

電磁波를 이용한 河川水 表面流速 測定 Velocity Measurement of Stream Water Surface Using Microwave

李 相 浩* · 李 翰 九** · 金 祐 求***
Lee, Sang Ho · Lee, Han Goo · Kim, Woo Gu

Abstract

Applying microwave, a velocity measurement system has been developed in order to measure the velocity of stream water surface. It's main purpose is the measurement for high velocity of flood water. It is under the developing stage of experimental measurement system. The microwave surface velocity meter uses Doppler effects of microwave. It consists of a radio frequency(RF) part and that of signal processing. The RF part has the function of microwave oscillation, reception of reflected wave, and determination of Doppler frequency, etc. Signal processing designates amplification, fast Fourier transform, etc. Various measuring experiments were performed at bridges and a spillway of Taechong re-regulation dam with the microwave velocity meter. Verification test was also made through water tank of ship model test at Research Institute of Ships and Ocean Engineering. It shows 4% error inherent in A/D converter and additional several percentage errors from measurement circumstance. The measuring ranges are from 0.5 to 3.5 m/s. The result shows good linear relationship between carriage velocity and measured velocity, thus proves usefulness as a measuring instrument for flood water velocity. The instrument requires overall re-engineering procedure and number of data should be accumulated and analyzed to treat wind effects and random fluctuations of water surface.

요 지

하천의 홍수유속을 측정하기 위하여, 전자파를 이용한 물 표면 유속 측정체계를 개발하였다. 현재의 개발단계는 실험용 유속측정체계 수준이다. 전자파 표면유속계는 초고주파(microwave) 전자파의 도플러 효과를 이용한다. 이는 전자파의 발진과 안테나를 통한 반사파 수신, 차주파수 신호의 추출로 이루어지는 RF부분과, 차주파수 신호의 A/D변환 및 고속 후리에 변환 등으로 이루어지는 신호처리부로 구성된다. 구성된 유속측정 체계로 교량 아래 유속,

-
- * 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원
 - ** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
 - *** 한국수자원공사 홍보실 홍보 2부장

대청 조정지댐 방수로 등에서 측정 실험하였고 선박해양공학 연구센터의 선박 실험용 線形水槽에서 검증 실험을 수행하였다. 검증결과 A/D 변환기 제작오류에서 발생한 4% 오차 이외에 측정환경의 문제에서 비롯된 몇 %의 오차가 혼재되어 있음이 분석되었다. 그러나 0.5~3.5 m/s 유속을 측정한 결과, 기준속도와 측정속도간 선형성이 우수하고 홍수 유속 측정에 매우 유용한 장비임이 입증되었다. 향후 소형화, 경량화를 수행하고 바람, 물 표면의 불규칙 유동에 의한 영향을 분석하여 신호처리 방안을 마련하는 재제작(re-engineering) 과정이 요구된다.

1. 序 論

1.1 研究 目的 및 背景

한국의 수자원 개발 및 관리기술은 '60년대 末부터 시작된 다목적 댐 건설로부터 본격적으로 발전하여, 광역 상수도 설치 및 관리, 댐 저수지 수질 관리 및 상/하수 처리기술로 확장되어 왔다. 이러한 수자원 관리의 출발은 지표수 및 지하수 흐름의 양적 측정에서 시작된다. 우리 나라의 경우에 지표수의 이용 및 관리가 보다 빈번하게 이루어져 왔으므로 하천 유량의 측정이 매우 중요한 의미를 갖는다.

사회 간접 자본에 귀속될 수 있는 수문 관측은 국가적, 공공적 투자에 의존되어야 하지만, 단시일에 가시적인 성과를 거둘 수 없는 특성상 투자 우선순위에서 배제되기 쉬우며 사회적 관심을 잃기 쉽다. 국가의 수자원 관리를 담당하는 기관 및 기업에서도 하천 유량측정 문제에 많은 관심을 가지고 있으면서도, 모든 기술의 기초가 물리량의 측정에서 비롯된다는 사실을 소홀히 여기는 우리사회의 저급한 과학기술 철학 때문에 유량측정 설비의 확충 및 고도화에 많은 예산을 투자하지 못하고 있다.

현재 국내의 유량 측정기기 제작기술은 매우 낙후되어 있어서 국내에서 사용하는 유속계, 수위계 등은 거의 수입품에 의존하고 있다. 더욱이 측정기기가 고장났을 때 보수할 수도 없으며 현재 사용중인 기기가 신뢰적인지 檢定할 설비도 제대로 갖추어져 있지 못하다. 이러한 현실이 국내의 유량측정 기술을 과거 수준에 머물도록 하고 있으며, 수공학

발전을 가로막는 걸림돌이 되고 있다. 본 연구의 목적은, 홍수 발생시 우리나라의 기존 유량측정 체계(권양기-유속계)로 측정하기 어려운 빠른 유속을 측정할 유속계를 개발하는 것이다. 이 연구는 국내의 하천용 유속계 연구 개발에 시초를 이루는 것으로, 유량 측정기기 제작 기술분야를 개척하는 것이며, 국내 수공학 발전의 기초 토대를 다지는데 의의가 있다(김양일 등, 1994)

1.2 研究 內容

유량 측정설비는 보통 유속계와 수위(수심)계로 구성된다. 하천의 유량측정에서 보다 어려운 일은 유속의 측정이고, 특히 우리 나라에서는 홍수 유속 측정에 큰 어려움을 겪고 있다. 따라서 유속계 개발의 방향은 기존의 권양기-유속계 체계로 측정하기 곤란한 유속범위에 대하여 안전하고 간편하게 홍수 유속을 측정하는 일에 초점을 두었다. 위와 같은 목표에 부합하기 위하여 물과 감지부(sensor)를 접촉시키지 않는 電磁波 表面流速 測定體系를 개발하였다. 電磁波 表面 流速 測定體系는 電磁波를 발사한 후 반사, 수신된 신호로써 도플러 주파수를 추정하고 이로부터 유속을 환산하는 원리를 사용한다.

측정 장비의 개발은 실험용 측정체계 개발, 검교정 설비의 구축 및 검교정, 측정 자료 축적 및 분석, 소형화 및 경량화를 통한 재구성(re-engineering)으로 대별된다. 이 중에서 현재까지의 유속 측정기기 개발 내용은 실험용 측정체계 개발에 속한다.

2. 電磁波 表面 流速 測定體系

2.1 전자파를 이용한 속도 측정 원리

운동하는 물체에 의하여 산란된 전자파의, 주파수가 변하게 되는 현상을 전자파 도플러 효과라고 한다. 이때의 주파수의 변화량을 도플러 주파수라고 하며, 수학적으로 다음과 같이 표현할 수 있다 (Skolnik, 1980).

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \cos\theta \quad (1)$$

여기서 f_d 는 도플러 주파수이고 v 는 물체의 속도, λ 는 전자파의 파장, 그리고 θ 는 물체의 속도 방향과 전자파의 진행 방향이 이루는 각이다. 이러한 원리를 이용하여 하천의 유속을 측정하는 경우 그림 1과 같은 형태로 측정 모식도를 나타낼 수 있다. 단, 여기서 기존의 유속계 등에 의한 측정방법과 다른 점은 물 표면의 유속만을 측정할 수 있다는 점이다. 이것은 전자파를 이용한 속도측정의 장점이기도 하고 단점이기도 하다. 즉 하천의 유량을 측정하기 위하여 필요한 물 속 임의 지점의 유속을 알 수 없다는 큰 단점이 있는 반면, 물과 멀리 떨어져서 물 표면 유속을 측정함으로써 빠른 유속의 항력을 지탱할 구조물이 없어도 되며 홍수때 떠내려오는 각종 부유물로부터 센서를 보호할 수 있는

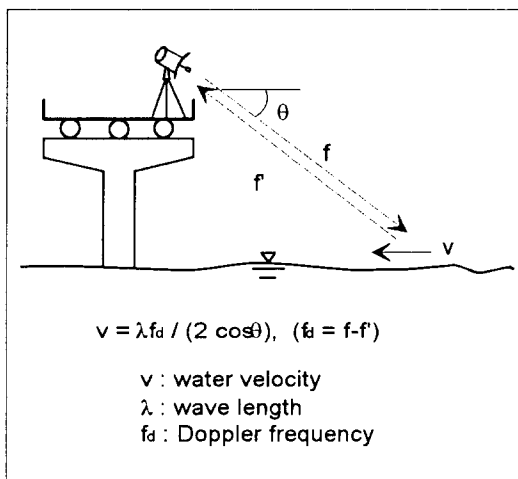


그림 1. 휴대형 전자파 유속계의 측정 모식도

전자파의 도플러 효과를 이용한 물 표면 유속의 측정은 주파수 퍼짐현상이 나타나는 단점을 가지고 있다. 이것은 전자파가 공간상에 전체각도로 퍼져나가므로 한 점의 도플러 효과가 수신되지 못하고 넓은 영역에 대한 신호가 수신되기 때문이다. 보통의 경우에는 가장 강도가 큰 전자파 主葉의 산란 신호가 강하게 수신된다. 전자파의 발사 빔폭을 정의하는 기준은 主葉의 최대 발사강도가 1/2로 줄어드는 각도로 표시하며 이를 3dB ($= -10 \log_{10} 2^{-1}$) 빔폭이라고 한다. 이러한 주파수 퍼짐 현상을 그림 2의 각도 $(\pi/2 - \phi) * 2$ 를 갖는 원뿔에서 설명할 수 있다. 즉 이 원뿔을 원뿔축과 평행하게 자를 때, 쌍곡선을 둘레로 이루어진 평면은 동일한 도플러 주파수를 갖는 면이다. 그런데 ϕ 에 따라 쌍곡선 평면의 형태가 바뀌게 되므로 ϕ 에 따라 서로 다른 도플러 주파수를 주게 되어 도플러 주파수는 퍼지게 된다. 뿐만 아니라 자연 하천에서 물의 운동이 불균일한 경우 수면형상과 유속방향이 각기 다르고, 전파의 산란 현상도 복잡하기 때문에 도플러 스펙트럼의 퍼짐은 더욱 심하게 나타나게 된다 (Long, 1975).

따라서 표면 유속만을 측정할 수 있는 점과 물 표면의 불규칙 유동 및 주파수 퍼짐현상 등이 유속 측정 오차를 야기하므로, 이 방법에 의한 유속 측정은 홍수에 대한 측정에 기본 목적을 두고 있다.

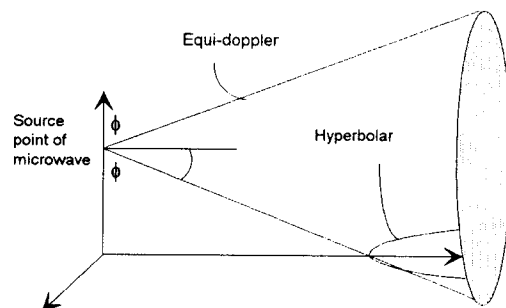


그림 2. 주파수 퍼짐 구조도

이러한 측정 방법에 대한 연구는 일본에서 활발하게 이루어져 왔는데, '80년대 말에는 음파 도플러 효과로서 물 표면 유속을 측정하였고 '90년대에는 전자파를 이용하여 왔다(山口高志, 1990; 市

ノ瀬榮彦 등, 1991). 그리고 이 측정체계의 발달 수준은 휴대형에서 더 나아가, 하천 교량에 고정식으로 설치하는 단계에 이르렀다. 즉 몇 개의 전자파 표면 유속 측정 센서를 교량에 설치하고, 역시 물과 접촉하지 않는 초음파 수위계로써 수위를 측정하며, 낮은 유속에서 물 표면이 바람에 영향받는 단점을 극복하고자 풍향, 풍속계도 설치하여, 연산장치를 통해 각 감지부의 신호를 통합처리하는 고정식 하천 유량 관측체계를 상용화하고 있다. 이러한 고정식 장치는 매우 고가이고 아직 널리 사용되지는 않고 있지만, 우리 나라와 같이 홍수유속이 매우 큰 나라에서는 관심을 가져야 할 측정 원리이다.

자료로서 확인하지는 못하였으나 구 소련에서도 이러한 측정 방안이 연구되었는데, 최종적인 공인 단계에서 물 표면의 교란이 오차를 많이 야기하는 문제 때문에 연구에서 그쳤다고 한다. 한편 중국 남경 수리/수문 자동화 연구소에서도 최근에 휴대형 전자파 표면 유속계를 제작하여 중국내에 공급하고 있다.

그런데 구 소련의 예와 같이 전자파를 이용한 물 표면유속 측정이 혹평을 받을지라도, 적어도 우리나라의 홍수 특성에 사용하기에는 상당한 필요성이 인정된다. 즉 부자를 띄워 홍수유량을 측정하는 방법을 대체할만한 현실적인 대안이 될 수 있다. 이것은 안전성과 간편성을 고려할 때 더욱 그러하다. 물론 고정식 유량측정 방법의 하나인 AVM (acoustic velocity meter) system (음파 수평평균 유속 측정설비; Laenen, 1984)과 같은 설비가 우리나라 특성에 맞도록 개발되고 설치된다면 더욱 좋겠으나, 고가의 고정식 하천유량 측정설비에 대한 시설투자가 확산되기까지의 과도기에서는, 어느 정도의 오차를 감수하더라도 전자파를 이용한 홍수 유속 측정이 충분한 실득력을 가질 것이다.

2.2 電磁波 表面流速 測定體系 hardware 구성

본 시스템은 크게 초고주파 (Radio Frequency; RF) 부분과 신호처리 부분으로 나눌 수 있다. RF 부분은 전자파를 발전하여 공간상으로 보내고, 산란된 신호를 수집하여 도플러 주파수 신호를 얻는

부분까지를 말하며, 신호 처리 부분은 RF부분에서 얻은 미약한 도플러 신호를 증폭하고, 고속 후리에 변환(fast Fourier transform)에 의해 差周波數를 신속하게 계산한 뒤 이를 속도로 바꾸어 주는 부분을 말한다. 그림 3에 대략적인 시스템의 구성이 되어 있다.

RF 부분은 신호원(source), 전력 분배기(power divider), 안테나, circulator, 혼합기(mixer)로 구성되어 진다. 신호원에서 발생한 10 GHz의 신호는 우선 안테나로 보내지게 된다. 이때 신호의 일부는 혼합기로 가게 하는데 이는 도플러 주파수가 더해진 산란 신호와의 差周波數 신호를 얻는데 이용된다. 안테나를 통해 공간상으로 나간 전파는 수면에서 반사되고 그 일부를 다시 안테나에서 수신하게 된다. 이때 반사된 신호가 송신단으로 가지 않고 수신단으로 갈 수 있도록 하기 위해서 circulator라는 부품이 이용된다. 즉 circulator는 송신 신호를 안테나로 보내고, 안테나로 들어온 반사된 신호는 수신단으로 보낸다.

전자파 신호원, 전력 분배기, circulator, 혼합기 등 사용된 전자파 부품들은 미국 Narda社의 제품을 사용하였는데, 이들 부품들은 국내에서 생산되지 않는다. 그리고 개발 초기 단계임을 감안하여 가급적이면 가격이 비싸더라도 품질 안정성이 있는 공급원을 선택하려고 하였다. 가장 중요한 사양은 신호원의 주파수와 출력으로서 본 연구에서는 10 GHz대역의 12dBm를 택하였고, 나머지 전력 분배기, circulator, 혼합기 등은 신호원의 주파수와 출력에 상응하는 사양을 선정하여 구입하였다. 포물형 안테나는 국내의 하이게인 안테나社에서 공급된 것으로서 직경은 30cm 이다. 그리고 다음에서 설명되는 신호처리부는 모두, 전기전자 재료로써 회로전문 기술자들에 의해 제작된 것이다.

신호 처리부는 증폭부와 컴퓨터 접속부로 나누어 진다. 증폭부는 analog 신호처리부이고, 컴퓨터 접속부는 digital 신호처리부라고 할 수 있다.

혼합기에서 나온 신호는 그 크기가 매우 작으므로 곧바로 컴퓨터로 들어갈 수 없다. 레이어 방정식에 의해 대략적인 신호의 크기를 예상할 수 있고 A/D 변환기의 입력 범위가 넓기 때문에 수신단의 이득을 가변하지 않도록 했다. 수신단 설계에 있어

가장 중요한 것은 다음의 두 가지이다. 첫째로, 잡음 지수를 줄이기 위해 저잡음 증폭기를 만든다. 둘째로, 수신 대역폭을 줄여 불필요한 잡음을 줄인다. 위의 두 가지를 위하여 저잡음 OP-amp를 사용하였으며, 물의 최대속도(10 m/s) 이상의 도플러 주파수 대역을 LPF(low pass filter)로써 제거하였다.

컴퓨터 접속부는 증폭된 analogue 신호를 digital 신호로 변환하는 A/D 변환기와 도플러 주파수를 결정하는 고속 후리에 변환 소프트웨어, 이로부터 물체의 속도를 계산하고 출력시키는 소프트웨어로 구성된다.

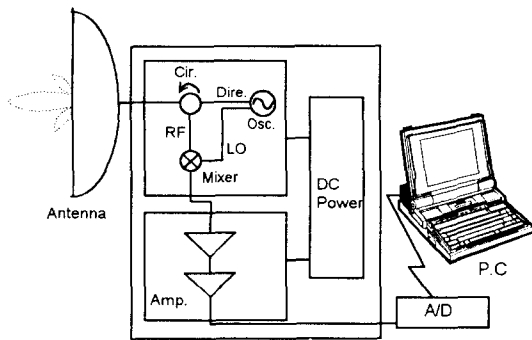


그림 3. 도플러 주파수 측정 장비 전체 구성도

3. 電磁波 表面 流速 測定體系의 측정실험

제작된 도플러 주파수 측정 장비를 가지고 몇 곳의 장소에서 유속을 측정하였다. 하수 처리장 배출구와 교량 아래 하천의 유속을 측정하고, 대형 조정지 댐의 방수로 및 댐 직상류의 흐름 정체구역에서도 유속 신호를 분석하였다. 그리고 최종적으로는 한국 기계연구원 선박 해양공학 연구센터의 선박 실험용 선형수조에서 정밀 검증을 실시하였다. 여기서는 교량에서의 측정결과와 선박실험용 선형수조에서의 검증결과만 기술하였다.

3.1 교량에서의 측정

현재 우리 나라에서는 索道(cableway)-流速計를 사용하지 않는 경우에 교량에서 유속계를 물 속

으로 내려 유량을 측정하고 있다. 교량은 하천을 가로지르는 매우 유용한 구조물이므로 電磁波 流速測定體系도 교량을 이용하여 하천 각 지점의 유속을 측정하는 것이 전형적인 방법이 될 것이다. 그림 4는 대전시의 제2공단 부근 원촌교에서 교량 아래 물 표면의 유속을 측정하는 모습이다. 유속계와 12 V 건전지, A/D 변환기, 신호처리 소프트웨어를 탑재한 소형 컴퓨터로 측정 체계를 구성하였다. 電磁波 流速測定體系의 안테나에서는 7.5° 각도로 전자파가 발신되고 물 표면까지는 약 45m

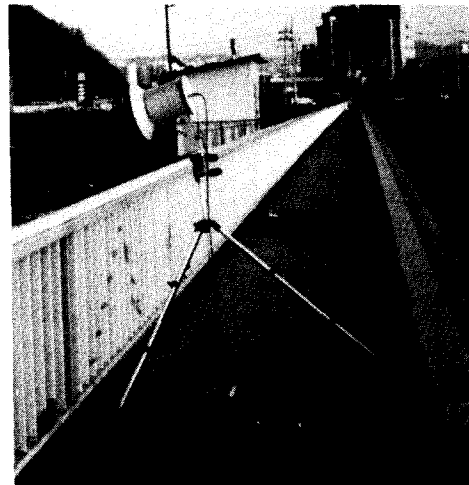


그림 4. 교량을 이용한 유속측정 예

그림 5는 도플러 신호와 주파수 분석 결과를 보여주고 있다. 시간영역의 신호가 윗부분에서 모두 절삭된 것은 수신된 반사파가 너무 강하여 전력 선택범위를 초과하기 때문이다. 또한 양수측에서만 신호 파형을 표시하였다. 그림 5에서 도플러 주파수 성분의 전력비가 가장 큰 것은 $f=35.6$ Hz이므로 유속은 입사각도 7.5°를 고려하여 0.539 m/s이다. 그림 5에서 주파수 강도가 상대적으로 큰 것들이 넓은 영역에 걸쳐 퍼져있는 것은(Long, 1975) 안테나를 통하여 송신되는 電磁波의 土葉이 7.5° 빔폭으로 퍼져 물 표면에 입사하고, 각각의 입사위치에 따라 유속이 다르며, 위치에 따른 입사각도도 다르기 때문이다. 퍼져있는 주파수 성분은

로부터 유속의 도플러 주파수를 추출하는 간단한 방법으로는, 일정한 시간 동안에 측정된 몇 개의 최대 전력 주파수 성분으로써 시간 평균을 취할 수 있다.

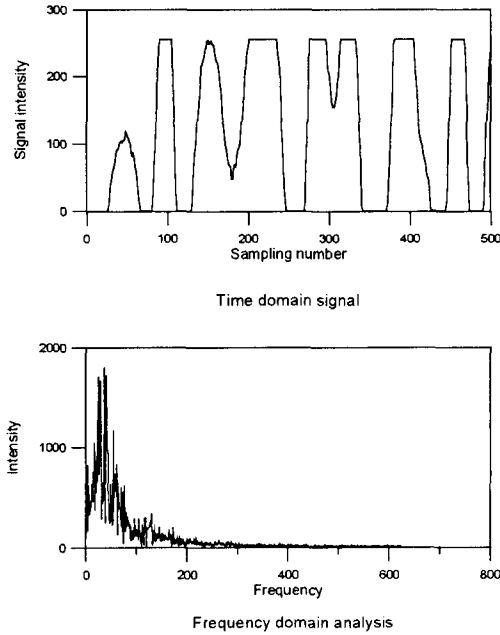


그림 5. 교량 아래의 유속측정 신호 분석

3.2 선박 실험용 線形水槽에서의 검증

여러 차례의 유속 측정 실험을 하여 측정체계의 정상적인 작동을 확인할 수 있었다. 이로써 전자파 표면 유속계의 제작유류가 없음을 확신하고 검증 방안을 모색하였다. 국내의 유속계 검증시설로는 국립 건설시험소의 소형수로가 유일하게 존재하는데, 이는 유속 1.5m/s 이상을 검증하기 어렵다. 따라서 유사한 검증 설비를 조사하였으며 한국 기계연구원, 포항공대, 현대 조선소, 서울 대학교 조선공학과 등지에 線形水槽 및 滑車(carriage)가 있음을 확인하였다. 이 중에서 한국 기계연구원 滑車는 3m/s 이상의 활차속도를 낼 수 있고 매우 가까운 곳에 위치하고 있으므로 이를 이용하였다.

기계연구원 선박 해양공학 연구센터의 線形水槽는 선박실험을 하기 위한 시설로 물은 水槽에 채워져서 흐르지 않고 그 위에 滑車가 정격 속도로

움직여 가는 시설이다. 이곳에서 측정한 도플러 신호와 주파수 분포가 그림 6에 주어져 있다. 물 표면이 매우 고요한 상태에서 滑車가 움직여 가므로, 시간 영역에서는 규칙적인 신호를 볼 수 있고 주파수 영역에서는 주파수 퍼짐현상이 매우 제약되고 있다. 즉 강도가 강한 주파수 성분이 분명히 나타나고 있다. 가장 강한 강도의 주파수는 159.5Hz이고 이로부터 환산된 상대속도는 2.89m/s였다. 이때 활차의 속도는 3m/s였다.

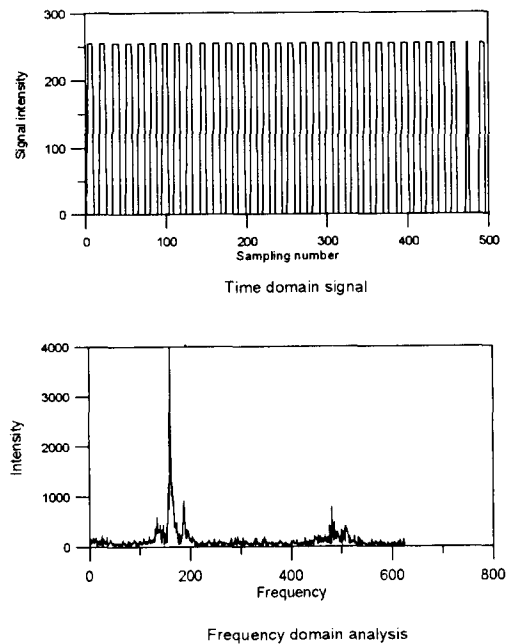


그림 6. 선박실험용 線形水槽에서의 검증

현재의 유속측정 체계는 그 자체에 4%의 오차를 가지고 있다. 이것은 A/D 변환기의 표본추출률(sampling rate)이 계획과 약간 다르게 제작되었기 때문에 야기된 것으로 A/D 변환기를 교체하면 해결될 수 있다. 이러한 상태에서 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 3.5 m/s의 활차속도에 대하여 검증 실험을 수행하였다. 이 중에서 0.5, 0.7, 3.0, 3.5 m/s의 유속측정 신호를 자료로서 저장하였다. 선박 해양공학 연구센터의 활차는 3.5 m/s 보다 더 큰 속도를 낼 수 있으나 '70년대부터 운용되어온 설비임을 감안하여 최대속도는 내지 않았다.

그림 7은 滑車 속도 0.5 m/s에 대하여 측정된 값들을 나타낸다. 0.5 m/s를 주위로 측정값들이 산포되어 있음을 볼 수 있으며 5, 6회의 낮은 값이 측정되다가 0.5 m/s를 넘는 값이 측정되는 현상이 반복되고 있다. 이러한 현상은 측정환경의 특이성 때문에 발생하는 것으로, 線形 水槽 건물의 지붕 구조물에 강철 보가 규칙적으로 가로질러 설치되어 있기 때문인 듯하다. 즉 안테나에서 방사된 전자파의 主葉은 물 표면에 반사되어 수신되지만 附葉의 전자파가 강철 보에 반사되어 보다 강하게 수신되는 것으로 추측된다. 그림 8은 滑車 속도가 3.5 m/s 일 때의 측정값들이다. 여기서도 3.5 m/s를 주위로 낮은 값과 높은 값이 교대로 나타나고 있다.

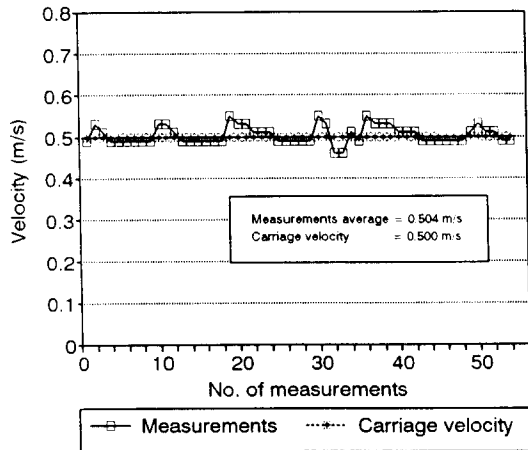


그림 7. 활차속도 0.5 m/s에 대한 측정자료

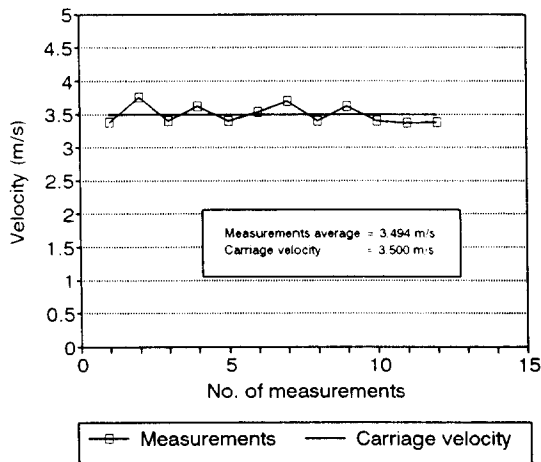


그림 8. 활차속도 3.5 m/s에 대한 측정자료

그림 9에서는 滑車속도에 대하여 각 측정 속도의 평균을 도시하였다. 평균값에는 A/D 변환부의 표본추출률에서 생기는 오차와 附葉의 전자파가 지붕 구조물에 반사되어 나타난 오차 및 전자파 방사 각도 측정 오차 등이 혼재되어 있어서 명확한 오차를 기술하기 어렵지만, 측정값들이 대각선에 위치하고 있음을 볼 수 있다. 즉 활차 속도에 대한 측정속도의 선형관계가 우수함을 확인할 수 있다.

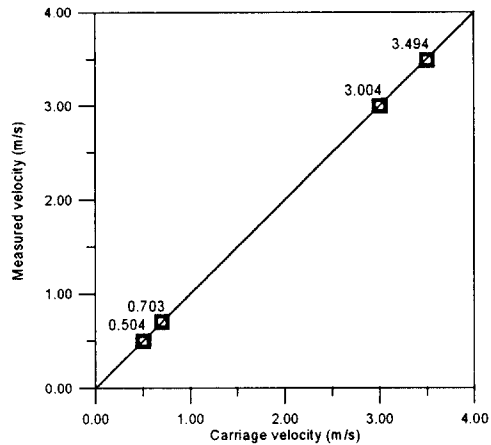


그림 9. 활차속도 대 측정 평균값 관계

3.3 電磁波 表面 流速 측정체계의 문제점

여러 조건에서 현장실험을 수행하면서 많은 문제점을 파악하였다. 가장 중요한 것은 전자파 主葉의 빔 각도에서 발생하는 것으로, 물 표면의 한 점이 아니라 영역에서 반사된 신호를 수신하는 문제이다. 즉, 넓은 영역의 여러 지점에서 유속과 입사각이 다른 신호들이 수신되어, 강도가 큰 주파수 群이 형성되는 문제이다. 과연 어느 값을 표면유속값으로 할 것인가는 매우 어려운 문제이다. 그러므로 안정된 신호를 얻기 위한 평균 방법을 여러 가지로 적용하여야 한다. 평균 방법으로는 시간평균, 주파수 영역평균, 중앙값(median) 선택 등 여러 가지를 사용할 수 있다.

서론에서 이 측정체계의 용도를 홍수 유속 측정용이라고 밝힌 바 있다. 이 체계의 용도가 위와 같이 한정될 수밖에 없는 이유는 물 표면의 유동이

바람에 영향받는 문제 때문이다. 대칭 조정지 댐에서 댐상류의 유속이 없는 경우에 표면 유속계로 측정실험을 수행한 결과 바람의 영향을 확인하였다. 풍속이 매우 작다가 갑자기 크게 변하면 물 표면은 표면장력파가 형성된다. 이때 유속 측정체계에는 0.1~0.2 m/s의 크기를 가진 신호가 수신되었다. 이와 같이 유속이 0.5 m/s 이하로 낮을 때는 물 표면의 속도가 바람에 크게 영향받게 되므로 평상시 유속측정은 다른 방법을 사용하여야 한다. 거꾸로 홍수시에는 바람의 영향이 줄어들게 되므로, 유속 측정이 간편한 장점을 이용하여 안전하고 편리하게 유속을 측정할 수 있다.

아울러, 물 속의 유속을 측정할 수 없다는 점이 큰 단점이다. 그러나 기존의 권양기-유속계 체계를 사용하기 힘든 경우는 2~3m/s 이상의 홍수 유속 측정이므로 電磁波 表面 流速 測定體系는 이러한 경우에 유용한 측정수단이 된다.

4. 결론 및 향후과제

4.1 電磁波 表面流速 測定體系 개발

電磁波 表面流速 測定體系는 도플러 주파수 생성 원리를 이용한 유속측정 장비이다. 이는 電磁波의 발진과 안테나를 통한 반사파 수신, 차주파수 신호의 추출로 이루어지는 RF 부분과 차주파수 신호의 A/D 변환 및 고속 후리에 변환, 유속의 환산으로 이루어지는 수신부로 구성된다. 부착되는 설비는 안테나를 지지하는 다리부분과 신호처리 하드웨어가 있다. 이 측정체계는 교량 등의 하천 횡단 구조물을 이용하여 마치 사진기로 교량 아래의 물을 촬영하듯이 물 표면의 유속을 측정한다. 따라서 대홍수가 발생하여 유속이 매우 빠를지라도 안전하게 표면 유속을 측정할 수 있다. 가장 큰 단점은 표면 유속만을 측정한다는 것이다.

구성된 실험용 측정체계로 여러 차례 현장 유속을 측정하여 측정신호를 분석하였으며 한국 기계연구원 선박 실험용 線形 水槽에서 검증실험을 실시하였다. 현장의 유속 신호를 분석한 결과 몇 차례의 측정 결과를 평균하여야 안정적인 유속을 결정할 수 있음을 알았다. 線形 水槽에서 0.5~3.5

m/s 유속을 측정한 결과는 본 연구에서 제작한 측정체계가 홍수 유속측정에 부합될 수 있는 장비로 개발되었음을 입증하였다. 그리고 동일 滑車 속도에 대하여 몇 개의 측정값 평균을 비교할 때, 4~7 %이내의 오차를 가지고 있음을 파악하였다. 이 오차는 A/D 변환부에 내재된 4 % 이외에 측정 환경 그리고 전자파 방사 각도 측정 등에서 기인된 것으로 추측된다.

4.2 문제점 및 향후과제

개발된 電磁波 表面유속 측정체계는 여러 가지 개선해야 할 사항을 가지고 있다. 현재의 변환기는 4%의 오차가 내재되어 있으므로 이를 개량하거나 상용 제품으로 교체하여야 한다. 컴퓨터 및 부속 체계로 측정신호를 처리하는 것도 개선해야 한다. 측정 장비의 최초 개발단계에서는 각종 자료를 저장하고 통신 및 화상출력용 프로그램을 개발, 수정하기 위하여 개인용 컴퓨터가 매우 유용하게 쓰였다. 그러나 시제품의 개발을 목표로 한다면 단순 조작으로 유속신호만 제시하는 형태로 개선해야 한다.

전자파의 방사 각도를 결정하는 것도 매우 어려운 문제중의 하나이다. 현재는 경사면에 올려놓아 각도를 측정하는 각도계를 사용하고 있으나, 트랜실과 같이 수평을 맞춘 후, 수직각을 측정하는 부대 설비가 일체로 부착되어야 한다. 또한 측정 환경(바람의 영향, 불규칙 유동, 강우 등)을 고려한 신호 처리 방법에 대한 연구가 필요하다. 안정된 유속을 지시하기 위한 신호 처리 방법의 개발을 위하여 여러 측정 환경 하에서의 실험이 요구되며, 충분한 측정 자료의 확보가 필요하다. 측정 자료 취득에 병행되어야 할 연구는 表面流速對 水深平均流速의 관계 도출이다. 이는 기존의 유속측정 설비를 가지고 함께 측정하면서 수행하여야 한다.

감사의 글

이 논문은 한국수자원공사 수자원연구소의 과제 수행 결과중 일부이며, 전자파 도플러 효과 측정 및 회로제작에 도움을 주신 많은 분들과 검증작업

을 수행하여 주신 선박 해양공학 연구센터 여러분
께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김양일 등 (1994). “대하천 유량 자동 측정설비 개발
(전자파 표면유속계 개발, 초음파 상관유속계 개
발).” 연구보고서 WRI-WR-94-1, 한국수자원공
사 수자원연구소.

山口高志 (1990). “流量監視システム提案.” 河川情報
研究所報告 第2號, 河川情報 センター, Japan,
pp. 58-74.

市ノ瀬榮彦, 小川正淳, 森茂, 山口高志, 新里邦生

(1991). “電波流速計を用いた洪水 流量観測シス
テムに関する調査.” 河川情報 研究所報告 第5號,
河川情報 センター, Japan, pp. 91-109.

Laenen, A. (1984). “Acoustic velocity meter
systems.” *Techniques of Water Resources In-
vestigations of the United States Geological
Survey*, U. S. Department of the Interior,
Chapter A17.

Long, M.W. (1975). *Radar reflectivity of land and
sea*, Lexington Books, Massachusetts.

Skolnik, M.I. (1980). *Introduction to radar systems*,
2nd ed., McGraw Hill, NY.

〈접수: 1995년 9월 7일〉