

# 부산항과 감천항 방파제 인접 항로에서 선체에 작용하는 횡압류 현상에 관한 연구

이윤석\* · 김철승\*\* · 공길영\*\*\* · 임남균\*\*\*\* · 이충로\*\*\*\*\*

\* 한국해양대학교 연구원, \*\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부, \*\*\* 한국해양대학교 운항시스템공학부  
\*\*\*\* 삼성중공업(주) 조선해양연구소, \*\*\*\*\* 한국해양수산연수원

## A Study on the Drift Phenomenon of a Ship on the Waterway near the Breakwater of Busan and Gamcheon Port

Yun-Sok Lee\* · Chol-Seong Kim\*\* · Gil-Young Kong\*\*\* · Nam-Kyun Im\*\*\*\* · Chung-Ro Lee\*\*\*\*\*

\* The Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea.

\*\* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 503-729, Korea

\*\*\* Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*\*\* Research Engineer, Marine Research Institute, Samsung Heavy Industry Co.,Ltd., Daejeon, Korea

\*\*\*\*\* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan, Korea

**요 약** : 항만을 출입항하는 선박의 통항 안전을 확보하기 위해서는 방파제와 같은 항만 시설물의 설계 또는 배치시에는 우선적으로 선박의 조종 성능을 감안하여 교통 흐름이 원활하도록 적절한 항로를 지정하여야 한다. 이 연구에서는 부산항 및 감천항 입항을 위해 방파제 인접 항로에서 일정 침도로 접근하는 컨테이너 선박이 외력인 바람, 조류, 파랑에 의해 선체에 발생하는 횡압류 및 회두 현상을 정량적으로 분석하여, 선속에 따라 외력을 상쇄하기 위해 취해야 할 대응타각을 산출한다. 또한 항후 방파제 설계 및 배치시 고려해야 될 외력하의 선박의 조종 성능 요소를 제안함과 동시에 방파제의 설계와 항로 배치와의 관계에 대하여 고찰한다.

**핵심용어** : 횡압류, 방파제 설계, 통항 안전, 항로 배치, 외력, 선박 조종

**Abstract** : In order to secure the traffic safety especially in the entrance waterway of harbour, it is important that the breakwater and the port facilities should be designed properly considering ship-handling difficulty and traffic flow. In this study, the lateral force acting on ship hull under the external force(wind, current, wave) is investigated quantitatively for the container ship approaching to the Busan and Gamcheon breakwater. The relation of ship-handling difficulty to the breakwater and the arrangement of ship's routine are examined on the lateral force under the external force. Some of reviews to secure traffic safety on the design of breakwater are discussed.

**Key words** : Lateral force, Breakwater design, Traffic safety, Arrangement of route, External force, Ship-handling

## 1. 서 론

일반적으로 선박을 조선함에 있어 항로의 입구 또는 방파제 인근 해역에서는 비교적 흐름의 변화가 심하고 빠른 조류, 파랑, 바람 등과 같은 외력들의 영향을 받기 쉽다. 이러한 해역에서의 통항 안전을 확보하기 위해서는 일반적으로 해상 교통량의 집중이 예상되는 항로 입구에서의 항로 폭을 항로 내측의 항로 폭 보다 더 넓도록 설계하여야 하고, 방파제와 같은 항만 시설물은 지역적 환경적 상황에 관한 분석과 선박의 조종 성능에 미치는 영향을 평가하여 신중히 결정하여야만 한다.

특히 방파제, 호안 또는 소파 구조물과 같은 항만 시설물은

일단 설계 및 배치가 완료되면 재배치 및 개량이 어렵기 때문에 초기 설계에서부터 조류, 바람, 파도 등과 같은 외력하에서 선박의 안전 통항을 충분히 고려하여야 하고, 항후 항만의 확장 및 유지 보수 등을 종합적으로 감안하여 최적의 배치가 되도록 노력해야 한다.

항만 기능의 1차적인 요건은 선박의 안전한 입출항과 함께 계류시의 원활한 하역 작업이 이루어지도록 설계하는 것이 원칙이나, 현재는 선박의 안전한 입출항 보다는 항만을 파로부터 보호하는 항만의 정온도를 우선적으로 고려하고 있어 방파제 공사가 완료된 후에 항로 지정에 하고 있는 실정이다. 다시 말하면 파로부터 잘 보호되는 항만이란 파가 잘 차단되는 형

\* 대표저자 : 이윤석(정회원), lys@bada.hhu.ac.kr

\*\* 정회원, cskimu@mmu.ac.kr

\*\*\* 정회원, gykong@hhu.ac.kr

\*\*\*\* 정회원, namkyun.im@samsung.com

\*\*\*\*\* 정회원, crlee@seaman.or.kr

태로 방파제가 설계되므로 결국은 선박의 입출항이 그 만큼 어려워진다고 할 수 있다.

현재 방파제의 설계에 따른 항로 폭을 결정함에 있어서는 해상교통량 분석을 기초한 연구 결과(박, 2003)가 있으나 선박의 조종 성능 측면에서 방파제의 영향을 정량적으로 평가한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 이와 같은 실정을 토대로 대형 선박이 부산항과 감천항 방파제를 통과하기 위해서 일정 침로로 접근할 경우 외력에 의한 압류 및 회두 현상을 정량적으로 파악하여 현행의 방파제와 항로 배치에 대한 객관적인 평가와 함께 방파제 인근 구역에서의 일어나는 조선상의 제약 조건 등에 대해 검토하고자 한다. 또한 향후 방파제와 같은 항만 시설물의 설계 시 해상교통량 분석을 통한 항로 배치와 함께 선박의 조종 성능 요소로서 반드시 평가해야 될 요소들을 제안하고 이에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. 외력에 따른 압류 및 대응타각 계산

선박이 바람, 조류, 파랑과 같은 외력하에서 항해시에는 외력이 작용하는 방향과 크기에 따라 선체에 미치는 영향이 다르지만 일반적으로 선체에 나타나는 영향으로는 저항 증가로 인한 선속의 감소, 압류 현상과 선수 회두 현상 등을 들 수 있다. 이러한 압류 현상은 바람으로 인한 풍압력, 조류에 의한 유압력, 파랑에 의한 표류력이 가장 큰 원인으로 작용한다. 통상적으로 선박은 외력에 의해 압류되면서 항주하기 때문에 선박이 진행하고자하는 방향과 실제 항적은 Fig. 1과 같이 반드시 일치하지 않는다. 풍압력, 유압력, 표류력과 같은 외력에 의해 형성되는 Drift Angle을  $\beta$  로 정의하면, 선박 운항자는 이러한 표류각에 대응하여 적절한 타각에 기인한 유체력을 이용하여 균형을 취하면서 항행하게 된다.

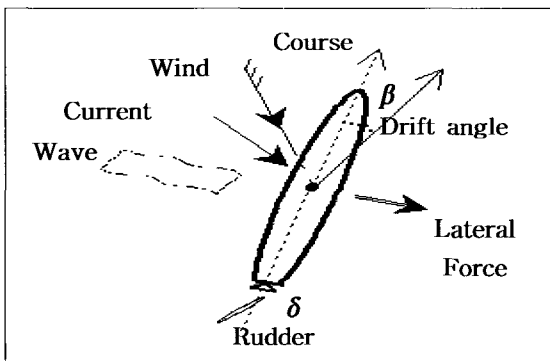


Fig. 1 Drift angle due to the external force

외력에 의한 횡압류 및 모멘트를 각각  $Y_E, N_E$ 라 정의하면 (1)식과 같고, 바람, 조류, 파도 등의 외력에 의해 발생하는 유체력, 타각에 의해 발생하는 유체력 등을 고려한 선체의 총 유체력 방정식을 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Y_E = Y_a + Y_w + Y_c, N_E = N_a + N_w + N_c \quad (1)$$

$$F_y = Y_\beta \beta + Y_R + Y_E, M_z = N_\beta \beta + N_R + N_E \quad (2)$$

여기서 첨자 a, w, c,  $\beta, \delta$ 는 바람, 파랑, 조류, 표류각, 타각을 의미하며,  $Y_\beta, N_\beta, Y_R, N_R$ 는 표류각에 의한 횡축 유체력 및 회두 모멘트에 대한 미계수, 타각에 의해 발생하는 유체력과 회두 모멘트를 각각 의미한다.

위에서 언급한 선체 유체력, 외란에 의한 유체력, 타에 기인한 유체력 방정식을 이용하여, 선박의 평형상태 방정식을 유도할 수 있다. 선박이 표류각 없이 정상상태를 유지하며, 전진하는 것으로 가정하면 표류각에 기인하는 유체력 및 모멘트 즉,  $Y_\beta \beta = 0, N_\beta \beta = 0$ 의 조건이 성립한다. 또한 횡축에 대한 유체력과 회두 방향의 모멘트의 총합 즉,  $F_y = 0, M_z = 0$ 의 조건 또한 만족되어야 한다. 선박이 외란의 영향을 받으며, 표류할 때는 통상 표류각을 갖고 전진하게 된다. 보다 현실적인 계산을 위해서는 표류각을 포함한 계산을 수행하여야 하나 본 연구는 외란에 대한 대응 타각의 계산법을 고찰하기 위한 기초 연구로 수행된 바, 다소 과감하기는 하지만 선박은 표류각 없이 전진한다는 가정 하로 수행되었다. 이를 방정식에 반영하면, 평형방정식 (3)-(4)을 얻을 수 있다. 이 식은 타각에 의해 발생한 횡축 유체력, 선수각 회두에 대한 모멘트가 외란에 유체력과 상사되는 조건을 의미한다.

이 식을 이용하면, 타의 효과적인 제어만으로 외란에 대응하여, 표류각이 발생하지 않고 항해 할 수 있는 대응 타각을 계산 할 수 있게 된다.

$$Y_a + Y_w + Y_c + Y_R = 0 \quad (3)$$

$$N_a + N_w + N_c + N_R = 0 \quad (4)$$

선체에 외력이 작용할 경우 만약 선박이 대응타각을 적절히 취하지 않으면 선박은 외력에 의해 계속 압류되어 위험한 상태를 초래하게 된다. 감천항 방파제 인접 항로상에서 외력에 의해 선박이 압류되는 현상에 대한 시뮬레이션 일례를 그림 2에 나타낸다. Fig.2의 시뮬레이션은 외력에 대한 대응타각을 전혀 사용하지 않은 것으로 구체적인 외력 조건에 대해서는 2.1 절에서 기술한다.

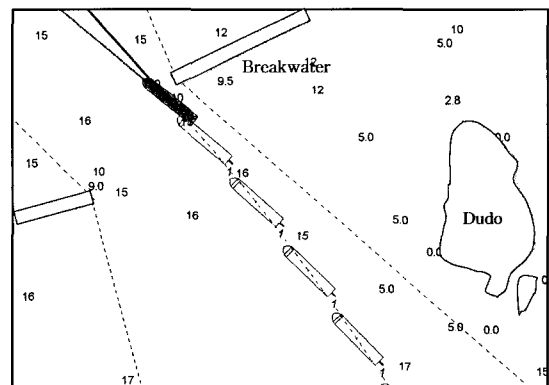


Fig. 2 Entering simulation of Gamcheon port under the external force

2.1 부산항과 감천항의 자연적 조건 및 대상 선박

부산항 및 감천항 방파제 인접 항로상에서 입항을 위해 일정 침로(부산항 309°, 감천항 318°)로 향하는 선박을 대상으로 실제 부산항 및 감천항의 자연적 환경을 토대로 압류를 계산한다. 대상 선박은 컨테이너 선형으로 일반적인 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions of model ship

Type	Model Ship A (Busan)	Model Ship B (Gmacheon)
Length <i>L</i> (m)	241.0	121.4
Breadth <i>B</i> (m)	32.2	20.8
draft <i>d</i> (m)	10.2	6.9
Rudder Area ration ( <i>Ar/Ld</i> )	1/50	1/50
Rudder aspect ratio	1.75	1.833
Longitudinal wind Area ( <i>A<sub>L</sub></i> , m <sup>2</sup> )	3441.0	1300.9

부산지방의 풍향, 풍속 및 파랑에 대한 부산기상청 관측 자료에 따르면 일평균풍속은 3.8m/sec, 풍향별 출현율은 NE 방향이 가장 높은 11.4%이며, 부산의 연평균 파고는 1.08m로 나타났다(설, 2004). 따라서 계산에 이용한 풍속은 3m/s, 5m/s, 10m/s, 15m/s를 고려하였고, 풍향은 횡압류 현상이 가장 크게 발생 할 수 있는 방향인 NNE(춘계 및 추계), SSW(하계)로 했다.

조류 방향 및 크기에 대해서는 부산항에서 가덕도까지를 나타낸 W202(WGS-84) 차트에 표시된 조류(부산항: 낙조류 1.0knot, 창조류 1.1knot 감천항: 낙조류 1.7knot, 창조류 1.8knot)로 설정했다. 파고는 1.08m를, 파향은 풍향 방향과 동일하다고 가정하였다.

2.2 바람에 의한 풍압력(*Y<sub>a</sub>*) 및 풍압모멘트(*N<sub>a</sub>*)

컨테이너선과 자동차운반선과 같이 상부 구조물이 비교적 큰 경우에는 바람의 영향이 매우 현저히 작용한다. 바람에 의한 풍압류 및 풍압 모멘트에 대해서는 Isherwood 식(Isherwood, 1972)을 이용하였으며, 부산항 및 감천항의 풍향은 입항 선박에 대해 거의 정횡 방향으로 작용하였다.

$$Y_a = \frac{1}{2} \rho_a C_{ya} A_L v_a^2 \tag{5}$$

$$N_a = \frac{1}{2} \rho_a C_{ma} A_L v_a^2 L \tag{6}$$

단, *A<sub>L</sub>* : 측면풍압면적, *C<sub>ya</sub>* : 풍압횡력 계수  
*C<sub>ma</sub>* : 풍압모멘트 계수, *v<sub>a</sub>* : 풍속,  
*ρ<sub>a</sub>* : 공기밀도 *L* : 선체 길이

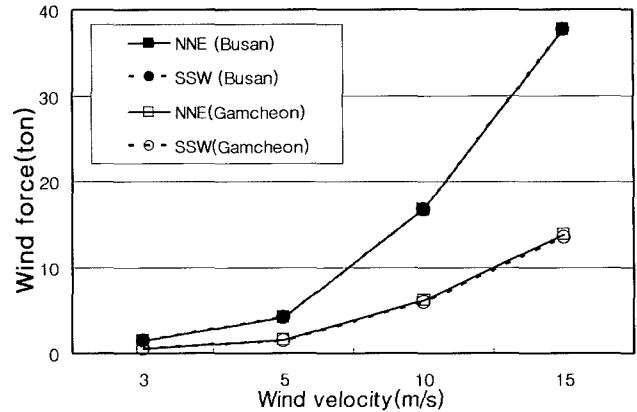


Fig. 3 Wind force with the wind velocity

바람에 의한 부산항 및 감천항의 풍압력을 Fig. 3에 풍속에 따라 제시한다. Fig. 3으로부터 풍속에 따른 풍압력은 부산항에 입항하는 선박이 감천항에 입항하는 선박보다 크기 나타났으며, NNE 풍향이 SSW 보다 조금 큰 결과를 나타냈다. 이러한 주된 원인으로서는 풍향에 대한 외력 조건이 동일하지만 모델 선박의 풍압면적이 감천항 모델 보다 부산항 입항 선박 모델인 A가 2.6배 크며, 또한 입항 침로에 대한 풍향의 방향에 따라 결정되는 풍압계수가 부산항 입항 선박이 크기 때문이다. 풍향별로는 NNE 풍향이 SSW 보다 풍압계수에 조금 크게 작용했기 때문이다.

풍압모멘트는 선박의 풍압 중심점에 따라 달라질 수 있으나 입력된 풍향이 선수미 방향에 대해 90-100도 전후의 정횡 방향으로 풍압모멘트계수가 0에 가까워 바람에 의한 횡두현상은 거의 일어나지 않았다.

2.3 조류에 의한 유압(*Y<sub>c</sub>*) 및 모멘트(*N<sub>c</sub>*)

선속이 작을 경우에는 조류에 의한 영향이 매우 크며, 조류에 의한 유압은 선체를 조류 속도만큼 그대로 이동시키므로 횡방향 조류의 경우 강한 압류 현상을 유발하게 된다. 유압 및 유압모멘트 계산은 선체 침수면적, 조류 속도 및 조류 방향에 대한 횡유압 계수 및 유압모멘트 계수를 변수로 표시하면 다음과 같다.

$$Y_c = \frac{1}{2} \rho C_{yc} L d v_c^2 \tag{7}$$

$$N_c = \frac{1}{2} \rho C_{mc} L^2 d v_c^2 \tag{8}$$

단, *C<sub>yc</sub>* : 유압 횡력 계수 *C<sub>mc</sub>* : 유압모멘트 계수,  
*v<sub>c</sub>* : 풍속, *ρ<sub>w</sub>* : 해수밀도  
*L* : 선체 길이 *d* : 흘수

계산에 이용된 횡유압 계수 및 유압모멘트 계수는 Table 2와 같다. 계수값의 설정은 외력 방향에 대한 모형 실험치(Tsuji, 1969) 곡선을 참고로 선형(방형계수)에 따른 정상 횡력

(Lee, 2003)을 1차 함수로 근사하였다. 따라서 컨테이너 선박에 대한 정횡 방향에서의 최대치를 산출한 후 나머지 각도에 대해서는 실험치 곡선과 같은 경향으로 근사하여 산출하였다.

Table 2 Lateral coefficients of tidal current

Lateral coefficients of tidal current		Model Ship A (Busan)	Model Ship B (Gmacheon)
tidal current	ebb current	1.0knot	1.7knot
	flood current	1.1knot	1.8knot
$C_{ya}$ (force)	ebb current	0.37	0.41
	flood current	0.67	0.43
$C_{ma}$ (moment)	ebb current	0.035	0.051
	flood current	0.043	0.061

조류의 속도에 따른 유압력 계산 결과를 Fig. 4에 나타낸다. 감천항의 경우가 상대적으로 보다 큰 유속을 가지고 있으나 대상 선박이 작고, 조류의 방향에 따른 계수 값이 작아 부산항의 경우가 감천항 보다 크게 나타나고 있다. 또한 낙조류 보다 는 창조류시에 보다 큰 유압력이 작용하고 있음을 알 수 있다. 부산항 및 감천항의 유압모멘트는 창조류가 작용할 경우 최대 로 나타났으며, 그 값은 각각 505ton·m와 277ton·m이었다.

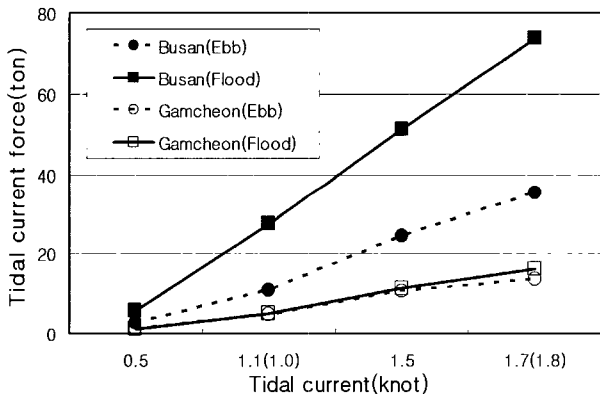


Fig. 4 Tidal current force with the current velocity

2.4 파랑에 의한 표류력(Yw) 및 모멘트(Nw)

파랑에 의한 선체의 저항 증가는 통상적으로 내항성능(김·공, 1997)에서 취급하는 선체운동에 기인하는 저항 증가 및 선 수부로부터의 반사파에 기인하는 저항 증가로 나눌 수 있으나, 여기서는 선박의 횡압류 현상만을 고려하여 선박의 조종 운동에 영향이 비교적 큰 규칙파중에서의 표류력 만을 고려한다. 규칙파중에서의 선회운동을 추정하기(Hirano, 1980) 위해 상대 파향 및 파장/선장비( $\lambda/L$ )의 함수로 표현한 횡방향 표류력 계수와 파 진폭을 변수로 하면 표류력은 다음과 같다.

$$Y_w = \frac{1}{2} \rho C_{yw} g L h_c^2 \quad (9)$$

$$N_w = \frac{1}{2} \rho C_{mw} g L^2 h_c^2 \quad (10)$$

단,  $C_{yw}$  : 표류력 계수,  $C_{mw}$  : 표류력모멘트 계수,  $h_c$  : 파진폭,  $L$  : 선체 길이

부산항과 감천항의 연평균 파고가 1.08m이므로, 파진폭이 0.5m인 경우가 보통적인 해상상태에 대한 표류력에 해당한다. 그러나 실제 해상상태는 불규칙파이므로 불규칙파중에서의 평균 표류력은 유의파의 진폭과 평균 파주기에 대응하는 규칙 파가 갖는 표류력의 약 1/8로 알려져 있다. 실제 계산에는 이를 반영하여 계산하였다.

파랑에 대한 모멘트 또한 풍압모멘트와 동일하게 파랑 방향이 거의 정횡이므로 파랑모멘트계수가 0에 가까워 파랑으로 인한 회두 모멘트는 무시하였다.

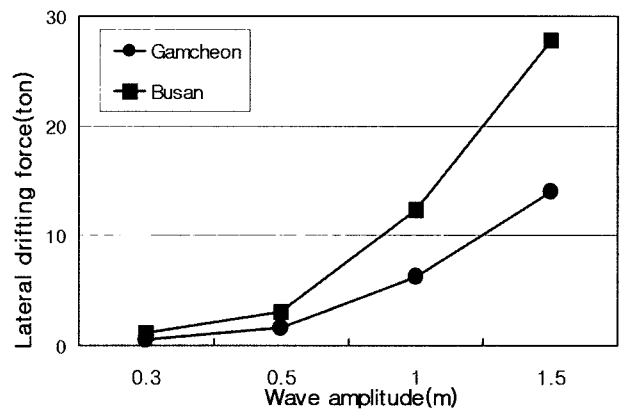


Fig. 5 Drifting force with the wave amplitude

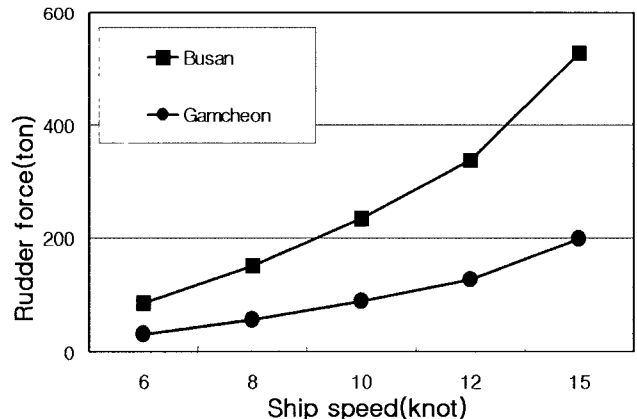


Fig. 6 Rudder force with the ship speed

2.5 타각에 의한 유체력 계산

선박의 조종 성능에서는 조타에 기인한 유체력 산출시 타에 유입되는 유효속도 및 양각 등을 타 단독 특성을 토대로 선체와의 간섭 현상(Hirano, et al. 1981, Kobayashi, et al. 1995)등을 고려할 경우 타각에 의한 유체력은 다음과 같은 식(8)-(10)에 의해 산출 할 수 있다.

$$Y_R = -(1 + a_H)F_N \cos \delta \quad (11)$$

$$N_R = -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \quad (12)$$

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R U_R f_a \sin \alpha_R \quad (13)$$

단,  $F_N$  : 타 직압력,  $f_a$  : 타 직압력계수  
 $A_R$  : 타면적,  $x_R$  : 중심에서 타까지의 길이  
 $U_R$  : 타유입속도,  $\delta$  : 타각,  
 $\alpha_R$  : 타 유효 유입각  
 $a_H$  : 선체에 작용하는 타의 간섭력 계수

상기 식에 의한 계산 결과를 Fig. 6에 나타낸다. Fig. 6는 선박의 타 면적만을 고려하여 조타에 기인한 유체력을 부산항과 감천항 입항 선박을 대상으로 산출한 것이다. 계산 결과 부산항 입항 모델이 타직압력 계수는 작으나 타 면적이 커 감천항보다 크게 나타났다.

### 3. 부산항과 감천항의 횡압류 및 모멘트에 대한 대응 타각

Fig. 7과 8에 부산항과 감천항 방파제 인접 항로상에서 입항 선박이 외력에 따른 횡 압류 현상을 피하기 위하여 취하여야 할 대응타각을 선속에 따라 각각 나타낸다. 여기서 대응타각이란 압류 현상을 상쇄하기 위한 타각으로써 외력에 의해 발생하는 회두현상에 대한 타각이 아니다. 대응타각은 입항 침로가 정해진 선박이 외력에 따른 선체의 압류 현상에 대해 자력 조선의 가능 여부를 판단하게 하는 기준으로 사용될 수 있으므로 만일 자선이 제어 가능한 타압력 이상의 압류가 작용할 경우에는 예인선의 지원을 받아 조선을 하여야 한다.

Fig. 7에 의하면 부산항 입항시의 횡압류에 대한 대응타각은 Fig. 8의 감천항에 비해 비교적 작으나, 창조류시 풍속이 10m/sec 이상이고 선속이 6knot 이하가 되면 조타에 의한 보침이 어려워진다. 부산항 방파제 인접 항로상에서 압류 현상을 줄이기 위해서는 선속을 8knot 이상으로 유지하는 것이 좋고, 창조류시의 입출항을 피하는 것이 좋다.

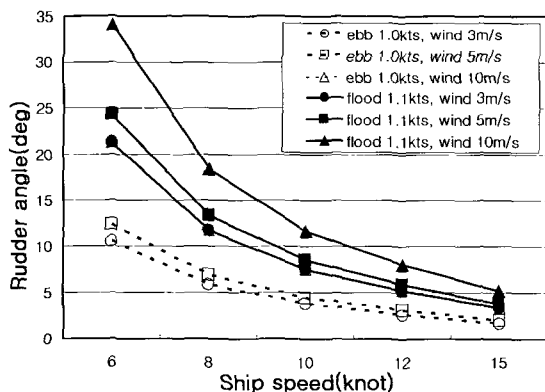


Fig. 7 Rudder angle of the ship speed(Busan)

Fig. 8의 감천항의 경우에는 창조류시 풍속이 5m/sec 이상이고 선속이 8knot 이하가 되면 자력 조선이 어려워진다. 따라서 입항 속력을 10knot 이상으로 하고 가급적 최강창조류를 피하여 입항하는 것이 바람직하다고 사료된다. 하지만, 감천항의 경우 횡압류를 줄이기 위해 선속을 증가시킬 경우 방파제 통과후 접안 부두까지의 거리를 고려한다면 선속을 줄이기 위해 다시 무리한 조선을 행해야 하는 부작용이 발생할 수 있다.

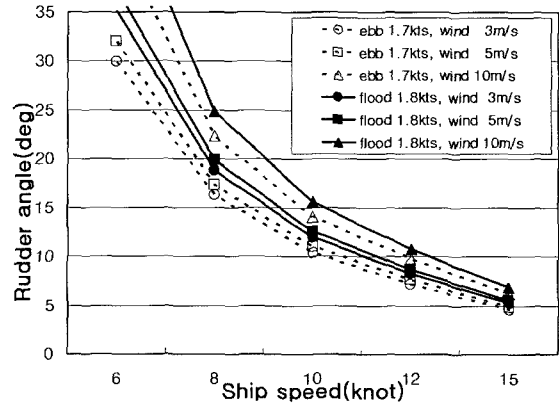


Fig. 8 Rudder angle of the ship speed(Gamcheon)

부산항과 감천항의 일반적인 해상 상태(파고 1.08m) 및 기상 상태 조건(바람 3m/s)하에서 횡압류를 계산한 결과가 Fig. 9이다. 선박의 안전한 입항을 위해서는 공통적으로 입항 속력을 높이고 가급적 조류가 심한 시기를 피해 입항하는 것이 좋을 수 있지만, 방파제 통과후 접안 부두까지의 거리 및 항내 조선상의 안전 속력을 감안한다면 Slow 또는 Dead Slow 정도의 속력(6-10knot)이 안전할 것으로 사료된다.

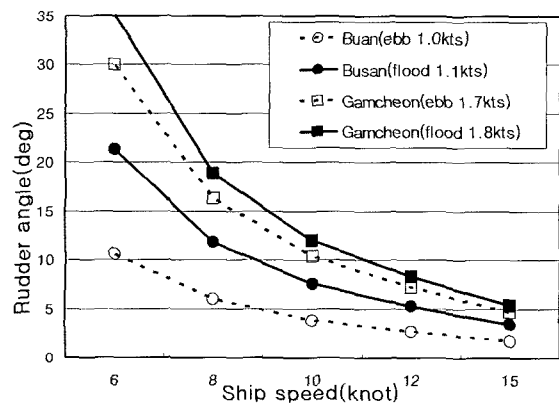


Fig. 9 Rudder angle with the ship speed under the normal weather condition

따라서 감천항의 경우는 현행의 방파제 배치와 항로 지정으로는 선박의 입항에 상당한 지장이 있고, 특히 창조류시의 횡압류로 인한 방파제 및 두도와의 충돌 위험성을 배제할 수 없다. 또한 선박 통항 안전은 최소한 일반적인 자연적 조건하에서 만큼은 보장되어야 함에도 불구하고 6knots 이하 속력으로 입항시에는 대응타각이 30도 이상을 요구하고 있어 선박의 조

선에 상당한 어려움이 있을 것으로 예상된다. Fig. 10에 조류로 인한 선수 회두를 제어하기 위해 필요한 대응타각을 선속(knot)에 따라 제시한다. 부산항과 감천항 모두 창조류시에 회두 현상이 크며, 특히 감천항의 경우가 조류가 강해 이에 대한 대응타각도 크게 나타났다. 감천항의 최대 대응 타각은 약 8도 전후로 적절한 타각으로 충분히 선수 회두현상을 제어할 수 있을 것으로 사료된다.

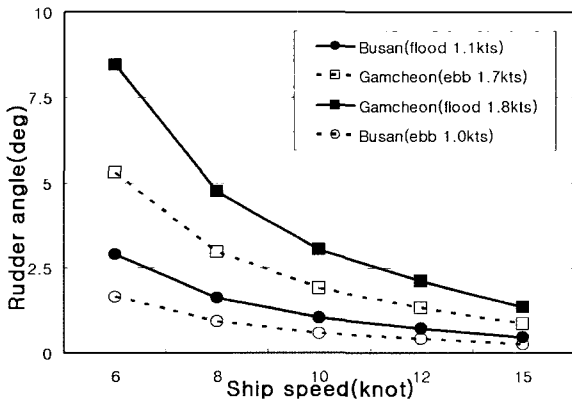


Fig. 10 Rudder angle with the ship velocity due to the moment of tidal current

#### 4. 방파제 설계시 고려해야 될 조종성능 요소 및 항로 배치에 관한 고찰

유럽 지역을 중심으로 한 항로설계 지침인 PIANC Rule에 관한 자료(박, 2001)에는 항로를 설계할 경우 해당 해역의 바람, 조류, 파도 등을 고려한 선체운동역학을 고려하여 배치하도록 정하고 있으며, 특히 선박의 조종성능에 대해서는 횡방향의 조류나 바람에 따른 편각이 선박의 최저 속력시 10도 내지 15도를 넘지 않도록 규정하고 있다. 우리나라의 경우는 아직 방파제와 항로 배치시에 선박의 조종성능에 대한 명확한 기준이 설정되어 있지 않아 향후 방파제와 항로 설계시 선박의 조종성능에 대한 구체적인 기준 검토가 시급히 요구되고 있다.

선박의 조선자 입장에서 가장 바람직한 형태의 방파제 설계 및 배치 조건은 바람, 조류, 파랑과 같은 외력하에서 선박의 통항 안전(최소 항행 속력으로 침로 유지 및 변침)이 보장되는 일이라 할 수 있다.

부산항과 감천항의 사례 분석을 통해 고찰한 바와 같이 입항 선박의 통항 안전을 평가하기 위해서는 외력하에서의 회두현상과 압류현상 같은 요소가 선박의 조종성능 평가 요소로 중요할 것으로 사료된다. 즉, 항만의 자연적 환경에 따라 선박의 조종성능이 다르게 나타나겠지만 방파제의 설계 및 배치에는 최소한 입항 선박에 대한 압류현상과 회두현상을 조사 분석하고 그 결과를 항로 지정에 적극 반영하도록 해야 한다.

또한 방파제의 위치, 항로 폭 등의 결정 및 항로 배치에 대해서는 해상교통량 평가를 통해 향후 항만의 확장 등에 대한 충

분한 검토를 거쳐 확정되어야 하며, 가급적 방파제 설계시에는 항해 전문가를 참석시켜 방파제와 항로를 유기적이고 종합적으로 평가하는 것이 바람직하다.

#### 5. 결론

부산항과 감천항 방파제를 통과하기 위해서 일정 침로로 입항하는 선박에 작용하는 압류현상과 회두현상을 외력을 중심으로 정량적으로 평가하였다. 계산 결과 부산항은 비교적 외력으로 인해 선박의 조종성능이 크게 제약받지 않았으나, 감천항은 현행의 방파제 배치와 항로로는 선박의 입항에 상당한 지장이 있고, 횡압류로 인해 선속이 8knot 이하일 경우에는 자력 조선에 어려움이 있는 것으로 나타났다. 또한 횡압류로 인해 방파제 및 두도와의 충돌 위험성이 존재하므로 방파제와 항로 등에 대한 검토가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서는 선박의 정상상태를 감안한 평형방정식을 이용하여 방파제 및 항로 설계시 선박의 조종 성능에 요소에 관한 고려 필요성을 제안하는 기초 연구를 수행하였다. 그러나 실제 해상의 선박은 타각 등의 제어력과 외란에 의해 발생한 유체력이 평형상태를 이뤄 정상상태를 유지하기 전까지는 다소 복잡한 동적 메카니즘을 거치게 된다. 따라서 보다 정확한 대응 타각의 계산을 위해서는 선박의 동적 특성을 감안한 표류각의 산출과 함께 시뮬레이션의 검증 연구가 요구된다. 이는 향후 수행될 과제 중의 하나이다.

#### 참고 문헌

- [1] 김순갑, 공길영(1997), "선박의 항해중 종합내항성능지표에 관한 연구" 한국항해학회지, 제21권, 제2호, pp. 1-9.
- [2] 박진수 (2001), "(중보) 해상교통공학", 한국해양대학교 해사도서출판부, pp137-172.
- [3] 설동일(2004), 항로표지 장기개발 계획에 관한 조사 연구 (중간보고서), pp. 제2장 1-30.
- [4] Hirono, M., Takashina, K. and Saruta, T(1980), "Ship Turing Trajectory in Regular Waves", The West-Japan Society of Naval Architects, No. 60. pp. 17-31.
- [5] Isherwood, R. M (1972), "Wind Resistance of Merchant Ship", Trans. RINA, Vol. 114, pp 327-336.
- [6] Kobayashi, E., Kagemoto H. and Hukukawa, Y(1995), "Mathematical Models of Ship Manoeuvring Motion", 제12회 조종성 심포지움, 일본조선학회, pp. 23-89.
- [7] Lee, Y. S(2003) "The Safety of Maneuverability based on the Hydrodynamic Forces Acting on Ship Hull under the Lateral Berthing", 한국항해항만학회지, 제27권 제6호, pp. 625-630.
- [8] Park, Y. S. and Lee, H. K(2003), "A Study on Proposed New Consideration Factors in Channel Design

- Process”, 한국항해항만학회지, 제7권 제6호, pp. 661-667.
- [9] Tsuji, T., Mori, N. and Yamanouchi, Y(1969), "On the Force Acting on a Ship Oblique Flow", 일본선박기술연구소보고, 제6권 제5호, pp. 15-28.
- [10] 平野雅祥, 高井忠夫, 松本憲洋(1981), “조선실계의 조종 운동 모델의 응용”, 제3회 조종성 심포지움, 일본조선학회, pp. 101-136.

---

원고접수일 : 2004년 4월 28일

원고채택일 : 2005년 2월 2일