

# 원치드럼 구동제어 회로설계

## Circuit Design of Drive Control for Winch Drum

조상훈\*  
Sang-Hoon Cho

양승윤\*  
Seung-Yun Yang

박래석\*  
Rae-Seok Park

### ABSTRACT

In this paper, we designed the circuit of drive control for towing winch. It is composed of reference voltage circuit for driving voltage reference, low pass filter circuit for noise reduction, dead zone circuit for initial transient input, and driving circuit for drum direction/velocity control. Also it is realized a drive control circuit for towing winch drum in accordance with PWM(pulse width modulation) method to suit it's purpose of a large capacity driving system. The performance of the designed circuit is analyzed by experiments and the appliablity for driving the towing winch drum satisfactorily is evaluated through a various testing.

주요기술용어 : Towing Winch(예인원치), Drum Drive(드럼구동)

### 1. 서론

해상에 예인센서 및 예인케이블(이하 '예인체'라 함)을 투하하여 예인하면서 운용하는 시스템에서는 예인원치가 필수적이다. 일반적으로 이러한 예인원치는 예인체를 저장보관하는 드럼, 예인체 투하 및 인양시 드럼을 구동하기 위한 동력발생 및 전달장치, 드럼상에 예인체를 가지런히 권취하기 위한 권선정렬장치, 예인원치의 운용에 필요한 전원 및 신호논리장치로 구성된 제어기, 운용자 인터페이스를 위한 운용상태 표시 및 조작반 등의 기계-전자장치로 구성된다.<sup>[1]</sup>

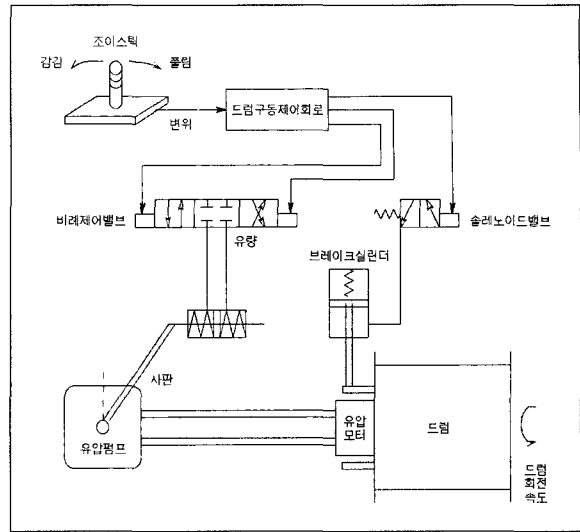
동력전달장치로서는 기계식, 전기식, 유압식 등 여러 형식이 있으나, 본 시스템에서는 투인양시 드럼, 권선정렬장치와 같은 구조물과의 접촉마찰로 인한 예인체의 손상을 방지하기 위해 저속구동이 되어야 하며, 또한, 매우 큰 수중부하가 작용하는 예인체를 인양하기 위해 고출력장치이어야 하므로 단위중량당 출력비가 가장 높고 응답속도가 빠른 전기-유압 구동방식으로 설계하였다.<sup>[2]</sup>

본 시스템의 드럼 구동 유압회로는 효율이 가장 좋은 유압 트랜스미션(Hydraulic Transmission)방식의 폐회로로 구성하였으며, 밴드 브레이크방식으로 제동하는 드럼제동회로는 고신뢰성을 위해 스프링력을 이용한 오프(Off)-브레이크 실린더로 구성하였다.

\* 국방과학연구소 제2체계개발본부

그러므로 드럼의 구동방향과 속도를 제어하기 위해서는 드럼 구동 유압회로의 전기-유압 부품에 전원을 인가하거나 전류를 제어하기 위한 드럼 구동제어 회로가 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 조이스틱으로써 드럼을 원거리에서 무단변속 구동하고 대용량 구동 시스템에 적합한 펄스폭 변조 방식으로 드럼의 속도를 제어하는 드럼 구동제어 회로를 구현하였다. 또한, 설계된 제어 회로로 직접 보드를 제작하였으며 실험을 통하여 성능을 검토, 분석하였다.



[그림 1] 드럼구동 개략도

## 2. 드럼 구동제어 회로설계

예인체를 투인양하기 위한 예인원치는 드럼 구동제어 회로, 드럼, 유압모터, 유압펌프, 제동용 브레이크 실린더, 비례제어 밸브, 솔레노이드 밸브, 조이스틱 등과 같은 드럼 구동 관련 작동부품으로 구성되어 있으며 구성도는 그림 1과 같다. 또한 본 시스템의 드럼 구동 유압회로는 폐회로로 구성하였으며, 드럼제동회로는 오프-브레이크 실린더로 구성하였다.

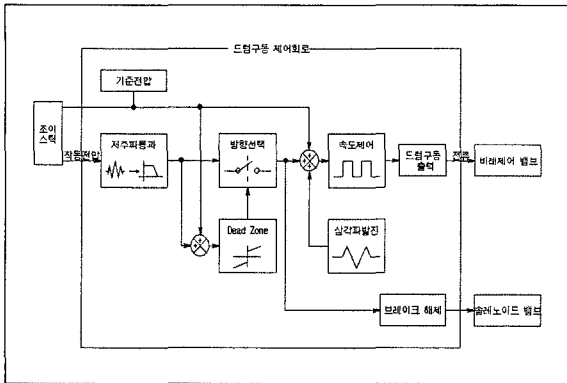
그림 1에서 보는 바와 같이 드럼의 구동방향과 속도는 유압모터의 회전방향과 공급유량에 의해 결정되며, 유압모터의 회전방향과 공급유량은 유압펌프의 회전방향과 토출유량에 의해 결정된다. 그리고 유압펌프의 회전방향과 토출유량은 사판의 각도에 의해 결정되며, 사판의 각도는 비례제어 밸브에 의해 조절된다. 드럼제동은 솔레노이드 밸브를 통한 브레이크 실린더의 유량 공급여부에 의해 결정된다. 그러므로 드럼을 구동 및 제어하기 위해서는 드럼 구동제어 회로에 의해 솔레노이드 밸브에 전원을 인가하고 비례제어 밸브의 인가전류를 제어한다.

### 2.1 회로구성 및 설계사양

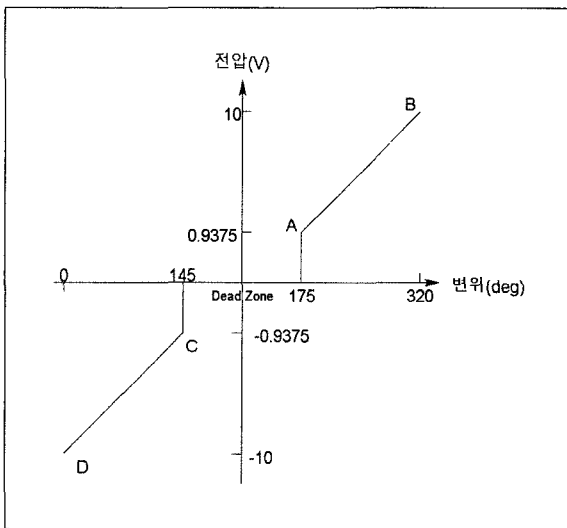
드럼 구동제어 회로는 그림 2에서 보는 바와 같이 조이스틱의 작동변위에 따른 작동전압에 대한 기준을 결정하기 위한 기준전압회로, 조이스틱 조작에 의한 손떨림이나 외부노이즈 등에 의해 발생된 이상신호를 제거하기 위한 저주파 통과 회로, 드럼의 구동방향이 급변하게 바뀌지 않도록 해주는 작동제한영역(Dead Zone) 회로, 조이스틱의 작동방향에 따른 드럼 구동 방향선택 회로, 드럼의 구동속도제어 회로, 비례제어 밸브에 전원을 인가하기 위해 신호를 증폭해주는 드럼 구동출력 회로, 제동된 드럼을 해제하는 브레이크 해제회로로 구성하였다.

조이스틱은 0°에서 320°까지 회전이 가능하도록 기구학적으로 설계하였으며, 작동변위에 따른 출력전압은 그림 3과 같이 설계하였다. 그리고 조이스틱의 출력전압에 의한 드럼의 구동속도는 대용량 구동 시스템에 적합한 펄스폭 변조방식으로 제어하도록 설계하였다.

이상의 결과로부터 드럼 구동제어 회로에 대한 설



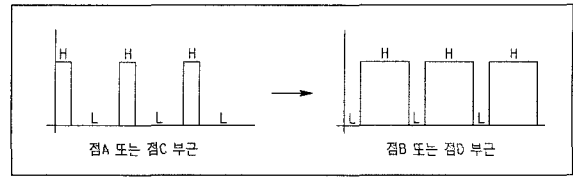
[그림 2] 드럼 구동제어 회로의 계통도



[그림 3] 조이스틱 작동변위 출력전압

계사량을 다음과 같이 정하였다.

- 1) 조이스틱의 작동제한영역 :  
145° (-0.9375V) ~ 175° (+0.9375V)
- 2) 브레이크 출력신호
  - 가) 작동제한영역 내에 있는 경우  
(점A~점C), 출력신호 : "L"
  - 나) 작동제한영역을 벗어날 경우  
(점A~점B 또는 점C~점D) : "H"



[그림 4] 비례제어 밸브 인가 펄스폭 변조

### 3) 조이스틱 작동에 따른 드럼 구동신호

가) 중립(160°) → 좌측(0°) 작동할 경우

- 드럼 감김방향 출력신호 :  
"H" 점점 증가 (그림 4 참조)
- 드럼 풀림방향 출력신호 : "L"

나) 중립 → 우측(320°) 작동할 경우

- 드럼 감김방향 출력신호 : "L"
- 드럼 풀림방향 출력신호 :  
"H" 점점 증가 (그림 4 참조)

## 2.2 상세 회로설계

### 1) 기준전압회로

조이스틱의 작동변위에 따른  $V_{Joy}$ 의 전압을 출력하기 위해서 조이스틱의 양단인 A와 B단자에 기준전압을 공급하는 회로가 필요하다.

본 시스템에서는 조이스틱의 위치가 중립일 때  $V_{Joy}$ 의 전압을 0V로 출력하기 위해서 그림 5와 같이 A와 B단자에 각각 "+"기준전압  $V_{Ref1}$ 과 "-"기준전압  $V_{Ref2}$ 를 공급하였으며, 또한 노이즈 제거와 과전류 방지를 위하여 공급전원  $V_{CC}$  출력단에 콘덴서 C1과 저항 R1을 설치하였다.

기준전압  $V_{Ref1}$ 을 만들기 위해서 DC-DC 변환기를 사용하였으며, 이에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$V_{Ref1} = K V_{CC} \quad (1)$$

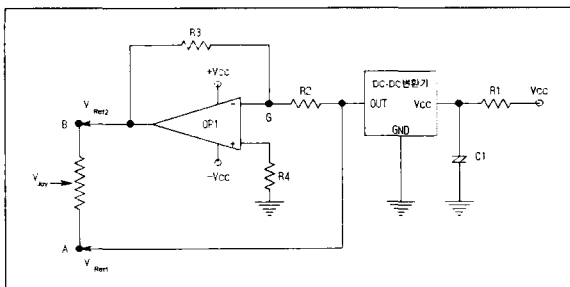
여기서, K : DC-DC의 이득

기준전압  $V_{Ref2}$ 를 만들기 위해서는 반전증폭기 (Inverting Amplifier)를 사용하였다. 이상적인 OP앰프의 경우 반전 입력단자 점G에서는 가상 접지점이 되어 전압은 거의 0V가 된다. 그러므로, 저항에 흐르는 전류의 방향에 주의하여 출력단자의 전압을 구하면 식(2)와 같다. 또한, 조이스틱이 중립위치일 때의 전압이 0V로 출력되기 위해서 R2와 R3는 같아야 한다.

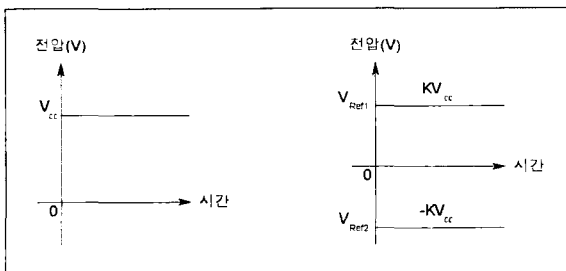
$$V_{Ref2} = -\frac{R3}{R2} V_{Ref1} \quad (2)$$

여기서, R2 : 입력저항  
R3 : 부귀환저항

OP앰프의 입력단자에는 반드시 직류의 오프셋 (Offset) 전압 및 전류가 존재하기 때문에 직류증폭기



[그림 5] 기준전압회로



[그림 6] 기준전압회로 입출력 결과

를 구성할 경우는 특히 이들의 영향을 고려하는 것이 중요하다. 입력단자에 흐르는 바이어스 전류의 영향을 최소로 하기 위해서 보상저항 R4를 비반전 입력단자에 접속하며, 식(3)으로부터 이를 선정한다.

$$R4 = R2 // R3 = \frac{R2 \cdot R3}{R2 + R3} \quad (3)$$

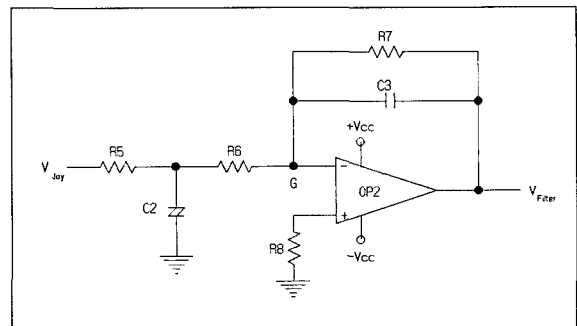
그림 5와 식(1), (2)로부터 공급전압  $V_{CC}$ 와 기준전압  $V_{Ref1}$  및  $V_{Ref2}$ 에 대한 관계를 도출하면 그림 6과 같다.

### 2) 저주파 통과 회로

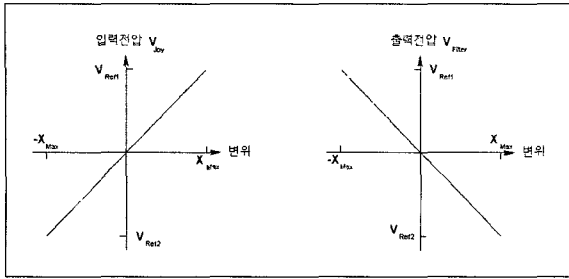
조이스틱 조작시의 손떨림이나 외부노이즈 등과 같은 고주파 대역의 잡음신호로 인한 시스템의 오동작을 방지하기 위해서 그림 7과 같이 2차 저주파 통과 필터 (Low Pass Filter)를 설치하여 드럼 구동 주파수 대역만 통과하도록 회로를 구성하였으며, 이에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$V_{Filter} = \frac{G_0 b}{s^2 + as + b} V_{Joy} \quad (4)$$

여기서,  $G_0 = -\frac{R7}{R6}$ ,



[그림 7] 저주파 통과 회로



[그림 8] 저주파 통과 필터 입력출력 결과

$$a = \frac{C2 R5 + C3 R7}{C2 C3 R5 R7},$$

$$b = \frac{1}{C2 C3 R5 R7}$$

저주파 통과 필터의 차단주파수  $f_{-3dB}$ 는 다음 식으로부터 구한다.

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C2 C3 R5 R7}} \quad (5)$$

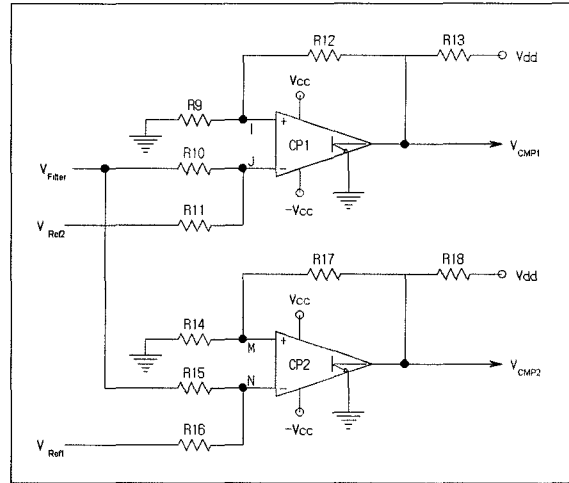
입력 바이어스 전류의 영향을 줄이기 위해 보상 저항 R8를 설치하였으며, 이 값은 식(6)으로부터 구한다.

$$R8 = (R5 + R6) // R7 = \frac{(R5 + R6) \cdot R7}{R5 + R6 + R7} \quad (6)$$

저주파 통과 필터에 대한 입력전압  $V_{Joy}$ 와 출력전압  $V_{Filter}$ 는 반전 증폭기인 OP앰프로 인하여 그림 8과 같이 서로 반대의 값을 갖는다.

### 3) 작동제한 영역회로

조이스틱의 중립위치를 기준하여 드럼의 구동방향이 바뀌므로, 중립근처에서는 드럼 구동방향이 갑자기 바뀌는 경우가 종종 발생하며, 이로 인해 유압모터,



[그림 9] 작동제한영역 회로

축 등의 드럼 구동관련 부품들은 치명적인 손상을 받게 된다. 그러므로 이를 방지하기 위해 본 시스템에서는 그림 9와 같이 비교기를 사용하여 조이스틱의 작동신호가 제한영역에서는 출력되지 않도록 회로를 구성하였다.

비교기는 OP앰프와 마찬가지로 “+”, “-”의 두 입력 단자가 있고 출력은 High, Low의 두 레벨의 전압을 가진다. 먼저, 비교기 CP1의 입력단인 점I, J에서의 전압을 관계식으로 표현하면 다음과 같다.

$$V_I = \frac{R9}{R9 + R12 + R13} V_{dd} \pm \text{CP1의 offset} \quad (7)$$

$$V_J = \frac{R11}{R10 + R11} V_{Filter} + \frac{R10}{R10 + R11} V_{Ref2} \quad (8)$$

직접회로(IC)로 설계된 비교기의 출력단은 오픈 콜렉터형(Open Collector Type)이며, 비교기의 출력신호인  $V_{CMP1}$ 은 식(9)로 표현된다.

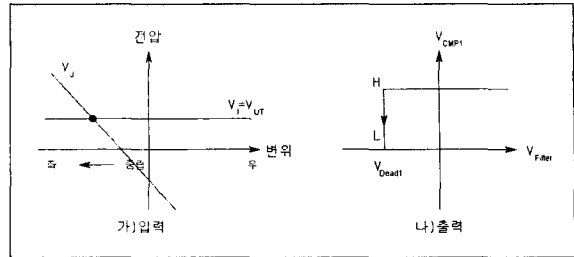
$$V_{CMP1} = \frac{R9 + R12}{R9 + R12 + R13} V_{dd} \quad (9)$$

식(9)의  $V_{CMP1}$ 은 전압  $V_{dd}$ 의 공급여부에 따라 High와 Low로 결정된다. 일반적으로  $V_{CMP1}$ 의 최대값인 High는  $V_{dd}(5V)$ 와 거의 동일한 값을 갖기 위해 풀업(Pull-up) 저항 R13은 다음과 같이 매우 작은 값을 갖도록 선정된다.

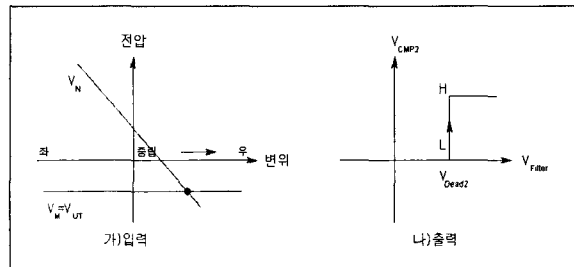
$$R13 \ll (R9 + R12) \quad (10)$$

실제로 입력신호에는 잡음이 포함되어 있으며, 이로 인해 비교기 출력의 상승부분, 하강부분에는 입력신호에 포함되는 잡음이 오픈 루프 이득배되어 나타나 사용목적에 부적당하게 된다. 이를 개선하기 위해 히스테리시스 비교기(Hysteresis Comparator)를 사용하였다.<sup>[3,4]</sup> 따라서, 식(7)의  $V_I$ 는  $V_{CMP1}$ 에 의해 두 개의  $V_{UT}$ 와  $V_{LT}$  전압을 갖는다. 그리고 식(8)의  $V_J$ 는  $V_{Filter}$ 와  $V_{Ref2}$ 의 전압차로서 조이스틱 작동전압에 따라 변하게 된다.

그러므로 CP1인 경우에는 조이스틱의 위치가 중립( $V_{Filter}=0$ )일 때 출력단 TR은 작동하지 않으며,  $V_{CMP1}$ 은 "H"가 되고 점J에는  $V_{dd}$ 가 공급되어  $V_{UT}$ (식(7)에서  $V_{dd}=5V$ ) 전압이 발생한다. 만약 조이스틱의 작동신호에 의해 점J의 전압이 점I의  $V_{UT}$  전압보다 크게 되면 출력단 TR이 작동하여  $V_{CMP1}$ 은 "L"가 된다. 또한  $V_{dd}$ 도 R9와 R12로 인해 TR의 에미터로 방출되며, 점I에는  $V_{dd}$ 가 공급되지 않아  $V_{LT}$ (식(7)에서  $V_{dd}=0V$ ) 전압이 발생한다. 다시  $V_{CMP1}$ 은 "H"가 되기 위해서는 조이스틱의 작동신호에 의해 점J의 전압이 점I의  $V_{LT}$  전압보다 낮아야 한다. 따라서 이들의 관계를 표현하면 다음과 같다.



[그림 10] CP1의 응답결과(중립→좌측)



[그림 11] CP2의 응답결과(중립→우측)

$$\text{If } V_J \geq V_{UT}, \text{ Then } V_{CMP1} = \text{Low} \quad (11)$$

$$\text{If } V_J < V_{LT}, \text{ Then } V_{CMP1} = \text{High} \quad (12)$$

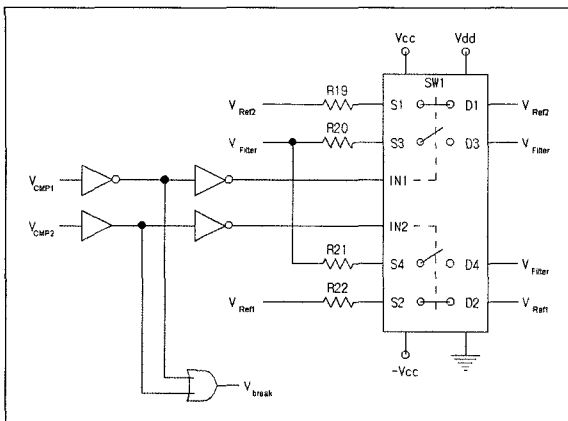
신호변환의 시작점은 점J와 I의 전압이 같을 때,  $V_{Filter}$ 의 전압인  $V_{Dead1}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$V_{Dead1} = \frac{(R10 + R11)V_I - R10 V_{Ref2}}{R11} \quad (13)$$

비교기 CP2에 대한 관계식도 CP1과 동일한 방법으로 구하면 된다. 조이스틱의 좌우 이동에 따른 비교기 CP1과 CP2의 응답결과는 아래와 같다.

#### 4) 드럼 구동방향선택 회로

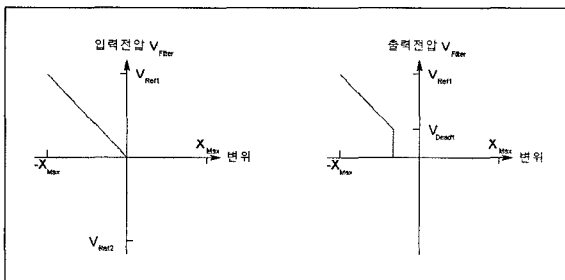
조이스틱의 작동신호가 작동제한영역을 벗어나면, 아날로그 스위치에 의해 작동신호가 구동출력단으로



[그림 12] 드럼 구동방향선택 회로

[표 1] 아날로그 스위치의 제어접점 기능

구 분	제어접점 기능
IN1	$\overline{S1D1}$ 및 $\overline{S3D3}$ 스위치 구동제어
IN2	$\overline{S2D2}$ 및 $\overline{S4D4}$ 스위치 구동제어

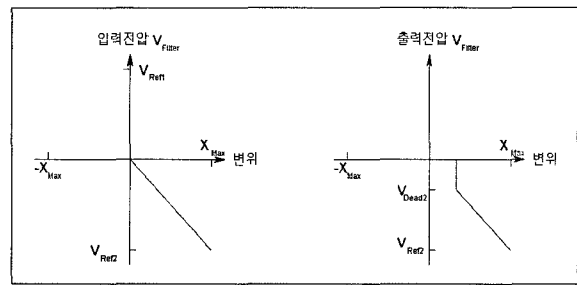


[그림 13] 아날로그 스위치의 응답특성(감김방향)

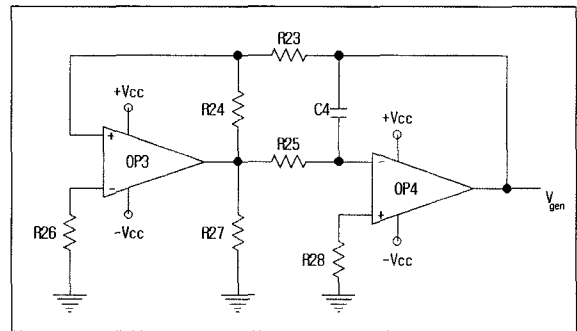
전송되도록 설계하였다.

IN1과 IN2가 모두 “H”인 경우에 아날로그 스위치의 작동상태는 그림 12와 같으며, 아날로그 스위치의 제어접점 IN1과 IN2에 대한 기능은 표 1과 같다.<sup>[5]</sup>

조이스틱 좌측 이동시 드럼을 감김방향으로 구동하기 위해 IN1은 “L”, IN2는 “H”로 되도록 회로를 구성하였으며, 반대로 우측 이동시에는 드럼을 폴림방향



[그림 14] 아날로그 스위치의 응답특성(폴림방향)



[그림 15] 삼각파 발진회로

으로 구동하기 위해 IN1은 “H”, IN2는 “L”가 되도록 회로를 구성하였다. 또한 좌측 또는 우측 이동시 브레이크를 해제하기 위해  $V_{break}$ 가 “H”로 되도록 설계하였다. 그림 13과 14는 조이스틱의 작동방향에 따른 아날로그 스위치의 응답결과를 나타낸 것이다.

### 5) 삼각파 발진회로

드럼의 구동속도를 제어하기 위해서는 조이스틱의 작동변위에 해당하는 작동전압 만큼 비례제어 밸브에 전류가 인가되어야 한다. 따라서, 본 장치에 있어서는 대용량 구동에 적합한 펄스폭 변조방식으로 하였다. 조이스틱의 작동전압에 비례하는 폭을 가진 펄스를 출력하기 위해서는 작동전압의 비교대상인 발진회로가 필요하다. 일반적으로 비례제어 밸브의 응답속도는 10Hz 이므로 본 회로에서는 약 500배 정도 빠른 주

파수를 발전하도록 설계하였다.

6) 펄스폭 변조회로

조이스틱의 작동신호는 삼각파 발전신호와 비교에 의해 작동신호만큼 펄스폭으로 변조하도록 그림 16과 같이 비교기를 사용하였다.

작동원리는 그림 9의 작동제한영역 회로에서 사용한 비교기와 동일하다. CP3의 경우 R30에 연결된 기준전압  $V_{Ref2}$  즉,  $V_2$ 와 CP4의 경우 R37에 연결된 기준전압  $V_{Ref1}$ 은 조이스틱의 작동신호가 없을 때 아날로그 스위치를 통해 공급되는 신호로써, 오동작을 방지하기 위해 삼각파 발전신호를 한 쪽으로 치우치도록 차폐하는 역할을 한다.

비교기 CP3의 입력단인 점O에서의 전압을 관계식을 구하면 식(14)와 같다.

$$V_O = V_{-1} + V_{-2} + V_{-3} + V_{-4} \quad (14)$$

여기서,  $V_{-1}$ ,  $V_{-2}$ ,  $V_{-3}$ ,  $V_{-4}$ 는 각각 점O에 대한  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ 의 기여전압으로서 관계식은 다음과 같다.

$$V_{-1} = \frac{R_{30} // R_{31} // R_{32}}{R_{30} // R_{31} // R_{32} + R_{29}} \times V_{Ref2} \quad (15)$$

$$V_{-2} = \frac{R_{29} // R_{31} // R_{32}}{R_{29} // R_{31} // R_{32} + R_{30}} \times V_{Ref2} \quad (16)$$

$$V_{-3} = \frac{R_{29} // R_{30} // R_{32}}{R_{29} // R_{30} // R_{32} + R_{31}} \times V_{Filter} \quad (17)$$

$$V_{-4} = \frac{R_{29} // R_{30} // R_{31}}{R_{29} // R_{30} // R_{31} + R_{32}} \times V_{gen} \quad (18)$$

그리고 점P에서의 전압은 다음과 같다.

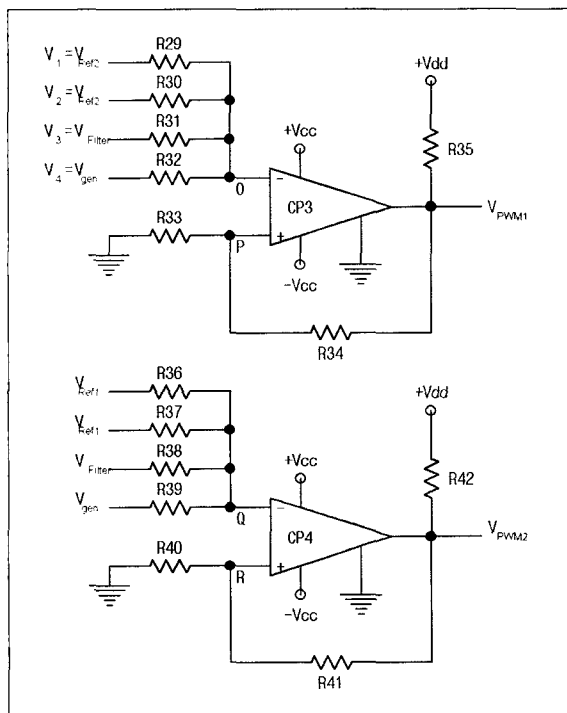
$$V_P = \frac{R_{33}}{R_{33} + R_{34} + R_{35}} V_{dd} \pm \text{CP3의 offset} \quad (19)$$

식(14)의  $V_P$ 는 출력신호  $V_{PWM1}$ 에 의해 두 개의  $V_{UT}$ 와  $V_{LT}$  전압을 가지며, 조이스틱이 작동제한영역을 벗어나면 그림 12의 아날로그 스위치에 의해 삼각파 발전신호 차폐용  $V_{Ref2}$ 는 공급이 중단된다. 따라서, 조이스틱의 작동에 따른 출력신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{If } V_O \geq V_{UT}, \text{ Then } V_{PWM1} = \text{Low} \quad (20)$$

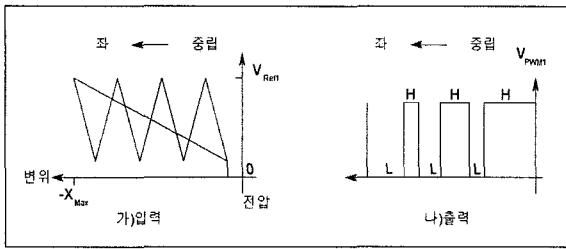
$$\text{If } V_O < V_{LT}, \text{ Then } V_{PWM1} = \text{High} \quad (21)$$

비교기 CP4에 대한 관계식도 CP3와 동일한 방법으로 구하면 된다. 이상의 설계 결과로부터 조이스틱

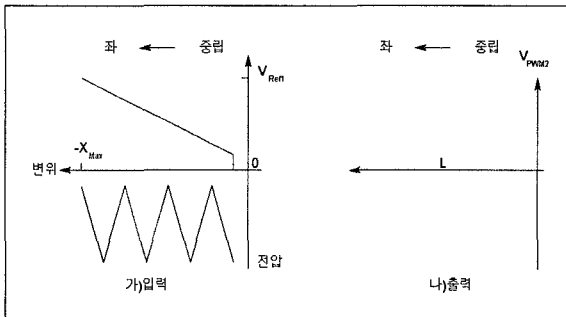


[그림 16] 펄스폭 변조회로

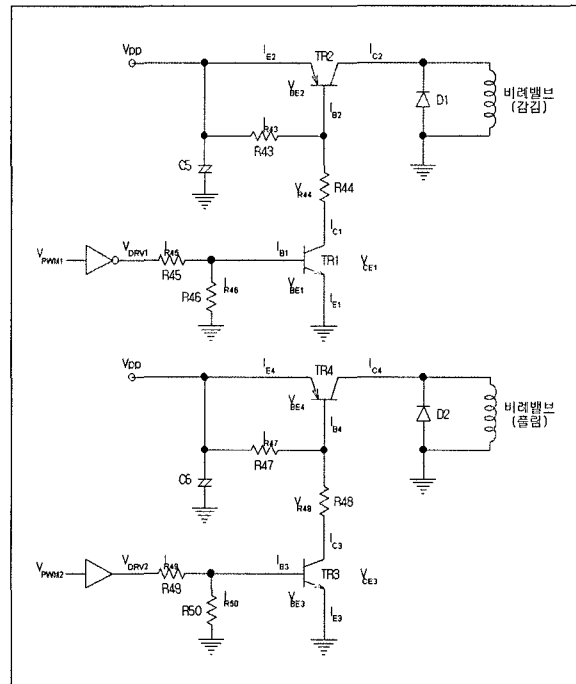




[그림 17] CP3의 응답결과(중립→좌측)



[그림 18] CP4의 응답결과(중립→좌측)



[그림 19] 드럼 구동출력 회로

을 중립에서 좌측으로 이동할 경우에는 그림 17과 18에서 보는 바와 같이 CP3의 출력신호, 즉 펄스폭은 조이스틱의 작동변위에 비례하여 “L”이 점점 커지게 나타나며, CP4의 출력신호는 삼각파 발진신호 차폐용  $V_{Ref1}$ 으로 인해 “L”만 나타나게 된다.

### 7) 드럼 구동출력 회로

그림 16의 PWM 출력신호 만큼 비례제어 밸브에 인가되는 전류로 변환시키기 위하여 그림 19와 같이 트랜지스터를 이용하여 PWM 출력신호를 증폭하는 드럼 구동출력 회로를 설계하였다. 특히, 최종 출력부품인 TR2 및 TR4는 증폭계인을 2배로 높이기 위해 다량톤형을 사용하였다.<sup>[6,7]</sup>

감김(풀림)방향으로 드럼을 구동하기 위해서는 TR1 (TR3)에 전류  $I_{B1}$ ( $I_{B3}$ )를 공급하여 TR2(TR4)의 전류  $I_{B2}$ ( $I_{B4}$ )가 흐르도록 해야 하며, 이로 인해  $V_{PP}$ 는

TR2(TR4)를 거쳐 비례제어 밸브에 공급된다.

전력제어용 스위칭 회로이므로 TR의 작은 신호특성을 무시하였다. 따라서 TR1의  $I_{B1}$ 는 식(22)와 같이 표현할 수 있다.

$$I_{B1} = I_{R45} - I_{R46} \tag{22}$$

여기서,  $I_{R45} = \frac{V_{R45}}{R45} = \frac{V_{DRV1} - V_{BE1}}{R45}$

$$I_{R46} = \frac{V_{BE1}}{R46}$$

감김방향의 비례제어 밸브에 전류  $I_{C2}$ 가 인가되기 위해서는  $I_{R44} \leq I_{C1}$  조건을 만족하도록 저항값을 정해야 한다.  $I_{C1}$ ,  $I_{R44}$ 는 각각 식(23), (24)로부터 구한다.

$$I_{C1} \cong I_{B1} \times hfe \tag{23}$$

$$I_{R44} = \frac{V_{R44}}{R44} = \frac{V_{pp} - V_{BE2} - V_{CE1}}{R44} \quad (24)$$

위의 식에서 hfe는 출력증폭 계인이며, 통상 최소값을 택한다.  $V_{BE}$ 는 베이스와 에미터 사이의 전압이고  $V_{CE}$ 는 콜렉터와 에미터 사이의 전압이며, 첨자는 TR의 번호를 나타낸 것이다. 이들의 값은 보통 TR 목록 표로부터 구한다.

그리고 TR2의  $I_{B2}$ 는 다음과 같다.

$$I_{B2} = I_{R44} - I_{R43} \quad (25)$$

여기서,  $I_{R43} = \frac{V_{BE2}}{R43}$

마지막으로, 비례제어 밸브에 최대로 공급이 가능한 전류  $I_{C2}$ 는 다음의 식으로부터 구한다.

$$I_{C2} \cong I_{B2} \times hfe \quad (26)$$

풀림방향의 비례제어 밸브에 전류를 인가하기 위한 TR3와 TR4에 대해서도 동일한 방법으로 구하면 된다.

8) 브레이크 해제 출력회로

드럼 구동과 관련하여 브레이크 해제신호  $V_{Break}$ 에 따라 솔레노이드 밸브를 작동하는 브레이크 해제 출력회로를 그림 20과 같이 설계하였다.

작동원리는 드럼구동 출력회로와 동일하며, 관계식은 다음과 같다.

$$I_{B5} = I_{R53} - I_{R54} \quad (27)$$

$$I_{C5} \cong I_{B5} \times hfe \quad (28)$$

$$I_{R52} = \frac{V_{R52}}{R52} = \frac{V_{pp} - V_{BE6} - V_{CE5}}{R52} \quad (29)$$

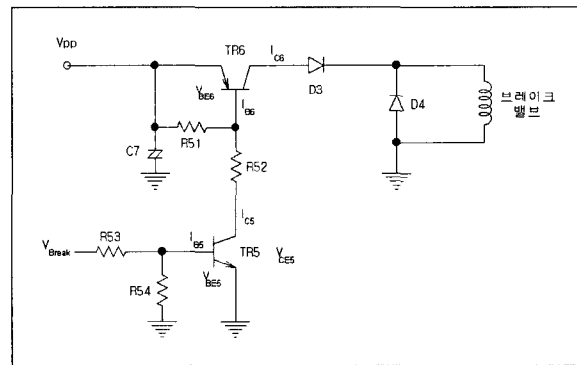
$$I_{B6} = I_{R52} - I_{R51} \quad (30)$$

$$I_{C6} \cong I_{B6} \times hfe \quad (31)$$

3. 실험 및 고찰

3.1 실험장치 구성

설계된 드럼 구동제어 회로를 구현하기 위하여 그림 21과 같이 보드(Board)를 제작하였으며, 이에 대한 성능을 입증하기 위해서 그림 22와 같이 실험장치를 구성하였다. 본 실험에 사용한 장비로는 전원공급



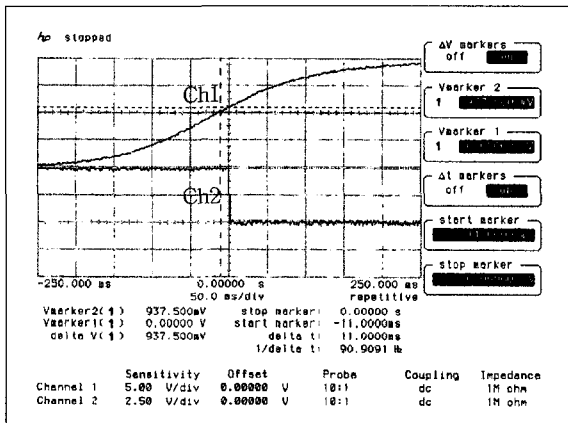
[그림 20] 브레이크 해제 출력회로



[그림 21] 제작 보드



[그림 22] 실험 장치



[그림 23] 좌측 작동제한영역 회로의 출력신호

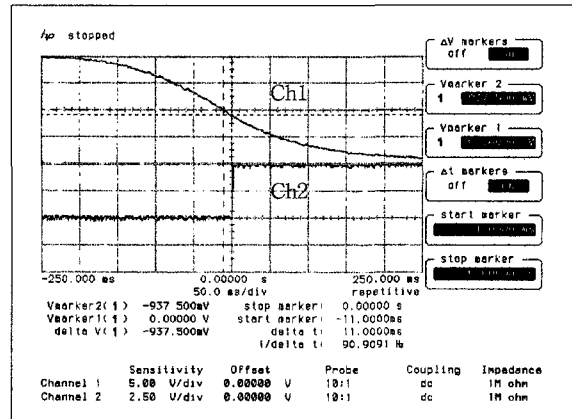
장치, 오실로스코프, 스펙트럼 분석기, 아날로그 멀티미터, 펄스 발생기, 프린터 등이 있다.

### 3.2 실험 및 고찰

#### 1) 작동제한영역 확인 실험

조이스틱을 이동하여 작동제한영역 회로에 대한 실험을 수행하였다. 그림 23은 조이스틱을 우측에서 좌측으로 이동했을 경우 에 대한 결과이며, Ch1은 그림 7의  $V_{Filter}$  측정치이고 Ch2는 그림 9의  $V_{CMP1}$  측정치이다. 그림 24는 좌측에서 우측으로 이동했을 경우에 대한 결과이며, Ch1은 그림 7의  $V_{Filter}$  측정치이고 Ch2는 그림 9의  $V_{CMP2}$  측정치이다.

저주파 필터를 거친 출력신호  $V_{Filter}$ 는 그림 8과 같



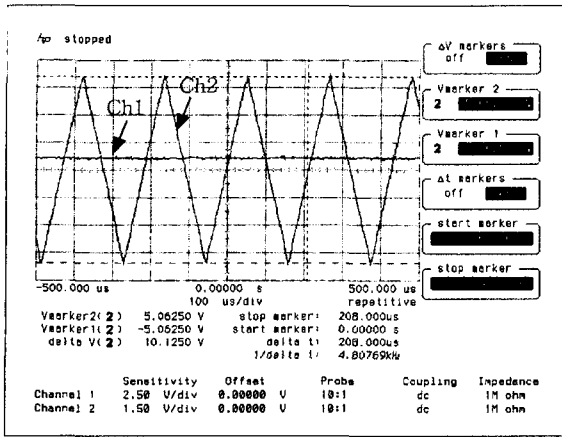
[그림 24] 우측 작동제한영역 회로의 출력신호

이 실제 조이스틱의 작동전압과는 반대로 나타났다. 그러므로 좌측 제한작동영역 회로의 출력신호가 “H” → “L”로 변경될 때 조이스틱의 작동전압은 -937.5mV이며, 우측 제한작동영역의 출력신호가 “L” → “H”로 변경될 때 조이스틱의 작동전압 937.5mV 임을 알 수 있다.

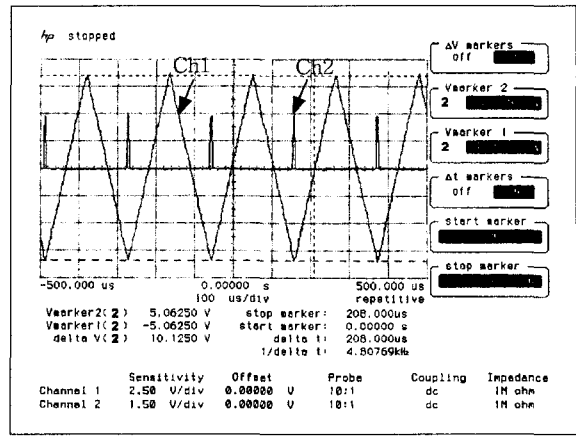
#### 2) 펄스폭 변조 확인 실험

펄스폭 변조 회로의 설계확인 실험을 수행하기 위하여 조이스틱을 중립에서 좌측(감김방향)으로 이동하였다. 그림 25와 27은 조이스틱의 작동전압 신호에 따른 펄스폭 변조회로의 입력신호이며, Ch1은 그림 7의  $V_{Filter}$  측정치이고 Ch2는 그림 15의  $V_{gen}$  측정치이다. 그림 26과 28은 펄스폭 변조회로의 출력신호이며, Ch1은 그림 15의  $V_{gen}$  측정치이고 Ch2는 그림 16의  $V_{PWM1}$  측정치이다.

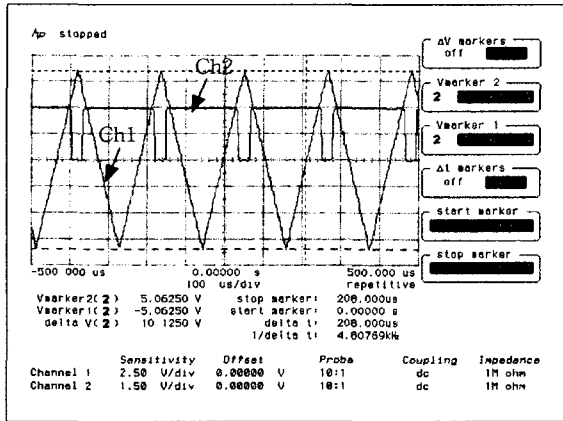
위의 결과로부터 조이스틱의 작동전압이 0V에서 -10V로 갈수록 펄스폭 변조회로의 출력신호가 그림 17과 같이 “L”로 점점 커지게 나타났으며, 이는 조이스틱의 작동전압에 비례하게 펄스폭이 변조됨을 알 수 있다.



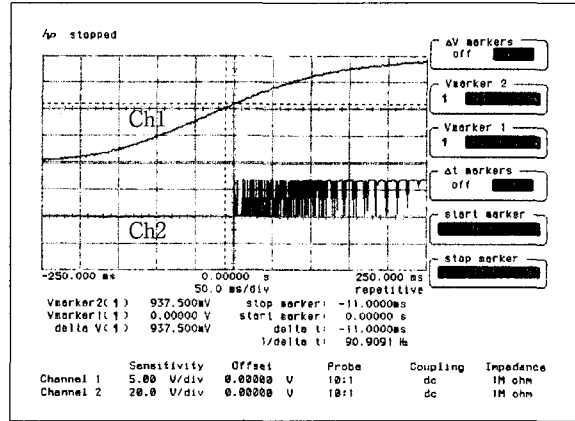
[그림 25] 펄스폭 변조회로의 입력신호(-1V)



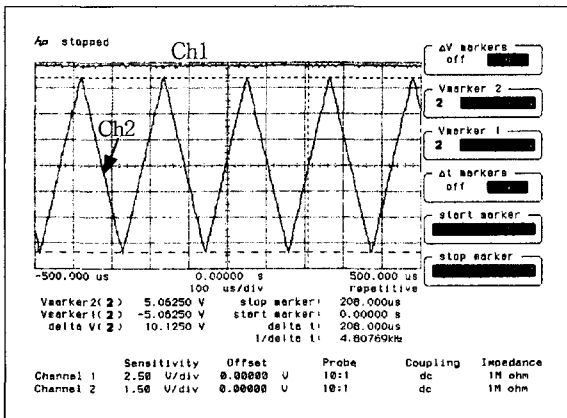
[그림 28] 펄스폭 변조회로의 출력신호(-9.5V)



[그림 26] 펄스폭 변조회로의 출력신호(-1V)



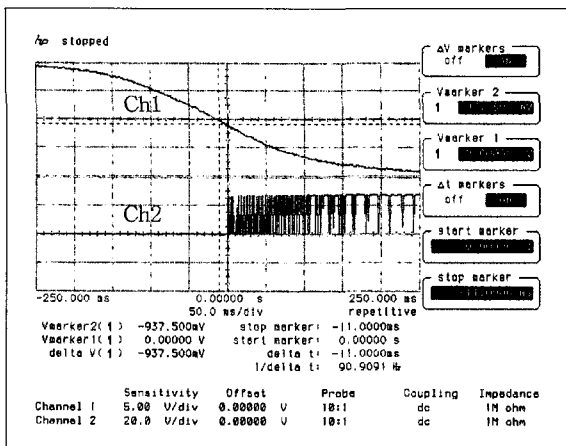
[그림 29] 감김방향 드럼구동회로 출력신호



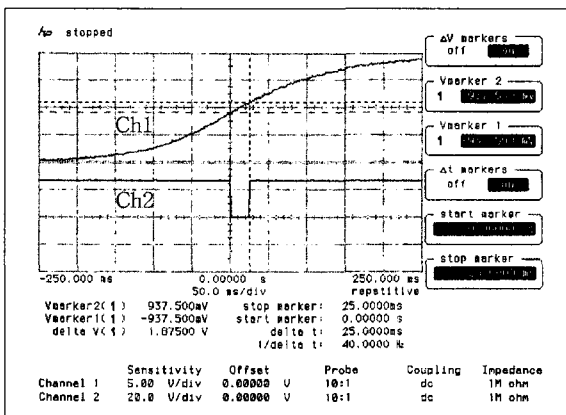
[그림 27] 펄스폭 변조회로의 입력신호(-9.5V)

### 3) 드럼 구동출력 확인 실험

조이스틱의 자동전압에 따라 감김방향 또는 풀림방향의 비례제어 밸브에 구동출력신호가 인가되는 지를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 그림 29는 조이스틱을 우측에서 좌측으로 이동했을 경우 감김방향의 드럼 구동출력 회로에 대한 결과이며, Ch1은 그림 7의  $V_{Filter}$  측정치이고 Ch2는 그림 19의 TR2 출력단 측정치이다. 그림 30은 조이스틱을 좌측에서 우측으로 이동했을 경우 풀림방향의 드럼 구동출력 회로에 대한 결과이며, Ch1은 그림 7의  $V_{Filter}$  측정치이고 Ch2



[그림 30] 폴립방향 드럼구동회로 출력신호



[그림 31] 브레이크 해제회로의 출력신호

는 그림 19의 TR4 출력단 측정치이다.

위의 결과에서 보는 바와 같이 펄스폭 변조회로에서 출력된 5V 신호가 24V로 증폭되어 비례제어 밸브에 인가됨을 알 수 있다. 조이스틱의 작동변위가 감감 방향으로 이동하면 할수록 펄스폭 변조회로의 출력신호는 “L”로 점점 커지게 나타났지만, 그림 19에서 보는 바와 같이 입력단에 인버터(Inverter)를 추가함으로써 감감방향의 드럼구동회로의 출력신호가 “H”로 커짐을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 조이스틱의 작동변위 만큼 비례

제어 밸브에 출력신호가 인가됨을 알 수 있다.

#### 4) 브레이크 해제 확인 실험

브레이크 해제 출력 신호를 확인하기 위해서 조이스틱을 우측에서 좌측으로 이동하였다. 그림 31의 Ch1은 그림 7의  $V_{Filter}$  측정치이고 Ch2는 그림 20의 TR6 출력단 측정치이다.

위의 결과로부터 조이스틱의 작동전압이 -937.5mV에서 937.5mV 사이에서는 “L”이고, 그 범위를 벗어나면 “H”임을 알 수 있다. 따라서, 조이스틱이 좌측이나 우측 작동제한 영역을 벗어나면 브레이크 해제 신호가 출력됨을 알 수 있다.

## 4. 결 론

예인원치의 드럼을 원격 무단변속 구동 및 제어하기 위해서 기준전압회로, 저주파 통과 회로, 작동제한 영역 회로, 구동 방향선택 회로, 구동속도제어(펄스폭 변조) 회로, 드럼 구동출력 회로, 브레이크 해제회로 등으로 구성된 드럼 구동제어 회로를 설계하였다.

드럼 구동제어 회로에 대한 설계입증을 하기 위해서 보드를 제작하고 실험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 조이스틱의 좌측과 우측 작동제한영역을 각각 145°와 175°로 설정하였으며, 이 때의 작동전압이 각각 -937.5mV와 937.5mV로 나타남을 확인하였다.
- 2) 조이스틱을 감감(좌측)방향으로 이동할수록 출력신호가 “L”로 점점 커지게 나타났으며, 이로 부터 작동변위에 비례하여 펄스폭이 변조됨을 확인하였다.

- 3) 드럼 구동출력 회로에서는 펄스폭 변조 회로의 5V 출력신호를 24V로 증폭하고 펄스폭 만큼의 전류를 비례제어 밸브에 인가함을 확인하였다.
- 4) 조이스틱이 좌측이나 우측 작동제한 영역을 벗어나면 브레이크 해제 출력신호가 “L”에서 “H”로 변경됨을 확인하였다.

본 논문에서 설계한 예인원치의 드럼 구동제어 회로는 예인원치 시스템 설계/제작 후 육상에서의 기능 시험과 해상에서의 성능시험을 통한 입증이 추후 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] Allied Power Products Inc, “Manual for The

Winch & Hoist Specialists(Model 540 Winch)”, Allied Power Products Inc, 1992.

[2] Esposito, A., “Fluid Power with Applications,” 3rd, Prentice-Hall, 1994.

[3] Robert F. Coughlin, “Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits”, Prentice-Hall, 1989.

[4] National Semiconductor, “Operational Amplifiers Databook,” 1993.

[5] Harris, “Analog Product Databook”, 1989.

[6] Motorola, “Power Mosfet Transistor Data”, 1989.

[7] 사공석진 외, “전력전자공학(스위칭 방식에 의한 전원공급)”, 경문사, 1984.