

권양기의 밸런스제어장치 개발에 관한 연구

윤종범, 이종찬, 최장건, 이재훈, 구도형
한국수자원공사 합천댐관리단, 정읍수도서비스센터

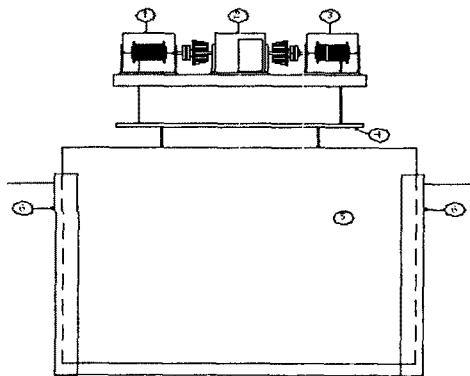
A Study on the Development of Hoist Balance Controller

Jong-Beom Yoon, Jong-Chan Lee, Jang-Geon Choi, Jae-Hoon Lee, Do-Hyeong Goo
KOWACO Hapcheon Dam Office, Jeongeup Waterworks

Abstract - 본 연구는 물체의 좌우측 상단에 연결된 와이어로프를 모터 및 드럼을 통하여 잡아 올리거나 내려 놓는 과정에서 물체가 수평상태를 유지하여 이동될 수 있도록 Two Motor-Two Drum 형식의 권양기를 제어하는 권양기의 밸런스제어장치에 관한 것이다. 본 연구에 Two Motor-Two Drum 형식의 권양기 제어장치에 있어서, 물체의 상단에 연결된 일측 와이어로프와 타측 와이어로프의 이동길이를 실시간으로 검출하는 와이어로프 이동길이검출부와, 이 와이어로프 이동길이검출부를 통하여 검출되는 일측 와이어로프와 타측 와이어로프의 이동길이를 비교하여 물체의 기울어진 좌·우 편차를 검출하는 편차검출부와, 이 편차검출부를 통해 검출되는 좌우 편차를 제거하기 위하여 일측 또는 타측 와이어로프가 감겨있는 드럼을 회전시키는 모터의 구동속도를 조절하여 물체를 수평상태로 보정하는 밸런스제어부로 구성되어 있다.

1. 서 론

우리공사에서 운영중인 각 댐의 시설물 중에는 수문이나 수문의 유지보수를 위하여 각종 설비를 인양하고 이동하기 위한 권양설비가 다수 설치되어 있다. [그림1]에 Two Motor-Two Drum 형식의 권양설비 및 주변설비를 개략적으로 나타내었다.



범 례
① 좌측모터 ② 밸런스제어기 ③ 우측모터
④ 리프팅디바이스 ⑤ 수문 ⑥ Guide Frame

[그림1] Two Motor-Two Drum 형식의 권양설비 및 주변설비

현재, 합천댐에는 제1발전소 방수로 수문용 권양설비 등에 4대의 권양설비가 운영 중에 있으나, 이들은 Two Motor-Two Drum 형식이 가지는 구조적 특성으로 인하여 조작시 좌우측 와이어로프의 동작길이가 서로 다름으로 인하여 수문의 개폐시 수문이 Guide Frame에 끼이게 되어, 인양물, 와이어로프, 권양설비에 과도한 힘이 전달되어 각 설비의 변형 또는 파손까지 초래하게 된다. 이를 방지하기 위하여 수차래 권양설비를 정지시키고, 수동으로 권양설비를 조정하여 육안으로 수평상태를 확인하여 수문과 Frame의 간격을 일정하게 유지시키고 있으며, 특히 수문이 물속에 있을 때는 수문의 기울어진 상태를 확인할 수 없어 조작시 많은 어려움과 사고의 사고 발생 위험을 안고있다.

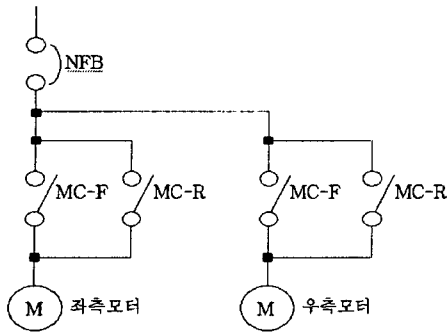
2. 본 론

2.1 권양기의 밸런스제어장치 개발 목적

본 연구는 수력발전소 등에서 사용하는 수문조작설비의 중요한 요소중의 하나인 Two Motor-Two Drum 형식의 권양설비가 물체를 들어올리거나 내리는 작업을 시행하는 도중 권양설비의 좌·우측에 위치한 와이어로프의 동작길이가 모터 권선의 임피던스, 배어링 마찰력, 전자 접촉기의 동작시차가 서로 달라지거나, 동작정지시 Brake Slip의 차이 등에 의하여 달라지게 되어 수문이 Guide Frame에 끼이는 Jam현상이 발생할 경우, 이런 Jam현상을 해소하기 위하여 한쪽 모터만을 손동으로 동작시켜 수문의 평형상태를 유지하게 되는데, 수문이 Guide Frame 끼이게 되면 이런 손동동작을시행하여 평형상태로 회복하기가 대단히 어렵다. 또한 수문의 초기 동작시 평형상태로 수문을 조작하면서 점점 평형상태를 잃어갈 경우에도 어느 한도에 이르기 까지 불평형상태를 인지하기가 사실상 어렵다. 이런 불편함을 해소하기 위하여 권양설비 동작시 와이어로프의 동작길이를 실시간으로 감시하여 동작길이에 편차가 발생할 경우 자동적으로 그 편차를 보정해주는 밸런스제어기를 개발하여 작업시 안전을 확보하고 작업효율을 높이고자 한다.

2.2 권양설비 운영형태

2.2.1 종래의 권양설비 운영형태

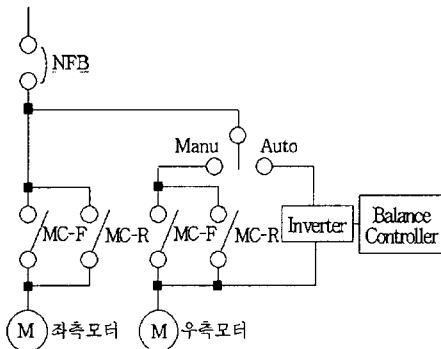


[그림2] 종래의 권양설비 운영형태

[그림2]에 우리단에 설치되어 있는 Two Motor-Two Drum 형식의 방수루수문 조작용 권양설비의 제어회로도 를 나타내었다. 이 제어회로도에서는 좌측모터에 전원공 급을 온/오프 시키는 좌측모터 조작부와 우측모터에 전 원공급을 온/오프 시키는 우측모터 조작부가 구비되어 있고, 좌측모터 조작부와 우측모터 조작부에는 각각 좌 측모터 및우측모터의 회전방향을 설정하기 위한 정회전 스위치(MC-F)와 역회전 스위치(MC-R)가 있다. 좌우측 모터 조작부에 구비된 정회전 스위치와 역회전 스위치는 각각 쌍으로 연동되어 한번의 동작에 의해 동시에 온/오프 될 수 있으며, 경우에 따라 각각 조작될 수 있다. 이 렇게 구성된 Two Motor-Two Drum 형식의 권양설비 제어장치는 모터의 구동을 제어하여 드럼에 와이어로프 를 감거나 풀어줌으로써 수문이 조작된다.

2.2.2 개선된 권양설비 운영형태

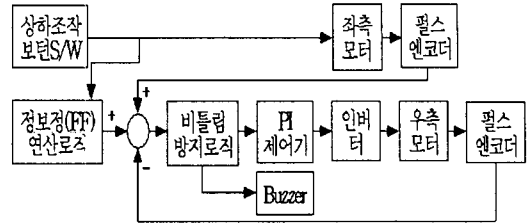
이 제어회로를 구동하기 위해서는 우선 절환스위치를 "Manu"상태에서 "Auto"상태로 변경하여야 한다. [그림3] 은 Two Motor-Two Drum 형식의 권양기에 밸런스제 어기를 설치한 개선된 권양설비제어도이고, [그림4]는 밸 런스제어기를 설치한 권양설비제어시스템 구성도이다.



[그림3] 개선된 권양설비 제어회로도

이 회로에 사용한 인버터는 정격입력이 3상 380~460V 60 Hz인 전원을 사용하며, 정격출력은 3상 380~440V로서 상수 와 전압은 동일하나 출력전압의 주파수가 0~400Hz로 된 다. 이 회로에서는 좌측모터를 Master, 우측모터를 Slave로 설정하여 제어한다. 즉, 권양설비가 물체를 들어 올릴 때 좌측모터가 우측모터보다 빨리 동작하면 좌측모

터에 60%이상의 출력전압이 인가되고, 좌측모터가 우측 모터보다 느리게 동작하면 우측모터에 60%보다 적은 출 력전압이 인가되도록 인버터가 동작함으로써 와이어로프 의 동작길이의 편차가 점차 0으로 수렴하게 된다.



[그림4] 밸런스제어기를 설치한 권양설비 제어시스템 구성도

즉, 좌측모터의 속도를 기준값으로 하고 우측모터의 속 도가 기준값을 실시간으로 추종하도록 설계하였다. 좌우 측 모터와 연결된 드럼의 속도를 검출하기 위하여 양측 드럼에 펄스엔코더를 설치하고, 드럼과 엔코더를 Slip이 발생하지 않도록 기어로 연결한다. 만약, 정해진 범위 이 상의 편차가 발생되면, 이동길이가 긴쪽의 모터를 구동 하는 인버터 출력신호를 추종제어하여 길이를 보정한다. [그림4]의 비틀림방지회로의 기능은 좌우측 와이어로프 편차가 과대할 경우 안전에 문제가 발생할 가능성이 높 게 되므로 자동적으로 모터를 정지시키는 역할을 하는 회로이며, 동시에 경보음을 발생하게 된다. 이럴 경우에는 "Manu"상태로 전환하여 표시장치에 나타나는 편차값 이 설정값 이내로 들어오도록 한 후 "Auto"로 전환하여 밸런스제어기와 인버터에 의하여 자동적으로 편차를 감 소하도록 한다.

2.2.3 밸런스제어장치의 구성

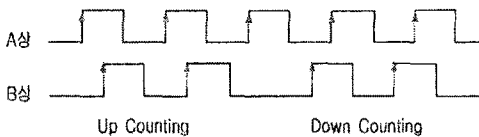
밸런스제어장치는 이동길이검출부, 편차검출부, 밸런스 제어부 및 표시부로 구성된다.

2.2.4 구성도 각 부분의 기능

(가) 이동길이검출부

이동길이검출부는 와이어로프의 이동길이에 따라 각각 펄스신호를 생성하는 펄스엔코더와, 이 펄스엔코더를 통 하여 출력되는 펄스신호의 파형을 정형화하고 펄스신호 파 형에 따른 와이어로프의 상하 이동방향을 판별하는 엔코 더신호 정합로직과, 엔코더신호 정합로직으로부터 출력 되는 펄스신호를 누적시켜 적산하는 펄스적산로직이 구 비된 좌우 이동길이검출부를 포함하여 이루어진다. 펄 스엔코더는 좌측모터의 구동속도와 동일한 속도로 회전 하면서 좌측 와이어로프의 이동에 따라 펄스신호를 생성 하게 되는데, 본 연구에서 펄스엔코더는 좌측모터의 구 동에 따라 회전되는 드럼의 중심축과 일직선상에 설치되 어 드럼의 회전량을 측정함으로써 와이어로프의 이동길 이를 파악하게 된다. 즉, 드럼이 회전하면 드럼에 감긴 와이어로프가 감기거나 풀리게 되어 와이어로프의 길이 가 변하게 되는데, 이 드럼의 회전량과 와이어로프의 변 위량 관계를 미리 파악하면, 드럼의 회전량을 통하여 와

와이어로프의 이동길이를 파악할 수 있게 된다. 예를 들어, 와이어로프가 감겨있는 드럼의 직경을 D라하고, 펄스엔코더의 회전당 펄스수를 P, 드럼과 펄스엔코더 사이에 감속비 N인 감속기어가 존재할 경우 한 펄스당 와이어로프의 이동길이는 $L = \pi D / NP$ 와 같다. 우리단에 설치된 장치의 경우 펄스엔코더는 좌측 와이어로프의 임의의 지점에 기준점을 설정하고 이 기준점을 기준으로 와이어로프가 1m 이동하는 동안 4개의 펄스신호를 생성시키게 되며, 라인 드라이버타입의 출력방식을 통하여 생성된 펄스신호를 엔코더신호 정합로직에 출력하게 된다. 엔코더신호 정합로직은 펄스엔코더로부터 출력되는 펄스신호의 파형을 정형시키고, 펄스엔코더의 출력 신호를 90도 위상차를 갖는 두개의 신호로 출력하여 이 두 신호의 펄스 위상 차이를 분석함으로써 와이어로프가 상승 또는 하강하는지 그 이동방향을 판별하며, 펄스신호의 상승 에지에서 펄스의 상태를 4가지로 분류하여 펄스 신호를 4채 배합으로써 정밀도를 높게 된다. [그림5]는 엔코더신호 정합로직에서 와이어로프의 이동방향을 분석하는데 이용되는 90도의 위상차를 갖는 A형과 B형의 펄스신호 일례를 나타낸 것이다. 이 두개의 펄스신호에서 모터의 회전 방향을 판정할 수 있는데, A상이 High인 상태일 때 B상이 Low상태이면 모터가 정회전하여 권양기가 상승조작 중임을 나타내며 그 반대의 경우에도 또한 같다. 이 펄스적산부는 와이어로프의 이동에 의해 펄스엔코더로부터 생성되는 펄스신호가 엔코더신호 정합로직을 거쳐 수신되면, 수신되는 펄스신호를 적산하여 와이어로프의 이동 거리를 파악하여 저장하고, 파악된 와이어로프의 이동 거리를 편차검출부에 전송한다.



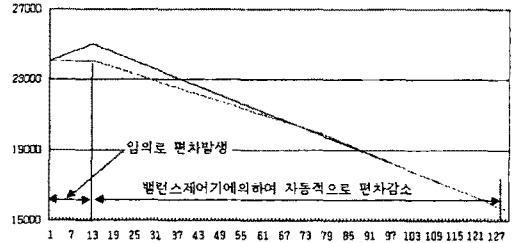
[그림5] 90도의 위상차를 갖는 A형과 B형의 펄스신호

(나) 편차 검출부

와이어로프 이동길이 검출부를 통하여 검출되는 좌우측 와이어로프의 이동길이를 비교하여 물체의 기울어진 좌우 편차를 검출하는 부분을 말한다. 편차검출부는 와이어로프 이동길이 검출부로부터 전송되는 와이어로프의 좌우측 이동길이의 편차를 계산하게 되는데, 이 편차검출부에는 정보정 연산로직과 에러검출기가 구비되어 있다. 정보정 연산로직은 상하조작부를 조작하여 좌측모터가 상승 혹은 하강방향으로 회전을 시작하면 우측모터를 좀더 빠른 속도로 회전시켜 에러를 빠르게 상쇄하기 위하여 정보정(FF:Feed Forward)값을 연산하여 에러검출기에 전송하며, 정회전 및 역회전 스위치 턴온시 좌우측모터가 구동되어 와이어로프가 이동하면서 발생하는 제어량의 변화를 미리 예측하여 예측된 제어량 변화값을 에러검출기에 직접 전송하여 시스템의 반응속도를 빠르게 하는 역할을 수행한다.

(다) 밸런스제어부

밸런스제어장치는 자동/수동 스위치에 의해 구동되며, 이 스위치가 수동위치(M:Manu)로 선택되면 밸런스제어장치가 구동되지 않고, 자동위치(A:Auto)로 선택하면 동작한다. 이 밸런스제어부에는 편차검출부로부터 전송되는 좌측 와이어로프의 이동길이와 우측 와이어로프의 이동길이 차가 이미 설정된 기준값을 초과하는 경우 물체의 과도한 기울어짐을 방지하기 위하여 모터의 구동을 정지시키고, 이를 표시부를 통하여 외부로 표시하는 비틀림 방지로직이 구비되어 있으며, 좌우측 와이어로프의 이동길이 편차를 제거하여 좌우측 와이어로프의 이동길이 일치될 수 있도록 제어하는 밸런스제어장치가 구비되며, 이를 위하여 우측 모터에 전원을 공급하는 인버터의 출력 주파수를 조절하여 우측모터의 구동속도를 제어한다. 또한, 이 제어장치는 PI제어기를 통하여 구현하는데, 이 PI제어기는 좌측모터는 원래의 회전속도로 유지시키고 이 좌측모터의 회전속도를 기준값으로 우측모터의 회전속도를 조절함으로써 좌우측 와이어로프의 편차가 [그림6]처럼 지속적으로 0(Zero)에 수렴되도록 제어한다. PI제어기는 우측모터의 회전속도를 조절하기 위하여 인버터의 출력주파수를 조절하게 되는데, 통상 모터에 공급되는 주파수와 모터의 속도는 $N = 120f(1-s)/P$ 로 나타낸다. 여기서, N은 회전속도(rpm), f는 주파수(Hz), P는 모터의 극수, s는 Slip으로서 0.04-0.25의 값을 갖는다.



[그림6]밸런스제어기에 의한 편차 감소과정

윗식에서 나타나는 바와 같이, 모터의 회전속도(N)는 주파수(f)와 비례하므로, 모터에 공급되는 전원의 주파수를 조절하면 모터의 회전속도를 조절할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에 적용된 Two Motor-Two Drum 형식의 권양기는 우리공사에서 운영관리하는 발전소에 많이 설치되어 운영중이다. 또한 우리단에서 권양선비를 수차발전기 대점검시나 완전분해점검시 운영해 본 결과 앞에 언급한 문제점을 실제 경험한 바 있다. 설비의 사용연수에 비례하여 모터의 특성변화, 전자점속기 동작시차 및 Brake Slip 등 여러요인이 복합적으로 작용할 경우 이런 문제점은 계속 증가할 것으로 판단된다. 이런 문제점을 해소하기 위한 조치로서 밸런스제어기를 설치하여 운영해본 결과 만족할 만한 결과를 얻었다.