

뒤틀날에 붙인 회전자로 순환유동을 강화하는 날개장치의 성능 연구

오정근^{†*}, 김효철^{*}

인하대학교 정석물류통상연구원^{*}

A Study on the High Lifting Device Equipped with the Trailing Edge Rotor
for the Enhancement of Circulation Control

Jungkeun Oh^{†*} and Hyochul Kim^{*}

Jungseok Research Institute of International Logistics and Trade, Inha University^{*}

Abstract

For a long times it has been believed that the Magnus effect of the rotating cylinder could be utilized for the lifting devices applicable to marine practices. It has been reported that the rotating cylinder installed on upper deck of commercial vessel could play a energy saving role however the idea might be applicable in a very rare case in ship building practices. In this study special high lift rudder system equipped with the trailing edge rotor has been suggested in correspondence with the increasing requirement of greater rudder force. Through the numerical simulation it is cleared that the trailing edge rotor could play a role in enhancement of circulation and refinement of boundary layer of the rudder system. At the same time it is found out that the lift force of the rudder system without rotation of trailing edge rotor could be doubled when the circumferential velocity of the trailing edge rotor is equal to twice of the inflow velocity.

※Keywords: high lift device(고양력 장치), trailing edge rotor(회전자), circulation control(순환제어)

1. 서론

바람과 파도 그리고 해류의 영향을 받는 선박이 해상에서 정해진 항로를 유지하거나 원하는 방향으로 항로를 바꾸기 위하여 타에서 발생하는 힘을 사용하고 있다. 즉 타가 선체와 함께 전진할 때

타판 주위를 흐르는 유체와의 상호작용에 의하여 타판에 수직방향으로 발생하는 힘을 선박 조종에 사용한다. 그런데 타에서 발생하는 타력은 타판을 지나는 유동 속도의 자승에 비례하므로 정상운항 속도에서 충분한 타력을 얻을 수 있는 타 장치일 지라도 저속상태에서는 타력이 부족하게 된다. 특히 입출항 할 때나 번잡항로에서 운항할 때는 저속운항이 불가피하고 충분한 타력을 얻을 수 없기

접수일: 2010년 4월 14일, 승인일: 2010년 7월 5일

†교신저자: joh@inha.ac.kr, 032-860-9193

때문에 예인선의 도움을 받는 경우도 허다하다. 특히, 저속비대형 선박은 선체가 커서 큰 타력이 필요한데 대하여 운항 속도가 낮기 때문에 설계속도에서도 타력의 부족으로 정상운항이 어려운 경우도 있다. 따라서 부족한 타력을 보충하기 위하여 보다 큰 타력을 얻을 수 있는 타 장치를 개발하는 다양한 연구가 이루어지고 있다. 독일의 Becker 사는 큰 타력을 얻을 수 있는 다양한 대용량의 타 장치를 개발하여 장기간 독점적으로 공급하여 왔다. Becker 사의 대표적 타 장치로서는 주 날개의 타각 변화와 연동하여 보조날개의 각 회전이 보다 커지도록 설계된 플랩 러더와 타판 전체의 타각을 변화 시키는 전 가동 타(full spade rudder)가 있다.

이 밖에도 선박의 운항자와 설계자의 타 장치에 대한 관심이 높아지면서 큰 유체력을 얻을 수 있는 타 장치에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. Ahn and Kim(1999, 2003)은 관다(Coanda)현상을 활용하여 타력을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 실험으로 입증하였다. 또한 Park and Lee(2000)와 Hong and Lee(2004)는 수치계산으로 관다 효과를 타 장치의 양력 증가에 활용할 수 있음을 보였다. 다른 한편으로 Brook(1963)은 회전하는 원통을 수중날개의 양력증가에 활용할 수 있음을 실험으로 보였으며 Al-Garni et al.(2000)은 풍동(wind tunnel) 실험으로 날개의 앞날에 회전 원통을 두어 양력을 증가시킬 수 있음을 입증하였다. 아직 선박용 양력발생장치에 회전 원통을 두는 연구는 거의 없으며, 회전원통에 관한 연구들만 알려져 있다(Choi et al. 2002, Moon et al. 2005).

이상에서 살핀 바 있는 Becker 사의 타 장치는 기구적으로 복잡하고 높은 정밀도를 요구하며 Coanda 현상을 응용하는 방식은 제트 발생 기구를 타 장치에 도입하는데 해결하여야 할 요소가 많으므로 본 연구에서는 이를 해결하는 방안을 제안하고자 하였다. 즉, 타 장치의 뒷날(trailing edge)에 붙여진 회전자(trailing edge rotor)로 순환 유동을 제어함으로써 높은 양력을 얻을 수 있고 구조적으로 실용화가 용이한 새로운 타 장치를 제안하고 그 특성을 수치해석으로 살펴보았다.

2. 대상 모형 및 수치 해석 방법

2.1 대상 모형

본 연구에서는 고정부인 혼(horn)과 가동부인 타판(rudder blade)으로 이루어진 혼 타에서 타판의 뒷날(trailing edge)에 회전하는 원통을 붙이고 이를 회전자(trailing edge rotor)라 정의하였다.

단면이 NACA0020 이고 혼과 타판으로 구성되는 타 장치를 생각하고 타 판의 뒷날 부분에 Fig. 1에 보인 것과 같이 회전자를 붙여 주었다. 계산의 편의와 앞으로의 실험적 연구와의 연계가능성을 고려하여 코드 길이가 200mm 인 타 장치를 기준 모형으로 결정하였다. 그리고 타판의 뒷날로부터 16%되는 위치에 중심이 있고 직경이 코드 길이의 7%인 회전자를 붙여주어, Fig. 1의 아래쪽 그림과 같은 비교 모형을 결정하였다.

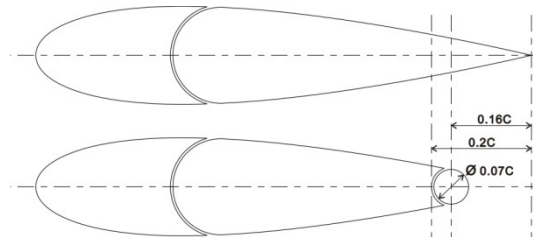


Fig. 1 Models for numerical simulations: original NACA0020 section (upper) and new section with the trailing edge rotor (lower)

2.2 수치 해석 방법

수치 계산에서는 상용코드인 FLUENT 6.3을 사용하였다. 압력과 속도연성에 SIMPLE 기법을 적용하고 압력차분은 PRESTO! (PREssure STaggering Option)를 적용하였다. 모멘트, 난류 운동 에너지, 난류 소산율 방정식은 2 차 차분법을 사용하였다. 비정상(unsteady)상태는 1 차 implicit formulation으로 계산하였으며, 난류 모형은 realizable $k-\epsilon$, 벽함수는 non-equilibrium wall function을 사용하였고 이때 벽과 가장 가까운 첫 노드 점은 y^+ 가 2 이하게 되도록 조정하였다. 완화계수로는 압력에 대해서 0.3, 모멘텀에 대해서 0.7 을 주었다. 격자는 structure 형상으로 격자의 개수는 약 55,000 개

이며 흡과 타판의 사이 틈새 간격 방향으로 20 개의 격자를 밀집시켰다. 한편, 회전자의 회전을 모사하기 위하여 *Sliding Moving Mesh* 기법을 사용하였으며 Fig. 2 와 같이 타판과 경계면(interface) 그리고 경계면과 회전자 사이에 각각 20 개의 격자를 배치하고 회전자의 원주방향으로 400 개의 격자를 배치하였다.

본 연구는 회전자가 타력에 미치는 영향을 조사하는 기초연구이므로 타 각을 10°인 경우에 대해서만 한정하여 계산하였으며 계산 영역은 Fig. 2 와 같이 구성하였다. 계산영역은 C-H 형으로 확장하였고 코드길이(C)로 무차원화 한 계산영역은 유동방향으로 $-3.8 < X/C < -4.2$ 그리고 상하방향으로 $-3 < Y/C < 3$ 이다. 경계조건으로 균일 유동($u=1, v=w=0$)이 유입되어 일정한 정압력으로 유출되는 조건을 사용하였다.

회전자의 중심에 원점이 있는 좌표계를 채택하여 원통의 회전을 계산상에서 쉽게 구현하였으며 계산 결과도 같은 좌표계로 표현하였다.

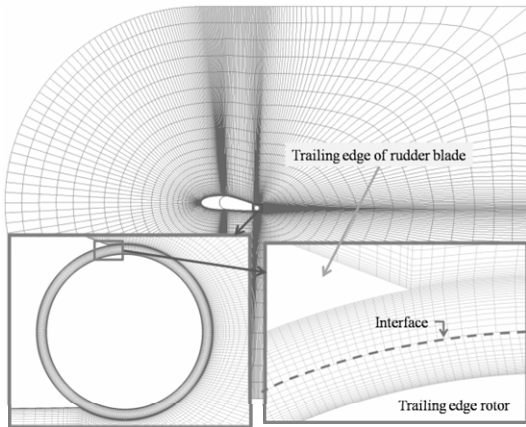


Fig. 2 Computational domain and grid system around the trailing edge rotor

3. 수치 계산 및 고찰

본 연구에서 수행한 각각의 수치 계산은 원형 (prototype) 타 단면의 코드길이를 기준으로 정의한 Reynolds 수(Rn)가 0.938×10^5 , 1.876×10^5 그리고 3.752×10^5 인 세 경우에 대하여 수행하였다.

3.1 타 뒷날 형상 변화의 영향 조사

NACA0020 으로 이루어진 기준 단면의 뒷날 부분을 원형으로 바꾸어주면 단면의 양력 및 항력이 어떻게 달라지는지 확인하는 것이 필요하다. 타 단면형상을 변화시키면 단면의 코드 길이가 바뀌지만 비교의 목적으로 기준 단면의 코드 길이 (200mm)를 새로운 타 단면에서도 같이 사용하여 계산결과를 무차원화하고 타 뒷날 형상의 변환에 따른 영향을 비교하였다.

Table 1 에서는 기준 단면과 회전자가 부착된 새로운 단면에 대한 양력과 항력 계수를 비교하였다. 단면형상이 변환되더라도 양력계수와 항력계수에는 큰 변화가 없으며 다만 Reynolds 수가 1.876×10^5 와 3.752×10^5 로 높아지면 기준 단면보다 새로운 단면의 양력 및 항력계수가 조금 더 높아지는 경향이 나타났다. 기준 단면과 새로운 단면의 표면압력 분포를 Reynolds 수 3.752×10^5 에서 계산하여 Fig. 3 에 비교하였다. 이 그림을 보면 Table 1 에 나타난 양력 및 항력의 차이는 뒷날에서의 국부적인 형상변환에 따른 압력분포에 기인하는 것으로 평가된다.

Table 1 Comparison of lift and drag coefficients of original NACA0020 section and section with trailing edge rotor

Rn ($\times 10^5$)	original NACA0020 section		section with trailing edge rotor	
	C_L	C_D	C_L	C_D
0.938	0.393	0.073	0.386	0.073
1.876	0.404	0.068	0.409	0.070
3.752	0.414	0.064	0.419	0.065

3.2 유속과 원통의 회전이 타력에 미치는 영향

NACA0020 단면의 타판 뒷날에 회전자를 붙이고 회전자의 회전이 양력 및 항력에 미치는 영향을 살펴보았다. 회전자가 붙여진 NACA0020 단면에 유입되는 세 가지 속도에서 계산하였으며, 회전자의 표면 속도(U_c)와 유입속도(U_∞)의 비 (U_c/U_∞)

U_∞)가 0, 0.5, 1, 2 일 때 대하여 계산하였다.

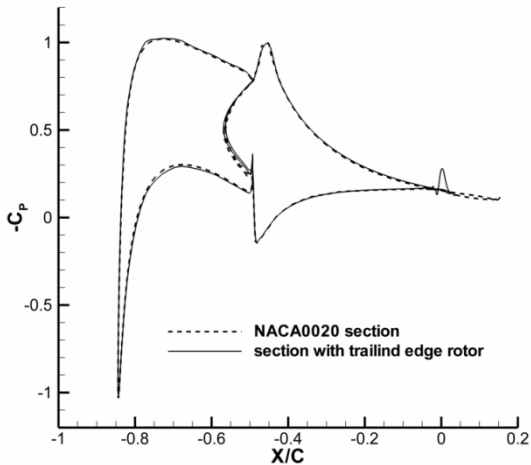


Fig. 3 Surface pressure distributions of the original NACA0020 section and section with trailing edge rotor at $Rn=3.752 \times 10^5$

Table 2 에는 원통의 회전이 양력과 항력에 미치는 영향이 나타나 있다. Reynolds 수에 따른 영향을 살펴보기에 앞서 U_c/U_∞ 가 2 인 경우를 보면 모든 Reynolds 수에서 90%이상의 양력 증가와 약 24%의 항력증가가 나타나고 있다. 그러나 날개단면은 항력이 양력에 비하여 작으므로 항력증가의 절댓값은 작다는 것을 알 수 있으며 U_c/U_∞ 가 증가하면 양력/항력 비도 증가한다.

회전자의 회전속도 즉 U_c/U_∞ 가 양력과 항력 계수에 미치는 영향을 Fig. 4 와 Fig. 5 에 나타내었다. 양력변화를 Fig. 4 에서 살펴보면 유입유속 증가로 Reynolds 수가 커지면 양력계수가 증가하며 회전자의 회전속도 즉 U_c/U_∞ 가 증가함에 따라서 양력계수가 증가한다. 이때 U_c/U_∞ 의 증가에 따르는 양력의 증가율을 나타내는 기울기는 Reynolds 수에 무관한 것으로 판단된다. 항력변화를 Fig. 5 에서 살펴보면 유입유속 증가로 Reynolds 수가 커지면 항력계수가 감소하며 회전자의 회전속도 즉 U_c/U_∞ 가 증가함에 따라서는 항력계수가 증가한다. 이때 곡선의 기울기는 U_c/U_∞ 의 증가에 따른 항력증가율이며 Reynolds 수에 무관하다.

Table 2 Variation of lift and drag in accordance with the rotating speed of trailing edge rotor and Reynolds number

Rn ($\times 10^5$)	U_c/U_∞	C_L (C_D)	Increase rate of $C_L(C_D)$ (%)	L/D (Lift to Drag ratio)
0.938	0	0.386 (0.073)	-	5.26
0.938	0.5	0.488 (0.078)	26.7 (5.89)	6.29
0.938	1	0.596 (0.082)	54.5 (12.04)	7.25
0.938	2	0.790 (0.091)	105.0 (24.14)	8.68
1.876	0	0.409 (0.070)	-	5.87
1.876	0.5	0.496 (0.073)	21.0 (4.23)	6.82
1.876	1	0.598 (0.077)	46.1 (10.25)	7.78
1.876	2	0.792 (0.085)	93.4 (22.14)	9.30
3.752	0	0.419 (0.065)	-	6.48
3.752	0.5	0.512 (0.068)	22.1 (5.83)	7.48
3.752	1	0.610 (0.072)	45.4 (11.58)	8.45
3.752	2	0.808 (0.080)	92.8 (23.56)	10.11

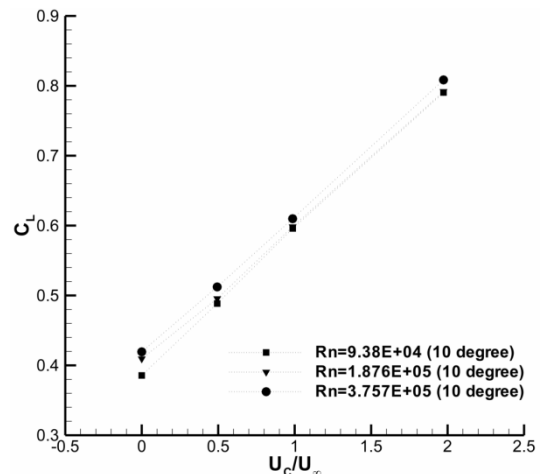


Fig. 4 Variation of lift coefficients with rotating speed of trailing edge rotor(U_c/U_∞)

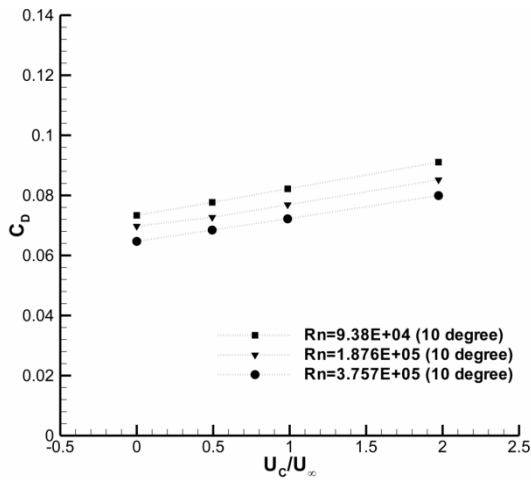


Fig. 5 Variation of drag coefficients with rotating speed of trailing edge rotor(U_C/U_∞)

3.3 원통의 회전과 타 구성요소의 유체력

타를 구성하는 혼과 타판 그리고 회전자가 양력에 기여하는 특성을 알아보기 위하여 회전자가 회전하지 않는 경우와 $U_C/U_\infty=2$ 로 회전하는 경우에 대하여 표면 압력을 계산하였다. 타 장치로 유입되는 유속은 $Rn=3.752 \times 10^5$ 일 때로 하였으며 회전자가 회전할 때의 표면 압력을 Fig. 6에 실선으로 나타내고 회전자가 회전하지 않을 때의 표면 압력을 점선으로 나타내었다. 점선과 실선을 비교하면 회전자의 회전은 타의 혼과 타판 모두에서 양력을 증가시켜 주는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6의 횡축은 회전자의 중심위치를 원점으로 하였으므로 Fig. 1과 같이 타 각이 0° 인 모형의 앞날과 뒷날을 잇는 중심선을 기준으로 각 부분을 나누어 그림에 표시하였다. 즉, $-0.85 < X/C < -0.56$ 이 혼 부분, $-0.56 < X/C < -0.035$ 가 타판 부분, 그리고 $-0.035 < X/C < 0.035$ 가 회전자 부분이다. 각각의 구간에서 점선으로 둘러싸이는 면적은 회전자가 회전하지 않은 상태에서의 양력을 나타내고 실선으로 둘러싸이는 면적은 회전자가 회전할 때의 양력을 나타낸다. 점선과 인접한 실선 사이의 면적은 회전자의 회전에 의하여 압력면 또는 흡입면에서 나타나는 표면 압력의 변동에 따른 양력의 증분을 나타낸다. 따라서 혼과 타판 그리고 회

전자 구간에서 이들 곡선으로 형성되는 면적들을 조사하면 원통의 회전에 의한 각각의 구성요소에서의 양력증가의 요인을 추론할 수 있다.

회전자의 회전하지 않을 때, 혼에서는 타에서 발생하는 양력의 57.6%에 해당하는 양력이 발생되고 타판에서는 42.9%, 회전자에서는 -0.5% 의 양력이 발생하고 있다. 회전자가 회전하면서 타에는 양력의 증가가 나타나는데, 양력의 증가분(ΔC_L)은 약 0.39가 나타나며 이러한 양력 증가의 42.4%는 혼에서 발생하고 52.6%는 타 판에서 발생하며 회전자에서는 5%정도만 양력 증가에 기여하는 것으로 나타났다. 이상의 사실로부터 회전자의 회전은 타판 전체에서 고르게 양력을 증가시키는 효과를 가지는 것을 알 수 있으며 이는 회전자로 인하여 발생하는 순환유동으로 인한 것임을 알 수 있다. 이상을 종합하면 회전자의 회전은 회전자 자체의 압력변화로 양력을 증가시키지만 타 표면 전체에서 나타나는 압력변화로 인한 양력 증가에 비하면 그 크기는 매우 작다. 따라서 회전자의 회전은 회전자 자체보다 타 전반에 걸쳐서 훨씬 큰 영향을 준다는 사실을 알 수 있다.

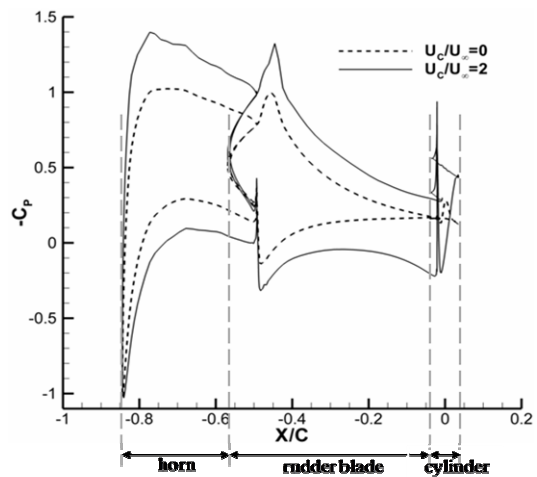


Fig. 6 Effect of trailing edge rotor on surface pressure distributions of rudder elements: $U_C/U_\infty=0$ (dashed line) and $U_C/U_\infty=2$ (solid line) when $Rn=3.752 \times 10^5$

3.4 유속과 회전자의 회전이 혼과 타판에 작용하는 유체력에 미치는 영향

혼과 타판으로 이루어지는 일반적인 타와 타판의 뒷날에 회전자를 붙여준 새로운 타 장치의 특성을 비교할 목적으로 계산을 실시하였다. 타 판에 유입되는 유동속도가 Reynolds 수로 $0.983 \times$

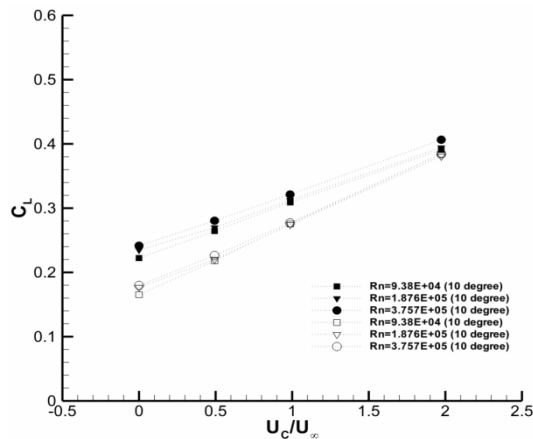


Fig. 7 Effect of the flow velocity and rotating velocity U_c/U_∞ of the trailing edge rotor on the lift coefficients of the rudder elements: horn (solid marks), rudder blade (hollow marks)

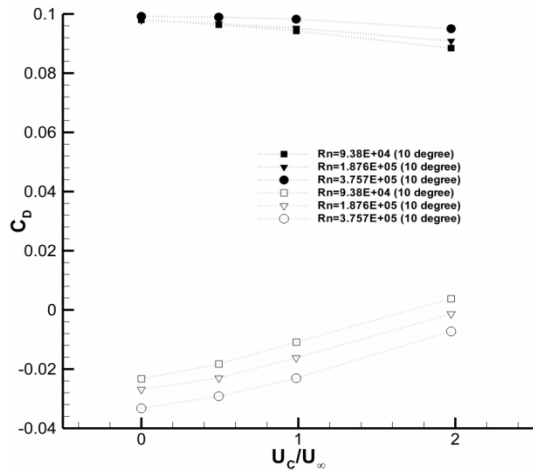


Fig. 8 Effect of the flow velocity and rotating velocity U_c/U_∞ of the trailing edge rotor on the drag coefficients of the rudder elements: horn (solid marks), rudder blade (hollow marks)

10^5 , 1.876×10^5 와 3.752×10^5 일 때 각각의 속도에서 회전자의 회전속도 U_c/U_∞ 를 바꾸어가며 계산하였다. 유입속도가 바뀌고 회전자가 회전할 때 고정부인 혼과 가동부인 타판에 작용하는 양력을 Fig. 7에 나타내고 항력은 Fig. 8에 나타내었다.

Reynolds 수가 증가하면 혼 부분과 타판 부분 모두에서 Fig. 7과 같이 양력 증가가 나타나지만 증가율은 크지 않으며 점차 일정한 값에 수렴하게 될 것으로 판단된다. 그리고 원통의 회전은 혼과 타판 모두에서 양력을 증가시키는 효과를 나타내며 회전 속도의 증가에 따르는 양력의 증가율은 타판 부분이 더욱 크다는 것이 확인되었다. Reynolds수가 증가하면 혼 부분에서는 Fig. 8과 같이 항력의 증가가 나타나는데 반하여 타판 부분에서는 항력을 줄여주는 효과를 가진다. 그리고 회전자의 회전속도가 높아지면 혼 부분의 항력은 점차 줄어드는데 대하여 타판 부분에서는 항력 증가가 보다 빠르게 증가하는 것이 확인되었다. 또한, Fig. 4와 Fig. 5 그리고 Fig. 7과 Fig. 8의 결과로 미루어 볼 때, 회전 속도를 증가시키면 보다 큰 양력을 얻을 수 있으며 항력의 증가는 상대적으로 크지 않을 것임을 유추할 수 있다.

3.5 회전자의 회전과 타 장치 주위의 유동제어 효과

타 장치에 유입되는 유속이 Reynolds 수로 3.752×10^5 인 경우에 대하여 회전자를 회전시키지 않은 경우와 회전속도 U_c/U_∞ 가 0.5, 1.0 그리고 2.0인 세 가지 회전 속도에서의 유동장을 비교하였다. 계산으로 얻어진 타 단면 주위의 압력 분포와 유선변화를 Fig. 9에 나타내었다. 압력분포는 무차원화한 압력 계수인 C_p 를 이용하여 -1 ~ 1까지의 등압력선을 표시하였다. 또한, 유선의 변화도 같이 알아볼 수 있도록 유선을 압력분포와 함께 나타내었다. 또 고정부인 혼의 대칭면을 지나는 수평선과 혼의 중심을 지나는 수평선을 참고가 되도록 일정색선으로 표시하였다. 회전자가 회전하지 않을 때를 Fig. 9(a)에 나타내고 회전자의 회전속도 U_c/U_∞ 가 0.5, 1.0 그리고 2.0 일 때를 Fig. 9 (b), Fig. 9 (c) 그리고 Fig. 9 (d)에 나타내었다.

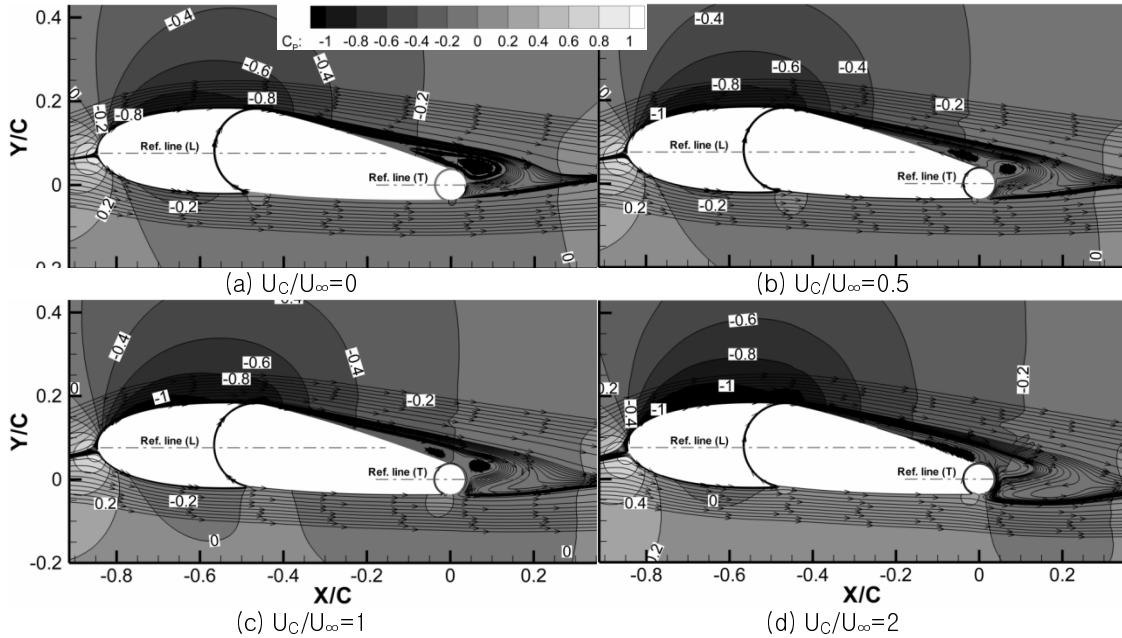


Fig. 9 Iso-piezometric contours and streamlines round the rudder equipped trailing edge rotor at $Re=3.752 \times 10^5$

3.5.1 압력분포의 변화

회전자의 회전 속도를 높여주면 흡입면 쪽에서는 등압력선과 흡입면으로 둘러싸이는 면적이 늘어나서 양력증가에 기여하게 되는 것을 알 수 있다. 압력면 쪽에서는 음의 값을 가지는 등압력선과 압력면으로 둘러싸이는 면적은 줄어드는 한편 양의 값을 가지는 등압력선과 압력면으로 둘러싸이는 부분의 면적은 늘어나서 압력면에서의 압력의 상승이 양력증가의 원인인 것을 알 수 있다.

3.5.2 등압력선의 변화

회전자의 회전속도를 높여주면 회전자에 의하여 타 장치 주위에서 등압력곡선이 변형되게 된다. 압력면 쪽 타판과 만나는 $C_p=-0.2$ 인 등압력선을 살펴보면 회전 속도가 증가하면 교점의 위치가 점차 뒷날 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 또 회전자의 회전에 의해 타판 인접부분에 운동 에너지의 공급이 집중되는 것이 원인이 되어 등압력곡선의 형상이 파인 듯한 꼴이 나타나며 회전속도의 증가에 따라서 더욱 발전하는 것을 확인할 수 있다.

3.5.3 경계층 외부 유선의 변화

회전자가 정지되어 있는 상태에서의 유선분포를 Fig. 9(a)에서 살펴보면 압력면을 스치고 지나가는 유선이 회전자 주변을 지나면서 흡입면 쪽으로 상승하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 $U_c/U_\infty=0.5$ 로 회전자가 회전하는 경우인 Fig. 9(b)에서는 회전자 하부를 지나가는 유선의 상승이 둔화된 것을 확인할 수 있다. $U_c/U_\infty=1$ 인 Fig. 9(c)의 경우에는 회전자의 회전에 의한 유동의 영향이 더욱 커지면서 회전자의 하부를 지나가는 유선이 오히려 더 아래쪽으로 내려가다가 약 $X/C=0.1$ 정도부터 상승하며 $U_c/U_\infty=2$ 인 Fig. 9(d)의 경우에는 회전자의 하부를 지나가는 유선이 약 $X/C=0.2$ 에 이르기까지 아래쪽으로 내려가다가 상승하는 것을 알 수 있다. 또한 타 단면의 앞날 주위를 살펴보면 회전자의 회전속도가 증가할수록 타 단면에 대한 유입각도가 커지는 것을 볼 수 있다.

3.5.3 까지 살핀 바의 특성을 종합하면 타의 뒷날에 부착한 회전자를 회전시켜 타 주위의 순환(circulation)을 제어할 수 있다고 판단할 수 있다.

3.5.4 경계층 내부 유선의 변화

회전자가 회전하지 않는 상태에서 타 단면의 뒷날 근처에 형성된 경계층 내부의 유선을 살펴보면 Fig. 9(a)에서와 같이 강력한 보오텍스 유동이 되어 있음을 확인할 수 있다. 이 때 회전자를 회전시키면 회전자의 표면을 따라서 후방으로 형성되는 유동과 보오텍스에 의하여 전방으로 향하는 유동이 상쇄되며 보오텍스를 두 개로 분리시키는 것을 확인할 수 있다. 또한 회전자의 회전속도가 증가하면 보오텍스는 후방으로 이동하며 뒷날 부근에 이르는 보오텍스는 소멸하게 되는 것을 확인할 수 있다. 회전 속도를 보다 높여주면 경계층 내부에 형성되는 보오텍스를 소멸시킬 수도 있을 것임을 추론할 수 있다.

3.5.5. 회전자 주위 유동의 특징

3.5.4 에서 살핀 경계층 내부 유선의 변화원인을 보다 확실하게 살피기 위하여 회전자 주위의 유동을 Fig. 10 에 나타내었다. 즉, 회전자가 정지되어 있을 때에는 유동박리에 의한 커다란 보오텍스가 회전자 뒷면에 하나의 덩어리를 이룬다. 보오텍스로 인하여 회전자 상면에는 전방으로 향하는 유선이 형성되어 속도저하가 일어남으로 압력의 상승을 일으켜 회전자와 타판 사이의 틈새를 통하여 흡입면에서 압력면 쪽으로 흐르는 유동이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 회전자가 $U_c/U_\infty = 0.5$ 로 회전하면 타판과 회전자 사이에는 압력면에서 흡입면쪽으로 흐르는 틈새 유동이 형성된다. 이 틈새를 지난 흐름이 회전자 상면의 보오텍스를 두 개의 보오텍스로 분리시킨다. U_c/U_∞ 가 1.0 인 경우에는 분리된 두 개의 보오텍스 모두 세기가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 U_c/U_∞ 가 2.0 에 이르면 분리된 후방의 보오텍스가 회전자에 의하여 형성되는 유동의 영향으로 소멸되는 것을 확인할 수 있다.

한편, 회전자가 정지되어 있을 때에는 회전자 주변의 유선은 $Y/C=0$ 근처에서 유동의 정체점(stagnation point)이 나타나며 회전속도가 증가할수록 회전자의 하부($Y/C=-0.35$) 근처에서 정체점이 나타나며 U_c/U_∞ 가 2.0 에 이르면 정체점이 회

전자 표면에서 나타나지 않는다.

3.5.6 유동 박리 위치의 변화

Fig. 11 은 유동의 박리현상과 회전자의 회전 속도와와의 관계를 확인하기 위하여 회전속도 U_c/U_∞ 를 바꾸어 유동을 계산하고 타판의 흡입면에서 발생하는 유동 박리(separation)를 속도 벡터와 유선(streamline)을 통하여 보인 것이다. 유선의 형상만으로 박리 위치를 명확하게 알아볼 수 없기 때문에 $X/C=-0.25, -0.2, -0.15, -0.1$ 인 위치에서 수직선을 세우고 수직선에서 유선에 따르는 속도 벡터를 표기하여 속도분포를 가시화하고 이로부터 박리점의 위치를 알아내고자 하였다. 원통이 고정되어 있을 때에는 $X/C=-0.233$ 근처에서 유동 박리가 일어나는데 대하여 회전자의 회전 속도가 빨라지면서 유동박리의 위치가 뒷날 쪽으로 이동한다는 사실을 알 수 있다. $U_c/U_\infty=2$ 인 경우에는 유동 박리가 약 $X/C=-0.182$ 까지 이동하는 것이 확인 된다. 3.5.4 와 3.5.5 그리고 3.5.6 에서 살핀 결과를 종합하면 회전자가 회전하는데 따라 타 단면 주위 경계층 내부의 유동도 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

고정부인 혼과 가동부인 타판으로 이루어지며 타판의 뒷날에 회전자를 붙여주는 선박용 타 장치를 제안하고 이 장치가 선박의 타력을 향상시키는 데 기여 할 것으로 기대하였다. 이를 입증하기 위하여 단면형상이 NACA0020 이고 코드길이가 200mm 인 2 차원 타 단면을 수치 계산 모형으로 선정하여 수치 계산을 수행하였다. 타판의 뒷날 부분에 직경이 14mm 인 회전자를 붙여 새로운 타 장치를 제안하고 회전으로 양력을 획기적으로 향상되는 것을 수치계산 결과를 검토하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 타판의 뒷날에 직경이 타 장치 코드길이의 7%에 해당하는 회전자를 붙여주면 회전자가 정지된 상태에서 타 장치에서 발생하는 유체력에는 큰 변화가 없다.

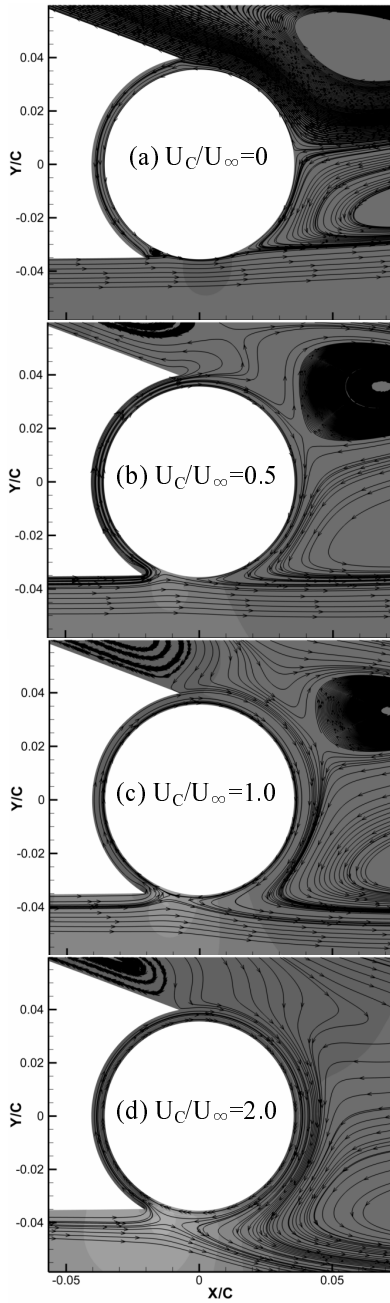


Fig. 10 Effect of the rotational velocity of the trailing edge rotor on velocity profiles near the trailing edge and break of the vortex which built up on the suction side of the rudder blade at $Rn=3.752 \times 10^5$

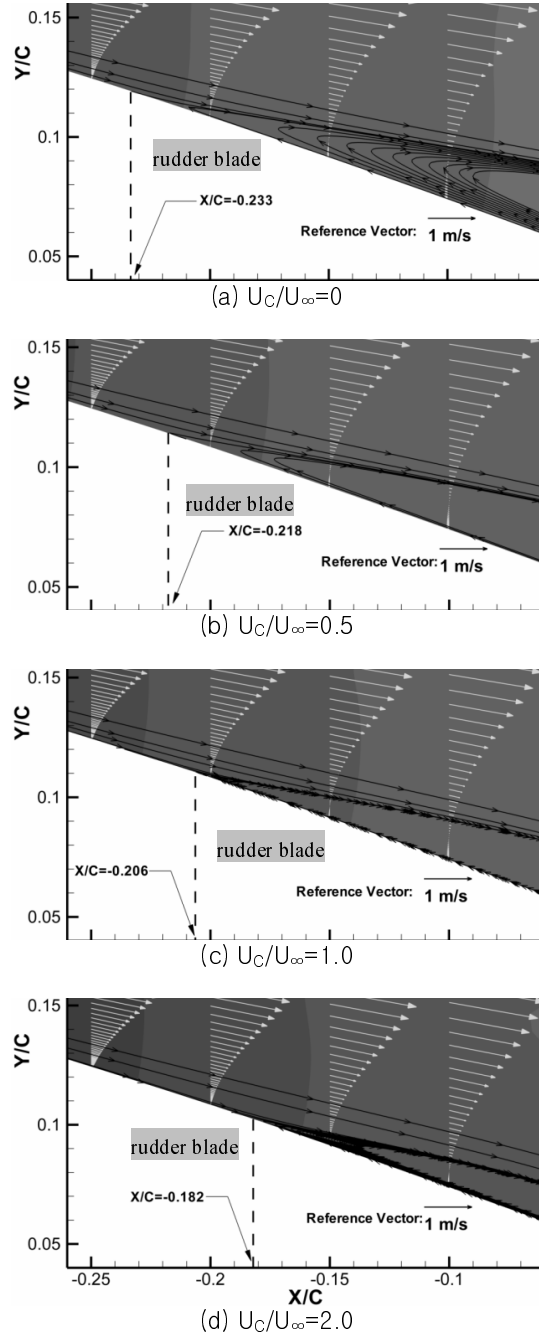


Fig. 11 Effect of the rotational velocity of the trailing edge rotor on velocity profiles and separation points on the suction side of the rudder blade at $Rn=3.752 \times 10^5$

2) 회전자의 회전속도 U_c/U_∞ 가 증가함에 따라서는 양력계수는 일정기울기를 가지고 빠르게 증가하는데 대하여 유입유속 증가로 Reynolds 수가 커지는데 따르는 양력계수의 증가율은 매우 작다. 그리고 항력계수도 같은 경향을 가지나 양력계수에 비하여 영향이 작다.

3) 회전자의 회전속도를 높여주면 회전자 자체의 양력이 증가할 뿐만 아니라 혼과 타판에서 보다 큰 양력의 증가를 일으킨다.

4) 회전자의 회전은 날개 주변에 순환 유동을 강화하여 주위의 유속분포와 압력분포를 양력과 항력을 변화시키며 동시에 경계층내부의 유동형태에도 영향을 주는 것으로 확인되었다.

이상의 수치적 계산 결과에 대한 실험적 검증이 이루어지면 타 장치뿐 아니라 양력을 활용하는 각종의 선박용 부가장치의 효율을 높이는데 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

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

- Ahn, H.S. and Kim, H., 1999, "Experimental Study on the Effects of Water Jetting on a Flapped Rudder," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 36, No. 1, pp. 22-29.
- Ahn, H.S. and Kim, H., 2003, "An Experimental Study of Coanda Effect on the Flapped Control Surfaces," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 40, No. 5, pp. 10-16.
- Al-Garni, A.Z., Al-Garni, A.M., Ahmed, S.A. and Sahin, A.Z., 2000, "Flow Control for an Airfoil with Leading-Edge Rotation: An Experi-

mental Study," Journal of Aircraft, Vol. 37, No. 4, pp. 617-622.

- Brooks, J.D., 1963, The Effect of a Rotating Cylinder at the leading and Trailing Edges of a Hydrofoil, U.S. Naval Ordnance Test Station, NAVWEPS Report 8042.

- Hong, S.J. and Lee, S.H., 2004, "A Study on the Flow Characteristics around a Coanda Control Surface," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 8, No. 2, pp. 13-19.

- Choi, S.H, Choi, H.C. and Kang, S.M., 2002, "Characteristics of Flow Over a Rotationally Oscillating Cylinder," Transactions of the KSME B, Vol. 26, No. 4, pp. 515-523.

- Moon, J.K., Park, J.C., Chun, H.H. and Suh, S.B., 2005, "Numerical Simulation on Laminar Flow Past a Rotary Oscillating Circular Cylinder," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 4, pp. 368-378.

- Park, J.J. and Lee, S.H., 2000, "A Numerical Study on a Circulation Control Foil using Coanda Effect," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 2, pp. 70-76.

- Seo, D.W., Kim, J.H., Kim, H. and Lee, S.H., 2008, "Influence of Jet Nozzle Arrangement on the Performance of a Coanda Foil," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 6, pp. 569-578.



<오정근>



<김효철>