

IMO 선박 조종성 기준의 계산 및 고찰에 관한 연구

이 춘 기*

*한국해양대학교 수중운동체특화연구센터 전임연구원

A Study on the Evaluation and Validation of IMO Manoeuvrability Standards of Vessels

Chun-Ki Lee*

*Researcher, Underwater Vehicle Research Center, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 대형선박의 충돌 혹은 좌초와 같은 많은 해양사고는 선박의 조종성능 부족으로 인하여 발생되고 있다. 따라서 IMO(국제해사기구)에서는 1994년 제18회 총회에서 결의서 A.751(18)로서 선박조종성에 대한 잠정기준을 채택하였고, 이 기준은 1994년 7월 1일 이후 건조된 길이 100m 이상의 선박 또는 길이에 관계없이 모든 케미컬탱커 및 가스운반선에 대하여 적용된다. IMO 조종성기준은 크게 설계단계에서의 선회성능과 보침성능 및 최단정지성능으로 대별된다. 이 논문에서는 몇 척의 대형선박에 대한 최초 설계단계에서의 자료를 이용하여 조종성능에 관한 계산 및 시뮬레이션을 행하고, 계산된 결과를 모형실험 결과와 비교, 검토하였으며, IMO 조종성기준의 타당성에 관하여 검토 고찰하였다.

핵심용어 : 선박조종성, IMO 조종성기준, 해양사고

Abstract : Many sea accidents such as collisions and groundings of vessels were occurred due to the lack of sufficient manoeuvring capability of vessels. Therefore IMO adopted "The interim standards of ship manoeuvrability by Resolution A.751(18)" and the standards have been applied to vessels of 100m or more in length and all chemical tankers and gas carriers regardless of the length, which were constructed on or after 1 July 1994. The IMO manoeuvrability standards are divided into three kinds as follows:

(1) Turning capability standards : Estimated values in design stage are to be certified by turning circle test of the actual vessel. (2) Course keeping quality standards : Estimated values in design stage are to be certified by 10° and 20° Zig-Zag tests of the actual vessel. (3) Shortest stopping distance standards : Estimated values in design stage are to be certified by the shortest stopping distance tested by the actual vessel.

In this paper, the authors computed the values of the manoeuvring standards of several vessels from their original design and compared them with those results from experiments of the model ships and also examined the values and concluded about the validity of IMO manoeuvrability standards.

Key words : Ship manoeuvrability, IMO manoeuvrability standards, Sea accidents

1. 서 론

지난 35여년간 선박의 연료절감을 위한 많은 연구의 결과 저항 추진성능면에서 획기적인 성과를 거두어 왔다. 특히 구상선수(bulbous bow), 뚝뚝한 배, 대직경 프로펠러, 추진효율을 높이기 위한 선미형상 등은 운항 효율면에서 상당히 진보된 결과를 보여 주었으나 이중에서 뚝뚝한 배, 대직경 프로펠러, 이에 상응한 선미형상의 변경 등으로 인하여 조종(操縱)성능이 극히 불량한 선박들이 다수 출현하게 되었다. 그 결과로서 항만이나 수로에서의 조선(操船)이 어렵게 되었고, 또한 수십이 앞거나 해상 교통량이 많은 해역에서의 선박조종이 어려워지고 있다. 실제로 1990년대에 조사한 바에 의하면 길이 90m 이상되는 선박들 중 약 5%는 매년 타물체와 충돌사고를

경험하며, 이중 약 80%는 다른 선박과의 충돌 사고인 것으로 나타나고 있다고 한다. 해상충돌사고의 이유로는 먼저 그 선박의 조종특성에 관한 조타실의 이해부족, 그리고 해상 교통량에 관한 정보부족 등을 들 수 있겠으나 그중 일부는 선박 자체의 불량한 조종성능에 기인하는 것도 있다. 이러한 현상, 특히 상대적으로 사고의 위험성이 높은 항만이나 연안 등지에서 해양사고는 인명에 대한 위협뿐 아니라 심각한 환경오염의 원인이 될 수 있으며 Sea Prince 좌초사고에서 우리가 경험한 바와 같이 국가 경제에 엄청난 재앙을 불러일으킬 수도 있다. 이에 따라 UN 산하기구인 IMO에서는 장기간에 걸친 관련 자료 수집과 산하 회원국들의 의견을 바탕으로 선박조종성능에 관한 기준(Manoeuvring Standards of Ship)의 채택을 서둘러왔고 1994년 7월 1일부터 잠정기준을 실시하였으며 길

* 대표저자 : 이춘기(정회원), leeck@bada.hhu.ac.kr 051)410-4709

이 100m 이상의 모든 선박과 위험화물을 수송하는 케미컬탱커 및 LNG는 길이에 관계없이 이 규정의 적용을 받고 있다. 이러한 기준값을 설정한 목적은 선박의 조종성능(선회성능, 지그재그 조종성능 등)에 구체적인 기준을 설정함으로써 이 기준을 만족시키지 못하는 신조선박(新造船舶)과 개조선박(改造船舶)에 운항 불가 판정을 내리는 등 직접적인 규제를 하기 위한 것이다. 하지만 이러한 선박의 조종성능은 선박이 모두 건조된 후, 실선 시운전을 통하여서만 확인이 가능하며, 만일 실선 시운전 결과가 기준을 만족시키지 못할 경우 조선소나 선주측의 막대한 피해가 예상되므로 선박의 초기 설계단계에서부터 선박의 조종성능이 보장되도록 선형의 설계가 이루어져야 할 것이다(Kijima, 1995). 오늘날 세계의 모든 유명선급에서는 신조선의 해상시운전 결과에서 IMO 조종성기준의 만족여부를 검사하고 있다. 이 논문의 목적은 조선자(操船者)들이 자기가 조종하는 선박이 IMO의 조종성기준을 어느정도 만족시키고 있는지 그 정도를 알도록 하고 이것을 자기선박을 조종하는데 참고하도록 하는데 있다.

2. IMO의 조종성기준 및 이에 대한 고찰

1993년 IMO 제 18차 총회에서 Resolution A.751(18)로 "Interim Standard for Ship Manoeuvrability" 가 채택되었다. 이 잠정기준은 선박의 안전운항을 위하여 필요한 최소한의 조종성능을 규정함으로써 조종성능이 현저히 나쁜 선박을 운항에서 배제할 목적으로 작성되었다. IMO에서 채택된 규칙은 조만간 선박의 기국(旗國) 규칙에 채택되는 것이 보통이고 기국이 승인한 선급협회에서는 그 규칙이 자기선급협회 규칙으로 있던 없던 간에 기국 규칙에 따라서 선박을 검사하고 승인할 필요가 있다. 세계의 유명선급협회들은 이미 IMO의 조종성기준을 신조선의 검사에 포함시켜서 검사를 행하고 있다. IMO의 조종성능검사기준을 표로 작성하면 Table 1과 같다.

Table 1을 보면 IMO의 조종성기준은 선박의 조종성능을 세가지로 대별하여 정하고 있다. 첫째, 오랜 관습으로 내려오는 선회편시험을 하여 선회종거와 선회경이 선체길이의 몇배 이하가 되어야 하는가를 기준으로 삼는 선회성능(Turning capability), 둘째 10°Z 및 20°Z test를 하여 그때 생기는 overshoot angle이 몇도 이하가 되어야 하는가를 기준으로 하고 있는 보침성능(course keeping quality and course changing manoeuvrability) 이 있다. Z test에서 정하는 overshoot angle의 기준치를 넘는 선박이 있고 현재로서는 이 기준치가 문제가 되어 있고, IMO 조종성능 기준값에서 앞으로 이것에 대한 연구가 제일 중요한 과제가 될 것으로 보인다. 마지막으로 전속전진중 전속후진을 걸어서 선체가 정지할때까지의 거리가 선체길이 L의 몇배이하가 되어야 하는 정지성능(Shortest stopping distance)이 있고, 거의 모든 선박은 이 값을 만족시키고 있다.

Table 1 IMO manaeuvring standard

성능	IMO 잠정기준 A.751(18)	제45회 DE 소위원회 심의결과(MSC76, 2002, 12.)
선회성능	선회종거 < 4.5L, 선회경 < 5.0L	개정 없음
초기선회성능	10°타각에 선수방위가 10°에 도달할때까지의 항주거리 < 2.5L	개정 없음
보침성능 및 변침성능	(1) 10°Z 시험 First overshoot angle - 10° : L/V < 10초 - 20° : L/V ≥ 30초 - (5+1/2(L/V))° : 10초 ≤ L/V < 30초 Second overshoot angle - (First overshoot angle + 15)°	(1) 10°Z 시험 First overshoot angle 개정없음 Second overshoot angle - 25° : L/V < 10초 - 40° : L/V ≥ 30초 - (17.5+0.75(L/V))° : 10초 ≤ L/V < 30초
	(2) 20°Z 시험 First overshoot angle < 25°	(2) 20°Z 시험 개정없음
정지성능	정지할때까지의 전항주거리 < 15L	정지할때까지의 전항주거리 < 15L (단, 주관청의 판단에서는 20L을 상한으로 설정)

3. 침로안정성에 대한 이론적인 고찰

Spiral test를 하여 불안정루프가 나오는 선박은 overshoot angle(이하 OSA로 한다)가 크게 되고 불안정루프의 범위가 크면 클수록 OSA가 크게 된다. 그러므로 rudder를 중립으로 한 상태로 전진중인 선박이 어떤 외력을 순간적으로 받아서 침로가 틀어졌을때 그 외력이 제거된 상태가 되면 rudder의 사용없이 다시 새로운 침로에서 직진을 시작하는가 않는가가 IMO의 침로안정성의 기준치를 만족시킬것인가 아닌가 판단의 첫째 요건이 된다.

3.1 침로안정성에 관한 판별식

일반적으로 선체운동을 논할 때, 선체의 중심 G를 원점으로 하여 선수미방향으로 통하는 축을 x축, 횡방향으로 통하는 축을 y축, 연직방향으로 z축을 잡는 선체고정좌표계를 사용하여 조종운동을 연립방정식으로 표시할 수 있고, 이때 정수면에서의 운동은 surge, sway, yaw운동만을 고려하면 된다. 한편 조종운동을 논하기 위해서는 surge, sway, yaw운동에 대한 식을 보다 구체적으로 기술하고, 미소운동이라는 점을 고려한다면 sway와 yaw운동의 연관된 운동만을 취급하면 된다. 이때 타각 δ = 0으로 하면 다음과 같은 한쌍의 동차미분방정식을 얻을 수 있다(윤, 1978 ; 윤, 1979 ; 윤, 1984 ; Kijima et al., 1981). 단, 미계수들은 일정한 상수이고, • 및 ' 기호는 각각 1차 미분 과 무차원화를 의미한다.

$$\begin{aligned} (m' - Y'_v) v' - Y'_v v'' - Y'_r r' - (Y'_r - m') r'' &= 0 \\ -N'_v v' - N'_v v'' + (I'_z - N'_r) r' - N'_r r'' &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)을 간략한 기호로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_{11} \dot{v} + a_{12} \dot{v} + a_{13} \dot{r} + a_{14} \dot{r} &= 0 \\ a_{21} \dot{v} + a_{22} \dot{v} + a_{23} \dot{r} + a_{24} \dot{r} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a_{11} &= (m' - Y'_v), \quad a_{12} = -Y'_v, \quad a_{13} = -Y'_r \approx 0, \\ \text{단, } a_{14} &= -(Y'_r - m'), \quad a_{21} = -N'_v \approx 0, \quad a_{22} = -N'_v, \\ & \quad a_{23} = (I'_z - N'_r), \quad a_{24} = -N'_r \end{aligned}$$

식(2)의 \dot{v} 과 \dot{r} 에 관한 2계 미분방정식의 일반해는 지수함의 합으로 이루어지고 식은 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{v}(t) &= v_0 e^{\sigma t}, \quad \dot{v}(t) = \sigma v_0 e^{\sigma t} \\ \dot{r}(t) &= r_0 e^{\sigma t}, \quad \dot{r}(t) = \sigma r_0 e^{\sigma t} \end{aligned} \quad (3)$$

(3)식을 (2)식에 대입하여 정리하면 식(4)와 같고,

$$\begin{aligned} (a_{11} \sigma + a_{12}) v_0 e^{\sigma t} + (a_{13} \sigma + a_{14}) r_0 e^{\sigma t} &= 0 \\ (a_{21} \sigma + a_{22}) v_0 e^{\sigma t} + (a_{23} \sigma + a_{24}) r_0 e^{\sigma t} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 $r_0 e^{\sigma t}$ 을 소거하여 정리하면 σ 에 대한 특성행렬식을 얻을 수 있고, 특성행렬식을 정리하면 식(5)와 같이 특성방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} (a_{11} a_{23} - a_{21} a_{13}) \sigma^2 + [(a_{11} a_{24} + a_{12} a_{23}) \\ - (a_{21} a_{14} + a_{22} a_{13})] \sigma + (a_{12} a_{24} - a_{22} a_{14}) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)에서 침로안정성에 대한 판별식은 다음과 같고, 두근 σ_1 및 σ_2 를 가진다.

$$\begin{aligned} A \sigma^2 + B \sigma + C &= 0 \\ \sigma_1, \sigma_2 &= \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} A &= (m' - Y'_v)(I'_z - N'_r) \\ B &= (m' - Y'_v)(-N'_r) + (-Y'_v)(I'_z - N'_r) \\ \text{단, } &= (Y'_\beta)(I'_z - N'_r) - (m' - Y'_v)(N'_r) \\ C &= (Y'_v)(N'_r) - (N'_v)(Y'_r - m') \\ &= -[(Y'_\beta)(N'_r) + (N'_\beta)(m' - Y'_r)] \end{aligned}$$

따라서 σ_1 및 σ_2 의 실수가 모두 음이라면 (3)식에서 주어진 해 \dot{v} 과 \dot{r} 은 초기조건에 관계없이 t 가 무한대에 접근할 때에 zero에 접근할 것이다. 이 경우에 선체의 운동은 순간적인 미소한 외적교란이 지나간 뒤에 새로운 직선침로로 돌아오는 면에서 운동은 안정적이다. 그러나 σ_1 및 σ_2 의 어느 하나가 양의 실수를 갖게 되면 t 가 커짐에 따라 \dot{v} 과 \dot{r} 이 증가할 것이며 자주 조타를 하지 않으면 운동은 불안정하게 된다. 따라서 위의 특성방정식을 검토하면 유체미계수의 수치에 따라서 다음의 4가지 경우가 발생할 수 있다.

- ① $A > 0, B > 0, C > 0$ 이면 침로안정,
- ② $C = 0$ 이면 침로는 neutral
- ③ $C < 0$ 이면 침로불안정
- ④ $C \gg 0$ 이면 $\sigma = ke^{i\omega t}$ 로서 yaw 진동

3.2 침로안정성 판별식에 대한 각계수의 검토

$$\begin{aligned} A &= (m' - Y'_v)(I'_z - N'_r) = \text{언제나} + \\ B &= (Y'_\beta)(I'_z - N'_r) - (m' - Y'_v)(N'_r) = \text{언제나} + \\ C &= (Y'_v)(N'_r) - (N'_v)(Y'_r - m') \\ &= -[(Y'_\beta)(N'_r) + (N'_\beta)(m' - Y'_r)] \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서 실제 모든 선박에 있어서 A와 B의 값은 언제나 (+)이다(Inoue et al, 1981). 따라서 $C > 0$ 만이 직선침로의 안정성에 대한 기준이 된다. 일반적으로 $C \gg 0$ 의 경우에는 이론적으로는 가능해도 실제로 그러한 단독항행선박은 없고, 다만, 피예인 선박이 Yaw 진동을 일으키면서 예인되는 것은 N'_v 의 값이 외력에 의하여 대단히 크고 (-)가 되기 때문일 것이다. 또한 $C < 0$ 되는 경우는 $(Y'_v)(N'_r)$ 의 항은 언제나 (+)이므로 값이 적으면서 $(N'_v)(Y'_r - m')$ 의 항이 (+)부호를 가지면서 값이 큰 경우를 상정할 수 있다. 이러한 선박의 형태는 구상선수를 갖는 대형선박이 추진효율을 높이기 위하여 screw aperture를 큰 space로 두고 V자 형태의 선미를 갖는 소위 선미 V자형 선체에서 찾아 볼 수 있고, 또한 일반상선이 화물을 만제한 상태에서 선수트림이 큰 경우가 이에 해당된다.

4. 수치계산 및 고찰

앞에서 설명한 바와 같이 선박의 조종성능은 선박의 선형, 특히 선미형상에 따라 크게 달라진다. 이 절에서는 선미 frame line 형상이 V형과 U형인 대표적인 두 선형을 대상으로 대형선박에 대한 최초 설계단계에서의 자료를 이용하여 침로안정성 여부에 관한 계산 및 시뮬레이션을 행하고, 침로안정성 판별 계산결과가 IMO의 조종성능 기준값과 어떤 관계를 가지고 있는가를 검토 고찰한다. 또한 추진효율을 높이기 위하여 screw aperture를 큰 space로 두고 V자 형태의 선미를 갖는 선미 V형인 다른 한척의 캐미칼탱커를 대상으로 최초 설계단계에서의 자료를 이용하여 침로안정성 여부에 관한 계산 및 시뮬레이션을 행하고, 침로안정성 판별 계산결과가 IMO의 조종성능 기준값과 어떤 관계를 가지고 있는가를 검토 고찰한다. 그리고 외력은 없는 것으로 가정한다.

먼저 Table 2에 나타낸 것처럼 검토대상 선박의 선체주요 목은 거의 같지만, 다른 선미 frame line 형상을 가지고 있는 V형과 U형의 대표적인 두 선형으로 일본 SR221부회에서 작성된 2종류의 선형 SR221A(선미 frame 형상이 V형)와 SR221B(선미 frame 형상이 U형) 선형과 선미 V형인 다른 한

척의 Chemical tanker로 하였다. 그리고 Table 3은 대상선박에 대한 유체력 미계수와 침로안정성 판별 계산 결과를 나타내고 있다(Kijima et al., 1990). 따라서 이들 선박들의 침로안정성 판별 결과가 IMO의 조종성능 기준값과 어떤 관계를 가지고 있는지를 검토하기 위하여 10^0 및 20^0 Zig-zag 운동 시뮬레이션 결과를 Fig. 1 ~ Fig. 4에 나타내고 있다.

Table 2 Principal particulars of Ships

Vessel	SR221A	SR221B	Chemical tanker
Length L_{pp}	320	320	169
Breadth B	58	58	29.6
Draft d	19.3	19.3	11.56
Block coef. C_B	0.8045	0.8018	0.803
speed	15kt	15kt	13kt
L/V	41.5	41.5	25.3

Table 3 Hydrodynamic coefficients and σ values

	SR221A	SR221B	Chemical tanker
m	0.290664	0.290664	0.2812641
Y'_β	0.3081580	0.3704808	0.4118746
N'_β	0.07420506	0.06714026	0.1368667
Y'_r	0.06164925	0.06370942	0.0853577
N'_r	-0.04495392	-0.05306204	-0.05517552
σ_1	0.112564	-0.08239217	0.1327378
σ_2	-1.91405	-2.056267	-2.480892

Fig. 1과 Fig. 2는 선체주요목은 거의 같지만, 다른 선미 frame line 형상을 가지고 있는 V형과 U형의 대표적인 두 선형에 대한 $10^0/10^0$ 및 $20^0/20^0$ Zig-zag 운동 시뮬레이션 결과 및 모형선의 실험값을 보여주고 있다.

Fig. 1 및 Fig. 2에서 보면 특성방정식의 C의 계수 값이 (+)로 나오고 특성방정식의 해에서 근의 값 σ_1 및 σ_2 이 모두 (-)값으로 나와서 침로안정성이 있는 것으로 판별된 선미 U형의 선박 SR221B는 IMO의 선회제어 및 침로 안정성능의 기준값에 모두 합격하고 있다. 그리고 특성방정식의 C의 계수 값이 (-)로 나오고 특성방정식의 해에서 근의 값 σ_1 및 σ_2 의 값에서 하나가 (+)값으로 나와서 침로 불안정한 것으로 판별된 선미 A형의 선박 SR221A는 IMO의 선회제어 및 침로 안정성능의 기준값 한계선에 가까워지면서 합격선 안에 들어오는 상태로 되고 있다.

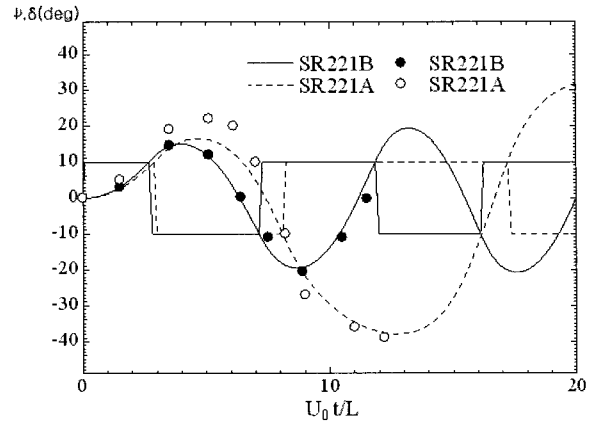


Fig. 1 Result of $10^0/10^0$ Zig-zag manoeuvre

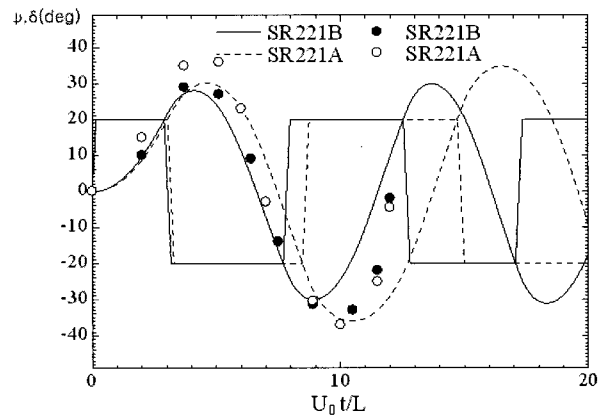


Fig. 2 Result of $20^0/20^0$ Zig-zag manoeuvre

한편 Fig. 3과 Fig. 4는 선미 V형인 다른 한척의 Chemical tanker(Stolt tanker)에 대한 $10^0/10^0$ 및 $20^0/20^0$ Zig-zag 운동 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. Fig. 3 및 Fig. 4에서 보면 특성방정식의 C의 계수 값이 (-)로 나오고 특성방정식의 해에서 근의 값 σ_1 및 σ_2 의 값에서 하나가 (+)값으로 나와서 침로안정성이 없는 것으로 판별된 Chemical tanker는 명백히 IMO의 선회제어 및 침로 안정성능의 기준에 불합격하고 있다.

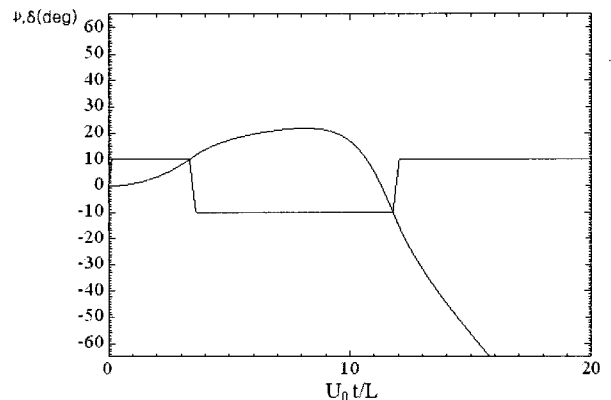


Fig. 3 Result of $10^0/10^0$ Zig-zag manoeuvre

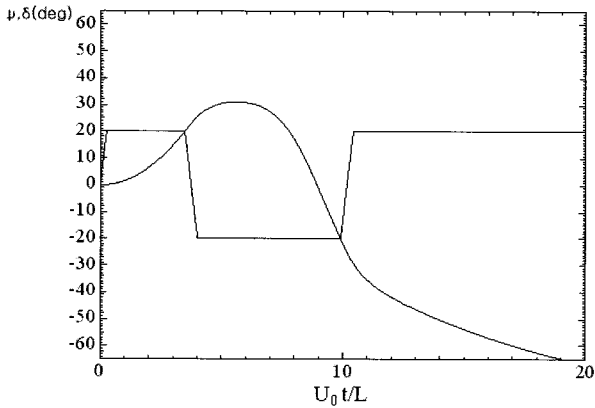


Fig. 4 Result of 20°/20° Zig-zag manoeuvre

Fig. 5 ~ Fig. 7은 보침성능 및 변침성능의 Zig-zag 운동 시뮬레이션 결과와 IMO의 조종성능 기준값과의 관계를 나타내고 있다.

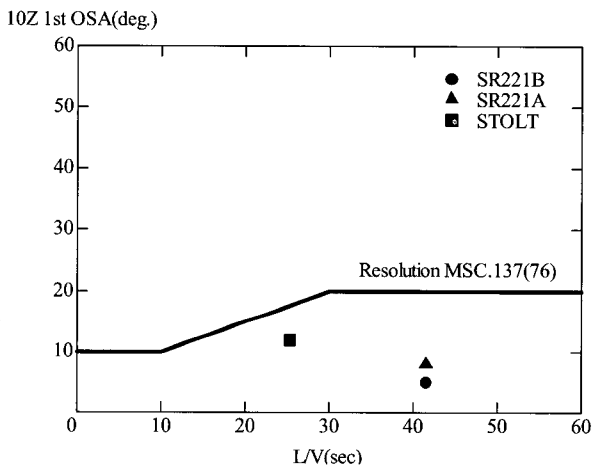


Fig. 5 10°Z 1st overshoot angle

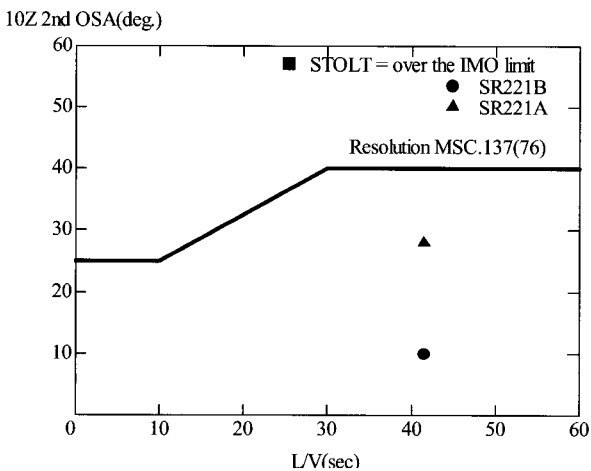


Fig. 6 10°Z 2nd overshoot angle

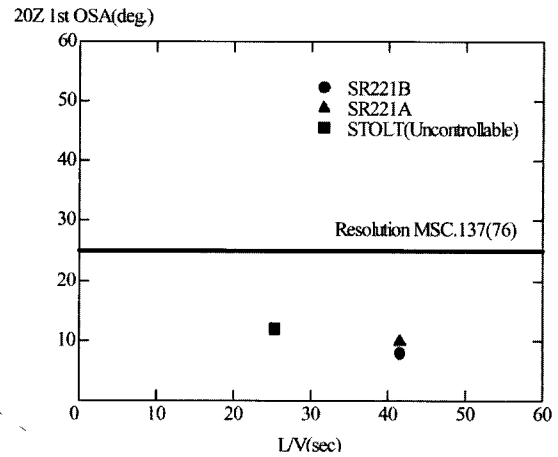


Fig. 7 20°Z 1st overshoot angle

5. 결 론

이 연구에서는 대형선박에 대한 최초 설계단계에서의 자료를 이용하여 침로안정성에 관한 계산을 행하고, 계산결과가 IMO의 조종성능기준과 어떤 관계를 가졌는지 고찰하였으며, 구체적인 결과는 다음과 같다.

첫째 침로안정성 판별 계산 결과, 침로안정인 선박의 10°/10° 및 20°/20° Zig-zag 운동 시뮬레이션 계산 결과는 IMO의 조종성능 기준값에 비하여 충분한 여유가 있음을 알았다.

둘째 침로안정성 판별 계산 결과, 침로불안정인 선박도 Zig-zag 운동 시뮬레이션 계산 결과는 IMO 조종성능 기준값에 비해서 여유는 없지만 합격으로 보인다. 그러나 이점은 앞으로 IMO의 기준값을 다시한번 재검토할 필요가 있다고 보인다. 또한 Chemical tanker는 Zig-zag 운동 시뮬레이션 결과가 IMO 조종성능 기준값에 훨씬 미달되어 선박으로서 운항이 어려울 것임을 잘 나타내고 있다.

셋째 선박운항에 관한 안전성을 확보하기 위하여 환경조건이나 조선(操船)등의 인적요소의 영향도 중요하나 선박고유의 조종성능을 확보하는 것도 대단히 중요하기 때문에 설계단계에서 잘못된 조종성능을 갖는 선박에 대하여 우리들 선박운항자들은 충분한 보완조치를 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 대형선박에 대하여 침로안정성에 관한 계산을 행하고 만약 침로안정성 판별 결과 침로불안정으로 나오게 되면 그 선박은 IMO의 조종성능 기준값에 여유가 없는 것으로 간주하고 IMO의 조종성기준을 만족시킬 수 있는 여러 가지 조치를 하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 윤점동(1978), "선속이 선회권에 미치는 영향 및 이의 실선조종 운용에 관한 연구", 한국해양대학논문집, 제13호.
- [2] 윤점동(1979), "선회권시험방법에 의한 대형선의 침로안정

- 성 판별방법에 관한 연구”, 한국해양대학논문집, 제14호.
- [3] 윤점동(1984), “Inherent Steering Characteristics coming from the Configuration of a vessel”, 한국항해학회지 제8권 제2호.
- [4] Kijima, K. and Nonaka, K.(1981), “제한수역에서의 선박의 조종성”, 제3회 조종성 심포지움.
- [5] Kijima, K., Nakiri, Y., Tsutsui, Y., Matsunaga, M. (1990). “Prediction Method of Ship Maneuverability in Deep and Shallow Waters”. Proceedings of MARSIM and ICSM 90, pp.311-318.
- [6] Kijima, K. (1995), “조종성연구의 설계에 응용”, 조종성 연구개설, 일본조선학회 운동성능연구위원회, 제12회 심포지움.
- [7] Inoue, S., Hirano, M. and Kijima, K. (1981), “Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvring”, International Shipbuilding Progress, Vol.28, No.321.

원고접수일 : 2005년 4월 27일

원고채택일 : 2005년 6월 13일