

심해 유인 잠수정 거주구 관측창 배치를 위한 인체공학적 설계 검토

이재경*, 박성환*, 이한민*

*한국기계연구원 기계시스템안전연구본부

e-mail:jkleece@kimm.re.kr

Ergonomics review for the design of cabin window in deep manned submersible

Jai-Kyung Lee*, Seong-Whan Park*, Hanmin Lee*

*Mechanical Systems Safety Research Division, Korea Institute of
Machinery and Materials

요 약

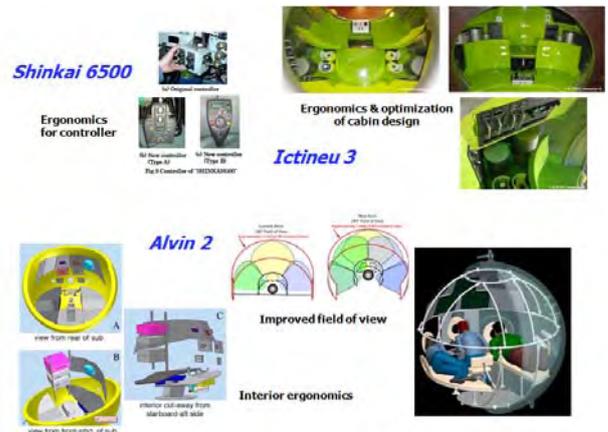
심해 유인 잠수정과 같은 제한된 공간 내에서 다수의 작업자가 장시간 거주하며 작업을 수행하기 위해서는 거주구 관측창 위치 및 기타 운영설비 배치에 있어 인체공학적 설계가 고려되어야 한다. 본 논문에서는 구조안전성 평가와 최적설계로 도출된 심해 유인 잠수정의 내압구조 셀 설계안을 대상으로 거주구 관측창 배치를 위한 인체공학적 설계 검토에 대하여 소개한다. 관측창 배치는 작업자 선내 위치, 관측 시야 확보, 편안하고 안전한 작업 여부 등의 다양한 요인과 함께 구조 안전성과 제작성 등이 동시에 고려되어야 한다. 국외 심해 잠수정 개발에서 적용된 인체공학적 설계 관련 연구를 소개하고 디지털 휴먼 모델링 S/W인 Santos Engine을 활용한 인체공학적 설계 검토에 대하여 소개한다.

1. 서론

인간이 사용하는 제품 및 시스템은 인체의 크기, 형상, 동작을 고려한 설계가 요구되므로 인체공학에 기반한 설계가 필요하다. 심해 유인 잠수정은 해저환경에서 안전을 유지하면서도 특정 작업(과학탐사 및 심해 자원 개발)을 위한 임무를 수행하는 해양 장비이다. 미국, 프랑스, 러시아, 일본, 중국 등이 6,000m급 유인 잠수정을 보유하고 있으며, 국내에서는 6,500m급 유인 잠수정 개발을 추진하고 있다.[1] 심해에서 장시간 임무를 수행하는 작업자의 안전을 확보하기 위해서는 엄청난 수압을 견딜 수 있는 충분한 강도를 가질 수 있는 내압 선체 구조 개발이 필요하며 관측창, 배관, 해치 등의 배치를 고려한 구조 안전성 검토가 이루어진다. 이 중에서 관측창의 배치는 작업자의 효율적인 작업수행 및 잠수정 안전성에 영향을 미치는 바가 크다 할 수 있다. 본 논문에서는 심해 잠수정 거주구 관측창 배치를 중심으로 인체공학적 설계를 위한 기초연구를 소개한다.

2. 국외 사례

국외 심해 유인 잠수정 개발에서의 인체공학적 설계 연구는 Shinkai 6500(일), Ictineu 3(프), Alvin 2(미)에서 수행되었다. 심해에서 작업자가 장시간 작업을 편안하게 수행하기 위한 목적으로 그림 1과 같이 1) 주요 장비 및 제어장치 인체공학적 디자인 2) 관측창 배치를 통한 향상된 관측시야 확보(field of view) 3) 장시간 거주를 위한 효율적인 실내 배치 연구를 수행하였다.



(그림 1) Ergonomics in manned submersible

3. 인체공학적 설계 도구 검토 - Santos Engine

본 논문에서 활용한 Santos Engine은 최적화에 기초한 운동역학적 모션 해석을 사용하여 디지털 휴먼 모델인 아바타의 자세 및 동작들을 예측하거나 주위 환경과 독립적으로 움직일 수 있으며, 이를 통하여 사용자는 환경을 구성하는 다른 요소들(설비, 시스템, 장치) 사이에서 아바타 자세 및 움직임 예측, human factor 해석이 가능하다. Human body 모델은 kinematic joint 기반이며 왼손 및 오른손 각각 17개의 조인트를 포함한 전체 109개의 자유도(DOF, Degree of Freedom) 및 82개의 관절로 구성되며, 관절마다 강성 그래프 적용 가능, 이벤트 모션시 실제 거동과 같은 거동 프로파일의 최적화, zone differentiation 및 motion analysis 분석용 시각화 툴 등을 제공한다.

4. 거주구 관측창 배치의 인체공학적 설계 검토

내압구조 셀의 구조안전성 평가와 최적설계를 통해 제시된 내압구조 셀의 도면 데이터를 바탕으로 3D 모델링을 수행하고 작업자 모델링을 수행하였다. 탑승원인 3명은 여성 1명, 남성 2명으로 모델링하였다.

모델링에 사용된 휴먼 모델은 인체공학 데이터베이스인 GEBOD(Generator of Body Data)에서 정의한 ISO 3411에 근거하여 생성하였으며, 작업자 1은 50% percentile, 키 156cm, 몸무게 58.7kg인 여성, 작업자 2는 50% percentile, 키 180cm, 몸무게 79.7kg인 남성, 작업자 3은 69% percentile, 키 165cm, 몸무게 86.5kg인 과체중 남성으로 모델링하였다. 본 논문에서는 선행연구 관점에서 실제 배치와는 무관하게 임의로 작업자들을 배치하였다. 작업자 배치는 미국 Alvin 2와 같이 주 관측창을 중심으로 좌, 우의 보조 관측창에 작업자 3명을 배치하였다. 내압구조 셀의 3D 모델과 작업자 배치는 그림 2와 같다.

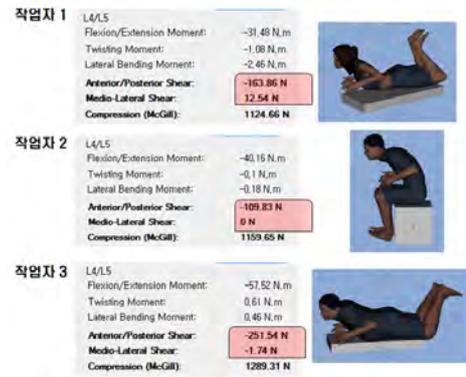


(그림 2) 내압구조 셀 3D 모델 및 작업자 배치

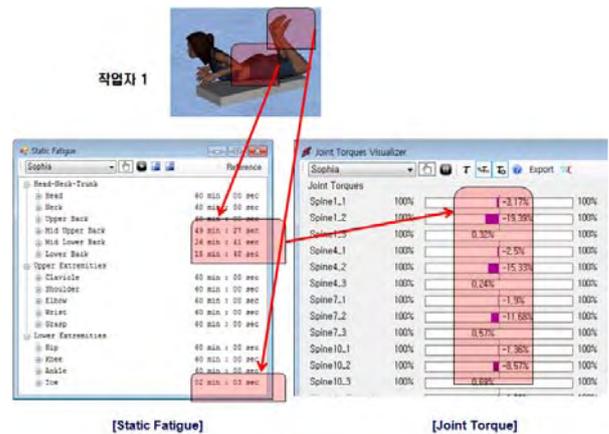
장시간 잠수정 내부에서 거주하는 작업자의 근골격계 질환 예방을 위해서는 다양한 인체부위에 대한 인체공학적인 분석 방법이 필요하며, 이중에서도 허리통증 및 재해 예방을 위해서는 요추부 디스크 부하 측정, 즉 인체의 등(Spine)에서 요추관절(L4/L5 joint)의 부하를 측정하는 것이 필요하다. Santos Engine은 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 방법론을 사용하여 요추관절 부하 시뮬레이션을 제공한다(Spine Shear and Compression). 그림 3은 작업자 3명에 대한 요추관절에서의 부하 계산결과를 나타낸다. 좌측 관측창 작업자 1(여성)보다 우측 관측창 작업자 3(남성)의 부하가 크게 나타나며 이는 작업자 3의 경우 표준체형보다 과체중으로 관측창 시야 확보를 위해 상반신을 조금 더 틀고 있는 자세를 취함에 따라 작업자 1보다 부하가 더 발생함을 알 수 있다.

작업자 자세 분석을 위해서는 정적 피로도(Static fatigue), 관절 부위 토크(joint torque), 관절 가동범위(ROM, Range of Motion) 등의 다양한 분석 도구를 활용할 수 있다. 본 논문에서는 정적 피로도와 관절 토크를 시뮬레이션하여 작업자가 특정 작업을 수행하기 위해 취한 자세에 대한 인체공학적인 분석을 수행하였다. 그림 4는 우측 관측창 작업자 1의 정적 피로도와 관절 부위 토크 계산결과를 나타낸다. 정적 피로도 분석에서는 주요 관절 부위에서의 정적 피로도 계산을 통해 정적 피로도가 심한 부

위를 파악할 수 있다. 작업자 1의 경우 허리 부위(상, 중, 하단 순)와 발가락의 정적 피로도가 심하다는 것을 알 수 있으며, 보다 상세한 분석을 위해 관절 부위 토크 계산값을 확인 할 수 있다. 그림 4의 우측 화면에서 허리 부위에서의 관절 토크 허용범위 내에서의 현재 토크 허용치를 확인할 수 있다.



(그림 3) 작업자 요추관절 부하 분석



(그림 4) 작업자 정적 피로도, 관절 토크 분석

5. 결론

본 논문에서는 심해 유인 잠수정의 거주구 관측창 배치를 중심으로 인체공학적인 설계를 위한 기초연구를 소개하였다. 제한된 공간 내에서 다수 작업자가 편안하고 안전한 작업을 수행하기 위한 최적의 관측창 배치가 고려되어야 하며 또한 구조 안전성과 제작성 등을 동시에 고려하여 정해져야 한다. 향후에는 거주부 셀 설계와의 연계, 관측 장비 및 거주구 내 설비 배치 등에도 인체공학적인 설계가 활용되는 것이 필요하다. 이를 통해 잠수정의 운영 효율 및 작업자 안전 향상이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1]. S. Jin, S. Lim, S. Park and S. Yoo, "Measuring the Scientific Benefits from the Deep-sea Human-operated Vehicle Project: A Choice Experiment Study" Ocean and Polar Research, 2014, 36(3), pp. 277-288.