료 분석이 남아 있지만 현재까지의 결과로는 단주기파(너울)을 성공적으로 차폐시키면 이에 수반된 외중력파의 항내침입도 감소되므로 포함신항의 정온도가 향상될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 포항지방해양항만청의 “포항신항 스웰원인분석 및 개선대책 수립용역사업”을 통하여 수행된 포항신항 내외에서의 장·단주기파의 장기간 동시관측자료 분석 및 포항신항의 하역불능 상태에 대한 검토결과의 일부이며, 현장관측 및 자료분석에 수고해주신 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부의 여러분께 감사드립니다. 또한 포항신항의 Downtime 기록을 제공해주신 부두 운영사 및 (주)대영엔지니어링 관계자에게도 감사드립니다.

참고문헌

- 정원무, 오세범, 채장원, 김상익, 포항신항내 파랑에 의한 Downtime 분석, 1997. 3., 한국해양해양공학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 24~34.
- 日本港灣協會, 2007, 港灣の施設の技術上の基準・同解説., p. 178.