

편각측정을 위한 위한 전자파표면유속계의 성능개선

Improvement of Microwave Water Surface Current Meter for Oblique Angle Measurements

김영성*, 김우구**, 양재린***, 고덕구****

Youngsung Kim, Woo Gu Kim, Jaerheon Yang, Deuk-Koo Koh

요 지

전자파표면유속계는 홍수유속측정을 위하여 개발된 기기로 평·갈수기에는 유속측정이 불가하여 프로펠러 유속계를 이용하고 있다. 현재 보급된 전자파표면유속계는 하천의 흐름방향에 나란하게 설치하였을 때에만 유속을 측정할 수 있는 기기의 구조상의 한계성 때문에 교량이 없는 지점에서는 유속측정이 불가하여 유량 산정을 할 수가 없다. 또한 편각측정이 불가능하여 기기를 각 측선마다 이동 설치하여야 하기 때문에 유속 측정시 효율성 떨어진다. 이에 홍수시 유량측정의 효율성을 증대시키고 전자파표면유속계의 활용도를 높이고자 편각측정이 가능하도록 전자파표면유속계의 성능을 개선하는 것이 본 연구의 주된 목적이다. 전자파표면 유속계에서의 편각 측정은 하천의 유속방향을 기준으로 정면에서 측정하면 수평 편각이 0도가 되며 좌우로 안테나를 회전하여 움직인 각도가 측정 편각으로 결정된다. 현장에서 전자파표면유속계의 사용시 편의성을 높이고 유량측정을 효율적으로 하기 위해서는 가급적 편각을 크게 해서 측정을 해야 하지만, 편각이 증가하면 전자파의 물리적 특성 때문에 반사된 신호의 수신 크기가 감소하여 측정이 불가능하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 유속 측정시 전자파 출력을 기존의 시스템보다 높게 물표면에 방사하여야 하며 안테나를 포함한 RF 모듈의 수신감도 및 지향성이 개선되어야 한다. 이에 편각측정이 가능하도록 이러한 사항에 주안점을 두어 새로운 시스템을 구성하였다.

수신감도 향상을 위해서는 물표면에 반사되어 돌아오는 신호를 가장 먼저 수신하는 안테나의 특성이 중요하며 그 다음 수신용 증폭기, IF 증폭기 순으로 개선이 필요하다. 본 연구에서는 안테나의 형태를 기존 파라볼릭 안테나에서 위상 배열 평면안테나로 변경하였으며, 이에 따른 이점으로는 송수신부를 분리하여 하나의 평면에 두 개의 안테나를 구성할 수 있다는 사항이다. 즉 외형적으로는 하나의 안테나로 보이지만 두 개의 안테나가 하나로 구성된 것이다. 송수신부를 분리하는 형태는 기존 파라볼릭 안테나에선 불가능한 구조로 변경에 따른 수신감도 향상은 수치적으로 10dB 이상 개선하였다. 송수신부 분리가 수신감도에 영향을 미치는 이유는 물표면으로 방사된 송신 신호의 일부가 수신단으로 유입되는 현상으로 누설되는 송신 신호를 최대한 차단하는 분리도가 수신 신호 검출에 직접적인 영향을 주기 때문이다. 평면 안테나를 적용하면 기존 파라볼릭 안테나에서 사용하던 써클레이터라는 부품을 삭제할 수 있으며, 안테나의 구조적인 분리를 통해서 수신감도를 개선할 수 있었다. 안테나의 지향성은 방사하는 전자파의 빔폭 성능과 일치하며 각도 단위로 표시한다. 각도 값이 작을수록 전자파의 에너지가 한 곳에 집중된다고 말할 수 있다. 즉 빔폭이 크면 측정시 반사면적이 커져 정확한 지점의 유속을 측정하기 어려운 문제가 발생한다. 본 연구를 통해 빔폭은 기존 안테나 대비 2도를 개선하였으며 25%의 개선 효과를 얻었다. 또한 수신감도 및 지향성 개선과 더불어 전자파의 출력을 기존 장비 대비하여 1.6배를 증가하여 편각측정을 위한 전자파표면 유속계의 성능을 개선하였다.

핵심용어: 전자파표면유속계, 편각측정, 평면안테나

* 김영성, 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 yskim@kwater.or.kr

** 김우구, 한국수자원공사 부사장 wgkim@kwater.or.kr

*** 양재린, 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 jyang@kwater.or.kr

**** 고덕구, 한국수자원공사 수자원연구원 연구위원 dkkoh@kwater.or.kr

1. 서 론

전자파표면유속계의 편각 측정은 물 흐름 방향에서 정면으로만 측정하던 기존 방식에서 탈피하여 측면에서 측정하는 방식을 의미한다. 편각 측정 기능이 갖는 장점은 유속 측정에 소요되는 시간을 2배 이상 단축시키는 효과가 있으며 편각 측정 범위가 커질수록 측정 시간 단축 효과는 더욱 증가한다. 물 흐름 방향의 정면으로 전자파유속계를 설치하였을 때 편각은 0도가 되며 안테나부를 좌우로 회전하여 고정하였을 때의 회전각이 측정 편각으로 결정된다. 기존 방식에서도 편각 측정은 가능하였지만 편각의 범위가 작아 하천 유속 측정에 적용이 불가능 하였다. 편각 측정이 불가능 했던 원인은 물 표면에 전자파를 발사 했을 때 반사되는 전자파 신호의 세기가 정면에서 가장 크며 편각이 증가 할수록 반사 신호의 세기가 약해지기 때문이다. 물 표면에 발사된 전자파는 물 표면에서 전반사가 일어나는데 대부분 산란되는 물리적 특성이 있어 전자파유속계로 돌아오는 신호는 극히 미세하다 (Lee, 2002). 이러한 현상을 극복하여 편각 측정이 가능하려면 성능 개선이 요구되며 이에 따른 기술적 핵심 사항은 송신 출력 증가와 수신 감도 향상에 있다. 전자파 출력 증가는 SSPA(Solid State Power Amp)라는 RF 모듈을 추가하는 구조로 가능하며 수신감도 향상은 안테나 및 수신단의 증폭기의 성능 개선이 이루어져야 한다. 특히 안테나와 관련된 기술적 사항 중 송수신 경로를 분리하는 구조가 수신 감도 향상에 중요한 요소이다. 기존에 사용하던 파라볼릭 안테나에서 송수신을 분리하려면 송신용 안테나와 수신용 안테나 두 개가 필요하다. 이러한 구조는 전자파유속계의 부피를 2배 정도 증가시키기 되며 실용성 측면에서 문제점을 발생하기 때문에 다른 형태의 안테나가 요구되었다. 송수신 경로를 분리하면서 무게 및 부피를 최적화 할 수 있는 안테나는 위상 배열 안테나로 단일 평면상에서 두 개의 안테나를 구성할 수 있는 장점이 있다 (한만균, 2002). 상기와 같은 성능 개선을 통해서 편각 측정이 가능했으며 측정 가능한 편각 범위는 홍수 시 유속에서 최대 25도 까지 측정을 할 수 있었다.

2. 편각 측정용 전자파표면유속계의 성능 개선

기존 전자파표면유속계는 Oscillator 라는 모듈에서 출력되는 10GHz 신호를 안테나로 바로 출력하는 형태로 SSPA라는 증폭기가 없었다. 또한 하나의 안테나를 적용하여 송수신을 분리하기 위하여 Circulator라는 부품을 사용하였다. Circulator를 적용하게 되면 송수신 분리도 즉 Isolation이 20dB 정도가 형성되는데 이 수치 의미는 송신 출력이 12dBm 일 경우 수신부로 -8dBm 크기의 신호가 누설된다고 해석할 수 있다. 이상적인 상태에서 수신부에서 처리하는 신호는 반사되어 돌아온 도플러 신호만 필요하다. 그러나 송신 출력이 Circulator를 통해서 누설되었기 때문에 미약한 도플러 신호에 영향을 미치고 이결과 정확한 신호처리를 하는데 있어 방해 요소로 작용한다. 그러므로 Circulator를 적용한 구조는 홍수시 또는 50m 이내의 근거리 측정에서는 가능하지만 평갈수시 및 원거리 측정에서는 측정 오차가 심하게 발생하거나 측정이 불가능한 경우가 발생한다.

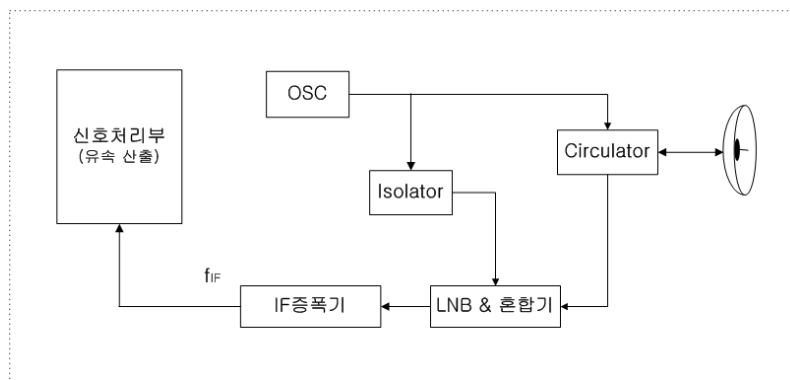


그림 1. 기존 방식의 구조

이러한 현상을 개선하기 위하여 두 개의 안테나를 단일 평면상에서 구현하여 Circulator를 제거함과 동시에 Isolation을 30dB 이상으로 성능을 개선하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 평면 안테나는 외관상으로 하나의 안테나로 보이지만 내부는 두 개의 안테나로 분리되어 있다. 안테나 내부에는 RF 통합모듈과 IF 증폭기 모듈이 장착되어 있으며 외부 커넥터에 의해 전원과 신호를 주고받는 구조로 되어 있다. 송신 출력 증가는 기존 출력 대비하여 18dB를 증가시킨 30dBm으로서 SSPA 추가를 통해서 성능을 개선하였다. 수신부 회로는 기존 장비와 동일한 형태로서 유속에 의해 발생하는 도플러 신호가 안테나로 수신되면 LNB(Low Noise Block)에 의해서 1차 증폭되고 혼합기에서 송신 주파수 10GHz를 삭제하게 되어 최종 도플러 신호만 IF 증폭기로 전달하는 구조이다. 그러나 수신 감도를 향상시키기 위하여 IF 증폭기의 증폭도를 10dB 이상 개선하였다. 그림 1은 기존 방식의 구조를 보여주며 그림 2는 개선된 구조로서 IF 증폭기를 제외한 모듈들을 하나의 RF 통합모듈로 구성하여 부피를 최소화 하였다. 송신부에서 기존 구조와 변경된 사항 중 10GHz Oscillator 모듈이다. 기존 방식은 10GHz를 발생시키기 위하여 세라믹 소재의 DR(Dielectric Resonator)을 이용한 공진기를 채택하였지만 성능 개선 구조에선 VCO(Voltage Control Oscillator)를 적용하고 주파수를 안정화하기 위하여 PLL(Phase Locked Loop) 회로를 적용하였다. PLL 기능은 출력단에서 Feedback Loop를 형성하여 PLL IC로 RF를 입력한 후 위상을 비교한다. 만약 위상차이가 발생하면 설정된 주파수 값과 일치되도록 연속적인 제어를 하여 주파수가 고정되도록 한다. 기존 Oscillator 방식은 Free Run 형태로 주파수가 순간적으로 흔들리는 현상을 방지할 수 없는 구조였으며 측정 시 순간적으로 오차를 크게 발생할 가능성이 높았다. 이러한 구조의 장점은 회로가 타 방식에 비교하여 간단하며 제작이 용이한 특징이 있다 (강정수, 1999). 성능 개선 구조의 VCO 출력 주파수는 기존 방식에서 순간적으로 흔들리는 주파수가 수백 Hz 이상 이었던 현상을 10Hz 이하로 낮출 수 있었다. 주파수 안정도 향상은 측정값 오차를 최소화 할 수 있는 요소로 작용하며 두가지 방식에 의한 전자파표면유속계를 현장 시험을 통해서 비교 확인할 수 있었다. 그림 2의 ATT(Attenuator)는 RF 감쇄기로서 통과하는 신호의 레벨을 조절할 수 있는 기능을 가지고 있다. 이 기능이 필요한 이유는 편각 측정을 하는데 있어 최적화된 출력 레벨을 찾기 위하여 추가 되었다. 예를 들어서 편각 측정을 하는데 20dBm 정도의 레벨이면 적정한데 30dBm으로 고정된 상태에서 전자파를 발사하면 이는 과출력 상태에서 장비를 사용하는 것이고 불필요한 소모 전력을 발생시키는 결과이기 때문이다.

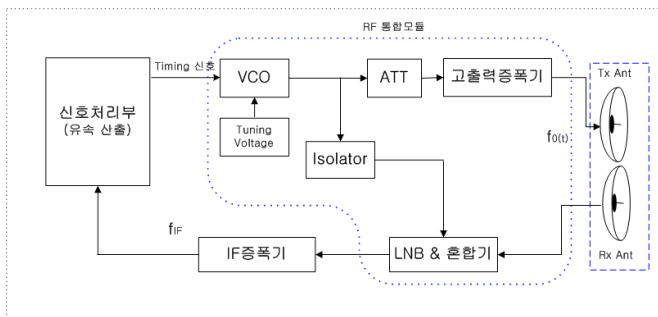


그림 2. 성능 개선 구조



그림 3. 편각측정 전자파표면유속계

편각 측정에서는 안테나의 특성 파라미터 중 빔폭이 작은 것이 유리한데 빔폭은 측정 구간을 세밀하게 나눌 수 있는 장점이 있기 때문이다. 빔폭은 전자파를 물표면에 발사할 때 부딪히는 단면적과 관련이 있다. 빔폭이 작다는 것은 작은 단면적을 형성하는 의미로서 측정 거리가 멀어지면 단면적도 비례하여 증가한다. 즉 편각 측정은 정면에서만 측정하는 기존 방식보다 원거리 측정을 하게 되므로 빔폭이 크게 되면 측정 구간을 세밀하게 구분할 수가 없다(그림 4). 표 1은 기존 파라볼릭 안테나와 평면안테나의 특성을 비교한 내용으로 형상도 다르지만 특성 파라미터가 차이나는 것을 비교할 수 있다.

표 1. 안테나 특성 비교

항 목	파라볼릭 안테나	편각용 안테나
주파수 대역	10GHz ±100MHz	10GHz ±350MHz
반사판 직경	30Cm (원형)	35Cm (정사각형)
편파	수직 편파	수직 편파
이득	27dBi	24dBi
빔폭	7도 이내	6.5도 이내
부엽레벨	-25dB	-25dB
Tx/Rx Isolation	구분 없음	30dB 이상
무게	4.5Kg	1.5Kg

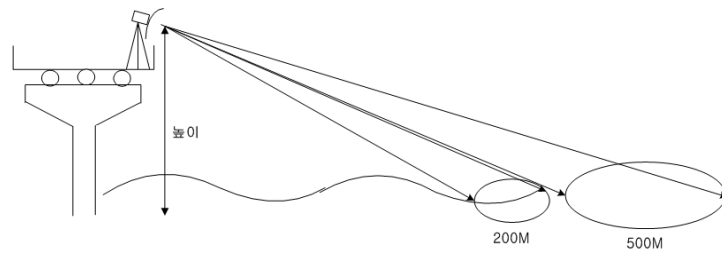


그림 4. 빔폭에 따른 전자파 조사 단면적

3. 편각 측정을 통한 하천 유속 측정 실험

편각 측정 실험 장소는 안양천 박달동 지점에 있는 교량을 선정하였다. 안양천 지점을 선정한 이유는 하천의 폭은 100m 정도로 대하천에 비교하여 하천 폭이 좁지만 상시 물이 흐르는 하천이며 유속이 일정하고 수심이 낮아 다른 유속계로 측정값 검증이 가능한 장점이 있다. 측정 조건은 정면 측정에서 수직각을 20도로 설정하였으며 교량 높이가 23m 이기 때문에 이때의 측정 거리는 67.2m로 계산된다. 편각 설정은 10도 단위로 30도 까지 3단계로 설정하여 측정 했으며 전자파표면유속계의 측정값을 검증하기 위하여 프로펠라 유속계로 측정 지점을 측정하여 비교 하였다. 프로펠라 유속계로 가능한 물 표면 근처를 측정 했으며 5번 측정을 하여 평균값을 구했다. 전자파표면유속계의 측정 횟수는 수평각 설정 조건마다 각 20회를 측정하였고 1회 측정 마다 5번을 측정하여 평균값을 구했다.

4. 실험 결과

편각 측정용 전자파표면유속계의 측정값 자료는 표 1과 같다. 비교 검증용 프로펠라 유속계로 측정한 결과와 비교 했을 때 오차 범위 5% 이내에서 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 오차의 원인은 바람 및 시간에 따른 유속의 변화로 예측되며 각 유속계가 가지고 있는 측정 오차도 영향을 준다고 판단된다.

표 2. 편각 측정 시험 결과 (안양천)

측정회수	수평각(0도)	수평각(10도)	수평각(20도)	수평각(30도)
1	0.75	0.63	0.6	0.69
2	0.75	0.69	0.67	0.64
3	0.67	0.69	0.6	0.52
4	0.64	0.51	0.61	0.64
5	0.63	0.69	0.63	0.48
6	0.66	0.68	0.72	0.51
7	0.62	0.72	0.58	0.57
8	0.52	0.7	0.64	0.62
9	0.71	0.62	0.7	0.7
10	0.77	0.63	0.68	0.58
11	0.87	0.57	0.74	0.54
12	0.67	0.67	0.66	0.56
13	0.74	0.69	0.77	0.65
14	0.64	0.62	0.66	0.6
15	0.7	0.72	0.62	0.68
16	0.8	0.84	0.57	0.54
17	0.78	0.62	0.83	0.64
18	0.47	0.59	0.65	0.51
19	0.93	0.66	0.64	0.45
20	0.71	0.53	0.61	0.67
평균값	0.7015	0.6535	0.659	0.5895
프로펠라 유속계 평균값	0.72	0.63	0.67	0.56

5. 결론

편각 측정용 실험 결과를 근거로 전자파표면유속계의 성능 개선이 효과적으로 진행되었음을 알 수 있다. 0.6m/sec의 유속에서 편각 30도까지 가능했기 때문에 홍수시 유속인 1m/sec 이상에선 편각 측정의 범위가 더욱 증가할 것이라 판단된다. 또한 편각 30도 까지 가능하다는 결과를 근거로 편각 측정용 전자파표면유속계는 기존 방식 대비하여 2배 이상의 측정 시간 단축 효과가 있다는 결론을 내릴 수 있다.

참고 문헌

1. 이상철, 강정수, (1999), 레이더공학, 보성문화사, 서울.
2. 한만균, 이성호(2001). "Cross-slot을 이용한 광대역 마이크로스트립 배열 안테나", 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 제24권 제2호, pp371-374..
3. Ming-Ching Lee, William J. Plant (2002), "Non-contact flood discharging measurements using an X-band pulse radar (I) theory", Flow Measurement and Instrumentation, 13, pp265-270.