

전자파 표면 유속계의 하천 유량 측정에 관한 실용성
Practical Aspects of Microwave Surface Velocity Meter
Applied to Measurements of Stream Discharges

이 상 호* / 김 우 구** / 김 영 성***

Lee, Sang Ho / Kim, Woo Gu / Kim, Young Seong

Abstract

Water surface velocity meters with microwave were applied to stream discharge measurements and its practical aspects were evaluated. The rating of the surface velocity meters was performed through a carriage and a water tank for the ship model test. It gave 5.5% or less errors of average measured velocities under the vertical tilt angle of 20°, 35°, or 45°. A surface velocity meter was used to measure flood velocities at Yoju bridge from 8:00 a.m. to 10:00 a.m. on August 26, 1995. The results showed that surface velocities ranged from 2 to 4 m/s. With the measured surface velocities multiplied by 0.85, the discharge was computed as 10,500 m³/s. It differed ±2% or less from the value of a stage-discharge curve and that of an unsteady flow simulation. Although the measured data are used sparsely per 40 or 60 meters, the computed discharges do not give large variation. Stream discharge measurements were also performed under the normal condition without floods. With the known values of Taechong Dam releases, the depth averaging factors of velocity were calculated by 0.83~0.87. Although there are errors from wind action and inherent ones in the velocity meters, the research showed that surface velocity meters could be an simple and practical alternative for flood discharge measurements.

Keywords: water surface velocity meter, microwave, discharge measurement, depth averaging factor

요 지

전자파를 이용한 하천수 표면 유속계를 하천 유량 측정에 사용하여 실용성과 문제점을 분석하였다. 표면 유속계의 평가는 선박 실험용 선형수조를 이용하여 수행하였다. 그 결과, 수직각을 20°, 35°, 45°로 하였을 때 유속측정 평균값의 오차는 5.5% 이하였다. '95년 8월 26일 8~10시 사이에는, 남한강 여주대교 지점에서 홍수 유속을 측정하였다. 500 m 길이의 교량에 대하여 23개 지점에서 측정한 결과, 표면 유속값은 약 2~4 m/s였다. 수심평균 유속 환산계수를 0.85로 하고, 유량을 환산한 결과는 약 10,500 m³/s였다. 환산유량값은 수위-유량식이나 不定流 계산에 의한 값과 ±2% 이내의 편차를 보였다. 자료 사용 간격을 40 m 또는 60 m로 변경하여 유량을 환산하여도 별다른 차이가 없었다. 평상시의 유량측정은 '96년 하반기에 대청교 지점에서 수행하였다. 대청댐의 방류량을 기지값으로 하여 수심평균 유속 환산계수를 추정한 결과 0.83~0.87의 범위에 있었다. 계기 자체의 미세 오차와 바람의 영향은 계속 연구되어야 하지만, 하천의 홍수 유량측정에 표면유속계를 사용하는 것은 간편하고 실용적인 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

핵심어: 표면 유속계, 전자파, 유량 측정, 수심평균 유속 환산계수

- * 부경대학교 토목공학과 전임강사
- ** 한국수자원공사 수자원연구소 연구기획부장
- *** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

1. 연구 목적 및 내용

우리 나라와 같이 4~5 m/s를 초과하는 홍수 유속이 형성되는 지역에서는 부자를 이용한 유속 측정이 매우 현실적인 방안이다. 그러나 이 방법은, 측정 인원이 적어도 3~4명이 되어야 하고, 야간에는 야간용 부자를 따로 사용해야 하며, 사용한 부자는 측정과 함께 소모되는 등의 단점이 있다. 부자를 이용한 홍수 유량측정 방법을 대체할 수 있는 한가지 방법으로서, 電磁波를 이용하여 水表面의 유속을 측정하는 연구가 국내에서도 진행되고 있으며, 일부 연구 결과는 이상호 등(1995)의 논문으로 발표되었다. 일본의 경우는 이미 실용화의 단계에 접어들어서, 풍속과 풍향 및 수위를 함께 측정하여 홍수 유량뿐만 아니라 평상시의 유량도 관측할 수 있는 상설 관측 체계로 발전시켰다(市ノ瀬榮彦 등, 1991). 중국의 경우는 바람에 의한 영향을 고려하지 않은 채로, 휴대형으로 실용화하여 보급하고 있다.

한국수자원공사 수자원연구소에서 수행된, 전자파를 이용한 하천수 표면 유속계(이하 표면 유속계) 개발은 '94년의 실험용 측정체계 구성으로부터 출발하여 '95년과 '96년에 각각 개선된 시제품을 제작하였다. 본 논문의 내용은 표면 유속계로 하천의 유량을 측정할 결과를 제시하고 그 실용성을 논의하는데 있다.

표면 유속계를 사용한 하천 유량측정은 홍수시와 평상시에 모두 수행하였다. '95년 8월의 홍수 유량측정 결과는 기존의 수위-유량식과 비교하였으며, 남한강의

부정류 계산 예에서 얻어진 계산수위-계산유량 이력 곡선과도 비교하였다. 평상시 유량 측정은, '96년 하반기에 대청댐 직하류 교량에서 수행하였다. 이 결과는, 대청댐 발전 방류량을 기지 유량값으로 하여 표면유속에 대한 수심평균 유속 환산계수를 추정하는데 사용하였다. 현장 유량측정 결과의 제시에 앞서 계기의 평가 결과도 기술하였다. 표면 유속계의 평가에는 한국기계연구원 선박해양공학 연구센터의 선형수조가 사용되었으며, 벨트 컨베이어를 간이 평가 설비로서 사용한 결과도 제시하였다.

2. 시제품의 변천과정

표면 유속계 시제품은 세 가지 형태로 변화되어 왔다(표 1). 최초에는 표면 유속 측정 가능성을 타진하기 위하여, 10 GHz의 초고주파 발진기, 안테나, 혼합기 등으로 구성된 RF(radio frequency) 부분과 탁상용(desk top) PC(personal computer)를 사용하였다. 그 후 유속측정에 유용하게 사용할 수 있음을 확인하게 되어 노트북(note book) PC를 신호처리 하드웨어로 사용한 실험용 측정체계를 '94년에 구성하였다. 이는 '95년 8월에 발생한 중부지방 홍수에 대하여 남한강 여주대교 지점에서 유량 측정에 사용되었다.

보통의 노트북 PC는 실내에서 사무용으로 사용하기 위해 제작된 것으로 야외의 유량측정 업무에는 적합하지 않았다. 따라서 '95년도에는 노트북 PC를 빗방울과 먼지로부터 보호하는 케이스 안에 내장시키고, 아크릴

표 1. 시제품의 변천 및 특징

구성요소		실험용 체계('94)	1차 시제품('95)	2차시제품('96)
측각부	수직각	△(별도 각도기 사용)	○	○
	수평각	×	○	○
	방위각	×	×	○
신 호 처리부	종류	노트북 PC	노트북 PC 및 투명보호 용기	Open-frame panel PC
	방수	×	△	○
	AD 변환	PCMCIA card	· PC에 내장 · 전용 AD 변환기	· 안테나에 내장 · 전용 AD 변환기
R F 부 분	신호원 주파수	10 GHz	10 GHz	10 GHz
	조립유무	×	○	○
	휴대, 보호용기	×	△	○
전원	내/외장 유형	12V 외장	12 V 외장	24 V 내장
	충전유무	×	×	○
자료 저장		도플러 신호	도플러 신호	유속값 (1-100초 저장간격)
사용		· '95년 8월 여주 대교 홍수 유량측정 · '94년 선박해양공학 연구센터 검정	· '96년 대청교 지점 평상시 유량측정 · belt conveyor를 이용한 간이 검정 · '96년 선박해양공학 연구센터 검정	진행중

판으로 뚜껑을 씌웠다. 그리고 PC는 외부에서 터치 펜으로 동작시켰다. '95년도 시제품에는 안테나를 휴대하기 편리하도록 조립품으로 하였으며 안테나의 수직각과 수평각을 측정할 수 있는 측각부를 두었다. 이 시제품은 '96년 하반기에 대청댐 직하류의 대청교 지점에서 평상시 유량측정에 사용되었다. 그러나 '95년 시제품에도 여전히 개선의 여지가 있었다. 우선 AD 변환기를 PC 쪽에 내장시켰기 때문에 RF 부분에서 증폭된 도플러 신호가 신호전선의 잡신호(noise)와 함께 PC에 전송된 후 디지털 신호로 변환되었다. 따라서 '96년에는, AD 변환기를 RF 부분으로 옮겨서 잡신호가 덜 섞인 디지털 신호를 전송하도록 하였다. 또한 防水와 防塵을 달성하는 동시에 외부동작을 간편하게 하기 위하여 open-frame panel 형태의 산업용 PC를 신호처리 하드웨어로 사용하였다. 전원도 외장 배터리를 사용하지 않고 2개의 충전용 12V 배터리를 사용한 내장형으로 바꾸었다.

표면 유속계의 제작과 유량측정은 한국수자원공사 수자원연구소에서 주관하여 왔으며 개별 구성요소의 제작은 여러 외부기관을 통하여 이루어졌다. 전자파의 발전 및 수신부는 초고주파의 연구에 경험이 있는 분들의 개인적인 지원에 의해 제작되었는데, 신호원 등의 주요 부품은 모두 수입되었다. 포물형 안테나는 하이게인 안테나社에서 제작되었고, 측각부는 금강측기사에서 담당하였다. 그리고 신호처리부는 정 엔지니어링에서 제작하였다. 전자파 표면 유속계 자체에 관한 보다 상세한 내용은 김우구 등(1996), 이상호 등(1995)의 문헌에 기술되어 있다.

3. 표면 유속계의 평가

측정 기기의 개발은 그에 적합한 표준 시설을 필요로 한다. 그런데 우리 나라에서는 기본물리량에 대한 표준을 한국 표준과학연구소를 통하여 유지하고 있으나, 유속이나 수위등 水文測定에 관한 전용 표준시설은 갖추어져 있지 못하거나 사용에 제약이 크다. 국립건설시험소에 유속계 검정용 소형수로가 있으나 기껏해야 1 m/s 이하의 유속을 검정할 수 있다.

본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 방안을 표면 유속계 평가에 사용하였다. 우선, 정밀도는 낮더라도 표면 유속계의 작동 상태를 쉽게 확인할 수 있는 간이 시설로서 벨트 컨베이어를 제작하여 사용하였다. 수평을 이룬 벨트가 일정한 속도로 운동할 때 전자파 표면유속 측정기에서 전자파를 발사하면 벨트에 입사한 전자파가 산란되고 도플러 효과를 야기시킨다. 이때 주파수가 변

형된 산란신호를 수신하면 벨트의 속도를 측정하는 것이므로 이를 약식 평가설비로 활용하였다. 두 번째 방법은 선박 실험용 선형 수조를 이용하였다. 이 설비는 긴 직선수조에 물이 채워져 흐르지 않는 상태에서 그 위로 레일을 따라 정격속도로 臺車가 움직여 가는 시설이다. 그런데 이 설비의 단점은, 운영을 위한 인력 및 전력 소요가 크고 主 용도가 선박 모형실험이므로 이용하기 매우 어렵다는 점이다.

3.1 벨트 컨베이어를 이용한 약식 평가

제작된 약식 평가설비로 여러 가지 속도에 대하여 전자파 하천수 표면 유속계를 평가하였다. 이 설비로는 원하는 특정속도를 정확히 재현할 수 없으므로, 대략 0.5, 1.5, 3 m/s에 가까운 속도를 갖도록 조작하고서, 별도의 속력계에 나타나는 수치와 표면 유속계의 측정 수치를 비교하였다. 그림 1과 2는 속력계의 10회 평균 측정값이 각각 0.514, 1.45 m/s일 때 표면 유속계의 출력 수치를 그린 값이다.

그림과 같은 순시값 비교에서는 속력계의 측정값이 보다 안정하다. 평균값을 비교하면 측정된 표면 속도 평균값이 속력계 평균값보다 항상 작은 것을 볼 수 있다(표 2). 수직각 30°인 경우에 속력계 평균값이 3.03 m/s일 때까지 비교한 결과 최대 편차는 4.6%였다. 주된 측정 오차는, 다음과 같이 세 가지로 추정하고 있다. 전자파는 공간상에 퍼져 나가므로(본 기기의 경우, 3 dB 빔폭 : 7.5°), 전자파 빔의 중심이 컨베이어 면에서 반사되는 강도보다 그 앞쪽에서 반사되는 신호가 강할 수 있다. 이러한 특성이 속력계와 표면 유속계 측정값 사이에 편차를 유발하여 측정값이 실제값보다 작아질 수 있다. 그리고 컨베이어의 이음매가 회전축을 통과할 때 발생시키는 기계적 충격과, RF 부분~AD 변환기 사이의 신호전선에서 발생하는 잡신호도 오차를 유발하는 원인이 될 수 있다.

3.2 선형 수조를 이용한 평가

표면 유속계의 보다 정밀한 평가를 위해서, '95년 시제품을 가지고 기계연구원의 선박해양공학연구소 선형수조에서 臺車의 속도와 물에 대한 臺車의 상대속도 측정값을 비교하였다. 먼저 수평각을 0°로 하고 臺車속도가 1 m/s일 때 수직각을 20, 30, 35, 45°로 변화시키면서 수직각에 따른 측정편차를 파악하였다(표 3). 여기서 측정값은 전체 평균값을 말하는데, 순시값

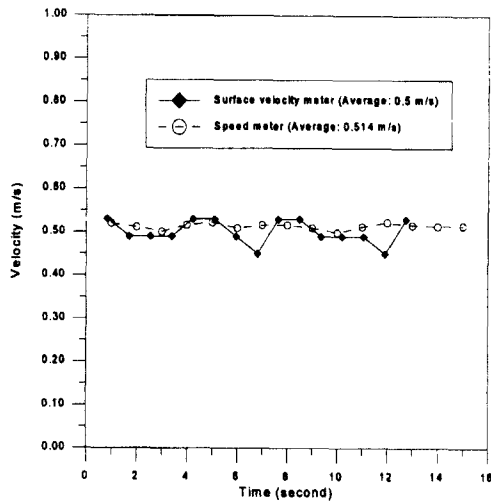


그림 1. 속력계 평균값 0.514 m/s일 때의 속도 측정

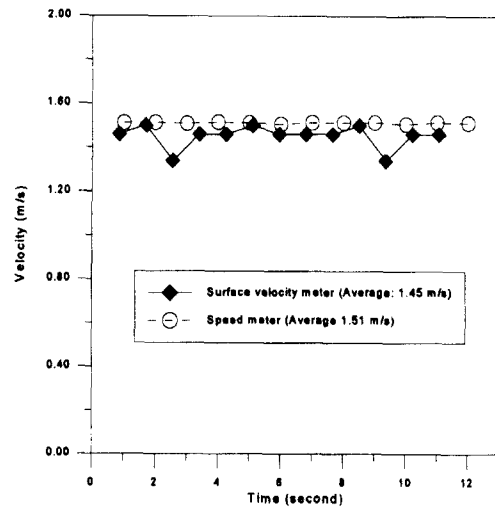


그림 2. 속력계 평균값 1.51 m/s일 때의 속도 측정

표 2. 벨트 컨베이어의 속도 측정값 비교

속력계 측정 평균값 (m/s)	표면속력계 측정 평균값 (m/s)	편차(%) (기준값 - 측정값) 기준값
0.514	0.500	+2.7
1.51	1.45	+4.0
3.03	2.89	+4.6

표 3. 臺車 속도와 상대속도 측정 평균값 비교

		평균 상대속도 측정값 (m/s) / 편차 (%)					
		수직각 (수평각 0°)				수평각 (수직각 35°)	
		20°	30°	35°	45°	15°	25°
臺車 속도 (m/s)	1.00	0.96 / 4.00	0.94 / 6.00	0.97 / 3.00	0.99 / 1.00	0.98 / 2.00	0.95 / 5.00
	2.00	1.92 / 4.00	1.85 / 7.50	1.92 / 4.00	2.00 / 0	1.97 / 1.50	1.84 / 8.00
	3.00	2.88 / 4.00	2.79 / 7.00	2.88 / 4.00	3.02 / -0.67	2.95 / 1.67	2.78 / 7.33
	4.00			3.78 / 5.50			

은 평균값 주위로 소폭 변동하고 있다. 이 경우 표 3에서 보는 바와 같이 수평각이 45°일 때 오차가 ±1% 이하로 가장 작았다. 그러나 순시 상대속도 측정값을 보면 수평각이 45°인 경우가 다른 경우보다 표준 속도 주위로 크게 변동하고 있음을 알 수 있다(그림 3). 이때 臺車 속도와 순시값의 편차는 최대 6%이었다. 臺車 속도가 2 m/s, 3 m/s 인 경우도 동일한 경향을 나타내서, 수직각이 45°일 때 평균 편차는 가장 작고 순시값의 편차는 가장 컸다. 수직각과 臺車의 표준속도에 관계없이 나타나는 경향은 전반적으로 측정 평균값이 표준값보다 약간 작다는 점이다(그림 4). 측정 상대속도에 소폭의 변동이 있는 이유는, 앞서 지적한 바와 같이 AD 변환기와 RF 부분을 잇는 약 5 m의 신호전선

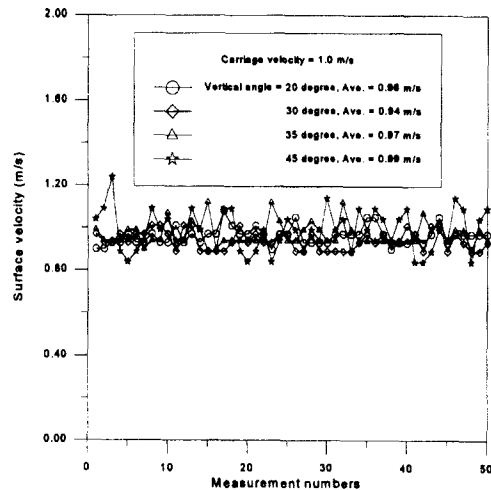


그림 3. 수직각 변화에 따른 상대속도 측정값 (臺車 속도 1 m/s)

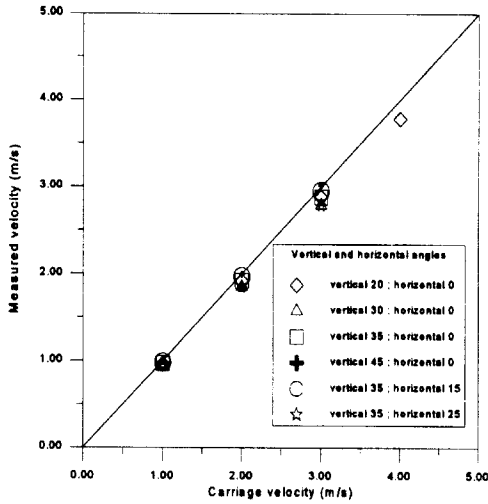


그림 4. 臺車 표준속도와 표면 유속계에 의한 상대속도 측정 평균값

에서 발생한 잡신호 때문일 가능성이 있다. RF 부분에서 증폭된 도플러 신호는 이 신호전선을 통해 아날로그 형태로 신호처리부로 전달되는데 이 과정에서 잡신호가 유입된다. 유입된 잡신호와 도플러 신호는 AD 변환기를 거쳐 디지털 신호로 바뀌어 주파수 영역의 신호로서 처리된다. 그러므로 변환된 디지털 신호에는 신호 전선에서 발생하는 잡신호가 그대로 포함되어 있으므로 측정된 유속값이 소폭 변동하는 것으로 생각된다. '96년의 시제품은 AD 변환기를 RF 부분으로 옮겨서 신호전선에 의한 잡신호가 유입되기 전에 디지털 신호로 변환하였는데, 이에 대한 평가는 진행중에 있다.

수평각의 변화에 따른 편차는, 수직각을 35°로 고정시킨 상태에서, 수평각과 臺車 속도를 달리하여 분석하였다. 수평각을 15°, 25°로 변화시키고, 각각에 대하여 臺車의 속도가 1, 2, 3 m/s 일 때 측정된 상대속도는 표 3와 같다. 표에서 보는 바와 같이 수평각이 15°일 때에는 편차가 2% 이내이나 수평각을 25°로 증가시켰을 때에는 편차가 5~8%에 이르고 있다. 따라서 수평각을 15° 이상으로 하여 측정하는 것은 피하는 것이 바람직하다. 선박 실험용 선형수조에서 수행한 현재까지의 평가 결과를 요약하면, 수직각을 20°나 35°, 45°로 사용하는 것이 좋고, 이 때 평균 측정값의 오차는 5.5% 이하이다. 위의 오차는 계기의 개선제작을 통하여 줄어들 가능성이 있다.

4. 홍수 유량 측정

4.1 여주대교 홍수 유속 측정

표면 유속계를 이용한 홍수 유속측정은 1995년 8월 26일 8시부터 10시까지 여주대교에서 이루어졌다(사진 1). 당시의 홍수는 '93년 하반기부터 지속된 수십 년 빈도의 가뭄 끝에 발생한 것이다.

여주대교는 길이 500 m의 교량으로서 좌안 근접부 하천에 물이 소용돌이치고 있었다. 따라서 이 부분을 빼고 약 20 m 간격으로 23개 지점을 측정하였다. 먼저 교량 시작점을 기준으로 최초 측정지점의 위치를 기록하였고, 삼각대와 RF부분을 상류를 향하도록 세운 뒤 각도계로서 수직각을 측정하였다. 그 후 신호처리부를 동작시키고 유속환산 프로그램을 수행하면서 RF부분에 전력을 공급하여 표면 유속을 측정하였다. 0.7초당 1회씩 측정된 결과를 10회 이상 자료로 저장한 후 오측이 없는 것으로 생각되면 전력 공급을 끊고 다음 지점으로 이동하였다. 위치 측정과 병행하여 동일한 유속측정 작업을 반복하여 전체 측정을 종료하였다. 측정된 유속은 최소 2.05 m/s에서 최대 3.95 m/s였다(그림 5). 표면 유속 측정 순시값은 변동이 있었으나 10회 이상의 값을 평균하면 $\pm 1\%$ 이내로 안정됨을 알 수 있었다(그림 6). 이후에 언급되는 표면 유속계의 측정값은 모두 10회 평균값이다.

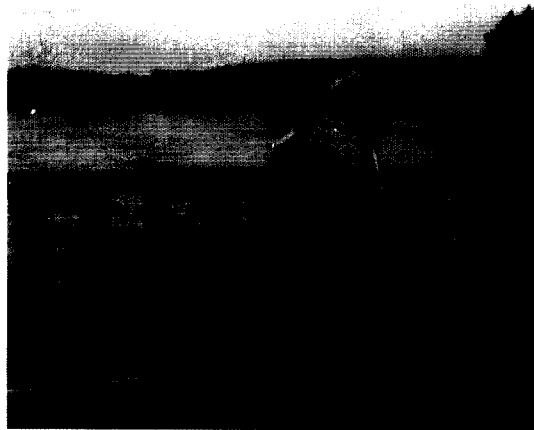
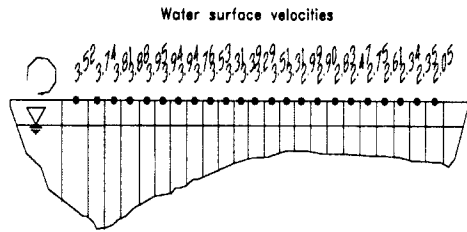


사진 1. 여주대교 홍수 유량측정 (1995. 8. 26)



Place: Yeju bridge
Time: 08:00-10:00 Aug. 26, 1995.
Discharge: 10,500 cubic meter/sec (depth averaging factor: 0.85)

그림 5. 표면 유속 측정값 및 유량 환산

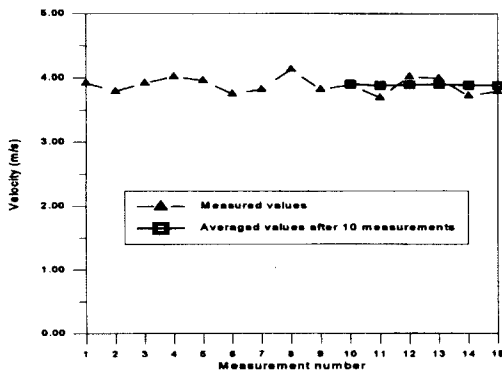


그림 6. 유속 측정값에 대한 10회 이상 평균값 (평균값 약 3.9 m/s)

4.2 하천 단면 계산 및 유량환산

유량의 환산은 부자에 의한 유량측정에 사용되는 다음 식을 사용하였다.

$$Q = \sum_i f v_i^s A_i \quad (1)$$

여기서 Q 는 유량, f 는 수심평균 유속 환산계수, v_i^s 는 표면유속, A_i 는 v_i^s 에 해당하는 흐름 단면적이다. f 는 보통 0.85~0.95이다. 흐름 단면적은 수위와 하천 횡단 측량자료로부터 구하였는데 원격 측정기기 (telemetry)로서 측정된 수위는, 08시부터 10시까지 시간별 값을 평균하였을 때, 41.75 m였다. 참고로 그림 5에서 교량 상판의 좌안 표고는 47.13 m이다. 그리고 하천 단면자료는 유량 측정 주요지점 하천 중형단 측량 자료(한국수자원공사, 1993)를 이용하였다. 그림에 표시한 대로 좌안 소용돌이 부분을 제외하고, 표면 유속과 그에 상응하는 흐름 단면적을 가지고 표면 부자

의 수심평균 유속 환산계수인 0.85를 f 값으로 사용하였을 때 유량은 10,500 m^3/s 였다.

유속 측정 간격이 유량 환산에 미치는 영향도 분석하였다. 측정된 유속을 2개씩 평균한 후에 12개의 값만 가지고 유량을 환산하면 10,580 m^3/s 였다. 그리고 평균값을 사용하는 대신에 60 m 간격의 자료로써 유량을 계산하더라도 10,590 m^3/s 로서 큰 변동을 보이지 않았다. 그러므로 하천 폭이 넓은 경우에 20~60 m 간격으로 유속을 측정하더라도 유량 환산에 큰 오차가 유발되지 않을 것으로 판단된다.

4.3 기존 수위 유량식과의 비교

여주대교 지점은 한강수계에서 매우 중요한 의미를 갖는 곳으로서 주요 유량측정 지점중의 하나이다. 여주는 남한강 중류에 위치하고 있는데 주변 지형이 평지로서 농경지가 넓게 분포하고 하천변에도 주택이 분포하여 대홍수가 발생하면 피해가 발생할 수 있는 지역이다. 그리고 수문학적으로는, 남한강의 주요 지류인 달천, 섬강, 청미천 등이 합류된 효과가 나타나는 지점이고, 충주 다목적 댐의 방류에 직접적인 영향을 받는 곳이다.

이러한 이유 때문에 치수 관리에 있어서 중요 지점으로 선정되어 있다. 이 지점의 수위-유량식은 홍수위까지도 비교적 양호한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 기존의 수위-유량식과 1995년 8월 홍수의 유량측정 결과를 비교하였다(그림 7). 수위-유량식은 다음 수식을 사용하였다(건설부, 1991).

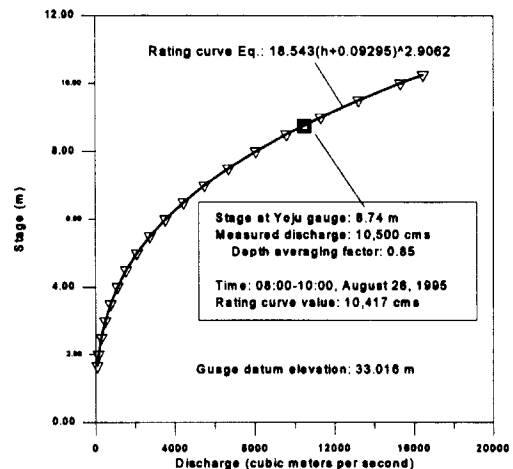


그림 7. 수위-유량식과 표면 유속계에 의한 유량 환산값 비교

$$Q = 18.543 (h + 0.09295)^{2.9062} \quad (2)$$

여기서 Q 는 유량, h 는 수위 기록값이다. 그림에서 보는 바와 같이 수위-유량식과 홍수량 측정값은 서로 근접하여 있다. 즉, 측정값이 비교적 신뢰적이라고 말할 수 있다. 이 점은 수심평균 유속 환산계수를 특별한 추정없이 표면부자의 경우에 사용하는 0.85로 사용한 점과, 각도 측정오차, 물의 불규칙한 유동 등 오차 발생 요인이 존재하는 상태에서도 측정값이 꽤 신뢰적이라는 사실을 제시하는 것이다.

4.4 부정류 계산결과와의 비교

기존의 수위-유량식과 비교한 것에서 더 나아가 다른 방법으로 1995년 8월의 여주지점 홍수량 측정값 신뢰성을 검토하였다. 이상호와 이길성(1994)의 연구에서는 1990년 9월 홍수에 대하여 충주댐부터 팔당댐까지 부정류 계산을 수행하였는데 이를 가지고 여주 지점의 측정값과 비교하였다. 1차원 부정류의 지배방정식은 하천의 특정지점에 대하여 수위와 유량이 미지수로 설정된 2개의 편미분 식으로 구성된다. 이 편미분방정식은 상류와 하류에 적절한 경계조건이 있으면 해를 구할 수 있다. 그리고 하천 단면의 수치자료를 입력자료로 사용하므로 각 하천 계산 지점에서 계산된 수위와 유량은 실제 자연하천의 흐름을 정교하게 재현할 수 있다.

그림 8은 1990년 9월 10일부터 13일 사이의 홍수 기록자료를 가지고 부정류를 모의하여 계산수위-계산유량값을 도식한 것이다. 이와 비교하여도 측정값이 비교적 신뢰적이라는 점을 반영하고 있다.

5. 대청교 지점 유량측정

'96년도 하반기에는 표면 유속계로 수심평균 유속 환산계수를 도출하고자 하였다. 그래서 대청댐에서 발전 방류를 하는 시간에 맞추어 댐에서 약 300 m 떨어진

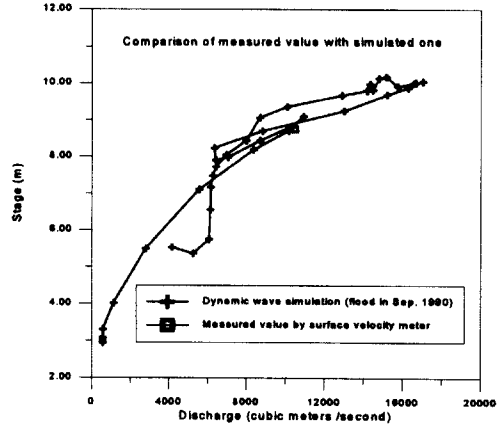


그림 8. 부정류 수치모의 결과와 표면유속계에 의한 유량 환산값 비교

대청교 상에서 유량을 측정하였다. 측정하던 시기는 10월월부터 11월이었기 때문에 댐 저수위가 낮아져서 제한적으로 발전방류만을 하고 있었다. 발전방류 시간에는 유속이 약 0.5~1 m/s 정도였다.

대청교의 유량 측정은, 방류 직후부터 20분이 지나 방수위가 안정된 후에 실시하였다. 1회 측정 시간은 약 20분이었다. 10월 23일부터 11월 8일까지 여섯 차례 표면유속들을 측정하였으며, 10분 단위의 방수위 자료를 이용하여 하천단면을 계산하였고, 발전방류량을 기지값으로 하여 수심평균 유속 환산계수를 산정하였다(표 4). 여기서 방류량은 실제 측정된 값은 아니며 댐 건설시에 마련된 발전전력-유량(power-discharge) 곡선에 의해 역산된 값이다. 표면유속의 횡단 분포는 그림 9에 표시하였다. 표 4에서 보는 바와 같이 수심평균 유속 환산계수는 0.828~0.868로서 최소값과 최대값의 차이는 0.04였다.

대청교 지점에서 수행한 유량측정의 의의는 비록 발

표 4. 대청교 지점 평상시 유속 측정 및 수심평균 유속 환산계수 산출

측정일 ('96년)	측정방향	최대유속 (m/s)	최소유속 (m/s)	방류량 Q (m ³ /s)	적용수위 (m)	$\sum_i v_i^3 A_i$ (m ³ /s)	추정된 환산계수 f
10. 23	상류	1.260	0.356	245	28.15	285	0.859
11. 04	상류	1.177	0.521	240	28.03	276	0.868
11. 05	상류	1.120	0.641	236	28.05	277	0.851
11. 06	상류	1.068	0.742	234	28.03	271	0.864
11. 07	상류	1.159	0.781	244	28.08	295	0.828
11. 08	상류	1.158	0.665	238	28.04	278	0.857

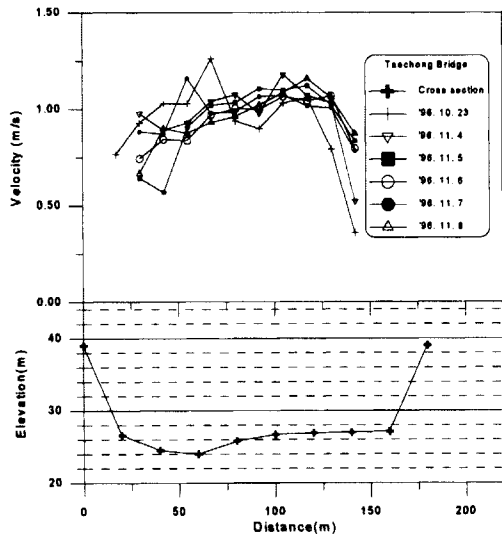


그림 9. 대청교의 횡단 지점별 표면유속

전방류에 대한 것이지만, 평상시 유량이라는 점이다. 그리고 단면 평균유속이 약 0.5 m/s 이상인 상황에서, 도출된 수심평균유속 환산계수의 上下限 값이 크게 차이나지 않는 점을 확인한 것이다.

6. 결론 및 향후 과제

전자파를 이용한 하천수 표면 유속계의 성능을 평가하고, 하천 유량 측정에 사용하여 실용성과 문제점을 분석하였다. 시제품 단계의 표면유속계를 평가한 결과, 수직각을 20°, 35°, 45°로 하였을 때 유속측정 평균값의 오차는 5.5% 이하였다. 그리고 측정 평균값이 기준 값 보다는 작게 측정됨을 알 수 있었는데 이것은 전자파 빔의 퍼짐에 의하여 측정위치보다 가까운 곳의 산란 신호가 강하게 수신되기 때문으로 추정하고 있다.

대청교 지점의 평상시 유량측정에서는, 단면 평균유속이 약 0.5 m/s 보다 큰 상태에서 수심평균 유속 환산계수가 0.83~0.87의 범위에 있었고, 上下限의 차이가 비교적 작았다. 여주대교 지점 홍수 유량측정에서는 수심평균 유속 환산계수를 0.85로 하여 유량을 계산하였을 때, 수위-유량식이나 부정류 모의에 의한 수위-유량 이력곡선의 값과 ±2% 이내의 편차를 보였다.

표면부자에 대한 수심 평균유속 환산계수가 0.85인 점을 고려하면, 표면 유속계에 의한 하천 유량측정이 비교적 적절하였음을 알 수 있다. 여주 지점과 같이 하

천 폭이 넓은 경우에는 홍수유속의 측정간격이 약 60 m까지도 허용될 수 있다고 판단된다. 위와 같은 결과로부터, 하천의 홍수 유량측정에 표면유속계를 사용하는 것은 간편하고 실용적인 대안이 될 수 있음을 알 수 있었다. 표면 유속계 개발은 해결해야 할 여러 가지 문제가 남아 있다. 우선 '96년의 시제품 또는 그 이후의 개선 제품을 이용하여 측정오차를 보다 명확히 분석하여 교정 지침을 마련해야 한다. 표면 유속계에 적합한 표준시설을 제작하는 일도 요망된다. 부자에 의한 홍수 유량측정보다는 인력 면이나 간편성에서 좋다고 생각되지만, 두 방법을 비교하는 연구를 수행하여 평가하여야 한다. 바람은 수면에 파동을 형성시키고, 파동의 傳播는 주로 수면 근처에서 물의 흐름에 부가하여 일어나는 현상으로 표면유속 측정에 오차를 야기시킨다. 그러므로 풍속에 따라서 파의 전파속도나 파고 등과 같은 파동특성을 분석하고 궁극적으로 풍속과 풍향에 따라 발생하는 오차를 정량화하는 연구를 수행하여야 한다.

감사의 글

본 논문의 내용은 한국 수자원공사 수자원연구소 연구과제의 일부로서, 표면유속계의 시제품 제작과 하천 유량 측정에 관여하신 류태상 과장님과 우민규 대리, 그 외의 여러 분들께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 김우구, 류태상, 우민규, 김영성, 임창수 (1996). **대하천 유량 자동측정설비 개발**, WRRRI-기획-96-3, 한국수자원공사 수자원연구소.
- 이상호, 이길성 (1994). "Muskingum-Cunge 방법에 의한 남한강 홍수추적." **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제27권, 제4호, pp. 105-114.
- 이상호, 이한구, 김우구 (1995). "전자파를 이용한 하천수 표면유속 측정." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제28권, 제6호, pp. 181-191.
- 한국수자원공사 (1993). **주요지점 하천 증회단 측량**.
- 건설부 (1991). **홍수 수문자료집**.
- 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, 日本, pp. 91-109.
- (최종본 접수일 : 1997년 10월 29일)