

예인원치의 설계 및 실험적 검증

Design and Experimental Verification on a Towing Winch

양 승 윤
(Seung-Yun Yang)

Abstract : This paper contains the design specification and detail design for a towing winch system. We analyze operating condition of the system and decide the design specification for the winch system, and also perform a detail design for the subsystem such as hydraulic winch system, control equipment and power supplier at the full scale development. The performance of designed towing winch is established by load tests and sea trial tests.

Keywords : towing winch, winch controller

I. 서론

예인원치는 예인체 및 예인케이블을 수중으로 투하하여 예인하거나 수중의 예인체 및 예인케이블을 인양하여 저장하는 기능을 가지는 선박설치 운용장비이다[1][2]. 예인원치는 크게 윈치조립체, 윈치제어기, 동력공급기, 예인구 및 예인케이블로 구성된다. 윈치조립체는 윈치드럼, 구조물 및 권선정렬기로 구성되며, 동력공급기는 유압발생장치 및 전원공급기로 구성되어 있다. 또한 예인케이블은 중량케이블과 경량케이블로 구성되어 있다. 예인원치의 전체 구성도는 그림 1과 같다.

해양환경에 대한 자료를 수집하기 위하여 예인체를 투하, 예인 및 인양하는 예인원치는 예인체에 의하여 유기되는 부하를 견디며 투/인양 요구 소요시간을 맞추도록 설계되어야 하며, 윈치의 설치공간 제약을 고려하여 설계되어야 한다. 또한 예인케이블은 예인체를 선박의 속도에 따른 운용심도를 유지하도록 해야 하며, 탑재선박의 추진기에 의해서 유기되는 잠음의 영향을 최소화하기 위하여 일정한 이격거리를 유지해야 하는 설계사양을 가지므로 시스템 개발에 많은 어려움이 존재한다.

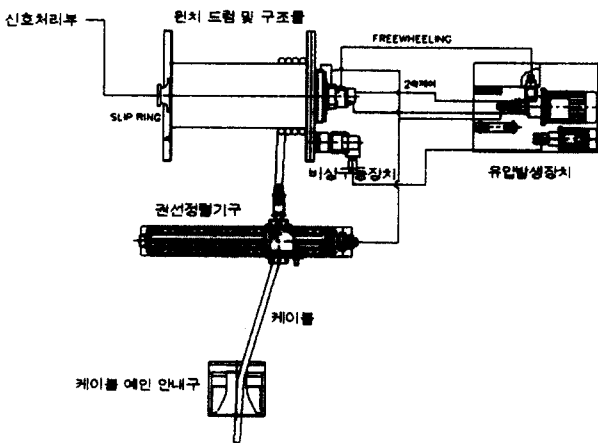


그림 1. 예인원치의 구성도.
Fig. 1. Configuration of a towing winch.

따라서 본 연구에서는 예인케이블의 동특성을 해석하여 케이블의 제원 즉 길이, 직경, 비중을 결정하였다. 이때 케이블에 걸리는 부하를 산출하고, 투/인양 시간을 고려하여 유압구성요소를 선정하였다. 예인원치의 드럼 및 플랜지는 케이블의 길이, 직경, 안전 곡률반경 및 설치공간을 고려하여 설계를 하였다. 또한 투/인양시 부하에 따른 윈치드럼 속도제어와 케이블이 윈치드럼에 권선시 정렬을 위하여 이송대의 위치 및 롤러 폭 조절장치를 제어하는 윈치제어기를 설계하였다. 이 제어기는 기본적으로 1인 운용이 가능하도록 설계하였다. 설계된 예인원치는 실제 제작하여 육상에서의 작동시험과 부하시험을 수행하여 성능을 사전에 검증하고, 실제 선박에 탑재하여 해상시험을 통하여 성능을 확인하였다.

II. 운용조건 및 설계사양 도출

1. 운용조건

기본적으로 예인선박의 운용속도인 16Kts에서 예인체의 심도는 약 30m, 12Kts에서는 약 60m 정도의 심도를 유지해야 되고, 탑재선박의 추진기에 의해서 유기되는 외란의 영향을 받지 않기 위하여 예인체는 예인선박과 약 650m 정도의 이격거리를 유지해야 한다. 또한 예인원치의 설치공간 제약과 투/인양 소요시간(20분 이내)을 고려하여 중량케이블과 경량케이블의 전체길이를 800m 이내로 구성해야 한다[3].

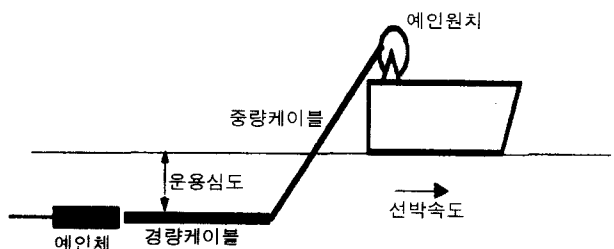


그림 2. 시스템의 운용개념.
Fig. 2. Operating concept of the system.

2. 설계사양

예인원치 설계를 위해서는 케이블의 소요장력 해석이

표 1. 예인케이블 특성데이터.
Table 1. Characteristic data of towing cables.

구 분	제원 (직경×길이)	예인체 및 예인케이블 특성		
		단위길이당 무게	안전직경	파단력
중량케이블	$\phi_h, \text{mm} \times L_h, \text{m}$	Kg/Km(in water)	m	ton
경량케이블	$\phi_l, \text{mm} \times L_l, \text{m}$	Kg/Km(in water)	m	ton
예인체	$\phi_T, \text{mm} \times L_T, \text{m}$	Kg/m^3 (비중)	m	
Tail Rope	$\phi_r, \text{mm} \times L_r, \text{m}$	Kg/m^3 (비중)	-	

표 2. 예인케이블 소요장력.
Table 2. Required force of towing cables.

	구 분	함속도	예인 심도	소요장력
1	정상운용 인양	16Kts	36m	2.5ton
2	제동력	30Kts		10.0ton
3	비상구동	5Kts		0.8ton

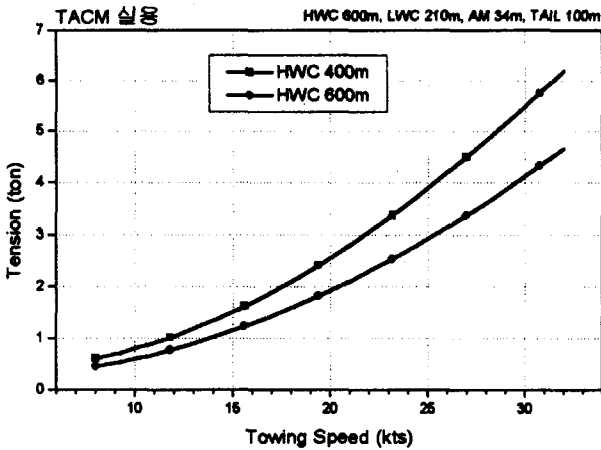


그림 3. 케이블 장력곡선.
Fig. 3 Cable strength curve.

가장 먼저 선행되어야 한다. 따라서 케이블 소요장력과 소요길이 결정을 위하여 표 1과 같은 특성을 갖는 케이블[1]에 대하여 동특성 해석을 분석하였다[4]. 선박속도와 케이블 길이에 따른 소요장력은 그림 3과 같다.

예인케이블의 특성데이터를 이용하여 동특성을 해석한 결과에 안전율을 고려한 소요장력은 표 2와 같이 결정하였다. 즉, 선박속도 16Kts에서 중량케이블의 길이 약 400m와 경량케이블의 길이 약 300m로 구성시 예상 케이블의 심도는 약 36m이고 이때 소요장력은 약 2.5톤 정도가 요구되었다. 또한 브레이크에 의한 케이블 예인시 요구되는 제동력은 약 10톤이고, 정상시스템의 고장시 비상구동에 의하여 케이블 회수를 위한 최소 소요장력은 5Kts에서 0.8톤이다.

III. 윈치조립체 및 윈치제어기 설계[5-6]

1. 윈치조립체 설계[7]

윈치드럼의 폭, 반경 및 플랜지 높이는 탑재선박의 설

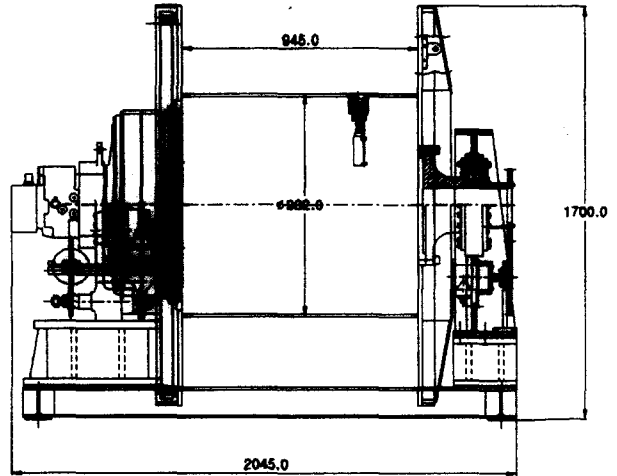


그림 4. 설계된 윈치드럼 및 구조물.
Fig. 4. Designed winch drum and structure.

치공간과 예인케이블 및 예인체가 드럼에 감기는 조건을 고려하여 결정하였다.

1.1 윈치드럼 및 구조물 설계

1.1.1 윈치드럼 설계

윈치드럼 설계의 기본조건은 예인체 및 케이블의 안전을 고려하여 드럼의 직경은 케이블 및 예인체의 최소 굽힘직경보다 커야 한다. 일반적으로 드럼직경은 다음과 같이 표현할 수 있다[8].

$$D_H = D_0 + d_H + \sqrt{3} \times (n-1) \times d_H$$

$$D_L = D_H + d_H + d_L + \sqrt{3} \times (n-1) \times d_L \quad (1)$$

$$D_T = D_L + d_L + d_T + \sqrt{3} \times (n-1) \times d_T$$

여기서, D_H 는 중량케이블, D_L 는 경량케이블에서의 드럼 직경, D_T 는 예인체, n 은 케이블 층수, D_0 는 드럼직경, d_H 는 중량케이블 직경, d_L 는 경량케이블 직경 그리고 d_T 는 예인체의 직경이다. 또한 드럼폭은 케이블 및 예인체의 직경과 권선층별 감김횟수에 의해 결정된다.

$$N = \frac{l}{\pi D_0}, W = N \times P, \quad (2)$$

여기서, l 은 케이블 길이, W 는 드럼폭, N 은 감김횟수, P 는 케이블 피치, D_0 는 드럼직경을 나타낸다. 그리고 플랜지의 직경은 케이블 및 예인체의 직경과 권선층수에 의해 결정된다.

$$D_F \geq D_0 + \sqrt{3} \times (h_c \times d_H + m_c \times d_L + n \times d_T) \quad (3)$$

여기서, D_F 는 플랜지의 직경, h_c 는 중량케이블의 권선 층수, m_c 는 경량케이블의 권선층수, n 은 예인체의 권선층수이다. 설계된 윈치드럼 및 구조물의 제원은 그림 4와 같다.

1.1.2 드럼구동용 유압모터

예인케이블 및 예인체를 투/인양하기 위한 구동력과 소요시간을 만족하기 위한 회전속도를 지니며, 효율적인 투/인양을 위하여 케이블에 걸리는 부하에 따라서 고속

과 저속의 속도변화가 가능하게 하였다. 먼저 저속모드에서 유압모터에 가해지는 총부하 토크를 해석한다. 2.5톤의 정격 견인력을 가지고 1초 동안에 정지상태로부터 13rpm까지 가속시켜 인양함에 있어 유압모터에 가해지는 전체 부하 토크, T 는 다음과 같다.

$$T = T_{ad} + T_{af} + T_{mr} + T_L \tag{4}$$

$$= I_d \times \frac{dw}{dt} + I_f \times \frac{dw}{dt} + I_m \times \frac{dw}{dt} + T_L$$

여기서, T_{ad} 는 윈치드럼의 관성부하 토크, T_{af} 는 플랜지의 관성부하 토크, T_{mr} 는 유압모터 회전부의 관성부하 토크 그리고 T_L 는 부하에 의한 출력 토크를 나타낸다. 그리고 I_d 는 윈치드럼의 관성모멘트, I_f 는 플랜지의 관성모멘트, I_m 는 유압모터의 관성모멘트를 나타낸다. 또한 윈치드럼의 회전속도는 13rpm이므로 윈치드럼의 각속도는 다음과 같다.

$$\frac{dw}{dt} = \frac{2 \times \pi \times D_{drum}}{60 \times \Delta t} = 1.36 \text{ rad/sec}^2 \tag{5}$$

여기서 Δt 는 가속시간으로 1초이며, D_{drum} 은 드럼회전수이다. 케이블에 의한 부하 출력 토크는 $960 \text{ kgf} \cdot m$ 이다[3]. 따라서, 전체 부하 토크는 $1010 \text{ kgf} \cdot m$ 이 된다. 그러므로 정격 견인력이 작용할 때 주회로에서 발생하는 시스템 압력은 다음과 같다.

$$P = K \cdot \frac{T}{t_s} + \Delta P_d + P_c = 143 \text{ bar} \tag{6}$$

여기서, K 는 상수, ΔP_d 는 압력강하, P_c 는 저장압력, t_s 는 정격토크이다. 또한 정격유량, Q 는 다음과 같다.

$$Q = D_{drum} \times V_i \times K_1 + Q_i = 72 \text{ lpm} \tag{7}$$

여기서, D_{drum} 은 드럼 회전수, V_i 는 용적, K_1 는 상수이고, Q_i 은 총 용적손실이다. 이제 고속모드시 발생 토크를 해석하기 위하여 윈치드럼의 회전속도는 26rpm이므로 윈치드럼의 각속도는 2.7 rad/sec^2 이다. 부하에 의한 외력 토크는 $480 \text{ kgf} \cdot m$ 이다. 따라서, 전체 부하 토크는 $579 \text{ kgf} \cdot m$ 이므로 정격 견인력이 작용할 때 주회로 라인에 발생하는 압력은 163bar이다. 고속모드시 시스템에 요구되는 드럼의 최대 회전수는 26rpm이므로 정격유량은 73 lpm 이다.

1.2 권선정렬기 설계

1.2.1 권선정렬기 구성

권선정렬기는 예인케이블 및 예인체를 윈치드럼에 가지런히 정렬하기 위하여 드럼상의 케이블 위치와 상호연동하여 유압모터를 이용하여 권선정렬기상의 케이블의 위치를 이동시키는 이송장치와 케이블의 직경차이에 따라 유압실린더를 이용하여 통과폭을 조절해주는 롤러폭 조절장치로 구성되어 있으며, 구성도는 그림 5, 6에 나타나 있다.

1.2.2 권선정렬기 부하해석

권선정렬기에 작용하는 부하는 장력 및 이송대 중량에 의한 부하하중과 볼스크류의 예압하중으로 구분되며,

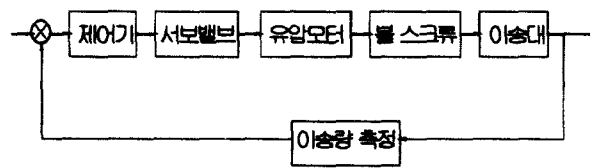


그림 5. 이송장치 구성도.
Fig. 5. Configuration of a transfer device.

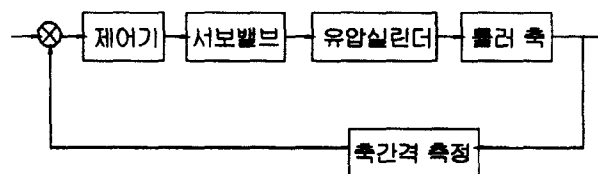


그림 6. 롤러폭 조절장치 구성도.
Fig. 6. Configuration of a roller width control system.

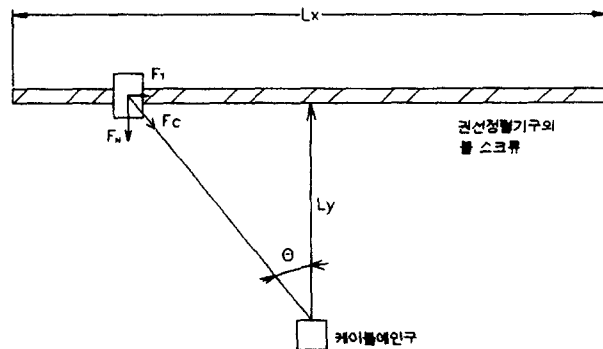


그림 7. 이송장치의 부하해석.
Fig. 7. Load analysis of a transfer device.

이 중에서 케이블 장력에 의한 부하하중이 가장 큰 영향을 미친다. 케이블 장력은 선박속도, 케이블 길이, 파고의 변화 등과 같은 다양한 요소에 의해 결정된다. 케이블 장력에 의한 부하는 그림 7에서 권선정렬기상의 케이블 위치(이송대)가 이동함에 따라 시간에 대해 변화하는 부하를 토크로 나타냄으로써 표현된다. 케이블 장력에 대한 수평성분의 힘, F_T 와 수직성분의 힘, F_N 은 다음식 8과 같다.

$$F_T = F_C \sin \theta, F_N = F_C \cos \theta \tag{8}$$

여기서, F_C 는 케이블 장력, θ 는 예인구를 중심으로 케이블 이동범위의 중심과 케이블이 이루는 각도, L_x 는 이송대 이동범위, L_y 는 예인구에서 권선정렬기구까지 거리를 나타낸다. 먼저 케이블 인양시 권선정렬을 위하여 요구되는 이송장치의 이동력을 구한다. 이 힘은 이송장치의 유압모터 및 서어보 밸브 선정의 기준이 되는 설계요소이다. 부하가 2.5톤이 걸릴 때 이동력, F_T 는 다음과 같다.

$$F_T = F_C \times \sin \theta = 0.4 \text{ 톤} \tag{9}$$

마찬가지로 정지력은 1.6톤이 된다.

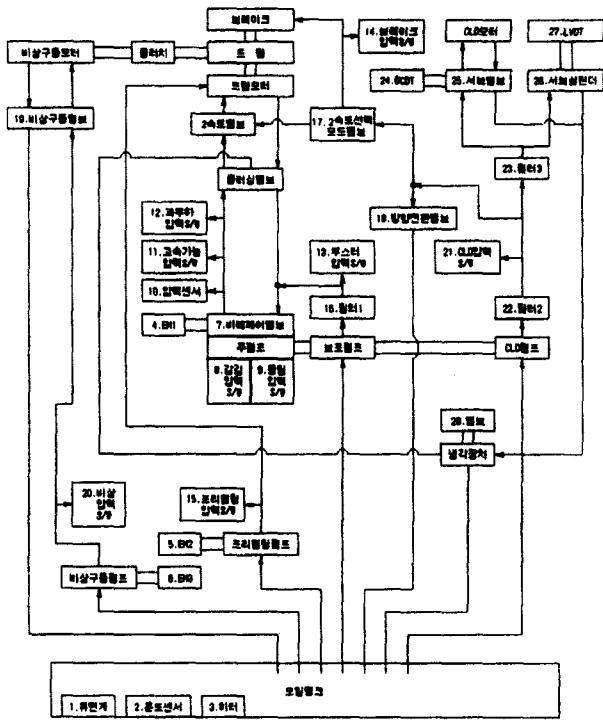


그림 8. 유압회로도.
Fig. 8. Hydraulic circuit.

1.3 유압회로 설계

본 시스템에서의 유압회로는 그림 8에 나타나 있고, 동력전달회로를 기능별로 구분하면 케이블 투/인양시 사용하는 드럼구동회로, 부스터회로, 권선정렬 및 드럼제동회로와 예인시에 사용하는 프리휠링회로로 구성되어 있다. 드럼구동회로는 윈치드럼을 구동시켜 케이블을 투하 및 인양하며 윈치드럼 속도를 제어하는 기능을 가진다. 부스터회로는 드럼구동회로 내에 누설유량을 보충하여 주펌프의 흡입측에 공동현상이 일어나지 않도록 하며 또한 주모터의 2속제어를 위한 유압공급원의 역할을 한다. 드럼제동회로는 윈치시스템 작동시 브레이크 실린더에 유압을 공급하여 윈치드럼의 브레이크를 해제하는 기능을 가진다. 프리휠링회로는 케이블 예인시 발생하는 과부하로 인하여 제동된 드럼이 미끄럼에 의한 회전이 발생할 경우에 주유압모터의 손상을 방지하기 위하여 주유압모터 내의 플랜지를 단락시켜 시스템을 보호하는 기능을 가진다. 권선정렬회로는 서보밸브로 제어되는 유압모터와 유압실린더의 작동에 의해 케이블 권선정렬 이송량과 롤러 폭을 제어하는 기능을 가진다.

2. 윈치제어기 설계

2.1 윈치제어기 구성 및 기능

윈치제어기는 드럼구동반, 권선정렬구동반, 원격조종반, 보조제어반, 비상구동반, 운용상태표시반, 데이터연동반, 그리고 조작판넬로 구성되어 있으며, 구성도는 그림 9와 같다. 설계된 제어기의 기능은 투/인양 부하에 따른 드럼속도(고속/저속)제어 및 과부하에 대한 정마력 제어 기능, 권선정렬 자동/수동제어 및 케이블 직경에 따른 롤러폭 자동/반자동/수동 조절기능, 윈치운용상태 및 시스

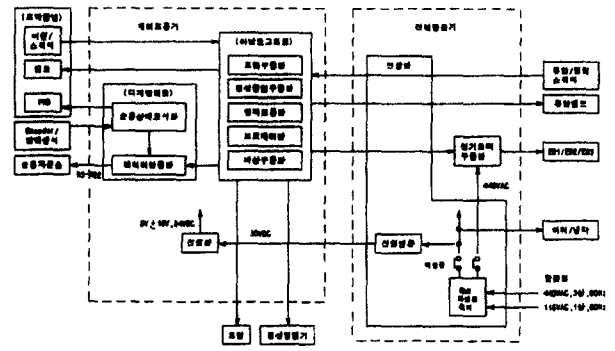


그림 9. 윈치제어기 구성도.
Fig. 9. Configuration of winch controller.

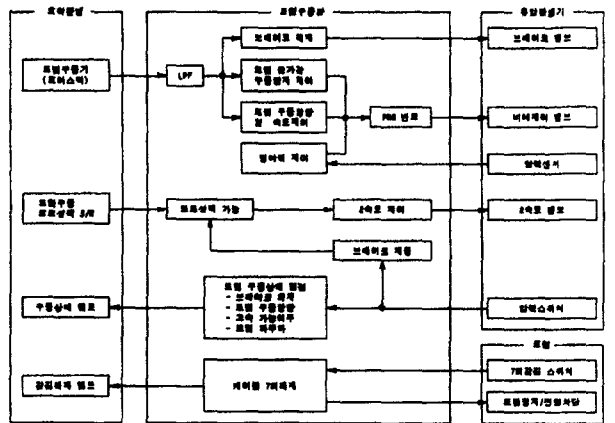


그림 10. 드럼구동반의 회로도.
Fig. 10. Circuit of winch drum.

템 경고 표시기능, 고장진단 기능, 보조/비상 구동기능을 가진다.

2.2 윈치제어기 회로설계

2.2.1 윈치드럼 구동반

드럼구동반은 그림 10에서 보는바와 같이 드럼을구동 및 제어하는 회로로써, 드럼 구동방향 및 속도 제어회로, 브레이크 해제회로, 드럼 급가감 구동방지 제어회로, 정마력 제어회로, 드럼 구동상태 점검회로 등으로 구성되어 있다. 여기서 드럼의 구동방향과 속도 제어회로는 드럼구동기의 조작방향과 조작량에 따라 비례제어밸브의 스톱 개폐방향과 개폐량을 조절하는 역할을 한다. 또한 정마력 제어회로는 인양 과부하시 압력센서의 신호에 의해 드럼의 속도를 제어하는 역할을 한다.

2.2.2 권선정렬 구동반

권선정렬 구동반은 드럼상에 케이블을 가지런히 정렬하기 위한 회로로써, 그림 11에서 보는 바와 같이 이송대 구동회로와 롤러 폭 조절회로로 구성되어 있다. 이송대 구동회로는 DCDT에 의해 측정된 케이블의 상대 각도만큼 만큼 서보밸브의 스톱을 개폐하여 이송대를 이동하도록 설계되어 있다. 롤러 폭 조절회로는 폭 조절스위치에 의해 선택된 값 즉, 롤러 폭과 LVDT에 의해 측정된 값의 오차만큼 서보 액츄에이터를 작동하도록 설계되어 있다.

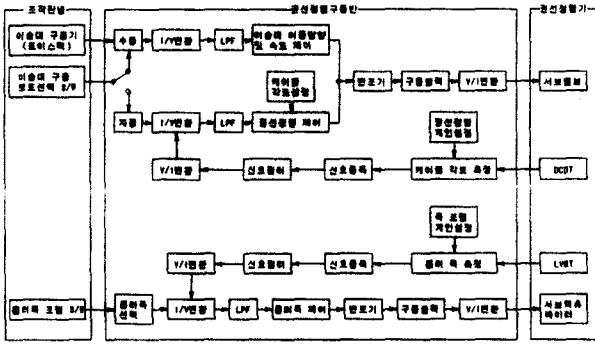


그림 11. 권선정렬 구동반의 회로도.
Fig. 11. Circuit of cable winding alignment.

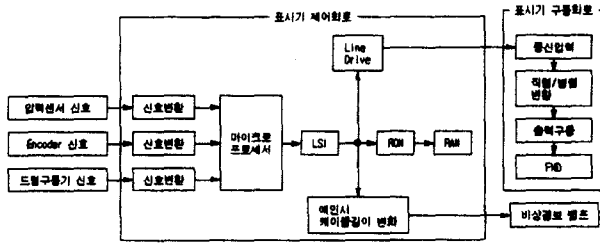


그림 12. 운용상태 표시반의 회로도.
Fig. 12. Circuit of operating status display.

2.2.3 운용상태 표시반

운용상태 표시반은 케이블 길이, 드럼의 회전속도, 구동압력 등의 운용상태를 운용자에게 알려주도록 설계된 회로로써, 그림 12에서 같이 표시기 제어회로와 표시기 구동회로로 구성되어 있다.

IV. 실험 및 결과

운용조건과 부하해석 그리고 유압구성품 용량계산을 통하여 설계/제작된 예인원치를 해상에서 실제 선박에서 성능시험을 하기 전에 사전에 육상에서 성능검증을 위하여 작동시험과 부하시험을 수행하였다. 작동시험으로는 윈치드럼의 감김과 풀림, 이송장치의 좌/우 이동 및 롤러 폭 조절기의 작동시험을 수행하였으며, 부하시험으로는 윈치드럼의 견인력과 제동력 측정시험 그리고 권선정렬기 이송장치 이송력과 정지력 측정시험을 수행하였다. 육상에서 부하시험을 위하여 보조원치와 부하 시뮬레이터를 사용하였다. 윈치드럼의 견인력과 제동력 측정 시험장면 및 시험결과는 그림 13, 14, 15와 같다.

견인력은 설계사양 2.5톤에서 부하시험 측정결과 2.95톤 이었다. 이 결과는 성능에서는 여유가 있으나 크기와 무게에서 불리하다. 이러한 결과를 가져온 이유는 용량 계산에 적합한 유압구성품이 없을 경우에 한 등급 위의 부품을 선택한 결과로 해석할 수 있다. 반면에 제동력은 설계사양 10톤에 측정시험 결과 10.86톤으로 잘 만족하고 있음을 알 수 있다. 이송장치의 속도제어와 케이블 롤러폭 조절장치에 의한 권선정렬 시험결과 그림 16에서 보는 바와 같이 매우 양호한 권선정렬 성능을 나타내었다.

또한 권선정렬기 이송장치의 이송력과 정지력 측정 시험장면 및 시험결과는 그림 17, 18, 19와 같다.

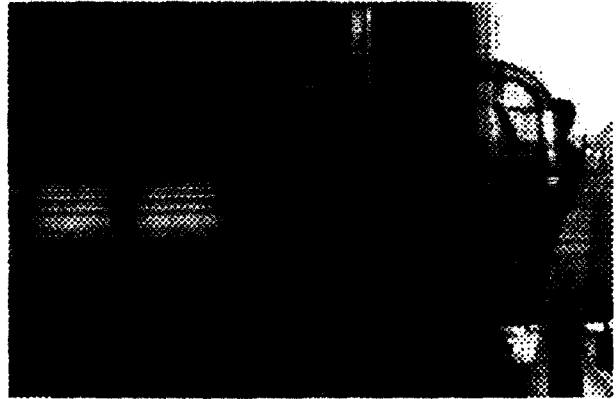


그림 13. 견인력/제동력 시험.
Fig. 13. Test of pulling/bracking force.



그림 14. 견인력 결과.
Fig. 14. Result of pulling.

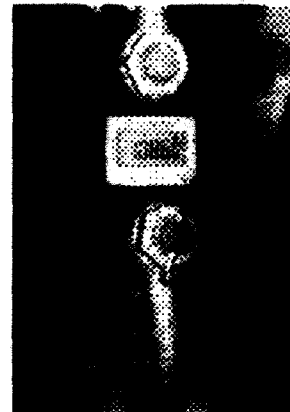


그림 15. 제동력 결과.
Fig. 15. result of bracking force force.

이송력은 설계사양 0.4톤에서 부하시험 측정결과 0.52톤 이었다. 이 결과는 외란에 의하여 부하가 증가하여도 이송대의 이동에는 여유가 있음을 알 수 있다. 또한 정지력은 사양 1.6톤에 실험결과 1.68톤으로 잘 만족함을 알 수 있다. 개발된 예인원치는 육상에서 작동시험과 부하시험을 통하여 사전에 기능과 성능을 확인한 후에 실제 선박에 탑재하여 시스템의 견인력과 권선정렬 성능을

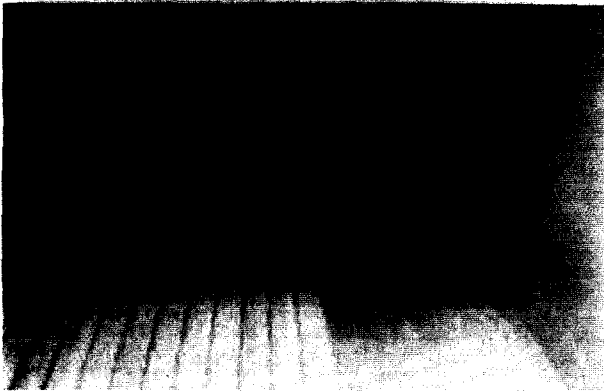


그림 16. 권선정렬 시험결과.
Fig. 16. Test result of cable winding alignment.



그림 17. 이송력/정지력 시험.
Fig. 17. Test of moving and static force.



그림 18. 이송력 결과
Fig. 18. Result of moving.

검증하기 위하여 해상시험을 실시하였다. 해상시험에서 케이블 길이에 따른 부하 측정치는 다음 그림 20과 같다. 해상시험시 함속도는 16kts이고, 전체 케이블 길이는 700m이며 데이터 측정시간 간격은 0.2초이다.

그림 20의 해상시험 결과에서도 잘 나타나듯이 케이블을 견인하기 시작할 무렵에 180bar의 순간적인 최대압력이 걸리므로 소요부하는 약 2.3톤이고, 또한 순간정격

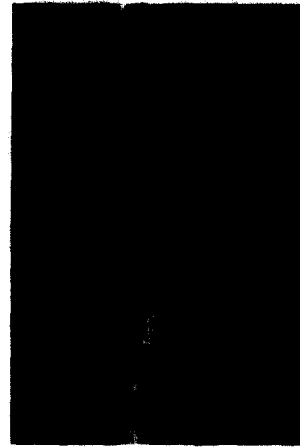


그림 19. 정지력 결과.
Fig. 19. Result of static force force.

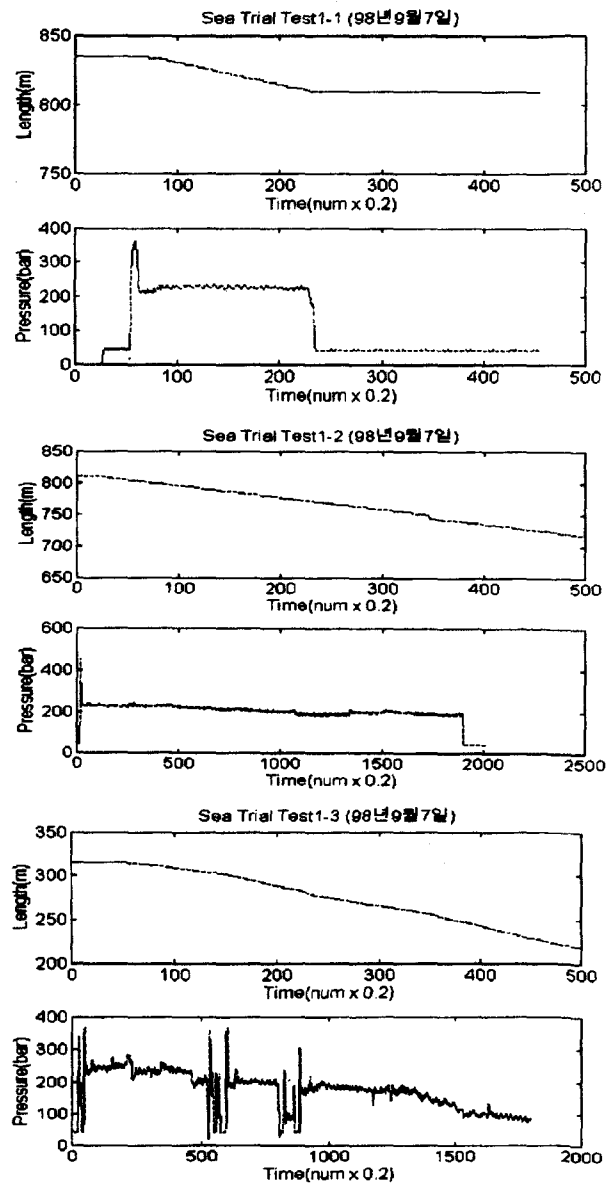


그림 20. 해상시험 결과.
Fig. 20. Result of sea trial test.

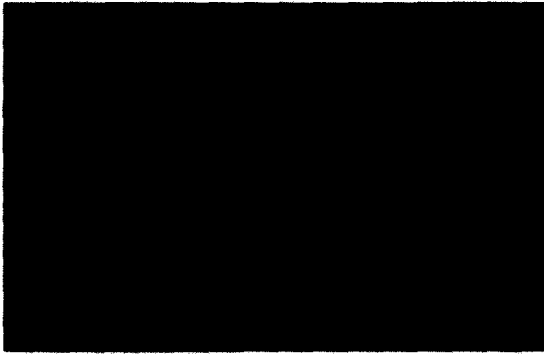


그림 21. 권선정렬 결과.
Fig. 21. Result of cable winding.

이 지나 연속정격이 되는 영역에서의 최대압력은 110bar로서 소요부하는 1.6톤이다. 따라서 설계사양 2.5톤은 시스템 운용조건을 잘 만족시키고 있음을 알 수 있다. 또한 권선정렬기에 의한 권선상태는 그림 21에 잘 나타나 있듯이 육상시험에서와 마찬가지로 양호한 결과를 나타내었다.

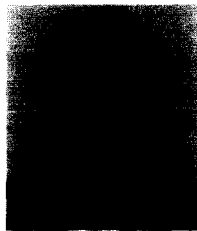
V. 결론

본 논문에서는 시스템의 운용조건을 분석하여, 예인케이블의 부하장력 해석에 따른 케이블 특성데이터 및 예

인원치의 설계사양을 도출하였다. 도출된 설계사양에 따라 유압구성요소의 용량을 산출하고, 설치공간과 케이블의 안전 곡률반경을 고려하여 윈치드럼을 설계하였다. 또한 1인 운용 윈치제어기를 설계하여 윈치드럼의 속도 제어와 케이블의 권선정렬이 가능하게 하였다. 설계된 예인원치는 육상에서 부하 시뮬레이터를 이용하여 작동 시험과 부하시험을 수행하여 그 성능을 검증하였다. 또한 개발된 장비는 실제 선박에 탑재하여 해상시험을 통하여 성능을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Cogent사 기술자료.
- [2] Thomson Sintra 기술자료.
- [3] 국방과학연구소, “어뢰음향 대항체계 개발 계획서,” 1997.
- [4] 국방과학연구소 연구자료, “수중예인 음탐기 의 3차원 동특성 연구,” 1997.
- [5] 국방과학연구소 연구자료, “흑룡 예인부 윈치 선행 개발 완료보고서,” 1996.
- [6] 양승윤, “어뢰 음향 대항체계 예인부 실용설계,” 국방과학연구소, 1997.
- [7] 不二越油壓研究 그룹, 알고 싶은 유압<기초 편>, <응용편>, <실제편>, 機電研究社, 1994.
- [8] Gearmatic사 기술자료.



양 승 윤
1960년 11월 19일생. 1983년 부산대학교 기계공학과 졸. 1989년 동 대학원 기계공학과(석사). 1997년 동 대학원 정밀기계공학과(박사). 1989년-현재 국방과학연구소 선임 연구원. 연구분야 수중운동체 조종제어

및 자율제어.