굴곡된 협수로에서 자력조선에 의한 VLCC의 조종특성에 관한 연구

윤점동* · 이춘기** · 허용범***

A Study on the Maneuvering Characteristics of a VLCC by Using of her Control Surface In a Curved Narrow Channel

Jeom-Dong Yoon · Chun-Ki Lee** · Yong-Beom Hur****

〈목 차〉

Abstract
1. 서론
2. 이론적인 고찰
   2.1 운동방정식
   2.2 일정각도 변침시의 상태분석
3. 100,000G/T LNG 선박의 미계수 계산
   3.1 심수와 천수에서의 미계수 계산
   3.2 미계수에 의한 계산 결과에 대한 검증
4. 조종 운동 계산
   4.1 선박 궤적 계산
5. 결론
참고문헌

Abstract

The safe passing maneuver of a large vessel along the designed course through a narrow channel in the flow of strong current is greatly related with her maneuvering characteristics. This paper treats maneuvering characteristics of a large vessel changing her course with the use of her control surface in a narrow channel with strong current.

In this paper, the author proposed mathematical models of calculating maneuvering motions of the very large LNG tanker altering course using her control surface and calculated passing tracks of the vessel through the channel and compared the calculated results with those of maneuvering simulations by a desk-top simulator.

In general the motions with the calculated values and the simulated motions are well coincided with each other.

1. 서 론

최근 인천항에서는 대형 유조선기지와 10만 G/T LNG VLCC가 접안하는 Sea berth가 건설되어 있으나 인천항의 출입항수로는 폭이 좁고 굴곡이 심하며 또한 강한 조석류가 있기 때문에 대형선이 인천항 입항 수로의 협수도 통과시 조타조선에 관한 이론적인 연구의 필요성이 절실히 요구되고 있다.

이 연구의 목적은 대형선박이 예선의 도움없이 자력으로 굴곡이 심한 협수도에서 조석류를 받으면서 예정된 침로에 정확하게 변침 진입할 수 있는 한계를 이론적으로 규명하는데 있다.

이 연구에서는, 10만 G/T의 LNG 선박에 대한 대략의 조종운동미계수를 산출하고, 이 선박의 수도 통과 조선에 관하여 조종 동작 및 궤적을 수치계산하였으며,백암 등대 전방 수도 통항 조선을 desk-top 시뮬레이터에 의하여 시뮬레이션 하였다. 계산 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 검토한 결과, 큰 테두리에서 양자는 일치 하였으며, 연구 결과가 실제의 조선에 훌륭하게 적용될 수 있음을 확인하였다.

2. 이론적인 고찰

2.1 운동방정식

일반적으로, 선체운동을 논할 때, 선체의 중심 G를 원점으로 하여 선수미방향으로 통하는 축을 x축, 횡방향으로 통하는 축을 y축, 연직방향으로 z축을 잡는 선체에 고정된 이동좌표계를 사용하여 조종운동들을 연립방정식으로 표시할 수 있다. 이 때 정수면에서의 운동은 surge, sway, yaw운동만을 고려하면 되고, 이때의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X \\ m(\dot{v} + ur) &= Y \\ I_z \dot{r} &= N \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.1)$$

(2.1)식에서 $\delta = 0$으로 하고, 비선형항을 버리고 선형항만으로 방정식을 만들어 무차원화 하면 다음과 같다[1), 4), 5), 6), 7), 15)].

$$\left.\begin{aligned} m'_y \dot{v}' - Y'_{\dot{v}} v' - Y'_{\dot{r}} \dot{r}' + (m' - Y'_r) r' = 0 \\ -N'_{\dot{v}} \dot{v}' - N'_v v' + n'_z \dot{r}' - N'_r r' = 0 \end{aligned}\right\} \cdot (2.2)$$

(2.2)식을 기호로 간략하게 표시하면 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned} a_{11}\dot{v}' + a_{12}v' + a_{13}\dot{r}' + a_{14}r' = 0 \\ a_{21}\dot{v}' + a_{22}v' + a_{23}\dot{r}' + a_{24}r' = 0 \end{aligned}\right\} \cdot\cdot (2.3)$$

단,

$a_{11} = m'_y$, $a_{12} = -Y'_v$,

$a_{13} = -Y'_{\dot{r}} \simeq 0$, $a_{14} = (m' - Y'_r)$

$a_{21} = -N'_{\dot{v}} \simeq 0$,

$a_{22} = -N'_v$, $a_{23} = n'_z$, $a_{24} = -N'_r$

(2.3)식의 일반해는 지수항의 합으로 이루어지고 식은 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$\left.\begin{aligned} v'(t) &= v'_0 e^{\sigma t} \\ r'(t) &= r'_0 e^{\sigma t} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4)$$

(2.4)식을 (2.3)식에 대입한 특성방정식은 다음과 같다.

$$\left.\begin{array}{l}(m'_y n'_z)\sigma'^2 + [m'_y(-N'_r) + (-Y'_v)n'_z]\sigma' + \\ [(Y'_v)(N'_r) + (N'_v)(m' - Y'_r)] = 0\end{array}\right\}\cdots\cdots(2.5)$$

(2.5)식에서 침로안정성에 대한 판별식은 다음과 같다.

$$A\sigma'^2 + B\sigma' + C = 0$$

$$\sigma'_1, \sigma'_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \cdots\cdots\cdots\cdots(2.6)$$

(2.6)식에서 침로가 안정이기 위한 필요충분조건은

$\sigma' < 0$ 즉, $A > 0$, $B > 0$, $C > 0$이다.

$A = m'_y n'_z$(언제나 +)

단, $B = m'_y(N'_r) + (Y'_v)(n'_z)$(언제나 +)

$C = (Y'_v)(N'_r) + (N'_v)(m' - Y'_r)$

(2.2)식에서 타각 $\delta \neq 0$ 일 때 v', $\dot{v}'$ 항을 계산하면 다음과 같다.

$$\frac{a_{11}a_{23}}{a_{12}a_{24} - a_{22}a_{14}}\ddot{r}' + \frac{a_{11}a_{24} + a_{12}a_{23}}{a_{12}a_{24} - a_{22}a_{14}}\dot{r}'$$

$$+ r' = \frac{-(a_{22}Y'_\delta - a_{12}N'_\delta)}{a_{12}a_{24} - a_{22}a_{14}}\delta +$$

$$\frac{a_{11}N'_\delta}{a_{12}a_{24} - a_{22}a_{14}}\dot{\delta}$$

$$T'_1 T'_2 \ddot{r}' + (T'_1 + T'_2)\dot{r}' + r' =$$

$$K'\delta + K'T'_3\dot{\delta}' \cdots\cdots(2.7)$$

식 (2.7)에서 일정타각을 주면 $\ddot{r}'$ 및 $K'T'_3\dot{\delta}' \simeq 0$이므로 (2.8)식은 다음과 같다.

$(T'_1 + T'_2)\dot{r}' + r' = K'\delta$ $T_1' + T_2' \simeq T$

로 하면 $T\dot{r}' + r' = K'\delta$로 되고, 이 방정식을 풀면 조타와 선회각속도에 관한 해를 얻을 수 있다[3].

$$r'(t') = K'\delta(1 - e^{-\frac{t'}{T}})\cdots\cdots\cdots(2.8)$$

2.2 일정각도 변침시의 상태분석

일정각도 ϕ_d를 변침할 때 타각 $\delta = \delta_1$을 주어서 변침을 한다고 하면 optimum rudder action은 그림 2.1과 같다.

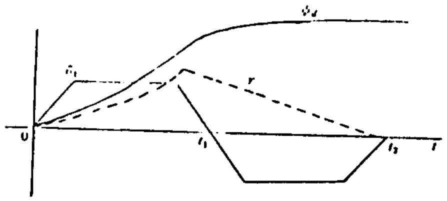

그림 2.1 optimum rudder action

그러나 타각을 주는 시간은 극히 짧은 시간이고 $t' = 0 \sim t_2'$까지 일관성을 고려하면 그림2.2와 같고 각속도에 관한 수식은 (2.9)식과 같다.

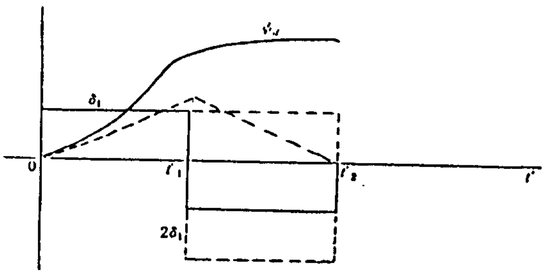

그림 2.2 $-2K'\delta_1 + K'\delta_1 = -K'\delta_1$

$$r'(t') = K'\delta_1(1 - e^{-\frac{t'}{T}})$$

$$-2K'\delta_1(1 - e^{-\frac{(t' - t_1')}{T}})\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2.9)$$

조타조선 즉, 변침이 완료되었을 때의 조건을 (2.9)식에 대입하면 다음과 같다.

조건 (1)

$t' = t_2'$ 일때 $r'(t_2') = 0$

$$(1 + e^{-\frac{t_2'}{T}} - 2e^{-\frac{(t_2' - t_1')}{T}}) = 0$$

조건 (2)

$t' = t_2'$ 일때 $\phi(t_2') = \phi_d$

$$\phi_d = K'\delta_1[(2t_1' - t_2') + T'(1 + e^{-\frac{t_2'}{T}} - 2e^{-\frac{(t_2' - t_1')}{T}})]$$

그러므로 다음의 조건이 성립한다.

$$\left.\begin{array}{l} 1 + e^{-\frac{t_2'}{T}} - 2e^{-\frac{(t_2' - t_1')}{T}} = 0 \cdots \text{조건①} \\ \phi_d = K'\delta_1(2t_1' - t_2') \cdots\cdots\cdots\cdots \text{조건②} \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots (2.10)$$

(2.10)식에서 t_1' 및 t_2'를 구할 수 있고 조타조선문제를 해결할 수 있다.

3. 100,000 G/T LNG 선박의 미계수 계산

3.1 심수와 천수에서의 미계수 계산

대상 선박의 제원은 Disp : 120,194 톤, Lpp × B×d : 290×46.8×12 (m^3), B/d : 3.9, L/B : 6.2, C_B: 0.72, Rudder area

표.1 bare hull에 대한 심수와 천수에서의 미계수[12),13),15)]

심 수	천 수(h=1.4d)
$m' = 120,194/\frac{1}{2}\rho L^2 d = 0.232$	$m_{xh}' = 1.1 \times m' = 0.255$
$m_y' = 1.75 \times 0.232 = 0.407$	$m_{yh}' = 3 \times m' = 0.700$
$n_z' = 0.029$	$n_{zh}' = 2.8 \times n_z' = 0.0812$
$Y_v' = -\frac{1}{2}\pi k - 1.4C_B B/L = -0.293$	$Y_{vh}' = 2.7 \times Y_v' = -0.791$
$Y_r' = \frac{\pi}{4}k = 0.065$	$Y_{rh}' = 2.8 \times Y_r' = 0.182$
$N_v' = -k = -0.083$	$N_{vh}' = 3.5 \times N_v' = -0.291$
$N_r' = -0.54k + k^2 = -0.038$	$N_{rh}' = 1.6 \times N_r' = -0.061$

표.2 추진기와 타판이 부착된 LNG선의 심수와 천수에서의 미계수[11), 13)]

심 수	천수(h=1.4d)
$m' = 0.232$	$m_{xh}' = 1.1 \times m' = 0.255$
$m_y' = 0.407$	$m_{yh}' = 3 \times m' = 0.700$
$n_z' = 0.029$	$n_{zh}' = 2.8 \times n_z' = 0.0812$
$Y_v' = 1.1 \times -0.293 = -0.322$	$Y_{vh}' = 2.7 \times Y_v' = -0.870$
$Y_r' = 1.4 \times 0.065 = 0.091$	$Y_{rh}' = 2.8 \times Y_r' = 0.255$
$N_v' = 0.8 \times -0.083 = -0.066$	$N_{vh}' = 3.5 \times N_v' = -0.231$
$N_r' = 1.2 \times -0.038 = -0.046$	$N_{rh}' = 1.6 \times N_r' = -0.074$

ratio $=58m^2$, Speed : 20 kt(인천항 입항 수도에서는 해상교통안전법에서 선속 12kt로 제한)와 같고, bare hull일때와 (추진기+타)일 경우로 구분하여 미계수를 계산하면 표.1, 표.2와 같다.

위의 미계수는 선체에 screw propeller와 타판이 있는 상태로 수정되어야 한다. 이러한 수정을 하여 주기 위하여서는 비슷한 선체에 관한 bare hull만의 경우와 추진기와 타판이 부착된 경우의 수치를 찾아서 그것들을 비교하는 방법으로 수정계수를 찾을수 있다15).

	Model No 8,1,1	Model No 8,0,0	미계수비 완전선의 미계수/bare hull의 미계수
Y_v'	-0.335	-0.309	1.1
Y_r'	0.089	0.064	1.4
N_v'	-0.095	-0.121	0.8
N_r'	-0.077	-0.064	1.2

여기서 8,1,1 모델은 (추진기+타)를 표시하고 8,0,0 모델은 bare hull을 표시한다.

bare hull만의 미계수에 의한 판별식의 근의 값은 다음과 같다.

$\sigma_1 = +0.005$, $\sigma_2 = -0.33$ (bare hull만으로는 σ_1이 양으로 됨에 유의할 것)

항만, 협수도 등의 천수역에서의 선박 조종 운동에서는 천수에 관한 미계수를 얻어서 이것을 운동계산에 이용하여야 한다.

표.2에서 천수역에서의 미계수에 의한 계산값은 다음과 같다.

A = 0.057, B = 0.122, C = 0.064, $\sigma_1 = -0.92$, $\sigma_2 = -1.22$, $T = 1.09$[15]

Y_δ' 및 N_δ' 값 계산 (심수)[2), 3)]

$$Y_\delta' = \frac{2506\rho_w}{\frac{1}{2}\rho_w L d u^2} = 0.04 \ (\text{심수}),$$

$$N_\delta' = \frac{-2506\rho_w \frac{L}{2}}{\frac{1}{2}\rho_w L^2 d u^2} = -0.02 \ (\text{심수})$$

$Y_{\delta h}' = 0.08$, $N_{\delta h}' = -0.04$

K'(심수) = -1.37 ,K = -0.028 ≃

-0.03/sec,K $\delta = 0.03 \times 15^o$

$= 0.46^o/\sec$

K'(천수) = -0.83 , K (천수)= -0.017/sec,

$\delta = 0.26^o/\sec$

3.2 미계수에 의한 계산 결과에 대한 검증

위의 미계수는 100,000 G/T LNG선박의 제원에 의하여 추정 계산한 값이므로 유체역학적인 기초위에서 만들어지는 일반 선체운동의 계산식에 의하여 이것을 검증할 필요가 있고 그 계산 결과의 비교는 다음과 같다.

$$n_z \dot{r} = N_\delta \delta - N_{rr} r^2 \cdots\cdots (3.1)$$

$$r(t) = \beta \left(\frac{e^{\frac{2\beta}{\alpha}t} - 1}{e^{\frac{2\beta}{\alpha}t} + 1} \right) \cdots\cdots (3.2)$$

단, $\alpha = \frac{n_z}{N_{rr}}$, $\beta = \sqrt{\frac{N_\delta \delta}{N_{rr}}}$,

$$\alpha = \frac{n_z}{N_{rr}} = \frac{0.145\rho_w L^3 dB}{0.0715\rho_w d L^4} = 2.02\frac{B}{L}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{N_\delta \delta}{N_{rr}}} = \sqrt{\frac{492\rho_w L}{0.0715\rho_w d L^4}} = \sqrt{\frac{6881}{dL^3}} = 0.00485$$

$$\underset{t \to \infty}{r(t)} = 0.00485/\sec(\textit{radian}\ \text{단위})$$

$$\underset{t \to \infty}{r(t)} = 0.00485 \times 57.3 = 0.28^o/\sec$$

타각 15° 를 사용할 때 추정 계산한 미계수를 이용한 각속도는 $r_s = 0.26°$ /sec 인데 검증을 위한 계산 방법에 의한 그것은 0.28°/sec 이다. 따라서 본 연구에서 추정된 미계수들은 조종운동계산에서 충분히 이용 가능함을 알 수 있다.

4. 조종 운동 계산

백암등대 전방 침로 038° 에서 001° 침로로 변침시, 조석류를 받지 않을때 운동은 (2.10) 식을 이용하여 구할 수 있고 계산값은 다음과 같다.

$t_1' = 3.8$, 3.8×290=1102m,

$t_2' = 4.5$ 4.5×290 = 1305m,

T′=1.09,

$S_T' = 316m$, T=51초

그러나 강한 조석류가 있을 때, 백암 등대 전방 변침시에 생기는 문제점은 백암 등대를 향하는 침로는 038°이고 조류의 방향은 018° 이다. 따라서 선박으로의 조류방향은 선미로부터 st'd 20°의 각도를 이루게 되고 해도에 나와있는 최대유속은 3.2kt=1.64m/sec이다. 이 조류는 우현회두를 일으키기 때문에 침로를 유지하기 위한 대응타각은 좌현으로 주어야 한다. 이 때 유압력과 타압력을 비교하여 조선가능 여부를 확인할 수 있고 대응타각 계산은 $\delta = 22°$ 이다. 하지만 협수로, 항계부근 또는 항내에서 선박조종시 대응타각의 사용은 15° 정도로 제한 되어야 한다. 왜냐하면 15° 이상의 대각도 대응타각의 사용은 다음 조종 동작을 적절하게 취할 수 없기 때문에 곧 위험을 초래할 수 있다. 계산식은

$$1.2 \times 2.4 \times \frac{1}{2} \rho_w A u^2 \sin\delta \cos\delta \times \frac{L}{2} =$$

$$0.3 \times \frac{1}{2} \rho_w L d (x)^2 \times 0.2L \ (Y_w \times Lever)$$

x =1.45 or −2.61, 유속=1.45m/sec= 2.8kt, 따라서 15° 의 타각을 주면서 Course steady가

표. 3 궤적계산

t 시간(초)	r 각속도 (도/초)	ϕ 변침량	x 선수방향 이동거리	y 정횡방향 이동거리	x_c 2.8kt 조류 감안이동량	y_c 2.8kt 조류 감안이동량
10	0.05° /초	0.23°	62m	0.2m	76m	4.6m
20	0.08	0.88	124	1.1	152	9.9
30	0.11	1.87	186	2.9	228	16.1
40	0.14	3.13	248	5.9	304	23.5
50	0.16	4.62	310	10.4	380	32.4
60	0.18	6.31	372	16.5	456	42.9
70	0.19	8.14	433	24.4	531	55.2
80	0.20	10.1	494	34.2	606	69.4
90	0.21	12.2	555	46	681	85.6
100	0.22	14.3	615	59.8	755	103.8
110	0.23	16.5	675	75.7	829	124.1
120	0.23	18.8	734	93.7	902	146.5
130	0.24	21.2	793	114	975	171.2
140	0.24	23.5	851	136.4	1047	198
150	0.24	25.9	908	160.9	1118	226.9
160	0.24	28.4	964	187.7	1188	258.1
170	0.25	30.8	1019	216.5	1257	291.3
180	0.25	33.3	1073	247.5	1325	326.7
190	0.25	36.4	1125	281	1391	364.6

될 수 있는 최대유속은 2.8kt이고 이 이상의 유속에서는 침로 불안정이 되어서 조선에 위험이 따른다.

이상의 내용을 요약하면, 100,000 G/T LNG선박이 백암 등대 전방의 Co 038°에서 Co 001°로 변침하기 위하여 15°의 타각을 사용할 때, 선박은 거리로는 1.09×290=316m 진행후, 시간으로는 316÷6.17=51초 경과후에 각속도 0.26°/sec로 선회할 것이다. 그러나 타를 잡는 시간과 유속이 있기 때문에 실제의 진행거리는 (6+51)×(6.17 +1.45)=434m 진행후 본격적인 선회가 이루어질 것이다. 그리고 변침이 완성되려면 그 이후에 적어도 37÷0.26=142초(2분 22초)가 경과되어야 한다. 따라서 변침시작으로부터 변침이 완성될 때까지 요하는 총시간은 다음과 같다.

$t=(\frac{1}{2}t_1+T+\frac{\phi_d}{k\delta})$=(6+51+142)=199=3분 19초,진행거리=199×6.17=1228m

그리고 변침시에는 Course 유지에 필요한 대응타각 15°와 변침에 필요한 타각 15°를 합하여 port 30°정도 내외의 타각을 선미방향에서 조류가 올 때까지 유지하고 있어야 한다. 그리고 조류가 좌현 선미방향에서 오기 전에 타각을 반대로 주어야 한다. 왜냐하면 입항시 창조류를 받을때에는 선미로부터 port 17°방향에서 강조류를 받기때문에 조류에 의한 회두 모멘트가 커서 회두관성력을 억제하는데 시간이 소요될 것이기 때문이다.

4.1 선박 궤적 계산

$$r(t) = K\delta(1-e^{-\frac{t}{T}}),$$

$$T=1.09,\ L=290,\ u_0=6.2m/\sec,$$

$$r_s=0.26°/\sec$$

$$\left.\begin{aligned}\phi(t) &= K\delta\int(1-e^{-\frac{t}{T}})dt \\ &= K\delta(t-T+Te^{-\frac{t}{T}}) \\ x_t &= \sum_{j=0}^{t} u_0\cos\phi_j \\ y_t &= \sum_{j=0}^{t} u_0\sin\phi_j\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4.1)$$

단, (j = 0,1,2··············t)

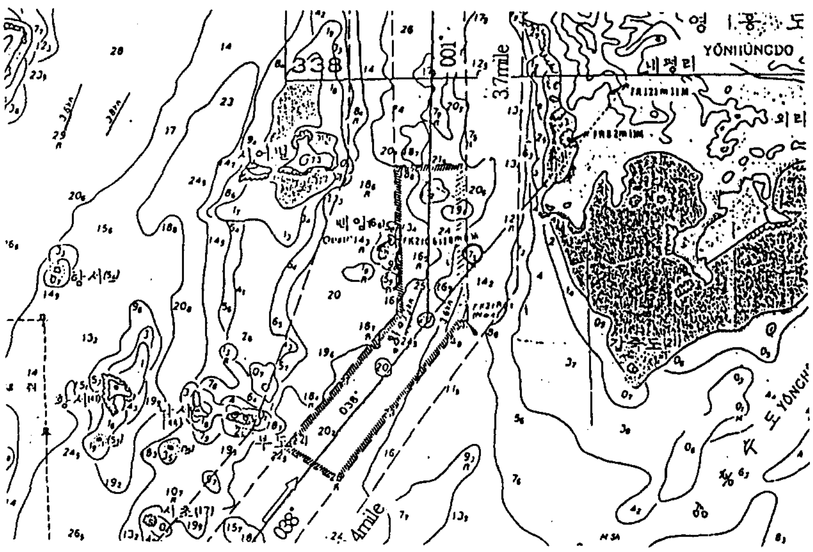

그림 4.1 백암 협수도

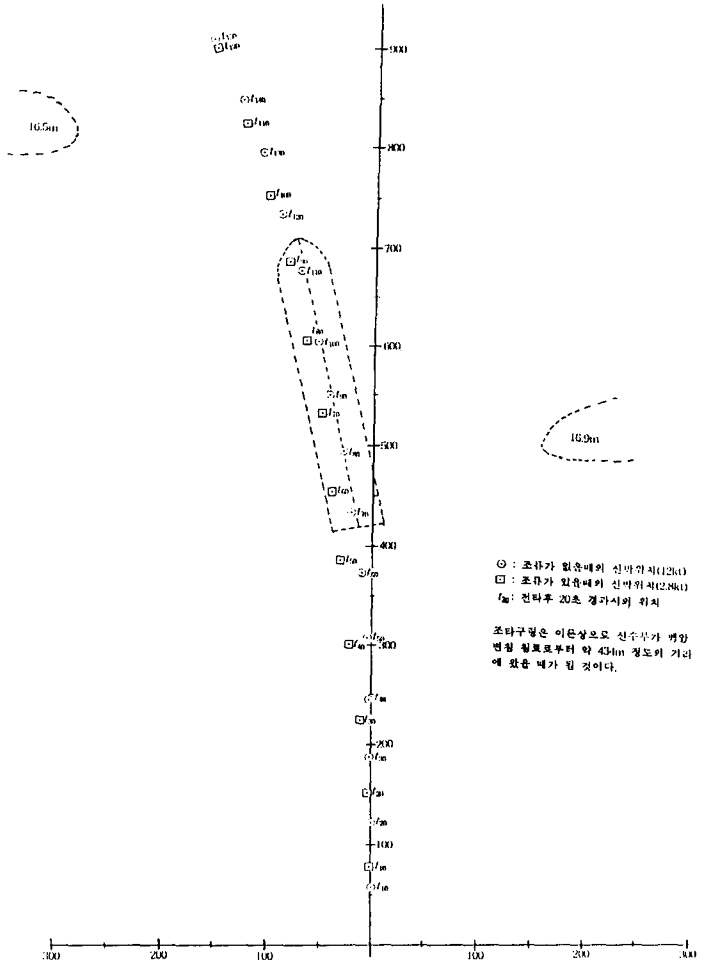

그림4.2 100,000 G/T LNG 선박의 백암 통과 궤적도

1. 백암 수도 통항 조선 Simulation도 Simulation 결과 분석 결론 :

   current 2kt 이상과 동시에 평균 풍속 10m/sec 이상의 바람은 피하는 것이 좋고 그 이상의 외력은 위험을 초래할 수 있다. +20°~+25° 정도 타로 보침은 되나 1.5L 전방에서 +35° 타로 변침시 수로 우측으로 너무 많이 나가면서 변침되므로 위험하며 조선이 불가함.

   +15°~+20°타로 보침가능, 1.5L 전에서 +35°타로 변침 가능하지만 이러한 대타각은 위험을 초래할 수 있으므로 평균 풍속 10m/sec 이상의 바람이 있을 때에는 조류는 2kt로 제한 하여야 할 것임.

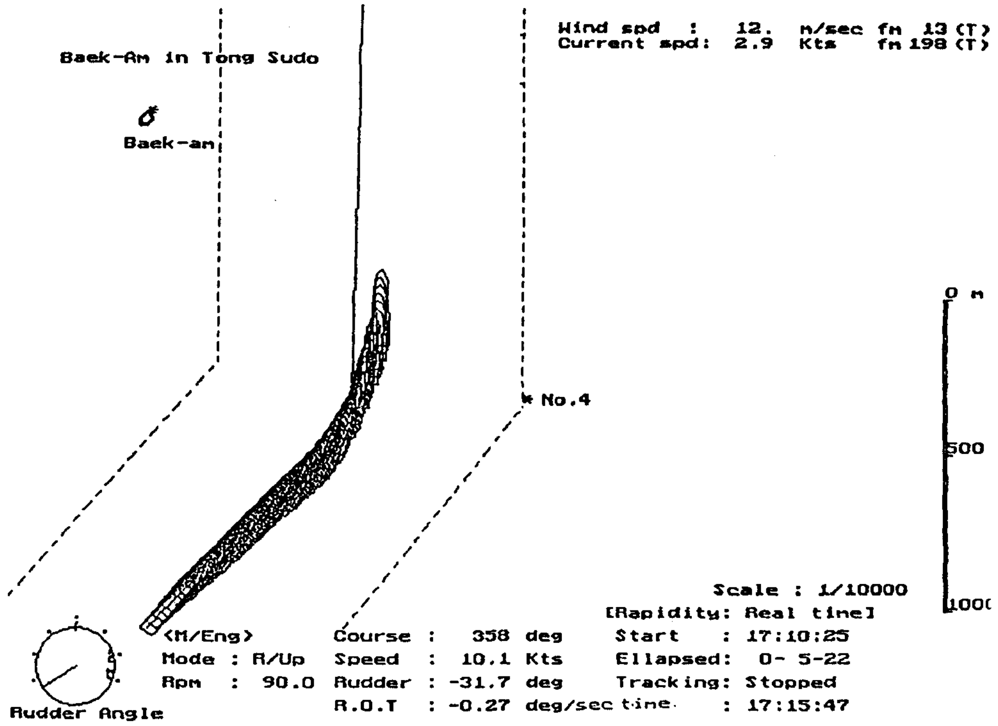
Wind spd : 12. m/sec fm 13 (T)
Current spd: 2.9 Kts fm 198 (T)
Baek-Am in Tong Sudo
Baek-am
No.4
0 m
500
1000
Scale : 1/10000
[Rapidity: Real time]
<M/Eng>
Mode : A/Up
Rpm : 90.0
Course : 358 deg
Speed : 10.1 Kts
Rudder : -31.7 deg
R.O.T : -0.27 deg/sec
Start : 17:10:25
Ellapsed: 0- 5-22
Tracking: Stopped
time : 17:15:47
Rudder Angle

그림 1

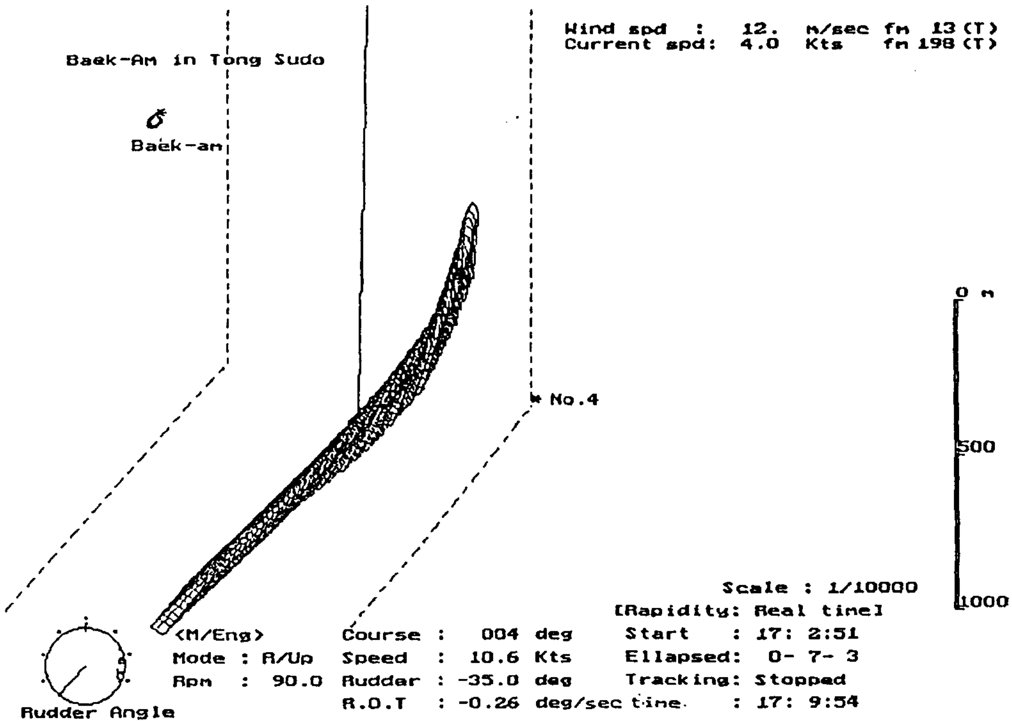
Wind spd : 12. m/sec fm 13 (T)
Current spd: 4.0 Kts fm 198 (T)
Baek-Am in Tong Sudo
Baek-am
No.4
0 m
500
1000
Scale : 1/10000
[Rapidity: Real time]
<M/Eng>
Mode : A/Up
Rpm : 90.0
Course : 004 deg
Speed : 10.6 Kts
Rudder : -35.0 deg
R.O.T : -0.26 deg/sec
Start : 17: 2:51
Ellapsed: 0- 7- 3
Tracking: Stopped
time : 17: 9:54
Rudder Angle

그림 2

5. 결 론

이상의 VLCC 협수도 통항 조선에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 특정 VLCC의 개략적인 조종성지수를 계산하여 조타에 의한 선박의 변침동작의 궤적을 추정할 수 있는 계산식을 제안하였다.

2. 협수로에서 강한 조석류가 흐르고 있을 때에는 선박조종의 위험을 초래할 수 있는 조석류의 한계유속을 추정할 수 있는 수식을 제안하였다.

3. 조석류가 강한 협수로에서는 대형선은 신침로에 들어가기 위하여 변침을 시작할 때 큰 타각을 주어야 하고 변침이 완료되기전 적절한 시기에 큰 대응타각으로 선박의 회두 타력을 제어하는 것이 대단히 중요하다.

4. 100,000 G/T 정도의 LNG선이 백암 수도 통항시 통항 조선의 안전을 확보할 수 있는 한계유속은 2.8kt정도이다.

5. 인천항 입항 수로인 백암 등대 전방 통항로는 조석류가 있을시 대형선은 대타각으로 변침을 할 수 밖에 없고 사전에 충분한 거리를 두고 변침 동작에 들어가고 정침을 할 때에도 미리 미리 정침 동작에 들어가야 한다.

참고문헌

1) 尹点東, "操縱性指數에 의한 衝突回避動作의 量的 把握에 關한 硏究" 韓國航海學會誌, 第1卷 第1號(1997.8), pp. 27~43.
2) 尹点東, "巨大型船操船論" 亞成出版社, 釜山(1983.8) p. 34, 35, 42
3) 尹点東, "船舶操縱의 理論과 實務" 世宗出版社, 釜山(1997.9) p. 33, 200~201
4) 대한민국 수로국, "1996년 조석표 제 1권" 찬명문화사, 서울(1995), p. 213
5) 杉原喜義, "理論運用學(船體運動編)" 海文堂, 東京(1967), p. 115.
6) 藤井齊 野本謙作, "操縱試驗法", 日本造船學會 第2回 操縱性 シンポジウム(1970) pp. 2~8.
7) 丸山隣一, "巨大船の操船上の 問題點", 三光汽船海務部, 東京(1970. 6), pp. 1~9
8) 岩井聰, "操船論", 海文堂, 東京(1972), p. 38.
9) 北澤昌永, "操船者側からの 問題點 の 提起および要望", 日本造船學會 第3回 操縱性 シンポジウム(1981), pp. 289~293.
10) 日本關西 造船協會, "造船設計便覽", 海文堂, 東京(1983) p. 455.
11) 芳村康男 "外力下の 操縱性能" 日本造船學會, 運動性能 委員會 第2回 シンポジウム, "船舶の 船行安全 と 操縱性能" (1985. 12), p. 57.
12) 本田之輔, "操船通論", 成山堂, 東京(1986), pp. 31~37.
13) 浜本剛實, 溝口純敏, "船體 に 働く 流體力の 推定法等", 日本造船學會, 運動性能委員會 第4回 シンポジウム, 操縱性能 の 豫測 と 評價(1987. 12), pp. 52~53, 133~145.
14) 橋本進, "操船 の 基礎" 海文堂, 동경(1988), pp. 9~10.
15) C.L. Crane, H. Eda, A. Landsburg, "Controllability", Principles of Naval Architecture Volume Ⅲ(1989.9) pp. 199, 244~248.