

개량된 음향 수위계측 방법

황 상 윤 전무 / (주)씨엠엔텍 연구소
envata@naver.com

1. 머리말

수문관측은 하천유역의 강수량, 하천의 수위·유량·유사량 등 수문현상에 관한 관측 및 자료 생성 등의 방법을 정하고 국토계획, 수자원 계획, 유역조사, 유역종합치수계획, 하천정비 기본계획, 하천공사의 실시, 하천의 효율적인 유지관리에 필요한 수문 자료를 제공하는 등의 꼭 필요한 내용이다. 특히, 이 중에서 가장 기본이 되는 것이 수위측정이다.

수위측정은 수문관측 시설을 법적으로 정하여 건설할 당시부터 이를 고려하고, 현장별 기술 기준에 따라 항구적인 운영과 측정, 그리고 유지보수가 가능하도록 하는 일들을 진행하고 있다.

수위측정 기술들은 대부분이 수직으로 측정하는 것을 원칙으로 한다. 이는 특히 전통적인 방식인 부이(Float) 식이 대표적이며, 최근의 초음파, 레이더, 레이저 등의 기술에 해당한다. 이를 통해 같은 곳의 수위측정을 수행

할 수 있다. 한편으로는 신설인 경우 수직으로 동작할 수 있는 위치 선정에 제한이 있거나, 그 범위가 커서 수직으로 된 측정소를 건설하는데 토목공사를 수반하게 되는 경우 경제성에도 제한이 따른다. 이를 개선하여 현장의 수위 변화 계측은 경사진 곳에서도 측정 가능하여야 하는 기술 요구가 대두되고는 한다.

경사진 곳이나, 이러한 경사도가 자연적인 경우이거나 복 단면으로 구성되는 경우에도 측정이 가능하도록 하는 현장 요구와 동시에 홍수 시기나 운영 중에도 접근하여 유지보수가 필요한 기술이 되고 있다. 이러한 경우의 모두에 대응할 수 있는 수위측정 기술이 요구된다.

다음으로는 수위관측이 측정범위 전체와 환경 요인에 무관하게 항상 안정된 측정을 통해 수문관측 데이터의 신뢰성을 확보하는 것도 매우 중요하다. 이는 측정 원리상 영향을 받는 요소를 제거하거나, 그러한 요소가 없는 기술의 사용에 초점이 맞춰지고 있다. 예를 들어 온도의 영향, 바람의 영향, 안개의 영향, 결빙의 영향

개량된 음향 수위계측 방법

등 그 요소는 매우 다양하며, 추가로 영향을 받는 요소들은 먼지, 매질의 종류, 압력, 계절 등도 매우 중요한 고려 대상이다.

2. 이론 및 설계

가. 음향 에너지 활용

음향이란 탄성매질을 통해 전파되는 역학파로서 탄성매질은 고체, 액체, 기체 등을 말한다. 특히 음파라고 하는 것은 일반적으로 공기 중의 역학적인 세로파로서 고체, 액체와 기체 내를 전파할 수 있다. 이러한 파동을 전달하는 물질 입자는 파동 자체의 전파 방향으로 진동한다. 역학적인 세로파를 발생시킬 수 있는 진동수 범위는 매우 크다. 음파는 인간이 귀로 들을 수 있는 진동수의 영역에 국한된다. 이들 진동하는 요소들은 모두 전진 운동에서 주위의 공기를 압축하고, 후퇴운동에서 주위의 공기를 희박하게 하는 교대되는 과정을 되풀이한다. 공기는 이 파원으로부터 이러한 교란을 외부에 파동으로 전달하게 된다.

음파를 이용하는 한 방법으로 펄스반사법이 있다. 이것은 수중 음향탐지기의 원리처럼 음파가 목표 물체에 반사되어 되돌아올 때 반사되는 음파로부터 목표물에 대한 여러 가지 정보, 즉 위치, 크기, 기하학적 형태 등을 추정하는 방법으로 이용되어왔다. 음향에너지를 활용한 거리계측(Acoustic Ranger)은 1978년 E.S Morgan은 음파에 대하여 도파관처럼 작용하는 것으로 간주하는 펄스반사법을 처음으로 적용하였다. 거리측정은 입력 신호와 반사신호가 있을 때 두 신호의 시간 차이를 측정한다. 거리(L) = 시간(t) × 속도(v or C)이므로 반사면까지의 거리를 구할 수 있다. 측정시간은 음파의 왕복시간이므로 1/2 시간에 해당한다. $[L=(t \cdot c)/2]$ 여기에서 t(sec)는 왕복 전달시간, C는 매질에서의 음속(%), L은 발사

매 질	속 력(%)
공기(0°C에서 건조함)	331
공기(20°C에서 건조함)	343
수증기(134°C에서)	494
수소	1,330
물(증류수)	1,486
해수	1,519
납	1,190
구리	3,810
알루미늄	5,000
유리(파이어렉스)	5,170
강철	5,200
베릴륨	12,900

표 1. 여러 가지 매질에서 세로파의 음속

체에서 반사면까지의 거리(m)를 나타낸다.

표 1은 여러 가지 매질에서 세로파의 속력(음속)을 나타낸 것이다.

나. 공기 중의 음속

음파 혹은 초음파의 측정 원리는 측정 대상이 되는 매질(공기 혹은 액체)을 전파하는 왕복시간을 측정하는 원리를 사용하고 있다. 따라서, 각 매질의 음파가 전파하는 속도를 알고 전파시간을 측정하면 측정 원점에서부터 이격거리를 정확하게 알 수 있다. 따라서, 측정 대상 매질의 음속이 매우 중요하다. 그런데 실제로는 대부분의 초음파 수위계의 측정 원리는 음속을 측정하여 계산하는 것이 아니라, 음속에 가장 영향을 많이 미치는 온도를 발사지점의 센서에서 측정한 온도를 이용하여 거리를 계측하고 있다. 공기 중에서의 음속 측정 온도 공식은 근사적으로 나타낼 수 있는데, 실제로는 습도, 압력 등에 영향을 함께 받는다.

$$C_{air} = 331.56 + 0.6085T - 0.00049T^2 \approx 331.6 + 0.6077T$$

여기에서 T는 온도(°C)를 나타낸다.

유량 측정의 불확실성 해소와 제어

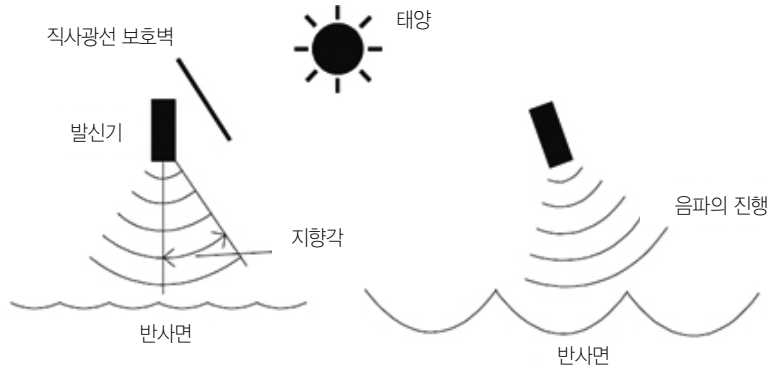


그림 1. 음파의 진행 경로(무지향성 에너지라서 도파관 도입 필요)

다. 음파의 전파 경로 및 도파관 도입

일반적으로 초음파의 빔은 일정한 지향각을 갖고 직진 하면서 퍼진다. 따라서, 반사되어 오는 수신 신호의 크기와 방향이 잘 일치하여야 정상적인 측정이 될 수 있다. 일반적으로 반사면과 발신기 간의 거리에 따라 유효 반사면을 갖는 면적이 지향각에 따라 다르다.

음파는 거의 무지향성이라서 사방으로 에너지가 퍼지게 된다. 따라서, 왕복하는 유효 신호를 안정적으로 획득하기 위해서는 수문관측용에서는 도파관이 필요하다. 도파관의 효과 때문에 음향수위계에서는 음파가 사방으로 퍼져 에너지 손실이 생기는 것을 도파관이 보호해주는 역할을 한다.

음파의 경우 그림 1과 같이 파면이 일정하지 않고, 파랑이 생겨도 사용하는 주파수가 1.2kHz로 매우 낮아서 파장의 길이가 대략 약 28cm 되므로 영향을 받지 않는다. 따라서, 설치 장소의 형상에 따라 설치 각도를 다양하게 할 수 있다. 경사형 음파수위계 도파관(경사형으로 설치하는 음파수위계의 도파관의 크기를 최적화하여 수위측정의 안정성과 효율성을 보장)은 도파관을 20~90°로 경사지게 하면서 반사파의 영향과 안정성을 확인하였고, 다굴질의 구성도 가능하여서 현재 프로그램 상에는 최소 9번 정도의 굴절각을 허용하고 있다. 도파관의

크기는 측정범위에 따라 15m용에서는 40~50mm, 30m 수준에서는 60~75mm, 그리고 50m 범위 정도이면 크기를 100mm 수준으로 권장하고 있다.

라. 성능의 이해

수위측정은 여러 분야에서 사용되고 있고, 수위계(레벨미터 혹은 액위계로 불리며, 다른 의미에서는 수심계와도 함께 사용되고 있음)들은 사용 목적과 측정하려는 대상(레벨)의 특징이 매우 다양하기 때문에 동작 원리도 다양하고 특성도 다양하다. 사용 목적에 적합한 수위계를 선택하기 위해서는 기술 조건과 특성이 명백해야 할 것이고, 또한 여러 수위계들의 특성을 정확하게 이해할 수 있도록 수위계의 기술적 특성을 정리한다.

측정범위에는 불감구역을 함께 표시하여야 한다.

정확도는 측정값 기준(MV or RD) 혹은 Full Scale(FS%)로 구분하여야 한다. 만약 아날로그 전류 출력오차가 있다면, 그 성능은 별도로 표시해야 한다.

측정 범위	오차
1~5m	±1cm
5~10m	±2cm
또는	
1~10m	±2cm

표 2. 오차의 표시 방법

개발된 음향 수위계측 방법

동작 환경에서의 정확도를 쉽게 이해할 수 있도록 표시하여야 한다.

동특성과 정특성을 이해할 수 있게 표시하여야 한다. 실제로는 시정수(Time-constant)라고 칭하고, 실제 변화한 수위 값의 95%까지 순응하는데까지 걸리는 시간(지시시간, 출력시간, 반응시간)으로 나타난다.

3. 음향 에너지를 활용한 거리계측

가. 음향수위계 개발

핵심기술을 측정거리가 길어짐에 따라 신호가 감쇄하게 되는데, 이러한 감쇄에 의한 신호를 증폭시키기 위하여 현장 조건에 따라 증폭도의 기울기를 조절할 수 있어야 하므로 수신기가 여러 개인 경우 노출된 수신기는 잠기기 전까지의 감도 특성과 다르게 변해 있을 수 있다. 특히, 발전소나 홍수기처럼 수위 변화가 빠르게 나타나는 경우 이러한 현상이 더욱 대두될 수 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 신호 감쇄에 의한 측정 불안정성을 해결하기 위해 아날로그 보드의 신호 처리를 자동으로 즉시 조정을 통한 증폭 신호의 안정화를 수행할 수 있게 제작되었다.

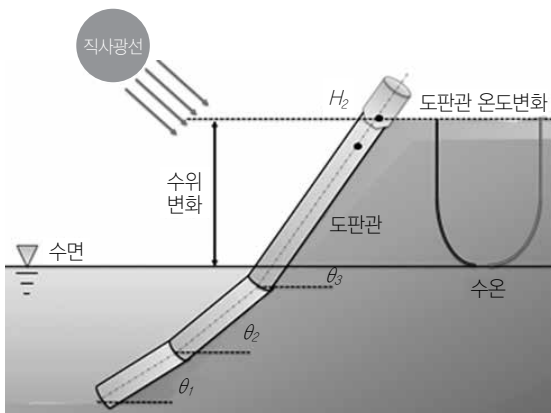


그림 2. 음향수위계 설치 환경 예시도

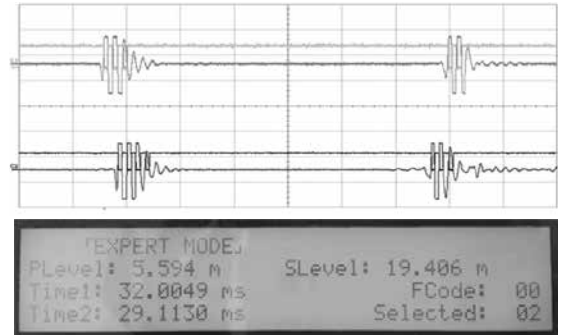


그림 3. 신호로부터 왕복 전달시간 측정

나. 음향수위계 적용시험

개발된 음향수위계 실제 동작 시 측정하는 과정에서는 5W 수준이고, 대기 중에는 1.2W 수준으로 전력소비를 나타내었다. 도파관 100mm를 옥외에 설치하여 52m 구간에서 기준이 되는 레이저 거리계와 비교하여 $\pm 3\text{mm}$ 이내의 우수한 성능시험 결과를 얻었다.

새롭게 고안된 음향 수위계측 방법은 기존의 측정 방법인 여러 개의 수신기 방식에서 2개만 활용하는 것으로서, 새로운 원리를 적용한 결과 $\pm 3\text{mm}$ 이내에서 수위 안정



그림 4. 옥외 도파관 100mm를 52m 구간에 설치 동절기 운영

유량 측정의 불확실성 해소와 제어

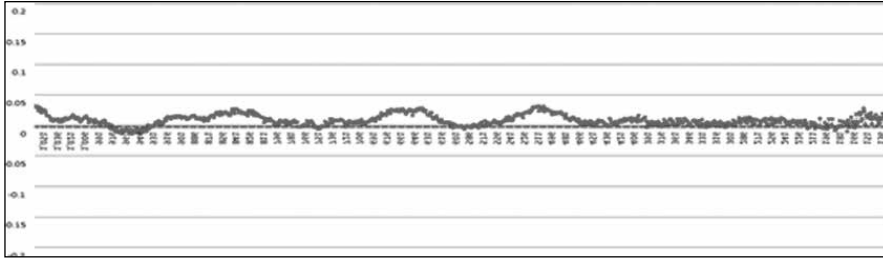


그림 5. 수신기 1개로 흑서기 측정 결과 및 안정도(최대 $\pm 10\text{mm}$ 이내)



그림 6. 경사면에 다굴절로 적용한 음향 수위계(50m, 23°)

도를 얻을 수 있었다.(허용치 : $\pm 10\text{mm}$ 이내) 수신 신호의 안정적 신호 추출을 이용하여 수신 신호의 가장 가까운 커플링 신호를 이용하여 온도 보상을 하는 방법으로 안정적인 거리값을 찾아낼 수 있다.

시험 결과를 바탕으로 안정적인 수신 신호의 추출을 위해서 좀 더 정밀한 하드웨어 수정을 하여야 하며, 좀 더 많은 데이터 추출 및 현장 적용 시험이 필요하며, 이를 통해 궁극적으로 수신기 1개만으로도 충분히 제품화가 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

개발되고 개발된 새로운 음향 수위계를 측정범위 50m 정도의 범위에서 야외, 한국표준과학연구원, 그리고 양수발전소 상부댐에서 사계절 시험하고 평가하였다.

측정 결과 지시값은 목자판(Staff scale)과 비교하여

$\pm 10\text{mm}$ 이내로 안정화됨을 수위 변화 사이클에 맞춰 확인할 수 있었다.

또 상승과 하강 시에도 동일한 결과치를 얻을 수 있었고, 측정범위는 최대 50m로서 한국표준과학연구원(KRISS)에서 성능시험을 실시하였다.

도파관의 구경은 100mm를 기준으로 제작하였다. 현장에서 적용된 제품도 100mm로 제작하였으며, 도파관의 경사도 한계도 현장의 23°를 기준으로 시연과 시험을 실시하였다. KRISS 시험 결과는 시험지점 0.0000, 5.005, 14.014, 25.018, 34.018, 43.024m로 최대 측정편차는 $\pm 2\text{mm}$ 이내였다.

특히 경상지고 굴절된 측정 환경에서 다양한 각도로 설치 운영이 가능하며, 오차와 성능을 개선하기 위하여 다양한 측정 개선 방법을 시험하여 매우 안정되고 신뢰성 있는 측정을 할 수 있게 되었다.