

타력 향상이 근해운송선박의 선회 성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

전희철* · 김상현**† · 김현준*** · 박화평***

* 한라산업개발, ** 인하대학교 공과대학 조선해양공학과, *** 대우조선해양 중앙연구소

A Experimental Study on the Effect of Increasing Rudder Force on Turning Ability of Short Sea Shipping Ship

Hee-Chul Jun* · Sang-Hyun Kim**† · Hyun-Jun Kim*** · Hwa-Pyeong Park***

* Seoul office, Halla Energy & Environment Co., Ltd., Seoul, 138-811, Korea

** Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, College of Engineering, INHA University, Incheon, 402-751, Korea

*** Central Research Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., Seoul, 100-180, Korea

요 약 : 안전하며 친환경적인 근해운송시스템을 확보하기 위해서는 운송 수단인 선박의 안전한 운항 확보가 필수적이다. 특히 좌초, 충돌 등의 해난사고를 방지하기 위해서는 선박이 우수한 조종성능을 갖는 것이 요구되며 특히 조종성능 중에서 선회성능은 충돌 회피 등에 필수적인 성능이다. 본 연구에서는 선박에 부착된 조타기의 타력 증가가 선박의 선회성능에 미치는 영향을 모형선 실험을 통하여 고찰하였다. 먼저 Coanda 효과를 이용한 고 양력 타 장치 모형과 47K PC의 모형선을 제작하였다. 또한 모형선의 선회 성능 실험을 위한 자유항주시스템을 구축하고 사각 수조에서의 타력 증가 값을 변화시켜가면서 모형선의 선회 성능을 측정하여 타력 증가에 따른 선회 성능의 변화를 평가하였다. 모형선의 선회성능 실험결과를 통해 타력 증가가 근해운송 선박의 선회 성능 향상에 효과적인 것을 확인하였다.

핵심용어 : 조종성능, 선회성능, 고 양력 타, 쿨다 효과, 자유항주실험

Abstract : Recently, a vessel's maneuvering performance is considered to be an important subject to secure safety at short sea shipping. Especially the high turning performance, which is required to avoid the marine pollution by the ships that was grounded, becomes more severe. In this paper, we discuss the effect of increasing rudder force on turning performance of short sea shipping ship by free running test in towing tank. First of all, we make the 47K PC model ship and high-lift rudder using Coanda effect. And we make the free running test system for the turning test in towing tank. And also we perform the turning test of 47K PC model in several changes of Coanda jet momentum and evaluate the turning performance such as advance and tactical diameter. Finally, we confirm that the increasing of rudder force is very effective to improvement of turning performance of short sea shipping ship.

Key Words : Maneuvering performance, Turning performance, High-lift rudder, Coanda effect, Free running test

1. 서 론

안전하고 해상오염이 없는 친환경적인 근해운송시스템을 구축하기 위해서는 근해운송의 필수적인 운송수단인 선박의 운항 안전성을 확보하는 것이 요구된다. 또한 최근의 선박 좌초 및 충돌 사고로 인한 해상오염과 해난사고 발생 등으로 선박의 조종성능 향상에 관한 국제적 관심과 중요성이

증대되고 있다. 저항 및 추진 성능에 초점을 맞춘 선형을 가진 선박이 우수한 조종성능을 가지기 위해서는 큰 타력을 발생시키는 고 양력 타를 부착하는 것이 요구된다. 고 양력 타로는 타 단면 형상이 물고기 꼬리 모양인 Schilling 타와 가동부의 끝단에 Flap을 가진 Flap 타 등이 있다(Kang et al., 1997). 또한 날개 표면에서 접선 방향으로 분출시킨 고속 유동이 물체표면을 따라 잘 흘러가게 함으로써 양력을 증가시키는 Coanda 현상을 응용한 고 양력 타가 있다(Choi and Kim, 2004).

* First Author : fighting80@gamil.com, 02-2047-5255

† Corresponding Author : kimsh@inha.ac.kr, 032-860-7344

저자들은 선행연구를 통하여 타력 증가가 선박의 조종 성능에 미치는 영향에 대하여 수치시뮬레이션을 통하여 평가한 바 있다(Kim et al., 2010). 본 연구에서는 타력 증가가 선박의 선회 성능에 미치는 영향을 실험적으로 평가하기 위하여 Coanda 현상을 이용한 고 양력 타 장치를 부착한 47 K PC(Product Carrier) 모형선을 제작하고 사각수조에서 자유항주시험을 위한 시스템을 구축하였다. 자유항주시스템을 이용한 시험에서는 고 양력 타의 Coanda 분출량을 변화시키는 방법으로 타력을 변화시키면서 모형선의 선회 반경을 측정하여 선회성능을 평가하였다.

2. 47 K PC 모형선 및 모형 타

본 연구에서는 타력이 부족하여 충분한 조종성능을 갖고 있지 않은 저속비대선 중에서 실적선 자료를 보유하고 있는 47 K PC(Product Carrier)를 대상선으로 결정하여 모형선을 제작하였다. 대상선의 정면도를 Fig. 1에 나타낸다. 대상선의 수선간장은 177.9 m, 형폭은 32.2 m, 형흘수는 11.0 m이며, 설계속도는 14.5 Knots이다. Table 1에 대상선의 주요 제원을 나타내며 모형선은 1:85의 축척으로 제작하였다.

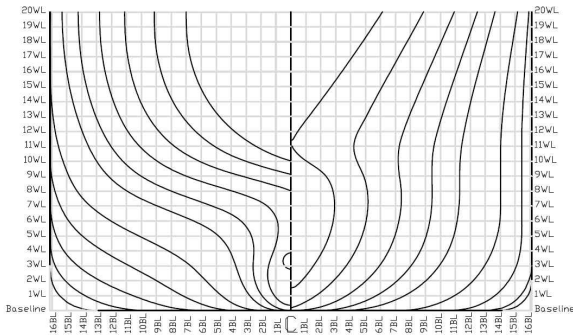


Fig. 1. 47 K PC Lines.

Table 1. Principal dimension of 47 K PC

DESIGNATION	SYMBOL	SHIP	MODEL
SCALE RATIO	SCALE	1/85	
LENGTH ON WATER LINE	LWL(m)	177.900	2.093
BREADTH, MOULDED	B(m)	32.200	0.379
DRAFT, MOULDED MEAN	TMEAN(m)	11.000	0.129
WETTED SURFACE AREA	S(m ²)	8035.4	1.112
DISPLACEMENT VOLUME	DISV(m ³)	48680	0.079
LCB FROM MIDSHIP, F+	LCB(m)	3.560	0.042
BLOCK COEFFICIENT	CB	0.790	
PRISMATIC COEFFICIENT	CP	0.794	
MIDSHIP SECTION COEFFICIENT	CM	0.995	

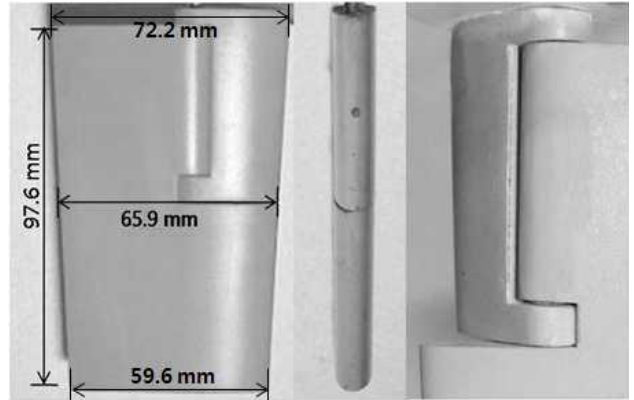


Fig. 2. Rudder model of 47K PC.

모형 타는 모형선의 축척과 같은 1:85로 제작하였으며 모형 타 단면형상은 NACA 0020이며, 제원은 Mean Chord = 0.066 m, Span = 0.097 m이다. 모형타의 주요 제원을 Fig. 2에 나타내었다. 모형 타는 물 제트를 분사하여 Coanda 효과를 발생시켜서 고 양력을 얻는 방식으로 고 양력을 발생시켰다(Choi and Kim, 2004; Seo et al., 2008). 고속의 물 제트를 분사시키기 위하여 모형 타에 흡입구와 분출구를 생성 하였으며 물 제트의 분출구는 혼 부분의 뒷날에 위치하며, 슬릿의 폭은 0.1 mm이고 길이는 40.294 mm이다.

또한 모형선에 부착되는 프로펠러는 47 K PC에 부착되는 실제 프로펠러의 모형을 사용하여야 하지만 프로펠러 제작의 어려움으로 인하여 시중에서 구입할 수 있는 직경 70 mm, 날개수가 4개인 프로펠러를 사용하였다.

3. 고 양력 타 장치 및 자유항주시스템

3.1 고 양력 타 장치

Coanda(관다) 효과를 이용한 고 양력 타는 기존의 타 장치에 Coanda jet 분출을 위한 펌프와 유량계 등을 부착시켜 제작하였다. Fig. 3에 고 양력 타 장치의 구성도를 나타낸다. Fig. 3에서 Coanda jet에 의하여 물 제트가 타 직압력을 받는 타 면의 반대쪽으로 분출되는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 4에 47K PC 모형선에 부착된 고 양력 타 장치의 Coanda jet 분출에 관한 예인수조 시험 모습을 나타낸다.

Coanda 효과를 이용한 고 양력 타 장치의 타력은 Coanda jet분출량을 나타내는 제트 모멘텀 계수 C_j 에 따라 결정된다. 제트 모멘텀 계수 C_j 는 다음 식과 같이 정의되며 단위시간당 분사되는 제트유동의 운동량과 무한원방의 유체흐름이 슬릿면에 가하는 힘과의 비를 나타낸다.

타력 향상이 근해운송선박의 선회 성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

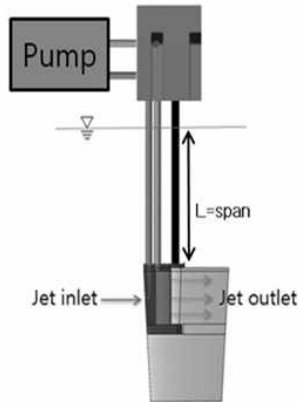


Fig. 3. Coanda effect high lift rudder.

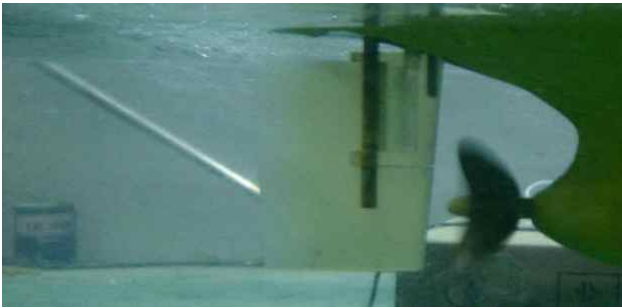


Fig. 4. Coanda effect high lift rudder with 47K PC model.

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

여기서 \dot{m} 은 슬릿에서 단위시간당 빠져 나오는 유량 (kg/s), V_{jet} 는 출구를 통해 빠져나가는 유동의 평균유속 (m/s), S 는 모형타의 평면상 투영면적($span \times chord, m^2$)이며, ρ 와 V_{∞} 는 혼타로 유입되는 유체의 밀도(kg/m^3)와 속도 (m/s)를 의미한다.

기존 연구를 통하여 타 단독 상태일 때 제트 모멘텀 계수 C_j 의 변화에 따른 타 양력과 항력의 변화를 실험을 통하여 계측한 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다(Kim and Lee, 2011). Fig. 5의 결과로부터, C_j 가 증가함에 따라 타의 양력은 증가하지만 타의 항력은 거의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 6의 결과로부터 C_j 증가에 따른 타 양력의 증가율이 타 받음각 10도일 때 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 타 받음각 10도와 $C_j = 0.1$ 일 때 타의 양력이 50% 이상 증가하는 것을 확인할 수 있다.

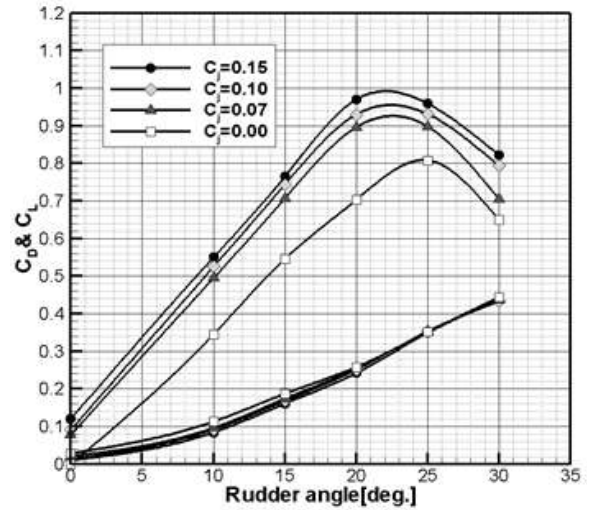


Fig. 5. Relation between lift/drag force and C_j .

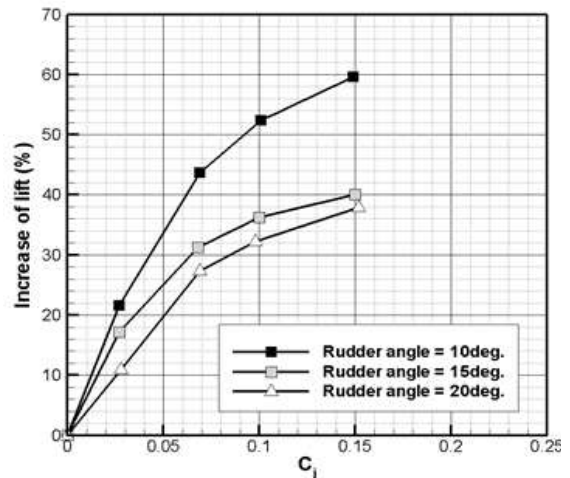


Fig. 6. Relation between lift force increasing and C_j .

3.2 자유항주시스템

모형선의 선회 성능을 평가하기 위한 자유항주시스템은 크게 구동시스템, 전원시스템, 제어시스템 및 무선통신시스템으로 구축되었다. 구동시스템은 프로펠러 및 러더의 작동과 Coanda 제트를 분출하는 역할을 하고 있으며 전원시스템은 구동시스템에 전원을 공급하는 역할을 하고 있다. 또한 Note PC를 기반으로 하는 제어시스템은 모형선 모터와 Coanda Jet 유량을 제어하는 역할을 하고 무선통신시스템은 모형선에 장착된 Note PC와 외부에 있는 PC와의 통신을 하는 역할을 하고 있다. 모형선에 장착된 Note PC와 외부 PC사이의 통신은 무선공유기 ipTime N604i를 이용하여 실시간으로 수행하였다. 자유항주시스템의 구성을 Table 2와 Fig. 7에 각각 나타낸다.

Table 2. System configuration of free running test

Equipment	Purpose	Feature
Drive system	Step motor	Activate motor, propeller and rudder Autonics A1K-S543(W) Autonics A15K-S545(W)
	Step drive	Control propeller and rudder Autonics A15K-MD5-HD14
	Step controller	Output pulse signal for control of propeller and rudder Autonics PMC-2HS-USB
	Timer	Control starting time of Coanda Jet Autonics AT8N
	Flowmeter	Control of Coanda Jet flow Dywer RMA-2
Power supply system	Battery	Electric power supply 24V30AH Li-Polimer 12V7AH lead-acid battery
Control system	2 Personal computer	Control of motor system on model ship Note PC on the model ship and outside PC
Wireless communication system	Wireless router	Communication between Note PC on the model ship and outside PC ipTime N604i

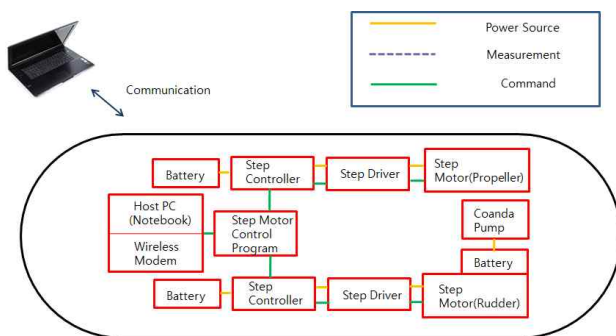


Fig. 7. Block diagram of free running test system.

4. 모형선 선회 실험 및 결과

4.1 실험 장소 및 실험 조건

모형선의 선회 실험을 위한 예비시험으로 모형선의 자향

점을 찾기 위한 자향실험과 모형선 직진 실험을 인하대학교 예인수조에서 실시하였다. 또한 선회 실험은 중소조선연구원 해양레저수조(28 m×22 m×2.5 m)에서 실시하였다.

선회 실험에서는 모형선이 직진하면서 일정 시간이 경과한 후에 고 양력 타 장치에서 Coanda 제트를 분출시키고 설정된 타 각을 되도록 모터를 구동시켰다. 또한 선회 실험에서 사용한 선속, 타 각 및 제트 모멘텀 계수 C_j 등의 실험 조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Experiment condition

Speed	Rudder angle(deg.)	C_j
0.279 m/s	10, 20, 25	0.0, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4

4.2 선회 실험 결과

모형선의 타 각이 10도인 경우에 Coanda 제트를 분출하지 않는 경우와 제트 모멘텀 계수 C_j 값을 0.1에서 0.4까지 변화시키며 Coanda 제트를 분출하는 경우에 대한 모형선 선회 실험 결과를 Fig. 8에 나타낸다. 또한 모형선의 타 각이 20도인 경우와 타 각이 30도인 경우에 대해서도 Coanda 제트를 분출하지 않는 경우와 제트 모멘텀 계수 C_j 값을 0.1에서 0.4까지 변화시키며 Coanda 제트를 분출하는 경우에 대한 모형선 선회 실험 결과를 각각 Fig. 9와 Fig. 10에 나타낸다.

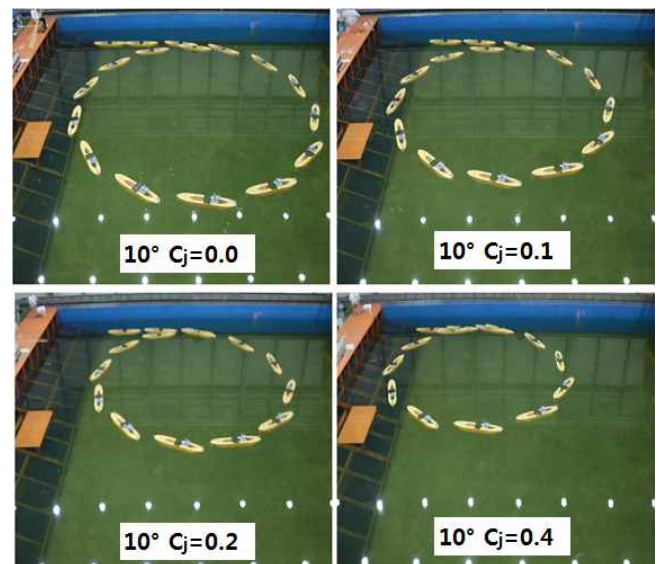


Fig. 8. Experiment result of turning test (Rudder angle 10 degree).

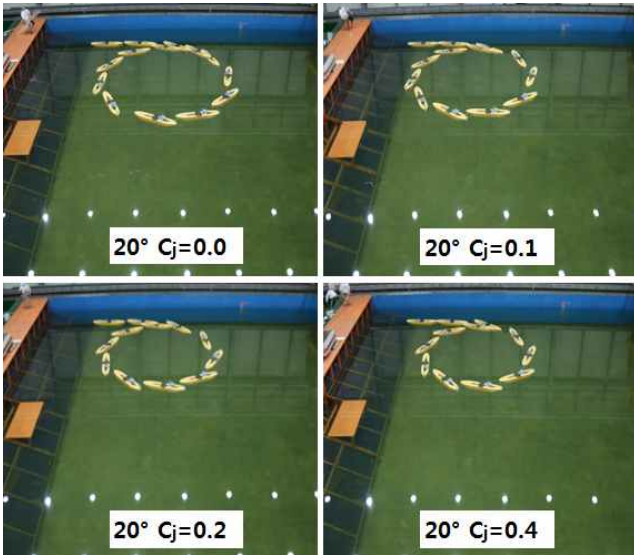


Fig. 9. Experiment result of turning test (Rudder angle 20 degree).

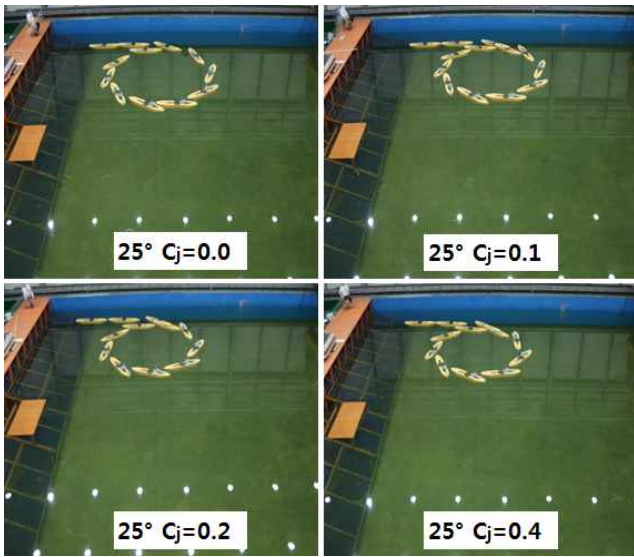


Fig. 10. Experiment result of turning test (Rudder angle 25 degree).

4.3 고찰

모형선의 선회 실험의 결과를 Advance(전진거리)와 Tactical diameter(선회직경)로 나누어 고찰하였다.

먼저 제트 모멘텀 계수 C_j 와 타 각에 따른 모형선의 전진거리 변화를 Table 4에 나타낸다. Table 4는 전진거리를 모형선의 L_{pp} 로 무차원시킨 결과를 나타내고 있다. 또한 Fig. 11에 제트 모멘텀 계수 C_j 에 따른 전진거리의 감소율을 나타낸다. 실험 결과로부터 타 각과 C_j 가 클수록 전진거리는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 C_j 의 변화에 따른 전진거리

의 감소율은 타 각이 작을수록 증대하여 작은 타 각으로 조타를 하는 경우에 Coanda 효과를 이용한 고 양력 타가 선회성에 더 효과적인 것을 확인할 수 있다. 또한 타 각 10도와 20도의 경우에는 C_j 가 0.1 인 경우에 모형선의 전진거리 감소비율이 가장 크게 증가하였다. 타 각 25도의 경우에는 C_j 가 0.2인 경우에 모형선의 전진거리 감소비율이 가장 크게 증가하였다. 따라서 타 각 10도와 20도의 경우에는 C_j 0.1이 타 각 25도의 경우에는 C_j 가 0.2가 전진거리 감소에 가장 효율적일 것으로 판단된다.

제트 모멘텀 계수 C_j 와 타 각에 따른 모형선의 선회직경 변화를 Table 5에 나타낸다. Table 5는 선회직경을 모형선의 L_{pp} 로 무차원시킨 결과를 나타내고 있다. 또한 Fig. 12에 제트 모멘텀 계수 C_j 에 따른 선회직경의 감소율을 나타낸다. 실험 결과로부터 타 각과 C_j 가 클수록 선회직경은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 C_j 의 변화에 따른 선회직경의 감소율은 타 각이 작을수록 증대하여 작은 타 각으로 조타를 하는 경우에 Coanda 효과를 이용한 고 양력 타가 선회성에 더 효과적인 것을 확인할 수 있다. 또한 C_j 가 0.1 ~ 0.20인 경우, 각각의 타 각에서 모형선의 선회직경이 효율적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 4. Non-dimension Advance value (Advance/ L_{pp})

C_j	Rudder angle(degree)		
	10	20	25
0	4.06	3.11	2.58
0.10	3.30	2.63	2.34
0.15	3.21	2.61	2.24
0.20	3.20	2.58	2.20
0.30	3.01	2.48	2.11
0.40	2.76	2.44	2.08

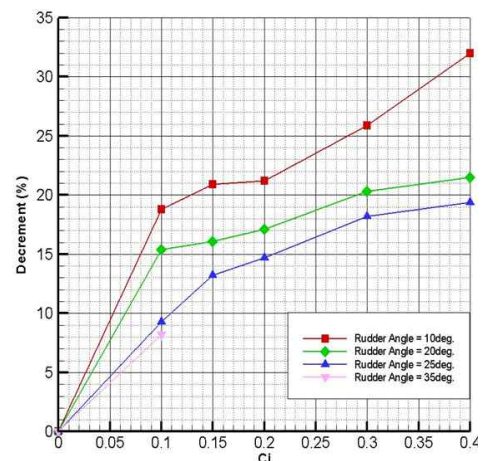


Fig. 11. Decrement of advance in each C_j and rudder angle.

Table 5. Non-dimension Tactical diameter(Tactical diameter/Lpp)

C_j	Rudder angle(degree)		
	10	20	25
0	7.41	3.58	2.82
0.10	6.45	3.28	2.63
0.15	5.88	3.12	2.53
0.20	5.64	2.96	2.48
0.30	5.35	2.87	2.44
0.40	5.26	2.86	2.42

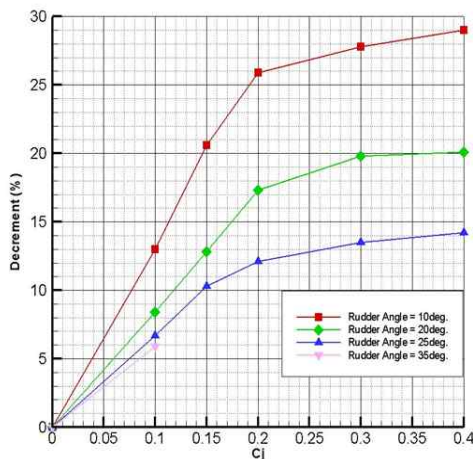


Fig. 12. Decrement of tactical diameter in each C_j and rudder angle.

5. 결론

본 연구에서는 고 양력 타에 의한 타의 양력 증가가 선박의 선회성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 47K PC 모형선과 Coanda 효과를 이용한 고 양력 타 모형을 제작하여 자유항주 실험을 수행하여 타력 증가에 따른 선회 성능 변화를 고찰하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1. Coanda 효과를 이용한 고 양력 타 장치가 선박의 선회성능 개선에 효과적인 것을 자유항주시스템을 이용한 수조에서의 선회실험으로 확인하였다.
2. 고 양력 타의 타 각과 제트 모멘텀 계수 C_j 가 클수록 전진거리와 선회직경이 감소하는 것을 확인하였다.
3. 고 양력 타의 타 각이 작을수록 C_j 의 변화에 따른 전진거리와 선회직경의 감소율이 증대하여 고 양력 타가 타 각이 작은 경우에 더 효과적인 것을 확인하였다.
4. 고 양력 타의 C_j 가 0.1 ~ 0.20인 경우, 각각의 타 각에서 모형선의 전진거리와 선회직경의 감소가 가장 효과적인 것을 확인하였다.

향후 고 양력 타에 의한 타의 양력 증가가 변침 성능 등의 다른 조종성능에 미치는 영향에 대하여 모형선의 자유항주 실험을 통하여 평가할 예정이다.

후 기

이 연구는 2011년 한국연구재단 (NRF-2011-413-B00008)와 (NRF-2011-0002522)을 받아 수행된 연구임을 밝힙니다. 또한 인하대학교의 연구비 지원을 받아 수행한 연구임을 밝힙니다. 본 연구에서 모형선 선회 실험은 중소연구원의 해양레저수조에서 실시되었습니다. 중소조선연구원의 협조와 배려에 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Choi, Bong-joon and Hyo-chul Kim(2004), An Evaluation of High-Lifting Rudder Enhanced by the Coanda Effects on Maneuverability, Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 88-93.
- [2] Kang, C. K., D. J. Yeom, H. C. Kim, M. G. Ha, B. R. Sohn and S. P. Ahn(1997), Development of maneuvering performance advanced technology of ship with low forward speed, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 34, No. 1, pp. 38-49.
- [3] Kim, Doo-Dong and Young-Gill Lee(2011), A Study on the Interaction between Hull-Propeller and a High-lifting Horn-type Rudder, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 48, No. 4, pp. 346-356.
- [4] Kim, Sang-Hyun, Hyun-Jun Kim, Hee-Chul Jun, Seung-Bae Yoon, Hwa-Pyeong Park and Ok-Sok Gim(2010), A Study on the Effects of High-lift Rudder on Ship's Maneuverability, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 4, pp. 393-399.
- [5] Seo, Dae-Won, Jong-Hyun Kim, Hyo-chul Kim and Seung-Hee Lee(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.

원고접수일 : 2012년 09월 24일

원고수정일 : 2012년 10월 23일 (1차)

2012년 11월 13일 (2차)

게재확정일 : 2012년 12월 27일