

선박의 조종성에 관한 연구동향

손 경 호*

1. 서 언

해상수송의 발달로 말미암아 선박은 비대화 및 전용화되었다. 특히 선박의 비대화는 기존의 항만 또는 해협을 상대적으로 협소화시켰다고 생각할 수 있다. 그리고 이러한 항만 또는 해협의 상대적 협소화는 선박의 안전운항에 큰 위협이 되고 있다. 예를 들면 원유수송선, 액화가스운반선 등 위험화물을 대량으로 운송하는 선박이 만에 하나 사고를 유발시켰다고 하면 인명, 재산상의 손실은 물론 해양환경 및 지역사회에 미치는 영향이 그야말로 엄청나다고 아니할 수 없다.

해난사고와 선박의 성능 특히 조종성능과의 상관관계에 대한 연구조사 결과에 의하면 해난사고중 상당부분이 조종성능과 밀접한 관련이 있다고 한다. 한 예로서 Miller[1]는 한 선박이 20년간의 일생동안 약 8회의 해난사고를 일으킬 위험성이 있는데 이중 3회는 조종성능을 향상시킴으로써 사고를 피할 수 있다고 보고하였다.

조종성능과 관련하여 선박을 건조하는 설계자의 입장에서는 안전대책으로서 다음 사항을 들 수 있을 것이다.

- (1) 설계단계에서 조종성능을 충분히 검토하여 안전성을 확보한다.
- (2) 조종성능과 관련된 操船매뉴얼을 작성하여 선내에 비치함으로써 선박운항자가 적절히 이용토록 한다.
- (3) 충돌, 좌초 또는 항행불능 등 사고시의 응급대책을 마련한다.

이러한 관점에서 IMO(세계해사기구)의 설계설비소위원회 및 해사안전위원회에서는 최근 몇년동안 조종성에 관한 본격적인 검토가 이루어지고 있으며, 조종성능의 기준설정, 설계단계에서의 조종성능평가 및 건조후의 操船매뉴얼작성 등에 대해서 구체적 권고안을 제시하였다[2]~[4]. IMO의 움직임에 대해 미국, 일본, 영국 등 선진해양국가에서는 이 권고안의 보완작업 및 자국선박에 대한 대책마련 등을 검토하고 있다[5][6].

그리고 이러한 권고사항은 머지않은 장래에 강제규정화될 조짐에 있다.

이와같은 세계적 추세에 미추어, 본고에서는 선박의 조종성능에 대한 연구동향을 간단히 소개하였으며, 조종성능을 평가하기 위한 운동방정식, 지금까지의 연구상황 및 앞으로의 연구과제의 순으로 소개하였다.

2. 운동방정식

운동방정식은 항공역학분야에서와 마찬가지로 선박의 무게중심에 좌표원점을 취한 운동좌표계(선체고정좌표계)가 이용된다. 가깝 유체력의 이론계산치와 실험치의 비교 또는 실험해석상의 편의의 관점에서 선체중앙(midship)에 원점을 취하는 경우도 있으나, 간단한 변환식의 관계를 이용하던 양자의 관계가 명백해지므로 여기에서는 무게중심에 원점을 취한 경우에 대해서 언급코자 한다.

선박의 무게중심에 원점을 취하고 선수방향을 x 축, 우현방향을 y 축, 연직하방을 z 축이라 할 때, 수평면내에서의 선체운동에 해당되는 조종운동은 전후동요, 좌우동요, 선수동요의 연성운동이라 생각할 수 있으며, 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u}-vr) &= X(\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, u, v, r, n, \delta) \\ m(\dot{v}+ur) &= Y(\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, u, v, r, n, \delta) \\ I_z \dot{r} &= Z(\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, u, v, r, n, \delta) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 좌변의 m, I_z 는 각각 선체의 질량, z 축에 대한 질량관성모멘트이다. u, v 는 각각 x, y 축방향의 속도, r 는 z 축주위의 각속도(선수동요각속도)이다. X, Y, Z 는 각각 선체에 작용하는 전후방향의 힘(surge force), 좌우방향의 힘(sway force), 선수동요모멘트(yaw moment)이다. 그리고 이들 X, Y, Z 는 선체운동에 기인하는 유체력, 프로펠라의 회전과 조타에 의한 유체력, 자연환경에 의한 외력 등으로 구성된다. 그러나 식 (1)에서는 X, Y, Z 가 선체운동의 변수 u, v, r , 프로펠라의 회전수 n 및 타각 δ 의 함수로서 표시되는 것으로 간주하였다. 제한구역 또는 외력하에서의 조종운동

* 경희원, 한국해양대학

은 자인환경조건에 따라서 극진히 외력항을 추가함으로써 해석이 가능하다. 그리고 식 (1)의 첫째, 둘째식의 좌변 둘째항은 원심력성분에 해당된다.

그리고 임의의 시작에서의 유체력은 식 (1)의 우변에 나타낸 마와 같이 그 순간에서의 선체운동변수, 프로펠라회전수 및 타각의 함수로 간주하여, 유체력을 이들 변수 $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, u, v, r, n, \delta$ 에 관하여 단순히 Taylor 전개한 수학모델이 사용되어 왔다. 이러한 수학모델을 Abkowitz[7]는 다음과 같이 표현하였다. 예를 들면 조종운동중에 프로펠라회전수 n 은 일정하게 유지된다 고 가정하면 횡방향의 힘 Y 는

$$Y(\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, u, v, r, n = n_0, \delta) = Y_u \dot{u} + Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_{uu}u + Y_{vv}v + Y_{rr}r + Y_{\delta\delta} + Y_{uv}uv + Y_{vr}vr + Y_{ur}ur + Y_{\delta\delta\delta} \delta^3 \quad (2)$$

여기서 가속도, 각가속도에 의한 유체력은 다른 운동변수와의 상호간섭작용이 없는 것으로 간주하였다. 그리고 보통의 船型에서 미계수 Y_u, Y_v 는 아주 미소한 값이므로 0으로 취급할 수 있다. 비선형유체력은 3차항까지만 고려하였으며, 선체가 카우대칭이라는 사실로부터 2차항은 무시된다.

식 (2)에서는 선체, 프로펠라, 타의 각각에 기인하는 유체력을 한꺼번에 운동변수 u, v, r, δ 등을 사용하여 수식적으로 Taylor전개하였기 때문에 선체, 프로펠라, 타의 단독에 기인하는 각각의 유체력의 기여도가 분명치 아니하다. 예를 들어 미계수 Y_u 에 대해서 생각해 보면, 선체의 형상변화에 대해서도 그 값이 당연히 변화하겠지만 타면적, 다형상, 프로펠라의 작동상태에 따라서도 값이 변화한다. 따라서 선체단계에서 선체형상의 일부분 변경함으로써 조종성이 어떻게 달라질 것인가를 추정하기에는 불편한 점이 있다.

이러한 문제점을 개량한 것이 일본조선학회의 「조종운동 수학모델검토그룹(약칭 MMG)」이 제안한 수학모델이다. 이 그룹은 1976년에 발족이 되었으며 연구결과를 일본조선학회지 [8]~[12]에 공표하였다. MMG형의 수학모델의 기본적 방향은 다음과 같다.

(1) 선체, 프로펠라, 타의 각각의 유체력에 대한 단독성능을 기준으로 한다.

(2) 선체, 프로펠라, 타의 유체역학적 상호간섭의 영향을 전항(1)에 추가하여 선체, 프로펠라, 타의 복합체에 작용하는 전유체력을 나타내도록 한다.

이 수학모델의 장점으로서 선체, 프로펠라, 타의 개개의 요소에 대한 선체반경에 따르는 조종성변화를 보다 합리적으로 추정할 수가 있을 뿐만 아니라, 선체, 프로펠라, 타의 개개의 요소에 작용하는 유체력의 이

론추정법이 개발되던 그 부분에 대해서는 최근의 연구결과를 그대로 적용가능하다는 점을 들 수 있다. 또한 操船시뮬레이터(ship handling simulator)를 이용하여 복잡한 환경조건하에서의 조종성능을 검토하거나, 승부원을 훈련시키는 경우에도 물리적으로 합리적인 여러가지 조건선택이 보다 용이하다는 장점도 있다.

최근 MMG형의 수학모델은 전세계적으로 높게 평가되고 있으며, 조종성에측을 위한 합리적인 수학모델로서 정립되고 있다. 한편 MMG형의 수학모델은 모듈형조종모델(Modular manoeuvring model)[13] 또는 differential approach에 의한 조종모델[14] 등의 이름으로도 불리워지고 있다.

MMG형조종수학모델을 이용하여 실제로 조종성능을 예측하기 위해서는 선체, 프로펠라, 타의 개개의 요소에 작용하는 유체력특성과 이들 요소 상호간의 유체역학적 간섭영향을 정확하게 파악하지 않으면 안된다. 타에 작용하는 유체력추정법에 관해서는, 타를 양력면(lifting surface)으로서 취급하는 유체역학적 이론계산법이 일찍부터 발달되었으며 계산결과가 실험치와도 잘 일치한다는 것이 확인되었다[15]~[17]. 그러나 당면문제로서

- (1) 선체단독의 유체력추정법
- (2) 선체, 프로펠라, 타의 상호간섭에 기인하는 유체력추정법

의 확립이 비흡한 상태이다. 그리고 (2)항의 상호간섭 영향을 좀더 구체적으로 연구하면 다음과 같다.

(2-1) 프로펠라의 작동 및 조타에 기인하는 선체유체력의 변화

(2-2) 선체와 프로펠라 후방에 위치한 타에 작용하는 유체력에 미치는 조종운동의 영향

이들에 대한 이론계산법은 앞으로의 연구에 기대해야 할 과제라 할 수 있다. 현단계로서는 대부분 구축모형실험에 의존하고 있는 실정이다.

한편, 구축모형실험결과를 가지고 MMG형조종수학모델을 전자계산기를 이용하여 시뮬레이션함으로써 실선의 조종성능을 예측할 수가 있으나, 이때 반드시 고려해야 할 사항으로서 실선·모형상관의 문제, 즉 척도영향(scale effect)을 들 수 있다. 선체에 작용하는 유체력중 線形微係數에 대해서는 척도영향이 거의 무시될 수 있다는 것이 확인되었으나[18], 非線形微係數에 대한 척도영향은 아직까지 거의 조사되어 있지 아니하다. 그리고 프로펠라 및 타에 작용하는 유체력에 미치는 조종운동의 영향에 대한 척도영향은 선체반류에 대한 척도영향을 꼭 짚고 고려함으로써 실선의 성능

을 대략 추정가능하다는 보고가 있다[19].

조종성능을 파악하는 다른 연구방법으로서 응답모델을 이용하는 것이 있다. 이것은 모형실험뿐만 아니라 실선실험에서도 그대로 적용될 수 있으며 조종성능을 간단하게 표현할 수 있다는 장점이 있다.

그다지 큰 변칙을 생각치 아니하는 미소조종운동의 경우, 조타에 대한 선수 작변화를 간단한 미분방정식으로 표현하는 수학모델이 Nomoto[20]에 의해 다음과 같이 제안되었다.

$$T\dot{r} + r = K\delta \quad (3)$$

여기서 상수 T 와 K 는 각각 운동응답의 신속성(이것을 침로안정성이라 함)과 단위각에 대한 정상선회각속도의 크기(이것을 선회성이라 함)를 나타내고 있다.

식 (3)의 T, K 를 결정하기 위해서는 Kempf가 제안한 Z 시험을 이용하는 것이 보통이다. 그러나 시험의 종류, 해석방법 등에 따라서 T, K 의 값에 약간의 차이가 있으므로 Z 시험의 표준해석법[21]이 제안되었다.

한편, 식 (3) 대신에 보다 광범위하게 적용될 수 있는 응답모델로서 Nomoto[22]는 다음 식을 제안하였다.

$$T_1 T_2 \ddot{r} + (T_1 + T_2)\dot{r} + r + \nu r^3 = K\delta + k T_3 \dot{\delta} \quad (4)$$

식 (3)의 T, K 및 식 (4)의 T_1, T_2, T_3, K, ν 는 선체, 프로펠라, 타의 복합체에 작용하는 유체력특성으로부터 결정되는 상수이다. 다시 말하면 T_1, T_2, T_3, K 는 식 (1), (2)의 유체력미계수들로서 구성되며, 그 구성은 여기까지 복합적 요소를 포함하고 있다. 예를 들면 타의 형상을 변경한 경우에 이들 T_3, K 가 어떻게 변화할 것인가를 추정하는 것은 간단한 문제가 아니다.

이상 조종성능추정을 위한 수학모델에 대해서 간단히 고찰하였다. 실제의 단계에서 船型の 일부를 변경시켰을 때 조종성능이 어떻게 변화할 것인가 등을 보다 상세하게 검토하기 위해서는 식 (3), (4)와 같은 응답모델보다는 유체력의 구성이 보다 합리적이고 명확하게 표현된 유체력모델, 그중에서도 전세계적으로 높게 평가되고 있는 MMG형 수학모델을 이용하는 것이 좋을 것이다.

3. 연구의 현황

최근까지 조종성분야에서 연구되어온 내용을 각 테마별로 현황을 간단히 소개하면 다음과 같다.

(1) **실선·모형선상관(척도 영향)**에 관하여 정성적으로는 1축 1타를 장착한 보통형태의 선미형상을 갖는 선박의 경우, 대타각조타시의 선회반경은 실선과 모형선에서 거의 일치하고 있으나, 소타각조타시의 미소운동에서는 실선이 모형선보다 침로안정성이 나쁘고 조

타에 대한 응답이 느리다는 결론이 내려져 있다. 그러나 정성적뿐만 아니라 정량적으로도 상관관계를 정도 높게 규명할 필요성이 대두되었으며, 제16회 ITTC(국제시험수조협의회) 조종성분과위원회에서는 뱅커선형인 Esso Osaka호를 공시선형으로 채택하여 국제공동 연구를 수행하자는 결의를 하였다. 그후 각국에서 여러 종류의 모형실험이 실시되고 이에 관한 연구가 진행중에 있다. 앞으로의 실선·모형선상관에 관한 연구는, 제2장에서 언급한 유체력모델(MMG모델)에 의한 분석적 연구와 응답모델(Nomoto모델)을 이용한 운동검증이 동시에 이루어져야 할 것이며, 장기간에 걸쳐서 많은 자료가 축적되어야 할 것이다.

(2) **조종성에 관한 이상현상**은 선미가 비대한 선박이 보통과는 달리 예외적으로 침로안정성이 좋은 현상을 말한다. 이러한 현상을 최초로 지적한 사람은 Nomoto[23]이며, 그후 Matora, Fujino는 이상현상의 여러 형태를 추론하였다[24]. 최근의 실험적 연구에 의하면 이상현상은 船尾流場의 3차원계층의 박리문제와 관련이 있다는 것이 확인되었다[25]. 앞으로 이상현상과 선미형상과의 관련 또는 이상현상의 척도영향 등을 연구할 경우 추진성능과의 관련문제도 함께 다루어야 할 것이다.

(3) **긴급정지 및 가감속운동**에 관해서는 오래전부터 연구되어 왔으며, 최단정지거리 및 이에 요하는 시간의 추정을 전후동요운동방정식

$$(m + m_x)\dot{V} = T(1-t) - R \quad (5)$$

에 의해서 논하였다. 여기서 m, m_x 는 각각 선체질량 및 선수미방향의 부가질량이다. V 는 선박의 전진속도, T 는 프로펠라의 추력, t 는 추력감소계수, R 는 선체저항이다.

1970년경부터 식 (5)의 각항에 대해서 상세하게 실험적으로 조사되기 시작하였는데, 선박의 가감속운동을 준정적(quasi-static)으로 취급할 수 있다는 것 그리고 선체, 프로펠라, 타의 각각에 작용하는 유체력과 이들 상호간에 작용하는 간섭유체력을 길보기전진계수 J_s ($J_s = V/nD$ 단, V : 선속, n : 프로펠라회전수, D : 프로펠라직경)에 의해서 정리할 수 있다는 것을 규명하였다. 이를 기초로 하여 현재로서는 유체력모델과 응답모델을 병용하여 가감속운동을 보다 정확하게 추정할 수 있는 단계에 와 있다. 그러나 선박운항자가 가장 요망하고 있는 사항으로서, 임의의 속력으로 전진항행중 프로펠라를 임의의 회전수로 역전시켰을 경우에 선체가 어느쪽으로 회동할 것인가에 대한 명확한 해답이 나와 있지 아니하다.

(4) 제한수역에서의 조종성이란 천수역, 협수역 또는 운하내에서의 선체운동을 말하는데, 이때 가장 문제가 되는 것은 부가질량의 증가, 선체침하와 트림의 변화 그리고 선체에 작용하는 유체력(횡방향유체력 및 선수동요모우먼트)의 변화 등이다.

선박의 제한수역에서의 운동에 관한 문제는, 일반적으로 실험이 대단히 어려운 반면 유체역학적 이론계산법에 관한 연구가 활발하게 수행되었다[26]~[30].

제한수역에서의 조종성에 관한 연구의 결과를 종합하면 다음과 같다. 부가질량은 수심이 얕아질수록 그리고 측벽에 가까울수록 증가한다. 선체침하는 수로폭의 영향을 크게 받지만 트림은 거의 영향을 받지 않는다. 수심이 아주 얕은 곳에서는 선회성은 나빠지지만 침로안정성은 좋아진다. 조종성의 견져에서는 수로폭을 증가시키는 것이 수심을 깊게 하는 것보다 일반적으로 유리하다.

앞에서도 언급한 바와 같이 제한수역에서의 실험은 모형실험만 아니라 실선에서는 더욱 곤란하므로 지금까지 실시된 예가 거의 없다. 앞으로 이 분야의 연구에서도 유체력모델에 의한 제한수로의 영향을 검토하고, 이것을 이용한 시뮬레이션에 의해 실제의 문제를 분석하는 것이 바람직할 것이다.

(5) 외력하에서의 조종성에 관해서는, 선박이 받는 자연외력의 영향을 정확하게 파악할 수 있다고 하면 앞에서 언급한 유체력모델에 외력항을 추가하여 검토함으로써 운동응답의 추정이 가능하다. 따라서 일정한 풍압력하에서의 操船限界, 선회제적 등에 관한 연구도 별 어려움없이 수행될 수 있다[31][32]. 앞으로는 불균일한 풍압력하에서의 조종성능에 관한 연구가 요망되고 있다.

조류가 조종성에 미치는 영향으로서 문제가 되는 것은 불균일류이다. 불균일류중에서의 조종성문제는 전복사고와도 관련이 있으며 안전항행의 측면에서 중요하다 할 수 있다[33]~[35].

파관외력하에서의 조종성을 다루는 경우에는 크게 두가지 문제가 대두된다. 첫째는 조종성에 미치는 파랑의 변동외력에 대한 연구로서, 선체와 파도의 만남 주파수가 조타에 대한 선체응답주파수에 비해 아주 높다는 가정하에 정상류표류력만을 파랑외력으로 간주하여 평수중에서의 유체력모델에 이것을 추가하여 해석하는 것이다. 이 표류력은 해양구조물 또는 작업선의 계류 및 위치유지를 위해서는 아주 중요한 문제이며, 이론계산법 및 수조실험결과가 많이 발표되어 있다[36][37]. 둘째는 추파중에서의 비주기적 운동에 대한 언

구로서, broaching에 관한 원인규명 및 사고방지대책의 수립 등에 관한 것이다. 지금까지의 연구결과에 의하면 broaching의 발생원인은 추파에 의한 파랑강제력이 舵力으로서는 억제불가능한 정도의 큰 선수동요모우먼트를 발생시키고, 동시에 추파의 내리막파면에서 선체가 推力를 받아 surfriding상태가 일정시간 계속됨으로써 일어나는 것으로 판명되었다[38].

한편, 최근에는 파랑중에서의 미소조종운동에 대한 연구의 일환으로서 주기운동시의 좌우동요, 선수동요, 횡동요의 연성운동방정식도 제안되었다[39][40].

이상 열거한 연구분야 이외에도 자동조타(auto-pilot)의 평가 및 최적조정법에 관한 연구[41], 피예선의 조종성문제[42], bow thruster의 효과[43] 그리고 선박설계시에 조종성능의 계획 및 응용[44] 등에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

특히 최근 선박설계시에 고려해야 할 사항으로서 풍압측면적이 큰 선박(자동차전용선, 액화가스운반선, 비대선의 공선상태)에 대한 조종성의 검토, 저속시에 있어서 바람, 조류 등의 외력과 제한수로에서의 조종성의 검토가 점점 중요시되고 있다. 그리고 생 에너지(energy saving)형의 대적경저회전프로펠라 장착 선박의 긴급정지성능의 문제도 중요시되고 있다.

4. 금후의 과제

제 3장에서 언급한 조종성분야의 연구내용을 기초로 하여 앞으로 규명해야 할 연구과제를 몇가지 제안하면 다음과 같다.

(1) 항만내에서의 조종운동을 보다 정확하게 추정하기 위해서는, 조타에 수반되는 미정상운동중의 프로펠라추력, 다적압력 등을 보다 정확하게 표현할 수 있는 수학적모델이 확립되어야 할 것이다.

(2) 출입항시의 선체운동에서는 보통의 항행상태와 비교하여 횡방향속도성분(v)과 선수동요각속도성분(r)이 진전속도(u)와 같은 크기 또는 그보다 큰 경우도 있다. 이러한 상황에서는 선체에 작용하는 유체력이 선체자체의 운동에 의해 생긴 불균일흐름의 영향을 받게 된다. 이것을 적절히 표현할 수 있는 수학적모델이 확립되어야 할 것이다.

(3) 심수역에서 항행하는 선박의 조종운동 수학적모델의 모든 계수가 지금까지는 대부분 구속모형실험에 의해서 구해졌지만, 이들 계수에 관한 이론계산법이 시급히 확립되어야 할 것이다.

(4) 유체력의 이론계산법이 아직 확립되어 있지 아

니한 현단계로서는 조종운동 수학모델의 모든 계수가 구속모형실험에 의해서 구해져야 한다. 따라서 실선의 조종성능을 추정하는 경우 실선·모형선의 상관문제, 즉 척도영향의 문제가 다르게 된다. 특히 천수역에서 저속으로 항행하는 경우에는 양력성분보다 cross-flow 이 보다 큰 역할을 하며, 선저하부의 흐름이 구속된다. 이러한 상황에서의 척도영향에 관해서는 거의 밝혀지지 아니하였으므로 앞으로의 연구에 기대하여야 할 것이다.

(5) 조정운동중 특히 선회개적응 예측하는 경우에는 선박의 횡운동 및 선회운동 못지않게 진후운동의 수학 모델이 대단히 중요하다. 왜냐하면 선회개적응 속도의 적분치에 의해서 결정되므로 약간의 속도오차라도 운동계적으로는 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 프로펠라추력 및 선체저항에 대해서 선회운동중 또는 미정 상운동(과도운동) 중에 있어서의 추정精度를 높이는 일이 앞으로 검토되어야 할 것이다.

(6) 마지막으로, 최근에 발달된 현대제어이론을 응용한 시스템검증법(system identification technique)을 조종운동의 예측결과에 적용시켜 유체력모델의 각계수를 결정하는 방법에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

5. 결 언

본고에서는 조종성분야의 연구현황에 대해서 단편적으로 개략적인 소개를 하였으며, 선체에 작용하는 유체력 및 선체, 프로펠라, 타의 상호간섭에 관한 구체적인 내용 또는 조종성추정법 등에 관해서는 언급하지 아니하였다. 지금까지는 선박설계단계에서 조종성에 대해서는 상세한 검토가 이루어지지 아니하였으나, 앞으로의 국제적 추세는 해양환경의 보존, 인명과 재산의 안전 및 경제적 운항의 관점에서 충분한 조종성능의 확보가 절실히 요망되고 있다.

따라서 설계단계에서 충분한 조종성능의 검토, 안전성확보 등이 필수적으로 수반되어야 하며, 선박운항자에게는 본선의 조종성능에 관한 정확한 정보를 제공하기 위해서 선박이 건조된 후에는 manoeuvring booklet 의 작성도 의무화되어질 움직임에 있다.

이러한 문제는 특히 선박설계자에게는 중요한 과제이며, 적어도 선박의 성능부족에 기인하는 해난사고를 방지해야 한다는 것은 설계자에게 부과된 임무라 생각하여야 할 것이다.

끝으로, 본고를 작성함에 있어서 참고문헌[45]으로

부터 많은 부분을 인용하였음을 부기한다.

참 고 문 헌

- [1] Miller, E., Ankudinov, V. and Ternes, T., "Evaluation of Concepts for Improved Controllability of Tank Vessels", *Marine Technology*, Vol. 18, No. 4, 1981.
- [2] IMO Sub-committee on Ship Design and Equipment, "Draft Guidelines for Estimating Manoeuvring Performance in Ship Design", IMO Document DE 27/WP. 4, Annex 1, 1984.
- [3] IMO, "Interim Guidelines for Estimating Manoeuvring Performance in Ship Design", IMO MSC/Circ. 389, 1985.
- [4] IMO Sub-committee on Ship Design and Equipment, Manoeuvring of Ships—Review of Resolution A. 209(VII), IMO Document DE 29/WP. 4, 1986.
- [5] 日本造船研究協會第7基準部會, "船舶の操縦性に關する研究", No. 141R, 1985.
- [6] Cojeen, H.P. et al.: "One Approach to the Development and Achievement of Manoeuvring Standards", *Proceedings of International Conference on Ship Manoeuvrability Prediction and Achievement*, Vol. 1, 1987.
- [7] Abkowitz, M.A., "Lectures on Ship Hydrodynamics—Steering and Maneuverability", Hydrogog Aerodynamisk Laboratorium Report No. Hy-5, 1964.
- [8] 小川陽弘, "MMG報告—I, 操縦運動の數學モデルについて", 日本造船學會誌, 第575號, 1977.
- [9] 浜本剛實, "MMG報告—II, 操縦性數學モデルの理論的背景", 日本造船學會誌, 第578號, 1977.
- [10] 葛西宏直, "MMG報告—III, 舵に作用する力と船體・プロペラとの干渉", 日本造船學會誌, 第578號, 1977.
- [11] 小瀬邦治, "MMG報告—IV, 拘束操縦性試験の方法及び試験裝置", 日本造船學會誌, 第579號, 1977.
- [12] 小川陽弘, "MMG報告—V, 操縦運動數學モデルの實驗的檢定と改良", 日本造船學會誌, 第616號, 1980.
- [13] Dand, I.W., "On Modular Manoeuvring Models", *Proc. Inter. Conf. on Ship Manoeuvra-*

- bility Prediction and Achievement, Vol. 1, 1987.
- [14] Asinovsky, V. et al., "Ship Manoeuvrability Analysis Using the Differential Approach", *Proc. Inter. Conf. on Ship Manoeuvrability Prediction and Achievement*, Vol. 1, 1987.
- [15] 赤崎繁, "舵の直圧力とその中心について(第1報~第4報)", 日本造船學會論文集, 第63, 67, 68, 69號, 1938~1941.
- [16] 岡本正次郎, "舵性能に及ぼす推進器後流の影響について(その3~その4)", 日本造船學會論文集, 第104號, 105號, 1659.
- [17] 藤井齊, "自航模型船による舵特性の研究(1), (2)", 日本造船學會論文集, 第107號, 110號, 1960, 1961.
- [18] 17th ITTC, "Report of the Manoeuvrability Committee", *Proc. 17th ITTC*, Vol. 1, 1983.
- [19] 藤野正隆, "實船・模型船の相關に關する經過", 日本造船學會誌, 第668號, 1985.
- [20] 野本謙作, "船の操縦性について(1)", 日本造船學會論文集, 第99號, 1956.
- [21] 試験水槽委員會操縦性分科會, "實船操縦性試験法の標準", 日本造船學會誌, 第442號, 1966.
- [22] Nomoto, K., "Approximate Non-linear Analysis of Steering Motion", *Proc. 12th ITTC*, 1969.
- [23] Nomoto, K., "Unusual Scale Effect on Manoeuvrability of Ship with Blunt Bodies", *Proc. 11th ITTC*, 1966.
- [24] 元良誠三, 藤野正隆, "針路不安定船の特質", 日本造船學會, 第2回操縦性シンポジウム, 1970.
- [25] 小瀬邦治, "操縦性における異常現象について", 日本造船學會論文集, 第146號, 1979.
- [26] Inlgis, R.B., "Comparison of Restricted Open Water Ship Manoeuvring Acceleration Derivatives Evaluated by Finite Element and Boundary Integral Methods", *ISP*, Vol. 28, No. 320, 1981.
- [27] Tuck, E.O., "Shallow Wave Problems in Ship Hydrodynamics", 8th Symp. Naval Hydrodynamics, 1970.
- [28] Dand, J.W., "The Squat of Full Ships in Shallow Water", *Trans. RINA*, Vol. 115, 1973.
- [29] 貴島勝郎, "淺水域においてYawingしつつ前進する矩形板に働・力の計算", 日本西部造船會會報, 第43號, 1972.
- [30] Beck, R.F., "Forces and Moments on a Ship Moving in Shallow Channel", *Jour. Ship Research*, Vol. 21, No. 2, 1977.
- [31] Martin, L.L., "Ship Maneuvering and Control in Wind", *Trans. SNAME*, Vol. 88, 1980.
- [32] 石橋賢諭, "風壓下における船の操縦性に關する研究", 日本鋼管技報, No. 79, 1978.
- [33] 小川陽弘, "外力を受ける船の操縦運動の計算法に關する研究", 日本東京大學博士學位論文, 1973.
- [34] 손경호, 윤수원, "불균일류중에서의 선막, 조종운동의 계산", 대한조선학회지, 제22호, 제2호, 1985.
- [35] 柏木 正, "不均一流中での船舶操縦運動の計算法と鳴門海峡における適用例", 日本航海學會論文集, 第75號, 1986.
- [36] Ogawa, A., "The Drifting Force and Moment on a Ship in Oblique Regular Waves", *ISP*, Vol. 14, 1967.
- [37] Remery, G. et al., "The Mean Wave, Wind and Current Forces on Offshore Structures and Their Role in the Design of Mooring Systems", *OTC Paper*, No. 1741, 1973.
- [38] Motora, S. et al., "On the Mechanism of Broaching-to Phenomena", *Proc. 2nd Inter. Conf. on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, 1982.
- [39] 藤野正隆, "斜波中航走時のSway-Roll-Yaw連成運動方程式に關する一考察", 日本試験水槽委員會第2部會公表資料, No. 1981-III-06, 1981.
- [40] 손경호, "반대칭계운동을 기술하는 조종성운동방정식과 내항성운동방정식의 관계에 관한 고찰", 제10회선박유체역학연구회발표자료, 1983.
- [41] Hasegawa, K., "On a Performance Criterion of Auto-pilot Navigation", *Jour. of the Kansai Society of Naval Architects*, Japan, No. 178, 1980.
- [42] Bernitsas, M. et al., "Simulation and Stability of Ship Towing," *ISP*, Vol. 32, No. 369, 1985.
- [43] Kijima, K., "The Effect of Drift Angle on Side Thruster Performance", *Trans. West-Japan Soc. Nav. Archit.*, No. 54, 1977.
- [44] Barr, R.A., "An Increased Role of Controllability in Ship Design", *Marine Technology*, Vol. 24, No. 4, 1987.
- [45] 藤野正隆, "操縦性推定法概説", 日本造船學會運動性能研究委員會, 第4回 Symposium text(操縦性能の豫測と評價)第1章, 1987.