

해양플랫폼 알루미늄 핸드레일 적용을 위한 소켓 구조강도 평가법

김연호* · 박주신** · 서정관****

* 부산대학교 조선해양공학과 박사과정, 삼성중공업 해양설계팀 프로, ** 삼성중공업 조선해양연구소 프로

*** 부산대학교 조선해양공학과/선박해양플랜트기술연구원 교수

Methodology of Strength Analysis of Socket for AL Handrail in Offshore Platform

Yeon-Ho Kim* · Joo-Shin Park** · Jung-Kwan Seo****

* Senior engineer, Offshore Design Team, Samsung heavy industries, Geoje 53261, Korea

** Principal engineer, Ship and Offshore Research Institutes, Samsung heavy industries, Geoje 53261, Korea

*** Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering/The Korea Ship and Offshore Research Institute, Pusan National University, Busan 46241, Korea

요약 : 해양플랫폼 상부구조물의 중량 절감을 위한 알루미늄 핸드레일 적용을 위하여, 소재의 항복강도 향상 및 관련 국제기준에 부합한 강도평가를 통하여 설계가 이루어지고 있다. 기존에 해양프로젝트에 설치된 알루미늄 핸드레일은 플랫폼에 설치 시 소켓에 볼트 연결되며, 소켓의 설계 정도에 따라서 핸드레일 처짐 량이 크게 좌우된다. 그러나 국제기준에서는 소켓에 대한 중요성 언급이 없으며, 별도의 평가 절차나 기준도 모호하다. 따라서 본 연구를 통해서 핸드레일 소켓 설계 시 고려해야 하는 주요 인자들에 대한 강도 해석을 수행하고, 최적의 치수를 도출하였다. 개발모델의 구조 안전성을 확보하기 위하여, 실험을 통한 검증은 수행하였고, 국제기준에서 요구하는 허용 처짐 이내에서 모두 만족함을 확인하였다. 개발된 국산화 모델은 기존 외국 제조사와 비교하여 가볍고, 생산성이 향상되어 향후 많은 분야에서 사용이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 중량 절감, 알루미늄 핸드레일, 엔지니어링 절차, 소켓, 국제기준

Abstract : The aluminum handrails used for promoting structural strength and weight reduction of the topside in an offshore platform are designed according to international standards (ISO, NORSOK, and Austria Standard), and consider the most conservative load combinations. Existing aluminum handrails are bolted to a socket when installed on the topside of a platform, and the amount of deflection of the handrail is largely influenced by the socket design. However, the importance of socket design has been overlooked, and furthermore, separate evaluation procedures or guidance for socket design are ambiguous. Therefore, a series analysis was performed for estimating the structural strength of aluminum handrails to obtain the governing parameters that minimize their deflection against loads. Experimental verification was performed to validate the structural safety of the new model, and we confirmed that all were satisfied within allowable deflection according to international standards. The developed model could be used in several areas in the future as it is lighter and more productive compared to existing models from overseas makers.

Key Words : Weight reduction, Aluminium handrail, Engineering procedure, Socket, International standards

1. 서론

핸드레일은 육상 플랜트 설비(발전소, 저장설비) 및 해양 프로젝트의 상부 구조물에 사용되는 의장재 중에서 사용 빈도가 가장 많은 의장재 중에 하나이다. 해양 공사 중에서도

반잠수식 시추선과 고정식 자켓의 경우 상부구조물(Topside)의 중량 변화에 하부구조물의 설계가 크게 영향을 받기 때문에 상부구조물의 중량은 주요한 핵심 설계 변수이다. 이러한 이유로 해양공사의 발주처와 조선소에서는 기존 강재를 대체할 수 있는 경량화 소재의 확대 적용 가능성에 대해서 면밀한 검토와 관련 연구를 수행하고 있다. 최근 가장 현실적인 대안으로 급부상되고 있는 재료는 알루미늄 합금이며 내

* First Author : yeonho80.kim@samsung.com, 055-630-8409

† Corresponding Author : seojk@pusan.ac.kr, 051-510-2415

부식성이 우수하고, 강재와 비교하면 30%에 해당하는 밀도 그리고 압축을 통한 다양한 구조단면 설계가 가능하여 상부 구조물에 다양한 적용 범위를 확대해가고 있는 추세이다.

그러나 상부구조물 설계 시 다양한 극한환경 및 운영조건의 특성을 견딜 수 있는 강도(Strength)와 인성(Toughness)을 요구하는 주 부재 및 부 부재의 경우는 구조 안전성 측면에서 보수적인 재료적·강도 설계기준 적용이 요구되어 혁신적인 중량 감소는 어려움이 있다. 그러나 의장재(tertiary member)는 비강도 부재로 상대적으로 기능적 설계기준(functional requirement)과 대규모 사용물량으로 탄소강 대비 알루미늄 합금강, 스테인리스강, 니켈강, 인바 합금 및 GRP 재질이 중량 감소 측면에서 효율적인 대안으로 검토 적용되고 있다 (Kim et al., 2020).

이에 본 연구에서는 항복강도를 20% 이상 개량된 알루미늄 합금 소재를 적용하여 독자 모델을 개발하고자 하며, 기존의 구조 엔지니어링 절차에서 문제가 되는 사항들을 개선하는 평가 절차에 대해서 개발하였다. 치짐 및 강도 기준을 만족하는 핸드레일 제품을 개발하기 위하여, 소켓부를 포함한 구조 강도 검토하였으며, 치짐 량을 줄이기 위한 추가 보강 안을 개발하여 비선형 구조 강도 거동 관점에서 건전성을 검증하였다. 본 연구와 관련된 기존의 선행연구를 아래와 같이 요약하였다.

Park(2004)은 승객이 일정한 속도로 이동하고 있는 에스컬레이터에 승차했을 때, 몸의 균형을 유지하기 위하여 승객이 손으로 붙잡는 핸드레일의 미끄러짐(handrail slippage) 특성에 대한 안전성을 개선하기 위하여 다물체 동역학 해석기술을 적용하였다. 사용된 동역학 해석모델은 슬립 측정 장치를 사용하여 실험한 측정값과 비교함으로써 모델의 신뢰성을 검증하였다. 최종적으로 핸드레일 설계 변경을 통하여 핸드레일 슬립 량이 스텝 속도에 비교하여 0.24%로 개선되어서 안전사고를 사전에 방지할 수 있는 성능개선을 확인하였다.

Kim et al.(2006)은 계단 또는 옥내/외 통행로에 있는 캔틸레버형식 강화유리 가드 및 핸드레일 구조시스템의 구조성능 평가에 관한 연구를 수행하였다. 구조 및 접합상태를 실제 시공 상황을 모사할 수 있도록 실물과 같게 시험체를 제작한 후, 면외 방향 하중에 대해서 사용성과 안전성을 검토하였다. 시험개수는 총 8개이며, 하중은 단조가력과 반복제하 방식이며, 1톤 크레인을 사용하였다. 실험 결과 단조가력의 경우, 모두 선형탄성-취성거동을 보였으며 볼트 접합부에 발생한 과도한 응력집중이 원인으로 분석하였다. 석고 접합부를 적용한 경우, 기준 허용 변위를 충분히 만족하였으며 강성 또는 강도 특성이 우수한 것으로 평가하였다. 본 연구를 통하여 가드 및 핸드레일 구조시스템의 거동 특성을 이해하는데 좋은 자료를 제공하였다.

Kim et al.(2020)은 해양플랫폼에서 사용되고 있는 벌크성 기자재 표준화 기준 제정을 위한 연구를 수행하였다. 표준화를 위해서 최근 10년 이내 제작된 대형 해양플랫폼의 자료를 조사하고 분석하여 표준화 대상을 선정하고 개발 전략과 목표를 결정하였다. 연구결과 적용성 검토를 위하여, 수치 시뮬레이션과 실험을 수행하여 개발모델이 우수성을 확인하였으며, 알루미늄 핸드레일 적용 시 5.7년 이후부터는 초기 투자비용을 모두 회수하고 이익이 발생한다는 경제성 분석까지를 언급하였다.

David and Billingsley(2018)는 Barrette Aluminium Railing 시스템에 대한 구조설계를 AISC(2005) 기준에 의하여 검토하였다. 핸드레일 구성품은 총 3가지 종류의 알루미늄 합금을 적용하여 총 20가지의 핸드레일 모델에 대해 개별적으로 구조설계 안전성을 평가하여 충분한 안전도를 확보하였다. 설계 완료된 모델은 생산성 검토를 마친 후, 실험을 통하여 설계 기준 만족 여부를 육안 관측하였으며, 모든 제품은 허용치를 만족하였다.

본 연구에서는 개량된 알루미늄 합금 재질(AL-6082-T6)을 적용하여 해양플랫폼용 핸드레일의 구조 안전성을 검증하기 위한 엔지니어링 절차 및 내용에 대해서 다루고 있다. 도출된 주요 결과는 해양플랫폼의 알루미늄 의장재 구조 안전성 평가 분야에 관련된 기초적인 자료로 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

2. 알루미늄 핸드레일 설계

2.1 알루미늄 핸드레일

핸드레일은 육상 및 해상플랫폼의 작업 공간 혹은 적재공간의 주변의 작업자가 안전하게 작업할 수 있도록 보호하는 역할을 한다. 최근 해양플랫폼 운용 선사들은 상부 구조물 중량 감소를 위하여 알루미늄 재질의 의장재를 선호하고 있다. 핸드레일은 주로 플랫폼 구조의 외곽 면에 설치되며, 주요 구성과 배치 형태는 Fig. 1과 같다.

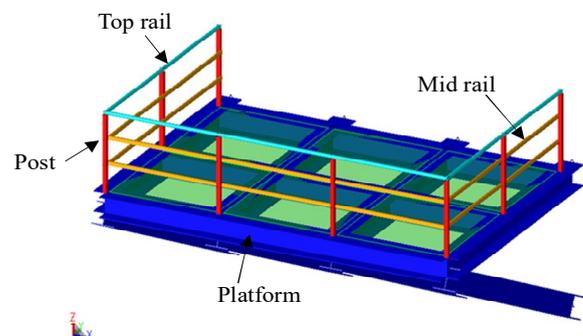


Fig. 1. Working platform with handrail.

국제기준들(NORSOK, 2004; API, 2014; BS EN 16116-1, 2013; EN ISO 14122-3, 2011)에서는 수직 기둥부(post)와 떨어진 거리 및 mid-rail 간격에 대한 설계기준을 제시하고 있으며 개별 부재 치수는 구조 설계 결과에 따라서 변경할 수 있다. 그러나 엔지니어링 절차 및 기준의 모호함으로 인하여 프로젝트별로 의사결정체에 따라서 개별적으로 적용됐다.

Table 1에서는 대표적인 핸드레일의 주요 구조부재별 부재의 속성 정보를 나타내고 있다. Top rail을 제외하고는 모든 부재는 Non-tubular 단면을 사용하고 있으며, 구조 강도 측면보다는 작업자의 사용 편의성이 반영된 결과물이다.

Table 1. Member lists and detailed information

Description	Member section	
	Shape	Dimension (mm)
Top rail	Pipe	Φ 50 × 3
Mid rail	Square bar	B 50 × 25
Post	Square bar	B 50 × 7
Socket	Square bar	B 70 × 12, H 250mm
Bolt	Flat bar	M10 HEX

2.2 개량 알루미늄 합금 재료강도 실험

알루미늄 합금은 계열별 번호에 따라서, 합금을 이루는 성분비의 범위가 규정되어 있다. 본 연구에서는 기존 6082 합금을 기준으로 규소(Si)와 Mg(마그네슘)의 성분비 조합을 변경하여, 인장강도 및 항복강도를 향상하는 연구결과(Park and Seo, 2017)의 재료의 특성 값을 이용하였다.

최적 조성비를 갖는 알루미늄 합금의 기계적 물성 값을 확인하기 위하여, ASTM 테스트 기준(ASM, 2008)에 따라, 총 6개의 종류와 각 종류 별 3개의 시편을 제작하였다. 총 18개의 시편에 대해서 인장 테스트를 수행하였으며, 조건별 가장 우수한 항복강도와 인장강도를 Fig. 2에서 비교하고 있다. 가장 우수한 강도 특성을 나타내는 NO-04 합금 시편을 선정하였으며, 항복강도의 평균은 320 MPa이고 인장강도는 340 MPa, 파단 변형률은 10%이다.

개량형 알루미늄 합금의 경우, 목표로 한 항복강도 310 MPa를 충분히 만족하는 물성 값을 실험을 통하여 검증하였으며, Table 2에서는 구조 강도 검증을 위하여 사용된 재료의 물성 값 정보를 나타내고 있다. 실험계측을 통해서 얻은 항복강도, 인장강도는 본 연구에서 목표로 하는 최소 물성 값보다 크게 나왔지만, 범용으로 사용하면서 발생할 수 있는 재료의 하한치를 정의하기 위하여 항복강도 310 MPa를 설계기준으로 결정하였다. 용접 구속이 발생하는 부재는 열영향부에 의한 항복강도 감소를 50% 적용하였다.

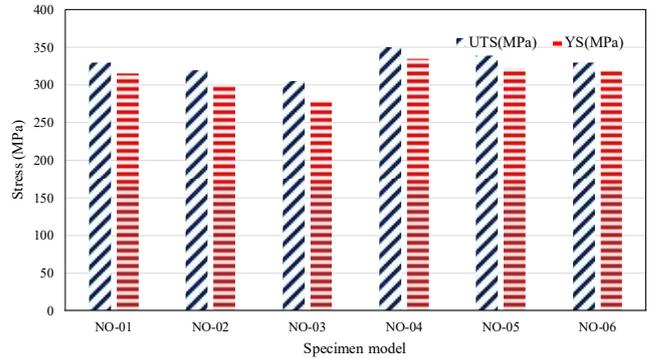


Fig. 2. A comparative ultimate tensile and yield strength according to specimen models under tensile strength test.

Table 2. Material properties of improved AL-6082-T6 alloys

Properties	Specification
Elastic Modulus	71 GPa
Poisson's ratio	0.33
Density	2.71 g/cm ³
Tensile Strength	370 MPa (Spec.) 400 MPa (target value)
Yield strength	260 MPa (Spec.) 310 MPa (target value)
Tensile Strain at break	10%

3. 유한요소해석 및 고찰

3.1 모델링 및 경계, 하중 조건

본 연구에서는 유한요소법(Finite Element Method)을 근간으로 하여 공학용 해석이 가능한 상용프로그램인 MSC Patran/Nastran Version(2012)을 이용하였다. Fig. 3에 보이는 것과 같이 유한요소 모델링을 수행하였다. 모델은 빔 요소(post, mid rail)와 솔리드요소(socket, supporting frame)를 조합하여 구성하였고, 설계하중에 대해 구조 변형이 3차원으로 표현하기 위하여, socket과 post의 연결부에는 설계 공차인 1.0 mm gap 요소를 적용하였다. 해석에 사용된 유한요소의 절점 수는 17,142개이고, 요소는 7,242개이며, 전체적인 처짐 형상 및 응력 결과 판단 시 충분한 자유도 조건을 구현하기 위하여 요소의 크기는 최소 5 mm에서 30 mm까지로 제한하였다.

해석의 경계조건은 supporting H-beam 하단부에 6자유도 고정조건(X, Y, Z, ROT-X, ROT-Y, ROT-Z)을 적용하고, 핸드레일의 길이 방향 대칭 구속조건(X, ROT-Y, ROT-Z)을 top, mid rail, H-beam 측면부 끝단에 적용하였다.

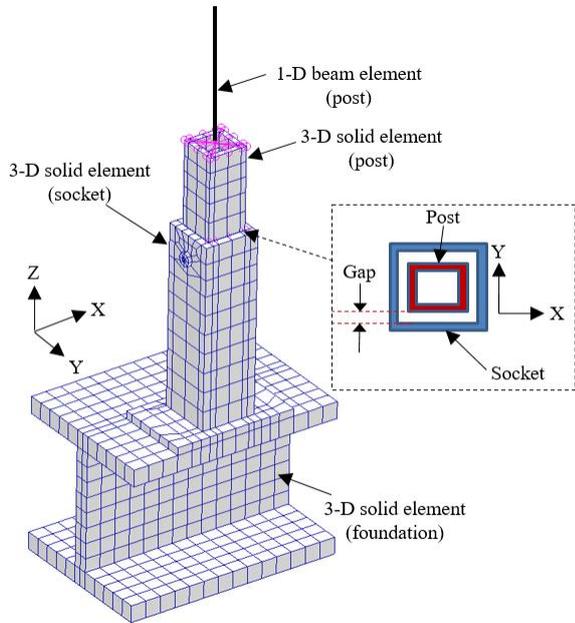


Fig. 3. Detailed FE-modeling at the socket joint.

핸드레일을 구성하는 모든 부재의 조합하중 시 구조 안전성을 평가할 수 있도록 하중조건은 Fig. 4와 같이 고려하였다. 관련 기준에 명시된 top-rail 분포하중(LC-01)과 수직 포스트의 상면부 끝단에 집중하중(LC-02), 포스트 사이 top-rail에 집중하중(LC-03) 마지막으로 포스트 사이 mid-rail 중앙에 수직집중하중(LC-04)으로 조합하여 적용하였다.

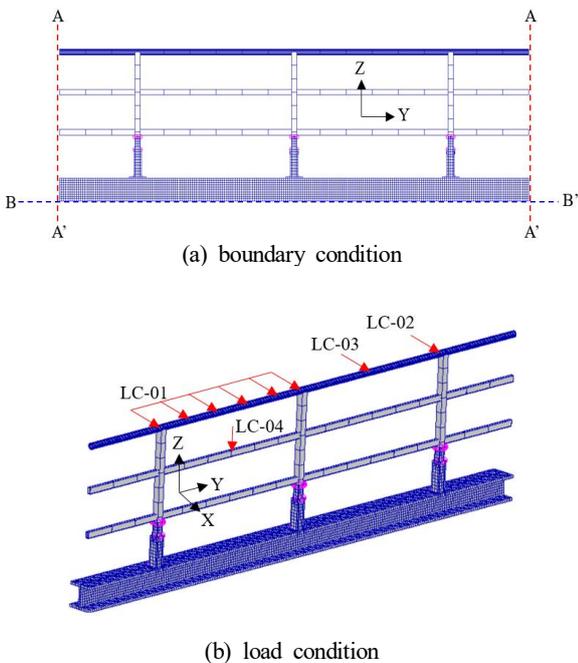
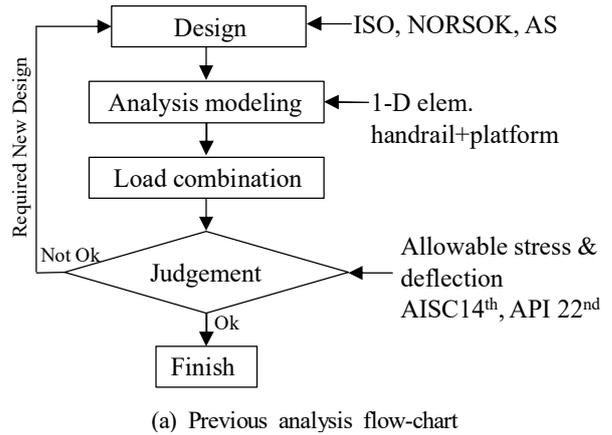


Fig. 4. Analysis modeling and load & boundary condition.

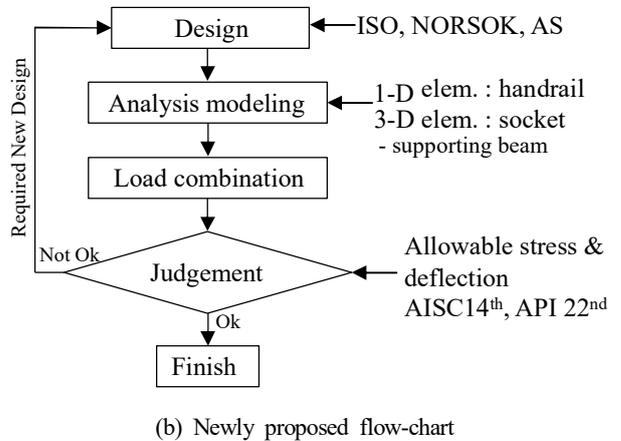
3.2 구조 강도 평가 프로세스

현존하는 국제코드를 적용한 알루미늄 핸드레일 구조설계 방법은 소켓을 제외한 구조부재에 대한 평가를 수행하고 있다. 6xxx 합금 재료는 필연적으로 용접에 의한 열영향부(heated affected zone)가 발생하여 구조 강도가 취약해지며, 이를 회피하기 위해서 소켓 연결부를 필수 부재로 사용해야 한다. 이 소켓은 핸드레일 포스트-칼럼(post-column)의 치수를 결정하는 데 중요한 역할을 하므로, 일체화 모델링 후 구조 강도 검토가 필요하다.

따라서 Fig. 5는 기존의 방법과 본 연구에서 제안하는 신규 절차 구성에 대해 비교하였다. 기존 방법(Fig. 5-(a))은 소켓의 구조 모델링을 포함하지 않는 1D 빔 요소를 사용하고, 제안 방법은 유한요소해석 모델링 기반이며, 소켓과 post 경계부위에 대한 상세 검토를 위하여 솔리드 요소를 적용한다. 나머지 하중 전달 부재는 1D 빔 요소로 구성한다. 제안 평가 절차의 핵심은 소켓을 핸드레일과 일체화 모델링 하고, 통합적인 구조 강도 평가를 수행하는 절차이다.



(a) Previous analysis flow-chart



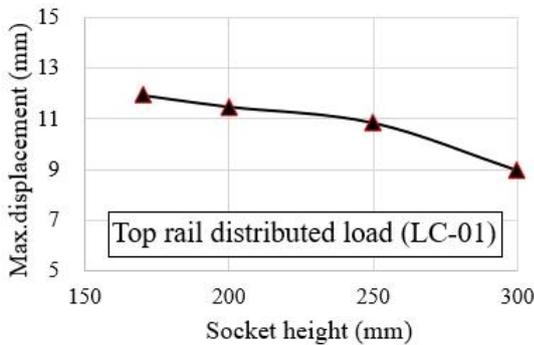
(b) Newly proposed flow-chart

Fig. 5. A comparative analysis flow-chart with/without socket modeling.

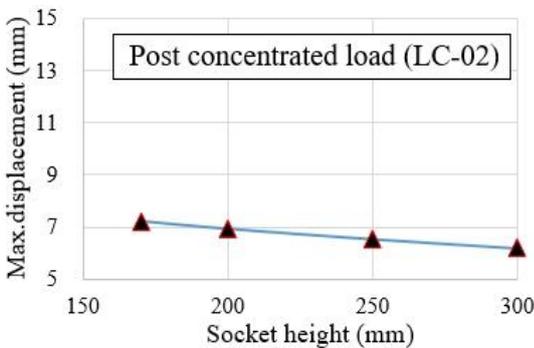
3.3 구조 안전성 평가 기준 및 결과

알루미늄 핸드레일 구조 안전성 검토 시, 연결 부재 상호 간의 영향을 고려하여, 국제기준에서 규정하고 있는 허용 처짐 양(20 mm)을 만족해야 한다. 주요 구조 안전성 평가 항목에 대해 AISC(2005)/API(2014) 국제기준을 적용하였다. AISC의 경우에는 단면이 원형이 아닌 모든 경우에 적용 가능하며, API는 원형 단면에 대해서만 구조 강도 평가 기준이 제시되어 있다.

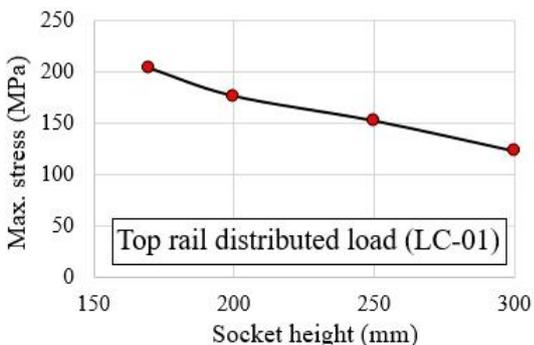
소켓의 압출 시 잔류변형 및 압출 수율이 가장 좋은 조건인 두께 12 mm로 산정하고, 소켓의 높이 변화에 따른 응력과 처짐 변화를 Fig. 6에 비교하고 있다.



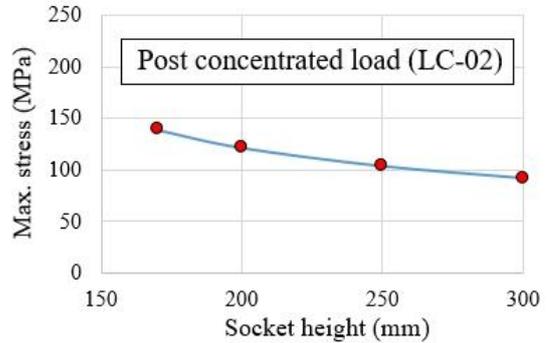
(a) Displacement result varying socket height : LC-01



(b) Displacement result varying socket height : LC-02



(c) von-Mises stress result varying socket height : LC-01



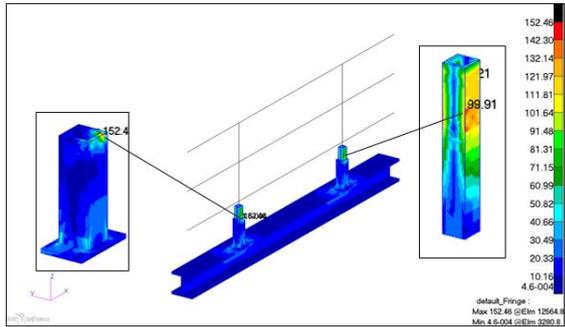
(d) von-Mises stress result varying socket height : LC-02

Fig. 6. A comparative results both displacement and von-Mises stress varying socket height according to load conditions.

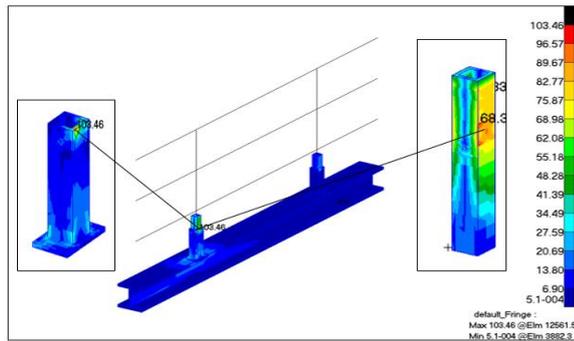
LC-01 조건에서는 소켓의 높이 변화가 250 mm까지는 최대 변위 상대 차이가 작지만, 300 mm에서는 변위 증가량이 크게 나타나며, Fig. 6(a)과 같다. 수직 기둥부(post)의 끝단에 하중이 작용하는 경우(LC-02)는 소켓의 높이가 증가할수록 변위는 증가하지만 그 변화 수치는 1 mm 이내로 나타나며, Fig. 6(b)에서 확인 가능하다. 소켓 높이 변화에 따른 최대 응력 변화는 LC-01에서 상대 응력 차이가 LC-02에 비해서는 크게 나타났으며, 이러한 경향은 처짐의 결과와 유사함을 Fig. 6(c)과 (d)에서 비교하고 있다. 핸드레일 구조설계 변경에 지배적인 하중조건 2가지(LC-01, 02)에 대한 변위와 응력에 대한 결과를 통하여, 모든 조건에서 허용기준을 만족하지만 향후 유지 및 보수 관점에서 결과 값의 변화 비율이 낮은 소켓 높이 250 mm 조건을 최적이라고 판단하였다.

두 가지 하중 조건(LC-01, LC-02)에 따른 소켓 높이 250 mm 조건에서의 von-Mises 응력 결과를 Fig. 7에 비교하고 있다. 최대 응력 발생 위치는 소켓 끝단과 수직 기둥부가 최초 접촉하는 곳과 소켓의 하단 경계부이다. 이 부위는 선 접촉이 발생하는 위치로서, 제작 공차를 최소화하여 핸드레일의 이동 범위를 제한하는데 중요한 역할을 수행한다.

작업용 플랫폼을 구성하고 있는 H-beam과 소켓 이면부에 back bracket 유/무에 따른 비선형 구조 붕괴 거동 관계를 Fig. 8에 나타내고 있다. 작용하중이 가장 보수적인 조건(LC-01)에서 하중증가에 따른 변위 변화량을 확인하기 위해서, 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 재료의 비선형성과 기하학적 비선형을 동시에 고려하였으며, 하중과 변위 모두를 제어할 수 있도록 arc-length 방법에 의한 증분 계산을 통하여 근사 해를 계산하였다. 브래킷이 없는 경우, 하중작용이 시작하면서 처짐은 증가하며, 2kN 이상부터 변화량이 크게 나타난다. 처짐 증가(123%)로 인하여 최종강도 조건에서의 최대하중도 브래킷 있는 경우에 비교하여 88% 낮게 계산되었다.



(a) von-Mises stress under LC01



(b) von-Mises stress under LC02

Fig. 7. A comparative von-Mises stress for socket and post.

발주처 입장에서는 탑사이드(top-side) 내 작업공간을 최대한 확보하기 위해서는 핸드레일 소켓을 하부지지 H-beam과 이격 설치를 선호한다. 이러한 경우, 이면 브래킷을 시공하여 최종강도 감소에 대한 대안으로 사용할 수 있다는 사실을 Fig. 8의 결과를 통하여 확인할 수 있다.

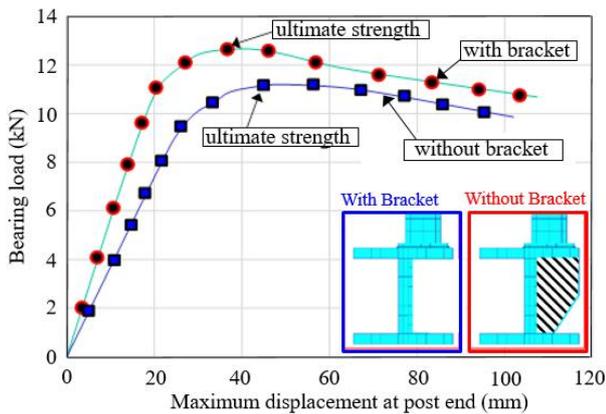


Fig. 8. A comparative results according to with/without back bracket under post-end.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 해양플랫폼 탑사이드에서 주로 사용되고 있는 알루미늄 핸드레일에 대한 합리적인 구조 강도 평가 절차 및 해석 모델링 방법에 대한 제시와 함께, 그 결과에 대한 검증은 수치 해석적 기법에 의하여 수행하였다. 소개된 주요 절차 및 결과들은 관련 업계에 종사하는 엔지니어들이 더 손쉽게 하중 추정, 적용 및 해석까지를 체계적으로 따라 할 수 있을 것으로 기대된다. 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- [1] 개량된 알루미늄 합금 소재의 재료적 물성 평가를 위하여 인장시험을 수행하였으며, 평균 항복강도는 390 MPa이다. 이 합금 소재는 조선 및 해양프로젝트에서 사용되고 있는 카본스틸을 대체하는데 유용하게 사용될 것으로 기대된다.
- [2] 핸드레일 실험 하중은 ISO 기준, 구조 강도 허용기준은 AISC, API를 인용하였으며, 최대허용 처짐은 NORSOK에서 제안하는 값을 제안하였다. 이 조합평가 방법은 현존하는 알루미늄 의장재의 구조 안전성 평가를 하는데 있어서, 합리적이라고 판단한다.
- [3] 기존 핸드레일 평가에서는 소켓은 평가 대상이 아니며, 본 연구에서 검증하였듯이 소켓은 핸드레일 전체의 처짐과 응력 결과에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 소켓에 대한 구조강도 평가를 반드시 포함해야 하고, 합리적인 평가 절차서도 제정 되어야 한다.
- [4] 소켓과 수직 기둥부의 조립 상태를 모델링에 반영하여, 구조강도 해석을 수행하는 방법을 새롭게 제안하였고, 소켓의 높이에 따른 응력과 변위 변화량에 대한 시리즈 해석 분포를 통하여 변화율 변화 비율이 일정한 소켓 높이 250 mm를 최종 선정하였다.
- [5] 핸드레일과 하부 지지구조가 이격 배치 시, 소켓 이면부에 브래킷을 보강함으로써 핸드레일 지지 하중을 약 11% 증가시키는 효과를 확인하였다. 브래킷의 두께, 개수에 따라서 추가적인 보강 효과는 개선이 가능하다.

향후 연구과제로서는 제안된 평가법과 유사한 결과를 도출할 수 있는 빔 요소 모델링 기반 해석 코드를 개발하여, 상세한 유한요소해석을 수행하지 않고도 설계안에 대한 구조 강도 검토가 가능한 사용자 편의 프로그램을 개발하는 것이며, 이러한 연구를 위하여 본 연구에서는 기초적인 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] AISC(2005), American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings, Chapter B-H, pp. 10-76.
- [2] API(2014), American Petroleum Institute, API Recommended Practice 2A-WSD, Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design, Chapter 4-7, pp. 5-86.
- [3] ASTM E8/E8M Standard Test Method(2008), Tension test of metallic materials, pp. 1-28.
- [4] BS EN 16116-1(2013), Railway Applications - Design Requirements for Steps, Handrails and Associated Access for Staff, Part 1: Passenger Vehicles, Luggage Vans and Locomotives.
- [5] David, E. and P. E. Billingsley(2018), BOL Aluminium Railing System Load Analysis, 2012 IBC/IRC project, pp. 3-28.
- [6] EN ISO 14122-3(2011), Safety of Machinery - Permanent Means of Access to Machinery, Part 3: Stairs, Stepladders and Guard-rails, International Organization for Standardization.
- [7] Kim, S. W., D. S. Park, and C. H. Lee(2006), Structural Performance Evaluation of Tempered Glass Guard and Handrail System Based on Full-Scale Test, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 22, pp. 43-52.
- [8] Kim, Y. H., J. S. Park, H. C. Shin, S. J. Kim, D. K. Park, Y. C. Ha, and J. K. Seo(2020), A Review of IOSS Design Standardization Technology for Aluminium Alloy Handrail of Offshore Platform, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 34, pp. 208-216.
- [9] Park, C. J.(2004), Improvement of Handrail Slippage Characteristics Using Multi-Body Dynamic Analysis Technique, Transaction of the Korean Society Mechanical Engineers, Vol. 28, pp. 1422-1428.
- [10] Park, J. S. and J. K. Seo(2017), Deformation-Based Design Method of Aluminium Helideck for Eurocode 9, Journal of Applied Mechanical Engineering, Vol. 6, Issue 2, pp. 1-8.
- [11] MSC Software(2012), Patran 2012 User's Guide, Chapter 6, Material modeling, pp. 125-136.
- [12] NORSOK(2004), Design of steel structures, Rev.02, Chapter 7, pp. 45-46.

Received : 2022. 01. 12.

Revised : 2022. 02. 28.

Accepted : 2022. 04. 27.