

## 해양플랜트 · 선박용 전기실린더형 액추에이터를 탑재한 L타입 데빗의 설계 및 구조강도에 관한 연구

A Study on The Design and Structural Strength of L-Type Davit with Electric Cylinder Type Actuator for Offshore Plant and Ship

김영훈<sup>1\*</sup>, 곽다승<sup>2</sup>, 박기현<sup>2</sup>, 심재린<sup>2</sup>, 조용원<sup>3</sup>

Young-Hun Kim<sup>1\*</sup>, Da-Seoung Kwak<sup>2</sup>, Ki-Hyun Park<sup>2</sup>, Jae-Rin Shim<sup>2</sup>, Yong-Won Cho<sup>3</sup>

### 〈Abstract〉

In offshore plants, various equipments including cranes and davits are used for safety management. Hydraulic cylinder type actuators are mainly used for luffing operations such as cranes and davits. However, in the case of a cylinder using hydraulic pressure, a separate power pack is required to supply hydraulic pressure. When used for a long time, maintenance costs such as sticking of hydraulic valves, contamination of hydraulic oil and deterioration of hydraulic hoses occur. In addition, a lot of hydraulic oil is used in the handling of cranes and davits, which causes marine pollution due to management problems. As a result, as interest in marine pollution prevention has increased recently, interest in actuators that do not use hydraulic pressure is also increasing. Therefore, in this study, we intend to develop a davit with an electric cylinder type actuator that uses electricity rather than hydraulic pressure by the SOLAS regulation. In other words, the conceptual design of the davit driven through the linear motion of the ball screw using electricity is performed, and the structural safety of the drive is also reviewed so that it can be utilized in the industrial field.

*Keywords : L-type Davit, Offshore Plant, Electric Cylinder Type Actuator, Structural Safety*

1\* 정회원, 교신저자, 경남대학교, 조선해양시스템공학과  
E-mail: younghun@kyungnam.ac.kr

2 경남대학교 메카트로닉스공학과, 석사

3 바다중공업, 책임연구원

1\* Dept. of Naval Architecture & Ocean System Engineering,  
Kyungnam University

2 Kyungnam University Mechatronics Engineering, Master

3 Bada Heavy Industries, Senior Research Engineer

## 1. 서론

해양플랜트 및 선박에서는 유지 보수 및 안전을 위한 장비로 Crane 및 Davit 등을 비롯한 다양한 장비가 사용되고 있다. 크레인과 데빗 등의 Luffing 동작에는 주로 유압실린더형의 Actuator가 사용된다. 그러나 유압을 이용한 실린더의 경우, 유압을 공급하기 위한 별도의 파워팩이 필요하다. 장기간 사용시에는 유압 밸브의 고착, 유압유의 오염 및 유압호스의 노후화 등 유지 보수 비용이 많이 발생하게 된다.

또한 크레인과 데빗의 취급과정에서 다수의 유압유가 사용되므로 관리문제로 인한 해양오염도 유발하고 있다. 그 결과 최근 해양오염방지에 대한 관심이 높아지면서 유압을 사용하지 않는 Actuator에 대한 관심도 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 유압을 사용하지 않고 전기를 사용하는 전기실린더형 Actuator를 적용한 데빗을 개발하고자 한다. 즉, 전기를 이용하여 볼 스크류의 리니어 동작을 통해 구동되는 데빗의 개념설계를 수행하고 구동상의 구조안전성에 대해서도 검토하여 산업현장에서 활용될 수 있도록 한다.

## 2. 데빗의 구성 요소

### 2.1 데빗의 구조 형상

일반적으로 해양플랜트의 러핑용 데빗은 유압실린더의 엑츄에이터를 이용하고 있는데 전형적인 데빗의 구조 형상은 Fig. 1과 같다. 이 장비는 해양플랜트 및 선박의 협소한 공간에 설치가 가능한 인명탈출용 raft를 이동시키는 데빗이다.

데빗의 주요 부재로는 Idle sheave, Main body,

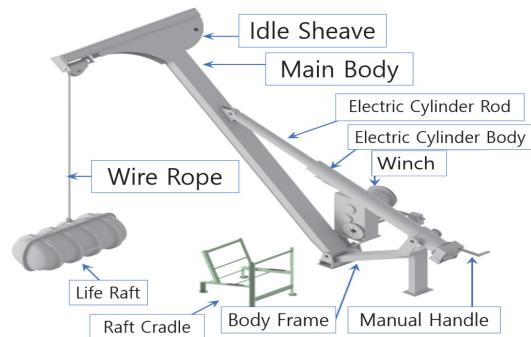


Fig. 1 Typical structural shape of davit with raft

Table 1. Types and roles of davit compartments

No	Compartments	Role
1	Idle sheave	Changing the path of the rope in the winch drum.winch drum sheave
2	Main body	Structure that determines the outreach of the structure when launching
3	Wire rope	Main steel wire rope supporting the rope
4	Body frame	Lower frames welded to the side of the ship to support the entire structure
5	Manual handle	Manual handle that moves the cylinder forward and backward
6	Life raft	Escape raft
7	Raft cradle	Device for storing escape rafts
8	Electric cylinder	consists of a rod and body by moving the main body
9	Winch	Manual drive in case of emergency escape

luffing cylinder, wire rope, body frame, manual handle 등으로 구성되어 있다. 이들 부재의 기능은 Table 1에서 보는 바와 같다.

### 2.2 개발 실린더의 개념설계

Life raft를 이송하는 구동력을 전달하는 유압실

린더 형식은 Fig. 2와 같다. 유압실린더는 유압에 의해 거동되는 Piston 및 Piston rod, 이들을 지지하는 Piston rod seal, Road bearing, Cushion, Cylinder barrel, Cylinder cover 등이 있다. 앞서 지적한 바와 같이 유압공급용 파워팩이 필요하고 장기간 사용에 대한 유압밸브 고착, 누출되는 유압유에 의한 해상 오염 등의 문제가 있어 유지 관리에 많은 비용이 소요되고 있다. 이에 해양환경 오염이 없는 전기를 활용한 기계식 구동방식의 실린더 개발에 관심이 높아지고 있다[1].

본 연구를 통해서 개념 설계된 전기실린더의 구조형상은 Fig. 3과 같으며, Drive Motor 및 Reducer, Motor와 Ball Screw부분을 연결하는 Shaft Connector, 그리고 이들을 지지하는 Road 로 구성되어 있다. 전기실린더는 기존의 유압실린

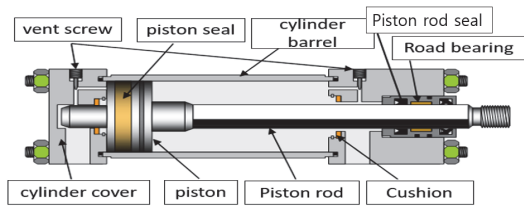


Fig. 2 The structure and compartments of hydraulic cylinder type actuator

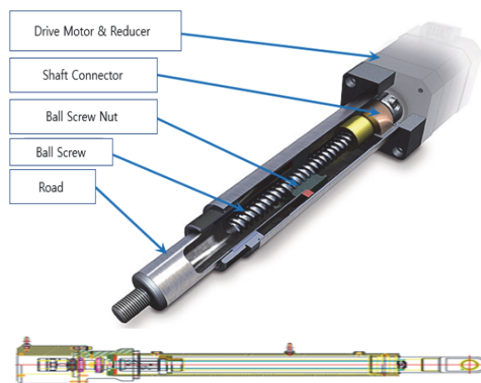


Fig. 3 The structure and compartments of electric cylinder type actuator

더에 비해 부품 수도 적고 구조형상도 좀 더 단순화하였다. 이러한 기계식의 전기실린더는 기존 유압실린더의 밀어주어 구동력은 확보하는 형식이 아니고 Ball screw회전력을 이용하여 추력을 발생시키는 장치이다[2].

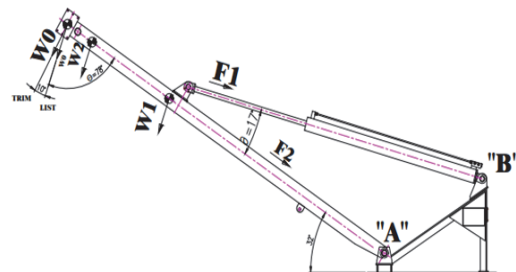


Fig. 4 Drawing of developing with electric cylinder type actuator

Table 2. Comparison between hydraulic cylinder type and electric cylinder type actuator

Category	Compartments of Actuators
Hydraulic cylinder	Vent screw, piston seal, cylinder barrel, piston rod, road bearing, cylinder cover, piston and rod, cushion,
Electric cylinder	drive motor & reducer, shaft connector, ball screw nut, ball screw, road

Table 3. Weights of davit compartments

Description	Value	Unit
Empty raft + Equipments weight	230	kg <sub>f</sub>
W <sub>E</sub> + Releasehook weight	265	kg <sub>f</sub>
Persons weight(82.5kg X NP)	2062.5	kg <sub>f</sub>
No. of persons	25	P
Full weight(WH + WP)	2327.5	kg <sub>f</sub>
Design max. weight of the raft	2400	kg <sub>f</sub>
Jib weight	520	kg <sub>f</sub>
Cylinder bkt. upper weight	300	kg <sub>f</sub>

Table 3은 데빗의 각 부재에 걸리는 무게하중이며, 여기서  $\angle\alpha$ 는 데빗의 작동범위 각도로 최대각  $\alpha = 17^\circ$ ,  $\angle\theta$ 는 전기실린더의 Ball screw 작동시 전기실린더와 데빗 Main body의 사잇각으로 최대각  $\theta = 77^\circ$ 이다. 그러므로 식(1)의 F1은 정적상태에서의 실린더의 하중의 값이며 식(2)의 F2는 데빗이 받는 하중의 값이다.

본 연구에서는 F1의 하중에 개발 실린더의 1.25배 안전 마진을 주어 개발 실린더가 장착되는 크레인의 견딜 수 있는 최대하중은 15ton으로 하였다.

$$F1 = \{(W_o \times L_1) + (W_1 \times L_3)\} / L_{12} \quad (1)$$

$$F2 = (W_o \times \cos \theta + (W_1 \times \cos \theta) + (F_1 \times \cos \alpha) \quad (2)$$

$$P_h = W_o \times \sin 10^\circ \quad (3)$$

$$\text{Safety Factor} = F_1 \times 1.25 \quad (4)$$

데빗과 같이 인명탈출용으로 제작되는 장비의 경우 비상시 탈출이 목적이므로 중력에 의한 무동력 구동이 필수적이다. 이를 위해 중력 브레이크를 적용하여 국제해상안전규칙 구명설비규정(SOLAS\_ International life-saving appliance (LSA) code 4.7.5에 선박이 중경사 $10^\circ$ 와 횡경사 $20^\circ$ 까지 횡경사의 불리한 상태에서 규정된 속도로 하강하고 보호될 수 있도록 제작되어야 하는 winch 장비가 필요하다.

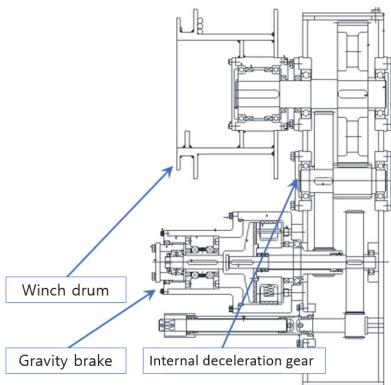


Fig. 5 Structural shape of free fall winch

이는 윈치의 회전력을 감속기를 통해 전달하고 감속된 회전력을 윈치 내부의 브레이크를 통해 설계된 속도 이내로 감속하게 되는 원리로, Fig. 5의 중력낙하윈치를 사용하여 모터의 구동 없이도 안전하게 탈출할 수 있다. 개념 설계된 전기실린더가 탑재된 데빗에 대하여 향후 SOLAS LSA Code에 따라 실증시험이 요구된다.

### 3. 개발 데빗의 구조 안전성 평가

#### 3.1 데빗의 구조 강도 평가

데빗을 구성하는 하부 프레임과 상부 부하를 받는 Main body가 실제 부하를 받을 때 발생하는 모멘트를 이용하여 각 부품에 작용하는 인장응력 기준을 만족해야 한다. 즉, SOLAS(국제해상안전규격) LSA code 6.1.1 과 LSA code 6.1.1.6에서 요구하는 진수설비에 관련하여 사용되는 의장들은 최대 작동하중 및 제작에 사용되는 재료의 최대 강도를 기초로 한 안전계수(Safety Factor : S.F)예를 들면 Jib hinge pin의 위치인 A점에 대하여 작용하는 하중을 구하고, 이 하중을 통해 굽힘 모멘트, 수평방향 인장응력, 수직방향 인장응력 및 전단응력을 구하여 합한 응력에 대해 Jib hinge pin의 소재에 대한 극한 응력과의 S.F로 구조안전성을 평가한다.

구조부재는 최소 안전계수 4.5 이상의 인장강도를 확보할 수 있는지에 대한 검증과정이 필요하다. 데빗 구조에 걸리는 하중에 대한 응력평가부분은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 데빗의 main body, hinge pin, sheave pin 등으로 여기에 걸리는 응력을 계산하여 구조 안전성을 검토하였다.

Jib hinge pin point A에 작용하는 계산과정은

다음과 같다. 여기서,  $d_0$ 는 6cm, 그 외  $l_0 = 43.5\text{cm}$ ,  $l_1 = 35\text{cm}$ ,  $l_2 = 4.3\text{cm}$ ,  $l_3 = 11.5\text{cm}$ ,  $l_4 = 23.5\text{cm}$ 로 설계하였다(Fig. 7 참조).

Data and section modulus

$$F_3 = (F_2 \times l_4) / l_1, \quad F_4 = (F_2 \times l_3) / l_1$$

$$Z_d = (\pi d^3) / 32, \quad A = (\pi d^2) / 4 \quad (5)$$

Reaction force( $R_B$ )

$$R_B = \{F_4 \times (l_1 + l_2) + F_3 \times l_2\} / l_0, \quad R_A = F_2 - R_B \quad (6)$$

The bending moment( $M_b$ )

$$M_{b1} = R_A \times l_2 \quad (7)$$

The vertical bending stress( $\sigma_v$ )

$$\sigma_v = M_b \times \cos 10^\circ / Z_d \quad (8)$$

The horizontal bending stress( $\sigma_h$ )

$$\sigma_h = M_b \times \sin 10^\circ / Z_d \quad (9)$$

The shearing stress( $\tau$ )

$$\tau = F_2 / A \quad (10)$$

The combination stress( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = \sigma_v + \sigma_h + \tau \quad (11)$$

$\sigma_v$ 는 SCM440H재료의 극한응력 10,000kg으로 상기 과정으로 계산된 응력 식(11) $\sigma_c = 2140\text{kg}/\text{cm}^2$  대하여 Jib hinge pin의 소재 SCM440H의 극한응력 $\sigma_u$ 와 관계인 Safety Factor(S.F) $\sigma_v/\sigma_c$ 를 구하였다. 여기서 식(11)의 파괴이론상 각방향의 주응력을 이용하여 최대응력을 구하나, 실질적으로 활용되는 최대응력을 기준으로 구조안전성을 판단하였다.

이것을 SOLAS LSA Code에서 규정한 Safety Factor 4.5와 비교하여 구조 안전성을 확인하였다.

즉, Jib hinge pin의 소재인 SCM440H의 극한응력값  $\sigma_u$ 는  $10,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 이므로  $\sigma_c/\sigma_u$ 의 값은 4.7로 SOLAS LSA Code 규정인 4.5 이상이므로

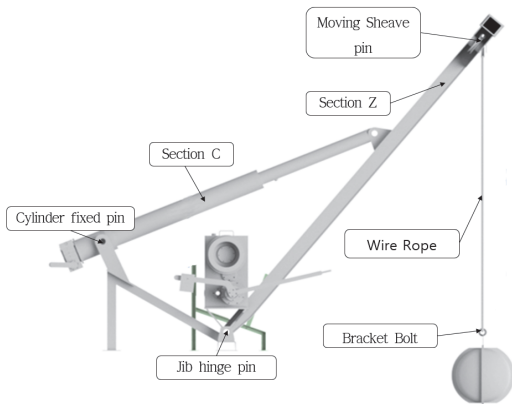


Fig. 6 Davit's part locations for stress evaluation

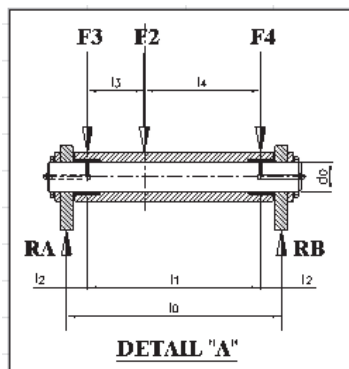


Fig. 7 Jib hinge pin point "A"

Table 4. Structural safety evaluation results of major parts of davit

Name	Material	$\sigma_c$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$\frac{\sigma_c}{\sigma_u}$	Safety
Section C	SS400	909	4.5	Ok
Jib hinge pin	SCM440H	2140	4.7	Ok
Cylinder fixed pin	SCM440H	2194	4.6	Ok
Moving sheave pin	S45C	757	5.9	Ok
Section Z	SS440	614	6.7	Ok
Bracket bolt		1916	5.5	Ok
Wire rope	Rope	2659	6.77	Ok

구조적으로 안전하다고 평가할 수 있다. 그 외에 Cylinder fixed pin 등의 부위에 대해서도 Jib hinge pin의 계산과정과 유사하게 구한 최대응력  $\sigma_c$ 과 부재의 소재에 대한 극한응력  $\sigma_v$ 를 비교한 계산결과는 Table 4와 같다. 그 결과, 각 부재의 구조안전성은 만족됨을 확인하였다[3].

### 3.2 전기실린더의 추력산정을 위한 구동력 계산

Davit의 전기실린더는 모터에 의한 볼 스크류의 구동으로 작동하며 개념적인 구동과정은 Fig. 8과 같다. 이 때, 볼스크류의 구동에 의한 추력으로  $T_a$ 의 계산은 식(12)와 같다. 계산된 결과를 통해 정 작동토크의 적정용량의 모터를 선택할 수 있다[4].

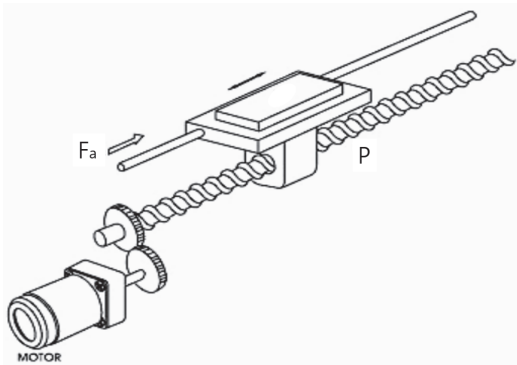


Fig. 8 Driving concept of ball screw by motor

Table 5. Ball screw operating torque

Category	Value	Unit
Thrust (T)	15,000	kgf
Axial directional Load (Fa)	15,500	kgf
Ball screw lead(P)	0.02	m
Deceleration ratio	0.4	
Axial Load considering friction (Ta)	53.405	kgf·m

$$T_a = (F_a \times P) / (2\pi \times n_1) [\text{kgf} \cdot \text{cm}] \quad (12)$$

## 4. 개발품의 기능시험 및 선급 검사

개발된 전기실린더를 장착한 데빗에 대해서는 상용화를 위하여 SOLAS LSA Code 6.1.1.1~6.1.1.9 생존정에 의한 안전한 탑승이 가능하도록 배치되어야 하는 규정으로 인명탈출장비에 대한 각종 부하검사를 수행해야 하며, 선급의 입회하에 최종적인 검증을 해야 한다. 그러므로 개발된 전기실린더가 장착된 데빗은 Table 6에서 보는 바와 같이 인명탈출장비의 일반적인 부하검사인 Static over load test, luffing test, hoisting 등을 수행해서 인증되어 상용화가 가능하다. 또한 Table 7은 데빗의 로프에 Life raft를 달아서 낙하시험을 통해 규정된 기준을 만족해야만 한다[3].

Table 6. Test Item and test load(in shop) for davit & winch

No	Test Item	Inspection Condition
1	Static over load Test	Upright & List 20°, Swing 10°
2	Lusffing test	Upright & List 20°, Swing 10°
3	Hoisling test	Upright
4	Lowering Test	List 20°, Trim 10°
5	Dynamic brale Test	Upright
6	Winch brake test (Static test)	Upright
7	Slewing load test	List 20°, Trim 10°

Table 7. Rope speed test

No	Test Item	Rule	Inspection condition
1.	Hoisting speed	-	Upright
2.	Lowering speed	48 ~ 78 m/min	Upright

## 5. 결 론

해양플랜트 및 선박용의 Life raft의 리핑을 위한 데빗의 주요 장비인 실린더를 기존의 유압식의 단점을 개선하고 해양환경 보호를 위한 전기 구동 방식의 실린더를 개념설계하고 구조안전성 평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 해양플랜트 및 선박용으로 사용 가능한 최대하중 15톤 규모의 모터로 구동되는 전기식 실린더를 장착한 데빗에 대한 개념 설계하였다. 이는 기존 유압식 구동방식에 비해 구조가 간단하고, 유압유를 사용하지 않기 때문에 기름유출에 의한 해양환경오염을 방지할 수 있다.

둘째, 전기실린더가 장착된 데빗의 주요 부재 및 위치에 대한 구조강도 계산 결과 SOLAS LSA Code를 만족하여 구조 안전성을 확인하였다.

셋째, 데빗에 걸리는 최대하중에 대하여 해양플랜트 및 선박용의 대용량 전기실린더에 적합한 서브모터의 용량을 설정하여 선택할 수 있다.

향후에는 개발된 전기실린더형 데빗의 상용화를 위하여 개발품의 기능시험 및 선급인증 등의 실증적 단계가 진행될 예정이다.

## 감사의 글

이 논문은 산업통상자원부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2022년 미래 해양플랜트 글로벌 고급 전문인력 양성사업, 과제번호 : P0012646)

## 참고문헌

- [1] 성백주, 김도식, 이성수, “전기식 액추에이터의 신뢰성 향상 기술개발”, 한국기계연구원, pp 14~16, (2006).
- [2] 김성식, 김경석, “High Speed Tool Feed System by the Mechanism of Ball Screw and Servo Motor”, 한국정밀공학회지, 제15권, 제11호, pp 76~82, (1998).
- [3] IMO/MSC/Circ.1468 Unified Interpretation of Paragraph 1.1.4 of the LSA Code, (2016).
- [4] <http://www.ggm.co.kr/pages/m47.ko.php> Motor 용량 계산.

(접수: 2023.01.12. 수정: 2023.01.25. 게재확정: 2023.01.31.)