

기관사의 해기능력 평가용 PID 제어 튜닝 시뮬레이터의 구성 최 순 만†

(원고접수일 : 2009년 9월 30일, 원고수정일 : 2009년 11월 9일, 심사완료일 : 2009년 11월 16일)

Configuration of PID tuning simulator for evaluation of marine engineer's ability

Soon-Man Choi†

요 약 : 훈련 및 시험 목적의 시뮬레이터 평가 시스템이 다양하게 적용되고 있는 상황에서 본 논문은 개인용 컴퓨터를 이용한 평가용 득점 시스템의 한 방식을 제시한다. 여기서는 기기들에 대한 피평가자의 운전 능력과 관련 지식을 100점 만점의 상대 평가 방식으로 점수를 출력하게 되고 이를 위해 PID 튜닝 시스템의 시뮬레이션 환경을 구축한 후 평가 알고리즘을 결합하였다. 먼저 시뮬레이션 프로그램을 모의 운전하는 과정에서 피평가자가 만들어내는 오류들의 적분값을 구한 후 다음 단계로 100점 만점의 점수로 변환하였으며 피평가자 그룹의 수준은 몇 가지 방식으로 적절하게 보상될 수 있도록 하였다. 설정된 한 시나리오에서 운전한 데이터를 분석한 결과 구축된 시스템이 나타내는 평가의 적절성과 유효성이 확인될 수 있었다.

주제어 : 평가, 오류적분, PID제어, PID 튜닝, 득점알고리즘

Abstract: Various evaluation systems using simulators have been adopted widely for the purpose of training and examination, including marine engineering education area. This paper suggests a PC based evaluation scoring system for simulators where the operation ability of machineries and background knowledges of trainees or examinees are able to be assessed relatively. The scores are based on the 100 point resulted from their responses for a given evaluation scenario under a PID tuning simulation. The mistakes they make during the operation time are integrated firstly to get error sum, and the error sum is transformed secondly to 100 point score according to a formula where the knowledge level of examinee's groups can be compensated and considered reasonably. The implementation result of evaluation system for the given control loop is described and analyzed to show the effectiveness of the suggested configuration as an evaluation tool.

Key words: Evaluation, Error sum, PID control, PID tuning, Scoring algorithm

1. 서 론

기관사의 해기능력에는 현장에서의 운전 경험과 그 배경이 되는 이론 지식이 함께 요구되는 경우가 많다. 특히 시뮬레이터를 이용한 해기능력 평가는

STCW 78 개정 협약에서 시뮬레이터 성능과 운용 기준이 마련되어 있는 것을 비롯하여 교육과 평가 및 훈련에 폭넓게 이용되는 추세이다[1]. 이와 관련하여 외국의 경우는 선박 관련 시뮬레이션 시스

† 교신저자(한국해양수산연수원, E-mail:mindmind@chol.com Tel: 051)620-5850)

템에 대한 연구가 많이 이루어져서 다양한 시뮬레이터가 개발 및 상용화되고 있으나 상대적으로 국내는 관련 연구 기반이 취약하여 시뮬레이터 사용의 활성화가 제약되고 있는 실정이다[2-5]. 근래 해기사의 급수별 능력을 평가하기 위한 해기사 면허시험에도 PC 방식이 도입되고 있는데 컴퓨터 화면으로 주어지는 문제들을 응시자들이 풀고 시험시간이 종료되면 곧바로 수험생 본인의 성적과 합격 여부를 알 수 있게 되었으나 시험 내용에 있어서는 필기시험과 별 차이가 없는 방식이다. 선박현장에서 필요한 업무처리 능력을 실질적으로 평가하는 데는 텍스트 방식이나 면접과 같은 간접 형태의 평가보다 실 시스템에 가까운 모의 운전 환경에서 운전 능력을 평가하는 것이 효과적이다. 또한 이러한 평가에는 그룹 방식 운용인 대형 시뮬레이터 대신 피평가자 각자가 개별적으로 운전할 수 있는 PC 기반의 시뮬레이션 환경이 되어야 객관성은 물론 소요되는 비용과 시간을 크게 줄일 수 있어 효율적인 평가시스템이 될 것이다. PC 기반의 시뮬레이션 평가방법은 주어진 운전 상황에 대한 피평가자의 종합적이고 입체적인 운전 능력을 점수화 할 수 있다는 점에서 기관사의 일반 직무교육에서도 운전 능력의 정도와 대상자에 따라 교육 내용 및 방식을 차별화하여 수준 별 맞춤 교육을 시행하는 데에도 도움이 된다.

이와 관련하여 본 논문에서는 일정 시뮬레이터 환경에 평가시스템을 결합한 후 이로부터 얻어지는 평가결과를 분석하기로 한다. 이를 위해 PID 제어 튜닝 시뮬레이터를 구성한 후 평가에 필요한 인터페이스 부분과 평가 시나리오 및 평가 알고리즘을 나타내었다. 모의 운전에서 피평가자가 생성한 오류적분(Error sum)값은 100점 만점의 평가점수로 변환하는 한편 오류적분값의 변화를 통해 피평가자의 응답 내용을 살펴보기로 한다.

2. 평가시스템의 구성

2.1 평가시나리오

Figure 1은 평가를 위한 시뮬레이션 절차를 나타낸 흐름선도이다. 시험과목 별로 분류된 여러 시나리오 중 어느 하나를 선택한 후 피평가자의 수준

에 맞는 평가 기준 파라미터와 평가항목 및 평가를 위한 계수를 설정한다. 또한 시뮬레이션 평가에 필요한 초기환경과 외란 조건을 정한 다음 시뮬레이션 운전이 들어간다. 운전중 피평가의 판단으로 달라지는 운전 파라미터는 운전에 영향을 미치게 되고 또한 필요한 경우 시뮬레이션 시스템으로부터 외란 및 고장상황이 피평가자에게 주어질 수 있다. 지정한 평가 변수가 상하 경계치를 초과하면 초과된 값의 절대치가 시간 적분되고 평가시간이 종료되면 100점 만점에 의한 평가 점수를 출력한다.

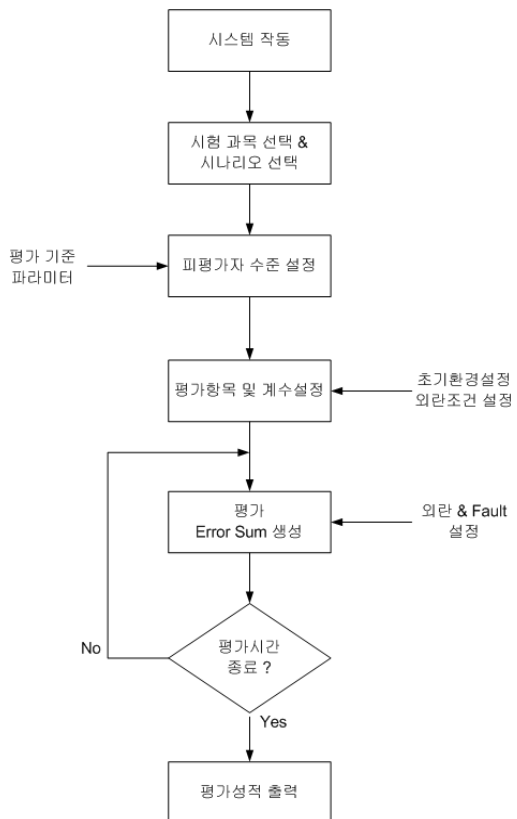


Figure 1: Flow chart of evaluation system

2.2 평가점수 알고리즘

피평가자의 시뮬레이션 운전 결과를 점수화 하는 데는 여러 방식이 있으나 기초 데이터로서 우선 오류적분(Error sum)을 구하는 것이 계산처리가 용이할 뿐 아니라 논리적으로도 간명하다. 이와 같은 부방향 개념으로서의 평가 결과는 다시 정방향 개

념의 평가 수치로 이후 변환하기로 한다. 먼저 피평가자가 만들어내는 운전 변수 $v(t)$ 에서 오류적분 계산의 대상이 되는 영역을 나타내면 Figure 2의 회색 부분과 같다. 여기에서 V_H 과 V_L 은 평가자가 설정하는 오류영역 판정을 위한 상하한 값이고 T_0 과 T_{100} 은 평가 시작점과 종료점을 나타낸다. T_0 는 평가 내용을 주지시키고 시뮬레이션 환경을 피평가자가 살피기 위한 시간으로 부여될 필요가 있다. 평가항목이 여러 개인 경우를 포함하면 오류적분값 E_{ID} 의 계산은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

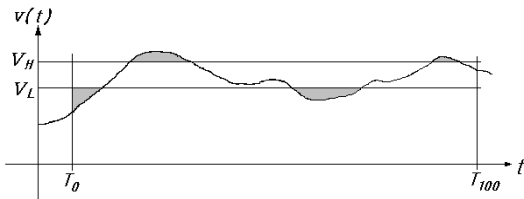


Figure 2: Calculation area of Error Sum

$$E_{ID} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{T/\tau} W_{jD} |e_{jk}| \cdot \tau \quad (1)$$

단, $V_{jL} \leq v_{jk} \leq V_{jH}$ 이면 $e_{jk} = 0$
 $v_{jk} < V_{jL}$ 이면 $e_{jk} = V_{jL} - v_{jk}$
 $v_{jk} > V_{jH}$ 이면 $e_{jk} = v_{jk} - V_{jH}$

e_{jk} : j 번째 평가항목의 k 번째 샘플링에서의 오류값

v_{jk} : j 번째 평가항목의 k 번째 샘플링에서의 운전값

V_{jH} : j 번째 평가항목에서 오류 영역을 위한 상위 설정값

V_{jL} : j 번째 평가항목에서 오류 영역을 위한 하위 설정값

τ : 샘플링 주기

T : $T_{100} - T_0$ (평가시간)

W_{jD} : j 번째 평가항목의 가중계수(단위 차원이 있는 경우)

N : 평가항목의 개수

E_{ID} : 오류적분값 (유차원)

평가항목이 복수 개인 경우 각각에서 발생하는 오류값의 단위가 달라서 이들을 시간적분한 것을 합산하게 되면 합산된 값의 물리적 의미가 모호해진다. 가중계수 W_{jD} 에 의해 단위별 차이를 보정해 줄 수 있으나 과정이 복잡하므로 무차원 변환이 필요하고 무차원 변환한 오류적분을 E_I 라 하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 W_j 는 무차원 변환시의 가중계수이고 V_{j0} 와 V_{j100} 는 j 번째 평가변수에 대한 측정범위의 최소 및 최대값이다.

$$E_I = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{T/\tau} W_j \left| \frac{e_{jk}}{V_{j100} - V_{j0}} \right| \cdot \tau \quad (2)$$

식 (2)의 오류적분값 E_I 를 100점 만점의 평가점수 P 로 환산하기 위한 변환함수로는 식 (3)을 적용하기로 한다.

$$P = \frac{E_{100}}{E_I} \cdot (100 - P_0) + P_0 \quad (3)$$

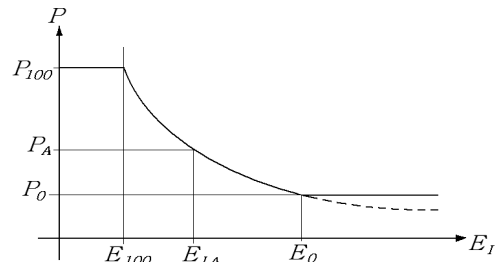


Figure 3: Explanation of formula (3)

Figure 3에서 식(3)의 관계를 나타내면 P_0 는 평가자가 부여하는 백점 만점에서의 최저값이며 '0' 혹은 피평가자 수준을 고려하기 위해 주게 되는 기본 점수에 해당한다. 따라서 E_I 가 E_0 를 넘어서는 큰 오류에 대해서는 P_0 의 동일 점수가 주어진다. P_{100} 는 수치 100을 나타내는 값이고 이때의 오류적분값은 전문가에 의해 생성되는 최소값 E_{100} 에 해당한다. Figure 3에서 어느 피평가자의 오류적분값이 E_{IA} 라면 P_A 의 점수가 된다. 동일한 시뮬레이션 시스템에서 피평가자 그룹의 수준별 점수를

맞추는 데에는 기본 점수 P_0 이외에 E_{100} 의 값에 차등을 주거나 혹은 오류 영역의 한계선인 V_H 와 V_L 의 설정 차이를 달리하는 방법들이 가능하다.

3. 평가용 PID 튜닝 시뮬레이션 구성

Figure 4는 튜닝 시뮬레이션 시스템의 블록선도이며 위아래 점선 가운데 부분은 단일루프 제어계의 운전 환경을 구성한 것이다. 여기서 제어대상은 윤활유 청정기의 증기 가열기를 예로 하여 시간지연을 갖는 1차지연 계통의 모델링으로 나타내었으며 K_h, L, T_h 는 각각 정상이득, 지연시간, 시정수이다. K_p, T_i, T_d 는 PID 제어기의 비례게인, 적분시간 및 미분시간이며 초기치 이후에는 피평가자에 의해 조정된다. K_v, T_v, T_s 는 각각 밸브의 정상이득, 시정수와 센서의 시정수이고 K_a 는 PID 제어기의 출력력을 0.2-1.0 Bar의 상용 공기압 범위로 변환하는 계수이다. 위측 점선의 MMI(Man Machine Interface) 선을 지나는 입출력 신호에는 피평가자가 조정하는 튜닝 파라미터의 값들과 또한 시스템이 피평가자에게 알려주는 운전상태의

값들이며 설정치(SP)와 측정치(PV 혹은 C')가 포함된다. 아래 점선 이하는 평가 알고리즘 부분으로서 여기에서 편차신호 $e(t)$ 를 평가변수로 취한다면 $e(t)$ 는 다음과 같다.

$$e(t) = L^{-1} \{ G_{RE}(s) R(s) \} + L^{-1} \{ G_{DE}(s) \} \tag{4}$$

단, $G_{RE}(s) = \{ 1 + F_L(s) \}^{-1}$,

$$G_{DE}(s) = \frac{K_h e^{-Ls}}{(1 + T_h s)(1 + T_s s) \{ 1 + F_L(s) \}}$$

이고

개루프전달함수 $F_L(s)$ 는

$$F_L(s) = \frac{K_p K_v K_h e^{-Ls} (1 + T_i s + T_i T_d s^2)}{T_i s (1 + T_v s) (1 + T_h s) (1 + T_s s)}$$

이다.

한편 지정한 편차변수에서 오류영역으로 판정되는 상하기준값 V_H, V_L 을 각각 $V_H = r(t) + E_S$ 및 $V_L = r(t) - E_S$ 로 한다면 오류적분값 $E_I(t)$ 는 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 단, $|e(t)| > E_S$ 인 경우를 오류적분의 대상으로 한다.

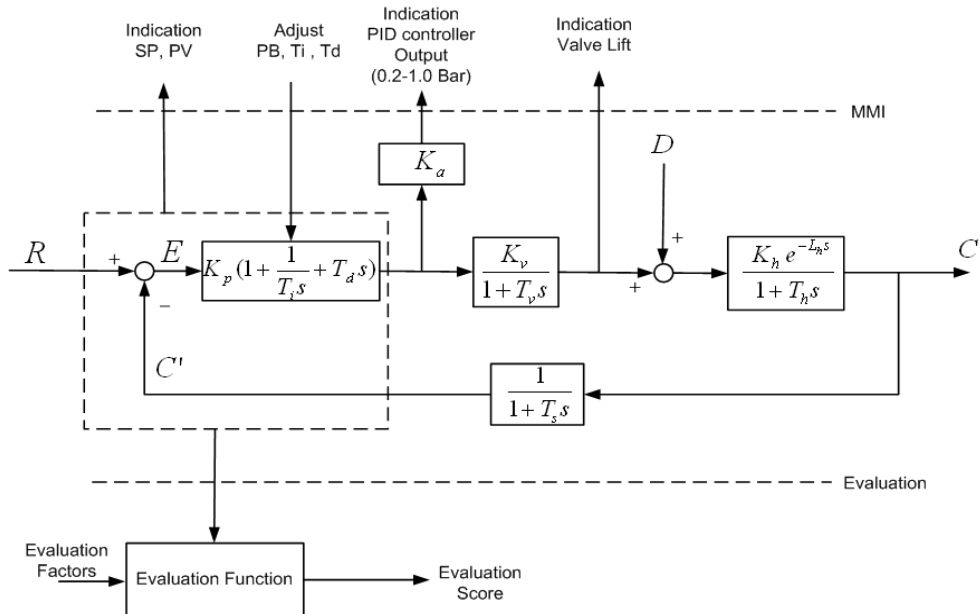


Figure 4: Modelling of Evaluation System

$$E_I(t) = \int_0^t [|e(t)| - E_S]_{|e(t)| > E_S} dt \quad (5)$$

여기에서 $E_I(t)$ 의 최대값은 $t = T$ 일 때인 $E_I(T)$ 이다.

4. 시뮬레이션 분석

평가를 위한 시나리오 구성을 간단히 하기 위해 시뮬레이션 동작중 외란이나 고장상황을 부여하지 않는 대신 정상적이지 않은 운전 상태가 시뮬레이션 환경의 초기설정에서 주어지도록 한 후 피평가자가 조정을 통해 이를 적정 운전상태로 만들어가는 과정을 평가하기로 한다. 구성된 제어루프에서 $T_v=0.5[s]$, $T_h=5.0[s]$, $L=1.0[s]$, $T_s=0.5[s]$, $K_v=K_h=K_s=1.0$ 로 주어졌으며 샘플링 주기는 $0.2[s]$ 이다. 설정치는 $70[^\circ C]$ 이고 측정범위의 V_0 와 V_{100} 는 각각 $0[^\circ C]$ 와 $100[^\circ C]$ 이며 Figure 5에서 위쪽 곡선은 센서에서 검출된 제어량을 나타내었다. Figure 5에서 과도기를 지나 30[s] 이후에는 일정한 맥동상태가 되고 있다. 설정치를 중심으로 위 아래 $15[^\circ C]$ 정도가 되는 일정한 진폭의 맥동 상태를 보이는데 이러한 안정한계 상태를 위해 PID제어의 K_p, T_i, T_d 계수는 각각 3, 7.4 및 0으로 초기화되었고 평가시간은 30[s]에서 300[s]까지로 정하였다. 상하한치는 $V_H=72[^\circ C]$ 및 $V_L=68[^\circ C]$ 이고 이 범위를 초과

한 부분에 대한 시간적분 $E_I(t)$ 가 아래 곡선에 나타난다. Figure 5는 피평가자가 응답을 하지 않고 계속 방치한 경우이며 $E_I(t)$ 는 단순 증가 모양이 되고 있고 이때의 최종값 $E_I(T)$ 는 22.5를 가리킨다. 피평가자가 무응답을 보인 구간은 이와 같이 오류적분 곡선에서 단순증가 양상을 나타낸다.

Figure 6은 평가자 혹은 전문가에 의해 조정된 오류적분 곡선의 결과를 보인 것으로 실수 구간이 나타나지 않으므로 $E_I(t)$ 는 대략 1차 지연 형태의 변화를 보인다. 최종값 $E_I(T)$ 는 7.1을 나타내며 최고 득점인 100점을 얻을 수 있는 오류적분값으로 사용된다. 이에 대해 Figure 7은 어느 피평가자의 응답 결과로서 $E_I(T)$ 는 20.3을 나타낸다. 맥동 상태를 줄이기 위한 개선 조정이 지연되고 있으며 특히 170[s] 근방에서는 $E_I(t)$ 의 미분치가 대략 양으로 나타나면서 맥동 진폭이 커지고 있다. 이것은 조정 방향을 잘못 판단하여 역감쇠를 초래하였기 때문이고 이 직후 급히 반대로 조정하면서 맥동이 멈추어지고 있다. 시스템에서 특별한 외란이나 고장신호를 부여하지 않았는데도 이와 같이 오류적분 곡선에서 양방향으로 급히 증가되는 구간을 보인다면 피평가자의 판단에 잘못이 있다는 것을 알 수 있다. 또한 저장된 이러한 데이터는 나중의 디브리핑 과정에서 조작한 내용의 재연 기능을 통해 피드백 자료로 활용할 수 있다. 위의 결과들로부터 백점 만점의 점수를 환산하기 위하여 기본

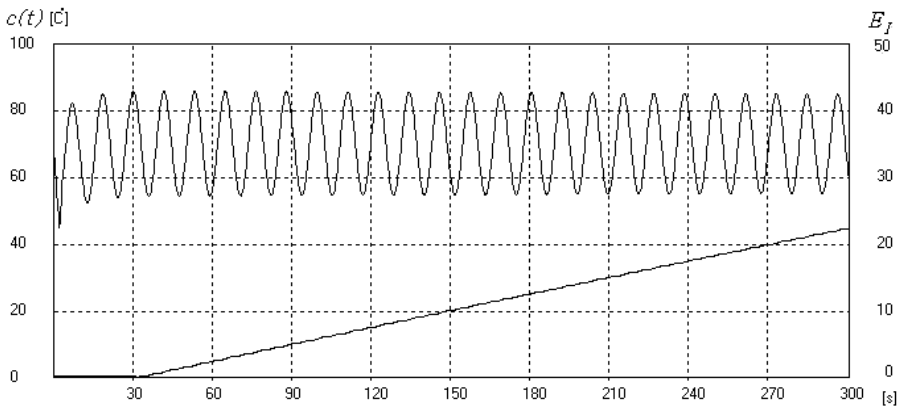


Figure 5: The result of $E_I(t)$ without responses

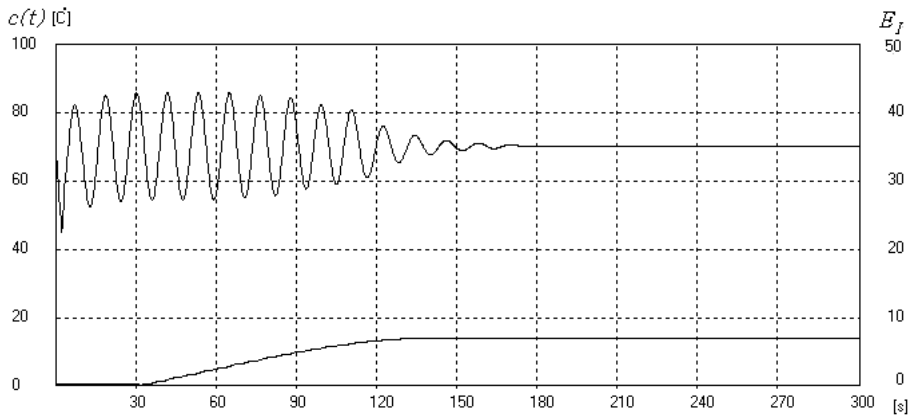


Figure 6: The result of $E_I(t)$ by assessor corresponding to score of 100 points

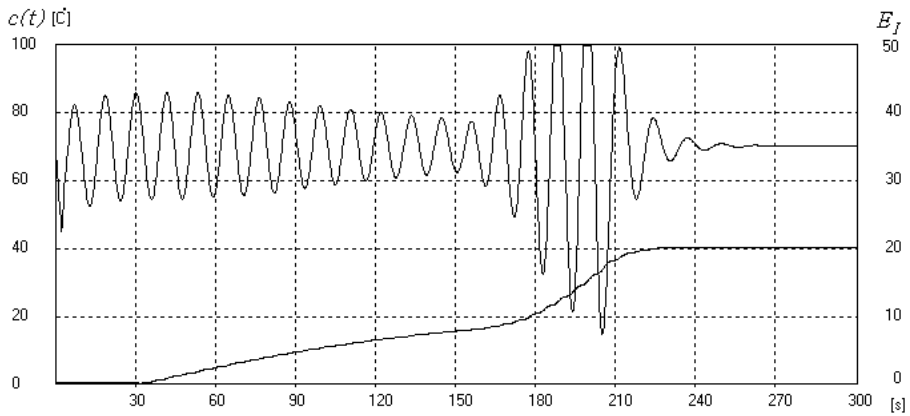


Figure 7: The result of $E_I(t)$ by an examinee

점수 P_0 를 30점으로 정한다면 나머지 70점에 대한 득점 몫은 피평가자가 만들어낸 오류적분값에 의해 정해진다. 식 (3)에서 $P_0=30$ 및 $E_{100} = 7.1$ 가 되므로 Figure 5,6,7에서 100점 만점 평점은 각각 52.1점, 100점 및 54.5점을 나타낸다.

5. 결 론

PC를 이용한 시뮬레이션 프로그램을 통해 이루어지는 해기능력 평가시스템에는 구성과 알고리즘 측면에서 다양한 방식이 있을 수 있으나 여기서는 피평가자의 오류적분값과 유능한 전문가로부터 생성되는 오류적분값 결과와의 상대적 관계에 의해 백점 만점의 점수로 변환하는 방식이 제시되었다.

이를 위해 PID 튜닝 시뮬레이션 시스템을 모델링 하였으며 평가에 필요한 입력력 계수들을 정의하고 오류로 판정되는 영역을 설정하였다. 시뮬레이션 운전에서는 응답이 없는 경우와 전문가에 의한 응답 및 피평가자의 응답 경우로 나누어 오류적분값을 서로 비교하였다. 이 결과 제시한 평가방식의 득점 수치가 숙련 정도에 따라 100점 만점 기준에서 적절한 점수 차이로 평가된다는 것을 확인하였다. 또한 이와 같은 득점 알고리즘은 PID 튜닝 시뮬레이션 환경 뿐 아니라 기관과 관련한 각종 시뮬레이션 프로그램의 해당 운전변수들에 대해서도 간단한 소프트웨어 조작을 통해 평가시스템을 접목시킬 수 있음을 나타내었다. 한편, 피평가자의 수준은

평가식의 기본점수에서 차등을 주어 조절하거나 상하한 설정에 차이를 준다거나 만점 득점에 해당하는 오류적분값에 차등을 주는 방법이 가능하였다. 특히 오류적분값의 시간 변화로부터 피평가자의 오류 형태를 분석할 수 있는 한편 무응답 구간과 잘못 조작한 구간이 구분될 수 있음을 보임에 따라 이 같은 그래프 곡선은 평가 이후의 디브리핑 자료로 또한 활용될 수 있다.

저 자 소 개



최순만(崔淳萬)

1955년 3월 30일생. 1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1990년 동 대학원 석사, 1995년 동 대학원 박사, 현재 한국해양수산연수원 교수

참고문헌

- [1] STCW 78, Section A-I/12, Standards governing the use of simulators, IMO
- [2] Inoue K., Sera W., and Masuda K. "Evaluation of ship handling safety based on the concept of PAW", *The Journal of Japan Institute of Navigation*, 99. pp. 163-171, 1998
- [3] Galea E.R., et.al, "Simulating ship evacuation under fire conditions", Proc. 2nd Int Pedestrian and Evacuation Dynamics Conference, Ed: E.R.Galea, CMS Press, Greenwich, UK, ISBN 1904521088, pp. 159-172, 2003.
- [4] Hietaniemi, J., Hostikka, S., Vaari, J., on FDS simulation of fire spread - comparison of model results with experimental data, 2004. VTT Working Paper 4.
- [5] Soon-man, Choi, "An analysis on simulator scenarios for the integrated evaluation when applied to teamwork by deck and engine officers", *Journal of the KSME*, vol. 30, no. 7, pp. 782-790, 2006