

관다효과를 적용한 고정식 핀 안정기의 성능개선에 관한 연구

서대원* · 이세진** · † 이승희

* 인하대학교 정석물류통상연구원 연구교수, **인하대학교 조선해양공학과 석사과정, † 인하대학교 항공·조선·산업공학부 교수

A Study to Improve the Performance of a Fixed Type Fin Stabilizer with Coanda Effect

Dae-Won Seo* · Se-Jin Lee** · † Seung-Hee Lee

*Jungseok Research Institute of International Logistics and Trade, Inha University, Korea

** † Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Korea

요 약 : 거친 바다를 운항하는 선박의 경우 횡 동요로 인해 선박 내의 장비운영 문제 및 탑승객들에게 큰 불편함을 초래한다. 따라서 횡 동요 감쇠를 위한 목적으로 빌지 킬, 핀 안정기, 자이로스코프, ART(Anti-Rolling Tank), 타, 플랩 등 다양한 횡 동요 감쇠장치들이 사용되고 있다. 관다효과는 관다제트가 곡면의 표면을 따라 흐르며 주위 유동의 순환을 증가시켜 양력을 효과적으로 발생시키는 방법으로 핀의 양력성능을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 모형시험 및 수치계산을 통해 관다효과를 적용한 고정식 핀 안정기의 사용가능성을 검토하였다. 그 결과 받음각이 0°에서, 제트모멘텀을 $C_j = 0.25$ 만큼 공급할 때, 기준 핀의 최대 작동각(26°)에서 발생하는 양력과 동일하게 발생하는 것으로 나타났다. 즉 받음각을 변화시키는 기존의 핀 안정기와 달리 받음각을 고정하고, 관다효과를 통한 제트유동제어만으로 선박의 횡 동요를 능동적으로 제어 할 수 있을 것으로 보인다.

핵심용어 : 안정기 핀, 고정식 안정기 핀, 능동제어, 관다효과, 제트모멘텀, NACA0015

Abstract : A ship operating in rough sea may suffer from an undesirable motion which may severely degrade the performance of equipment onboard and give a person an uncomfortable feeling. Hence, roll stabilization received a considerable attention and various devices including bilge keels, stabilizing fins, gyroscopic, anti-rolling tanks, rudders and flaps have been conceived and utilized for the purpose. The Coanda effect is evident when a jet stream is applied tangential to a curved surface of a hydrofoil since then the jet increases the circulation around the foil and consequently the lift. Model tests and numerical simulation have been conducted to examine the practicality of a fixed type fin stabilizer augmented by the Coanda jet. The results show that the lift coefficient of the modified Coanda fin at the zero angle of attack identically coincides with that of the original fin at $\alpha = 26^\circ$ when Coanda jet is supplied at the rate of $C_j = 0.25$. It is also shown that fixed type fin stabilizers for active control of the motions of ships and the other mobile units without rotation can be put to practical use if the Coanda effect is applied.

Key words : Stabilizer fin, Fixed type fin stabilizer, Active control, Coanda effect, Jet momentum, NACA 0015

1. 서론

일반적으로 항해하는 배는 파도와 바람 등의 외력에 의해 6 자유도 운동을 하며, 이를 제어하기 위한 다양한 날개장치들이 선박에 사용된다. 선박에 사용되는 날개장치로는 조타장치와 횡 동요를 감쇠하기 위한 핀 안정기가 있다. 또한 수중익선은 선저에 대형 날개장치가 있어 고속운항 시에 양력을 받아 배를 수면위로 밀어 올려 전 저항을 감소시키는 역할을 한다. 이와 같이 선박에 사용되는 다양한 날개 장치들은 유입되는 유동에 의해 날개장치에서 발생하는 양력을 이용하여 제어하게 된다. 따라서 양력을 증가시키기 위한 다양한 방법 및 핀의

제어에 관한 연구가 현재까지도 꾸준히 진행되고 있다(Cho et al., 2004; Cho and Lim, 2011).

수중 날개는 선박을 제어하기 위한 매우 중요한 양력 발생 장치로 선박의 횡 동요 감쇠용 핀(fin)과 조타 장치(rudder)가 대표적인 예이다. 이 중 조타장치로 흔히 쓰이는 타-장치에 관한 연구는 최근 활발히 이루지고 있다. 국내의 중소조선업체들도 타 장치에 관한 상당한 노하우를 축적하고 있어, 국내에서 건조하는 많은 컨테이너선의 타 장치를 공급하고 있다. 그러나 횡 동요 감쇠용 안정 핀에 대해서는 아직까지 기본 연구 및 실용화가 미미한 실정이다. 또한 기존의 연구는 핀의 단 특성능 관점에 국한 되어 있어 핀 안정기로 인한 선박 자세

† 교신저자 : shlee@inha.ac.kr 032)860-7337

* 연회원, dwseo@inha.ac.kr 032)860-8812

** 연회원, omdl34@naver.com 032)860-8812

제어 등에 관한 기초 연구가 부족한 실정이다(Min, 1985).

이론적으로 날개에 발생하는 양력의 크기는 유입유속의 제곱에 비례하므로 유속이 낮은 경우, 날개에서 발생하는 양력은 더욱 낮아지게 되어 원하는 조타성능을 발휘하지 못하는 경우가 종종 발생한다. 이로 인해 크루즈 선과 같은 고부가 가치 선박에서도 저속에서 날개장치의 횡 동요 감쇠력 부족으로 선박의 항해 안전성 및 쾌적성에 문제를 야기할 수 있다. 또한 균함에 설치된 함포 및 유도무기 등의 정확도가 떨어지게 되어 함정의 작전수행 및 생존능력도 떨어지고, 함정에 설치되어 있는 운용 장비들이 심한 횡 동요 운동에 의해 막대한 손상을 입을 수도 있다.

외국에서는 안정기용 핀의 경우 설계기술이 상당히 발전되어 낮은 속도에서도 횡 동요를 줄이는 안정기용 핀을 설계하여 상용화 한 바 있다(Jin et al, 2006). 국내에서도 대학 및 연구소를 중심으로 다양한 학문적 연구가 수행된 바 있다. Seo et al(2007, 2008)는 안정기용 핀의 성능을 개선하기 위해 주 날개 근처에 꼬리 날개 등의 부가물을 설치하여 양력성능을 향상시키는 방법과 끝판(end plate)를 장착하여 양력성능을 향상시키기 위한 연구를 수행한 바 있다. Ahn and Kim(2003)은 플랩을 가지는 날개 장치에 Coanda 효과를 적용하여 양력성능을 더욱 증가시킨 바 있으며, Park and Lee(2000), Seo and Lee(2011)는 관다효과를 극대화 할 수 있도록 날개장치의 뒷날 형상을 원형으로 설계하여, 분사된 제트유동이 표면을 잘 따라 흘러가게 함으로써 순환을 증가시키는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 관다 효과를 안정기용 핀의 성능향상 문제에 적용하여 기존의 능동식 핀 안정기와는 달리 핀을 고정한 채 제트 모멘텀의 제어만으로 핀의 양력성능을 향상시키기 위한 연구를 모형시험과 수치계산을 통하여 수행하였다.

2. 모형시험

2.1 대상 핀 안정기

본 연구에서는 비교대상 모형으로 Seo et al. (2008)에서 사용한 기준단면이 NACA 0015 단면이고 받음각의 변화에 따라 양력이 변화하는 일반적인 능동형 안정기용 핀을 택했다.

관다 핀 안정기의 기하학적 형상은, Seo and Lee(2011)의 2차원 수치해석 결과를 Fig. 1과 같이 관다효과를 효과적으로 발생시킬 수 있도록 수정하여 결정하였다. 먼저 관다 장치(플래넵, 슬릿 등)를 안정기용 핀 내부에 격납하기 위해서 날개단면 앞날로부터 거리가 코드길이(C)의 30% 이하인 부분은 NACA 0015 단면형상을 그대로 유지하도록 하였으나, 0.3C 이후인 부분의 형상은 뒷날 원형부에 자연스럽게 연결될 수 있도록 수정하였다.

뒷날 원형부와 제트 노즐의 크기는 관다효과의 발생에 중요한 영향을 미치는 요소이다. 뒷날 원형부의 곡률반경이 너무 작으면 분사된 제트유동이 상대적으로 표면을 잘 따라가지

못하게 되며 그 반대로 곡률반경이 과도하게 커지면 제트를 분사하지 않았을 경우 뒷날에서 비대칭 보오텍스가 주기적으로 발생되어 기진력이 유발된다(McAlister and Takahashi, 1981). 따라서 2차원 수치계산 결과를 바탕으로 뒷날 실린더의 반경(R)을 평균 코드길이(C)의 7%가 되도록 정하고, 분사 슬릿의 높이는 제작 공차 등을 고려하여 1.5mm로 택하였다. 이때 슬릿의 높이를 평균 코드로 무차원화 하면 0.005로 실용적인 관다 슬릿 높이 범위 내에 놓이게 된다.

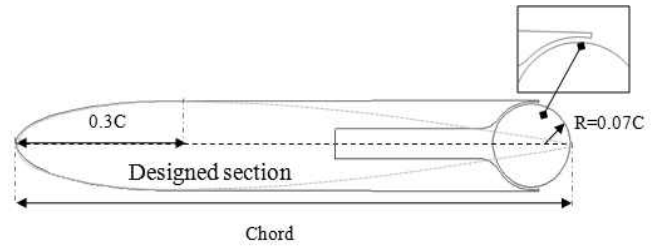


Fig. 1 Shape of the fin section modified to accommodate Coanda devices

기준 핀과 관다 핀의 평균 코드와 스패는 각각 280mm와 140mm로 일치 시켰으며, 기타 주요치수는 Table 1에 정리되어 있는 바와 같다.

Table 1 Principal particulars of stabilizer fin

Scale ratio	1/7.5
C_{Max}	347 mm
C_{Min}	213 mm
Span	140 mm
H_{slit}	1.5 mm

모형시험을 위한 안정기 핀의 모형은 Fig. 2와 같이 가공이 용이한 우레탄 폼과 아크릴을 사용하여 제작하였으며, 표면을 매끄럽게 하기 위해서 포마이크를 이용하여 코팅 처리하였다.



Fig. 2 Photographs of the Coanda fin

또한 뒷날의 순환을 증가시키기 위한 원형 실린더는 두께 2mm인 PVC 파이프를 이용하여 제작하였고, 제트유동이 분출되는 슬릿 내부에는 내부압력에 의한 변형을 억제하기 위해 두 개의 스페이서를 두었다.

2.2 실험의 구성

판다 고정식 안정기 핀의 성능해석을 위한 모형시험은 인하대학교의 회류수조에서 수행되었으며, 1/7.5 축척 모형을 이용하였다. Fig. 3과 같이 안정기용 핀의 양·항력 성능을 동시에 측정하기 위해 모형의 상부를 3분력계에 연결하고, 자유수면 효과를 제거하기 위하여 막음판을 설치하였다. 판다 제트 유동을 공급하기 위한 시스템은 가압펌프와 노즐로 공급되는 유량을 측정하기 위한 전자식 유량계로 구성하였다.

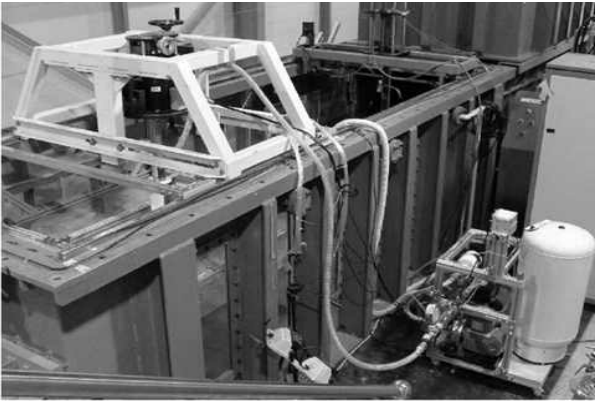


Fig. 3 Photograph of the jet blowing system

모형시험은 유속 2m/s 에서 수행되었으며 이 조건에서 평균 코드(C)를 기준으로 한 레이놀즈수는 5.5×10^5 이다. 실험에서는 제트모멘텀을 다양하게 바꾸어 가며 판다효과로 인한 양·항력 특성의 변화를 조사하였다. 주요 실험조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Major parameters used for the tests

C_j	0	0.05	0.1	0.2	0.25	0.3
V_∞ [m/s]	2					
V_{jet} [m/s]	0	3.74	5.29	7.48	8.37	9.16
Flow rate [kg/s] $\times 10^{-3}$	0	0.91	1.07	1.28	1.57	1.81
$[V_{jet}/V_\infty]^2$	0	3.5	7	14	17.5	21

2.3 무차원 변수

모형시험에 사용된 무차원화된 제트 모멘텀 계수는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$C_j = \frac{\dot{m} V_{jet}}{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^2} \quad (1)$$

여기서 \dot{m} 는 질량유량(kg/s), V_{jet} , V_∞ 는 슬릿을 통해 분사

되는 제트 유동의 유속과 유입유속이며, S 는 핀의 투영면적이다. 마찬가지로 양력과 항력, 압력계수는 식(2)와 같이 무차원화 하였다.

$$C_L = \frac{Lift}{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^2}, \quad C_D = \frac{Drag}{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^2}, \quad C_p = \frac{p - p_o}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad (2)$$

여기서 S 는 평균 코드와 스패의 곱으로 나타내며 ρ 는 유입류의 밀도, V_∞ 는 유입류의 유속을 나타낸다.

3. 수치해석

3.1 지배방정식

지배방정식은 식 (3), (4)와 같이 연속방정식과 운동량 방정식으로 좌표축 $x_i = (x, y, z)$, 각 축 방향의 평균 속도성분을 $u_i = (u, v, w)$ 라고 하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \\ & \quad - \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \overline{u'_i u'_j}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 $-\overline{\rho u'_i u'_j}$ 는 레이놀즈 응력, μ 는 동역학적 점성계수, p 는 정압을 나타낸다.

3.2 계산 조건

수치계산은 상용 수치계산조직(Fluent 6.3)을 사용하여 수행하였다. 이때 지배방정식은 유한체적법(Finite volume method)으로 차분하고 이산화 과정을 거쳐 대수방정식으로 변환되며, 그 과정에서 확산항에는 중심 차분법, 시간에 대한 미분항에는 1차 음해법을 사용하였다. 압력방정식으로는 Rhin/Chow방법을 수정한 방법을 사용하였으며(FLUENT 2005), 속도-압력의 연성에는 SIMPLE 방법을 사용하였다. 또한 완화계수 값으로 압력에 대해서는 0.3, 운동량에 대해서는 0.5, 난류에 대해서는 0.5를 주었다.

Fig. 4에 보인 바와 같이 수치격자는 Gridgen Ver.15.06을 사용하여 생성하였다. 3차원 계산 영역은 코드 C 로 무차원화했을 때 $-2.5 \leq X/C \leq 5$, $-5 \leq Y/C \leq 5$, $-2.5 \leq Z/C \leq 0$ 로 택하였으며, 날개 뒷날 부근에서의 유동을 더욱 상세히 검토하기 위하여 총 격자수 약 1,300,000개, 슬릿 내부에서는 높이방향으로 30개의 격자를 분포시켰다.

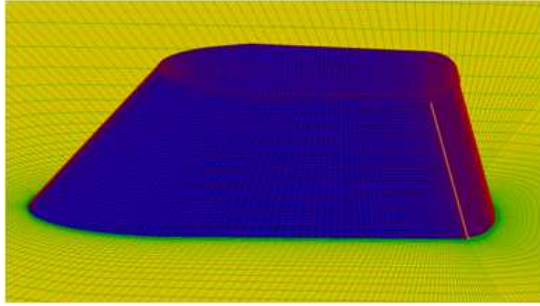


Fig. 4 Computational mesh around the Coanda fin.

경계조건으로는 유입 면에서는 균일류 조건($u = 1, v = w = 0$)을 유출 면에서는 정압력이 일정하다는 조건을 사용하였으며 날개 표면에서는 Nonslip 조건 ($u = v = w = 0$)을 주었다. 또한 관다제트 유입구에 균일류 조건을 사용하여 슬릿에서 일정한 유량이 분사되도록 하였다.

난류 모형으로는 일반적으로 유동 박리 현상을 예측하는데 우수하고 실속성능 등을 정확하게 예측한다고 알려진 SST- $k-\omega$ 모형을 사용하고, 수치 해석은 실험 조건과 동일하게 하여 실험값과 비교하였다.

4. 결과 분석

4.1 양·항력성능

일반적으로 선속이 증가하면 횡 동요가 줄어들고 핀에서 발생하는 양력도 증가하기 때문에 핀 안정기의 작동범위는 선속에 따라 달라진다. 본 연구의 비교대상인 핀 안정기는 선속 15 kts 이하에서는 최대 26°까지 받음각을 변화시켜 횡 동요를 제어하지만, 선속이 증가하면 핀의 최대 운용 각이 점차 감소하여 25 kts에서는 9°가 되며, 30 kts 이상에서는 핀 안정기가 작동되지 않는다. 관다효과를 적용한 고정식 안정기용 핀과 비교대상 안정기용 핀의 양·항력성능을 비교하기 위해 Seo and Lee(2011)의 기준 안정기용 핀의 특성을 Fig.5에 보인다.

비교대상 핀은 받음각 30°까지 양력성능이 선형적으로 증가하다가 실속이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 이 핀의 최대 운용 각은 26°이므로 실속이 발생되지 않는 범위 내에서 작동하도록 설계되었음을 알 수 있으며, 이 때 대상 핀의 최대 양력계수는 약 1.10에 달하나 최대 운용 각 범위 내에서는 약 0.9정도가 됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 본 연구의 실험 및 수치계산 결과로써, 받음각을 변화시키는 대상 핀과는 달리 받음각을 0°로 고정하고, 슬릿을 통해 분사되는 제트모멘텀(C_j)을 0에서부터 0.3까지 변화시켜 가면서 측정한 양·항력성능과 계산 결과를 비교하고 있다. 그 결과 관다 핀 안정기의 경우에는 받음각이 0°로 고정시킨 조건에서도 제트모멘텀을 조절하여 양력이 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 대상 핀의 양력성능과 비교하면, 제트모멘텀 계수(C_j)를 약 0.25정도로 증가시키면 대상 핀의 최대 작동각인 26°에서 발생하는 양력과 동일한 양력을 얻을 수

있는 것으로 나타났다. 즉 받음각 변화에 따른 양력 변화를 이용하여 횡 동요를 제어하는 대상 핀 안정기와는 달리 관다 핀 안정기는 핀을 고정된 상태에서 관다 제트유동의 세기만을 제어하여 양력성능 제어할 수 있으며 제트모멘텀 계수 $C_j=0.3$ 에서 대상 핀의 최대양력과 동일한 양력이 얻어짐을 알 수 있다. 그러나 공급된 제트 유동이 뒷날 원형부의 표면을 따라 상당한 각도로 회전한 후 박리되기 때문에 대상 핀에 비해 항력성능이 증가함을 확인 할 수 있다. 그러므로 제트모멘텀 공급을 최소화하면서도 효율적으로 양력을 증가시키고 항력증가는 최소화할 수 있는 뒷날 형상을 결정하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

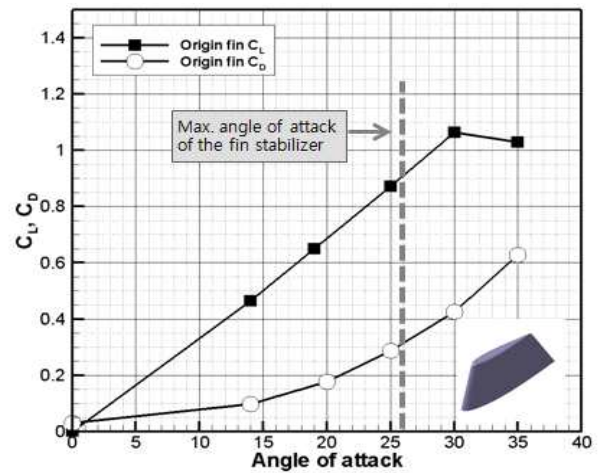


Fig. 5 Experimental results of a original stabilizer fin at $Rn=2.1 \times 10^6$ (Seo and Lee, 2011)

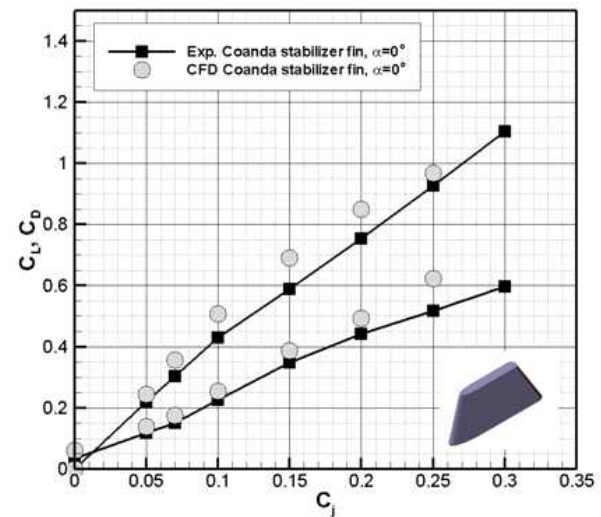


Fig. 6 Comparison of lift and drag coefficients at the various jet momentum coefficient ($R_n = 5.5 \times 10^5, \alpha = 0^\circ$)

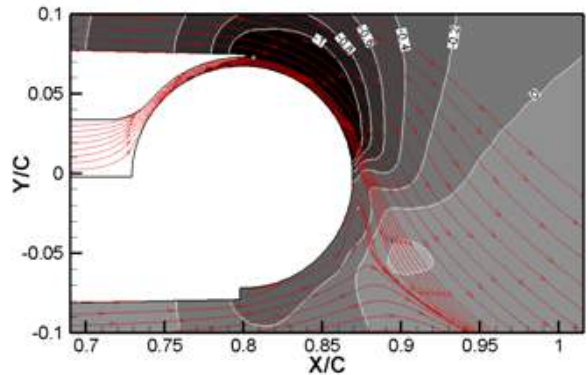
또한 수치계산에 의한 양력성능이 모형시험에 비하여 약 4%에서 최대 10%정도 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 수치계산에서는 모형시험에서 나타나는 핀 안정기 내부

의 제트유동 관로 등을 고려하지 않아, 압력수두 손실에 따른 영향을 무시하였기 때문일 것으로 판단되며, 또한 모형시험의 경우에도 슬릿을 통해 분사되는 제트유동이 스펀방향으로 균일하게 분사되지 못하였기 때문으로 보인다.

4.2 제트모멘텀 변화에 따른 핀 안정기 뒷날의 유동변화

제트모멘텀 계수(C_j)에 따른 핀 주위의 유동특성과 압력분포의 변화를 Fig. 7에 보인다. 수치계산 결과는 안정기 끝단에서 발생하는 3차원 팁 보오텍스 유동의 영향을 포함하기 때문에 안정기의 뿌리로부터 스펀의 1/4지점에서의 제트유동특성변화를 조사하였다. 제트모멘텀계수(C_j)가 0.07인 경우 슬릿을 통해 분사된 제트유동은 뒷날 실린더의 곡면을 따라 약 60°회전 한 후 박리되는 것으로 나타났다. C_j 가 증가할수록 이러한 제트유동의 회전각(Turning angle)이 증가하여 순환이 커지는 경향으로 나타나 결국 이러한 순환증가가 받음각이 0°로 고정된 상태에서도 양력을 증가시키고 있음을 알 수 있다.

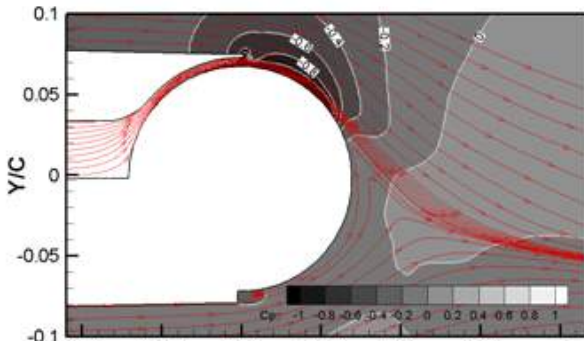
(C) $C_j=0.15$



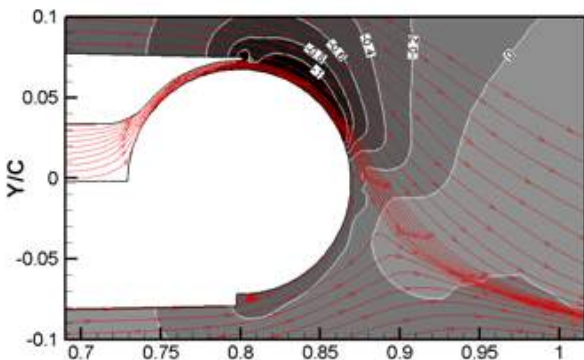
(d) $C_j=0.2$

Fig. 7 Streamlines and C_p distribution around the Coanda fin for various jet momentum coefficient C_j around the section apart 1/4C from the root of the fin. ($Rn = 5.5 \times 10^5$, $\alpha = 0^\circ$)

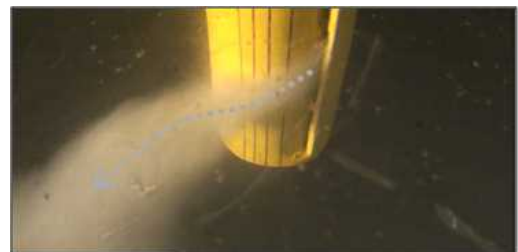
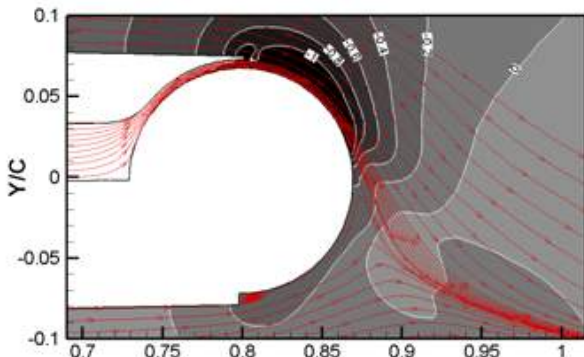
유동 가시화를 통해 제트유동의 3차원 거동을 확인하기 위하여 핀의 끝단으로부터 스펀의 1/4C 만큼 떨어진 지점에서 노즐 내부에 삽입된 내부직경 1.5mm인 관을 통해 흰색염료를 공급하여 제트모멘텀의 변화에 따른 유동변화를 관찰하였다. 그 결과 Fig.8에 보인 바와 같이 제트모멘텀이 증가 할수록 뒷날 원형부에서의 제트유동 회전각이 사진에 표시된 점선과 같이 증가하는 것을 확인 할 수 있으며 정성적으로 수치계산 결과와 동일한 경향을 보임을 알 수 있다.



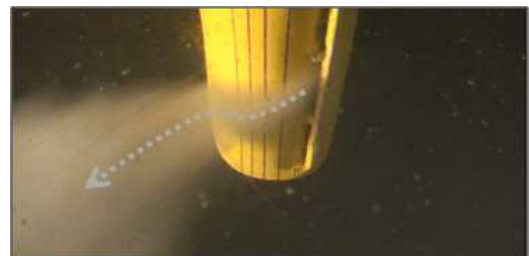
(a) $C_j=0.07$



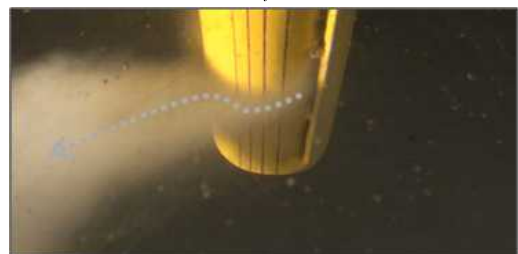
(b) $C_j=0.1$



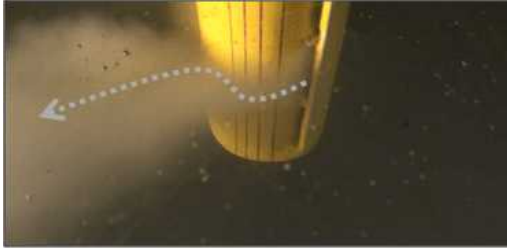
(a) $C_j=0.07$



(b) $C_j=0.10$



(C) $C_j=0.20$



(d) $C_j=0.25$

Fig. 8 Visualization of the Coanda jet flow near the trailing edge of the Coanda fin for various jet momentum coefficient C_j ($Rn = 5.5 \times 10^5$, $\alpha=0^\circ$)

5. 결론

기존방식의 능동식 핀 안정기는 핀을 회전시킬 때 나타나는 받음각의 변화에 따른 양력변화를 이용하여 선박의 횡 동요를 제어한다. 본 연구에서는 핀은 고정시킨 상태에서 뒷날에서 분사되는 관다 제트 모멘텀의 변화만으로도 기존 안정기 핀과 대등한 양력성능을 발생시킬 수 있는 고정식 관다 핀을 설계하고 그 성능을 모형시험과 수치계산을 통해 확인하여 다음과 같은 결과를 확인하였다.

- 본 연구에서 개발한 고정식 관다 핀의 경우 제트모멘텀 계수 $C_j = 0.25$ 부근에서 비교대상인 기존방식의 능동식 핀 안정기의 최대 작동각인 받음각 26° 에서 발생하는 양력과 대등한 양력을 얻을 수 있음을 확인하였다. 즉, 받음각을 변화시키지 않아도 관다효과를 적용하면 제트유량 공급을 제어하는 것만으로도 선박의 횡 동요 억제에 필요한 핀의 양력성능을 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 보인다.

- 뒷날에서 분사된 제트유동의 회전각은 공급된 관다 제트 유동의 모멘텀이 증가할수록 커지는 경향을 보이고 있으며, 이로 인한 순환증가로 핀 안정기의 양력성능이 향상되는 것으로 나타났다.

- 그러나 제트모멘텀을 증가시키면 본 연구에서 설계된 관다 핀의 항력도 증가하는 경향을 보이므로 실용화를 위해서는 뒷날 형상을 양·항력 성능 관점에서 최적화하기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 인하대학교의 지원으로 수행된 연구임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- [1] Ahn, H. S., Kim, H. C.(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.
- [2] Cho, C. J., Lim, K. Y.(2011), "A Digital Fin Stabilizer Controller Design for Reduction of Ship Rolling in Waves.", Proceedings of the KIEE Conference, pp. 1742-1743.
- [3] Cho, S. K., Hong, S. Y., Jang, T. S.(2004), "Experiment and Simulation Study on Performance and Design of Fin-Stabilizer.", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, No. 6, pp. 1-7.
- [4] Jin, H. Z., Yu, W., Qi, Z. G., Jin, G.(2006), "Study on lift generation of Weis-Fogh flapped fin stabilizer at zero speed.", SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference. pp. 1521-1524.
- [5] McAlister K. W., Takahashi R. K.(1981), "NACA0015 wing pressure and trailing vortex measurements.", ACSCOM Technical Report 91-A-003
- [6] Min, K. S.(1985), "A Study on the Preliminary Design of Fin Stabilizer.", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 22, No. 4, pp. 1-8.
- [7] Park, J. J., 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
- [8] Seo, D. W., Jeong, S. W., Lee, S. H.(2007), "Influence of Tail Blades on the Performance of a Fin.", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 2, pp. 55-63.
- [9] Seo, D. W., Kim, J. H., Lee, S. H.(2008), "On the Influence of End Plates upon the Tip Vortex Cavitation Characteristics of a Fin Stabilizer.", Journal of the Society of Naval Architects of Korea Vol. 45, No. 1, pp. 18-28.
- [10] Seo, D. W., Lee, S. H.(2011), "A Numerical Study for Design of a Fixed Type Fin Stabilizer Utilizing the Coanda Effect.", Journal of the Society of Naval Architects of Korea Vol. 48, No. 2, pp. 113-120.

원고접수일 : 2013년 3월 14일

심사완료일 : 2013년 6월 3일

원고채택일 : 2013년 6월 13일