

# 실선-시뮬레이터 환경에서 항해사 정신적 작업부하에 대한 실험연구

† 오승빈 · 장준혁 · 김홍태

한국해양과학기술원

## Experimental study on real ship-simulator for ship navigator's mental workload

† *Seung-bin Oh, Jun-Hyuk Jang, and Hongtae Kim*

† † *Korea Institute of Ocean Science & Technology, Daejeon 305-343, Korea*

**요 약** : 본 연구는 시뮬레이터에서의 mental workload 측정 및 평가를 위한 기초연구로서 실선과 시뮬레이터에서의 항해사 생체신호 변화를 비교하고자 한다. ECG, PVT, NASA-TLX를 이용하여 정신적 작업부하를 평가하였다. 운항구간은 부산항 입항과 출항으로 하였다. ECG와 NASA-TLX 분석 결과, 실선과 시뮬레이터 간에 유사한 경향을 보였다. 추후 동일한 상황에 대한 누적된 데이터 및 다양한 피실험자를 대상으로 실험을 수행하여야 할 것이다. 본 연구 결과를 바탕으로 시뮬레이터를 활용한 다양한 환경에서의 workload 실험이 가능할 것이다.

**핵심용어** : 작업부하, 심전도(ECG), PVT, NASA-TLX, Full Mission Simulator

### 1. 서 론

한국해양안전심판원의 해양사고 통계발표(2013)에 따르면 해양사고 원인의 82.1%가 항해사의 운항 과실로 나타났다. 이러한 운항과실은 과도한 작업부하 및 누적된 피로로 인해 나타난다. 항해사의 정신적 작업부하는 해양사고 예방 및 환경 개선을 위해 고려해야 할 중요한 요소이다. 지나치게 높은 정신적 작업부하는 인적 실수와 사고를 유발 할 수 있고 너무 낮은 작업부하 또한 항해사를 방심시켜 인적 실수의 원인이 된다(Braby et al., 1993)

작업부하를 측정하는 방법은 다양하다. 측정방법은 작업자의 부하 평가에 따른 주관적 평가법(subjective ratings), 작업수행에 따른 작업자의 생리적 변화를 측정하는 생리적 측정법(physiological measures), 그리고 작업자의 직무량을 평가하는 수행도 평가법(performance-based measures)으로 분류할 수 있다(Williges and Wierwille, 1979).

Hill et al.(1992)은 주관적 평가 기법 중 SWAT, NASA TLX(NASA-Task Load Index), OW, MCH에 대한 신뢰성 평가를 통하여 모델에 대한 적합성을 검증하고, 타당성(validity)에서는 NASA TLX가, 이용성(availability)에서는 NASA TLX와 OW 기법이 우수한 것으로 평가하였다. 또한 Hart et al. (1988)는 NASA-TLX가 작업부하의 주관적 측정 방법 중 가장 널리 알려진 것 중 하나라고 밝혔다.

심장 박동률의 변화(Heart-Rate Variability; HRV)는 정신적 작업부하를 측정하는 생리적 방법으로 널리 사용되어 왔다(Mulder, 1988). HRV는 정신적인 작업부하의 측정에 수량화된 지표로 사용될 수 있으며 분석 가능한 파라미터로는 R-R interval, LF, HF, LF/HF 등이 있다(한국도로교통공단 교통과학연구원, 2011).

본 연구에서는 시뮬레이터에서 항해사의 정신적 작업부하를 평가하기 위한 기초 연구로서 시뮬레이터와 실선에서의 정신적 작업부하를 측정하였다. 작업부하를 측정하기 위하여 좀더 객관적인 평가방법이며 정량적인 데이터를 추출할 수 있는 생리학적 측정방법인 심장 박동률의 변화와 주관적 측정 방법인 NASA-TLX를 사용하여 분석하고자 한다.

### 2. 실험방법

피실험자는 항해경력이 있는 선장, 항해사 2명이 한 조를 이루어 참여하였다. 피실험자의 인적 사항은 표 1과 같다.

Table 1 Characteristics of participants

	연령(세)	항해경력(년)
선장	44	8.7
항해사	28	2

† 교신저자 : 연희원, sboh@kriso.re.kr

실험은 한국해양대학교 실습선 한바다호와 해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 Full Mission Simulator에서 수행하였다. 시뮬레이터 실험은 실선시험과 동일한 환경으로 하였다.

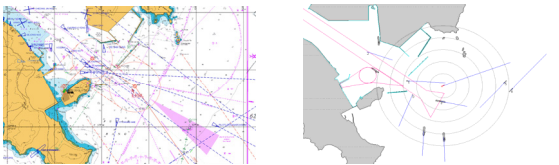
심전도의 측정에 사용된 장비는 국내의 두성기술(주)에서 개발한 가슴벨트 타입의 Bodypro320을 이용하였다 (Fig. 1). 또한 NASA TLX 설문지를 이용하여 주관적인 평가를 하였다.



Fig. 1 Equipment for the measurement of the ECG

NASA TLX 설문지는 각 항목에 대하여 100점 척도로 평가하였고, pair-wise comparison으로 가중치에 대하여 평가하였다.

실험은 부산항 출항과 부산항 입항을 대상으로 하였고, 타선에 관한 경로 정보는 Figure 2와 같다. 시나리오에는 항해사의 빠른 판단력과 다양한 의사결정이 필요한 입항과 출항 상황을 포함하였다. 항해시간은 각 30분 정도 소요되었다.



(a)Real ship experiment (b)Simulator experiment  
Fig. 2 Voyage scenario

### 3. 결 과

#### 3.1 심전도(ECG)

본 실험에서는 피실험자들이 운항을 하는 동안 측정된 심박수와 R-R interval을 분석하였다. 심박수와 R-R interval은 1분 간의 평균 값을 활용하였다.

심박수는 식 1과 같이 Normalization 하였다.

$$NS = (\text{자극} - \text{normal}) / \text{normal} \times 100(\%) \quad (1)$$

시뮬레이터에 비해 실선에서 심박수가 더 높게 나타나 작업 부하가 높음을 알 수 있다. 출항 시 선장은 9.82%, 항해사는 1.86% 증가하였다. 입항 시 선장은 18.62%, 항해사는 10.94%의 증가하였다.

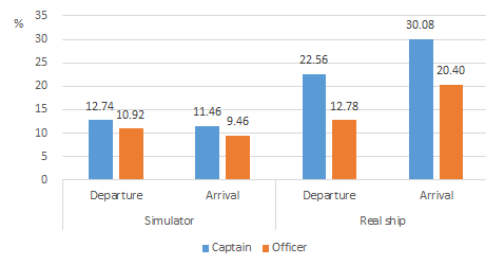


Fig. 3 Result for heart rate

R-R interval 또한 시뮬레이터에 비해 실선에서 낮게 나타났다. 출항의 경우 선장과 항해사 모두 0.1sec 감소하였고, 입항의 경우 선장은 0.22sec, 항해사는 0.16sec 감소하였다.

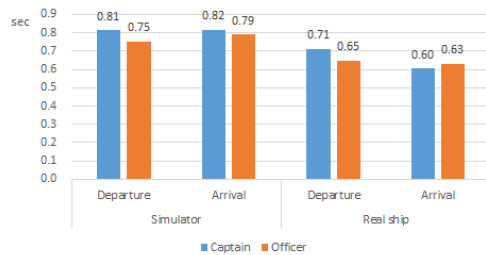


Fig. 3 Result for R-R interval

#### 3.2 NASA-TLX

운항 후의 정신적 작업부하에 대한 total score를 분석하였다. Total score는 6개의 평가기준에 의한 평점에 각 평가기준의 가중치를 활용한 가중평균치를 구하여 작업부하 점수로 활용하였다. 평점의 부여는 100점 척도로 이루어진다.

total score는 시뮬레이터에 비해 실선에서 작업부하가 높게 나타났다. 출항의 경우 선장은 16.34score, 항해사는 31.34score 증가하였다. 입항의 경우 선장은 20.00score, 항해사는 37.00score 증가하였다.

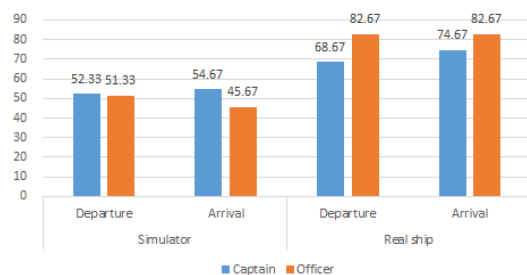


Fig. 4 Result for total score

### 4. 결 론

본 연구는 시뮬레이터에서 항해사의 정신적 작업부하를 평가하기 위한 기초 연구로서 시뮬레이터와 실선에서 항해사의 심박수와 R-R interval, total score를 비교하였다.

실험 결과, 심박수와 R-R interval, 그리고 주관적 평가인

total score 모두 시뮬레이터에 비해 실전에서 높은 작업부하를 보였다. 또한 출항에 비해 입항에서 작업부하가 높게 나타났다. 이는 실험환경이 출항은 낮 시간, 입항은 밤 시간이었기 때문으로 판단된다.

추후 본 실험에 참여한 그룹에 대한 추적연구뿐만 아니라 다양한 피실험자 그룹에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 본 실험에서의 항 뿐 만 아니라 다양한 항에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구 결과를 바탕으로 시뮬레이터에서 다양한 상황에서의 연구 및 평가가 가능할 것으로 생각된다.

## Acknowledgements

The contents of this paper are the results of the research project of KIOST (The Development of Human Factors Experimental Evaluation Techniques for Maritime Traffic Safety Assessment) and Ministry of Oceans and Fisheries (Development of prevention and management technology for human-related marine accident).

## 참 고 문 헌

- [1] 한국도로교통공단 교통과학연구원, 졸음운전원인 및 예방대책 연구, 2011.
- [2] 한국해양안전심판원, 해양사고 통계, 2013.
- [3] Braby, C. D., Harris, D. and Muri. H. C., "A psychophysiological approach to the assessment of work underload", *Ergonomics*, 36, 1035-1042, 1993.
- [4] Hart, S. G. and Staveland, L. E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press, 1988.
- [5] Hill, S.G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittier, A. C., Jr., Zaklad, A. L. and Christ, R. E., "Comparison of four subjective workload rating scales", *Human Factors*, 34, 429-440, 1992.
- [6] Mulder, L. J. M., Assessment of Cardiovascular Reactivity by Means of Spectral Analysis, Unpublished Ph. D. Thesis. Rijksuniversiteit Groningen, Groningen, 1988.
- [7] Williges, R. and Wierwille, W. W., "Behavioral Measures of Aircrew Mental Workload", *Human Factors*, 21, 549-574, 1979.