

## 수위계 표준교정장치 최적 설계

신강욱\*, 홍성택, 이동근  
한국수자원공사

### Optimal Design for Standard Calibration Facility of Water-Level Gauges

Gang-Wook Shin, Sung-Taek Hong, Dong-Keun Lee  
Korea Water Resources Corporation

**Abstract** - This study designed on the standard calibration facility for calibration about radar type, ultra-sonic type and floating type. We reviewed calibration facilities, analysis any problems, and proposed optimal plan which uses EDM and electrical level meter.

#### 1. 서 론

우리나라 수문관측 시설물을 설치·운영중인 주요기관으로는 수자위공사를 비롯한 건설교통부, 행정자치부, 기상청 등으로, 전체 관측 시설물은 우량관측국 약 3,000여 개소와 수위관측국 약 600여 개소에 이른다. 이러한 수문관측국에서 관측된 자료는 국가의 모든 이·치수계획, 설계, 운영 그리고 홍수에경보 등에 필요한 수자원기초조사로서 매우 중요하게 활용되고 있다. 이러한 중요도에 따라 다양한 수문관측용 센서 개발이 국·내외적으로 활발하게 진행되고 있으며, 정밀도가 향상된 제품이 지속적으로 출시되고 있으나, 측정 정확도에 대한 표준화된 매뉴얼 및 절차서 부족으로 공인된 측정 교정체계가 구축되어 있지 못한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 표준화된 측정 교정체계를 구축하기 위하여 수위계에 대한 표준 교정장치에 대한 최적 설계안을 제시하고자 한다.

#### 2. 수위계

운영상으로 분류할 때 수위계에는 연중 계속하여 수위를 관측하는 자기 수위계와 보통 수위계(수위표)가 있고, 홍수 등 특정 시기에 수위를 관측하는 보조 수위계가 있으며, 자기 수위계 지점에는 보통 수위표를 병설하는 것이 원칙이다.

보통 수위계는 기둥을 세우고 여기에 눈금판을 부착하여 고정하거나, 교량의 교각 또는 교대 등에 눈금판을 색인한다. 눈금판의 눈금단위는 1 cm로 한다.

자기 수위계는 견고한 기초위에 설치하거나 교량의 교각 등에 매달아 설치하며, 자기 수위계 기기가 설치되어 있는 주요부는 최대 홍수위 발생시에도 침수되지 않는 높이로 설치하여야 하고, 기록부의 눈금 단위는 1 cm로 한다.

측정 방식에 의하여 분류해 보면 직접 눈금을 읽을 수 있는 직독식과, Float의 부력에 의한 부자식, 대기압이나 공기압을 이용하는 압력식, 전기적인 성질을 이용하는 전자식, 음파 및 초음파를 이용하는 초음파식, 방사선을 이용하는 방사선식, 마이크로웨이브를 이용하는 마이크로 웨이브식 및 레이저를 매개체로 하는 레이저식 등이 있다.

#### 2.1 수위표

수중에 세운 수위표에 의하여 목적으로 수위를 직접 측정하는 것으로 목자판과 그것을 받치는 지주로 이루어진다. 목자판은 에나멜철판·강화 플라스틱판 등에 최소 눈금 1cm 새김으로, 10cm 및 1m마다에 표적을 붙여 알기 쉽게 한 눈금판이다. 최소눈금을 2cm로 하여 읽기 쉽게 한 것과 1m마다에 특정의 착색을 하여 읽기 쉽게 한 것 등의 개량형이 있다.

#### 2.2 부자식

부자식 수위계의 구성은 부자를 수면에 띄워 부자와 추(카운터-웨이트)를 줄로 연결하여 그 줄을 휠에 건다. 수면의 상승·하강으로 부자가 상승·하강됨에 따라서 휠이 회전하여 수위가 기록된다. 주요부분은 부자·와이어·추, 부자를 걸 휠·축, 그리고 수위를 기록하는 펜·자기지·시계로 구성된다. 디지털기록 또는 텔레미터를 위해 A/D변환기가 달릴 경우도 있다.

이 방식의 액위 검출기는 액면상에 플로트를 띄워 플로트의 위치를 직접 측정하는 것으로써 개방형, 폐쇄형, 일반수조 등 가장 일반적으로 많이 사용된다. 플로트의 상하 변위는 추(錘)와 연동하는 와이어 로프가 드럼에 감기면서 드럼이 회전한다. 드럼에 각변위 검출기 등을 조합하면 직접 전기 신호로 변환이 가능하여 각종 제어 회로에 사용할 수 있다.

#### 2.3 압력식

수위의 변동에 따라 수중에 설치된 수압부가 받는 수압의 변화를 기계적으로 측정하거나, 또는 감압소자에 의하여 전기신호로 변환하여 수심을 측정한다.

압력식 수위계는 수압에 따라 수정진동자의 공진주파수가 변화하는 현상을 이용한 수정식과 반도체 저항의 변화를 전기신호로 변화하는 반도체식이 있으며, 이밖에 다이아프램, 벨로즈, 부르동관, 스트레인 게이지식이 있다. 압력식 수위계의 장점은 수위 측정 도관부가 수직 법면이 아닌 경사면도 가능하고, 설치가 간단하다.

#### 2.4 초음파식

초음파가 센서로부터 발사되어 측정 표면으로부터 반사되어 오는 시간을 측정하여 레벨을 측정하는 원리를 이용한 것으로 비접촉식으로 레벨을 측정한다는 장점 때문에 초음파식의 사용은 급격히 증가하였다. 그러나 온도, 압력의 영향을 많이 받는 편이며 다른 레벨계에 비하여 고가이다. 또한 액체가 점착성이 있는 경우에 액체 수증기가 초음파 센서에 부착되게 되면 오차가 발생한다. 또한 초음파의 경로의 어떠한 방해물이 있어서도 안 된다는 단점이 있기도 하다.

초음파 송수신기를 수면의 연직상방에 달아 초음파가 수면에 부딪쳐 되돌아올 때까지의 시간을 측정하며, 수면과 초음파송수파기와의 거리를 측정하는 것으로 수면과는 전혀 접촉하지 않는다.

### 2.5 레이더식

레이더 센서는 비접촉식 방식으로 연속적인 계측을 위해 사용한다. 계측거리의 계측 대상물의 수위에 따라 레벨로 환산 표시된다. 계측원리는 5.8 GHz의 레이더 신호가 레이더 센서의 안테나에서 짧은 펄스의 형태로 발사된다. 이 레이더 임펄스는 주위의 물체 또는 계측대상에 부딪혀 레이더 에코로 안테나에 수신된다. 레이더 임펄스의 발사와 수신간 시간차는 거리에 비례하므로 레벨을 계측할 수 있다.

레이더 신호의 적용범위는 가시광선과 비슷한 특성을 지니고 있으며, 양자 이론에 따르면 공간을 통과하는 성질을 지니고 있다. 그러므로 소리와 같이 전도성 물체(물)에 반향되지 않고 빛의 속도로 퍼진다. 레이더 신호는 두 가지 양자, 즉 전기적 전도성과 유전율에 대해서만 반응한다.

레이더 신호는 전기적 전도성이 있는 물체에 잘 반사되나 전도성이 작은 물체나 2.0 이상의 유전율이 있는 물체도 레이더 신호의 충분한 반사가 가능하다(공기의 유전율은 1 이다). 레이더 신호의 반사는 계측대상 물체의 전기적 전도성이나 유전율에 비례하여 증가한다.

외부 환경 영향에 대해서는 온도, 압력, 대기상태, 공기 등에 거의 영향을 받지 않고 사용할 수 있으며, 온도에 따른 영향(500°C/0.018%)과 압력변화에 따른 영향(압력이 매우 낮은 경우에는 오차 발생 50bar/0.8%)은 아주 미비하다.

레이더 수위계 신호처리 방식 중 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)는 센서를 구동시 고정된 밴드 폭과 Sweep Time을 갖도록 선형 주파수로 변화시키고 이에 따라 수신신호에서 수위에 비례하는 지연을 관찰할 수 있으며, 송수신 두 신호를 혼합하면 거리에 비례하는 주파수값을 구할 수 있다. Pulsed Radar는 초음파방식과 거의 동일하나 FMCW에 비해 저전력으로 구동하므로 구조에 따른 영향과 수면위의 거품 등 액체의 유전율에 많은 영향을 받는다.

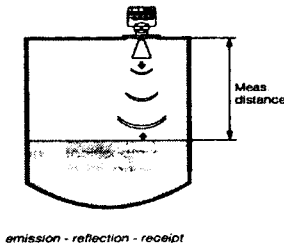


그림 1 레이더식 수위계

## 3. 표준교정장치

### 3.1 비접촉식 수위계 교정장치

#### 3.1.1 표준 줄자를 이용한 방법

레이저 간섭계로 교정된 표준 줄자의 눈금을 기준으로 사용하는 방법으로 그림 2와 같이 수위계를 스테이지에 고정시킨 후, 스테이지를 수직 운동시키면서, 스테이지에 장착된 CCD 카메라를 사용하여 표준 줄자의 눈금을 읽어 수위계의 지시값과 비교하여, 보정값을 찾아내는 방법이다.

단순하다는 이점이 있으나, 교정 불확도가 상대적으로 다른 방법보다 크다는 단점이 있다.

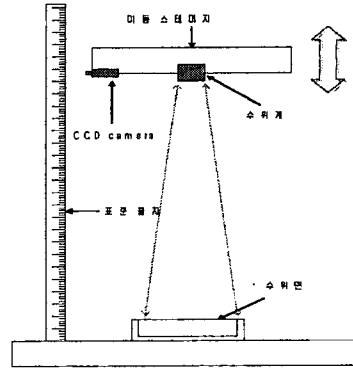


그림 2 표준줄자를 이용한 교정장치

### 3.1.2 레이저 측장기를 이용하는 방법

레이저 측장기(electro-optic distance meter : EDM)의 지시값을 기준으로 사용하는 방법으로 세가지 형태로 분류 할 수 있다. 첫째, EDM을 수위계와 함께 스테이지에 설치한 후, 스테이지를 수직 이동시키면서 수위계와 EDM의 지시값을 동시에 읽어 비교함으로써 교정하는 방법인데, EDM과 수위계의 기준 높이를 정확히 일치시키고, EDM의 타겟(Target)과 물의 높이를 정확히 일치시켜야한다는 어려움이 있다.

둘째, EDM이 불필요하게 운동하는 것을 방지하기 위한 방안으로서, 그림 3과 같이 EDM은 고정되어 있고, 수위계가 고정된 스테이지의 반대쪽에 EDM의 타겟이 설치되어 있는 구조를 가진다. 기본적으로 수위계 없이 EDM만으로 측정된 EDM의 높이값  $L_0$ 과 스테이지의 두께  $L_1$ 을 미리 측정하여 알아야 하며, EDM의 지시값이  $L_2$ 일 때, 수위계로 측정된 높이  $L$ 의 보정값  $B$ 은

$$B = (L_0 - L_1 - L_2) - L \quad (1)$$

로부터 구할 수 있다.

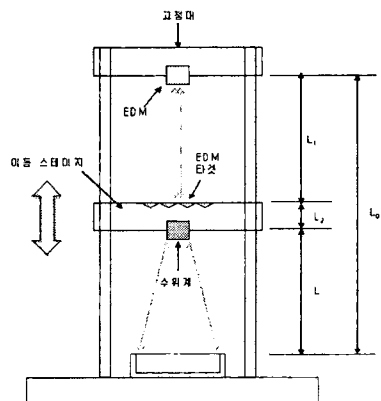


그림 3 EDM을 이용한 교정장치

셋째, EDM이 고정된 높은 고정식 구조물이 반드시 필요하다는 단점을 해결하기 위한 방안이다. 방법(2)와의 차이점은 EDM의 타겟이 수위계의 중심과 같은 면에 장착되고, EDM은 지상에 장착한다는 점이다. 펜타 프리즘을 사용하여 EDM의 레이저광을 수직으로 편향시켜서 사용한다. 이 방법은 고정식 구조물이 반드시 필요하지 않고, EDM을 이동시키지 않아도 된다는 장점이 있으나, 펜타 프리즘으로부터 EDM까지의 거리가 정확히 펜타 프리즘과 물 표면까지의 거리와 동일하게 맞춰

려야 한다는 어려움이 있으며, 무엇보다도 프리즘에서 초음파가 반사하여 고스트 시그널로 작용할 수 있다는 단점이 있다.

### 3.1.3 수평 구조물을 사용하는 방법

EDM을 사용하되, 수평 벤치(bench) 구조물에서 교정하는 방법이다. 평면도와 진직도가 좋은 가이드(guide)를 따라 스테이지 왕복 운동할 수 있는 구조로서, 스테이지에 EDM과 수위계가 나란하게 같은 중심 위치를 가지도록 설치되어 있고, 반사판 아래에 몰과 EDM의 타겟이 역시 나란하게 동일한 높이로 설치되어 있는 구조이다. 이 방법은 높은 구조물의 건축이 불필요하다는 장점이 있으나, 수평적으로 매우 긴 공간이 필요하다는 문제점이 있다.

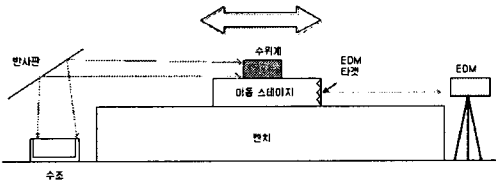


그림 4 수평 벤치를 이용한 교정장치

### 3.1.4 EDM 1대와 전기식 레벨을 사용하는 방법

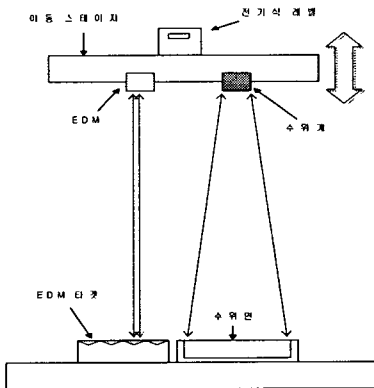


그림 5 EDM과 레벨계를 이용한 교정장치

EDM을 2대 사용하는 방법의 단점을 보완할 수 있는 방법으로서, EDM은 한 대를 사용하면서 스테이지의 수평상태를 측정할 수 있는 전기 레벨을 사용하는 방법이다.

### 3.2 부자식 수위계 교정장치

부자식 수위계에 대한 교정장치 구성방안은 첫째, 표준 줄자를 이용한 교정 방법을 레이저 간섭계로 교정된 표준 줄자의 눈금을 기준으로 사용하는 방법이다.

부자식 수위계의 후에는 줄을 연결하고, 이 줄은 구동 장치에 의해 보조 폴리에 원하는 간격으로 감기도록 한다. 부자는 원통형 가이드 안에 위치하며, 부자 위에는 소형 CCD 카메라를 장착하여, 가이드 옆에 설치된 표준 줄자의 눈금을 읽을 수 있도록 장치한다. 각 측정 지점에서 CCD 카메라의 이미지로부터 표준 줄자의 눈금을 읽어, 수위계의 지시값과 비교하는 방법이다. 부자에 카메라를 설치할 때에는 반대쪽에 웨이트를 사용하여 부자의 균형을 잃지 않도록 신경써야 한다. 교정 원리가 단순하다는 이점이 있으며, 부자식 수위계의 교정에는 충분한 방법이다. 그러나 이 시스템은 구조적으로 반드시 교정식 구조물이 필요한 문제점이 있으며, 별도의 교정장치가 필요하다는 단점이 있다.

둘째, 레이저 측정기를 사용하는 교정 방법으로 표준

줄자를 이용한 교정 장치와 흡사하나, 기준물로서 표준 줄자 대신 레이저 측정기를 사용한 점이 다르다. 추의 끝에 줄을 연결하고, 이 줄이 구동 장치에 의해 보조 폴리에 원하는 간격으로 감기도록 한다. 부자는 역시 원통형 가이드 내부에 위치하며, 부자의 변위를 레이저 측정기로 직접 측정한다. 이 때 3 개의 펜타 프리즘을 사용하여 빛을 수직 방향으로 편향시키고, 타겟 프리즘은 부자의 위에 설치하도록 한다.

이 방법은 정확하긴 하지만 역시 별도의 교정장치를 만들어야하며, 부자 위에 타겟을 놓아야 하므로, 부자의 기울어짐이 유발될 가능성이 높다.

셋째, EDM을 사용하되, 별도의 가이드가 필요하지 않으며, 초음파식 또는 레이더식 수위계 교정장치를 함께 사용할 수 있다는 큰 장점이 있다.

수위계의 폴리가 구조물의 최고점에 고정되어 있고, EDM과 부자는 이동식 스테이지 위에 설치된다. 이를 위해서는 이동식 스테이지에 부자를 고정시킬 수 있는 장치가 필요하다. 스테이지를 이송시키면서 EDM의 지시값과 부자식 수위계의 지시값을 비교함으로써 교정이 수행된다. 초음파식 수위계의 교정 때와 마찬가지로, 스테이지의 기울어짐 효과를 보정하기 위하여 전기식 레벨이 스테이지에 설치된다.

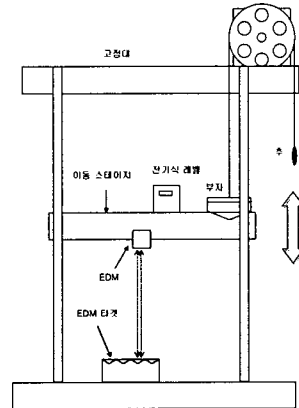


그림 6 EDM을 이용한 부자식 수위계 교정장치

## 4. 결 론

초음파식 수위계와 레이더식 수위계, 그리고 부자식 수위계를 교정할 수 있는 장치에 대한 개념 설계를 하였다. 초음파식 수위계와 레이더식 수위계의 교정에 사용할 다양한 교정 장치를 고안하고, 문제점을 분석하였으며, 그 중 EDM과 전기식 레벨을 사용한 방법을 최적으로 하였다. 부자식 수위계의 경우에는 표준 줄자를 사용한 방법과 EDM을 사용한 방법을 제시하였는데, 최적으로 하는 EDM과 전기식 레벨을 사용한 방법을 선정하였다. 모든 경우의 교정 장치는 길이의 국제 단위인 미터의 정의로부터 소급성을 가지도록 개념이 설계되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 건설교통부, "수문관측매뉴얼", 2004.
- [2] 한국수자원공사, "수자원기초자료 신뢰도 제고를 위한 수위계 및 우량계 검보정 방안연구", 2001.
- [3] Robert G. Skrentner, "Instrumentation Handbook for water & wastewater treatment plants", Lewis Pub., 1988.