

Potential Human Stress Factors in Sailing Environment

JuYoun Kwon¹, Gyouhyung Kyung², Seungji Lee², Nakyung Lee²

¹Division for Design and Human Engineering, UNIST Multidisciplinary Institute, UNIST, Ulsan

²School of Design and Human Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to investigate human stress factors which can have influence on human performance and comfort in sailing environment. **Background:** When people are exposed to the certain environment for performing the task, they experience various environmental stress factors. Ergonomic factors should be considered for designing work space and work environment with comfort and health, so that human performance can be fulfilled effectively. In the case of yacht, especially, such as the sailing yacht which requires trimming the sails and the motor yacht which needs electric motors, it would be important to consider comfort as well as the performance for sailors. It can be useful information to design the boat and plan the sailing activity, figuring out the human stress factors related to human performance, health and comfort and understanding the relation among the human stress factors. **Method:** It deals with human stress factors and symptoms related to the stress factors which can affect the task performance and comfort while human are exposed to the physical environment such as vibration, impact, lighting, noise, thermal stress and pressure on board. **Results:** A influential stress factors on human performance and comfort during sailing are vibration, impact, and thermal stress and the major symptoms are motion sickness and injury although a number of studies showed that injury patterns and other symptoms would be various depending on the boat classes and crew positions which can make their activity levels changed. **Conclusion:** It is likely to require minimizing the effects of the physical stress factors such as vibration, impact, thermal stress and pressure and alleviating the symptoms such as motion sickness and injury. **Application:** This result can be applied to developing hull design as well as sailing gear related to sailing boats in order to alleviating sailors' stress factors.

Keywords: Sailing, Yacht, Ergonomic design, Comfort, Sailing gear, Boat equipment, Human Performance

1. Introduction

요트는 선진국에서는 이미 보편화되어 있는 레저스포츠로 2011년 영국왕립요트협회의 회원수가 10만 천명에 육박하였다(RYA, 2011). 하지만, 대한민국은 최근 정부부처별 해양레저산업 활성화 방안을 제시하여 해양관광 진흥을 위한 기본계획 수립 및 해양관광 활성화 기반을 조성 및 다양한 연구개발 사업을 시행하여, 대한민국의 요트레저 인구는 해를 거듭할수록 급격히 증가하고, 요트 조종 자격증을 취득하는 사람의 수도 증가하여 2011년 요트 조종면허 취득자수는 11만천명에 달한다. 이렇듯 요트 레저산업의 대중화의 발판은 마련하였으나, 국내 요트 탑승자를 위한 고려는 accident 예방을 위한 출항전 및 운전시에 대한 안전수칙만을 제공하고 있고, 탑승자의

performance 및 comfort와 health에 관한 고려는 미비한 실정이다.

특히, 요트의 경우는 바람을 활용하여 사람이 조종하는 세일링 요트나 전동기의 힘을 주로 이용하여 운항하는 모터요트 등이 있어서, 조정하는 사람의 수행능력 뿐만 아니라 쾌적 및 건강을 고려하는 것은 중요하다. 탑승자와 선체 및 사용하는 부가물간의 상호작용 또는 탑승자와 물리적 환경간의 상호작용으로 인하여 안전을 위협 받기도 한다. 요트환경에서 탑승자의 수행능력 및 안전과 쾌적을 보장하기 위하여 관련된 인간공학적인 요인들은 무엇이고 요인들간의 관계를 이해하여 영향을 미칠 수 있는 물리적인 요인들을 고려하여 보트디자인 및 세일링 활동을 설계하는 것이 필요하다. 해양분야의 인적 요인 및 인간공학 적용에 관한 연구 및 개발의 중요성은 항공산업 등의 다른 분야에 비하여 중요성이 늦게 부각되어

1980년대부터 활발한 연구가 진행되고 있다(Lutzhoft et al. 2011). 하지만 인간공학적 요인을 고려하여 performance 및 comfort에 관한 연구는 대형선박의 선원을 대상으로 진행되어온 것이 대부분이고 레저 및 스포츠용 sailing boat에 관한 연구는 최근에 진행되고 있다. 인간공학적인 접근 방법인 anthropometrical 및 사용성 등을 고려하여 사용자 중심디자인(user centred design, UCD)에 관한 연구를 진행하고 있다(Bucchianico and Vallicelli, 2011). 따라서 본 논문에서는 승선한 배에서 인간의 수행능력 및 쾌적에 영향을 미치는 물리적 요인 및 관련 증상들을 중심으로 논한다.

2. Maritime Human Stress Factors

항해중에 보트와 인간의 상호작용에 영향을 미치는 물리적 스트레스 요인으로는 진동, 충격, 소음, 조명, 열적 스트레스와 요트 조종시에 인체와 보트의 접촉간의 압력 등이 있다(Jansen et al. 2012; Ross 2009; Wickens et al. 2004).

2.1 Vibration

진동이라고도 불리는 주기운동은 수행능력 감소 또는 반복적인 동작의 장애를 야기하는 high frequency vibration과 멀미의 또 다른 원인인 low frequency vibration이 있다(Wickens et al. 2004).

High-Frequency Vibration

진동은 갑판, 좌석, 손잡이 등의 배의 구조를 통하여 전달되는 힘에 의한 전신 또는 신체 일부의 주기 운동으로 여기서는 1Hz를 넘는 전신진동을 고려한다(Ross, 2009). 지나친 전신 진동은 여러 증상을 야기하는데, 2~9Hz의 진동은 일반적인 불쾌감, 8~12Hz의 진동은 허리 통증을 13Hz이상에서는 두통을 야기한다(Magid, 1960). 수행능력에서는 Hancock et al.(2005)은 의사결정의 경우 정확도가 20% 감소하고 읽기 및 쓰기 능력은 50%가 감소한다고 하였다. Dobie(2003) 또한 2-12Hz 범위의 진동은 수행능력 감소를 야기한다고 하였다. 한편, Grunfeld et al.(1998)은 거친 바다에 노출하는 것은 편두통의 계기는 될 수 있지만 대부분의 탑승자에게 멀미 및 두통은 독립적으로 발생함을 보여주었다.

Low-Frequency Vibration

1Hz이하의 진동을 의미하는데, 물결힘, 타 및 안전 핀과 같은 부가물의 회전으로 인하여 멀미를 일으킬 수도 있다(Ross 2009). 이 진동으로 걷거나 서있는 사람의 균형을 잃고, Motion induced interruption(MII)라고 불린다. MII는 앉아있는 사람 보다는 서있는 사람에게서 발생하고 전후방을 바라보는 것 보다 측면을 보고 있을 때, 서있는 것 보다 걸을 때 MII는 유발된다.

미끄러짐을 방지하기 위하여 신발창과 갑판간의 마찰저항계수를 높게 디자인하거나 배의 roll 움직임을 감소하는 방법을 사용할 수 있다. Dobie(2003)는 0.02~0.2Hz 범위의 진동에서는 수동제어 문제가 발생하고 수행능력 저하, 피로, 사고경향 및 건강장해를 야기할 수도 있다고 하였다.

2.2 Impact

충격은 배가 바다 또는 물체와 갑작스럽게 심한 접촉이 있는 경우와 같이 특별한 경우의 진동으로 높은 파도와 고속으로 운항시에 충격의 영향을 증가시킨다. 선체 형태 및 배의 크기에 따라서 충격의 결과는 다양하나 20m 단동 활주선의 경우는 심각한 상해를 야기할 수 있다. 흔히 충격은 척추손상을 야기할 수 있으므로 선체 디자이너 및 조종자는 항해의 성격에 따라 충격 수준을 예상하여 선체의 형태, 운항 속도 및 선체에서 탑승자의 위치 등을 조절하여 충격하중을 줄이는 방안을 고려한다(Ross, 2009).

2.3 Noise

배의 종류에 따라서 엔진 등의 기계류 및 HVAC 시스템 등으로 인하여 소음이 발생하고, 또한 선체를 따라 흐르는 물 또는 바람이 소음을 야기하기도 한다. 이로 인하여 수행감소를 야기하고, 수면방해, 청각손상 및 과민성을 야기하기도 한다(Ross, 2009). 객실이 있는 대형 선박의 경우는 소음을 고려하여 객실을 배치한다면 탑승자의 쾌적한 환경을 보장할 수 있다.

2.4 Lighting

조명은 태양 및 인공조명의 빛 모두를 포함한다. 지나치게, 부족하거나, 부적절한 조명은 수

행 및 쾌적에 부정적인 영향을 미치고, 밝은 조명 및 부적절한 기기 조명은 눈부심 또는 반사를 야기해서 불쾌감 및 눈의 피로를 야기한다. 조명 문제의 원인으로는 1) 조명기구의 수가 너무 많거나 적을 경우 2) 빛을 분산시키지 못하는 조명기구를 사용한 경우 3) 환경과 계기조명간의 contrast가 부족한 경우 등이다. 또한 사람의 눈은 조도가 약 10^7 lux인 눈부신 일광부터 약 10^{-5} lux의 어둠에서도 기능을 하지만 조도가 2~3.5lux 정도의 황혼시에는 운항중인 배를 조작하기에는 불충분하다는 점을 고려하여야 한다. 또한, 응급상황에서는 충분한 조명이 필요하므로 상용전력이 차단되어도 사용이 가능하여야 한다. 항해시 적절한 조명 디자인을 위한 일반적인 지침은 기기와 근접한 환경간의 대조는 3:1이하여야 하고 기기와 조종자 주변시야간의 대조는 10:1이하여야 한다 (Ross, 2009).

2.5 Thermal stress

사람의 쾌적범위보다 지나치게 고온 및 저온의 환경에 인간이 노출하는 것은 수행감소 및 건강 문제를 초래하여 더위 스트레스 및 추위 스트레스를 야기한다. 일반적으로 습지도 덥지도 않게 느끼는 온도는 24°C 이나 (Parsons, 2003), 이는 서양인과 동양인의 차이가 있다 (Kwon and Choi, 2012). 대형 선박의 경우, HVAC시스템이 충분히 작동하지 않는다면, 의복으로 쾌적 구역을 확장할 수 있는데, 저온에서는 따뜻한 의복을 착용하여 쾌적하게 느끼는 환경범위를 넓히고 고온에서는 대류가 발생할 수 있는 헐렁한 옷으로 행동적인 체온조절을 할 수 있다. 고온 및 저온의 환경에서는 피로를 야기하고 집중력이 감소하여 수행능력의 저하를 가져올 수 있고 (Ross, 2009), 특히 고온환경은 신체온도를 높게 하여 열사병, 그리고 저온환경에서는 저체온증과 같은 심각한 건강 문제를 초래할 수 있다. Hancock et al.(2005)은 좌식작업시에 기온 35°C 이상, 상대습도 40% 이상의 환경에서는 수행능력이 감소된다고 보고하였고, 10°C 이하에서는 작업수행능력이 감소됨을 보여주었다.

2.6 Pressure

작은 배인 딩기(dinghy)로 항해시에 보트를 수직으로 유지하기 위해서 보트 밖으로 상체를 유지하는 등의 상당히 부담이 큰 활동으로 구성된다 (Fig. 1). 특히, 조종자의 넓적다리에 압력의 영

향으로 사두근과 같은 근육의 무산소 운동에 의해서 생성된 젖산의 배출을 저해하면서 정맥이 압박되는 경우가 발생한다. 이는 근육 피로 뿐만 아니라 조직손상과 결국에는 전체적인 통증으로 이어진다 (Jansen et al. 2012). 따라서, 근육피로로 인하여 새로운 활동자세를 찾게 되고 이는 다른 근육군에 상해를 야기하고 조종시의 이상적인 위치를 벗어나게 되므로, 이 큰 압박을 극복하고 경기력 향상을 위하여 압력을 줄이거나 분산시킬 수 있는 장비를 사용할 수 있다.



Fig. 1 Dinghy sailor's activity; 2012 Olympic gold medalist in the Finn sailing class. Source: British Olympic Sailors Say Bay Currents Provide Home Advantage by Lundgren, K.

3. Symptoms on Board Marine Vehicles

3.1 Motion sickness

멀미는 시각적으로 인지된 움직임과 전정기관의 움직임 감각간의 차이로 발생한다. 항해시 배의 heave(수직운동)가 멀미를 일으키는 가장 중요한 요소로 여겨지나 heave, pitch 및 roll에 대한 빈도 및 가속도로 배의 움직임을 줄여서 멀미를 감소시킬 수 있다 (Ross, 2009). Bonnet et al.(2006)은 멀미 유발과 관련한 실험에서 흔들거리며 서 있을 때의 진폭과 진동수의 시뮬레이션을 통하여, 멀미는 피험자들 사이에서 압력 중심이 이동하는 불안정성 이후에 나타난다고 보고하였고, Smart et al.(2002) 또한 유사한 결과를 보여주면서 자세의 움직임이 멀미를 예측할 수 있는 신뢰할 수 있는 변수의 역할을 한다고 제안하였다. 멀미의 기본 증상으로는 창백, 식은땀, 메스꺼움 및 구토 등이 있고, 멀미를 더 심하게 하는 요인으로는 수평선

의 시야, 기온, 활동수준, 배 안에서 위치, 수면, 연령 및 항해 경험 등이 있다(Bos et al. 2007; Ross, 2009). 하지만, Grunfeld et al.(1998)은 거치바다에 노출하는 것은 편두통의 계기가 될 수는 있지만 멀미의 발생과는 관련이 없고, 특히 여성의 경우, 멀미는 생리주기와 관련한다고 보고하여 성별의 차이가 있음을 시사하였다. Turner and Michael(1995)는 멀미가 여성과 젊은이에게서 가장 크게 발생하고, 바람의 방향과도 관계가 있음을 보고하였다.

3.2 Fatigue

피로는 신체적, 정신적 또는 감정적인 노력으로 발생하는 신체 능력을 손상시킬 수 있는 신체 및 정신적 능력의 감소로 정의한다(Lutzhof et al. 2011). 피로는 육체적 피로와 정신적 피로로 나눌 수 있는데, 육체적 피로는 근육의 과도한 사용에 기인하고 정신적 피로는 수면부족 및 정신적 스트레스 등으로 발생한다. 육체적 피로의 경우 대형 선박에서는 일반적으로 신체적인 움직임으로 근육에너지의 소비를 요구하지는 않으나, 덩기와 같은 규모가 작은 배에서는 근육에너지의 소비가 크다. 정신적인 피로는 모든 종류의 배에 해당하는 영향 요인이나, 측정이 쉽지는 않다(Lutzhof et al. 2011; Ross, 2009). 정신적 피로의 증상으로는 집중력의 감소로 작업의 효율성이 떨어지고, 의사결정기술에 장애를 보여서 위험에 대하여 인식하는 능력이 감소한다. 또한 단기 기억의 감소로 건망증을 유발하기도 한다. 피로의 원인으로는 단순한 작업이나 피드백이 없는 작업으로 인한 권태가 있고, 물리적인 요인으로는 소음, 진동, 열적 스트레스 및 조명들이 있다. 또한 수면이나 인지적인 문제로 인하여 피로가 유발되기도 한다(Ross, 2009).

3.3 Injury

배에 승선시 부상은 일반적으로 화학적 열상, 눈의 이물감 및 전기적 충격 뿐만 아니라 멍, 찰과상, 베임, 염좌 및 골절이다(Ross, 2009). 이 때의 부상은 수직힘 뿐만 아니라 종적힘, 측면 힘 그리고 회전힘으로 인해 발생하여, 요추부상이 가장 공통적인 반면, 어깨, 목, 무릎, 발목, 발, 손, 손목 등에도 부상이 발생한다. 부상을 줄이기 위하여 선체의 형태를 다양하게 하여 항해 환경에서 움직임을 감소하도록 디자인하고, 완충작용 또는 충격흡수장치를 포함한 보호 또는 지지 장

비를 사용하여 부상을 예방할 수 있다. 하지만, 배의 유형 및 조종자의 위치별 활동 등에 따라 부상에 대한 결과는 연구자 별로 다양하다. Rouvillain et al.(2008)은 부상을 예방하기 위한 구체적인 방법을 제안하여, 신발을 신는 것이 발 부상을 피할 수 있고, 아래활대(boom)로 인한 두개골 외상은 hatch cover로 보호하고, windlass(원치)를 사용하면 손 부상 및 급성 요통을 피할 수 있다고 하였다. Nathanson et al.(2010)은 킬보트와 덩기에서 세일링과 관련된 부상에 관하여 조사하였는데, 킬보트의 경우 주요 3대 부상은 다리 타박상, 손 열상 그리고 팔의 타박상이었고, 덩기의 경우 다리 타박상, 무릎 타박상 및 다리 열상이었고, 공동된 상해 기전은 이동/넘어짐, 물체에 부딪힘, 그리고 줄에 걸림이었다. 부상이 발생하는 요인은 tacking, 험한 날씨 및 jibing이라고 보고하였다. Hadala et al.(2012)는 America's cup 항해에서 부상을 연구하였는데 활동별로 부상의 종류가 다르고, 다친 부위도 Nathanson의 연구와는 달리 상지부위가 가장 일반적인 부상부위였다. Allen, J.B. and Jong, M.R.D(2006)와 Neville et al.(2009)도 부상, 부상예방 및 경기력 향상에 대한 연구에서 배의 형태별 조종자의 유형별, 활동별로 부상 부위 및 부상발생 요인 등이 다양함을 보고하였다.

4. Conclusion

요트환경의 물리적 요인인 진동, 충격, 소음, 조명, 열적 스트레스 및 인체와 보트의 접촉시의 압력 등에 관하여 논의하였다. 사람이 보트에 탑승시에 경험할 수 있는 환경은 일반 육지 및 항공 환경과는 다르다. 해상환경은 배가 바다에서 운항시에 끊임없는 종적인 움직임 또는 횡적인 움직임을 겪고 선상에서 인체의 균형을 유지하기 위하여 육지에서의 동일한 활동시보다 근육의 긴장 및 활동량이 증가할 수 있는 독특한 환경이다. 특히, motion, impact, thermal stress, 및 pressure와 같은 물리적인 환경에 더 많은 영향을 받고, 이로 인한 주된 증상으로는 motion sickness 및 injury가 있었다. Motion sickness에 관한 연구는 과거에서부터 많은 연구가 진행되었고, 최근에는 injury에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 요트환경의 독특함을 고려하여 운항 환경에 따라 조종자가 경험하는 물리적 스트레스 요인을 최소화하고 관련 작업부하를 감소시켜

safety 및 comfort를 제공할 수 있는 인간공학적 선박의 디자인 및 요트장비의 개발이 필요할 것이다.

References

- Allen, J.B. and Jong, M.R.D. Sailing and sports medicine: a literature review, *British journal of sports medicine*, Vol. 40, 587-593, 2006
- Bonnet, C.T., Faugloire, E., Riley, M.A., Bardy, B.G., Stoffregen, T.A. Motion sickness preceded by unstable displacements of the center of pressure, *Human movement science*, 25; 800-820, 2006
- Bos, J.E., Damala, D., Lewis, C., Ganguly, A and Turan, O. Susceptibility to seasickness, *Ergonomics*, 50(6), 890849-901, 2007
- Bucchianico, G.D. and Vallicelli, A. User-centered approach for sailing yacht design, In N.A. Stanton(Ed.) *Human factors and ergonomics in consumer product design: uses and applications*, Vol. 27, 445-463, Taylor and Francis, 2011
- Dobie, T.G., Critical significance of human factors in ship design, *Proceedings of the 2003 RVOC meeting*, 8-10 October, University of Minnesota, 2003
- Grunfeld, E.A., Price, C., Goadsby, P.J., and Gresty, M.A. Motion sickness, migraine, and menstruation in mariners, *The lancet*, Vol 351, 1106, April, 1998
- Hadala, M., Vera, P. and Barrios, C. Anthropometry profile and its influence on injury pattern in America's cup racing crew, *Journal of sports medicine doping studie*, S5:001. 2012 doi:10.4172/2161-0673.S5-001
- Hancock, P.A., Ross, J.M., Oron-Gilad, T., Szalma, J.L.(cited in Ross, 2009) The incorporation of comprehensive thermal stress effects into IMPRINT, Technical report DAAD-19-01-C-0065, UCF-MIT-ARL-05-01, Orlando, FL, April.
- Jansen, A. Abbema, A.V. and Howe, C., Improving comfort while hiking in a sailing boat, *9th conference of the international sports engineering association*, 2012
- Kwon, J. and Choi, J., The relationship between environmental temperature and clothing insulation across a year, *International journal of biometeorology*, 56(5), 887-893, 2012
- Lundgren, K. British Olympic Sailors Say Bay Currents Provide Home Advantage, Bloomberg news[On-line], Available: <http://www.bloomberg.com>, July, 2012
- Lutzhof, M., Grech, M.R. and Porathe, T., Information environment, fatigue, and culture in the maritime domain. In P.R. Delucia(Ed.) *Reviews of human factors and ergonomics*, Vol 7(pp.280-322), Santa Monica CA; Human factors and ergonomics society 2011. ISBN 978-1-4522-0524-3
- Magid, E.B, Coerman, R.R., Ziegenruecker, G.H.(cited in Ross, 2009) Human tolerance to whole-body sinusoidal vibration:short-time, one-minute and three-minute studies, *Aerospace medicine*, Vol.31 915-924, 1960
- Neville, V., Calefato, J., Perez-encinas, C., Rodilla-sala E., Rada-ruiz, S., Dorochenko, P. and Folland, J.P. America's cup yacht racing: race analysis and physical characteristic of the athletes, *Journal of sports sciences*, 27(9); 915-923, 2009
- Parsons, K.C. *Human thermal environments*, 2nd edn. Taylor and Francis, London, 2003
- Ross, J.M, *Human factors for naval marine vehicle design and operation*, Ashgate, England, 2009. ISBN 978-0-7546-7625-6
- Rouvillain, J.L., Mercky, F., and Lethuillier, D. Injuries on offshore cruising sailboats: analysis for means of prevention, *British journal of sports medicine*, Vol 42, 202-206, 2008
- RYA, Annual report and accounts, Royal yachting association, London, 2011
- Smart, L.J., Stoffregen, T.A., and Bardy, B.G. Visually induced motion sickness predicted by postural instability, *Human factors*, 44(3), 2002
- Turner, M. and Griffin, M.J. Motion sickness incidence during a round-the-world yacht race, *Aviation, space, and environmental medicine*, 66(9), 849-859, 1995
- Wickens, D., Lee, J.D., Lui, Y., and Becker, S.E.G, *An introduction to human factors engineering*, 2nd edn. Pearson education, New jersey, 2004

Author listings

JuYoun Kwon: jkwon@unist.ac.kr

Highest degree: PhD, Environmental Ergonomics Research Centre, Loughborough University, UK

Position title: Research Scientist, Division for Design & Human Engineering, UNIST Multidisciplinary Institute, UNIST

Areas of interest: Clothing-wearer interaction, Technical clothing, Thermal comfort, Thermal stress, International standards, Health & Safety, Yacht ergonomics

Gyohyung Kyung: ghkyung@unist.ac.kr

Highest degree: PhD, Virginia Tech. U.S.

Position title: Assistant Professor, School of Design & Human Engineering, UNIST

Areas of interest: Human-machine interface, Human-computer interaction, Digital human modeling, User-centered design

Seungji Lee: seung611@unist.ac.kr

Position title: Undergraduate Student, School of Design & Human Engineering, UNIST

Nakyung Lee: eggk111@unist.ac.kr

Position title: Undergraduate Student, School of Design & Human Engineering, UNIST