

## 소형 어선의 자동 권양 윈치시스템 설계

이대재 · 김진건 · 김병삼

부경대학교

(2000년 5월 2일 접수)

# Design of an Automatic Winch System for Small Fishing Vessel

**Dae-Jae LEE, Jin-Kun KIM and Byoung-Sam KIM**

Pukyong National University

(Received May 2, 2000)

### Abstract

A small hydraulic winch system with an automatic tension control unit was designed to improve the work efficiency of coastal small vessels and the dynamic response characteristics of the winch system operated in the open loop condition was investigated.

The inlet and the outlet pressures in hydraulic motor, the torque and the rotating speed of winch drum were measured as a function of time, and the behaviour in autotension mode for stepped load changes was analyzed.

The results obtained are summarized as follows :

1. The developed winch system for coastal small vessels will result in better fishing with improved efficiency and lower manpower consumption by remote control of winch system.
2. The rotating delay times of winch drum for on/off operations of solenoid valve were 0.09 sec at CW mode and 0.04 sec at CCW mode, respectively. After the solenoid valve was controlled, response characteristics were unstable slightly but showed good tracking behaviour over short time.
3. The driving torque of winch system in autotension mode was kept almost constant of 55.9  $kgf \cdot m$ , and then the rotating speed of winch drum was kept almost constant of 5.1  $rpm$  in the larger torque than 55.9  $kgf \cdot m$  and 11.1  $rpm$  in the lower torque than that.
4. The 5% settling times in the transient response characteristics of autotension mode under rapid increasing and decreasing conditions of load were 0.12 sec and 0.2 sec, respectively, and then the rotating speeds were 11  $rpm$  and 5.3  $rpm$ , respectively.
5. The tracking behaviour of torque and rotating speed by remote control operation were stable within 0.23 sec at CW mode and 0.37 sec at CCW mode, respectively.

\* 이 논문은 1999년도 부경대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 서 론

## 재료 및 방법

해상의 가혹한 환경속에서 사용되는 어로시스템을 설계하는 데 있어서는 우선 사용자가 요구하는 어업기계의 제원, 즉, 권양 하중, 권양 속도를 포함하여 사용 환경, 일의 특성, 조작 방법 등에 대한 조건을 상세하게 분석하고, 이들의 조건을 충분히 만족시키는 시스템을 개발하는 것이 중요하다.

현재, 우리나라에서는 해마다 어업 종사자의 어촌 이탈 현상이 가속화되고 있고, 또한, 어업자의 고령화 및 여성 인력에 대한 어업 의존도가 날로 증대되어 연안 어선어업은 해를 거듭할수록 위축되고 있다. 따라서, 이 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 "1인 조업형 어로 기법"을 개발하여 실용화시킬 필요가 있다.

그러나, 현재 우리나라 대부분의 연안 소형 어선에서 가장 널리 사용하고 있는 어로시스템은 주 기관의 회전력을 이용하여 구동하는 사이드 드럼이다. 이 시스템은 우선 조작이 불편하고, 어로작업을 하면서 동시에 시스템을 다양하게 조작하고자 할 때에는 어선 승조원이 조작레버가 설치된 장소로 이동하여 수동으로 조작해야 하는 불편이 있다. 이 문제의 개선을 위해 과거부터 수많은 노력이 행해져 왔지만 결국 조업 시스템을 기계화하지 않으면 효율적인 어로작업이 어렵기 때문에 최근에는 인력절감형 어업기계장치에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다<sup>1)~5)</sup>.

최근, 근해 어선의 어로시스템을 개선하기 위한 연구의 일환으로 전기 유압 서보 방식의 자동 권양 원치시스템에 대한 연구는 행하여진 바 있으나<sup>6)</sup>, 연안 소형 어선에 대한 자동 권양 원치시스템에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 연안 소형 어선의 1인 조업형 어로시스템을 개발하기 위한 연구의 하나로써 소형 유압식 어로 원치시스템을 개발하고, 여기에 auto tension 기능을 부가한 후, 이 시스템의 개루프(open loop) 상태에 대한 동적 응답 특성의 분석을 통해 소형 어선의 조업시스템을 개선하기 위한 실험적 연구를 행하였다.

## 1. 원격조작형 유압 원치시스템의 설계

## 1) 원치의 토오크 및 회전수

본 연구에서는 8 톤 미만의 연안 소형 어선에 대한 각종 어로작업을 고려하여 원치시스템의 적정 권양 능력을 권양 하중( $W$ ) 0.5 ton, 권양 속도( $V$ ) 20 m/min, 또한 와이어 로프의 직경을 15 mm로 하여 유압구동장치를 설계하였다.

보통, 와이어 로프를 사용하는 경우에는 원치 드럼의 직경( $D$ )과 로프의 직경( $d$ ) 사이에 『 $20d \leq D+d$ 』의 조건이 만족되도록 원치 드럼을 결정하기 때문에 본 연구에서도 이 관계를 고려하여 원치 드럼의 직경은  $D=290$  mm로 하였다.

원치 드럼의 구동에 필요한 토오크( $T_L$ , kgf·m) 및 회전수( $N_d$ , rpm)는 각각

$$T_L = W \cdot \frac{PCD}{2} \quad (1)$$

$$N_d = \frac{1,000 \cdot V}{\pi \cdot PCD} \quad (2)$$

에 의해 구할 수 있고, 여기서,  $PCD$ 는 원치 드럼에 감기는 첫 번째 로프 층에 대한 동심원 직경으로서

$$PCD = ((D+d) + 2 \times (n-1) \times d) \quad (3)$$

에 의해 구할 수 있다. 여기서,  $n$ 은 줄(로프)의 층수이다. 줄의 층수가 증가하면  $PCD$ 가 커져 원치 드럼의 소요 구동 토오크가 증가하는 데, 여기서는 7 번째의 로프 층에 대한  $PCD$ 를 기준하여 설계하였으며, 이 때,  $PCD$ ,  $T_L$  및  $N_d$ 는 각각 485 mm, 121.25 kgf·m, 13.13 rpm이다.

## 2) 감속비

소형 어선용 어로원치를 설계할 때에는 우선 용량이 작은 유압구동장치를 사용해야 하고, 이 조건하에서 큰 토오크를 얻어내기 위해서는 부득이 원치 드럼의 감속비를 크게 해야 하는 문제가 따른다. 따라서, 본 연구에서는 감속비  $i$ 가  $1/i=1/40$ 인 遊星齒車形 二段減速裝置(內田油壓)를 사용하

였는데, 이 감속장치의 기계효율은  $\eta_r=0.8$ 로 하였다.

3) 유압 모터의 선정<sup>7-13)</sup>

유압 모터의 구동 토크( $T_m$ )와 회전수( $N_m$ )는 각각

$$T_m = T_L \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{\eta_r} \quad (4)$$

$$N_m = N_d \cdot i \quad (5)$$

에 의해  $T_m, N_m$ 은 각각  $3.79 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ ,  $525.2 \text{ rpm}$ 이 된다.

유압 모터의 배제 용적  $q(\text{cm}^3/\text{rev})$ 는 유효작동압력을  $P$ , 기계 효율 및 유압 모터의 구동 토크를 각각  $\eta_m$ 과  $T_m$ 이라 할 때,

$$q = \frac{2\pi \cdot T_m \times 100}{P \cdot \eta_m} \quad (6)$$

에 의해 구할 수 있다. 여기서, 유효작동압력  $P$ 는 유압 모터의 입구측 압력을  $P_1$ , 출구측 압력을  $P_2$ 라 할 때,  $P=P_1-P_2$ 이다.

본 연구에서는 유효작동압력  $P=90 \text{ kgf/cm}^2$ , 유압 모터의 기계 효율과 용적 효율을 각각  $\eta_m = \eta_{vm}=0.85$ 로 하여 유압 모터의 배제 용적을 계산하였는데, 이 설계 자료를 이용할 때, 유압 모터의 배제 용적은  $31.1 \text{ cm}^3/\text{rev}$ 이 된다. 여기서는 시스템의 구성에 대한 편의성을 고려하여 이 조건을 만족시키면서 특히 감속비가 큰 감속장치와 윈치 드럼이 함께 결합된 드럼 구동장치(內田油壓)를 선택하여 사용하였다. 이 구동장치에는 가변용량형 피스톤식 유압 모터(A6V107, 內田油壓)가 장착되어 있는데, 이 모터의 최소 사축 경사각  $7^\circ$ 에 대한 배제 용적은  $30.8 \text{ cm}^3/\text{rev}$ , 최대압력은  $400 \text{ kgf/cm}^2$ , 작동압력  $90 \text{ kgf/cm}^2$ 에 대한 출력 토크는  $4.41 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ , 최대회전속도  $4,000 \text{ rpm}$ 이다.

본 연구에서 설계한 윈치가 목적하는 권양 능력을 갖기 위해서는 유압 모터의 회전축에서  $3.79 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ 의 구동 토크가 발생되어야 하는데, 이를 위한 유효작동압력  $P(\text{kgf/cm}^2)$ 는

$$P = \frac{2\pi \cdot T_m \times 100}{q \cdot \eta_m} \quad (7)$$

에 의해  $90.9 \text{ kgf/cm}^2$ 이지만, 보통 선박 배관이나 각종 유압장치에서의 압력 손실이 있는 점을 고려하여 릴리프 밸브(RD103S35, Parker)의 최고압력은  $100 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 설정하였다.

4) 유압 펌프의 선정<sup>14)</sup>

유압 모터가 필요로 하는 유량  $Q_m(\text{l/min})$ 은

$$Q_m = \frac{q \cdot N_m}{1,000 \times \eta_{vm}} \quad (8)$$

에 의해  $Q_m=19 \text{ l/min}$ 이다. 유압 배관 및 밸브에서의 누유를 고려하여 약 4% 정도의 여유를 보고 설계할 경우, 유압 펌프의 토출 유량은  $Q=19.8 \text{ l/min}$ 이 된다.

유압 펌프의 배제 용적  $q_p(\text{cm}^3/\text{rev})$ 는 유압 펌프의 용적 효율  $\eta_v=0.91$ , 전동기의 전부하 회전속도  $N_p=1,150 \text{ rpm}$ 이라 하면,

$$q_p = \frac{Q \times 1,000}{N_p \cdot \eta_v} \quad (9)$$

에 의해  $q_p=18.9 \text{ cm}^3/\text{rev}$ 이 된다. 이 조건을 만족하는 유압 펌프로써 본 연구에서는 Commercial intertech사의 P11 유압 펌프를 선택하였는데, 이 유압 펌프의 배제 용적은  $q_p=33 \text{ cm}^3/\text{rev}$ , 정격압력은  $185 \text{ kgf/cm}^2$ 이다.

5) 전동기의 선정

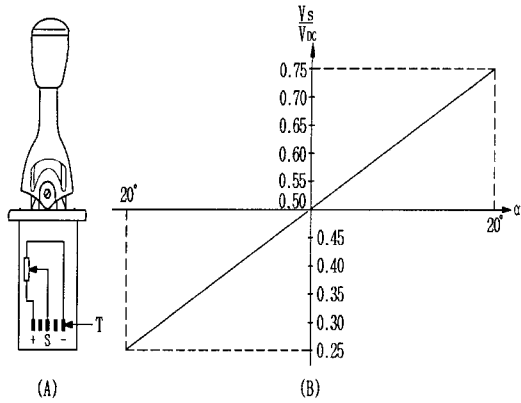
소형 어선에 설치되는 유압시스템에 대한 압력 손실을 약  $10 \text{ kgf/cm}^2$ , 유압 펌프의 전효율을  $\eta_{vt}=0.75$ 라 가정하면, 유압 펌프의 구동에 필요한 소요 동력  $P_m(\text{kW})$ 은

$$P_m = \frac{(P + \Delta P) \cdot Q}{612 \cdot \eta_{vt}} \quad (10)$$

에 의해  $P_m=1.89 \text{ kW}$ 가 되지만, 본 연구에서는  $3.7 \text{ kW}$ , 6극,  $1,150 \text{ rpm}$ 의 삼상 유도 전동기를 이용하여 유압 펌프를 구동하였다.

6) 원격조작형 비례제어밸브의 선정

본 연구에서는 어로윈치의 원격조작 및 수동조작이 모두 가능하고, 또한 방향제어밸브의 조작량에 비례하는 윈치의 회전속도를 얻기 위해 원격조작식 비례제어밸브를 선택하여 사용하였다.



**Fig. 1. (A) A mechanical lever of proportional control valve PVG 32. (B) The relationship between control voltage( $\frac{V_s}{V_{DC}}$ ) and inclination angle of mechanical lever for remote controller.**

본 연구에서 사용한 비례제어밸브는 유압 모터에 대한 공급 유량과 유효작동압력을 고려하여 덴마크 Danfoss의 PVG32를 사용하였는데, 이 비례밸브에는 수동조작용 기계식 액츄에이터와 전기식 액츄에이터(PVEM 157B4128)가 밸브의 본체 좌우측에 장착되어 있다. 이 밸브의 최대작동압력은  $300 \text{ kgf/cm}^2$ , 유량(rated oil flow)은  $140 \text{ U/min}$ 이고, 또한, 전기입력전압( $V_{DC}$ )은 DC 24 V이고, 비례제어신호의 입력전압( $V_s$ ) 범위는  $+5.5 \text{ V} \sim +18.5 \text{ V}$ 이다.

Fig. 1은 비례제어밸브의 조작레버의 경사각도( $^\circ$ )에 따른  $\frac{V_s}{V_{DC}}$ 의 관계를 나타낸 것이다. 원치레버의 최대 경사각은  $\pm 20^\circ$ 이고, 이 각도 범위에서  $\frac{V_s}{V_{DC}}$ 의 값은 매우 양호한 직진성을 나타내고 있는데, 비례제어밸브에  $\frac{V_s}{V_{DC}} = 0.25 \sim 0.50$ 의 신호를 공급하면 원치는 역전구동되고,  $\frac{V_s}{V_{DC}} = 0.50 \sim 0.75$ 의 신호를 공급하면 원치는 정전구동된다.

## 2. 부하의 발생

본 연구에서 설계한 원치시스템에 부하를 인가

하기 위해 본 연구에서는李 등<sup>6)</sup>이 개발한 모의부하발생장치를 이용하여 실험을 행하였다. 이 부하발생장치는 부하발생용 유압 모터의 토출측에 압력제어밸브를 삽입하고, 이 제어밸브의 설정압력을 임의로 조정함으로써 줄의 장력을 무단으로 가변시킬 수 있도록 설계한 auto tension 방식 전기유압 서보 원치시스템이다.

## 3. 원치시스템의 응답 특성 측정

본 연구에서는 원격조작식 자동 권양 원치시스템을 대상으로 유압 펌프에서 토출되는 유압유가 전자비례제어밸브를 통과할 때, 그 유량을 개루프 상태에서 제어하는 경우에 대한 응답 특성에 대해서만 분석, 고찰하였다.

우선, 원치시스템의 구동에 따른 각부의 동적 응답 특성을 실시간으로 계측하기 위해 압력 신호 변환기(P350, Green sensor)를 사용하여 릴리프 밸브의 압력, 유압 모터에서의 공급 및 배출압력을 계측하였고, 속도계(tachogenerator,  $60 \text{ V/1000 rpm}$ , Sanyo 전기)를 부하원치의 드럼 회전축에 설치하여 권양 및 조출 속도를 계측하였다. 또한, 토오크 미터(TQS1, 대성산업)를 부하원치의 유압 모터 회전축에 설치하여 줄의 장력 변동에 따른 원치의 구동 토오크의 변동 특성을 측정하였다.

실험은 원격조작레버의 상하 경사각을 조정하여  $+5.5 \text{ V} \sim +18.5 \text{ V}$ 의 범위의 비례제어밸브에 대한 입력전압을 램프(ramp)상으로 증가 및 감소시키는 제어조작을 반복하면서 실시하였다. 또한, 원치시스템의 동특성을 정량적으로 분석하기 위해 압력 신호 변환기 및 토오크 미터에서 검출된 전기신호를 각각 변형증폭기(HD2000, Green sensor)와 디지털 지시기(FS-10, Fine mechatronics)를 통해 표시, 증폭한 후, 이 출력 전압과 부하원치 드럼의 회전축에 설치한 속도계에서 출력되는 전압을 파형해석장치(HT-600, HI-Tech)에 입력하여 분석하였다.

이 실험에서 사용된 파형해석장치는 8 채널로서 분해능 및 샘플링 주파수는 각각  $12 \text{ bit}$ ,  $1 \text{ MHz}$ 이다.

## 결과 및 고찰

### 1. 원격조작식 자동 권양 원치시스템의 구성

Fig. 2는 본 연구에서 설계, 제작한 원격조작식 자동 권양 원치시스템의 유압 회로도를 나타낸 것이다. 이 원치시스템은 크게 4 개의 장치, 즉, 유압 구동장치, 비례제어밸브시스템, 원치 드럼 구동장치, auto tension 장치로서 구성된다.

먼저, 유압구동장치는 전동기, 가변용량 액시얼 피스톤 펌프, 릴리프 밸브, 역류방지용 체크 밸브로서 구성되고, 비례제어밸브 시스템은 비례제어 밸브 본체와 수동조작부, 원격조작부로서 구성된다. auto tension 장치는 on/off 솔레노이드 밸브, 압력 가변형 릴리프 밸브, 드로틀 체크 밸브로서 구성되고, 이 장치에는 솔레노이드 밸브를 통과하는 기름의 역류를 방지하기 위한 체크 밸브가 부가되어 있다. 또한, 원치 드럼 구동장치는 유압 모터, 감속장치, 원치 드럼으로 구성하였다.

본 연구에서 설계, 제작한 소형 원치시스템은

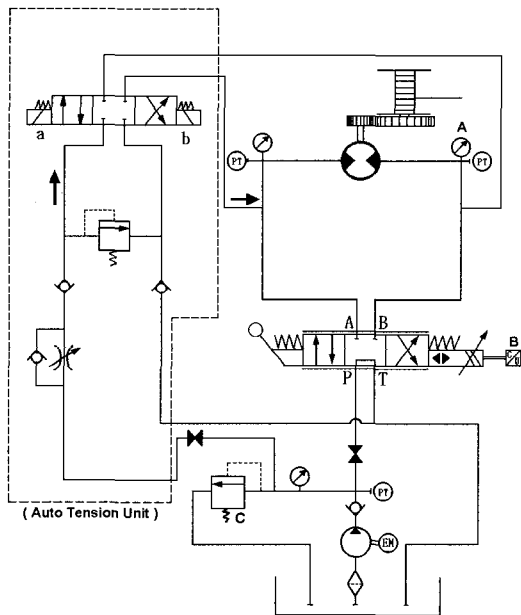


Fig. 2. Schematic diagram of the automatic winch system for small fishing vessels.

(A) Pressure Sensor (B) Solenoid amplifier  
(C) Relief valve

수동레버를 사용하여 정전 및 역전 구동이 가능할 뿐만 아니라 갑판상 어느 장소에서나 조작이 가능하도록 원격조작방식을 채용하고 있기 때문에 어로작업시의 인력 감소와 작업의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다고 생각된다.

한편, Fig. 2의 소형 원치시스템에는 어로작업인력의 절감과 조업 능력을 향상시키기 위한 시도로 줄의 장력을 자동 검출 및 처리하기 위한 auto tension 제어장치를 부가적으로 설계, 장착하였다. 이 장치는 줄의 장력이 설정치 이상이 되어 과부하 상태가 되면 줄이 자동 조출되고, 반면 줄의 장력이 설정치 이하로 되어 느슨해지면 줄이 자동 인양되는 auto tension 기능을 발휘하기 때문에 기존의 원치시스템에 비해 어로작업시에 대한 조업 능력을 보다 향상시킬 수 있다고 판단된다.

### 2. 원치의 동적 응답 특성

#### 1) 수동레버의 on/off 조작에 따른 응답 특성

Fig. 3은 Fig. 2의 유압 회로에서 비례방향제어 밸브에 대한 기름의 유입은 차단하고, auto tension unit에만 기름을 공급시킨 상태에서 솔레노이드 밸브의 on/off 조작을 통해 원치를 구동시킨 경우에 대한 응답 특성이다.

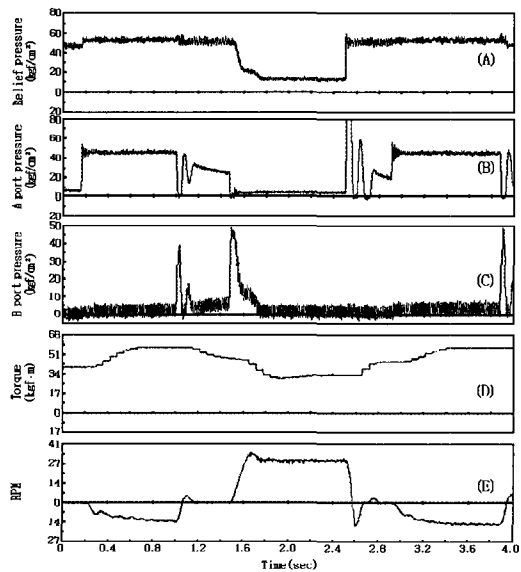


Fig. 3. Transient responses on switch-on and switch-off conditions of the winch system.

이 응답 특성은 먼저 부하원치를 **auto tension mode**로 절환하여 와이어 로프에 강한 초기 장력이 유지되도록 설정한 상태에서 원격 자동 원치의 sol-b를 0.85 sec 동안 통전(CW 구동)시켜 와이어 로프를 감아들인 후, 0.5 sec 동안에는 원치를 일시적으로 정지시켰다가 그 후에는 원격 자동 원치의 sol-a를 1 sec 동안 통전(CCW 구동)시켜 와이어 로프를 풀어내는 조작을 반복하면서 측정된 결과인데, 이 실험에서 솔레노이드의 on/off 조작시간은 4.0 sec이었고, 샘플링 주기는 2 ms이었다.

Fig. 3에서 (A)~(E)는 각각 원격 자동 원치의 릴리프 밸브 압력, 유압 모터의 고압측(A port) 압력, 유압 모터의 저압측(B port) 압력, 원치 드럼 회전축의 토오크(kgf·m)와 원치 드럼의 회전수(rpm)를 나타낸 것이다.

Fig. 3(A)에서 원치의 relief valve 압력은 sol-b를 통전시켜 권양 상태로 했을 때에는 53 kgf/cm<sup>2</sup>을 나타내어 초기 압력 47 kgf/cm<sup>2</sup>에 비해 약 6 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력 상승이 발생하였으나, sol-a를 통전시킨 조출 상태에서는 권양 상태에서와 반대로 relief valve 압력이 큰 폭으로 감소하여 13 kgf/cm<sup>2</sup>을 나타내었다.

Fig. 3의 (B) 및 (C)에서 유압 모터의 고압측(A port) 압력은 sol-b를 통전시킨 직후에 일시적으로 54 kgf/cm<sup>2</sup>까지 급상승하는 경향을 나타내었지만, 시간의 경과와 더불어 안정되어 46 kgf/cm<sup>2</sup>의 일정한 압력을 유지하였다. 이 상태에서 원치의 on/off 레버를 중립 상태로 변화시키면 유압 모터의 고압측 및 저압측에 큰 폭의 순간적인 압력 변동이 나타난다. 또한, 원치의 on/off 레버를 조작하여 sol-a를 통전시켜 와이어 로프를 조출시키는 순간에는 45.9 kgf/cm<sup>2</sup>까지 압력이 일시적으로 급상승하지만, 부하원치의 auto tension mode가 작동하여 원치 드럼에 감겨 있는 와이어 로프를 당겨 감아들이는 시점부터 거의 압력이 걸리지 않게 된다.

Fig. 3의 (D)와 (E)에서 원치에 초기 토오크 38.9 kgf·m가 걸려 있는 상태에서 sol-b를 통전시켜 부하원치의 와이어 로프를 당겨 감아들일 때, 원치 드럼은 sol-b에 전기가 공급된 후 0.09 sec 경과해서부터 회전을 시작하고, 토오크는

0.14 sec 경과해서부터 발생하기 시작한다. 그 후, 원치 드럼의 토오크는 sol-a가 통전되어서부터 0.52 sec 후에 일정한 값 56.2 kgf·m에 수렴하고, 드럼의 회전수는 시간과 더불어 12.8 rpm까지 증가해 가는 경향을 나타내었다. 이 상태에서 on/off 레버를 중립 위치로 하면, 드럼은 순간적으로 역회전하였다가 정지하고, 토오크는 시간과 더불어 감소하는 경향을 나타낸다.

한편, 이와 반대로 sol-a를 통전시켜 부하원치의 와이어 로프를 풀어낼 때, 원치 드럼은 sol-a에 전기가 공급된 후 0.04 sec 경과해서부터 회전을 시작하고, 토오크는 sol-b가 통전되어서부터 0.45 sec 후에 29.8 kgf·m까지 감소하는 경향을 나타내었다. 이 때, 드럼의 회전은 sol-a에 전기가 공급된 후 0.11 sec 경과하여 최대 오버슈트가 나타나 회전수가 35.7 rpm까지 일시적으로 증가하지만, 짧은 경과시간을 거쳐 29.9 rpm의 일정한 회전수로 안정되는 응답 특성을 나타내었다. 또한, 이 상태에서 원치의 on/off 레버를 중립 상태로 하면 원치 드럼이 순간적으로 역전되는 현상이 나타났다.

이 실험에서 원치시스템의 회전 및 토오크는 레버의 on/off 조작을 행한 직후에는 약간의 불안정한 경향을 나타내고 있지만, 짧은 시간에 거쳐 안정되는 추종 성능을 나타내었다.

## 2) 원치의 auto tension 특성

Fig. 4는 Fig. 2에서 비례방향제어밸브에 대한 기름의 유입을 차단하고, auto tension unit에만 기름이 공급되도록 원치시스템을 조정한 후, 솔레노이드 밸브의 sol-b를 통전시켜 놓은 상태에서 auto tension mode에 대한 응답 특성을 조사한 결과이다.

이 응답 특성은 조사대상 원치의 와이어 로프에 임의의 장력이 걸리도록 부하원치를 스텝상으로 정전 및 역전 구동하여 와이어 로프를 당기거나 풀어 주는 조작을 반복하면서 측정된 결과인데, 이 실험에서 비례제어밸브의 조작시간은 4.0 sec이었고, 샘플링 주기는 2 ms이었다.

Fig. 4에서 (A)~(F)는 각각 부하원치의 서보밸브 제어전압(V), 원격 자동 원치의 릴리프 밸브 압

력, 유압 모터의 고압측(A port) 압력, 유압 모터의 저압측(B port) 압력, 윈치 드럼의 토크( $kgf \cdot m$ ) 및 회전수( $rpm$ )를 나타낸 것이다.

실험은 Fig. 4의 (A)에서와 같이 부하윈치의 서보밸브에 대한 제어입력전압을  $0V \rightarrow 5V \rightarrow 0V \rightarrow -5V \rightarrow 0V \rightarrow 5V$ 의 스텝상으로 변화시키면서 행하였는데, 이 때, 자동 권양 윈치에는 auto tension 장치를 통해 유압 모터의 고압측에 항상 약  $30 kgf/cm^2$ 의 압력이 공급되고, 이 압력에 의해 윈치 드럼의 회전축에는  $55.9 kgf \cdot m$ 의 초기 부하 토크가 항시 걸려 있는 상태가 된다. 따라서, 드럼 회전축에 걸리는 부하 토크가  $55.9 kgf \cdot m$ 보다 작으면 A port를 통해 공급되는 유압에 의해 윈치가 정전 구동되어 와이어 로프가 감기고, 만일 그 이상의 부하 토크가 걸리면 설정 토크를 초월하는 만큼의 토크 성분이 자동 권양 윈치를 역전 구동시켜 와이어 로프를 풀어내는 auto tension 기능을 발휘하게 된다.

Fig. 4(F)의  $0.4 \sim 1.3 sec$  및  $2.9 \sim 3.7 sec$  구간에서와 같이 부하윈치를 구동하여 자동 권양 윈치의 드럼에 감겨 있는 와이어 로프를 풀어당기면 유압 모터가 역회전하면서 A port의 작용압력이 순간적으로 상승하게 된다. 이 때, A port에  $30 kgf/cm^2$

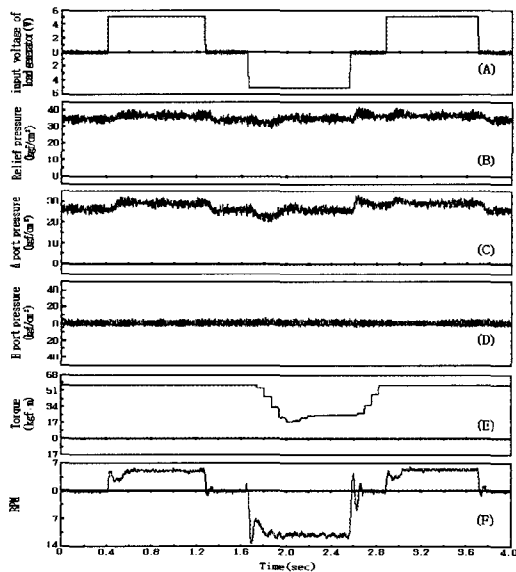


Fig. 4. Automatic towing and shooting characteristics for stepped load changes.

이상의 압력이 걸리면, 그 초과압력은 auto tension unit의 압력제어밸브를 거쳐 B port로 배출되기 때문에 유압 모터의 역회전에 필요한 기름 공급이 정상화되어 윈치 드럼은 약  $5.1 rpm$ 으로 정속 회전한다. 또한, A port에는  $30 kgf/cm^2$ 의 압력이 유지되고, 모터 회전축에는  $55.9 kgf \cdot m$ 의 토크가 일정하게 유지되는 동작 특성을 갖는다.

한편, 부하윈치의 드럼에 감겨있는 와이어 로프를 Fig. 4(F)의  $1.65 \sim 2.59 sec$  구간에서와 같이 풀어내면 자동 권양 윈치의 유압 모터는 A port에 걸리는 약  $30 kgf/cm^2$ 의 압력에 의해 정전 구동되고, 동시에 윈치 드럼이 약  $11.1 rpm$ 의 속도로서 정속 회전하면서 드럼의 회전축에는  $25.4 kgf \cdot m$ 의 토크가 발생하는 auto tension 기능을 발휘한다.

### 3) 윈치의 과도 응답 특성

Fig. 5는 부하윈치를 사용하여 원격 자동 윈치의 auto tension mode에 대한 과도 응답 특성을 나타낸 것이다.

Fig. 5의 (A)는 원격 자동 윈치의 줄에 초기 장력이 걸려 있는 상태에서 부하윈치의 비례제어밸브에 대한 입력 전압을  $0V$ 에서  $-5V$ 까지 스텝상으로 변화시켜 줄의 장력을 갑자기 낮추었을 때의 윈치 드럼의 회전 응답 특성을 나타낸 것이다. 이 때, 원격 자동 윈치는 스텝상의 부하 저감 효과에 대하여  $0.012 sec$ 의 시간 지연을 갖는 회전 특성을 나타내었고, 정정시간(정상편차 5% 이내)은  $0.12 sec$ 이며, 정상회전속도는  $11 rpm$ 이었다.

한편, Fig. 5의 (B)는 (A)에서와 같이 줄에 초기 장력이 걸려 있는 상태에서 부하윈치의 제어전압을  $0V$ 에서  $+5V$ 까지 스텝상으로 변화시켜 줄에

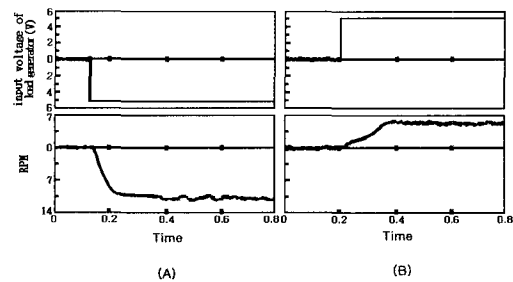


Fig. 5. Transient responses for the rotational speed of winch system in load condition.

급장력을 주었을 때의 윈치 드럼의 회전 응답 특성을 나타낸 것이다. 이 때, 원격 자동 윈치는 스텝상의 부하 증가 효과에 대하여 0.008 sec의 시간 지연(dead time)을 갖는 회전 특성을 나타냈고, 정정시간(정상편차 5% 이내)은 0.2 sec이며, 정상회전속도는 5.3 rpm이었다.

Fig. 5의 실험을 통하여 본 연구에서 제작한 원격 자동 윈치는 부하의 급속한 변화에 대한 추종 성능이 매우 우수하였고, 특히, Fig. 5(B)에서와 같이 줄에 급장력이 걸렸을 때, 매우 빠른 응답 특성을 나타내어 해상에서 어로작업시 과부하에 대한 어구의 손상 방지에 크게 기여할 것으로 판단된다.

4) 윈치의 원격조작에 따른 응답 특성

Fig. 6은 원격 자동 윈치의 원격조작을 통해 비례방향제어밸브의 제어전압을 5.5 V에서 18.5 V까지 무단으로 변화시켰을 때의 개루프에 대한 동적 응답 특성을 나타낸 것이다. 비례제어밸브의 조작 시간은 4.0 sec이며, 샘플링 주기는 2 ms이다.

Fig. 6에서 비례제어밸브의 중립위치에 대한 입력제어전압은 12 V이고, 제어전압이 12 V보다 높

으면 정전 구동되고, 낮으면 역전 구동되는 특성을 갖도록 설계하였다. Fig. 6의 (A)~(F)는 각각 윈치시스템의 제어입력전압(V), 릴리프 밸브 압력(kgf/cm<sup>2</sup>), 유압 모터의 고압측(A port) 압력, 유압 모터의 저압측(B port) 압력, 윈치 드럼 회전축의 토크(kgf·m)와 회전수(rpm)를 나타낸 것이다.

Fig. 6의 실험은 원격신호발생장치를 통해 발생시킨 Fig. 6(A)의 제어신호를 비례제어밸브에 인가하여 윈치시스템을 정전 및 역전 구동하였는데, 이 때, 원격조작은 실제 어선에서 사용하기 쉽도록 소형 조작레버를 사용하여 행하였다. 그러나, 실제 원격레버의 조작을 스텝상으로 하더라도 조작에 따른 시간 지연이 발생하여 제어밸브에는 램프상의 신호가 인가되는 결과가 되었다.

실험은 원격 자동 윈치의 줄에 초기 장력이 걸려 있는 상태에서 비례제어밸브의 제어전압을 12 V에서 5.5 V까지 변화시켜 드럼을 정전 구동시킬 때, 릴리프 밸브 및 유압 모터의 고압측에서는 압력이 각각 10.4%, 27.1%의 오버슈트를 나타낸 후, 58.0 kgf/cm<sup>2</sup>, 50 kgf/cm<sup>2</sup>에 수렴해 가는 것을 나타내었으나, 저압측에서는 큰 압력의 변화가 없었다.

이 때, 윈치의 토크와 회전수는 각각 0.23 sec, 0.12 sec의 지연 시간을 갖고 발생하기 시작하여 55.9 kgf·m, 17.2 rpm에 수렴해 가는 경향을 나타내었다.

한편, 비례제어밸브의 제어전압을 12 V에서 18.5 V까지 변화시켜 드럼을 역전 구동시킬 때에는 비례밸브를 통해 유량이 충분히 공급되는 데에 0.28 sec의 시간이 소요되었고, 이 때에는 부하윈치가 줄을 감아들이게 되므로 원격 자동 윈치의 릴리프 밸브, 유압 모터의 저압 및 고압측에서의 압력 변화는 거의 없었다.

그러나, 윈치를 역전 구동할 때, 토크는 원격레버를 조작하는 순간부터 완만하게 감소하여 30.1 kgf·m에 수렴해 가는 경향을 나타내고, 드럼의 회전은 0.1 sec 후에 시작된다. 또한, 레버를 조작해서부터 0.37 sec 후에 최대 오버슈트가 나타나고, 그 이후에는 32.6 rpm에 수렴해 가는 경향을 나타내었다.

이 실험에서 원격제어조작에 따른 토크 및 회

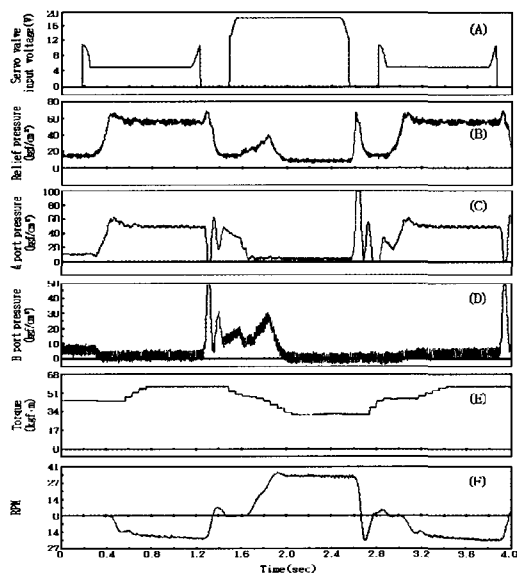


Fig. 6. Open-loop dynamic responses for stepped changes of control input signal in the remote control mode of winch system.



전 특성에 대한 추종성은 정전 구동에 있어서는 0.23 sec, 역전 구동의 경우에 있어서는 0.37 sec 이내로서 비교적 안정된 응답 특성을 나타내었다.

## 요 약

연안 소형 어선의 조업 효율을 향상시키기 위한 연구의 일환으로 소형 유압식 어로윈치시스템을 설계하고, auto tension 기능을 내장시켜 이 시스템의 개루프 상태에 대한 동적 응답 특성을 분석, 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 설계, 제작한 소형 윈치시스템은 갑판상 어느 장소에서도 조작이 가능하도록 원격조작방식을 채용하고 있기 때문에 어로작업시의 인력 감소와 작업의 효율성을 높일 수 있다고 생각된다.
2. 솔레노이드 밸브를 on/off 조작하여 윈치를 구동할 때, 정전 및 역전 구동 조작에 대한 윈치 드림의 회전 지연시간(dead time)은 각각 0.09 sec, 0.04 sec이었다. 또한 on/off 레버의 조작을 행한 직후 응답 특성은 약간 불안정하였지만, 짧은 경과시간을 거쳐 안정되는 추종 성능을 나타내었다.
3. 윈치를 auto tension mode로서 구동하는 경우, 윈치의 회전축에 55.9 kgf·m 이상의 토크가 작용하면 윈치는 5.1 rpm의 회전속도로서 줄을 풀어내고, 그 이하의 토크가 작용하면 11.1 rpm의 회전속도로서 줄을 감아들이는 자동 권양 윈치의 기능을 발휘한다.
4. 윈치의 auto tension mode에 대한 과도 응답에서 부하가 급격히 증가할 때와 감소할 때의 정정시간은 0.12 sec, 0.2 sec이었고, 그 때의 회전속도는 각각 11 rpm, 5.3 rpm이었다.
5. 원격제어조작에 따른 윈치의 토크 및 회전속도에 대한 추종성능은 정전 구동에 있어서는 0.23 sec, 역전 구동의 경우에 있어서는 0.37 sec 이내로서 비교적 안정된 응답 특성을 나타내었다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 설계한 소형 어선용 자동 권양 윈치시스템은 인력을 절감하고, 부하의 급속한 변화에 대한 추종 성능이 현용 어로시스템에 비하여 매우 우수하기 때문에 해상에서 어로작업시 과부하에 대한 어구의 손상 방지 및 조업 효율의 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 이대재(1999) : 어업기계공학, 태화출판사, 210.
2. 산학연합동연연구센터 기술강습회 교재(1997) : 제어용 서보 구동 시스템 설계기술, 부경대학교 산학연합동연연구센터, 296.
3. 日本機關士協會(1969) : 漁船用油壓機器, 日本機關士協會, 92.
4. 野村正恒(1994) : 漁業技術一般, 成山堂書店, 71-98.
5. 津田初二·中谷三南(1988) : 船尾トロール漁業入門, 成山堂書店, 189-200.
6. 이대재·신현욱·신형호(2000) : 소형 연근해 어선의 조업시스템 개선에 관한 연구 - I, -자동 권양 윈치시스템의 설계-, 한국어업기술학회지 36(1), 12-24
7. 金起暎(譯)(1998) : 電子-油壓制御, 圖書出版 世和, 371.
8. Kilian, C. T.(1996) : Modern Control Technology, West Publishing Company, 554.
9. 윤소남(1994) : 건설차량용 유압식 반자동 변속장치의 동특성 개선에 관한 연구, 박사학위논문, 180.
10. 佐佐木能成(1994) : デジタルサーボのソフトウェア, 近代圖書, 231.
11. 田中裕久(1991) : 油空壓のデジタル制御と應用, 近代圖書, 190.
12. Bollinger. J. G, N. A. Duffe (1989) : Computer Control of Machine and Process, Addison-Wesley Publishing Company, 597.
13. Watton, J. (1989) : Fluid Power System, Prentice Hall, 490.
14. Don Norvelle, F.(1995) : Fluid power technology, West Publishing Company, 649.