Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 26, No. 6, pp. 698-705, October 31, 2020, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2020.26.6.698

고강도 알루미늄 합금을 적용한 수직 사다리 개발 연구

김성준* · 서광철** · 박주신***†

* 푸른중공업 연구소장, ** 목포해양대학교 조선해양공학과 교수, *** 삼성중공업 중앙연구소 수석연구원

Development of the Vertical Ladder using a High-Strength Aluminium Alloys (6082-T6)

Jae-hyeong Kim* · Kwang-Cheol Seo** · Joo-Shin Park***†

* Research Director, GHI Group, Yeongam 58451, Korea

** Professor, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

*** Principal engineer, Central Research Institutes, Samsung heavy industries, Geoje 53261, Korea

요 약 : 본 논문에서는 해양플랜트에 주로 사용되는 알루미늄 사다리의 독자 모델을 개발하기 위하여, 개량형 알루미늄 합금(6082-T6)을 적용하고 국제 기준에 부합한 구조강도 설계를 하였다. 국제기준은 ISO, NORSOK, Austria Standard를 참고하였으며, 모든 조건이 만족할 수 있도록 하중 조합을 하였다. 설계된 모델은 유한요소법 [Finite elements method]을 근간으로 하는 해양플랜트 전용 해석프로그램인 SACS를 사용하여 구조 안전성을 검증하여 응력 및 처짐이 모두 허용기준 이내에 만족함을 확인하였다. 개발모델은 모든 허용기준을 만족하면서도 가볍고, 생산성이 향상되어 향후 많은 분야에서 사용이 될 것으로 기대해본다.

핵심용어 : 국제기준, 알루미늄 사다리, 해양플랜트, 개량형 알루미늄 합금, 유한요소법

Abstract : *In this study, an improved aluminum alloy (6082-T6) was used to develop a unique model of an aluminum ladder for usage in offshore plant. The structural strength design was carried out in accordance with international standards such as ISO, NORSOK Austria Standard. Load combination was performed to satisfy all conditions. The structural safety of the designed model was verified using SACS, an analysis program for offshore plants based on the Finite elements method. The analysis results confirmed that both stress and deflection were satisfied within the acceptance criteria. The developed model can be applied used in various fields in the near future as it meets all the necessary criteria and is lightweight and has improved productivity.*

Key Words : *International code, Aluminium ladder, Offshore plants, Improved aluminium alloys, Finite element method*

1. 서 론

본 논문의 개발 대상인 알루미늄 사다리는 육상 플랜트 설비(발전소, 저장설비) 및 해양플랜트 설비(FPSO, Jack up rig, Fixed Platform, Drillship) 등에 사용되는 의장재인 Handrail, Stair, Ladder/cage, Safety gate, Grating, Flexible barrier, Platform 의 한 종류이다. 해양플랜트 프로젝트 수행 시 초기 설계안 대비 탑사이드(Topside)의 중량이 증가하여 중량 관리를 어떻게 하고, 어떤 전략을 수립해야 하는지가 설계의 주요 목적함수이다. 해양플랜트의 경우 이러한 무게증가는 하부 부유 설비의 저장 용량 및 부력을 고려하여 상부 구조물의 중량 관리가 필수적이기 때문에 선주사와 조선소에서는 기존 스틸 부재를 대체할 수 있는 알루미늄 합금을 확대 적용하여 중량 절감을 하려는 다양한 시도를 하고 있다. 그러나 구조물 설계 시 다양한 극한환경 및 운영조건의 특성을 견딜 수 있는 강도와 인성을 요구하는 주 부재 및 부 부재의 경우는 구조 안전성 측면에서 정밀한 재료적·강도 같은 설계기준 적용이 필요하여 혁신적인 중량 감소는 어려움이 있으나, 의장재(Tertiary Member)는 비강도 부재로 상대적으로 기능적 설계기준(Functional Requirement)과 대규모 사용물량으로 탄소강 대비 알루미늄 합금강, 스테인리스강, 니켈광, 인바 합금 및 GRP 재질이 중량감소 측면에서 효율적인 대안으

* First Author : ghigroup@naver.com, 061-464-0900
† Corresponding Author : scv0076@nate.com, 055-630-9613

로 검토 적용되고 있다. 이중 알루미늄 합금은 높은 강도 대비 중량비, 뛰어난 내식성, 가공성이 우수한 친환경적인 재료로 널리 알려져 있고 구조재로 적용성이 점점 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 개량형 알루미늄 합금 소재를 적용한 수직 사다리 개발에 관한 엔지니어링 주요 결과들을 소개하고자 한다.

본 연구와 관련된 기존의 선행연구를 아래와 같이 요약하였다.

Park(2003)는 한국과학기술원, 한국기계연구원 공동으로 국책과제로 고강도 알루미늄 주조 합금의 개량개발 과제를 수행하였다. 주요 결과물로서는 주조결함을 제어하여 인장강도 420MPa, 연신율 10%의 특성을 갖는 고강도 고연성 알루미늄 주조 합금을 개발하였다. 개발안은 시제품으로 제작하여 X-ray등급 C-grade 이상으로 규격을 만족하였으며, 치수검사도 통과되었다. 개발 합금을 열처리 및 그에 따른 잔류응력을 조사하였으며, 시효처리 시 170도에서 5~6시간 시효하면 가장 높은 경도 값을 보였다. 잔류응력의 측정결과 Uphill-quench를 통한 응력감소보다는 열처리에 의한 응력감소 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 개발 합금은 군수 부품인 장갑차용 발사체용 사출 판과 고속전철용 clamp ring, 자동차용 carrier 등 제품 생산에 적용되고 있다.

Bouzid(2014)는 작업용으로 사용하고 있는 길이 연장 기능형 사다리의 작업 하중에 따른 프레임 좌굴 강도에 관한 연구를 수행하였다. 비선형 유한요소해석을 통하여 좌굴 이후의 거동을 하중 조건별로 계산하였으며, 작업자의 이동 및 바닥 면과 사다리 지지점의 sliding 효과도 고려하였다. 연구에서 최종적으로 제안하는 아이디어는 길이연장부 구조에서 수직 하중을 완화할 수 있어야 사다리 프레임이 좌굴 붕괴하는 것을 예방할 수 있으며, 지지점의 sliding 효과를 최소화하는 것이다.

Budianto et al.(2017)는 여객선에서 주로 사용하고 있는 사다리에 대한 구조 안전성을 인도네시아 선급 규칙을 적용하여 검토하였다. 재질은 Mild steel만을 고려하였으며, 유한요소해석 프로그램을 이용하여 응력 및 변형을 계산하고, 선급 허용치와 비교하였다. 모든 조건에서 허용기준 이내로 만족하였으며, 실선 적용에 문제가 없음을 검증하였다.

Contractor et al.(2015)는 트럭에서 사용하는 Chassis 구조의 설계안 확정을 위하여, 유한요소해석 프로그램(workbench)을 이용하여 구조 안전성 검증을 수행하였다.

초기 안에 대해서 Beam 이론을 이용하여 휨 응력 안전계수가 충분함을 확인하였으며, 상세 유한요소해석을 통하여 결과를 비교하였다. 요소는 10노드 테트라 솔리드요소를 채택하였고, 연결지점의 상세 평가를 위하여 요소의 크기는 2 mm 내외이다. 이론치의 계산 결과와 비교 시 유한요소해석의 결과가 약 10 % 크게 평가되었으며, 모두 허용기준을 만족하였다.

Singh et al.(2008)은 버스와 트럭을 구성하는 구조부재 중 Chassis의 단면형상에 따른 구조 안전성 검토를 위하여 유한요소해석 프로그램을 통한 시리즈 계산을 수행하였다. 프레임의 단면형상은 Channel, H-beam, Rectangular, Cross X 네 가지를 고려하였으며, Cross X 단면이 중량증가 대비 구조 강도 보강 비율이 가장 우수하였다. 논문에서는 Cross X 단면은 제작성 효율이 떨어지기 때문에, 국부적으로만 적용하고 나머지 구조는 Rectangular 프레임을 권고하였다.

Hossain et al.(2018)은 알루미늄 합금(7075)의 인장 하중 테스트조건에서 재료의 점진적인 파괴 개념을 고려한 유한요소해석 절차서를 개발하였다. 하중증가에 따른 강성 감소와 붕괴모드에 따라서 유한요소 메쉬의 적분 점이 줄어들도록 알고리즘을 구성하였으며, 재료의 인장 테스트 결과를 기반으로 시뮬레이션하도록 구성하였다. 실험값과 시뮬레이션 예측치는 같은 값을 나타냈으며 시뮬레이션의 정확도를 향상하기 위해서는 많은 재료 물성 데이터를 확보해야 한다.

본 연구에서는 고강도 알루미늄 합금 재질을 적용하여 해양플랜트용 수직 사다리 설계안 및 적용성을 검증하기 위한 구조 안전성 검토 결과에 대해서 언급하고 있다. 본 연구를 통하여 도출된 주요 결과는 해양플랜트의 알루미늄 의장재 구조 안전성 평가 분야에 관련한 기초적인 자료로 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

2. 알루미늄 사다리 설계

2.1 알루미늄 사다리 설계

Fig. 1에서는 본 논문의 주요대상인 알루미늄 수직 사다리에 대해서 나타내고 있다. 사다리는 육상 및 해상플랜트에서 작업자의 이동수단으로 활용되고 있으며, 알루미늄 합금 재료는 해상플랜트에서 주로 사용되고 있다.

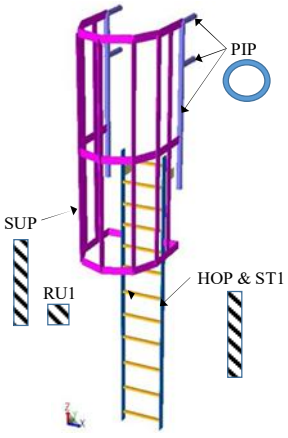


Fig. 1. Configuration of the vertical ladder.

그 이유는 해상 부식환경에 충분히 견딜 수 있어야 하고, 비중이 일반 스틸에 1/3 가벼우므로 중량 관리에 우수한 재료이기 때문이다. Table 1에서는 수직 사다리의 주요 구조부재별 부재의 속성 정보를 나타내고 있다. 핸드레일을 제외하고는 모든 부재가 Non-tubular로 구성된 특징을 갖고 있다.

Table 1. Member lists and detailed information

Section ID	Member section	
	Shape	Plan & design
HOP	Flat bar	FB 75 × 10
PIP	Pipe	Φ 50 × 3
RU1	SQ. bar	SQ. Bar 25 × 25
ST1	Flat bar	FB 75 × 10
SUP	Flat bar	FB 100 × 10

2.2 개량 알루미늄 합금 인장 테스트

알루미늄 합금은 계열별 번호에 따라서, 합금을 이루는 성분비의 범위가 정해져 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 물성값을 이용하였다. 개량된 알루미늄 합금을 완성하기 위해서는 열처리 시간을 기존 6시간에서 4시간으로 줄이고, 압출 시 Ram speed를 7.5 mm/sec에서 6.2 mm/sec으로 조정하여 달성하였으며, 사용된 합금 조합비를 Table 2에 나타내고 있다. 가장 우수한 강도 특성치는 Model-4 조건에서 얻을 수 있었다.

Table 2. Summary of the combination for aluminium alloys

ID	SI	Mg	Mn	Cr
6082 (Spec.)	0.7-1.3	0.6-1.2	0.4-1.0	0.25 ↓
Model-1	0.86	0.71	0.50	0.11
Model-2	0.85	0.92	0.52	0.10
Model-3	0.84	1.12	0.52	0.11
Model-4	1.17	0.70	0.49	0.10
Model-5	1.15	0.91	0.51	0.11
Model-6	1.15	1.11	0.51	0.10

개량된 알루미늄 합금의 기계적 물성값을 확인하기 위하여, ASTM 테스트 기준(ASTM, 2008)에 따라, 총 4개의 환 봉 시편을 제작하였으며, 형상과 제원은 Fig. 2와 같다. 이 실험은 상온에서 특정 형상에 대한 금속 재료의 인장시험에 대한 내용을 다루고 있으며, 특히 항복강도, 항복점 연신율, 인장강도, 그리고 단면 수축율을 결정하는 방법에 대해 나타내고 있다. 대부분의 원형 시편에서 게이지 길이는 E8의 경우 직경의 4배, E8M의 경우는 5배이다. 실험은 한국화학융합시험연구원에서 수행하였으며, MTS Series 40 전자기계식 만능재료시험기를 이용하였다. 실험 결과 중 두 번째 시편의 응력-변형률 관계를 Fig. 3에 나타내고 있다. 최종강도는 402 MPa 수준이며, 재료의 파단은 17 %에서 발생하고 있다.

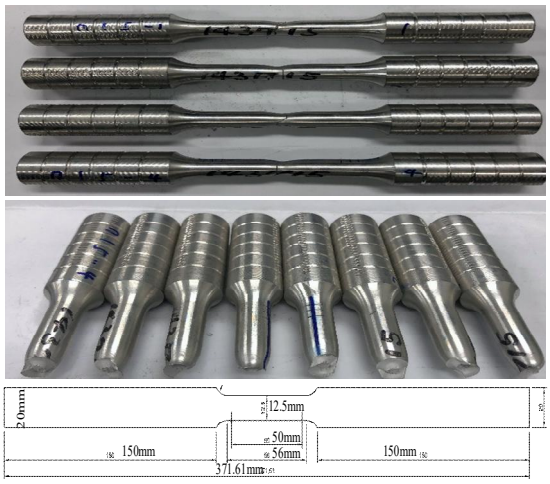


Fig. 2. Specimens of the improved aluminium alloys.

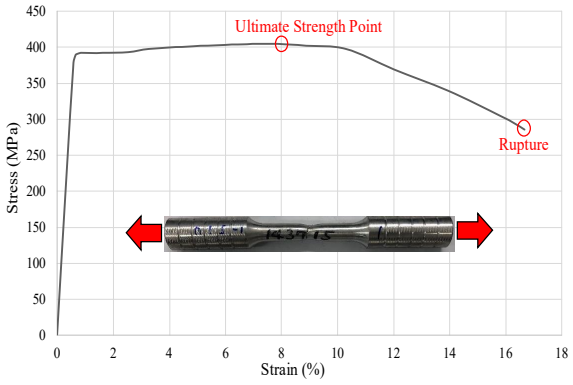


Fig. 3. A relationships of between stress and strain curve under tensile strength test.

총 4개의 시편에 대해서 인장 테스트를 수행하였으며, 항복강도, 인장강도 그리고 파단이 발생하는 변형률을 Fig. 4에서 비교하고 있다. 항복강도의 평균은 390 MPa이고 인장강도는 402 MPa, 파단 변형률은 17.5 %이다. 개량형 알루미늄 합금의

경우, 목표로 한 항복강도 320 MPa을 충분히 만족하는 물성값임을 실험을 통하여 검증하였으며, Table 3에서는 구조 강도 검증을 위하여 사용된 재료의 물성치값을 나타내고 있다. 실험계측을 통해서 얻은 항복강도, 인장강도는 본 연구에서 목표로 하는 최소 물성값보다 크게 나왔지만, 범용으로 사용하면서 발생할 수 있는 재료 물성값 하한값을 정하기 위하여 항복강도 320 MPa을 설계기준 값으로 결정하였다. 용접 구속이 발생하는 부재는 열영향부에 의한 항복강도 감소를 50 % 적용하였다.

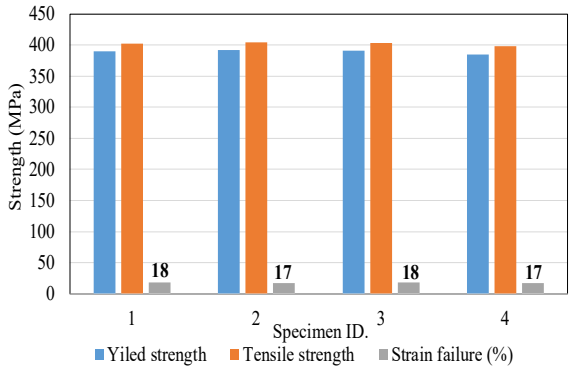


Fig. 4. Specimens of the improved aluminium alloys.

Table 3. 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.) 320 MPa (target value)
Tensile Strain at break	17 %

3. 유한요소해석 및 고찰

3.1 모델링 및 경계, 하중 조건

본 연구에서는 유한요소법(Finite Element Method)을 근간으로 하여 공학용 해석이 가능한 상용프로그램인 SACS V.11.3 (Offshore Structural Analysis Software, 2018)을 이용하였다. 모델링은 2개의 조인트를 갖는 이상화된 빔 요소를 적용하였으며, 빔은 AISC(2005)/API(2014)에서 제공하는 라이브러리를 적용하여, 설계하중에 대해 구조적인 응답이 정확하게 구현하도록 반영하였다. 해석에 사용된 유한요소 수는 98개이며, 전체적인 처짐 형상 및 응력 결과 판단 시 충분한 자유도 조건이며, 연구에서 구조 강도 검증하고자 하는 알루미늄 수직 사다리의 환경 하중, 작업 하중 및 자중을 적용하였다. 해석의 경계조건은 수직 사다리의 시작점과 끝나는 점 네 곳은 용접으로 구조와 결속되어 있고, 안전펜스 상부 4개소가 용접조건이라서 6자유도 고정조건을 Fig. 5에 나타내고 있다.

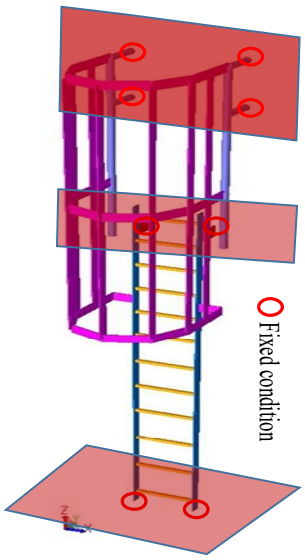


Fig. 5. Analysis model and boundary condition.

풍하중은 설치 해역의 계측 정보를 기반으로 설계에 사용할 풍속을 결정해야 한다. 본 연구에서는 가장 가혹한 환경조건을 고려하기 위하여, 북해에 투입되는 해양플랜트를 고려하였다.

풍하중 계산을 위해서 DNVGL(2015)에서 제시하는 식(1)을 이용하였다.

$$V(t,z)=v_R^*\left[1+0.137\ln\frac{z}{z_o}-0.047\ln\frac{t}{t_0}\right] \quad (1)$$

where,

v_R^* : Reference speed z = 10 m and t = 10 minutes

z : Distance from the still water level to COG of unit

z_0 : Reference height (= 10 m)

t : 3 seconds

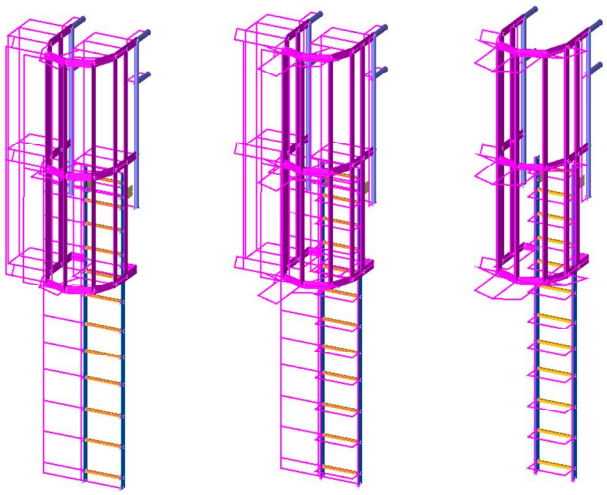
t_0 : Reference time = 10 min

개발모델에 대한 구조 안전성을 평가하기 위한 하중 조건은 아래 Table 4와 같다.

Table 4. Summary of loading condition

Loading condition	Value	Reference
Step load	1.2kN	ISO 14122-4 (2004)
Wind load (0 deg.)	1.69kN	DNVGL RP C205 (2015)
Wind load (45 deg.)	1.19kN	DNVGL RP C205 (2015)
Wind load (90 deg.)	0.39kN	DNVGL RP C205 (2015)

주요 환경 하중인 풍하중은 아래 그림 Fig. 6과 같이 45도 간격으로 고려하였다.



(a) 0 degree (b) 45 degrees (c) 90 degrees

Fig. 6. Loading contour of the wind load.

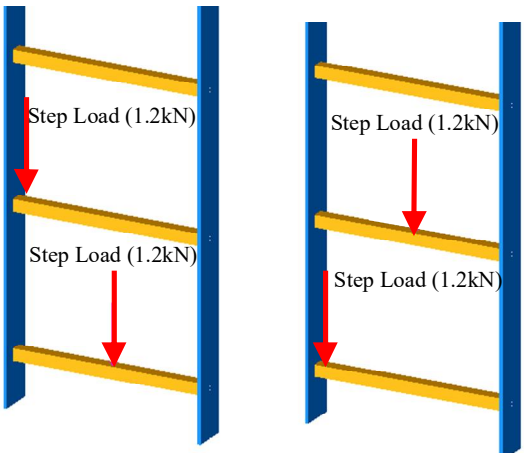


Fig. 7. Loading contour of the step load.

작업자의 이동에 따라서 발생하는 스텝 하중은 1.2 kN을 결정하였으며, 한 개의 스텝에 가장자리 2개소와 중앙부 1개소를 고려하였으며, Fig. 7과 같다.

3.2 구조해석 결과

알루미늄 수직 사다리 구조 안전성 검토 시, 연결 부재 상호 간의 영향을 고려하고, 설계조건에서 고려한 하중 등이 작용할 때 허용기준을 만족해야 한다. 허용기준은 응력과 변위로 구성되며, 두 가지 모두를 만족해야 한다. 앞서 언급한 주요 구조 안전성 평가 항목에 대해 AISC(2005)/API(2014) 국제기준에서 제안하는 구조 안전성 평가법을 적용하였다. AISC의 경우에는 단면이 원형이 아닌 모든 경우에 적용 가능하며, API 기준은 원형 단면에 대해서만 구조 강도 평가 기준이 제시되어 있다. 부재의 단면 형상 및 세장비에 따라서 분류되며, 두 가지 이상의 하중이 작용된 조합하중 상태로 구조물의 안전성을 평가하도록 구성되어 있으며, 현존하는 가장 신뢰할 만한 국제 평가 기준이다.

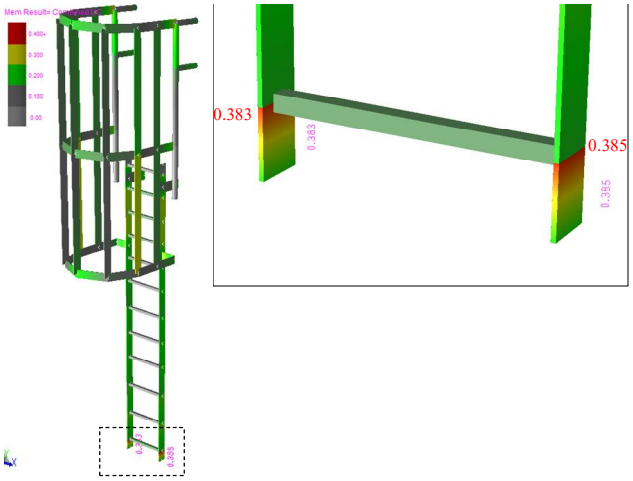


Fig. 8. Combined unity check contour under combined environmental and step loads.

구조해석 결과 풍하중 방향이 0도이고, 작업자의 스텝 하중이 경계지점 상단에 작용했을 때 측면지지 서포터의 끝단에서 최대 응력이 발생하였다. 응력 비율로 보면 허용기준에 비교하여 38 % 수준으로 안전 마진이 충분함을 Fig. 8에 나타내고 있다. 최대 조합 응력이 발생하는 부재에서의 외력 하중 조건에 의해서 발생하는 최대 응력과 허용응력을 각 하중 성분별로 정리하여 Table 5에 나타내고 있다. 횡 방향 하중 작용 때문에, 부재는 휨 거동을 하며, 최대 조합 응력은 AISC 기준에 의해서, 휨 응력과 축 응력 성분 두 가지를 조합하여 평가하였다.

Table 5. Summary of stress results for critical member

Loading condition	Allowable Stress (MPa)	Actual Stress (MPa)	Units Ratio*
Axial Tension	62.18	1.70	0.01
Shear	44.91	0.93	0.02
Axial compression	62.18	1.70	0.01
Bending-Y	108.17	0.07	0.00
Bending-Z	112.28	41.60	0.37
Flange shear	44.91	0.61	0.00
Euler buckling	176.32	1.70	0.01

* Units Ratio: Actual stress / Allowable stress
→ Combined unity check value = 0.01 + 0.37 = 0.38 (AISC)

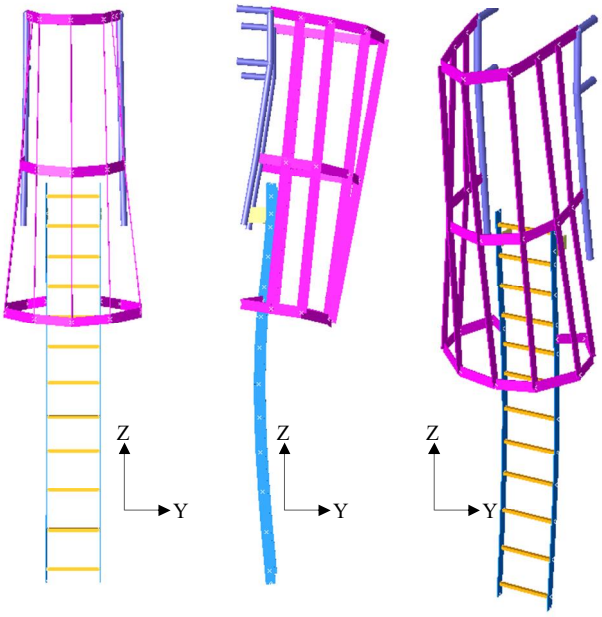


Fig. 9. Deformed shape under combined environmental and impact loads (PLAN-view).

최대 처짐조건은 풍하중 방향이 180도와 스텝하중 조합조건이며, 최대 처짐량은 3 mm이고 안전펜스의 상단부에서 발생하였고, Fig. 9와 같다. 처짐량에 대한 허용기준은 NORSOK (2004)에서 제시(Span/200)하고 있으며 5.5 mm이며 현재 설계안은 만족함을 확인하였다.

3.3 용접부 구조강도 평가

SACS 프로그램을 통한 주요 부재의 구조강도 평가가 완료되면, 용접부에 대한 강도 검토가 필수적으로 수행되어야 한다. 지금까지의 용접부 강도에 대한 평가는 상세히 검토되지 않고, 모재와 붙는 판중 큰 두께의 50 % 혹은 70 %만큼의 각장을 반영하고 있다. 그러나, 구조에 따라서 용접부에 작용 되는 하중 성분 및 크기는 아주 다양하게 존재하며, 이러한 영향을 무시한 채 일괄되게 적용하는 방법은 중량증가 및 용접량 과다로 인한 변형이 문제가 된다. 본 연구에서는 DNVGL 선급에서 제시하는 용접부 강도 평가 방법을 적용하여 최소 각장을 계산하였다. 유한요소해석에서 용접부 비드에 작용하는 응력을 확인하기 위해서는 비드 모델링을 3차원 솔리드 요소를 사용하여 작성해야 하지만, 구조물이 복잡할 경우에는 이러한 모델링을 할 경우 데이터가 커지게 되어 오랜 계산시간이 필요하게 된다. 따라서, 일반적인 빔과 쉘 모델링에서 쉽게 용접부 비드에 작용하는 응력을 확인하기 위하여 용접부 근처 요소의 응력방향과 크기를 동일하다고 가정하여 계산하며, Fig. 10에서 나타내고 있다. 이 계산방법은 식(2)와 (3)을 모두 만족해야 하며, 불만족시에는 용접각장을 증가시키도록 되어 구성되어 있다.

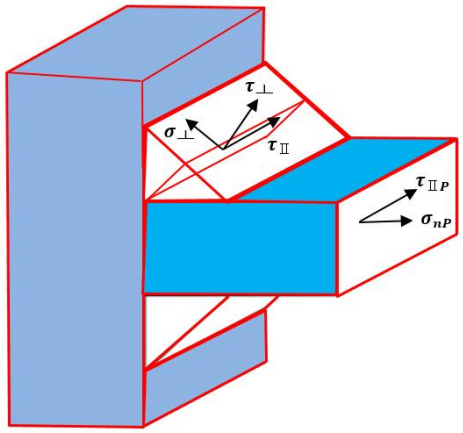


Fig. 10. Stress components for welding bead.

DNVGL에서 제시하는 용접강도 평가 방법은 식(2)와 (3)을 동시에 만족해야 하며, 작용 응력은 유한요소해석 혹은 수계산을 통하여 결정되어야 한다. 재료와 용접봉의 인장강도를 확인한 후, 부재의 두께와 최초 용접각장을 결정한 후, 계산에 의해서 결정된다. 최대응력이 발생하는 용접부위의 두께는 7 mm로서 일반적인 최소용접각장은 두께의 70 %인 4.9 mm를 적용해야 한다. 실제 유한요소해석을 통하여 구해진 응력 기반으로 용접 각목을 계산한 결과, 2 mm만 하더라도 만족하였다. MIG 초층 용접이 최소 3 mm 발생하기 때문에, 설계모델에는 3 mm 각장을 적용하였고, 기존 방식대비 1mm 줄어들었다. 계산식(2)와 (3)에 사용된 주요 인풋과 계산 결과를 Table 6에 나타내고 있다.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2+3\left(\tau_{II}^2+\tau_{\perp}^2\right)} \le \frac{f_u}{\beta_w}\eta_o \quad (2)$$

$$\sigma_{\perp} \le f_u\eta_o \quad (3)$$

where,

$\sigma_{\perp}$: Normal stress perpendicular to the throat

$\tau_{\perp}$: Shear stress (in plane of the throat) perpendicular to the axis of the weld

τ_{II} : Shear stress (in plane of the throat) parallel to the axis of the weld

f_u : Nominal lowest ultimate tensile strength of the weaker part joined

β_w : Appropriate correlation factor

η_o : Basic usage factor

Table 6. Summary of main inputs to calculate the welding strength

Loading condition	Actual stress (MPa)	Remark
τ_{II}	104	Shear stress parallel to the axis of the weld
$\tau_{\perp}$	17.68	Shear stress perpendicular to the axis of the weld
thickness	10mm	
f_u	400	Nomina; ultimate tensile strength of the weaker part
β_w	0.86	Correction factor
η_o	0.40	Material factor
Equivalent Stress	183.57	
Allowable criteria-1	186.05	
Allowable criteria-2	160.00	

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구논문에서는 해양플랜트에서 주로 사용되고 있는 알루미늄 수직 사다리의 중량을 감소시키면서, 항복강도를 증가한 모델 개발에 관련된 엔지니어링 검토 결과를 나타내고 있다. 개발을 위하여, 초기 설계안에 대한 구조 안전성 검토를 유한요소해석을 활용하여 분석 및 검증하였다. 관련 업계에 종사하는 엔지니어들이 더 손쉽게 하중 추정, 적용 및 해석까지를 체계적으로 따라 할 수 있도록, 중요한 평가법에 대해서 언급하였으며, 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

[1] 개량된 알루미늄 합금소재의 재료적 특성치 평가를 위하여 인장시험을 수행하였으며, 평균 항복강도는 390 MPa이다. 이 합금소재는 주요 구조강도 부위에 확대 적용이 가능할 것으로 기대된다.

[2] 사다리 스텝 하중은 ISO기준, 풍하중은 DNVGL 선급을 이용하고, 구조강도 허용기준은 AISC, API를 적용하였다. 최대허용 처짐은 NORSOK을 인용하여 수직 사다리의 구조 엔지니어링을 하는 것을 제안하였다. 이 조합평가 방법은 현존하는 모든 기준을 만족하도록 구성하였다.

[3] 최대 응력 성분은 휨 응력과 압축응력의 조합으로 결정되며, 허용응력 기준에 만족하였다. 최대처짐은 안전펜스에서 3 mm 발생하였으며, 허용기준인 5.5 mm를 만족하였다.

[4] 최소 용접각장은 2 mm로 계산되었으며, 기존대비 245 %를 줄임으로서 용접에 의한 열변형을 효과적으로 줄일 수 있다.

향후 연구과제로서는 소개된 평가법을 프로그래밍 하여, 별도의 전문적인 유한요소해석을 수행하지 않고도 설계안에 대한 구조 강도 검토가 가능한 사용자 편의 프로그램을 개발하는 것이며, 이러한 연구를 위하여 본 연구에서는 기초적인 구조성능 검토 및 절차에 대해서 검토하였다.

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] Bouzid, A. H.(2014), Failure Analysis of an Aluminium Extension Portable Ladder, Materials Sciences and Applications, Vol. 5, pp. 674-684.

[5] Budianto, M., T. Wahyudi, U. Dinata, Ruddianto, and M. M. Eko P0(2017), Strength Analysis on Ship Ladder Using Finite Element Method, The 2nd International Joint Conference on

Science and Technology, Vol. 953, pp. 10-16.

[6] Contractor, A. R., G. P. Rathod, and T. M. Patel(2015), Design and Analysis of Ladder Frame Chassis considering Support at contact Region of Leaf Spring and Chassis Frame, Journal of Mechanical and Civil Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 63-71.

[7] DNVGL offshore standrard(2015), Structural design of offshore units-WSD method, Sec. 8 Weld connections, Chapter 3.6, pp. 70-71.

[8] EN ISO 14122-4(2004), Safety of machinery - Permanent means of access to machinery, Part 4-Fixed ladders, pp. 15-33.

[9] Hossain, M. F., K. M. Shorowordi, and M. S. Islam(2018), Finite Element Analysis of an Aluminium Alloy Using Progressive Failure Algorithm, 4th International Conference on Structure, Processing and Properties of Materials, SPPM 2018, Vol. 438, pp. 1-8.

[10] NORSOK(2004), Design of steel structures, Rev.02, Chapter 7, pp. 45-46.

[11] 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.

[12] Park, S. H.(2003), Research project-Development of High Strength Aluminium Casting Alloys, Civil and Military Technology Business, pp. 15-110.

[13] SACS V.11.3(2018), Introduction of linear and nonlinear analysis and it's application of shell modeling, Vol. 2, pp. 50-65.

[14] Singh, A., V. Soni, and A. Singh(2008), Structural Analysis of Ladder Chassis for Higher Strength, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 253-259.

Received : 2020. 04. 16.
Revised : 2020. 06. 16.
Accepted : 2020. 10. 28.