

차단 봉이 혼과 타판 사이에 대칭으로 배치된 타의 틈새유동 수치해석

오정근^{†*}, 서대원^{**}, 김호철^{*}

인하대학교 정석물류통상연구원^{*}, 인하대학교 선박공학과^{**}

Numerical Study on the Gap Flow of a Rudder System with Bisymmetric Blocking Bar

Jungkeun Oh^{†*}, Dae-Won Seo^{**} and Hyo-chul Kim^{*}

Jungseok Research Institute of International Logistics and Trade, Inha University^{*}
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University^{**}

Abstract

In recent practice a half round prismatic bar has fillet welded or formed through foundry work along the centerline on rear concave surface of the horn to mitigate gap flow between fixed and movable part of the rudder system. When the gap clearance has been blocked with this practice, numerical simulations indicate that the practices are not only effective in reducing the gap flow but also in mitigating the cavitation. The blocking effects are remarkably improved when a pair of blocking bar is bisymmetrically attached with respect to centerline on the opposite convex surface of the movable part. The blocking bar could be placed on the exposed surface under maximum rudder angle. This implies that the blocking bar could be easily adopted not only in a design stage but also in a maintenance stage for mitigating rudder cavitation. In addition, the numerical simulations imply that more improvements could be anticipated through the selection of section shape of prismatic bar for gap flow blocking.

※Keywords: Rudder gap cavitation(타 틈새 캐비테이션), Blocking bar(차단 봉), Gap flow(틈새 유동)

1. 서론

최근 속도가 빠른 대형 컨테이너선에서 빈번하게 나타나는 타 캐비테이션은 타 장치에 손상을 일으켜 심할 경우 타의 기능을 마비시킬 수 있으며 이로 인한 해상 사고의 위험성이 증가하게 된다. 또한 타의 수리에는 비용과 시간이 소요되어 경제적 손실의 원인이 된다. 타각이 커지면 타 캐비테이션의 발생 가능성은 증가하지만 운항 상태에서 타각을 키워주면 선박이 선회하며 전진 속도는 줄어들어 캐비테이션 발생가능성도 줄어든다. 선박이 원하는 진행방향으로 선회하였을 때 운항자는 정상 타각을 회복하고 직선항로로 운항한다. 따라서 큰 타각으로 운항하는 시간은 짧아서 캐비테이션 문제는 심각성이 덜 하다. 하지만, 선박이 직선 항로를 유지하기 위하여 대체로 3° 이내의 타각을 장시간 사용하게 되며, 이 때 발생하는 타 캐비테이션은 타 손상의 원인이 된다. 특히 혼-타에서는 고정부분인 혼과 가동부분인 타판 사이의 틈새를 지나는 복잡한 유동이 캐비테이션의 발생 가능성을 높게 만든다. 혼과 타판 사이의 수직방향 틈새를 지나는 유동은 타판의 곡률이 심한 표면에 캐비테이션을 발생시키는 것이 수치계산에서 확인된 바 있다 (Boo et al. 2003). 타 캐비테이션 문제를 해결하기 위하여 실험과 수치계산을 통한 연구들이 활발히 수행되고 있다. Rhee et al.(2006)은 혼-타의 틈새 유동을 차단하기 위한 장치를 제안하였으며 Oh et al.(2008)가 실험과 계산을 통하여 유동차단장치가 틈새 유동을 차단하는 효과를 검증한 바 있다. Boo et al.(2004)은 수치계산을 통하여 레이놀즈 수에 따른 캐비테이션 특성을 살펴보고 틈새의 중앙부에 돌출부를 놓아서 틈새 유동 저감 효과를 확인하였다. Kim et al.(2006a)은 수치계산을 이용한 초대형 컨테이너선박 타의 캐비테이션 추정기법을 정식화하였고 Choi et al.(2007)은 수치계산을 통한 혼 타 주위의 캐비테이션 유동 특성을 살펴보았다. Kim et al.(2006b)은 타 단면 형상에 따른 캐비테이션 저감을 실험적으로 연구하였으며, Kim et al. (2008)은 캐비테이션을 예방하기 위한 컨테이너선의 방향타 설계에 대한 수치적 연구를 수행

하였다. Paik et al.(2008)은 간극 유동이 있는 혼-타 모형에 대하여 PIV기법과 고속카메라를 이용하여 틈새 캐비테이션 특성과 틈새 주위 유동을 관찰하였다.

지금까지는 혼 또는 타 판의 중심선 상에 돌출부를 설치하여 틈새 유동을 완화시키는 방법이 사용되어 왔다. 이 방법은 타 장치의 제작에서 돌출부의 높이를 높이는데 제약이 있어서 틈새 유동차단 효과를 높이기 어려우며 유지 보수가 어렵다는 문제가 있다. 본 논문에서는 틈새유동을 보다 효과적으로 차단할 수 있도록 한 쌍의 차단 봉을 두도록 하였으며 유지보수가 용이하도록 최대 타각일 때 틈새 바깥으로 노출되는 위치에 대칭으로 설치한 경우를 수치적인 방법으로 조사하였다. 2차원 타 단면에 대하여 FLUENT를 이용한 수치해석 결과는 한 쌍의 차단 봉을 대칭으로 배치하여 틈새 유동차단 효과를 더욱 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 타 장치의 제작과 유지보수가 용이하게 개선되는 것을 확인 하였다.

2. 대상 모형 및 수치 해석 방법

2.1 대상 모형

틈새 유동에 대한 수치해석을 수행하기 위하여 8000TEU급 컨테이너선의 혼-타 단면을 이용하였으며, 1/10 크기의 혼 단면 모형과 핀틀 단면 모형 2가지에 대하여 계산을 수행하였다. 계산에 사용된 혼 단면과 핀틀 단면은 모두 NACA0020이며 Fig. 1과 같다.

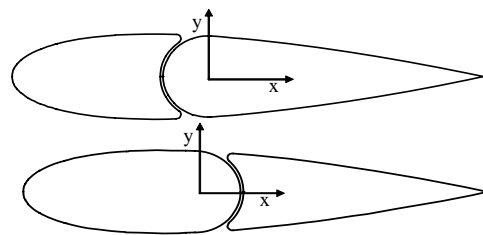


Fig. 1 Models for numerical simulations: horn section (upper) and pintle section (lower)

계산에 사용한 타 장치는 혼 부분에서 타 단면의 코드가 0.8m이고 핀틀 부분에서는 타 단면의 코드가 0.746m 로 줄어들고 있다. 틈새의 간격은 두 단면 모두 5mm로 동일하며 계산은 타 판이 3° 회전이 있을 때에 대하여 수행하였다.

2.2 수치 해석 방법

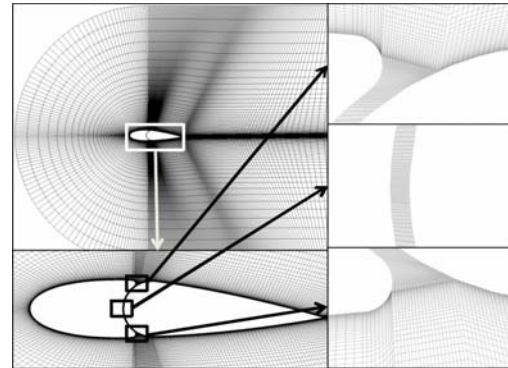
수치 계산에서는 상용코드인 FLUENT 6.3을 사용하였다. 압력과 속도 연성은 SIMPLE기법을 사용하였다. 압력과 모멘트는 2차 차분법, 난류 운동 에너지는 QUICK기법, 난류 소산율 방정식은 1차 차분법을 사용하였다. 비정상(unsteady)상태에 대하여 1차 implicit formulation으로 계산하였으며, 난류 모형은 realizable $k - \epsilon$, 계산의 효율성을 높이기 위해 벽함수는 standard wall function을 사용하였고 이때 벽으로부터 첫 노드 점까지의 거리 Y^+ 는 65이하로 조정하였다. 완화계수로는 압력에 대해서 0.3, 모멘텀에 대해서 0.7을 주었다. 이 때, 유입 유동속도는 6m/s로 가정하였으며 핀틀 부분에서 타 단면 코드 0.746m를 기준으로 하였을 때 레이놀즈 수는 약 4.48×10^6 이다. 격자는 structure 형상으로 격자의 개수는 약 44,000개이며 고정부와 가동부 사이에는 틈새를 가로지르는 방향으로 20개의 격자를 밀집시켜 간극유동을 정확하게 모사하게 하였다.

Fig. 2는 타각이 3°일 때의 혼 부분과 핀틀 부분 타 단면의 계산영역과 격자를 나타내고 있다. 계산영역은 C-H형으로 확장하였고 코드길이(C)로 무차원화 한 계산영역은 유동방향과 상하방향이 각각 $-3 < X/C < 2.5$, $-2.5 < Y/C < 2.5$ 이다. 경계조건으로는 균일 유동($u=1$, $v=w=0$)이 유입되고 일정한 정압력으로 유출된다는 조건을 사용하였다.

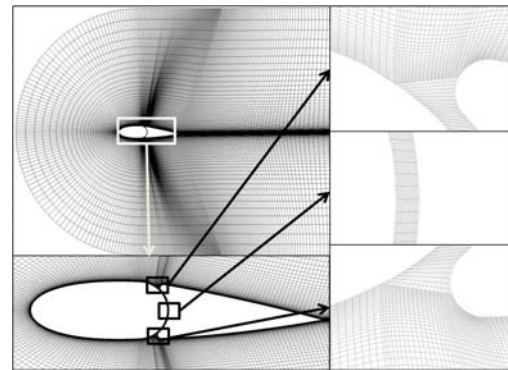
3. 수치 계산 및 고찰

3.1 돌출부가 없는 경우의 틈새유동

돌출부가 없는 전통적 타 장치의 틈새유동을 확인하기 위하여 혼 부분과 핀틀 부분의 타 단면 형상에 대하여 타 장치의 스펠이 1m 인 2차원 날개로 가정하고 수치 계산을 수행하였다. 수치계산결과 Fig. 3과 같이 압력분포를 얻었으며, Table 1

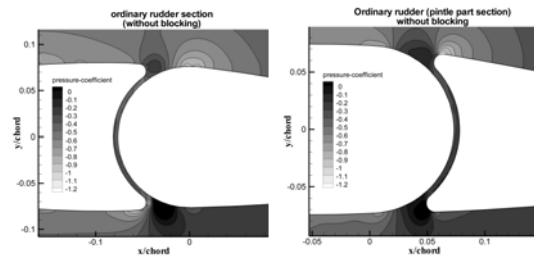


Horn section



Pintle section

Fig. 2 Computational domain



Horn section

Pintle section

Fig. 3 Pressure distribution without blocking bar

과 같이 틈새를 지나는 유량이 혼 부분일 때는 약 21.7kg/s이고, 핀틀 부분일 때는 약 23.5kg/s인 것으로 확인하였으며, 이 결과를 틈새유동 차단 효과를 판단하는 기준으로 삼았다.

Table 1 Gap flow rate of ordinary rudder without blocking bar

	Horn section	Pintle section
Flow rate (kg/s)	21.7	23.5

3.2 돌출부가 있는 경우의 틈새 유동

실제의 타 제작에서는 혼은 주강으로 주조 하고 타 판은 주강과 강재로 조립하기 때문에 혼과 타 판 사이에는 불가피하게 틈새가 나타난다. 틈새 간격은 타의 크기와 제작 정도에 따라 달라지며 비교적 규모가 큰 실제의 타에서는 50mm 이상의 틈새간격이 관측되고 있다. 실제의 타 장치에서 틈새의 간격은 계측위치에 따라 다르기 때문에 봉 을 설치하여 틈새를 지나는 유동을 완전히 차단 할 수 없다. 현재 사용되고 있는 틈새차단 방법에서는 혼을 주조하는 과정에 틈새의 중심위치에 틈 새 간격의 40% 정도를 차단할 수 있는 반원단면 의 차단 봉을 설치하여 일체로 제작하고 있다.

현재 사용되고 있는 틈새 차단 방법의 효과를 알아보기 위하여 혼과 핀들의 중앙부에 단면 형상 이 반원형인 차단 봉이 필렛 결합된 상태를 수치 적인 방법으로 조사하여 Fig. 4와 같은 압력분포 를 얻었으며, Table 2와 같이 틈새를 지나는 유량 이 혼 부 단면을 기준으로 약 15% 감소됨이 확인 되었다.

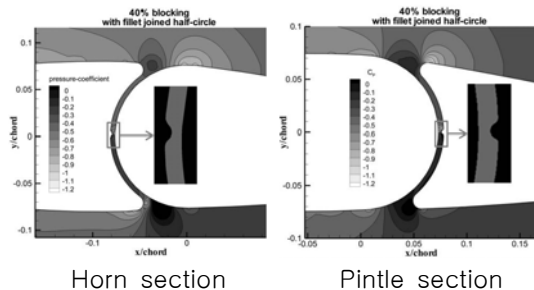


Fig. 4 Typical gap flow blocking practice

유량감소는 아래와 같이 계산하였다.

$$R_{block} = (Q_0 - Q_{block}) / Q_0 = 1 - (Q_{block} / Q_0) \tag{1}$$

즉, 유량감소(R_{block})는 차단 봉이 없는 경우의 유 량(Q_0)과 차단후의 유량(Q_{block})의 차이를 Q_0 로 나 누는 값이다.

Table 2 Gap blocking effect of typical half round bar with height of 40% gap

Section	Gap flow (kg/s)	Flow reduction (%)
Horn	18.4	15.2
Pintle	20.4	13.2

3.3 대칭으로 배치된 틈새 차단 봉의 효과

앞에서 살펴본 바에 따르면 반원 단면의 차단 봉을 설치하는 것으로는 충분한 차단 효과를 얻기 어려우므로 한 쌍의 차단 봉을 배치하는 방안을 검토하기로 하였다. 차단 봉은 혼의 표면에 돌출 되는 일체 구조로 주조할 수 있으며 타 판에는 용 접 구조로 비교적 쉽게 설치 할 수 있다. 특히 타 판이 최대 타각으로 회전하였을 때 틈새 바깥으로 노출되는 위치인 경우에는 실선의 유지 보수 과정 에서도 설치가 가능하다는 장점이 있다. 타 판이 최대 타각 35°로 회전하면 타 판의 선단으로부터 30° 이상인 표면은 Fig. 5의 점선으로 표시한 바 와 같이 틈새 바깥으로 노출된다. 따라서 이 위치 에 틈새 차단 봉을 설치하면 최대 타각으로 사용 되는 극히 일부의 기간을 제외한 대부분의 선박 운항 기간 중에 차단 효과를 기대 할 수 있으며 유지 보수가 용이하다는 장점이 있으므로 타판이 중립상태일 때 회전중심으로부터 30° 와 40° 떨어진 핀틀 타판의 선단과 혼의 후단에 차단 봉을 두 는 경우를 조사하였다.

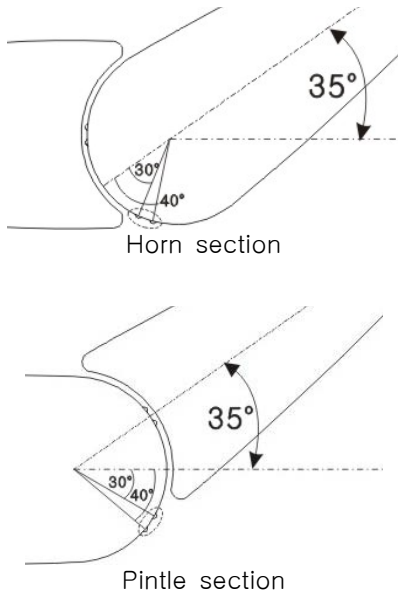


Fig. 5 Blocking bar installation on rudder surface

Fig. 6과 Fig. 7은 차단 봉이 30°와 40° 위치에 설치되었을 때 혼과 핀들 부분의 틈새 주위의 압력분포를 수치계산으로 비교한 것이다. 그리고 Table 3에는 30°와 40° 위치에 차단 봉을 설치하는 두 가지 경우에 틈새를 지나는 유량과 유량 감소율을 조사한 것이다. 이들 결과를 한 개의 차단 봉을 설치하는 Table 2의 결과와 비교하면 두 개의 차단 봉을 40°위치에 설치하면 혼 부분인 경우에는 차단 효율이 기존에 사용되는 차단 봉의 효과에 비해 2.7배 향상되고 핀들 부분인 경우에는 차단효율이 3.9배 높아지는 것을 확인할 수 있다.

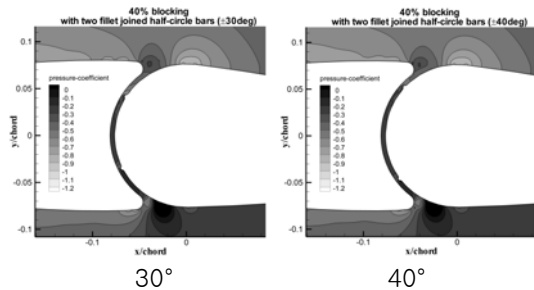


Fig. 6 Pressure distribution of horn section with bisymmetrically fillet joined half round bar

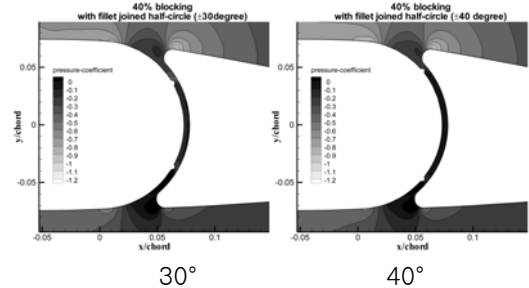


Fig. 7 Pressure distribution of pintle section with bisymmetrically fillet joined half round bar

Table 3 Effect of the bisymmetric installation of blocking bar on gap flow

Installing surface	Location (degree)	Gap flow (kg/s)	Flow reduction (%)
Rudder plate surface	30	13.9	35.9
	40	12.7	41.0
Pintle block surface	30	14.7	37.5
	40	11.3	52.0

특히 기존의 방법으로 차단 봉을 혼 중심위치에 설치하여 충분한 차단 효과를 얻을 수 없을 때 타판의 40° 위치에 추가로 한 쌍의 차단 봉을 설치하면 최대 타각에서도 기존의 차단 봉과 새로운 차단 봉이 간섭을 일으키지 않으므로 차단 효과가 크게 높일 수 있을 것으로 보인다.

3.4 차단 봉 설치 위치의 영향 조사

한 쌍의 반원 단면 봉을 Fig. 6 과 같이 40° 위치에 대칭으로 설치하는 것이 효과적임을 확인하였으며 각각의 차단 봉이 차단에 기여하는 정도를 확인하기로 하였다. 하나의 차단 봉을 압력면 또는 흡입면 쪽 40°위치에 설치한 두 경우에 대하여 수치 계산을 하여 Fig. 8에 보인 결과를 얻었다.

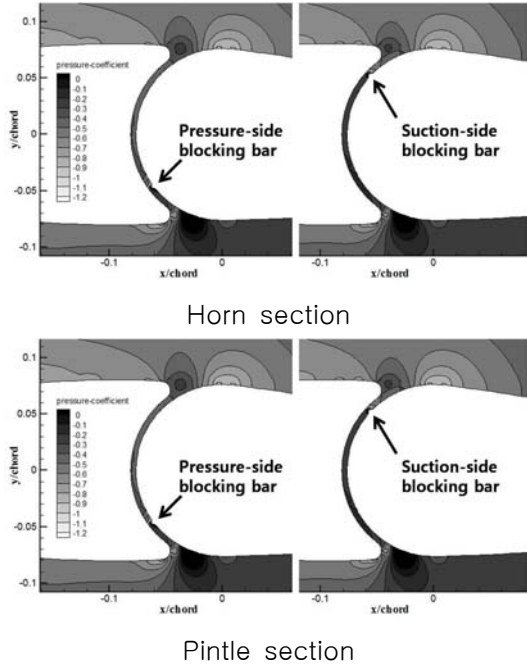


Fig. 8 Pressure coefficient contours with one-side installation of blocking bar

Table 4 Effect of the one-side installation of blocking bar on gap flow

Installing surface	Location	Gap flow (kg/s)	Flow reduction (%)
Rudder plate surface	Pressure side	17.2	20.7
	Suction side	15.4	29.0
Pintle block surface	Pressure side	18.6	20.8
	Suction side	13.8	41.2

흔 부분에서의 계산결과를 보면 압력면 쪽이나 흡입면 쪽에 차단 봉을 붙이는 두 경우 모두 차단 봉을 흔의 중심선 위치에 설치하는 종래의 방법에 비하여 차단 효과가 좋은 것을 확인할 수 있다. Table 3과 같이 좌우 대칭으로 차단 봉을 배치한 경우를 다음과 같이 차단 봉을 순차적으로 설치하는 경우로 단순화하여 생각한다. 먼저 압력면 쪽에 차단 봉을 설치하면 틈새로 유입되는 유동의

20.7%가 차단되어 틈새에는 79.3%의 유량만이 흐르게 된다. 이어서 흡입면 쪽에 추가로 차단 봉을 설치하면 이 차단 봉은 29.0%의 차단 효과를 가지므로 압력면 쪽으로 유입되며 압력면쪽 차단 봉에 의해 79.3%로 줄어든 유량을 흡입면쪽 차단 봉이 다시 29%만큼 차단하고 71%만을 통과 시킨다고 생각할 수 있으므로 차단율은 다음의 (2)~(4)식으로 계산할 수 있다.

$$Q_p = Q_0 \times (1 - R_p), \quad Q_s = Q_0 \times (1 - R_s)$$

$$R_p = 1 - (Q_p / Q_0), \quad R_s = 1 - (Q_s / Q_0) \quad (2)$$

$$(Q_p / Q_0)_{horn} = 1 - 0.207 = 0.793$$

$$(Q_s / Q_0)_{horn} = 1 - 0.290 = 0.710$$

$$(Q_p / Q_0)_{pintle} = 1 - 0.208 = 0.792$$

$$(Q_s / Q_0)_{pintle} = 1 - 0.412 = 0.588 \quad (3)$$

$$(Q_{total} / Q_0)_{horn} = ((1 - R_p) \times (1 - R_s))_{horn} = 0.563$$

$$(Q_{total} / Q_0)_{pintle} = ((1 - R_p) \times (1 - R_s))_{pintle} = 0.466$$

$$\therefore (R_{total})_{horn} = 1 - (Q_{total} / Q_0)_{horn} = 0.437$$

$$\therefore (R_{total})_{pintle} = 1 - (Q_{total} / Q_0)_{pintle} = 0.534 \quad (4)$$

Q는 틈새를 지나는 유량(gap flow)를, R은 유량 감소율(flow reduction rate)을 나타낸다. 아래첨자는 각각 압력면쪽 차단 봉(P), 흡입면쪽 차단 봉(S)을 나타내며 Q는 차단 봉이 없는 경우의 유량(3.1절 참고)을 나타낸다.

식 (2)는 압력면과 흡입면쪽의 차단 봉 하나에 의한 유량과 유량감소율을, 식 (3)은 Table 4의 결과를 이용하여 식 (2)에 따른 계산을 수행한 결과이다. 식 (4)는 앞의 논리를 적용하여 구한 틈새 통과유량비와 틈새유동 차단율을 추정된 결과가

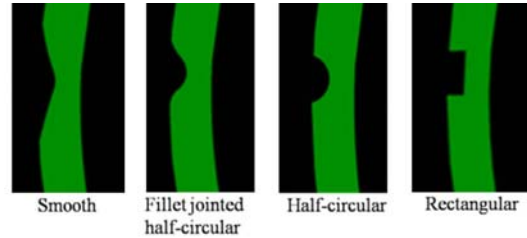
된다. 즉, 혼 부분에서는 압력면 쪽의 차단 봉이 틈새유동을 79.3% 통과시키고 흡입면쪽의 차단 봉은 틈새 유량을 다시 71%를 통과시킴으로 틈새 통과유량비는 $0.794 \times 0.71 = 0.563$ 으로 계산되므로 최종적으로 혼 부분에서는 차단 효율이 0.437이 된다. 그리고 핀틀 부분에서는 압력면쪽 차단 봉이 79.2%의 유량만을 통과시키고 흡입면쪽의 차단 봉은 통과 유량의 58.8%만을 통과시킴으로 틈새를 통과하는 유량비는 $0.792 \times 0.588 = 0.466$ 으로 계산할 수 있으므로 핀틀 부분에서의 차단효율은 0.534가 된다. 이와 같은 값은 두 개의 차단 봉이 동시에 설치된 것으로 계산하여 표기한 Table 3의 혼 부분에서의 차단효율 41%와 핀틀 부분에서의 차단효율 52%와 거의 차이가 없는 것으로 확인되었다.

이와 같은 논리에 근거하여 다수의 차단 봉이 설치되는 경우 틈새유동 차단 효과는 각 위치의 차단 봉이 있을 때 틈새를 지나가는 틈새유동 비율들의 곱으로 간략히 예측이 가능하다고 보인다.

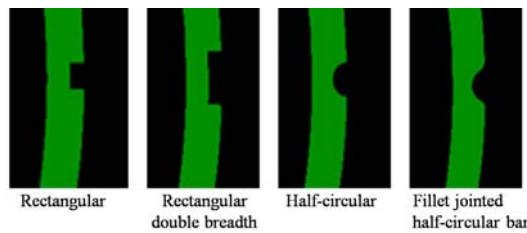
3.5 차단 봉의 단면 형상의 영향 조사

지금까지의 수치해석에서는 종래의 방법에서와 같이 차단 봉은 제작과정에서 혼에 필렛으로 붙여진 반원단면을 일체로 붙여서 제작한다고 생각하였다. 한 개의 유동차단 봉이 혼의 중심선에 붙여지는 종래의 방법은 충분한 차단 효과를 가지지 못함으로 차단 효과를 높이기 위하여 차단 봉을 대칭으로 배치하는 방법이 매우 유효하다는 것을 확인한 바 있다. 조사에서는 통상 적으로 채택되는 반원단면 형상만을 취급하였으나 단면의 형상 변화가 유동에 영향을 줄 것으로 예상된다.

단면형상의 영향을 알아보기 위하여 단면의 높이는 틈새 간격의 40%로 동일하고 단면의 형상은 Fig. 9와 같이 혼 부분과 핀틀 부분에 각각 서로 다른 4가지 단면을 선택하였다. 이와 같은 서로 다른 형상의 차단 봉을 설치하면 틈새를 지나가는 유동 통로의 단면적 변화를 틈새를 따라가며 조사하였을 때, 사각형 단면의 차단 봉의 경우가 가장 급격하게 변화한다는 것을 직관적으로 알 수 있다.



Blocking bars of horn section



Blocking bars of pintle section

Fig. 9 Various section shapes of blocking bar

Table 5 Gap flow and flow reduction with different section shapes of blocking bar

section shape	gap flow (kg/s)	flow reduction (%)
Horn section		
rectangle	12.7	41.5
half-circle	17.8	18.0
fillet joined half-circle	18.4	15.2
smooth triangle	19.8	8.8
Pintle section		
Rectangular	14.6	38.0
Rectangular double breadth	1.6	32.0
Half-circular	20.0	14.9
fillet joined half-circle	20.4	13.6

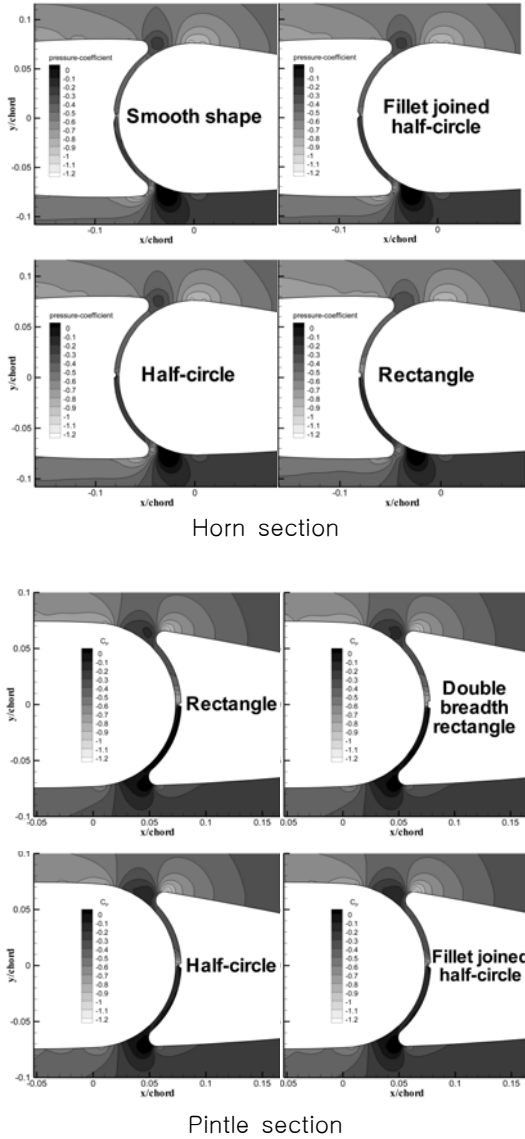


Fig. 10 Pressure coefficient contours according to the blocking bar shape

틈새유동을 차단하기 위하여 차단 봉을 Fig. 9에 보인 것과 같이 여러 가지 단면 형상에 대하여 수치해석을 수행하면 Fig. 10과 같은 압력 분포가 얻어진다. 또한 각각의 단면 형상에 따르는 유동 차단 효과를 정리한 Table 5의 결과를 보면 유동 통로를 따라서 단면적의 변화가 급격할수록 차단

효과가 큰 것이 확인되며 통상의 필렛이 있는 반원단면을 사각단면으로 바꾸어주면 혼과 핀들 부분의 유동 차단 효과를 두 경우 모두 2.7배 이상 높일 수 있음이 확인되었다.

3.6 차단 봉의 단면 높이의 영향 조사

차단 봉 단면의 높이가 높을수록 차단 효과가 클 것으로 예상되지만 유동 차단 성능이 우수한 사각형 단면의 높이 영향을 확인하기 위하여 Fig. 9의 사각형 단면 형상의 차단 봉을 선정하고 수치 계산을 수행하였으며, Fig. 11의 압력분포와 그에 대한 유동 차단 결과를 Table 6에 정리하였다.

Table 6의 결과에서 확인 할 수 있는 것과 같이 틈새 차단 봉의 높이가 틈새간격의 40%인 경우 틈새 유동을 41.5% 감소시키는데 이는 한 쌍의 반원단면을 타판의 40°위치에 대칭으로 필렛 결합한 상태의 차단 효과(Table 3 참고)와 거의 같은 값이 되는 것을 확인 할 수 있다. 만일 사각형 단면을 사용하는 경우에도 반원 단면의 차단 봉을 대칭 배치하여 얻어지던 것과 같이 두 개의 차단 봉을 설치하여 얻어지는 높은 차단 효과가 사각단면에서도 동일한 비율로 나타날 수 있다면 사각 단면의 대칭배치만으로도 대부분의 유동을 차단 할 수 있을 것으로 예상 된다.

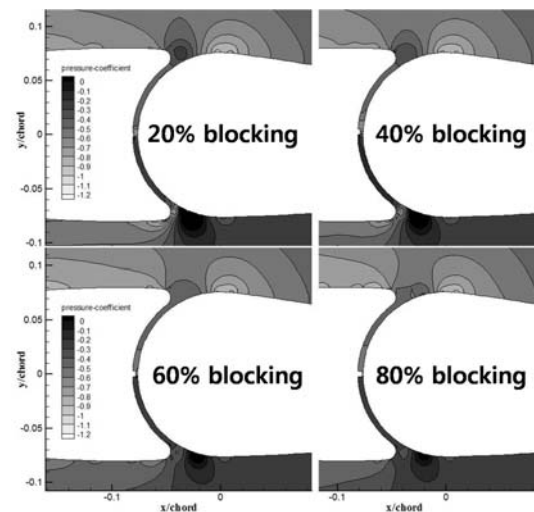


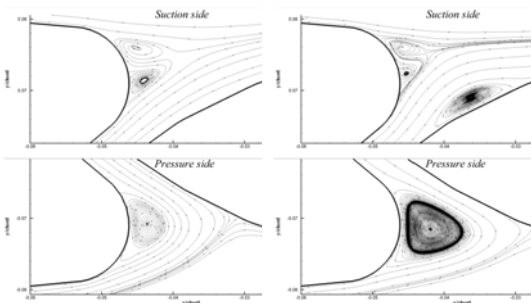
Fig. 11 Pressure coefficient contours with rectangular blocking bar

Table 6 Influence of section height of rectangular gap blocking bar on gap flow

gap obstruction (%)	gap flow (kg/s)	flow reduction (%)
20	18.6	16.7
40	12.7	41.5
60	6.1	72.1
80	2.8	87.3

3.7 대칭 차단 봉 설치에 따른 유동 비교

이번 절에서는 본 논문에서 제시하는 40°위치에 대칭으로 반원형 차단봉을 필릿 방식으로 고정하였을 때 차단 봉이 타 장치 주위의 유동과 틈새유동에 영향을 주는지 살펴보기 위하여 틈새로 유동이 유입되는 압력면쪽의 입구 부분과 틈새로부터 유동이 유출되는 흡입면쪽 출구 부분의 유선을 자세히 살펴보기로 하였다. 혼 부분에 대하여 차단 봉이 있는 경우와 없는 경우에 대하여 계산을 실시하였으며 틈새로 유입되는 부분과 틈새로부터 유출되는 부분의 유선을 확대하여 Fig. 12에 나타내었다.

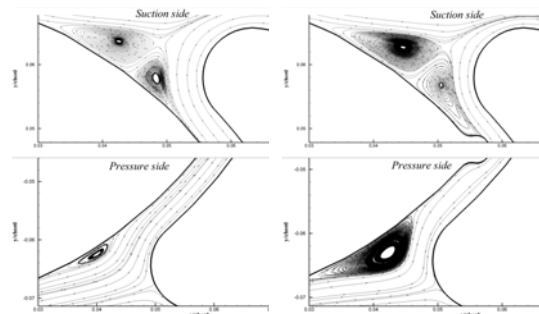


No bar 40° bisymmetric bars

Fig. 12 Streamlines near the inlet and outlet of horn section

Fig. 12의 왼쪽은 차단 봉이 없는 경우이고 오른쪽은 차단 봉이 40°로 대칭 배치된 경우의 유선을 나타내었다. 핀틀 부분 단면일 때에 대하여 계산하고 결과를 Fig. 13에 나타내었는데 Fig. 12와 동일하게 배치하였다.

혼 부분의 결과인 Fig. 12를 살펴보면, 차단 봉이 없는 경우에는 고정부인 혼의 양쪽 끝에서 정체유동이 나타나고 있는 반면에 차단 봉을 대칭 배치한 경우에는 입구 쪽의 끝에서 정체유동이 상당히 커진 것을 확인할 수 있다. 또한, 출구 쪽에서는 가동부 쪽에 상대적으로 약한 정체유동이 나타나고 있다.



No bar 40° bisymmetric bars

Fig. 13 Streamlines near the inlet and outlet of pintle section

핀틀 부분에 대한 결과인 Fig. 13에서는 입구 쪽에서 고정부에 인접하여 차단 봉의 영향으로 정체유동이 나타나고 있으며, 출구 쪽에서도 정체유동이 차단 봉에 의하여 강화되고 있다.

정체 유동이 발생된 구간의 경계를 통한 유동이 없으므로 이 구간은 고체 영역에 대등하다고 볼 수 있다. 따라서 차단 봉이 틈새 유입구 및 유출구 근처에 고체영역이 존재하는 것과 대등한 유선을 형성시키는 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 현상을 역으로 유추하면 유입구 부분의 형상을 정체유동을 일으키는 구간을 둘러싸는 포락선을 그려서 얻어지는 형상으로 수정하면 틈새유동이 줄어드는 효과를 줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 즉, 정체유동이 발생하는 구간을 틈새입구 및 출구 형상개량에 활용하여 틈새유동을 줄여주고 나아가서는 캐비테이션을 완화 시킬 수 있을 것으로 기대되며 앞으로 추가 연구로 확인하고자 한다.

3.8 틸새유동 차단 봉의 단면 형상 결정 방안

앞서 3.5절에서는 차단 봉이 유동통로의 단면적을 갑작스럽게 변화시키는 사각형 단면을 차단 봉의 단면으로 채택하면 차단 효과가 높다는 것을 확인 하였다. 3.6절에서는 살핀 바와 같이 틸새유동 차단 봉의 형상은 높이가 높을수록 차단 효과가 크다는 것을 확인 하였다. 또한 3.3절과 3.4절에서는 타판이 최대 타각으로 회전하였을 때 틸새 바깥으로 노출되는 40°위치에 차단 봉을 대칭으로 배치하면 차단 효과를 크게 높일 수 있을 것으로 확인한 바 있다. 이상에 근거하면 타 장치의 제작과 조립과정에서 틸새 치수를 실측하여 타 장치의 고정부와 가동부가 간섭을 일으키지 않는 최대 높이를 결정하고 이를 근거로 사각형 단면의 높이를 결정하는 것이 바람직할 것이다. 틸새간격을 실측하는 방법으로 차단 봉을 설치할 위치에 쉽게 소성 변형을 일으킬 수 있는 재질을 임시로 부착시키고 타판을 최대 타각으로 수 차례 왕복 전타시켰을 때 변형 없이 남는 치수를 계측하면 실용적으로 차단 봉의 최대두께를 결정할 수 있다.

4. 결론

대형 고속선의 타 장치에서 고정부와 가동부 사이의 틸새를 지나는 유동은 타 장치의 캐비테이션 발생의 한 원인으로 알려져 있다. 타 캐비테이션을 피하기 위하여 현재 혼의 중심위치에 반원 단면 봉을 붙여주는 방법이 사용되고 있으나 틸새유동차단효과는 충분하지 않은 것으로 평가된다. 차단효과를 높이는 수단으로서 현재 사용되고 있는 차단 봉을 2개로 늘이고 대칭위치에 설치하는 방안을 조사하였으며 차단 효과를 높이기 위하여 단면의 형상에 관하여서도 조사하였다.

조사 결과 두 개의 차단 봉을 타 판이 최대 타각으로 전타 되었을 때 틸새 바깥으로 노출되는 위치에 설치하는 것이 차단 효과가 높으며 차단 봉의 형상은 유동통로의 단면적 변화가 급격하게 일어나는 사각형 단면이 유리하며 높이가 높을수록 차단효과가 크다는 것을 확인하였다.

제안된 방법은 타판이 최대 타각으로 전타된 상태에서 틸새 바깥으로 노출되는 위치에 차단 봉을 붙이는 것임으로 타의 설치 제작 시점은 물론이고 선박의 유지보수 기간 중에도 간단히 시공할 수 있다는 장점이 있다. 또한 단시간 내에 타판의 틸새 간격을 실측하여 차단효과를 최대한 높일 수 있는 차단 봉을 설계할 수 있을 것으로 기대 된다.

앞으로 차단 봉이 틸새바깥으로 노출되는 상태에서의 타 성능에 미치는 영향 등을 조사하고 실험을 통해 검증한다면 제안하는 방법은 즉시 실용화가 가능할 것이다.

후 기

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant (KRF-2008-005-J01603) and the Korea Science and Engineering Foundation Grant (No. ROA-2007-000-10028-0) funded by the Korean Government (MOEHRD).

참 고 문 헌

- Boo, K.T., Han, J.M., Song, I.H., and Shin, S.C., 2003, "Viscous Flow Analysis for the Rudder Section Using FLUENT Code," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 40, No. 4, pp. 30-36.
- Boo, K.T., Song, I.H. and Shin, S.C., 2004, "Numerical Simulation for the Rudder in order to Control the Cavitation Phenomena," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 42-50.
- Choi, J.E., Chung, S.H., and Kim, J.H., 2007, "Cavitating-Flow Characteristics around a Horn-Type Rudder," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 3, pp. 228-237.

- Kim, G.D, Moon, I.S., Kim, K.Y., Van, S.H., and Lee, C.S., 2006a, "Numerical Calculation and Validation for Rudder Cavitation of a Large Container Ship," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 568-577.
- Kim, M.C., Lee, U.S., and Byun, T.Y., 2008, "Study on Optimization of Anti-erosion Rudder Section of Large Container Ship by Genetic Algorithm," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 4, pp. 403-410.
- Kim, S.P., Park, J.J., Kim, Y.S., Jang, Y.H., Choi, Y.B., and Paik, B.G., 2006b, "An Experimental Research on Gap Cavitation Erosion of Semi-spade Rudder," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 578-585.
- Oh, J.K., Lee, C.M., Lee, H.B., Seo, D.W., Rhee, S.H., Suh, J.C., Lee, S.H., and Kim, H., 2008, "RUDDER GAP CAVITATION AND ITS SUPPRESSION DEVICES," Proceedings of FEDSM2008 (2008 ASME Fluids Engineering Conference), Aug. 10-14, Jacksonville, Florida, USA.
- Paik, B.G., Kim, K.Y., Ahn, J.W., Park, S.H., Heo, J.K., and Yu, B.S., 2008, "Cavitation Observation and Visualization of the Gap Flows on a Rudder Influenced by Propeller Slipstream and Hull Wakes," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 3, pp. 238-246.
- Rhee, S.H., Oh, J.K., Suh, J.C., Lew, J.M., and Kim, H., 2006, "Application of Gap Flow Control Device to Avoid the Rudder Cavitation," Proceedings of the Annual Spring Meeting, The Society of Naval Architects of Korea, pp. 78-84.



< 오 정 근 >



< 서 대 원 >



< 김 효 철 >