

신항만 설계시의 항만가동을 추정

(Downtime Analysis in the Design of a New Harbor)

정원무* 송태관** 채장원*

1. 서 론

최근까지의 국내 신항만 설계시에는 50년 빈도 심해파나 평상파 조건을 사용한 이상시 및 평상시 항내정온도 검토는 수행되었으나 파랑에 의한 연중가동을 추산은 과학기술처(1993)의 연구에서 동해항을 대상으로만 실시되었다. 본 연구에서는 부산 신항(그림 1 참조)의 연중가동율을 수치실험과 3차원 수리모형실험에 의해 추정한 결과를 제시한다.

부산 신항의 파랑에 의한 연중가동을 산정에 필요한 파랑 자료로는 해양수산부의 R&D 사업에서 1986년~1995년의 10년간 3시간 간격으로 추산한 자료와 일본 기상청(JMA)에서 일본 열도와 한반도 주변의 파를 추산한 결과중 4년간(1983년 1월~1986년 12월)의 자료가 사용 가능하였다. 그러나, 전자는 아직까지 최종적인 결과가 제시되지 않았으므로 JMA 자료를 사용하였다. JMA 자료중 격자번호 1516에서의 결과를 16 방위별로 유의파고 $H_{1/3}$ 및 유의파주기 $T_{1/3}$ 에 대해 분석하였다. 16 방위중에서 부산 신항의 배치안의 정온도에 영향을 미치는 파향으로는 항만의 평면 배치, 파향별 연중출현율 및 거제도과 대마도의 위치를 고려하여 SSW, S 및 SSE의 3개 파향을 선정하였다.

광역과 세부역의 수치모형 및 부산 신항에 대한 3차원 수리모형실험 결과를 조합하여 연중가동율을 산정하였다. 그 결과 부산 신항의 부두별 연간 가동율은 일반 부두는 98.2 %, 소형선 부두는 96.0 %, 복컨테이너 부두는 98.9 %, 그리고 남컨테이너 부두는 99.5 %로 나타났다.

2. 파랑 및 작업한계 파고 설정

2.1 파랑 자료

가덕도 인근 격자점에서의 4년간 JMA 추산자료를 16 방위별로 분리한 후 6초 이하, 7초(6~8초), 9초(8~10.5초), 12초(10.5~13.5초) 및 15초(13.5초 이상)의 5개 주기군으로 구분하고 각 주기군에서 1 m 간격의 파고 구간을 다시 설정하여 주요 방향별 파랑의 누적출현율을 산정하는 방법을 사용하였다. 표 1에 3개 파향(SSW, S, SSE)별 4개 주기(7, 9, 12 및 15초)의 12개 파랑조건(6초 이하는 선체운동에의 영향이 작을 것으로 생각되어 제외)을 제시하였다.

* 한국해양연구소 연안공학연구부

** 농어촌연구원 수리시험장

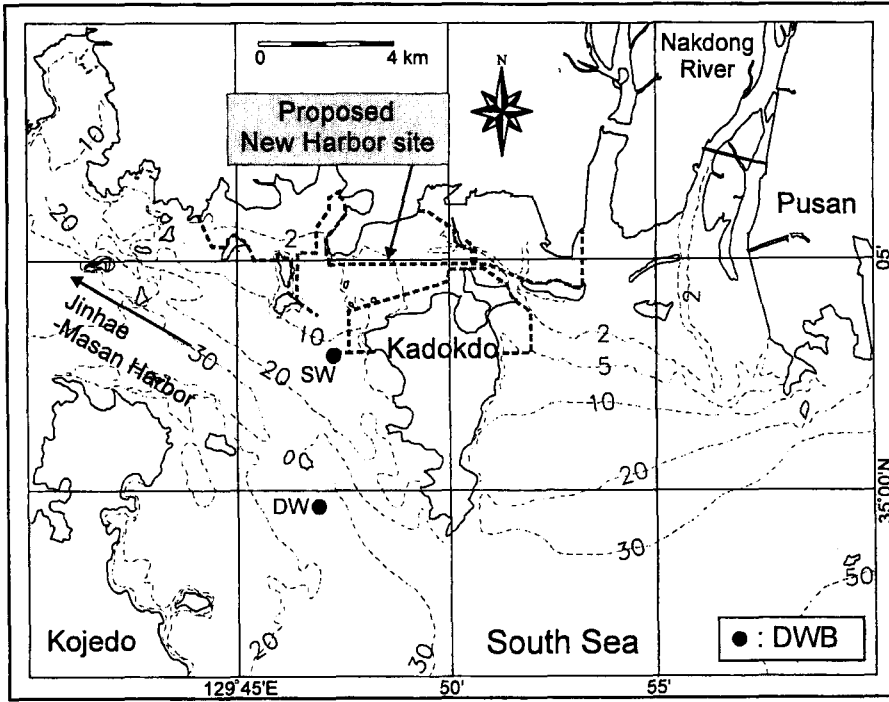


그림 1. 부산 신항의 평면 배치 및 파랑 관측정점 위치도.

표 1. JMA 자료의 파향 및 주기별 파고 출현빈도 및 출현율.

파향		SSW	S	SSE	합계
주기					
6초 이하		234 (4.00)	146 (2.50)	157 (2.69)	537 (9.19)
7초	0~1	91 (1.56)	69 (1.18)	39 (0.67)	199 (3.41)
	1~2	167 (2.86)	64 (1.10)	29 (0.50)	260 (4.45)
	2~3	15 (0.26)	5 (0.09)	4 (0.07)	24 (0.41)
	3~4		1 (0.02)	1 (0.02)	2 (0.03)
9초	0~1	7 (0.12)	26 (0.44)	15 (0.26)	48 (0.82)
	1~2	61 (1.04)	21 (0.36)	7 (0.12)	89 (1.52)
	2~3	26 (0.44)	3 (0.05)	2 (0.03)	31 (0.53)
	3~4	2 (0.03)	3 (0.05)		5 (0.09)
	4~5	2 (0.03)			2 (0.03)
12초	0~1	17 (0.29)	19 (0.33)	9 (0.15)	45 (0.77)
	1~2	55 (0.94)	24 (0.41)	14 (0.24)	93 (1.59)
	2~3	12 (0.21)	10 (0.17)	5 (0.09)	27 (0.46)
	3~4		7 (0.12)		7 (0.12)
	4~5	5 (0.09)	2 (0.03)		7 (0.12)
	5~6	2 (0.03)	3 (0.05)		5 (0.09)
	6~7	1 (0.02)			1 (0.02)
	7~8	1 (0.02)			1 (0.02)
15초	0~1	3 (0.05)	6 (0.10)	10 (0.17)	19 (0.33)
	1~2	11 (0.19)	20 (0.34)	17 (0.29)	48 (0.82)
	2~3	8 (0.14)	13 (0.22)	2 (0.03)	23 (0.39)
	3~4	1 (0.02)	2 (0.03)		3 (0.05)
	4~5	2 (0.03)			2 (0.03)
비율		723 (12.37)	444 (7.60)	311 (5.32)	1478 (25.29)

* 괄호안의 숫자는 백분율을 나타냄.

Total = 5,844

2.2 항만가동을 산정을 위한 부두별 하역한계 파고조건

항만시설물 설계기준서(해운항만청, 1993)에는 선박을 소형선(500톤급 미만), 중·대형선 및 초대형선(50,000톤급 이상)으로 구분하고 박지의 하역한계 유의파고를 각각에 대해 0.3 m, 0.5 m 및 0.7~1.5 m로 설정하고 있다. 또한, 정박 또는 접안용 박지에서 전면 수역이 연간 95~97.5 % 이상의 작업을 가능케 하는 정온도의 확보를 설계 기준으로 제시하고 있다. 본 연구에서는 상기 기준외에 上田(1984), Thoresen(1988) 등의 연구를 참조하여 하역한계 파고조건으로 소형선 부두는 0.3 m, 일반 부두는 0.5 m, 컨테이너 부두는 0.3 m으로 설정하였다.

3. 수치계산

3.1 계산 영역의 구분

부산 신항의 파랑 변형 수치모델링은 계산 영역이 매우 광범위하므로 계산의 효율성과 정확성, 그리고 파랑전파 현상의 특성을 고려하여 계산 영역을 광역과 세부역으로 구분하고 목적에 부합되는 별도의 수치모형을 적용하였다. 즉, 해안선에 의한 반사의 영향이 작은 광역에서는 타원형 수치모형, RCPWAVE(Ebersole 등, 1986)를, 그리고 반사를 고려해야 하는 가덕도 서안의 세부역에 대해서는 쌍곡형 수치모형, HCORD(과학기술처, 1988)를 사용하였다. 광역의 격자망도는 124×195개의 격자($\Delta x = \Delta y = 250$ m), 세부역의 격자망도는 1,500×1,060개의 격자($\Delta x = \Delta y = 10$ m)로 구성되었다.

3.2 불규칙파 고려 방법

본 연구에서는 Goda(1985)의 전체 파에너지의 분산도에 근거한 불규칙파 개념에 기초한 방법을 사용하였다. 광역은 에너지 감소거리가 긴 너울, 그리고 세부역은 감소거리가 짧은 너울의 입사를 가정하고 16 방위 분할을 기준하되 방향집중도 parameter S_{max} 로 25와 75를 각각 적용하였다. 세부역의 수치계산시 입력조건중 하나인 고체 경계면에서의 반사율은 자연 해안인 경우 0.2, 급경사 해안의 경우 0.6, 테트라포드로 피복된 방파제의 경우 0.4, 소파 안벽의 경우 0.5, 그리고 직립 안벽에 대해서는 0.9를 적용하였다.

3.3 수치계산

광역의 수치계산시 심해파고는 편의상 10.0 m로 결정하였으며, 방향 성분은 16 방위 분할과 $S_{max} = 25$ 를 기준하여 입사파를 기본 파향(0°)과 이의 좌우 $\pm 22.5^\circ$ 및 $\pm 45.0^\circ$ 의 5개 성분파로 분할하고 각각을 수치계산한 후 합성하였다. 세부역의 수치계산은 규칙파를 사용하되 25 격자마다 광역에서 제시된 평균된 파고와 파향을 사용하였다. 세부역의 수치모형 검증은 해양수산부(1997)에서 실시한 DWG(Directional Waverider Buoy) 2대를 사용한 동시관측(그림 1의 DW,

SW) 결과와의 비교를 통해 실시되었다. 세부역의 결과를 수리모형실험 결과와 결합함으로써 항만가동율을 산정하기 위하여 서방파제와 동방파제 사이에 평균 파고비 산출을 위한 가로 100 격자, 세로 60 격자의 장방형 수역을 설정하였다.

4. 항만가동율 산정

주기 15초, 파향 S10°W의 입사파에 대해 수치모형실험 결과에서는 파고 7.84 m가 제시되었으나 수리모형실험에서는 가능한 한 입사파고를 키우기 위해 8.28 m를 사용(관측 오차를 줄이기 위함이며 비선형 효과는 없다고 가정하였음)하였으며 이를 고려한 환산된 심해 설계파고는 10.56 m(= 10.0 m × 8.28/7.84)가 된다.

부산 신항은 부두에 따라 파고비의 변화가 심하므로 선박의 종류와 파고비 분포를 감안하여 수역을 설정하였다. 본 연구에서는 일반 부두의 경우 5,000톤급(구간 A)과 20,000톤급(구간 B) 부두, 북컨테이너 부두와 남컨테이너 부두는 각각 3개 구간(서쪽에서 1.4 km 및 1.0 km씩의 부두 연장을 구간 A, B, C)으로 구분하며 소형선 부두는 하나의 수역으로 결정하였다. 이하에 부두별 항만가동율을 산정하는 수순을 간략하게 제시하였다.

먼저, 수리모형실험시의 측정별 파고를 평균하고 환산된 심해설계파고에 대한 파고비와 전술한 장방형 수역의 파고비 0.366에 대한 상대파고비를 구하였다. 다음, 수치계산에 의한 12개 조건 각각의 평균파고비에 항입구의 평균구간에 대한 상대파고비(0.366)를 곱하여 부두별 평균파고비를 구하였다. 다시 부두별 작업 한계파고(일반 부두 = 0.5 m, 기타 부두 = 0.3 m)를 부두별 평균파고비로 나누어 작업한계파고를 유발하는 한계 입사파고를 구하였다. 이 결과와 표 1의 주기 및 방향별 출현빈도를 이용하여 작업 한계파고를 유발하는 자료의 갯수를 구하였으며 그 결과를 표 2에 제시하였다. 표 2를 기준하면 부산 신항의 부두별 연간 가동율은 일반 부두는 98.2 %, 소형선 부두는 96.0 %, 북컨테이너 부두는 98.9 %, 그리고 남컨테이너 부두는 99.5 %로 나타났다.

표 2. 작업 한계파고를 유발하는 파랑자료 갯수 및 부두별 연간 가동율.

위 치		SSW				S				SSE				합계	항만 가동율(%)
		7초	9초	12초	15초	7초	9초	12초	15초	7초	9초	12초	15초		
일반 부두		-	32	9	6	5	6	13	11	17	5	2	2	108	98.2
소형선 부두		-	65	13	12	32	16	21	22	30	8	6	9	234	96.0
북컨테이너 부두	A	-	49	9	9	12	10	17	16	24	7	3	4	160	97.3
	B	-	8	3	2	-	3	4	1	4	1	-	-	26	99.6
	C	-	3	1	-	-	-	2	-	1	-	-	-	7	99.9
남컨테이너 부두	A	-	20	7	3	2	4	8	5	5	3	-	1	58	99.0
	B	-	6	3	2	1	3	4	1	4	1	-	-	25	99.6
	C	-	3	1	1	-	1	2	-	2	1	-	-	11	99.8

5. 결론 및 토의

부산 신항에 대한 수치실험과 3차원 수리모형실험 결과를 결합하여 연간가동율(바람 또는 우천에 의한 영향은 제외)을 산정한 결과 부두별로 96~99.5%로 제시되었다. 이는 관측 자료 및 추산 자료와 수치 및 수리모형실험의 정확도의 한계성에도 불구하고 항만가동율을 파악하는 데 충분한 지표가 될 것으로 사료되었다.

일반적으로 항만가동율을 계산하기 위해서는 여러 개의 관련된 파랑 주기 및 파향에 대한 불규칙파를 사용한 수치 또는 수리모형실험을 실시하고 이 두 결과를 상호 보완적으로 활용해야 한다. 그러나, 수치모형실험의 경우 계산 영역이 방대하여 부분적으로 규칙파가 사용되었다. 수리모형실험에서는 모형 영역의 제한으로 축척이 작아져서 15초 이하의 주기 조건은 불규칙파를 발생시키기가 곤란하여 제외하였다.

참 고 문 헌

- 과학기술처, 1988. 해안구조물 적정 설계조건 결정 기법의 체계화 연구(II). 연구기관 한국과학기술원 부설 해양연구소.
- 과학기술처, 1993. 항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구(III). 연구기관 한국해양연구소.
- 해양수산부, 1997. 부산 신항 방파제 실시설계. 수치모형실험보고서, 연구기관 한국해양연구소.
- 해운항만청, 1993. 항만시설물 설계기준서.
- Ebersole, B. A., Cialone, M. A. and Prater, M. D., 1986. Regional coastal processes numerical modeling system; Report 1, RCPWAVE. Tech. Report CERC-86-4.
- Goda, Y., 1985. Random seas and design of maritime structures. Univ. of Tokyo Press.
- Thoresen, C. A., 1988. Port design; Guidelines and recommendations. Tapir Publishers.
- 上田茂, 1984. 係岸船舶の動搖解析手法とその應用に關する研究. 港灣技研資料 No. 504.