

선박 접이안 조종 시뮬레이터를 이용한 조종위험도 평가 기법에 관한 연구

양승열*, 손경호**, 이희용***, 하문근****, 김현수****, 이진호****, 임남균****

*한국해양대학교 대학원 **한국해양대학교 해양시스템공학부 교수 ***씨나비정보기술(주), ****삼성중공업(주)

A Study on Estimation Technique of Manoeuvring Difficulty Using the Ship Manoeuvre Simulator for Berthing/Deberthing

Seung-Yeul Yang*, Kyoung-Ho Sohn*, Hee-Yong Lee**

Mun-Keun Ha***, Hyun-Soo Kim***, Jin-Ho Lee***, Nam-Kyun Im***

*Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Dept. of Ocean System Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

*** C-Navi Information Technology Co., Ltd, Pusan 606-791, Korea

**** Samsung Heavy Industries Co., Ltd, Geoje 656-710, Korea

요 약 : 선박이라는 거대한 물체를 항만 또는 조선소내의 안벽에 접안하거나 이로부터 이안시키는 작업은 도선사나 도크 마스터의 고유한 업무로서 상당한 집중력과 고난도의 위험성을 내포하고 있다. 이와 같은 접이안 작업 시에는 터그에 사용량이 많아지고, 본선이 저속으로 움직이므로 외력의 영향을 크게 받는다. 본 연구에서는 외력의 영향 특히 강풍 하에서 주로 터그를 이용하여 접이안 조종 작업을 수행할 수 있는 2차원 가상시스템을 구축하였다. 또한 조종위험도를 평가할 수 있는 객관적인 기준을 제안하고 이를 위해 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 이 가상시스템을 이용하여 접이안 조종 작업을 수행한 결과 운항자가 주관적으로 체감한 위험의 정도를 수치화하여 표현한 주관적 평가와 조종운동과 관련된 주요 파라미터에 관련된 객관적인 지수와의 상관관계를 분석하여 조종위험도의 평가 기법에 대해 논의한다.

핵심용어 : 접이안, 가상시스템, 조종 시뮬레이션, 터그, 강풍, 조종위험도

ABSTRACT : It includes the considerable concentration and dangerousness as the peculiar work of a pilot and dock-master to berthing/deberthing the big object as for the ship within the port or the ship yard. A tug utilization is getting increased in this berthing/deberthing work and the own ship is affected a lot by external force due to moving with low advance speed. In this study, we constructed the 2 dimension virtual system, which can conduct the berthing/deberthing manoeuvring work by using mainly tugs in a external force, particularly strong wind. Also, propose objective standard that could estimate the degree of manoeuvring difficulty, and conducted simulation experiment for this. we analyzed correlations between the subjective estimation which is described numerically the decreased dangerousness and the objective index which is related to the main parameter regarding manoeuvring by using this simulator from the result of conducting simulation experiment. And then we discussed the estimation technique of manoeuvring difficulty.

KEY WORDS : berthing/deberthing, virtual system, manoeuvring simulator, tug, strong wind, maneuvering difficulty

1. 서 론

항만 또는 조선소내의 안벽 인근 해역에서 선박 조종 접이

안을 위해서는 터그의 사용이 필수적이다. 이와 같이 터그를 사용하여 다양한 환경 조건 하에서 접이안 작업의 가능성 및 위험의 정도를 판단할 수 있다면 실제 작업에서 많은 도움을 받을 수 있을 것이다. 그러나 실선을 이용하여 조종위험도를

* 주저자 : seungyeul@bada.hhu.ac.kr 019-513-5965

판단한다는 것은 거의 불가능하므로 가상의 공간에서 접이안 조종을 재현해볼 수 있는 시뮬레이션 시스템이 필요하게 되었다. 국외에는 가상의 공간에서 접이안 조종 작업이 가능한 선박조종시뮬레이터를 개발하여 구축된 사례가 많이 있다(BMT, 2003). 그러나 국외의 기술로써 개발된 선박조종시뮬레이터를 도입하여 사용하는 것은 고가이거나 유지보수의 어려움, 기술 이전에 어려운 점 등 많은 문제가 있다. 국내에도 관련 기반 기술을 보유하고 있기 때문에 이러한 기술을 바탕으로 목적에 부합되는 접이안 조종 시뮬레이터를 개발한다면 많은 점에서 상당히 유리할 것이다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 일반적인 조종 시뮬레이션은 물론 강풍과 같은 악조건의 환경에서 접이안 조종 시뮬레이션이 가능하고 운항 정보를 분석할 수 있는 가상 시스템을 개발하고 이 시스템을 활용하여 조종위험도 평가 기법에 대하여 논하고자 한다.

2. 수학적 모델

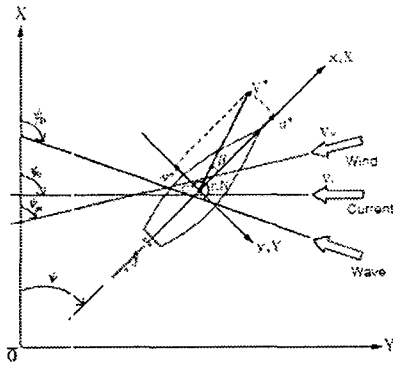


Fig. 1 Coordinate system

일반적으로 선박의 조종운동방정식은 전후동요(surge), 좌우동요(sway), 선수동요(yaw)의 복합운동(coupled motion)으로 표현할 수 있다. Fig. 1과 같이 선체중양(midship)에 좌표 원점을 둔 물체고정좌표계(body-fixed coordinates)를 $o-xyz$ 라 할 때 선박의 조종운동은 다음과 같이 표시된다. 단, Fig. 1에서 $\bar{O}-XY$ 는 공간에 고정되어 있는 정지좌표계(space-fixed coordinates)이다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) &= X \\ m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y \\ I_{zz} \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 m 은 선체의 질량이고, I_{zz} 는 z 축 주위의 관성모멘트이다. u, v, r 은 각각 선체중양에서의 x 축 방향 속도 성분, y 축 방향 속도 성분, z 축 주위의 각속도 성분이다. $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ 는 각각 u, v, r 의 시간에 대한 1차도함수이고, x_G 는 무게중심의 x 좌표이다. X, Y, N 은 각각 x, y 축

방향 힘과, z 축 주위의 모멘트이다.

식(1)에서 부가질량력(Newman, 1978)을 좌변에 고려하고, 우변에는 부가질량력을 제외한 유체력과 외력으로서 모듈형 수학모델(Ogawa, 1977)을 적용하면 조종운동 수학모델은 다음과 같이 표시된다. 단, 관례에 따라 Munk 모멘트 등 일부 부가질량력은 우변의 유체력항에 포함시킨다.

$$\begin{aligned} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr - (mx_G + m_y a)r^2 \\ = X_H + X_P + X_R + X_T + X_W + X_D \\ (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur + (mx_G + m_y a)\dot{r} \\ = Y_H + Y_P + Y_R + Y_T + Y_W + Y_D \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} + (mx_G + m_y a)\dot{v} + mx_G ur \\ = N_H + N_P + N_R + N_T + N_W + N_D \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 첨자 H, P, R, T, W, D 는 각각 주선체(H), 프로펠러(P), 타(R)에 기인하는 유체력과 터그(T), 바람(W), 파도(D)에 기인하는 외력을 나타낸다. 그리고 m_x, m_y 는 x, y 축 방향의 부가질량, J_{zz} 는 z 축 주위의 부가관성모멘트, a 는 m_y 중심의 x 좌표를 나타낸다.

한편, 조류에 기인하는 유체력은 별도의 외력항으로 고려할 필요없이 식(2)의 유체력 계산에서 운동변수로서 상대유속 즉, 대수속도를 사용함으로써 조류의 영향이 포함될 수 있도록 한다. 조류의 유속 V_c 와 유향각 ψ_c 를 Fig. 1과 같이 정의할 때 대수속도와 대지속도의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u &= u^* + V_c \cos(\psi_c - \psi) \\ v &= v^* + V_c \sin(\psi_c - \psi) \\ \dot{u} &= \dot{u}^* + V_c r \sin(\psi_c - \psi) \\ \dot{v} &= \dot{v}^* - V_c r \cos(\psi_c - \psi) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $u^*, v^*, \dot{u}^*, \dot{v}^*$ 는 대지속도와 가속도를, u, v, \dot{u}, \dot{v} 는 대수속도와 가속도를 나타낸다(이하 마찬가지로). 식(3)을 식(2)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (m + m_x)\dot{u}^* \\ = (m + m_y)vr + (mx_G + m_y a)r^2 \\ - (m + m_x)V_c r \sin(\psi_c - \psi) \\ + X_H + X_P + X_R + X_T + X_W + X_D \\ (m + m_y)\dot{v}^* + (mx_G + m_y a)\dot{r} \\ = - (m + m_x)ur \\ + (m + m_y)V_c r \cos(\psi_c - \psi) \\ + Y_H + Y_P + Y_R + Y_T + Y_W + Y_D \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} + (mx_G + m_y a)\dot{v}^* \\ = - mx_G ur \\ + (mx_G + m_y a)V_c r \cos(\psi_c - \psi) \\ + N_H + N_P + N_R + N_T + N_W + N_D \end{aligned} \quad (4)$$

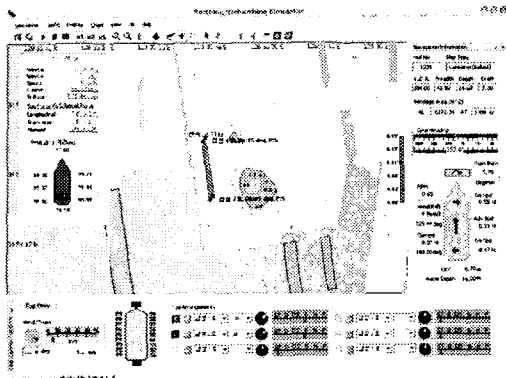


Fig. 5 Berthing/deberthing simulator

시뮬레이션 작업 후에는 선박의 궤적을 표시할 수 있도록 하였다. Fig. 6은 궤적을 60초 간격으로 표시한 시뮬레이션 수행 결과의 예이다.

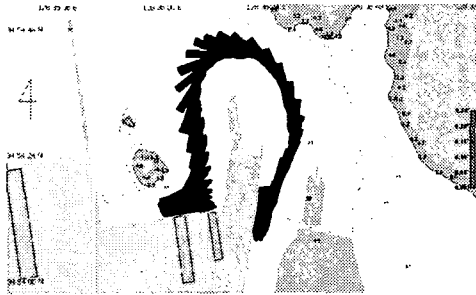


Fig. 6 Sample of trajectory

Fig. 7은 Fig. 6의 궤적을 그리기 위한 시계열 수치자료를 보여주고 있다. 시계열 수치자료는 1초 간격으로 표시하였으며 본선의 위치, 속도 등의 자료와 각 터그의 힘 등이 출력된다. 이 시계열 자료를 이용하여 각종 데이터를 분석할 수 있다.

Time	X	Y	U	V	W	Roll	Pitch	Yaw	Tug1	Tug2	Tug3	Tug4	Tug5	Tug6
(sec)	(m)	(m)	(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(deg)	(deg)	(deg)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1.0	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.0	0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.0	0.04	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0	0.05	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.0	0.06	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.0	0.07	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.0	0.08	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.0	0.09	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.0	0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.0	0.11	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.0	0.12	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13.0	0.13	-0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14.0	0.14	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15.0	0.15	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.0	0.16	-0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.0	0.17	-0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.0	0.18	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.0	0.19	-0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.0	0.20	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.0	0.21	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fig. 7 Sample of time history of ship motion parameters

4. 조종위험도 평가 기법

선박이라는 거대한 물체를 안벽에 접안 또는 안벽으로부터 이안시키는 작업은 도선사나 도크마스터의 고유 업무로서 상당한 집중력과 고난도의 위험성을 내포하고 있다.

일반적으로 선박의 접이안 조종의 위험도를 평가하는 방법에는 2가지가 있다. 하나는 주관적 평가법으로서, 접이안 조종 작업을 수행한 결과 운항자가 주관적으로 체감한 위험의 정도를 수치화하여 표현하는 방법이다. 다른 하나는 객관적 평가법으로서, 접이안 조종 작업을 수행한 결과 선박의 주기관, 타, 터그의 사용빈도 또는 조종운동과 관련된 주요 파라미터들을 사용하여 어떤 객관적 지수 또는 기준을 마련하고 그 기준값을 계산하여 조종의 난이도 또는 위험도를 평가하는 방법이다. 이 방법은 실선보다는 선박조종시뮬레이터 실험에서 사용하기 용이하다. 왜냐하면 시뮬레이터 실험에서는 선박의 주기관, 타, 터그의 사용 내역 또는 조종운동의 주요 파라미터값들을 실시간으로 저장할 수 있고, 시뮬레이션이 완료된 이후에 언제든지 그 값들을 계산에 활용할 수 있기 때문이다. 객관적 평가법은 시뮬레이터를 이용하여 조종 작업을 수행한 운항 당사자 뿐만 아니라 제3자가 인정할 수 있기 때문에, 주관적 평가법보다 신뢰성이 높다고 할 수 있다. 그러나 조종위험도를 객관적으로 평가할 수 있는 평가 기준을 마련하는 것은 그다지 용이하지가 않다.

본 연구에서는 주로 조선소 인근 해역에서 항행하는 경우와 조선소 안벽에의 접이안 조종 작업에서의 위험도를 평가할 수 있는 기준으로서 다음 4가지 평가 항목을 제안한다.

(i) 주로 항로 항행 시에 적용되는 기준으로서, 항행중에 사용된 타각의 제곱평균근(RMS of δ) :

일반적으로 침로불안정한 선박은 항로 항행 시에 이미 발생된 회두각속도를 소멸시키는 데 어려움이 따르기 때문에, 침로유지를 위해 타(rudder)의 사용량이 많아진다. 따라서 항로 항행 시의 조종의 난이도 또는 위험도를 평가하는 기준으로서, 사용된 타각의 제곱평균근(RMS : Root Mean Square) σ 를 다음과 같이 계산한다.

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} \delta^2 dt \right\}^{1/2} \quad [\text{deg}] \quad (8)$$

여기서 T_s 는 시뮬레이션 총 소요시간을 의미한다. 식(8)에 의해 계산된 σ 값이 클수록 조종위험도가 높다.

(ii) 주로 접이안 조종 시에 적용되는 기준으로서, 접이안 중에 사용된 터그의 총사용량 (Tug index) :

일반적으로 접이안 시에 사용된 터그 척수, 터그 사용 시간, 터그의 엔진출력 등을 사용하여 다음과 같이 Tug index(I_{tug})를 계산한다.

$$I_{tug} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} P_n' dt \right\} \quad (9)$$

여기서 m 은 보유 터그의 총 척수 ($m = 6$), N 은 실제 사

용된 터그 척수 ($N \leq m$), n 은 실제 사용된 터그의 일련번호 ($n = 1, 2, \dots, N$)이다. 그리고 P'_n 는 $P'_n = P_n / P_{max}$ 식으로 표현되어지며, P_n 은 n 번째 터그의 실제 사용된 tug force, P_{max} 는 보유하고 있는 터그 중에서 제일 큰 tug force (Bollard pull의 85%), T_s 는 터그를 처음 사용한 시각으로부터 터그 사용을 해제한 시각까지의 총 소요시간 이다.

사용된 터그 척수가 많을수록, 사용된 터그의 엔진출력이 클수록 식(9)에 의해 계산된 I_{tug1} 값이 커진다. I_{tug1} 값이 클수록 조종위험도가 높다 ($0 < I_{tug1} < 1$).

(iii) 주로 접이안 조종 시에 적용되는 기준으로서, 접이안중에 사용된 터그의 엔진사용시간비 (Ratio of used engine) :

일반적으로 접이안 작업중에, 터그를 사용하여 본선을 한 방향으로 당기거나 밀어서 본선이 움직인 이후에는 이 움직임을 소멸시키기 위해 반대 방향으로도 엔진을 사용한다. 따라서 엔진 사용 시간이 길수록 조종 위험도는 커진다고 간주할 수 있으며, 다음과 같이 엔진 사용시간비와 관련된 Tug index(I_{tug2})를 계산한다.

$$I_{tug2} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^N \left\{ 1 - \frac{T_o}{T_s} \right\}_n \quad (10)$$

여기서 T_o 는 T_s 중 엔진을 사용하지 아니한 시간의 총합을 나타내고 나머지 계수는 (ii)에서와 같다.

사용된 터그 척수가 많을수록 사용된 터그의 엔진 사용 시간이 길수록 식(10)에 의해 계산된 I_{tug2} 값이 커진다. I_{tug2} 값이 클수록 조종위험도가 높다. ($0 < I_{tug2} < 1$)

(iv) 일반적 기준으로서 풍하중과 tug force의 비

일반적으로 풍하중이 클수록 조종작업에 어려움이 따를 것으로 예상하여 다음과 같이 Wind index(I_{yw} , I_{nw})를 계산한다.

$$I_{yw} = \frac{\text{(풍압에 의한 횡방향힘의 최대값)}}{\text{(터그에 의한 최대출력)}} \quad (11)$$

$$I_{nw} = \frac{\text{(풍압에 의한 회두모멘트의 최대값)}}{\text{(터그에 의한 최대회두모멘트)}}$$

단, 터그에 의한 최대출력은 51 tonf(삼성6호 Bollard Pull의 85%)이다. 그리고 터그에 의한 최대회두모멘트는 (터그에 의한 최대출력) * 0.4 L_{BP} tonf-m라 간주한다. 식(11)에 의해 계산된 I_{yw} , I_{nw} 값이 클수록 조종위험도가 높다고 간주된다.

5. 조종위험도 평가 결과 및 고찰

본 연구에서 개발된 접이안 조종시뮬레이터를 이용하여 가상의 운항시나리오를 작성하여 접이안 조종시뮬레이션을 수행

하였다. 운항시나리오는 3가지로 작성하였으며, 시뮬레이션 수행 전에 이를 실험자에게 숙지시켰다. 시뮬레이션 실행 시에는 랜덤하게 시나리오와 풍속, 풍향을 설정하였다. 그리고 시뮬레이션 종료 후에 실험자가 느끼는 조종의 위험도 (subjective rating scale)를 수치 0 ~ 9의 단계로 나누어 직접 평가하도록 하였다. operator는 5명이 채용되었으며 operator A와 B는 실습선(한국해양대학교) 1등 항해사이고 operator C는 도크마스터(한진중공업(주))이며 operator D와 E 역시 도크마스터(삼성중공업(주))이다. 그런데 operator A, B는 접이안 조종에 관한 실선 경험이 부족했기 때문에 접이안 조종에 미숙하였다.

시뮬레이션 실험 결과로부터 주관적 평가치와 객관적 평가치 사이의 상관관계를 Fig. 8 ~ Fig. 10에 나타낸다. 그리고 본 실험에서는 타와 엔진텔레그래프를 사용하지 않았기 때문에 4절 (i)에서 언급한 평가방법은 논의 하지 않았다.

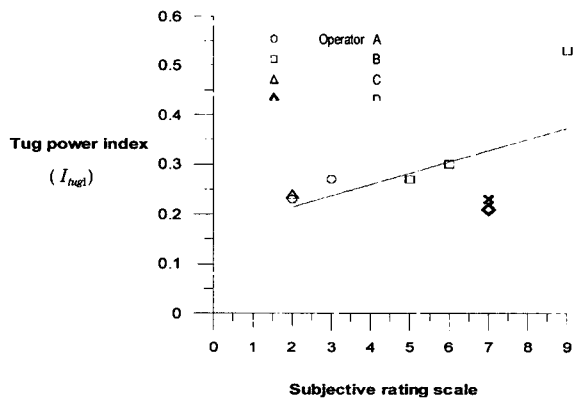


Fig. 8 Correlation between tug power index and subjective rating scale

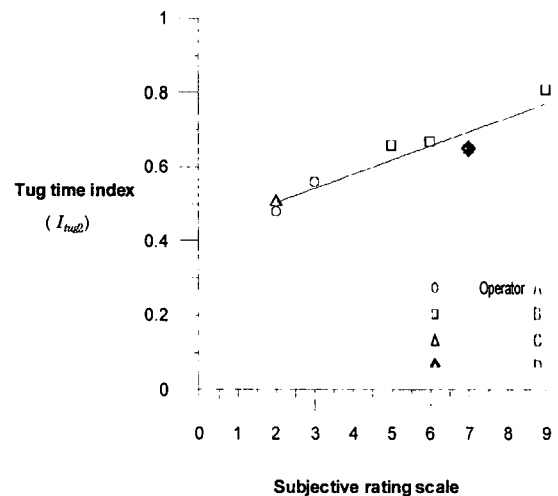


Fig. 9 Correlation between tug time index and subjective rating scale

Fig. 8은 4절 (ii)에서 언급한 접이안 조종작업 중에 사용된 터그의 사용량과 operator가 느끼는 주관적 평가와의 관계를 나타내는 그림이다. operator가 느끼는 주관적 평가와 터그의 사용량과는 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 조종위험도가 높을수록 터그의 사용량이 많다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig. 9는 4절 (iii)에서 언급한 접이안 조종작업 중에 사용된 터그의 엔진 사용 시간비와 주관적 평가와의 관계를 나타내며 여기서도 조종위험도가 높을수록 엔진 사용이 많다는 것을 알 수 있다.

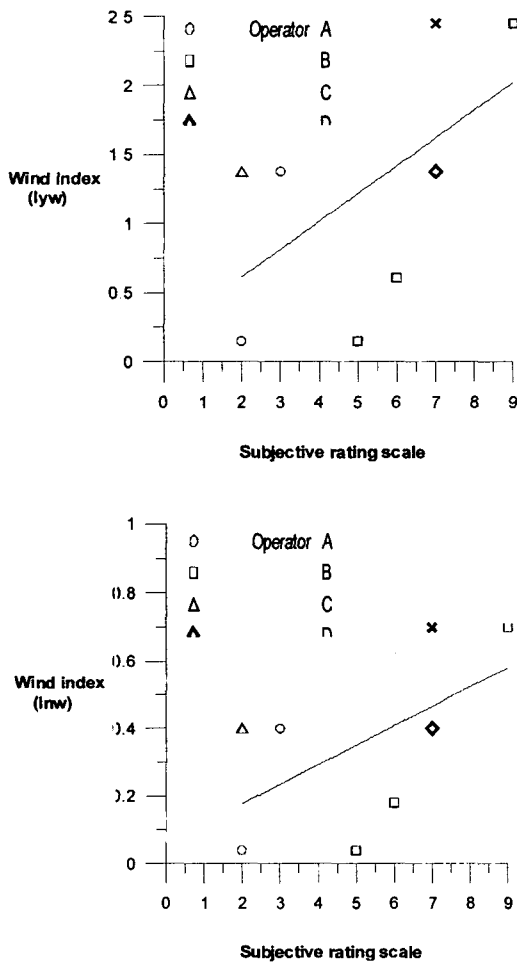


Fig. 10 Correlation between wind index(Iyw, Inw) and subjective rating scale

Fig. 10은 4절 (iv)의 wind index와 조종위험도와의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 대략적으로 조종위험도가 크면 wind index가 크다는 것을 알 수 있지만, 어떤 경우는 wind index가 큼에도 불구하고 operator가 느끼는 조종위험도는 낮다는 것을 알 수 있다. 이것은 풍향이 사용자가 원하는 방향으로 바람이 불어주어 조종하기가 더 용이했거나 시나리오가 쉽게 느껴져서 이런 판단을 하였기 때문이라고 생각되어진다. 본 연구에서 제안한 객관적 조종위험도와 주관적

조종위험도의 상관관계를 보다 명확하게 파악하기 위해서는 더 많은 경우의 시나리오를 설정하고 더 많은 시뮬레이션 실험을 수행하여 그 결과를 분석해야 한다고 생각된다.

이상의 고찰 결과 주관적 조종위험도를 가장 잘 반영하고 있는 객관적 기준 항목은 I_{tug1} 과 I_{tug2} 라고 할 수 있다. 그리고 객관적 조종위험도를 I_{tug1} 과 I_{tug2} 로 각각 표시하지 아니하고 단 하나의 기준 항목으로 표시하고자 하면 다음과 같이 weighting factor를 고려한 I_{tug} 과 I_{tug} 의 평균값을 구하면 될 것이다. 즉, I_{tug1} 과 I_{tug2} 의 영향을 동시에 반영하고 있는 새로운 기준항목을 I_{tug} 라 하면

$$I_{tug} = \frac{I_{tug2} + C \times I_{tug1}}{2} \quad (72)$$

여기서 계수 C 는 Fig. 14와 Fig. 15로부터 I_{tug1} 과 I_{tug2} 의 상관관계를 나타내는 선형계수로서 시뮬레이션 실험점들을 1차 근사 표시하는 식 $I_{tug2} = C \times I_{tug1}$ 으로부터 구한다. 계수 C 를 구한 결과를 Fig. 11에 보인다.

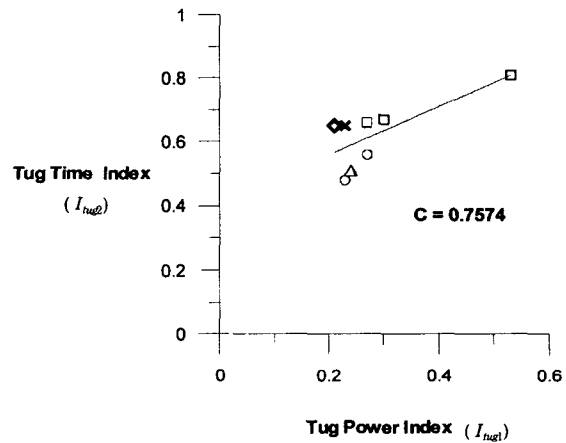


Fig. 11 Correlation between tug power index and tug time index

6. 결 론

본 연구에서는 조선공학 분야에서 확립된 조종운동 수학적 모델과 현재 활발히 개발하여 사용되어지고 있는 전자해도 기술을 접목하여 선박 접이안 조종 재현에 활용될 수 있는 가상시스템을 구축하였다. 또한, 이 시스템을 이용하여 다양한 외력의 조건하에서 선박의 접이안 조종 시뮬레이션을 수행하였으며 실험결과를 바탕으로 조종위험도 평가기법을 논의 하였다. 그 결과 터그에 의한 외력과 조종위험도와 깊은 상관관계가 있음을 알 수 있었으며 풍압에 의한 외력에 대해서는 상관관계를 말하기에는 다소 어려움이 있는 것 같이 보인다. 이는 앞절에 언급한 이유와 같으며 또한 많은 실험데이터가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

앞으로 이 시스템을 더욱 활용하여 조종위험도와의 상관관

계를 연구한다면 선박의 접이안 작업에 따른 조종위험도를 미리 판단하여 실제 운항에 대비할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 손경호, 이성욱, 배정철(1997):출입항 조종의 실시간 시뮬레이션 기법 및 부산항에의 적용에 관한 연구, 해양안전학회지, 제3권, 제2호, pp.33-49.
- [2] BMT(2003):PC-based Rembrandt Manoeuvring Simulator, British Maritime Technology SeaTeck Booklet.
- [3] Fujiwara, T.(1998):船体に働く風壓力の推定 日本造船學會論文集, 第183号.
- [4] Hirano, M., et al.(1980):Ship Turning Trajectory in Regular Waves, 西部造船會會報, 第60号.
- [5] Inoue, S., et al.(1981):Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvring, ISP, Vol. 28, No. 324.
- [6] Inoue, S., 1984, “淺水域における操縦微係数の非線形項の推定”, 長岐綜合科學大學工学研究所報, 第1号.
- [7] Isherwood, R. M.(1972):Wind Resistance of Merchant Ship, Trans. RINA, Vol. 114.
- [8] Kijima, K., et al.(1990):Prediction Method of Ship Manoeuvrability in Deep and Shallow Waters, MARSIM & ICSM '90, Tokyo.
- [9] Newman, J. N.(1978):Marine Hydrodynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 135-144.
- [10] Matora, S.(1959):On the Measurement of Added Mass and Added Moment of Inertia for Ship Motions(Part 1, Part 2, Part 3), 日本造船學會論文集 105, 106號.
- [11] Ogawa, A., et al.(1977):MMG報告(I) - 操縦運動の數學 Modelについて -, 日本造船學會誌, 第575号.
- [12] Sohn, Kyoungho(1992):Hydrodynamic Forces and Manoeuvring Characteristics of Ships at Low Advance Speed, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 29, No. 3, pp.90-101.
- [13] van Lammeren, W. P. A., et al.(1969):The Wageningen B-Screw Series”, T. SNAME, Vol. 77.