

論 文

닢 운용 시뮬레이션에 의한 선체운동 제어에 관한 연구
윤 순 동*

A Study on the Control of Ship Maneuvering
by the Simulation of Anchor Dredging

S. D. Yoon*

<目 次>	
Abstract	3-1. 수학모델
1. 서 론	3-2. 계산결과의 고찰
2. 환경조건의 설정	4. 결 론
3. 정식화	5. 참고 문헌

Abstract

Ship operators use anchor dredging for the collision avoidance or safety of ship handling in a harbour or narrow channel. This paper clarifies the technique of the anchor dredging known as a common sense for the seafarers .

A mathematical model at low speed range is established for the estimation of ship motion under the assumed environment, simulate the advance speed , and turning ability under the anchor dredging or not. The results shows good agreement with the conventional seamanship and their experiences as follows.

Ahead speed used the anchor dredging is slower(speed reduction ratio:40%) than the normal ahead speed and the stopping distance is shorter (distance reduction ratio:40%)than the normal ahead distance without the anchor dredging..

Turning speed used anchor dredging is slower(speed reduction ratio:72%)than the normal ahead speed and the tactical diameter is shorter(distance reduction ratio:24%)than the diameter by the normal turning without the anchor dredging.

* 목포해양대학교 해양시스템공학부

1. 서론

닻은 선박, 바다의 상징물이며, 대표적인 제어장치로서 오랜 세월동안 운항자들에게 애용되고 있다. 비좁은 수역에서의 안전조종, 긴급시의 위험회피 등에 닻저항이 이용되는데 오래전부터 전승되어 온 운용술이기 때문인지 관련자료를 찾기가 어렵다. 또한 운항자들을 위한 교육용으로 조종시뮬레이터가 많이 이용되고 있는데, 운용술을 시뮬레이션하는 번잡함 때문인지 닻의 운용이 제외된 모델이 많다. 닻을 운용하는 사실적인 현실모의를 통하여 효과적인 교육성과를 높일 필요가 있다.

본 연구에서는 배의 운용술을 구체적으로 표현하고, 정리한다는 의미에서 닻을 운용한 전진시의 감속성능, 선회성능을 파악하여 보았다. 저속시의 선체 운동식을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 고찰하여 전통적인 운용술과 일치하는지를 살펴보았다.

2. 환경조건의 설정

수로나 항내등에서의 선박운항은 비좁은 수역과 교통의 폭주로 높은 사고 위험에 노출되어 있다. 다양한 위험으로부터 안전운항을 확보하기 위하여 운항자는 긴장속에서 최선의 운용술을 발휘하게 된다. 이 때 동원되는 수단들은 오랜동안 검증, 체득되어 온 방법들이 많은 데 그 대표적인 것이 닻의 운용이다. 닻의 예인(dredging)저항을 이용하여 저속으로 타력없이 선체를 이동시킨다.^{2,4)} 닻을 예인하면 닻과 해저와의 마찰저항으로 선체의 이동 속력을 감소시켜 선속을 저속으로 만들며, 필요시에는 기관정지로 단시간 내에 선체 정지가 가능하기 때문이다.^{2,5)}

시뮬레이션에 필요한 환경조건들을 다음과 같이 설정하였다.

- *외력(바람, 조류, 파랑 등)은 없다.
- *여유수역은 충분하여 운항 장애물의 영향이 없다.
- *수심은 천수 영향이 현저하지 않을 정도로 깊다.
- *대상선은 중·소형선, 선속은 중·저속으로 한정한다.
- *속력체감, 선회 등은 통상적인 운용술에 따르고, 인간-기계계는 조화된다.
- *닻은 선회측 선수닻을 투하하며, 계선장치에 무리없는 저속에서 수행한다.

- *신출한 체인은 short stay(1.5 scope)상태로 한다.
- *저질은 보통의 뱀 또는 모래이다.

전진시 선속이 빠르면 선체의 전진운동이 지배적이어서 전진 성분을 중심으로 한 수학모델이 정립되어 있고,⁶⁾ 저속 항주시에는 횡이동과 회전이 우세하여 저 횡이동, 회전운동 성분을 중심으로 하고 전진성분이 부분적으로 결합되는 저속시 수학모델이 제안되어 있다.^{1,3)} 사용된 저속시의 수학모델은 다음과 같다.

3. 정식화

3-1. 수학모델

1) 선체의 운동방정식

$$\begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y)v\dot{r} &= X \\ (m + m_y) \dot{v} + (m + m_x)u\dot{r} &= Y \\ (I_z + J_z) \dot{r} &= N - x_G Y \end{aligned} \quad (1)$$

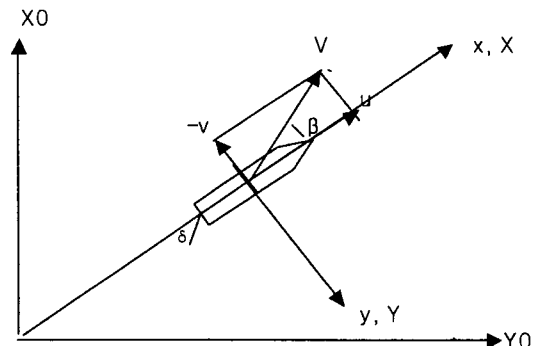


Fig.1. co-ordinate system

$$\begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_A \\ Y &= Y_{HP} + Y_R + Y_A \\ N &= N_{HP} + N_R + N_A \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 X, Y: x축, y축 방향의 유체력, N: z축(수직)주위의 유체관성 모우멘트, H, P, R, A : hull, propeller, rudder, anchor에 의한 유체력 및 유체력 모우멘트를 나타낸다.

(1) HULL에 작용하는 유체력

$$\begin{aligned} X_H &= 0.5 \rho L d V^2 \{ X'_{uu} u' | u' | + X'_{vv} v' | r' \} \\ Y_H &= 0.5 \rho L d V^2 \{ Y'_{vv} v' + Y'_{ru} r' + Y'_{rv} v' | v' | \\ &\quad + Y'_{vr} v' | r' + Y'_{ru} u' | r' \} \end{aligned}$$

$$N_H = 0.5\rho L^2 d V^2 \{ N'_{vu} u'v' + N'_{vr} r' + N_{vv} v'^2 r' + N_{vr} u'v' r'^2 + N'_{rr} r' |r'| \} \quad (3)$$

(2) 추진기에 의한 추력

$$X_p = 0.5 \rho L d V^2 (1-t) n^2 D^4 K_t$$

$$K_t = C_1 + C_2 J + C_3 J \quad (4)$$

여기에서 ρ : 물의 밀도, L:LBP, d: 평균홀수, V:합속도($\sqrt{u^2+v^2}$), n:추진기회전수/초, D: 추진기의 직경, C_1, C_2, C_3 = 유효추력계수, t= 추력감소계수, J:전진율($\frac{u}{nD}$)을 나타낸다.

(3) 댛에 의한 예인저항 및 모우먼트

선체운동시에 댛은 운동에 저항하는 성질을 가지므로 유체력과 같이 취급할 수 있다. 댛을 예인(dredging)시에는 운동시에 발생하는 일종의 마찰저항으로 보아서 댛에 의한 x 축방향의 저항력 X_A 는 예인시 약산식으로 쓰이는 [과주계수(λ_a) x 댛의 무게(Wa)]로 추산한다.^{4,7)} Fig.2-1에 전타선회중에 발생하는 구심력을 도시하였다. 댛저항을 이용(내부 그림)하면 그렇지 않은 경우(외부그림)보다 횡력이 구심방향으로 증대되는 것을 알 수 있다. 따라서 y축 방향의 저항력(Y_A)은 X_A 의 (횡속도/전진속도)배에 비례한다고 볼 수 있다.

댛을 예인하면서 선회하면 선회 모우먼트에는 유체력 모우먼트와 유사한 영향을 미친다. 즉 X_A 증가와 함께 선회권이 작아지고, 각속도가 커져서 유체력 모우먼트가 증가된 것과 같은 효과를 가지므로 댛의 예인중 선회모우먼트(N_A)는 [X_A x 거리(ℓa)]로서 나타낼 수 있다.

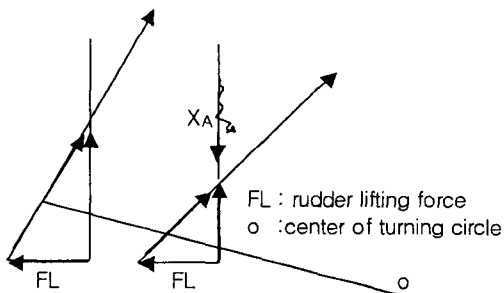


Fig.2-1. Y force caused by anchor dredging

① 선회시 댛의 예인저항

$$X_A = -\lambda_a \cdot Wa$$

$$Y_A = \frac{v}{u} (\lambda_a \cdot Wa)$$

$$N_A = \lambda_a \cdot Wa \cdot \ell a \quad (5)$$

② 직진시 댛의 예인저항

$$X_A = -\lambda_a \cdot Wa$$

$$Y_A = 0.0$$

$$N_A = 0.0 \quad (6)$$

(4) 키에 의한 유체력

$$X_R = -(1-t) F_N \sin \delta$$

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

$$N_R = -(x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta \quad (7)$$

여기에서 F_N : 키에 작용하는 직압력, a_H, x_H : 조타로 선체에 유기되는 간섭계수, δ :타각, a_R :유효타각, ℓR :중심(G)에서 타위치까지의 수평거리, λ : 키의 종횡비, ρ :물의 밀도, A_R :키의 측면적을 나타낸다.

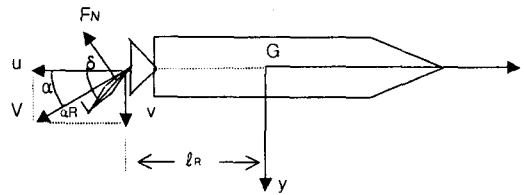


Fig.2-2. Rudder force diagram

$$F_N = 0.5 \rho A_R V_R^2 [6.13 \lambda / (\lambda + 2.25)] \sin \alpha_R \quad (8)$$

$$V_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}, \quad \alpha_R = \delta - \gamma(\beta - \ell R' r')$$

$$v = C_p C_s$$

$$C_p = 1 / \sqrt{[1 + 0.6\eta(2 - 1.4s)s / (1 + s)^2]}$$

$$C_s = 0.45 |\beta - \ell R' r'| : |\beta - \ell R' r'| \leq 1.111$$

$$C_s = 0.5 : |\beta - \ell R' r'| > 1.111$$

$$\eta = D / H$$

$$s = 1 - u(1 - w_p) / nP$$

$$u_R = \epsilon \eta \rho \sqrt{1 - 2(1 - \eta k)s + [1 - \eta k(2 - k)]s^2}$$

$$v_R = u_R \tan \{ \gamma(\beta - \ell_R r') \}$$

$$\varepsilon = (1 - w_R) / (1 - w_P)$$

$$k = 0.6 / \varepsilon$$

$$w_R = w_P w_{R0} / w_{P0}$$

$$w_P = w_{P0} \exp [-4.0(\beta - x_P r')^2]$$

여기에서 H: 키의 높이, β : 편류각, v:정류계수, Cs : 선체의 정류계수, CP:추진기의 정류계수, WP: 추진기 위치에서의 반류계수, WR: 타워치에서의 반류계수, s: 슬랩비를 나타낸다.

추진기의 회전수 변동에 대한 운동식은 (9)식으로, 전동유압식 조타기에 대한 운동식은 (10)식으로 하였다.

$$\dot{n} = [n^* - n] / T_n \quad (9)$$

$$\dot{\delta} = (\delta^* - \delta) / T_e : |\delta^* - \delta| \leq T_e |\delta_{\max}|$$

$$\dot{\delta} = \text{sign}(\delta^* - \delta) |\delta_{\max}| : |\delta_{\max} - \delta| > T_e |\delta_{\max}| \quad (10)$$

여기에서 n^* : 지시회전수, δ^* : 지시타각, T_n :주기판의 시정수, T_e : 조타기의 시정수, δ_{\max} : 최대조타속도를 나타낸다.

선박의 감속성능과 선회성능을 파악하기 위하여 (1)식을 (3), (4), (5), (7)식과 등치시킨 다음에 u, v, r 를 구하는 방정식을 세운다. 다음에 (11)식과 같이 u, v, r 를 이용하여 축차근사 적분법으로 전진속도[u(t)], 선회각속도[r(t)], Advance[x(t)], Tactical diameter[y(t)]를 구한다.

$$\text{횡속도}[v(t)] = v(0) + \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t} v(\tau) \Delta t$$

$$\text{전진속도}[u(t)] = u(0) + \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t} u(\tau) \Delta t$$

$$\text{선회각속도}[r(t)] = r(0) + \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t} r(\tau) \Delta t$$

$$\text{선회각}[\phi(t)] = \phi(0) + \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t} r(\tau) \Delta t$$

$$\text{Advance}[x(t)] =$$

$$x(0) + \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t} [u(\tau) \cos \phi(\tau) - v(\tau) \sin \phi(\tau)] \Delta t$$

$$\text{Tactical diameter}[y(t)] =$$

$$y(0) + \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t} [u(\tau) \sin \phi(\tau) + v(\tau) \cos \phi(\tau)] \Delta t \quad (11)$$

실험에 사용된 선박의 명세는 다음의 table 1과 같으며, 유체역학적인 도함수의 값들은 table 2와 같다.

Table 1. Ship's Particulars

LBP	L(m)	175.0
Breadth	B(m)	25.4
Mean draft	d(m)	8.5
Trim	(m)	1.09
Block coefficient	Cb	0.559
Rudder area	A _R	33.0
Rudder aspect ratio	λ	1.8219
Propeller diameter	D(m)	6.533
Propeller pitch ratio	P/D	1.009
Half Ahead Speed	(kt)	9
Engine Revolution	(rpm)	44.5
Slow Ahead Speed	(kt)	6
Engine revolution	(rpm)	29.69

Table 2. Hydrodynamic Derivatives & Coefficients

mx/m	0.075	W _{P0}	0.26
my/m	0.721	W _{R0}	0.25
Jz/ mL ²	0.042	t	0.20
X'uu	-0.00957	C _t	0.00013
X'vr	-0.0663	C ₁	0.5277
Y'v	-0.0663	C ₂	-0.4264
Y'r	0.06283	C ₃	-0.115
Y'vv	-0.40217	T _e	2.5sec
Y'vr	-0.31193	\delta_{\max}	3 deg/sec
Y'rr	-0.03461	T _n	15 sec
N'v	-0.08	W _a	7200 kg
N'r	-0.0368	\lambda _a	1.5
N'vvr	-0.06686	\ell _a	175 m
N'vrr	0.01004	\ell _R	-0.9
N'rr	-0.0247		

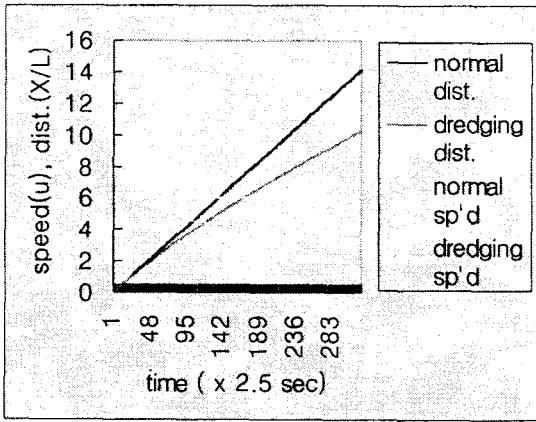


Fig.3 Speed variation by anchor dredging

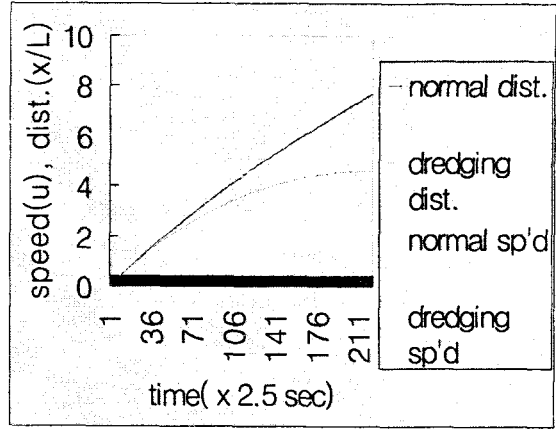


Fig.4 Stopping speed variation

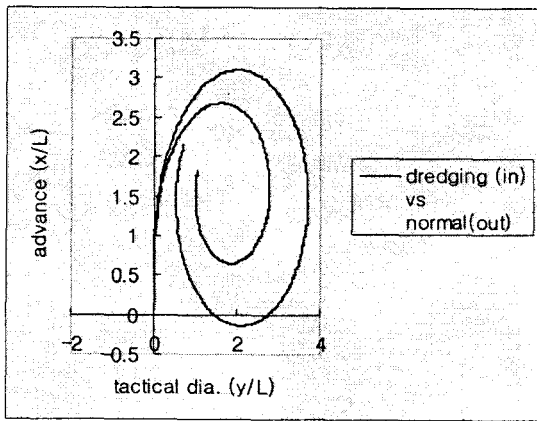


Fig.5-1 Turning circle variation dredging

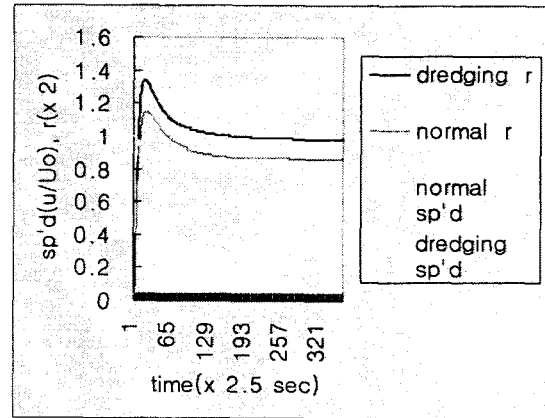


Fig.5-2 Turning speed & turning rate variation

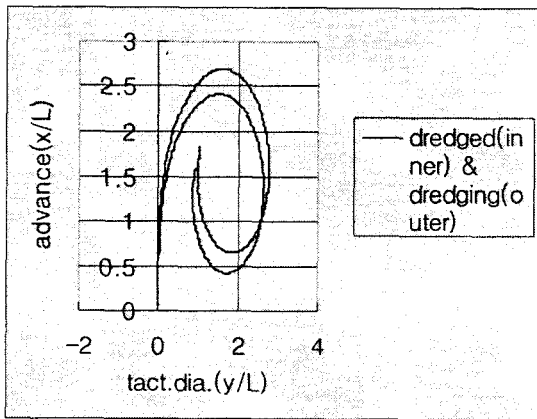


Fig.5-3 Turning variation by anchor dredging & dredged

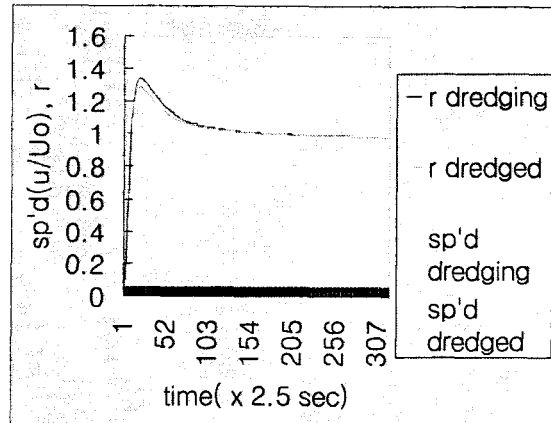


Fig.5-4 Speed with anchor dredging & dredged

3-2. 계산결과의 고찰

시물레이션 계산은 일반적인 상황과 유사하게 모의하기 위하여 직진시의 저항시험(Fig.3)은 닻 투하 명령을 받고, 닻을 투하(닻 투하 소요시간은 15초)한다. 정지타력시험(Fig.4)은 정상 직진 중에 기관회전수 0을 명령받고, 기관조작(기관 조작 소요 시간 30초)하며, 그 후에 닻 투하 명령을 받고, 닻을 투하(닻 투하 소요시간은 15초)한다. 선회시험(Fig.5)은 조타 선회 중에 닻을 투하(소요시간 15초)하는 경우에 대하여 관찰한다.

전진중에 닻의 투하여부에 따른 선속변화를 Fig.3에 도시하였다. 실선은 상단으로부터 등속직진시의 진출거리(normal dist), 닻예인시의 진출거리(dredging dist), 등속 직진속력(normal sp'd), 닻예인시의 전진속력(dredging sp'd)의 순서로 도시하였으며, Fig.4에 나타낸 정지타력도 같은 순이다.

선회중에 닻의 투하 예인여부에 따른 선속과 선회각속도를 Fig.5-2에 도시하였다. 실선은 상단으로부터 닻 예인시의 각속도(dredging r), 정상적인 선회시의 각속도(normal r), 정상적인 선회시의 선속(normal sp'd), 닻 예인시의 선속(dredging sp'd)순이다. Fig.5-4에는 닻을 사전에 투하하여 예인하면서 직진 중에 전타 선회하는 경우(dredged)와 전타 선회중에 닻을 투하하는 경우(dredging)를 도시하였다. 실선은 상단으로부터 전타후 닻을 투하 예인시의 각속도(r dredging), 사전에 닻을 투하하여 예인중에 전타시의 각속도(r dredged), 전타후 닻투하 예인시의 선속(sp'd dredging), 사전에 닻을 투하하여 예인중에 전타시의 선속(sp'd dredged)의 순서로 도시하였다.

Fig.3에서 등속직진(6 kt) 중에 닻을 투하하여 예인하면, 전진속력이 감소되어 속력 3.7 kt(감속율 40%)에서 일정하다.

등속직진시의 진출거리(Head reach)는 15L(800 sec 경과)인데 대하여, 닻을 투하하여 예인시에는 진출거리가 10L(거리감소율 33%)이 된다. 이러한 경향은 전통적인 운용술과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 2.5)

Fig.4에서 등속직진(6 kt)중에 정지타력(기관정지)은 555 sec 경과시 전진속력 3.65 kt가 되고, 닻을 투하하여 예인하면 같은 시간대에서 전진속력 0 이 된다. 진출거리는 정상적인 정지타력시에 7.6L(555 sec 후)

이 되지만, 정지타력중에 닻을 투하 예인하면 진출거리가 4.6L(거리감소율 40%)로 변화한다.

Fig.5-1, 5-2에서 등속직진(9 kt) 중에 전타(35.°) 선회하면 선속은 감소되어 속력 4 kt(감속율 55%)에서 일정하다. 닻을 투하 예인하면서 선회하면 속력 2.5 kt(감속율 72%)에서 일정하다. 각속도는 정상 선회시 0.43(°/sec), 닻 예인 중에는 0.49(°/sec)로 각속도 증가율이 14%가 된다.

정상 선회시에 Tactical diameter는 3.7 L인데, 8) 닻 예인하면서 선회하면 2.8 L-거리감소율 24%가 된다. 270도 선회부근에서 정상선회경과 비교하여 선회경 감소(거리감소율 26%)가 크다.

Fig.5-3, 5-4에서 전타 선회중에 닻투하하여 예인하는 경우(dredging)에 Advance는 2.7L인데, 미리부터 닻예인하면서 직진중에 전타 선회(dredged)하면 Advance는 2.4L로 감소(감소율11%)한다. 이러한 경향들은 전통적인 운용술⁴⁾ 및 운항자들의 경험들과 일치함을 보여주고 있다.

4. 결 론

닻을 운용한 경우에 대하여 시물레이션을 통한 선체의 운동을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 등속 직진 중에 닻을 투하하여 예인하면 전진속력이 40% 정도 감소되며, 진출거리는 33% 정도 감소된다.
- 2) 정지타력시 닻을 투하 예인할 때의 진출거리는 정상직진과 비교하여 40% 감소된다.
- 3) 닻을 예인하면서 선회하면 Tactical diameter는 정상선회와 비교하여 24% 감소된다. 270도 선회부근에서 선회경 감소비율(26%)이 크다.
- 4) 닻을 예인하면서 직진중에 전타 선회하면, 전타 선회중에 닻을 투하하여 예인하는 경우보다 Advance가 11% 감소한다.

이상의 본연구를 바탕으로 하여 보다 더 확장시켜야 할 과제로는 선체의 운동제어에 관한 광범위한 분석이 필요하며, 실증적인 검토를 위하여 실선자료들을 수합하여 고찰하여 볼 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 손경호, 저속시 선체에 작용하는 조종 유체력 및 조종성능에 관한 연구, 한국항해학회지, 제15권제4호, pp.27-39, 1991
- [2] 윤점동, 선박조종의 이론과 실무, 세종출판사, pp.122 - 129, 1993
- [3] 손경호, 선박의 조종성능 평가를 위한 수학모델에 관한 연구, 한국해양대학 선박공학연구소, 1989
- [4] 本田啓之輔, 操船通論, 成山堂書店, p.113, 1986
- [5] 中道利雄, 曳船操船, 海文堂, pp.69-70, 1979
- [6] Kose et al, MMG Report I, II, III, IV, V, Journal of the Society of the naval Architecture of Japan, No. 575,(1977), 577(1977), 578(1977), 579(1977), 616(1980)
- [7] R.C.Vold and John Eie, Anchor Holding Tests in the Norwegian Trench, Offshore Technology Conference(OTC 4529), pp.149-158, 1983
- [8] K.S.M. Davidson, On the Turning and Steering of Ships, SNAME. Vol. 52, p.291,1944

원고접수일 2002년 11월 22일

원고채택일 2002년 12월 26일