

조종부하와 조선곤란성의 관계에 관하여

성 유 창†

† 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

Relation with Operational Stress and Environmental Difficulty on Maneuvering of Ship

Yu-Chang Seong†

† Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요 약 : 수역에서 항행할 시, 선박운항자는 위험을 회피하기 위해 타와 주기관 사용 등 여러 가지 조종요소를 사용하게 된다. 그 때 어느 정도의 조작량을 사용하는가에 관해서는 선박운항자 개인의 특성에 따라 그 사용량 및 빈도는 달라지게 된다. 그러나 이러한 조종 요소의 빈번한 사용은 선박운항자에게 일정한 부하를 주게 될 것으로 생각된다. 본 연구에서는 이 부하를 조종부하로 정의하고, 교각이 설치된 직선 항로를 통항하는 시뮬레이터 실험을 통하여 조선 곤란성과의 관계를 접근하고자 하였다. 사용한 변수 항목으로는 우회와 감속과 이러한 조종 행동에 따른 항행시간 연장률 및 조선 곤란성(Environmental Stress) 수치를 이용하였다.

핵심용어 : 조종부하, 조선곤란성, 시뮬레이터 실험, 다중회귀분석, 항행 안전

Abstract : When maneuvering a ship in a narrow channel or under bridge, the ship operator may take actions of slowdown engine and altering course in order to avoid possible navigational dangers, which may reduce difficulties on navigation or collision avoidance against other ship and/or bridge. In this paper, taking notice of the stress caused by these actions of slowdown engine and altering course, survey is carried out for whether it is possible to quantify the stress by time delay as an index. Based on the ship handling simulator experiment, it is verified that difficulty of navigation changes is highly correlated with the time delay, which result from compensation actions of slowdown engine and altering course.

Key words : Operational Stress, Environmental Stress, Simulator Experiment, Multi Regression, Navigational Safety

1. 서 론

선박이 수역을 항행할 시 충돌의 위험을 회피하고 안전한 조선을 하기 위해서 선박운항자는 타와 엔진 그리고 스티어링의 사용, 예선의 지원 등을 적절히 사용한다. 그리고 선박운항자의 개인적인 특성에 따라 그 사용량과 빈도는 바뀌게 되며, 이 과정에서 이러한 조종행동은 선박운항자에게 어느 정도의 부하를 주는 것은 명확하다.

지금까지 조종 행동과 관련한 부담감에 대한 종래 연구는 선박운항자의 심박수와 맥박수를 분석하는 생체학적 측정법이 주로 수행되었고, 인간공학적인 측면에서는 인간-기계시스템간의 의사 전달 에러율에 기초한 방법 등이 연구되어 왔다. 이러한 연구는 개인차에 의해 같은 조건하에서도 다른 결과가 나올 가능성이 높다는 문제점을 가지고 있다. 한편 이노우에(2000, 井上)는 조종 부담감과 관련하여 선박의 예상항적 면적을 계산하고 이를 조종부담감과 연계시켜 정량적으로 표현하는 시도를 하였다.

본 연구에서는 조종 부담감을 조종부하로 정의하고, 우회나 감속 등의 조종 행동에 따른 항행 시간의 연장율이 수역 내 존재하는 조선의 곤란성을 감소시키는 대신 다른 형태의 부하 즉

조종부하로 변환된다고 가정한 후, 그 상관 관계에 대하여 알아보고자 한다.

2. 조종 부하

2.1 조종부하의 정의 및 변수 항목

먼저 선박운항자가 조선의 곤란성(교통환경, 조선환경)으로부터 발생하는 항행 위험을 미리 회피하기 위해서, 선박운항자가 취하는 조종으로부터 생기는 부하를 여기서는 조종부하로 정의한다.

다음으로 이 부하를 설명하기 위한 변수로써 먼저 본선을 제외한 다른 교통류가 없는 상황에서의 항행 시간을 기준 시간 S로 하고, 이에 대한 항행시간의 연장율을 T-S로 표기한다. 그리고 기준 항행 시간에서 주기관의 사용율(총기관마력의 약 74%에 해당) 대비하여 기관 사용율을 E/0.74-1.00로 나타내고, 타 사용율은 최대타각 좌우 35도를 기준으로 하여 D로 표기한다.

일반적으로 주기관을 감속하여 속도를 떨어뜨리면 항행 시간은 증가하고 지연이 생긴다.(delay) 반대로 증속하면 시간은 짧아져 속행하게 된다.(ahead) 그리고 같은 속도 아래에서는 타를

† 교신저자 : 성유창(정회원) smileseong@mmu.ac.kr 061)240-7180

사용하여 우회하면 소요 시간은 증가하게 될 것이다. 이와 같은 관계로부터 종속변수로 항행시간을 두고, 주기관과 타 사용율과 어떠한 관계를 보일 것인가를 선박조종 시뮬레이터를 이용하여 교량을 포함하는 직선항로에서의 항행 실험을 통해 분석한다.

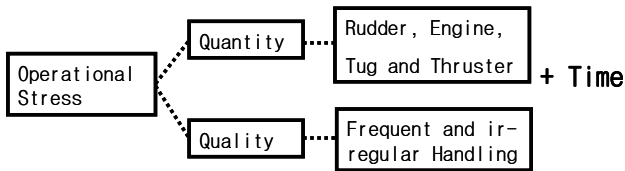


Fig. 1 Concept of operational stress

Fig.1은 조종부하를 구성하는 요소를 각각 양적인 면과 질적인 면으로 구분한 것이다. 조종부하는 타와 러더 그리고 스러스터 등 조종수단의 선택 문제와 이 때 그 사용량을 얼마나 사용할 것인가의 문제로 나누어 고려할 수 있다.

2.2 조선 곤란성의 표현

조선 곤란성을 표현하기 위해서 채택한 모델은 환경스트레스 모델이다. 이 모델은 자신의 원침로를 기준으로 왼쪽 90°로부터 오른쪽 90°까지 1°마다의 침로를 산정한다. 그리고 선박이 산정된 침로를 항행할 경우 타선 혹은 육지 등에 접근함으로써 느껴지는 조종 부담감을 주관적 평가치(SJ치)로 전환한다. 이 SJ치는 타선과 육지와와의 물리적 위치 관계에 대하여 매우 안전하다고 생각하는 0으로부터 매우 위험하다고 느껴지는 6의 수치까지 총 7단계의 주관적 수치를 적용하여 구한다. 구해진 수치는 원침로와 좌우 90°까지의 각각의 침로별 곤란성 수치를 합한 것이 환경스트레스 수치이다.

$$ES_{Aggregation} = \sum \max(SJ_{\Delta}, SJ_{Ship}) \quad (1)$$

물론 환경 스트레스 모델에서는 「안전하다」 혹은 「위험하다」라고 하는 주관적 평가가 이용되고 있지만, 그 선박에 실제로 닥치고 있는 위험성을 나타내고 있는 것은 아니다. 다르게 표현하면 환경 스트레스치는 선박이 그 침로로 계속해서 나아가면 나타나는 위험감을 합계한 수치이다. 따라서 환경 스트레스치가 높다고 하는 것은, 좌우로 침로를 변경해도 항행의 위험성이 높아질 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 이러한 항행의 제약이 크면 클수록 선박운항자에게 보다 많은 항행의 곤란함을 주는 것이라고 생각하고 환경 스트레스 모델을 이용하여 조종의 곤란성을 표현하였다.

2.3 조종부하와 조선곤란성의 관계

조종 행동은 타선과의 충돌 위험성(교통 환경으로부터의 위

험)을 미리 회피하기 위한 행동이다. 이것은 선박운항자가 속도 증감이나 우회 등 조종 행동으로부터 부과되는 부하를 받아들이며 조선 곤란성을 감소시켰다고 가정하고, 이 관계를 알아보기 위해 선박조종 시뮬레이션 실험을 실시한다.

3. 시뮬레이터 실험 조건과 분석 방법

3.1 실험 계획

시나리오 구역과 관련하여 자유항행수역을 먼저 대상으로 하였다. 이를 위해 항로 조건은 타 선박류의 방해받지 않는 한 침로가 유지될 수 있도록 약 7마일의 남북방향의 직선항로를 설정하였고, 항로의 종방향 끝단에는 가상으로 교량을 설치하여 교각이 조선자에게 영향을 미치는 부분도 같이 점검해 보고자 의도하였다.

실험 대상 선박으로는 조선 곤란성과 조종상의 부하를 얻기 쉬운 일정 이상의 속력과 규모를 가진 컨테이너 선박으로 설정하고, 시나리오상에서도 일반 항행 속도(약 17-20 kts)으로 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 1 Scenario of simulation

교각 간격	1,000m, 1,500m, 2,000m의 3종류
실험선박	컨테이너선박 84,900GT, L=318.0m, B=42.80m
피실험자	5년 이상의 선장경력 있는 항해 경험이 풍부한 선박운항자 9명
실험횟수	총 30 회

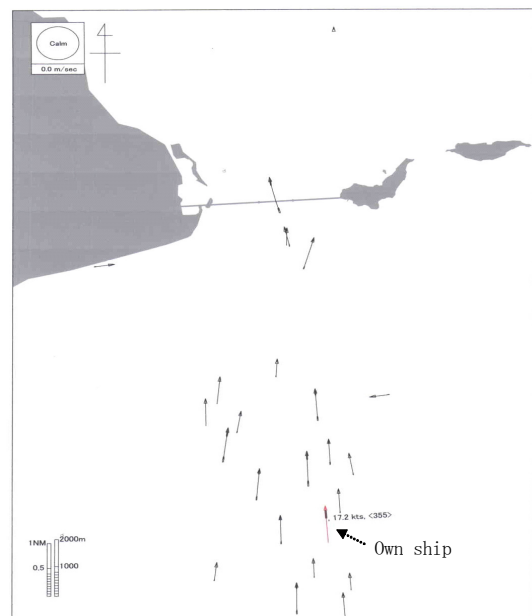


Fig. 2 Snapshot of a simulation in heavy traffic (Case of 1000m, span of bridge)

또한 타선의 교통류를 위 수역내에서 대상선박과 같이 항행

하도록 시나리오를 구성하여, 총 30회의 실험을 실시하였다. 실험에 참여한 선박운항자는 5년 이상의 선장경력이 있는 항해사와 도선사로 구성하였다.

Fig.2는 평가선박이 타 교통류와 함께 항행을 시작하는 한 모습이다.

3.2 회귀 분석

회귀 분석이라고 하는 것은, 두 개 이상의 연속형 변수들의 데이터로부터 변수들 간의 일정한 선형 관계를 알아 보는 방법이다. 한 개의 독립 변수와 종속 변수의 관계를 분석하는 단순 회귀 분석(Simple Regression Analysis)과 두 개 이상의 독립 변수와 종속 변수의 사이의 관계를 알아보는 다중 회귀 분석(Multiple Regression Analysis)이 있다.

일반적으로 회귀 모형은 독립변수(설명변수, X)와 종속변수(피설명변수, Y)로 구성된다. 유효한 모델을 구하기 위해서는 실제 관찰된 수치와 회귀식에 의해 추정된 수치, 즉 그 오차의 제곱의 합을 최소화하는 방법으로(최소 제곱법), 기울기 β 와 절편 α 을 구하는 것이 일반적이다.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

이 때,
$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \beta \sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad \beta = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

추정된 모형식은 다음과 같은 과정을 통해 그 유효성을 검증한다.

① 상관계수 - Correlation Coefficient

변수들간의 상관 관계의 정도를 나타내는 지표로서 r 로 표현하며, 이 값이 0일 경우는 무상관을, ± 1 일 경우는 완전 선형의 상관을 의미한다.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (3)$$

② 회귀 계수의 유의성 검증 (t - test)

추정 모형식의 모수의 유의성을 검증하는 것으로, 일반적으로의 절대치가 유의 수준 5% 이상이면 채택한다.

$$t = \frac{\hat{\beta} - \beta_{10}}{s} \sqrt{SS_x} \quad (d.f = n - 2) \quad (4)$$

$\hat{\beta}$: 추정회귀계수, β_{10} : 가설에 의해 설정된 $\hat{\beta}$ 치

$s = \frac{\sqrt{SSE}}{n-2}$: 회귀식을 중심으로 한 Y 치의 표준편차
($SSE = SS_y - \hat{\beta} SS_{xy}$)

③ 회귀식의 유의성 검증 (F - test)

추정식의 적합성과 관련하여, 전체 회귀식의 유의성을 검증한다. 총변동(SSR)을 회귀식과 오차에 의한 자승(SSE)으로 나누어 변수별 효과를 정리한 분산분석표(Analysis of Variance Table : ANOVA Table)에 따라 검증한다. 일반적으로 이 값이 3.88(유의 수준 5%)보다 크면 유의한 것으로 판정한다.

$$F = \frac{\frac{SSR}{d.f}}{\frac{SSE}{d.f}} = \frac{MSR}{MSE} : \frac{\text{회귀식으로 설명되는 변수}}{\text{회귀식으로 설명되지 않는 변수}} \quad (5)$$

4. 조종부하와 조선관란성의 관계 분석

4.1 항행시간의 연장률과 주기 · 타 사용률의 관계 분석

항행 시간의 연장(delay)과 단축(ahead)은, 감속(speed down)이나 증속(speed up) 등 주기관 사용 및 타에 의한 침로의 변경의 결과로서 발생된다고 가정하고, 교각까지의 도달시간, 타사용율 및 주기관 사용률의 데이터를 구하였다. 구한 데이터는 도

By Pilot

Span of Bridge	Time to Bridge T (sec.)	T - S	E	E/0.74-1	D
1000 m	1629	214	0.650	-0.118	0.045
	1450	35	0.744	0.009	0.039
	1615	200	0.645	-0.125	0.023
	1464	49	0.737	0.000	0.058
2000 m	1204	47	0.737	0.000	0.053
	1244	87	0.748	0.015	0.039
	1252	95	0.704	-0.045	0.043
3000 m	1194	37	0.737	0.000	0.045
	1500	85	0.703	-0.046	0.060
	1242	-173	0.923	0.252	0.044
	1617	202	0.644	-0.126	0.014
No Bridge	1455	40	0.737	0.000	0.058
	1430	15	0.741	0.005	0.062
	1378	-37	0.820	0.113	0.036
	1475	60	0.737	0.000	0.073

By Deck Officer

Span of Bridge	Time to Bridge T (sec.)	T - S	E	E/0.74-1	D
1000 m	1439	24	0.764	0.037	0.062
	1799	384	0.657	-0.109	0.069
	1392	-23	0.786	0.066	0.017
	1221	-194	0.834	0.132	0.038
	1469	54	0.761	0.033	0.060
2000 m	1192	35	0.761	0.033	0.012
	1195	38	0.761	0.033	0.000
	1564	407	0.652	-0.115	0.091
	1235	78	0.736	-0.001	0.072
3000 m	1202	45	0.700	-0.050	0.059
	1642	227	0.700	-0.050	0.045
	1315	-100	0.796	0.080	0.056
	1501	86	0.743	0.008	0.012
	1144	-271	0.855	0.160	0.033
	1480	65	0.730	-0.009	0.020

Table. 2 Experimental datap

선사와 선장 경험을 가진 항해사별로 구분하여 Table.2에 나타내었다. 다음으로 항행시간 연장률을 종속 변수로 하고, 독립변수로서는 (E/0.74-1.00, 주기 사용량의 기준치), (D, 타사용률)를 이용하여 항행시간과 주기 및 타 사용률의 관계를 Fig.3과 같이 나타내었다.

Fig.3내에 있는 추정식에서 볼 수 있듯이 결정계수는 0.913으로 명확한 상관 관계를 나타내고 있다. 그리고, 회귀식의 전체적인 유의성과 모수도 유의수준 5%내에서 안정되어 있음을 알 수 있다. 가로축은 주기관 사용량의 기준치, 세로축은 항행시간 연장률로 정한 뒤, 타 사용률 변화에 따른 중회귀의 관계를 알 수 있고 이를 Fig.4로 정리하였다.

이로부터 주기관을 감속하여 속도를 떨어뜨리는 행위는 항행시간을 증가시키고, 시간 연장(delay)을 발생시킨다. 그리고 같은 주기관의 사용하에서 우회하는 경우에는 항행시간이 증가된다고 하는 관계를 Fig.4와 같이 정리할 수 있다.

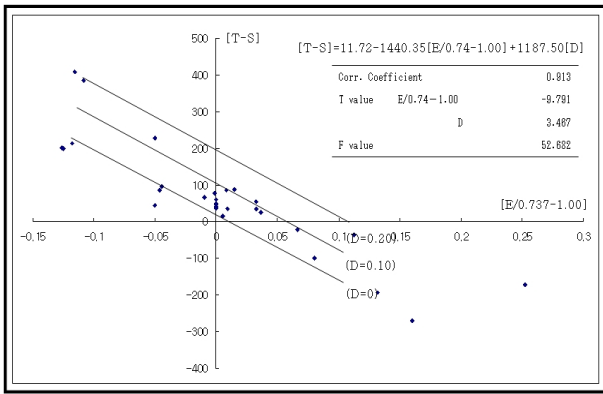


Fig. 3 Relations of engine, rudder and time

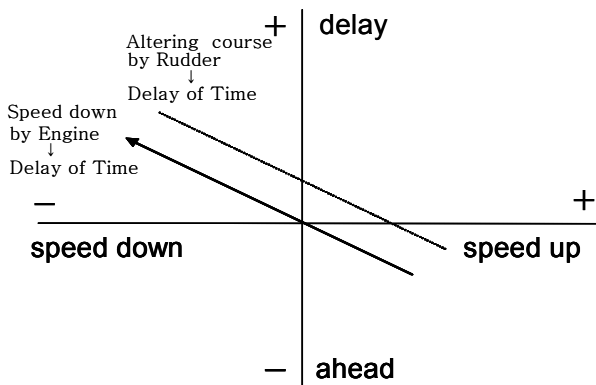


Fig. 4 Concept of multi regression (Engine, Rudder, Time)

4.2 조종 부하와 조종곤란성의 관계

한 지점으로부터 교각을 통과할 때까지의 조선 과정 중, 조선자가 취하는 증감 또는 우회의 조종 행동은 교각 부근에서 발생하는 타선 혹은 교각과의 충돌위험성(교통 환경 스트레스)을 미리 피하기 위한 행동이라고 보여진다.

이것은 선박운항자가 주기나 타를 사용하여 증감이나 우회

등의 조종 행동으로부터 부과되는 조종부하(조종곤란성)를 흡수하고, 대신 환경스트레스 즉 타선과의 충돌 위험성 및 교각 존재에 의한 행동 제약에 수반하는 조선 곤란성을 경감시키기 위한 행동을 하였다고 이해할 수 있다. 따라서 항행 시간의 연장을 지표로 하는 조종 부하와 환경 스트레스에는 마이너스의 상관 관계를 예상할 수 있다.

Fig.5는 실제 항행 시간의 연장 관계와 환경 스트레스 500이상의 출현율과의 관계를 분석한 것이다.

추정된 회귀식에서 변수간의 상관도 및 전체적인 유의성 및 모수의 적합성은 안정되어 있는 것으로 분석되었다.

이로부터 실험 시나리오상에서 항행 시간의 연장률을 지표로 하는 조종부하와 환경 스트레스 수치의 사이에는 마이너스의 상관 관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 우회나 감속의 조종 행동에 의한 항행 시간의 연장률이 조선의 곤란성을 낮추는 대신 다른 형태의 조종 부하로 변환되는 것으로 설명될 수 있다.

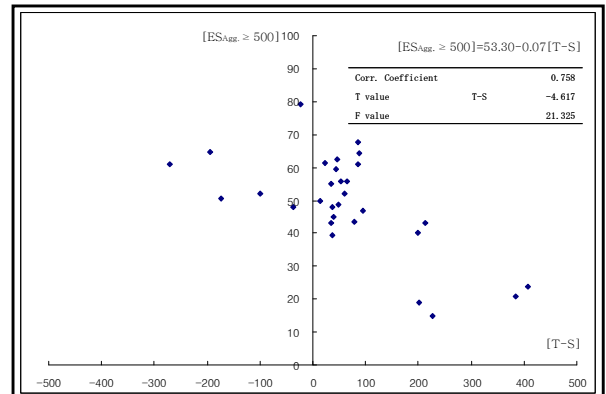


Fig. 5 Relation between time and environmental stress (ESAggregation ≥ 500)

5. 결론

본 연구에서는 조종 부하의 정의를 조선의 목적을 달성하기 위하여 사용하는 조종량의 크기 및 그 사용 빈도가 선박운항자에게 주는 부하로 정의하였다. 다음으로 우회나 감속의 조종 행동에 의한 항행 시간의 연장율이 조선 곤란성을 낮추는 대신 다른 형태의 조종 부하로 변환된다고 가정하였다. 이 부하를 측정하기 위해서 시뮬레이터 실험을 통해서 교량까지의 항행시간과 조종 요소와의 관계를 분석하였다.

분석한 결과 조종부하에 관한 유의미한 회귀 모델을 구하였고, 그 상관 관계를 정량적으로 표현할 수 있었다. 그러나 조종 부하에 대한 초기 실험인 관계로 자유항행수역을 대상으로 하여 임의의 선박만을 대상으로 하였다는 점 그리고 해상교량의 존재가 선박운항자와 조선에 미치는 영향에 대해서 유의미한 결과를 얻지 못 하였다는 점이 앞으로의 연구 과제로 남았다.

따라서, 조종부하와 조종곤란성의 관계에 관하여 보다 다양한 시뮬레이터 실험을 통하여 많은 데이터의 축적과 정리가 필요할 것이다. 이와 같은 과정을 통하여 조종상의 부하에 대한

정량화된 표현이 가능할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 공인영(2003), “해상교통 안전성 평가를 위한 환경스트레스 모델의 특성 고찰(1)”, 한국항해항만학회지, 27권 5호, pp. 479-486.
- [2] 김해경, 최승희(2003), “통계적 자료분석의 이론과 실제”, 경문사
- [3] 박영수(2007), “통항분리제도의 설계지침에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 31권 3호, pp. 173-178.
- [4] 손남선, 공인영, 김선영, 이창민(2004), “시뮬레이터 기반 환경스트레스를 이용한 선박 충돌위험도 추정에 관한 연구”, 한국항해항만학회 추계학술대회논문집 28권 2호, pp. 73-80.
- [5] 윤명오, 김현중, 금중수, 성유창(2003), “선박의 교량하 통항 안정성에 관한 연구”, 해양환경안전학회지 9권 2호, pp. 31-37.
- [6] Hara, K. (1993), “A Safe Way of Collision Avoidance Maneuver based on Maneuvering Standard using Fuzzy Reasoning Model”, MARSIM 1993.
- [7] Imazu, H. (1984), “The Determination of Collision Avoidance Action”, Journal of Japan Institute of Navigation.
- [8] PIANC(1997), PTC II: “Approach Channels - A Guide for Design, Report of Working Group II-30”, Supplement to Bulletin No.95.
- [9] STCW (International Convention on Standards of Training, Verification and Watchkeeping for Seafarers).
- [10] 井上欣三·増田憲司·世良亘·臼井英夫(2000), “海上交通安全評価のための技術的なガイドライン政策に関する研究-IV.ニアミス危険の定量化と総合化への指針”, 日本航海學會論文集 102号, pp.203-209.

원고접수일 : 2009년 4월 15일

심사완료일 : 2009년 11월 4일

원고채택일 : 2009년 11월 5일