



정적 비선형 해석을 이용한 블록 지지대 높이 조정 장치 개발에 관한 연구

심천식¹·천광산¹·정다슬¹·김강호¹·무티아라¹·이덕연^{1,†}·정병국²·김병화³
국립목포대학교 조선해양공학과¹
(주)HD현대삼호²
(주)MTESS³

A Study on the Development of Block Support Height Adjustment Device Using Static Nonlinear Analysis

Chunsik Shim¹·Gwangsan Cheon¹·Daseul Jeong¹·Kangho Kim¹·Mutiar Setyaning Dwityas¹·Deokyeon Lee^{1,†}·Byeongguk Jeong²·Byeonghwa Kim³
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Mokpo National University¹
HD HYUNDAI Samho Co., Ltd²
MTESS Co., Ltd³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Currently, shipyards are using ship block supports to hold various pre-erection (PE) blocks during ship construction work. The height adjustment method of the ship block support is performed by workers hammering and driving the wedge part, which requires repetitive high-load work. Accordingly, there are concerns about musculoskeletal diseases and safety accidents. To prevent safety accidents and improve work efficiency, this study developed a block support height adjustment device using a hydraulic cylinder. It was designed considering the ease of movement of the block support height adjustment device and the ease of adjusting the height of the block support by workers within the shipyard. Numerical analysis was conducted to confirm the critical points of the structural members of the designed block support height adjustment device and to verify the safety of the stress-based structure. As a result of the analysis, it was confirmed that the stress occurring at the critical point of the structural member was lower than the design allowable stress, making it structurally safe. Afterwards, the block support height adjustment device was redesigned for lightweight, and after verification of structural safety through numerical analysis, a prototype was manufactured and performance evaluation was conducted.

Keywords : Hydraulic cylinder(유압실린더), Block support(블록 지지대), Finite element method(유한요소법), Static nonlinear analysis(정적 비선형 해석), Allowable stress(허용응력)

1. 서론

조선소에서는 선박을 건조하기 위해 선대(Building berth)나 선 거(Dry dock)에서의 생산기간, 탑재공정을 단축시키기 위해 선행 탑재 방식을 사용한다. 선박 블록 제작은 소조립, 중조립, 대조립 과정을 거치며, 완성된 블록들은 Fig. 1에 보이는 것과 같이 크레인을 통해 도크나 안벽에 있는 블록 지지대에 안착하게 된다. 블록 지지대는 고중량의 블록을 안전하게 거치하고 지지대의 파손 또는 붕괴에 의한 블록 전도사고를 사전에 방지하기 위해

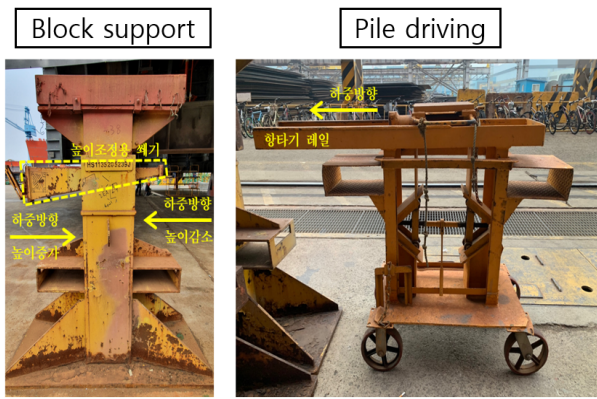
충분한 강도를 확보해야 하며, 도크와 안벽에 탑재되는 선박 블록의 위치와 형상에 따라 탑재하기 전에 지지대의 높이가 조정되어야 한다.

기존 지지대의 높이 조정하는 방식은 Fig. 2(a)의 블록 지지대의 췌기에 작업자가 2인 1조로 Fig. 2(b)과 같이 향타기를 사용하였으며, 향타기가 없을 시 망치를 사용했다.

선박 1척에 약 300개의 블록 지지대 높이 조정을 진행해야 하며, 이는 오랜 시간 반복적인 고하중 작업으로 작업자의 근골격계 질환 및 안전사고가 우려되는 실정이다. 이에 따라 작업능률이



Fig. 1 Ship block PE (HD HYUNDAI Samho Co., Ltd)



(a) Block support, (b) Pile driving

Fig. 2 Block support height adjustment device

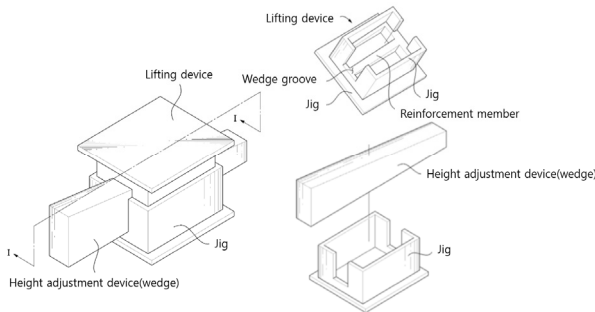


Fig. 3 Jig for adjusting the height of the LNG pump tower

향상되고, 안전사고의 위험을 대폭 줄일 수 있는 블록 지지대 높이 조정 장치의 개발은 필수적이다.

Cha (2009)는 액화천연가스선의 화물창 내부 좁은 공간에서 펌프 타워 높이 조정하는 작업을 수행하기 위해 Fig. 3과 같이 육면체 형상의 쐼지가 앞뒤로 움직이면서 상부 구조물의 높낮이를 조정할 수 있는 액화천연가스선 펌프 타워 높이 조정용 지그를 개발하였다.

Sim (2014)은 선박 건조 작업 중 용접 및 취부 작업 시 블록을 지지할 목적으로 핀 지그 높이 조정 장치를 사용하고 있음을 확인하였으며, 핀 지그의 높이 조정 방법은 블록의 형상에 따라 내부 핀을 들어 올려 높이를 맞추고, 고정 부재를 삽입 후, 미세조

정을 위한 미세 조절 볼트를 사용하여 높이를 고정하는 방식으로 운영되어짐을 설명하였다. 또한 핀 지그 높이 조정 장치는 강재로 제작된 중량물로 작업자가 수동으로 반복 작업 시 작업자에게 근골격계질환 등 안전사고가 유발될 수 있는 문제점이 있다고 주장하였다. 이를 방지하고자 핀 지그 상단에 유압실린더를 설치하였으며, 유압실린더의 램을 상승시켜 블록을 지지하고, 블록과 핀 지그 사이에 공간을 만들어 핀 지그의 미세 조절 볼트를 쉽게 조정할 수 있도록 핀 지그 높이 조정 유압치구를 개발하였다.

블록 지지대 높이 조정 장치와 같이 사용자의 안전에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 장치를 개발하기 위해서는 개발하고자 하는 제품의 구조 강도 평가가 필수적으로 수행되어야 한다. Shim et al. (2023)은 53ft 액화천연가스 탱크 컨테이너를 제작하기 위해 International Maritime Dangerous Goods (IMDG) (IMO, 2018) 등 관련 규정에 따라 설계하였으며, 정적 구조 안전성을 확보하기 위해 상용 해석 소프트웨어인 Abaqus를 활용하였다. International Organization for Standardization (ISO) 1496-3의 시험방법에 근거하여 하중조건을 설정하였고, 탱크 컨테이너 각 부재(inner vessel, stiffener ring, outer jacket, framework)에서 계산된 모든 응력은 허용응력을 만족하여 구조가 안전함을 확인하였다. 이후, 구조 강도 시험을 진행하여 ISO 1496-3에 따라 최대 변형량 및 영구변형이 설계기준을 모두 만족함을 확인하였다.

Chun et al. (2024)은 선박 또는 해양 구조물에 설치되는 배관을 지지하기 위해 사용되는 U-Bolt의 안전 작업 하중을 검증하기 위해 U-bolt 구조강도평가시험을 수행하였다. U-bolt 체결 부위에 strain gage를 부착하여 하중변위 곡선을 얻었으며, 이후 수치 해석을 통해 실험 결과의 타당성을 검증하였다. 이를 바탕으로 U-bolt의 안전 작업 하중을 추정하는 방법을 제시하였다.

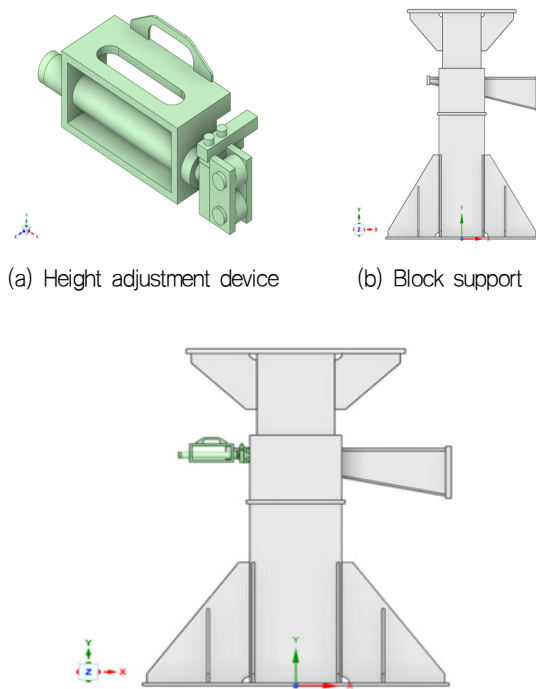
Heo and Lee (2014)는 선박 및 해양 구조물의 건조과정에 있어서 블록 운반 및 반전(turn-over) 등은 필수적인 공정이며, 운반 및 반전 시 안전성 확보를 위한 러그 자체의 구조적 안전성에 대한 중요성이 강조되고 있음을 주장하였다. 이에 따라 현장에서 주로 사용되고 있는 D형 러그(D-type lug)와 T형 러그(T-type lug)의 안전한 설계와 경제성을 판단하기 위해 상용 해석프로그램인 Abaqus를 사용하여 비선형 구조해석을 진행하였다.

현재 조선소 야드에서는 블록 지지대를 활발히 사용하고 있지만 블록 지지대 높이 조정 장치에 관한 연구와 개발 사례가 충분하지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 선박 블록 지지대 높이 조정을 위해 사용하던 해머나 향타기 대신 작업자가 작은 힘으로 높이 조정이 가능하도록 유압실린더를 이용한 블록 지지대 높이 조정 장치를 설계하였으며, 상용 해석 소프트웨어인 Ansys를 활용하여 정적 비선형 해석을 수행하였다. 이후, 초기에 설계한 유압실린더 지그의 구조 부재 취약 지점 및 허용응력 기반 구조 안전성 검증을 진행하였으며, 구조 안전성 확보 후 시제품 제작과 성능 평가를 수행하였다. 또한 초기에 설계한 블록 지지대 높이 조정 장치의 중량감소를 위해 블록 지지대 높이 조정 장치를 재설계하였으며, 이후 구조해석 결과를 활용하여 시제품 제작 및 추가 성능 평가를 수행하였다.

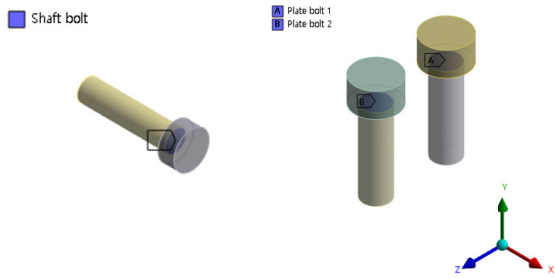
작동 시, 유압실린더 샤프트가 늘어나면서 썸과 접촉이 발생하고, 이러한 접촉은 베어링과 블록 지지대의 면을 맞닿게 하여 대변형을 유발하게 된다. 이에 따라 정확한 해석 값을 얻고자 본 연구에서는 상용 해석 소프트웨어인 Ansys를 이용하여 기하, 접촉 비선형 해석을 수행하였다.

2.2.1 구조해석 모델

구조 안전성을 확인하기 위해 사용한 3D모델은 솔리드 요소를 사용하였으며, Fig. 7(a)은 블록 지지대 높이 조정 장치, Fig. 7(b)은 블록 지지대, Fig. 7(c)은 썸에 블록 지지대 높이 조정 장치를 부착시킨 모델이다.



(a) Height adjustment device (b) Block support
(c) Height adjustment device & Block support
Fig. 7 3D model for structural analysis of block support height adjustment device



(a) Shaft bolt (b) Plate bolt
Fig. 8 3D model for bolt analysis of block support height adjustment device

Fig. 8(a)은 블록 지지대 높이 조정 장치의 유압실린더 샤프트와 판을 연결해 주는 볼트의 3D모델이며, 본 논문에서는 shaft bolt라고 정의하였다. Fig. 8(b)은 블록 지지대 높이 조정 장치가 구동 시 왼쪽 베어링과 오른쪽 베어링이 같이 움직일 수 있도록 고정하는 볼트의 3D모델이며, plate bolt라고 정의하였다.

많은 접촉이 포함된 블록 지지대 높이 조정 장치 비선형 해석을 수행하기 위해서 Fig. 9와 같이 대칭 조건을 사용하여 효율적인 모델을 생성하였다. 이러한 모델은 절반의 모델을 사용하여 해석 시간 면에서 큰 이점을 가질 수 있다.

본 연구의 목적은 블록 지지대 높이 조정 장치의 구조 안전성 평가이며, 구조해석 시 소요되는 시간을 단축하기 위해 블록 지지대의 요소망 크기는 자동 격자 생성으로 설정하였고, 블록 지지대 높이 조정 장치의 경우 각 부재의 치수를 고려하여 5~10mm 범위로 Fig. 10과 같이 정밀하게 생성하였다.

글로벌 해석을 통해 블록 지지대 높이 조정 장치의 취약부가 shaft bolt에 발생함을 확인하였으며, 정확한 응력 값을 확인하고자 contact sizing 기능을 사용해 상세해석을 수행하였다. 블록

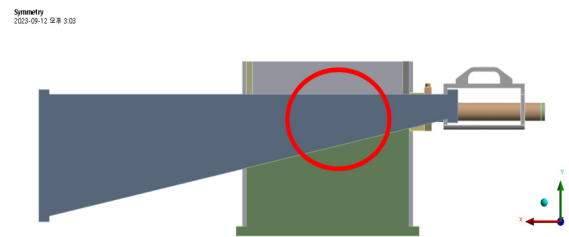


Fig. 9 Symmetry boundary condition setting

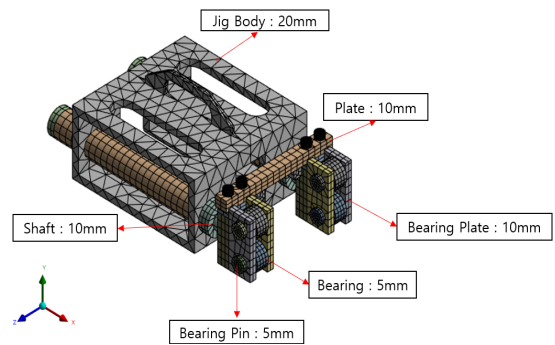


Fig. 10 Finite element method model of block support height adjustment device

Table 3 Material property of block support height adjustment device

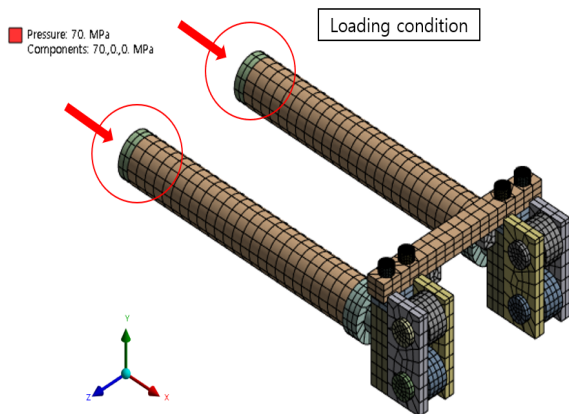
Material properties	SS275	SCM440
Young's modulus(GPa)	210	205
Poisson's ratio	0.3	0.29
Tensile strength(MPa)	550	1,219
Yeild strength(MPa)	275	1,100

지지대 높이 조정 장치와 블록 지지대의 재료는 SS 275를 사용하였으며, 볼트의 재료는 SCM 440이다. 사용한 물성에 대한 정보는 KS(Korean Standard) D3503 (2023), ISO 898-1 (2013)에 따라 Table 3에 정리하였다.

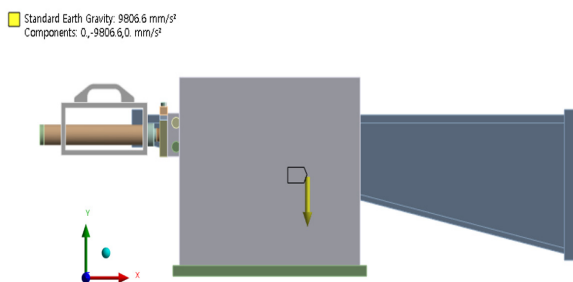
2.2.2 하중 및 구속조건

Fig. 11은 블록 지지대 높이 조정 장치의 하중 조건을 보여주고 있다. Fig. 11(a)과 같이 유압실린더 샤프트 끝 면에 유압실린더의 사용 압력인 70MPa를 설정하였다. Fig. 11(b)에서는 블록 지지대의 자중을 -Y 방향으로 설정하였다. 구속조건은 Fig. 12에 보여지고 있는 것과 같이 블록 지지대 하부에 고정하였다.

대변형 및 접촉 비선형 해석을 수행하기 위해 Fig. 13과 같이 볼트와 판에 마찰계수를 고려한 접촉조건을 설정하였으며, ISO 898-1을 참고하여 마찰계수 0.14를 입력하였다.



(a) Operation pressure applied on the shaft surface



(b) Standard earth gravity

Fig. 11 Loading condition

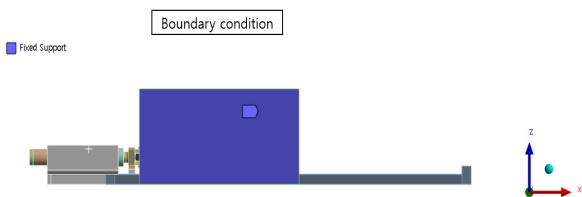
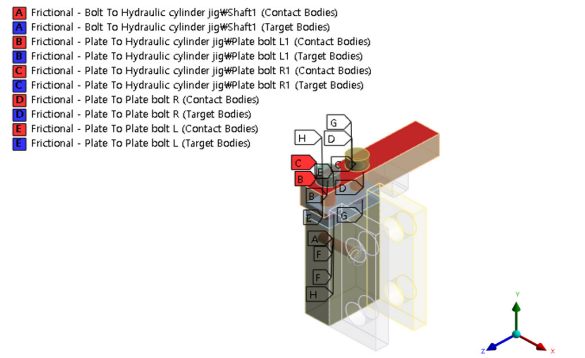
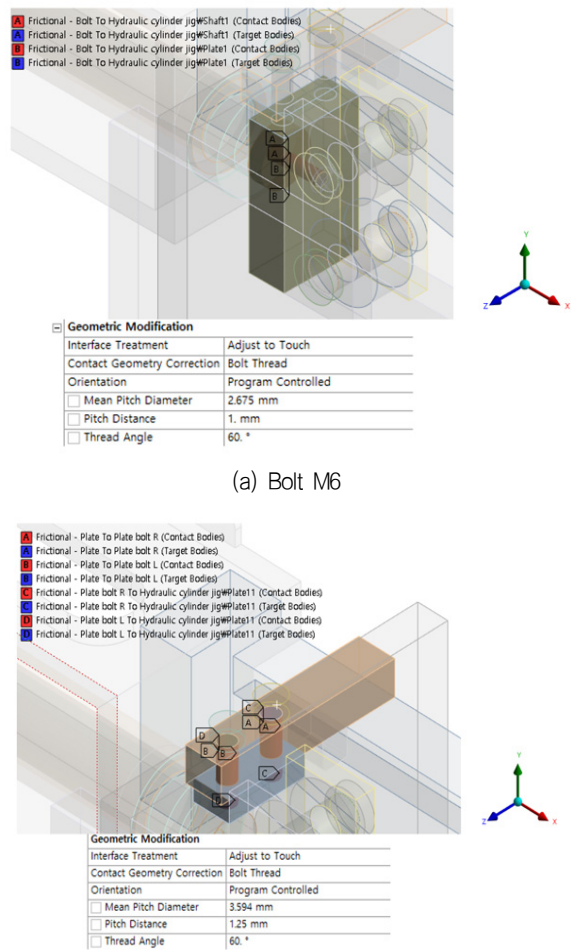


Fig. 12 Boundary condition



(a) Bolt M6



(b) Bolt M8

Fig. 13 Contact conditions for block support height adjustment device (bolt & plate)

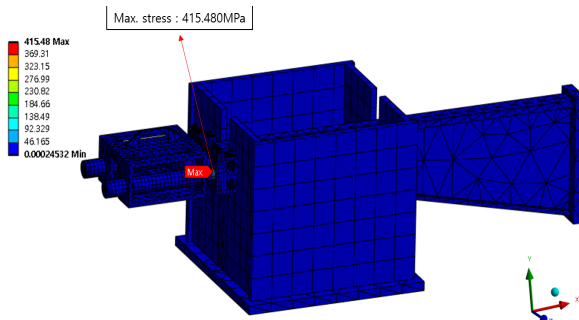
Fig. 14 Bolt thread condition

볼트에서 발생하는 응력을 확인하기 위해 Ansys 프로그램에서 제공하는 기능 중 나사선을 구현한 볼트와 비슷한 해석 수준의 결과를 얻을 수 있는 bolt thread 기능을 사용하였다. Fig. 14(a)는 shaft bolt에 사용된 M6, Fig. 14(b)는 plate bolt에 사용된 M8 볼트의 유효지름, 피치, 나사선 각이며, KS B 0201에 따라 입력하였다.

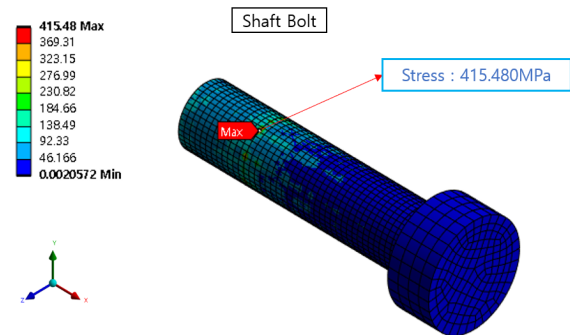
2.2.3 구조해석 결과

블록 지지대 높이 조정 장치의 시제품을 제작하기에 앞서 유압 실린더 사용 압력에 따라 정적 비선형 해석을 수행하였으며, Fig. 15(a)에 보이는 것과 같이 구조해석 결과를 나타냈다. Fig. 15(b)는 Shaft bolt에서 최대응력(maximum von-Mises) 415.480MPa 이 발생함을 확인하였다.

Fig. 16은 블록 지지대 높이 조정 장치 주요 부재들의 해석 결과이며, Fig. 16(a) plate bolt, Fig. 16(b) 판과 베어링을 연결해주는 핀, Fig. 16(c) 판, Fig. 16(d) 유압실린더의 샤프트, Fig. 16(e) 베어링 판, Fig. 16(f) 베어링의 해석 결과를 보여주고 있다.

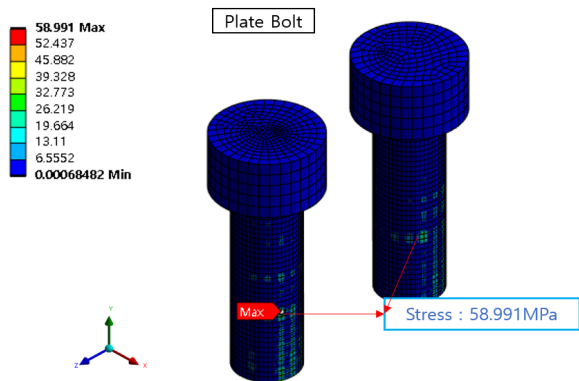


(a) Structural analysis result of the block support height adjustment device

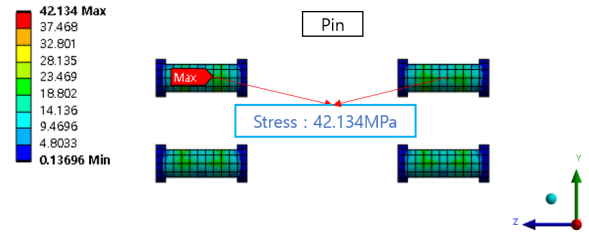


(b) Structural analysis result shaft bolt

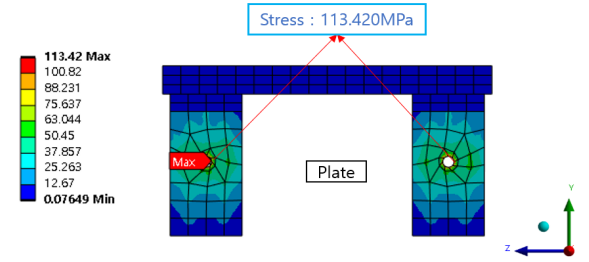
Fig. 15 Maximum von-Mises stress point



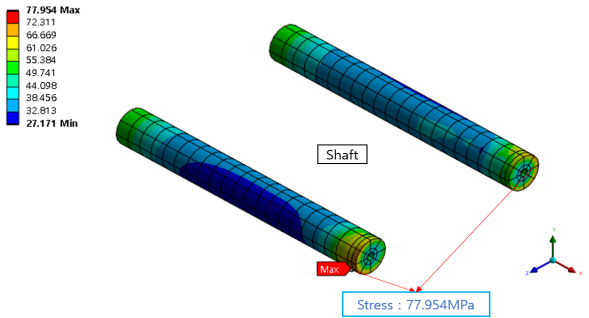
(a) Structural analysis result of the plate bolt



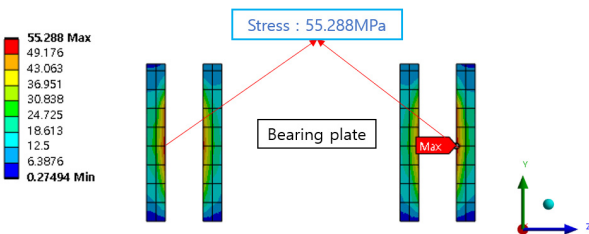
(b) Structural analysis result of the pin



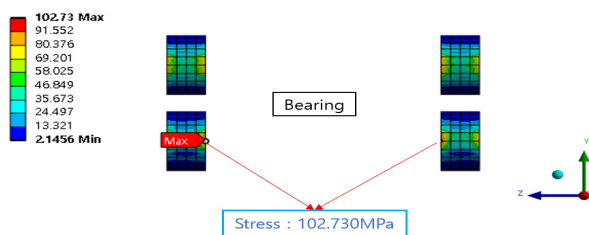
(c) Structural analysis result of the plate



(d) Structural analysis result of the hydraulic cylinder shaft



(e) Structural analysis result of the bearing plate



(f) Structural analysis result of the bearing

Fig. 16 Structural analysis results of major members of block support height adjustment device

Table 4 Structural analysis results of block support height adjustment device

Structural members	Yield stress (MPa)	Allowable stress (MPa)	Maximum stress (MPa)
Shaft bolt	1,100	733.333	415.480
Plate bolt			58.991
Pin	275	183.333	42.134
Shaft			77.954
Plate			113.420
Bearing			102.730
Bearing plate			55.288

블록 지지대 높이 조정 장치의 주요 부재에서 계산된 모든 응력은 항복강도 기준보다 매우 낮은 상태에 있음을 확인하였다. 따라서 본연구에서는 블록 지지대 높이 조정 장치의 경량화를 위해 안전계수를 1.5로 설정하였다.

유압실린더 사용 압력에 의해 높이 조정 장치의 주요 부재에서 계산된 모든 응력은 Table 4에 나열하였으며, 이 응력들은 허용 응력 기준에 만족함을 확인하였다.

2.3 블록 지지대 높이 조정 장치 제작

유압실린더의 사용 압력에 따라 블록 지지대 높이 조정 장치의 구조 안전성을 검증했으며, Fig. 17과 같이 무게가 13kg인 블록 지지대 높이 조정 장치 시제품을 제작하였다.

시제품 제작 후, 블록 지지대 높이 조정 장치가 작동 중 유압실린더 샤프트에서 좌굴 발생 유무를 확인하고자 Fig. 18과 같이 성능평가를 진행하였으며, 성능평가를 통해 블록 지지대 높이 조정 시 문제가 없음을 확인하였다.

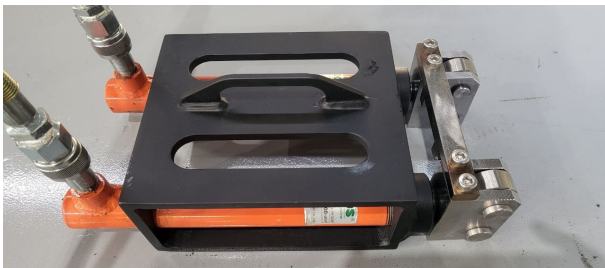


Fig. 17 Block support height adjustment device prototype



Fig. 18 Block support height adjustment performance evaluation

3. 블록 지지대 높이 조정 장치 경량화

3.1 블록 지지대 높이 조정 장치 재설계

블록 지지대 높이 조정 장치의 안전성 평가를 통해 주요 부재에서 발생한 최대응력이 허용응력보다 낮음을 확인하였다. 이에 따라 허용응력 이하의 강도 성능 제한조건을 만족하면서 중량을 감소하고자 Fig. 19와 같이 높이 조정 장치를 재설계하였다.

기존에 제작한 도면과 달리 유압실린더에 외부로부터 받는 충격을 보호하고자 커버를 제작하였으며, 작업자가 높이 조정 장치를 쉽게 휴대할 수 있도록 지그를 간소화시켰다. 판과 베어링 판의 경우 허용응력을 만족하고 좌굴에 영향을 받지 않도록 두께를 최소화했으며, 베어링과 판을 연결하는 핀에서 발생하는 최대응력이 허용응력보다 현저히 낮아 핀의 길이도 최소화하였다. M8 bolt에서 발생하는 최대응력 또한 허용응력에 비해 너무 낮아 제거하였으며, 변경한 치수는 Table 5와 같다.

3.2

재설계한 블록 지지대 높이 조정 장치의 구조 안전성 평가를 위해 앞서 진행한 챕터 2.2.2 방법과 동일하게 하중 및 구속조건을 설정해 주었다. 블록 지지대 높이 조정 장치의 변위를 확인하기 위해 Fig. 20(a) 베어링과 핀, Fig. 20(b) 베어링과 블록 지지대,

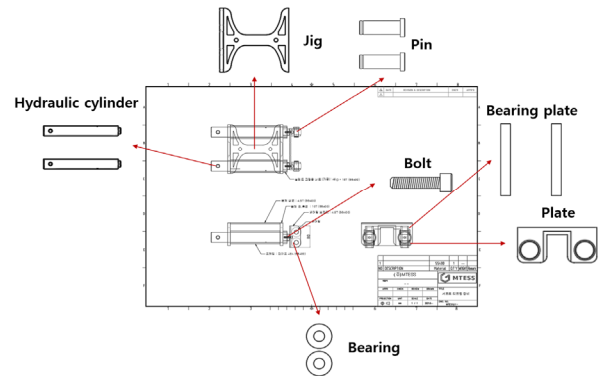
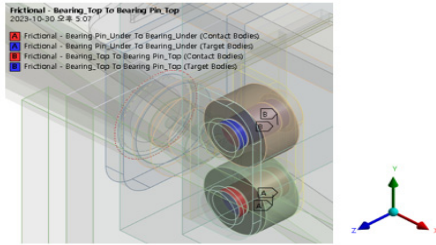


Fig. 19 Redesign of block support height adjustment device

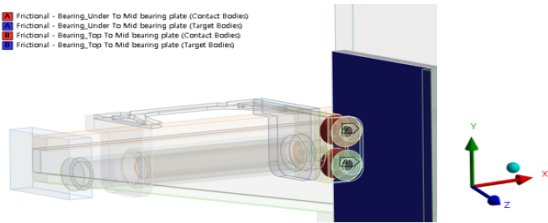
Table 5 Information of redesign structural members

Structural members	Initial design	Final design
Jig body (thickness)	10.0mm	5.0mm
Plate (thickness)	18.0mm	4.5mm
Bearing plate (thickness)	9.5mm	4.5mm
Bolt	M6, M8	M6
Pin (length)	48.0mm	38.0mm

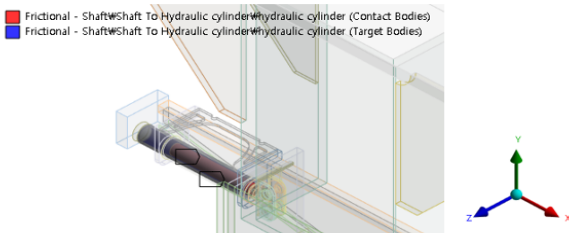
Fig. 20(c) 유압실린더와 샤프트, Fig. 20(d) 지그와 쐼기, Fig. 20(e) 블록 지지대 높이 조정 장치와 쐼기에 접촉조건을 설정하였으며, Park (2013)을 참고하여 Steel과 Steel에 미끄럼이 있는 마찰계수 0.57을 사용하였다.



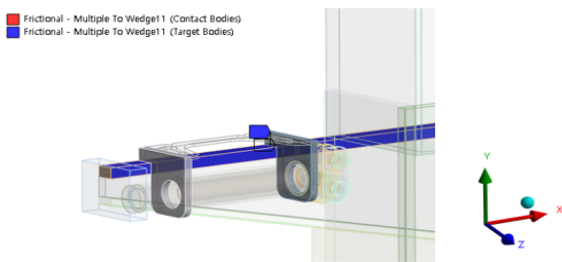
(a) Bearing & pin



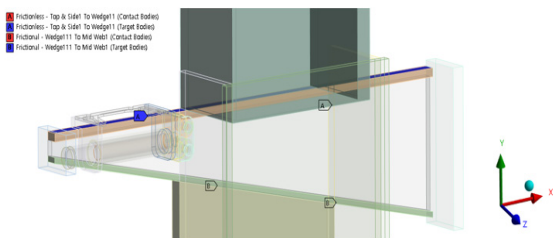
(b) Bearing & block support plate



(c) Hydraulic cylinder & shaft



(d) Jig body & wedge



(e) Block support & wedge

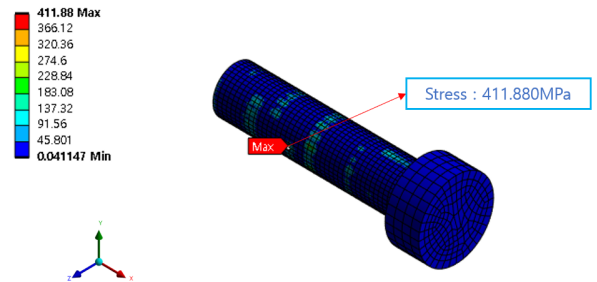
Fig. 20 Contact conditions for redesigned block support height adjustment device

블록 지지대 높이 조정 장치에서 발생하는 최대응력은 Fig. 21(a)와 같이 411.880MPa이 발생하였으며, Fig. 21(b) Shaft bolt에서 최대응력이 발생하였다. 주요 부재에서 발생하는 응력은 허용응력 기준으로 안전성을 평가하였으며, 계산된 응력은 허용 응력보다 낮아 안전함을 확인하였다. 주요 부재에서 발생하는 응력은 Table 6에 정리하였다.

대변형, 접촉 비선형 해석을 통해 Fig. 22(a) 와 같이 블록 지지대 높이 조정 장치가 +X축 방향으로 51mm 이동했을 때 Fig. 22(b)에서 보이는 것과 같이 블록 지지대의 상부 구조물은 +Y축 방향으로 10.517mm가 상승했으며, Fig. 22(c)로부터 블록 지지대 높이 조정 장치가 작동 시 유압실린더 샤프트에서 좌굴이 발생하지 않도록 베어링이 +Z축 방향으로 회전해 18.744mm가 상승하고 있음을 확인하였다.



(a) Structural analysis result of redesigned block support height adjustment device



(b) Structural analysis result of the M6 shaft bolt

Fig. 21 The maximum von-Mises stress point of the redesigned block support height adjustment device

Table 6 Structural analysis results of the redesigned block support height adjustment device

Structural members	Yield stress (MPa)	Allowable stress (MPa)	Maximum stress (MPa)
Shaft bolt	1,100	733.333	411.880
Pin			42.446
Shaft			160.070
Plate	275	183.333	143.820
Bearing			80.036
Bearing plate			167.050

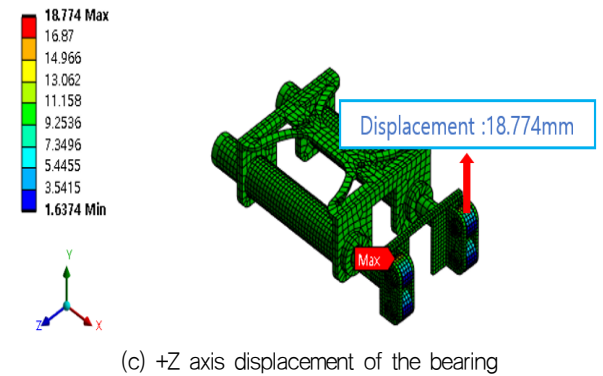
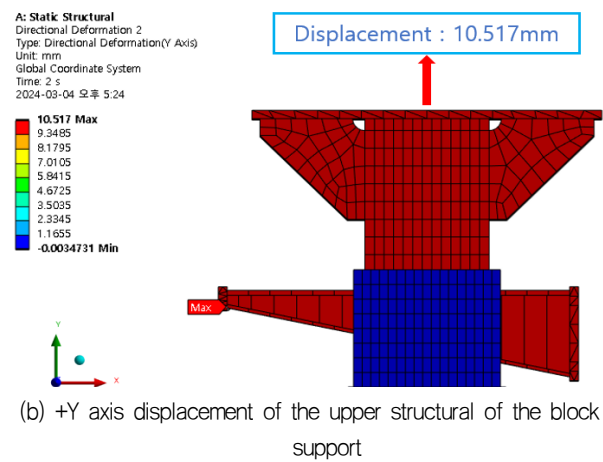
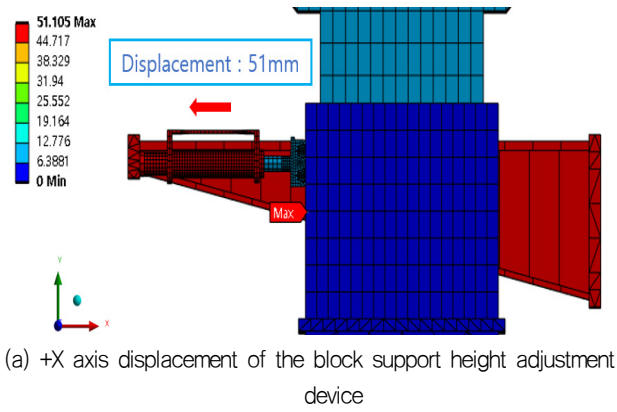


Fig. 22 Displacement of block support and block support height adjustment device

3.3 블록 지지대 높이 조정 장치 제작

재설계한 블록 지지대 높이 조정 장치의 구조해석을 통해 구조적으로 안전함을 확인하였으며, Fig. 23과 같이 약 8.7kg인 블록 지지대 높이 조정 장치의 시제품을 제작하였다.

항타기의 중량은 약 90kg이며, 작업자 위치까지 Fig. 24에 보이는 부분에 지게차를 이용해 운반하거나 2~3명의 작업자가 직접 운반해야 한다.

작업자가 썰기에 힘을 가해 높이 조정 작업 시, 블록 지지대의



Fig. 23 Weight of the prototype of the redesigned block support height adjustment device

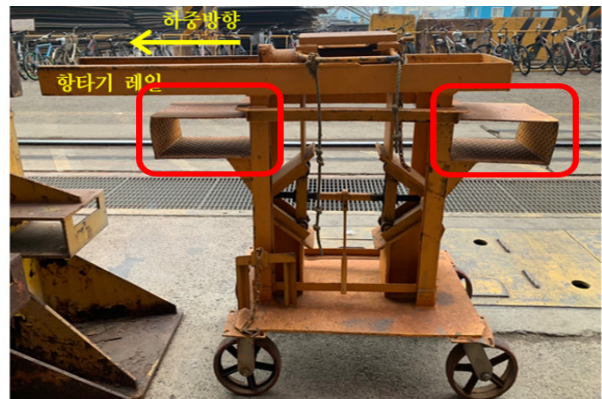


Fig. 24 Methods of moving the pile driver



Fig. 25 Performance evaluation of redesigned block support height adjustment device

상부 구조물은 30초당 1mm가 상승하며, 작업 중 발생하는 소음은 97~102dB이다. 본 연구에서 재설계한 높이 조정 장치의 무게는 약 8.7kg이며, Fig. 25와 같이 실제 사용 중인 블록 지지대 썰기에 재설계한 높이 조정 장치를 부착시킨 후, 추가 성능평가를 진행하였다.

기존 높이 조정 장치에 비해 개발한 높이 조정 장치의 작동은 유압실린더 샤프트가 썰기에 힘을 가해 블록 지지대의 상부 구조물은 2초당 1mm가 상승했으며, 작업 중 발생하는 소음은 30dB

Table 7 Performance comparison of block height adjustment devices

Performance item	Pile driver	Height adjustment device
Weight	About 90kg	About 8.7kg
Operating method	Works	Hydraulic cylinder
Performance	1mm/30s	1mm/2s
Manpower	2~3 workers	1 worker
Work noise	97~102dB	30dB
Mobility	Forklift or workers	Workers

이하로 감소하였다. 이에 따라 개발된 높이 조정 장치는 기존 장치에 비해 적은 인력으로 더 빠르게 높이를 조정할 수 있으며, 작업 중 발생하는 소음이 크게 감소하여 작업환경이 개선되었다. Table 7은 본 연구에서 개발한 블록 지지대 높이 조정 장치와 기존에 사용하던 항타기의 성능을 비교하였다.

4. 결론

(1) 본 연구에서는 재료의 허용응력 기준으로 유압실린더의 사용 압력에 따라 블록 지지대 높이 조정 장치의 구조 안전성 평가를 진행하였으며, 정적 비선형 해석을 통해 초기에 설계한 블록 지지대 높이 조정 장치의 주요 부재에서 발생하는 모든 응력 값은 설계기준을 만족하고 있음을 확인하였다(Table 4). 또한 주요 부재에서 발생하는 최대응력은 재료의 허용응력보다 충분히 낮아 중량을 최소화하도록 재설계를 진행하였으며, 정적 비선형 해석을 통해 주요 부재들에 대한 구조 강도 평가를 수행한 후, 결과 값을 Table 8에 정리하였다.

(2) 대변형 및 접촉 비선형 해석을 통해 블록 지지대 높이 조정 장치가 +X 방향으로 51mm만큼 이동하였을 때 블록 지지대 상부 구조물은 +Y 방향으로 10.517mm가 상승하였으며, 블록 지지대 높이 조정 장치의 유압실린더 샤프트에서 좌굴이 발생하지 않으면서 +Z 방향으로 18.774mm만큼 베어링이 회전하며 이동함을 확인하였다.

(3) 초기에 설계한 블록 지지대 높이 조정 장치와 재설계한 블록 지지대 높이 조정 장치의 구조적 안전성 확보 후, 시제품을 제작하였다. 또한 현장에서 사용하는 블록 지지대에 성능평가를 진행하여 작동 중 유압실린더 샤프트에서 좌굴 발생 유무를 확인하였으며, 블록 지지대 높이 조정에 문제가 없음을 확인하였다.

(4) 본 연구를 통해 개발한 블록 지지대 높이 조정 장치의 무게는 약 8.7kg이며 항타기보다 약 81kg 무게를 절감하였다. 또한 작은 힘으로 블록 지지대의 높이 조정이 가능하고, 더 빠르게 높이를 조정할 수 있으며, 작업 중 발생하는 소음이 크게 감소하여 작업환경이 개선되었다. 이를 바탕으로 블록 지지대의 높이 조정 작업 시 2인 1조로 작업하던 일을 1인 작업이 가능해져 작업능률 향상과 원가 절감이 가능할 것으로 기대한다(Table 7).

Table 8 Structure analysis results of block support height adjustment device(von-Mises stress)

Structural members	(unit : MPa)	
	Initial design	Final design
Shaft bolt	415.480	411.880
Plate bolt	58.991	-
Pin	42.134	42.446
Shaft	77.954	160.070
Plate	113.420	143.820
Bearing	102.730	80.036
Bearing plate	55.288	167.050

후 기

본 과제(결과물)는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다 (광주전남플랫폼 : 2021RIS-002).

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술포진원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0017006, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

References

Cha, J.M., 2009. *LNG line pump tower height adjustment jig*. [Online] (Updated 06 April 2011) Available at: <http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp> [Accessed 4 April 2024]

Chun, M.S., Kim, J.Y., Kim, K.H., Jeong, D.S., Lee, D.Y., Wi, S.K., Kim, B.H., Kim, C.H. and Shim, C.S., (2024). A fundamental study on structural strength assessment of U-bolts for expanded application to shipbuilding and offshore piping systems, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 16, 100561.

Heo, N.H. and Lee, J.S., 2014. The structural strength assessment of lifting lug. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(1), pp.42-50.

International Organization for Standardization, 2013. *ISO 898-1*, International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization, (ISO), 2019. *Series 1 freight containers for liquids, gases and pressurized dry bulk*, Vernier: ISO.

Korean Standards & Certification, 2023. KS D 3503, Korean Agency for Technology and Standards.

Korean Standards & Certification, 2021. KS B 0201, Korean Agency for Technology and Standards.

Park, J.B., 2013. <http://www.bestuser.com> [Accessed 10 April 2024]

Sim, J.M., 2012. *Pin jig height adjustment hydraulic fixture*. [Online] (Updated 28 January 2014) Available at: <http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp> [Accessed 2 April 2024]

Shim, C.S., Kim, H.K., Kim, K.H., Jeong, D.S., Lee, D.Y., Kim, M.S., Wi, S.K., Noh, H.C., Kwon, Y.B., Hong, C.S., Kim, B.H. and Kim, C.H., 2023. A study on the static structural strength evaluation of 53ft liquefied natural gas tank container. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 60(4), pp.278–287.

