



ADCP 속도장 표출 소프트웨어 (VMS) 소개



김 동 수 |

단국대학교 토목환경공학과 교수
dongsu-kim@dankook.ac.kr

1. 개발 배경

ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers)는 0.5~3MHz의 초음파를 수중의 여러 방향(보통 3 혹은 4 방향)으로 전송하고 해당되는 음파의 3~4개의 음파의 경로(beam)에서 부유하는 유사의 입자의 운동으로 간섭되어 회귀하는 음파를 수신한다. ADCP는 각각의 이러한 회귀하는 음파를 일정한 시간 간격으로 분할하여 수신하여 셀(cell) 혹은 빈(bin)으로 일컬어지는 일정한 깊이 단위로 음파를 분리하여 해석한다. 그리고 각각의 빔에서 부가적으로 수심 유속을 제공한다. ADCPs는 하천에서 수직방향으로 5~20cm 단위로 3차원 유속과 수심을 동시에 측정하여 일반적으로 횡단면 측정을 통해 유량을 정밀하게 산출할 수 있게 하는 계측기기이다. 1980년대 이래 ADCP의 등장은 하천에서의 수리동역학적인 특성을 규명하는 능력을 급속히 향상시켜왔다. ADCP는 비접촉식으로 3차원 유속과 수심자료를 매우 효율적이고 빠르게 측정하며 그 자료의 공간 및 시간적 해상도는 기존의 전통적인 속도측정방법과 비교하여 매우 세밀하다. ADCP를 활용한 유량관측은 현존하는 유량 관측 기법 중 상대적으로 정확한 기법으

로 알려져 있으며 미국의 경우 지리조사국(USGS)에서의 약 57%의 유량관측소에서 수위-유량 곡선 구성을 선박, 케이블, 교량 등에서 실시한 ADCP 관측을 통해 이루어지고 있으며 그 비중은 계속 높아지고 있다. 기계식의 프로펠러미터가 하천의 한 지점에서의 유속을 제한적으로 측정하는 반면에 ADCP는 선박에 장착해 횡단 운항함으로써 하천 단면의 수천~수만 지점에서 3차원 유속을 매우 신속하게 측정하여 제공한다. ADCPs는 우리나라에도 최근 도입되어 유량조사사업단 등에서 수위-유량 관계곡선식을 개발할 때 활용되고 있다.

ADCP는 상세한 3차원 유속장을 측정 가능하므로 유량 조사 이외에 다양한 하천 정보들(평균유속장, 소류력, 부유사 농도, 하상이동속도, 난류 등)의 취득이 가능해 최근 많은 연구자들이 활발하게 이용하고 있다. 그러나 ADCP의 자료가 매우 정밀한 대신 제공되는 자료의 구조가 매우 복잡하여 사용자의 목적에 맞게 후처리하여 사용하는 데 많은 애로가 있어왔다. 그리고 ADCP의 대표적인 제작사인 Teledyne RDI, SonTek 등에서 제공하는 후처리소프트웨어는 유량 산정에 초점에 맞추어져 있어 유량 이외의 목적에 사용하거나 지리정보에 기반한 공간적인 표출이나 해석에 있어 한계가 뚜렷한 문제가 있어왔다. 실제로 연구자들이 ADCP 자료를 활용할 때 각자 목적에 맞는 간단한 독자적인 툴을 개발하여 사용해 왔다. 그러나 이러한 툴이나 알고리즘들은 일반에게는 공개되지 않는 단점이 있고 사용되더라도 신뢰성에 의심이 있어왔다. 따라서 ADCP 자료를 유량을 비롯한 다양한 목적



으로 활용할 수 있고 일반에게 전문가 집단에게 검증된 툴을 개발하고 내장 알고리즘을 공개하여 공동 개발이 가능한 후처리소프트웨어의 확립의 필요성이 제기되었다. 본고에서 소개하는 VMS는 이러한 목적으로 미국 지리조사국(USGS), 미육군공병단(USACE)와 아이오와대에서 공동으로 추진되어 개발되었고 필자가 아이오와대 박사후 과정 동안 주개발자로 참여를 하여 초기 버전을 완료하여 일반에게 공개하였다. <http://chl.erd.c.usace.army.mil/vms>

2. VMS 개요 및 구성

VMS는 ADCP Velocity Mapping Software의 약자로 지리정보기반의 다수의 ADCP 관측 파일을 효율적으로 일괄처리하고 유속 및 수심 보정을 통한 유량 산정 QA/QC, 공간평균을 통한 평균유속장 산정 후 수치모델링의 검토정을 목적으로 개발되었다. 표 1은 다양한 VMS의 기능을 요약해서 보여주고 있다. VMS는 OOP (Object Oriented Programming) 기반의 C++을 이용하므로 알고리즘의 확장성이 좋고 Matlab 등의 추가적인 소프트웨어가 필요없는 독자적인 GUI를 가지고 있어 사용하는 데 편리하다. VMS는 현재 Teledyne RDI사와 SonTek사의 ADCP 자료구조를 지원하고 있으며 ADCP와 결부된 GPS 자료를 활용하여 GIS 기반으로 ADCP 원시 유속 및 공간평균된 유속장을 표출할 수 있다. 즉 기존 ADCP 후처리 소프트웨어가 각각의 파일 위주의 처리에 치중하였다면 VMS는 여러파일을 동시에 GIS 기반으로 표출할 수 있어 자료를 종합적으로 해석할 수 있는 장점이 있다. 그리고 후처리된 자료는 일반적인 ASCII 형태인 CSV 파일 포맷, GIS 자료구조인 shapefile, Google Earth 자료구조인 KML로 저장할 수 있어 ADCP 자료의 활용성을 확장하였다. 또한 다양한 그래프를 제공하여 ADCP 자료를 2차원 혹은 3차원으로 가시화하여 측정된 자료를 사용자가 원활하게 파악할 수 있게 한다.

표 1. VMS의 주요 기능

항목	기능
일반 기능	<ul style="list-style-type: none"> • WinRiver I and II (Teledyne RDI) ASCII 및 RiverSurveyor (SonTek/YSI) Matlab 파일 포맷 지원 • 다수의 ADCP 파일 일괄처리 • ADCP 자료와 GIS shapefile 연동 • 처리된 ADCP 자료 저장 (그림, csv, shapefile, kml) • 다양한 2D나 3D의 지리좌표기반의 표출 • English/SI 유닛 지원 • UTM 좌표계 (NAD 1983/1927) 변환 기능 • 각각의 빔 포착 수심의 3차원 위치환산 • 동일 수심 별 속도 추출
필터링	<ul style="list-style-type: none"> • Error velocity 필터링 • 빔 수심 필터링 • 선박 이동속도 필터링 • GPS 위치 필터링
공간평균	<ul style="list-style-type: none"> • 그룹 공간 평균 • 멀티 그룹 공간 평균 • 2D/3D 평균 속도장 표출 • 2D/3D 수치모델 그리드 속도장 산출 • 공간평균 불확실도 제공
지리좌표화	<ul style="list-style-type: none"> • 수표면 재설정 • no GPS 자료에 지리정보 부여 • BT / GPS tracking
파일보기	<ul style="list-style-type: none"> • ASCII viewer (1,2 and 3D info.) • Horizontal / Vertical viewer • Contour plot • BT/GPS track

3. VMS 기능

3.1. 일반기능

VMS는 RDI사와 SonTek 사의 복수의 ADCP 자료를 ADCP와 함께 측정된 GPS자료를 활용하고 GIS 자료구조인 shapefile을 배경하에 공간적으로 표출할 수 있다. 사용자는 관측한 ADCP자료가 어디에 위치하고 있는지 확인할 수 있고 GIS 소프트웨어를 사용하는 것과 유사한 줌, 인식, 상세화 등의 기능을 제공한다. 그림 1은 GIS shapefile을 배경으로 표출된 복수의 ADCP자료를 표시하고 있으며 유속은 수심평균되어 나타낸다. 그리고 각각의 파일을 선택하여 'Single

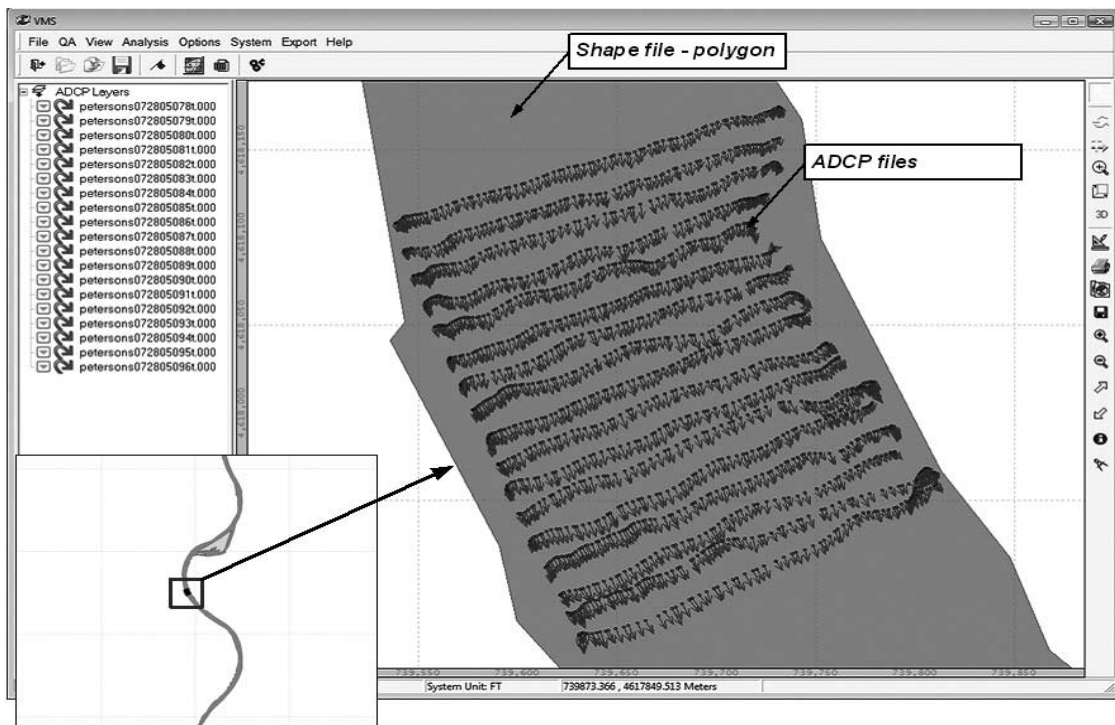


그림 1. 복수의 ADCP 측정 자료의 위치를 GIS shapefile을 배경으로 표출

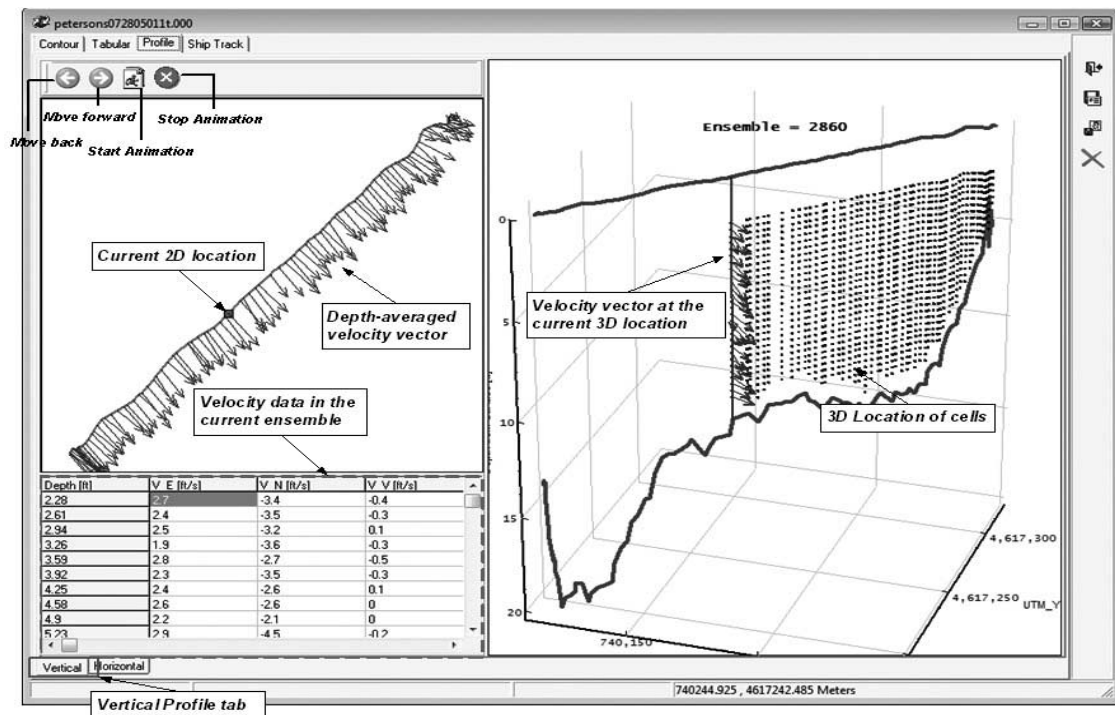


그림 2. ADCP 횡단면 유속 및 수심자료의 3차원 공간에서의 표출

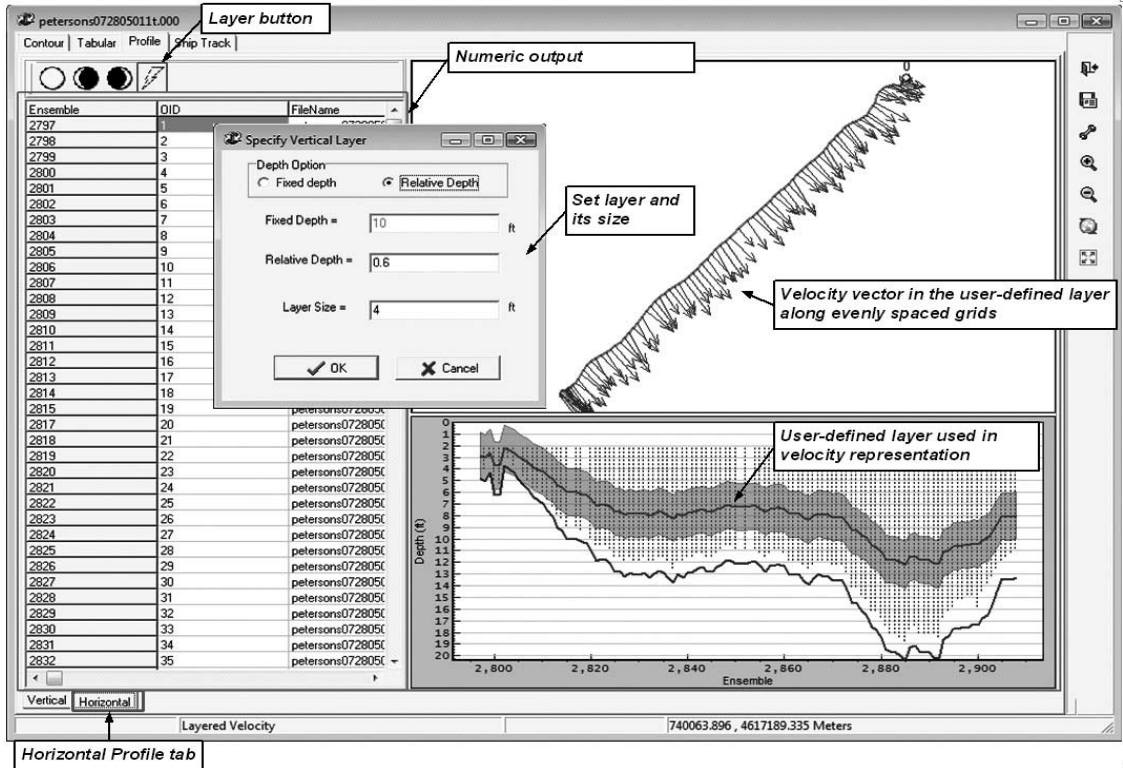


그림 3. ADCP 유속자료의 Layer 기반 추출

Transect Viewer' 기능을 활용하면 해당 파일의 2, 3 차원자료를 테이블이나 그래프로 표출해준다. 그림 2 는 ADCP자료의 측정을 재현해주는 데 2차원 위치와 3 차원 유속장 및 수심 등을 애니메이션 형태로 제공해주는 예를 보여준다.

ADCP는 단면에 대한 유속을 셀 단위로 매우 정밀하게 제공하므로 VMS 사용자의 필요에 따라 표면부근, 절대수심, 상대수심(예를 들어 0.6H), 바닥 부근 등의 특정 층(Layer)의 유속분포를 제공한다. 그림 3에서 보듯 VMS는 상대수심이 0.6으로 일반적으로 1점법의 평균유속에 해당되는 속도를 지정된 범위(Layer Size)를 통해 평균된 결과로 제공한다.

3.2. 필터링 및 유량 재계산

VMS는 속도, 수심, 보트 속력의 특이값에 대한 필터링을 지원하고 제거된 값들을 반영하여 유량을 계산

정하는 알고리즘을 제공한다. 이러한 필터링은 각각의 파일들에 대해 신속하게 수행될 수 있고 필터링의 범위(Criteria)는 숙련된 사용자가 지정하여 전파할 수 있고 필터링 결과에 대한 기준으로 사용될 수 있다. 우선 속도 필터링은 ADCP의 Error Velocity를 활용하는 데 이는 4개의 빔을 상호점검하는 값으로 이 수치가 큰 경우 각 빔에서의 유속의 일관성(Homogeneity)이 작다는 것을 의미하므로 해당하는 유속은 제거하는 것이 타당하다. 유속 일관성에 대한 기준은 사용자가 원하면 엄격하게 적용할 수 있도록 한다. 그림 4에서 표시된 붉은 점은 기준치를 넘어서는 Error Velocity를 표시하며 해당하는 유속관측값은 제거된다.

수심에 대한 보정은 각각의 빔에서 관측한 수심 중 이상치(spike)를 제거하는 작업이다. ADCP 수심은 음파 수신 오류가 수중의 물고기, 신호이상, 난류 등에 의해 발생할 수 있어 그 결과를 보정해 줄 필요가 있다(그림 5). 오류를 제거하는 방식은 각각의 빔이 포착하는

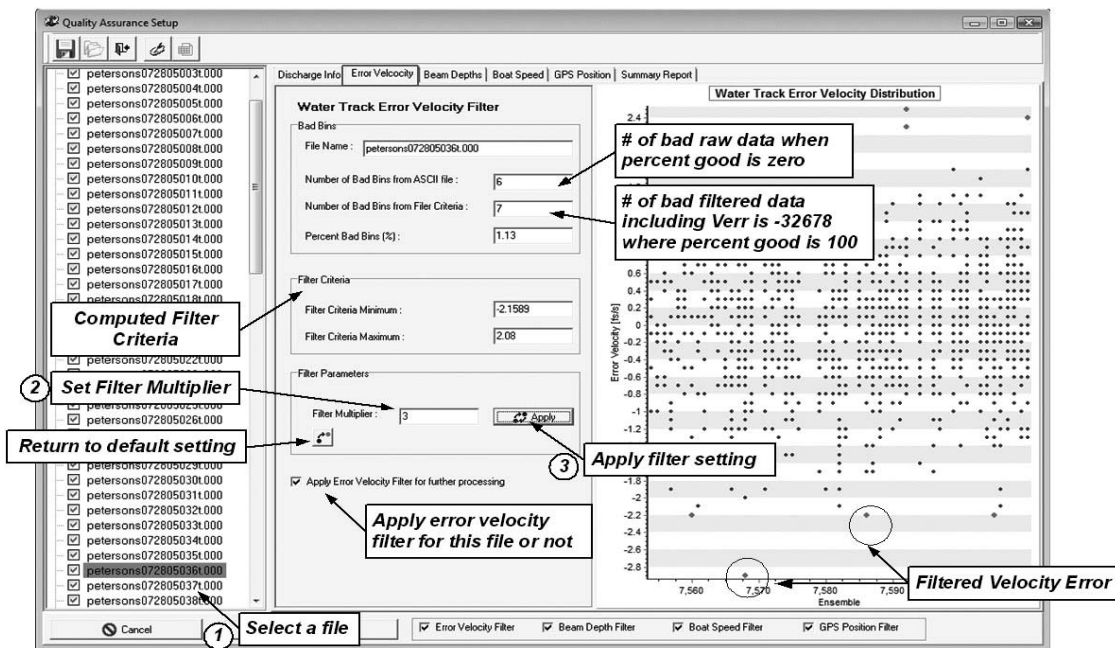


그림 4. 빔 관측 유속 일관성을 고려한 Error Velocity 이상치 필터링 인터페이스

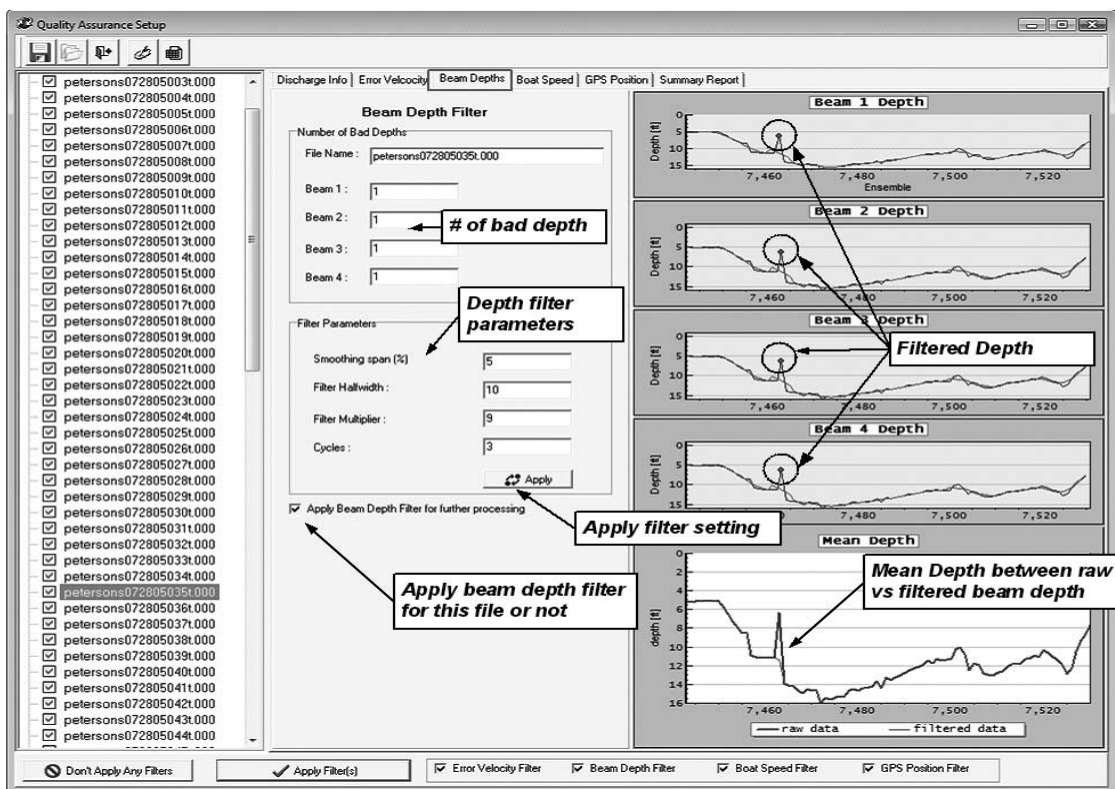


그림 5. 수심 이상치 필터링 인터페이스



수심을 SMART smoothing 기법을 활용하여 그 경향을 추적하고(그림 5의 붉은 선), 적절한 한계선(buffer)를 설정하여 벗어나는 관측값을 제거한다. 그리고 각각의 빔의 수심결과를 평균한 평균수심을 보정하여 유량을 업데이트한다. 이외에도 VMS는 보트의 이속속도가 갑자기 빨라지거나 늦어지는 경우도 유속값에 오류를 초래할 수 있으므로 보트 이속속도의 이상치를 제거하는 알고리즘도 제공한다.

3.3. 공간평균을 통한 평균유속장 산정

ADCP가 측정하는 유속은 어느 순간의 유속 (Instantaneous Velocity)이므로 평균유속장을 산정하여 흐름의 경향을 파악하는 데 한계가 있다. 따라서 시간평균 혹은 공간평균을 통해 유속을 평균할 필요가 있다. VMS는 일정한 범위에 공간평균을 통해 신호의 잡음, 난류 성분 등이 제거된 평균유속장을 산정한다.

그리고 일반적으로 유량 산정을 위해 반복 측정된 단면의 최적선을 찾아 일정한 간격으로 나누어서 공간평균을 실시하는 기법도 부가적으로 제공한다. 그림 6은 담하류에서 10회 반복 측정된 ADCP의 유속 측정 결과를 수심 평균된 2차원 혹은 수심 방향으로 일정한 간격으로 평균된 3차원 평균 유속장을 보여주고 있다. 일반적으로 그림 6에서 보듯 횡단면 자료가 보트의 운행상의 문제가 직선을 유지하기 힘들므로 평균 곡선 경로를 계산하여 공간평균을 실시했음을 알 수 있다. 공간평균된 유속은 해당 위치별로 값을 확인할 수 있다. 그리고 그림 7은 복합 경로의 경우 그룹으로 나누어 각각 최적곡선 경로를 찾아 공간평균한 유속결과를 보여준다.

3.4. 그리드 기반 유속자료 검증

수치모델 흐름 해석은 경계조건과 초기조건으로 1,2,3차원의 흐름해석을 모델링할 수 있어 흔히 사용되

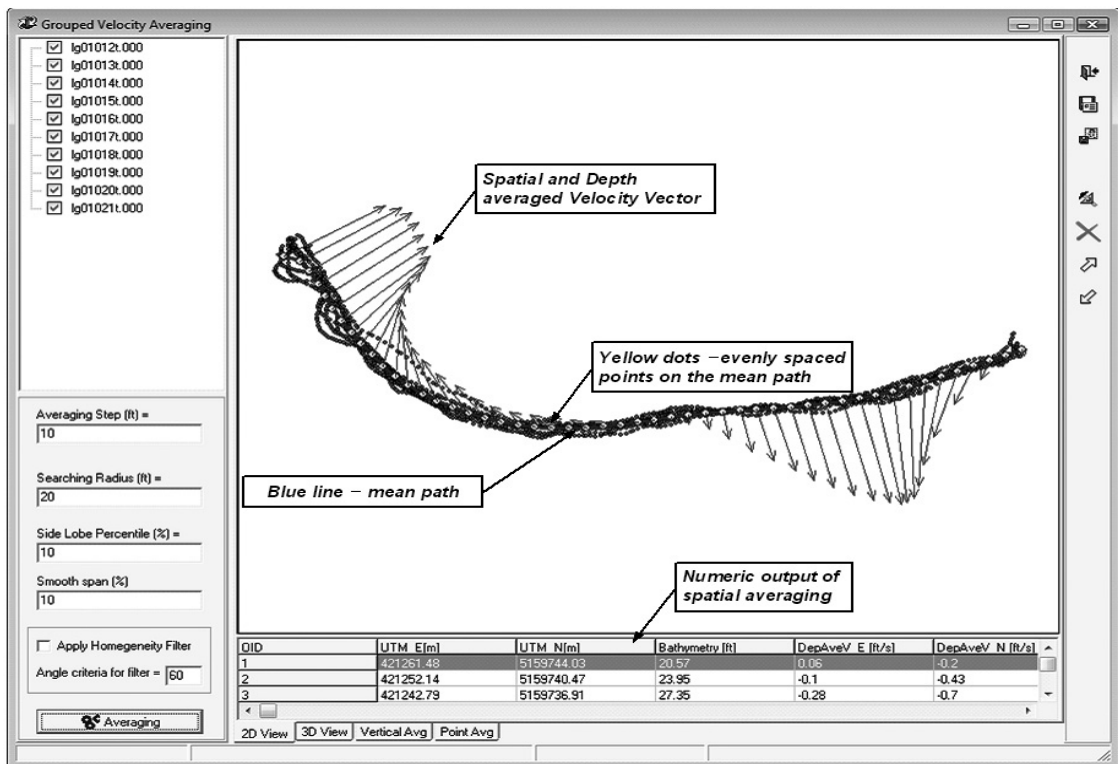


그림 6. 곡선경로를 따른 공간평균 결과

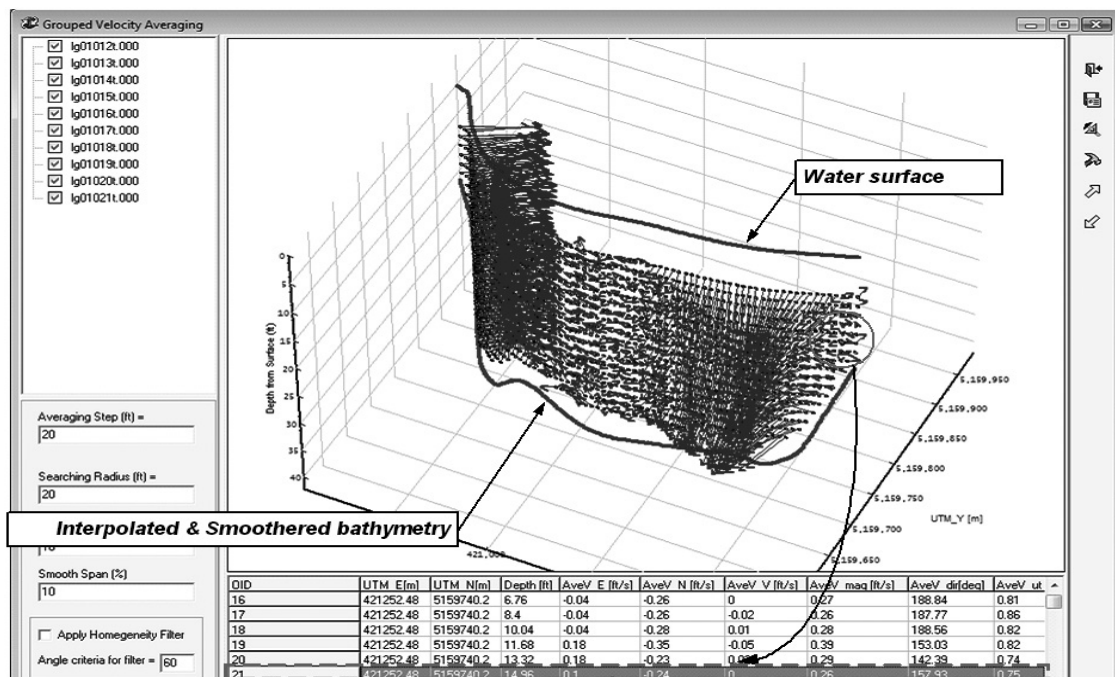


그림 6. 곡선경로를 따른 공간평균 결과(계속)

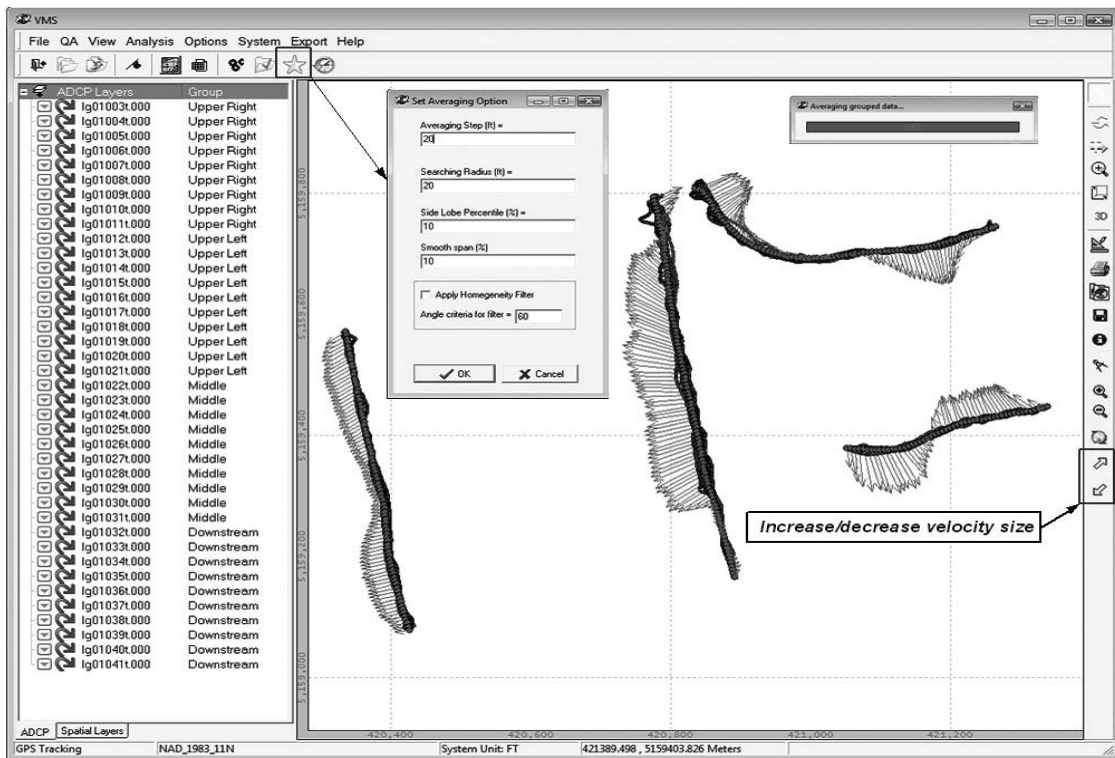


그림 7. 그룹으로 나누어진 복합 경로상의 공간평균 결과 도출 인터페이스

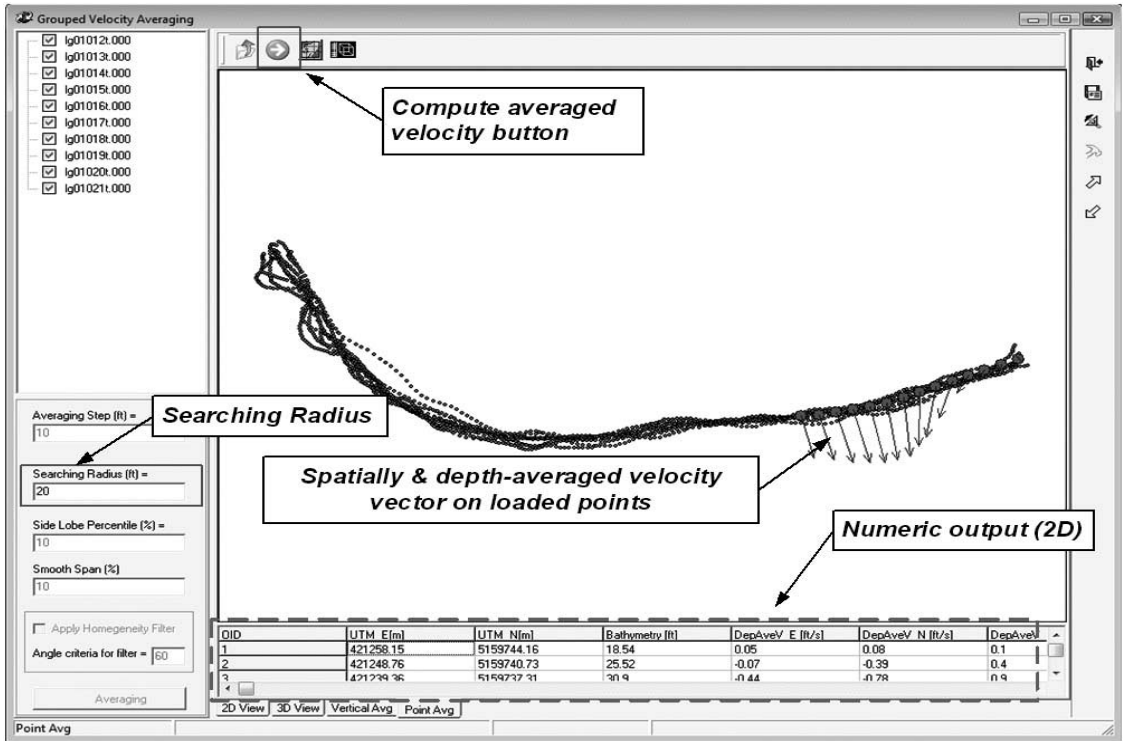


그림 8. 외부 입력된 그리드를 중심으로 수행된 공간평균 결과 도시

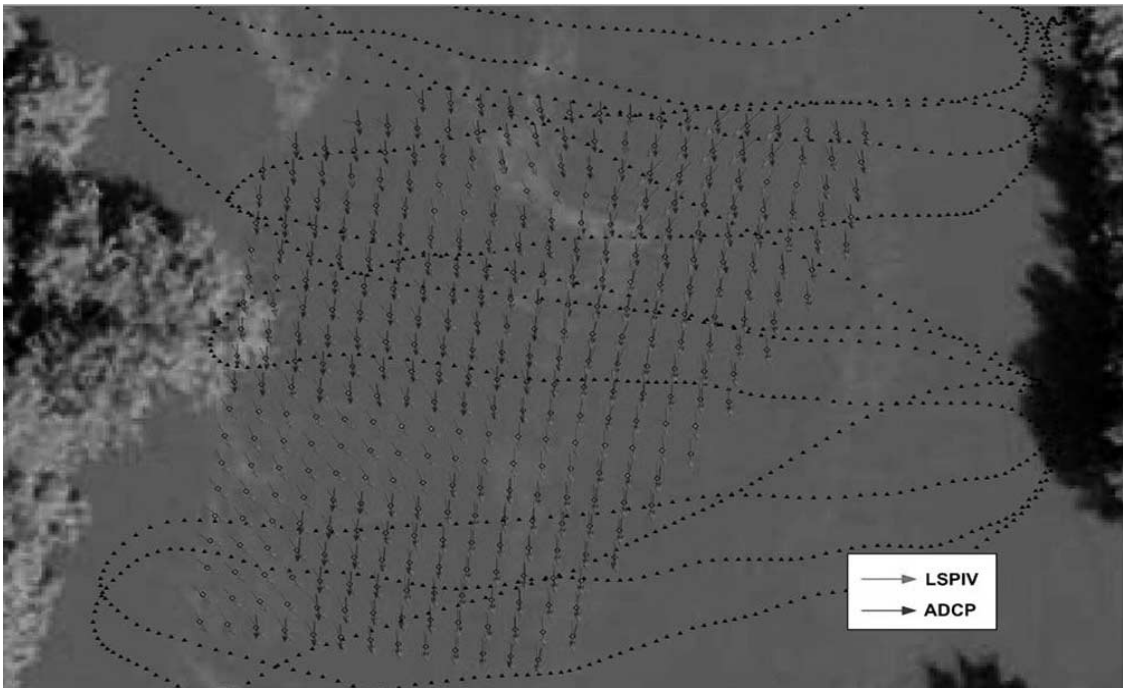


그림 9. 그리드 기반 공간평균된 ADCP 유속장과 LSPIV 측정 유속장의 비교



는 방식이다. 그러나 수치모델링의 계수값을 조정하기 위한 검보정을 위해 사용되는 기준값(Benchmark data)는 매우 제한된 지점의 소수의 자료로 실시되거나 아니면 모델이 정확하다고 가정하고 실자료와 검증 없이 사용되기도 한다. ADCP의 등장 이후에 이러한 2차원 혹은 3차원 수치모델을 검증하는 데 ADCP 유속 자료가 적절하다는 생각이 있어왔으나 지원되는 툴의 부재로 일부 제한된 사용자에 국한되어 사용되어 왔다. 수치흐름해석 또는 계측(예: LSPIV)에 사용된 그리드가 있을 경우 VMS는 지정된 포맷으로 불러오기 기능이 있어 그림 8과 같이 불러온 후 해당 그리드에 대해 공간평균을 실시할 수 있다. 따라서 해당 그리드에서 실시한 수치모델의 결과와 상호비교 가능하다.

그림 9는 수치모델의 결과는 아니지만 이미지표면 유속계(LSPIV)를 활용하여 수표면의 지정된 그리드에서 계측된 유속장과 ADCP의 지그재그 방식으로 측정된 자료를 기반으로 해당 그리드에서 추출된 ADCP 평

균유속과의 비교 결과를 나타내고 있다. 일부 ADCP 자료가 부재한 영역의 경우 LSPIV 그리드에서 유속을 재현하지 못하지만 전반적으로 그리드 기반의 LSPIV의 검증에 사용될 가능성을 제시한다. 수치모델의 결과도 LSPIV와 매우 유사하므로 동일한 방식으로 ADCP 자료를 활용하여 검증을 실시할 수 있다.

3.5. 하상 계측

ADCP는 일반적으로 약 20~25° 기울어진 경사빔을 사용하여 유속 뿐만 아니라 수심도 동시에 측정을 하여 음파수심측정기의 역할을 할 수 있다. 경사빔의 수심 관측 가능 범위는 0.5~45m로 저수심부터 저수지 같은 고수심 측정에도 활용될 수 있다. 그러나, ADCP가 주로 유량 관측에 활용되고 있어 SonTek이나 RDI 등의 제조사는 경사빔의 수심 관측값만 제공하고 경사빔이 포착하는 위치에 대한 정보는 제공하지 않는다. 하상의

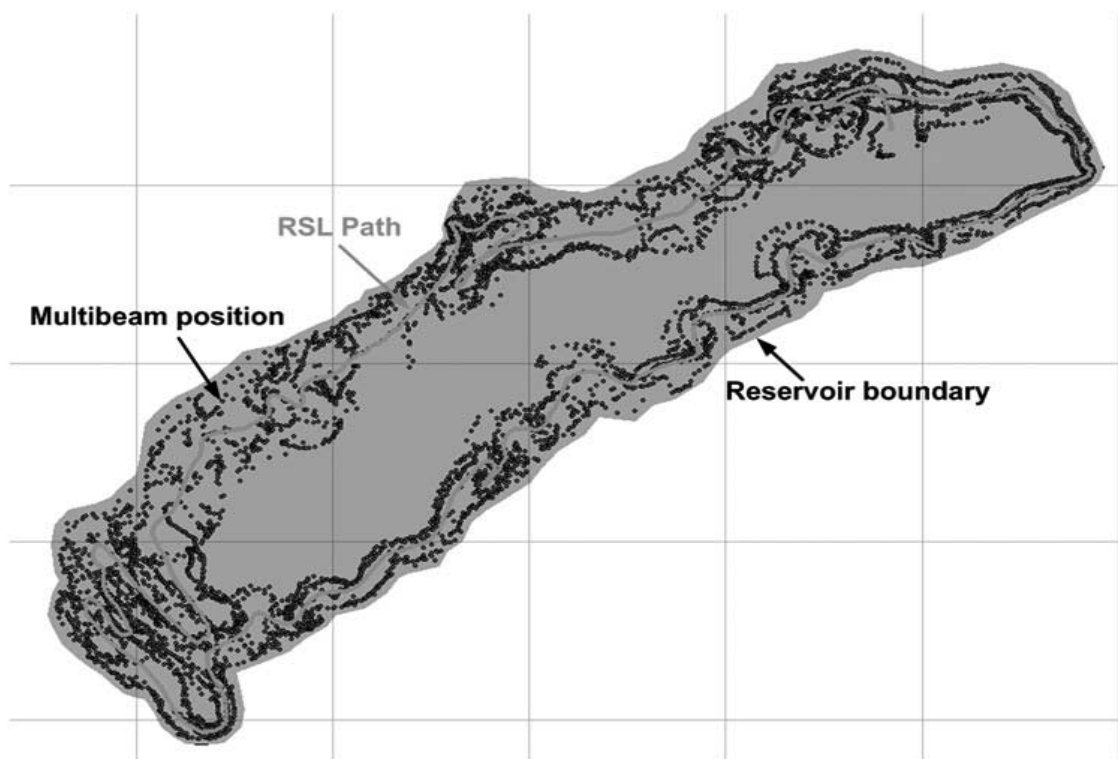


그림 10. ADCP 다중빔을 활용한 수심 관측과 단일빔 수심관측기를 가정한 수심관측과의 비교

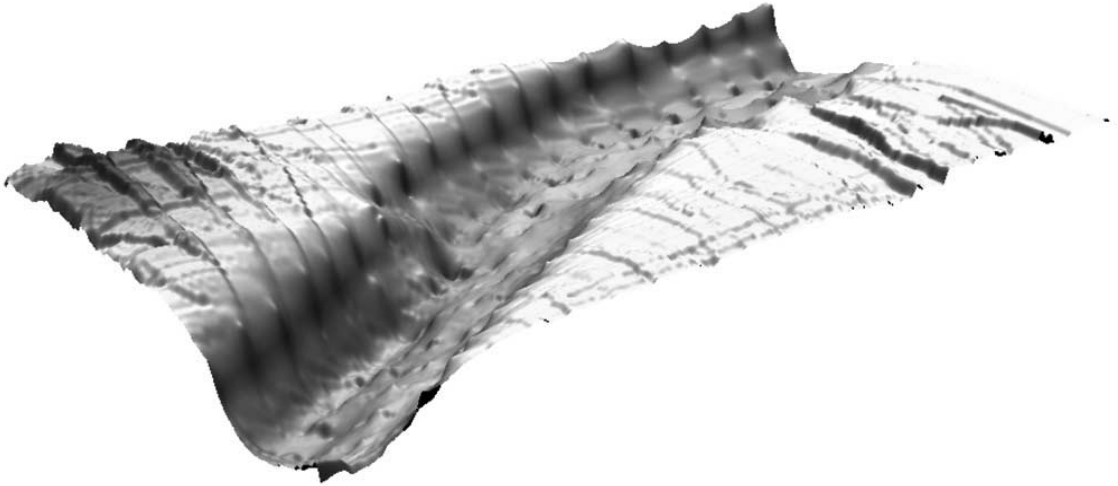


그림 11. 하천 수로에서 ADCP 수심관측 자료를 공간보간한 결과

굴곡이 있을 경우 경사법의 포착위치는 서로 다르고 관측 시 요동(피치나 롤링)이 발생할 수 있어 경사법에 의해 관측된 수심의 공간적인 위치를 도출하기 위해서는 별도의 알고리즘이 적용되어야 한다. VMS는 이러한 요소들을 고려하여 경사법이 포착하는 3차원 공간적인 위치를 산출하는 알고리즘을 제공한다. 또한 음파신호 이상인 경우 3.2절에서 제시한 대로 경사법의 수심의 이상치도 보정을 하여 제공한다. 그림 10은 호수에서 경사법을 사용하였을 경우와 수직법의 음파수심측정기를 사용했을 경우를 비교한 결과를 보여준다. 한번 관측에 4개의 수심자료를 취득할 수 있는 ADCP가 특히 고수심일 경우 훨씬 효율적인 수심관측이 가능함을 보여준다. 그림 11은 하천에서 ADCP 수심 관측자료를 공간보간한 결과를 보여주고 있다.

4. 결론

ADCP의 매우 상세한 유속 및 하상 자료 취득 능력은 하천 계측 분야에서 이전과 비교할 수 없을 정도의 풍부한 정보를 매우 효율적으로 제공한다. 하지만 유량 산정에 제한된 현존하는 소프트웨어의 한계로 다양한 용도로의 이용이 아직 활발하지 않은 실정이다. 본고에서 소개된 VMS는 ADCP 유속 및 하상 자료를 효율적으로 활용할 수 있는 각종 알고리즘을 제공하고 ASCII, GIS shapefile, Google Earth KML 파일 포맷 등으로 전환하여 사용자의 목적에 맞게 자료를 처리할 수 있는 길을 열어주고 있다. 향후 ADCP를 이용한 추가적인 하천계수 산정 등 다양한 방향으로 VMS의 기능을 확장할 예정이다. 🌀