주변지형을 포함한 3차원 하상단면 표출에 관한 연구

A Study on Three Dimensional Expression of River Bed Cross Section Considering Surrounding Topography

정창삼*

Jeong, Changsam

Abstract

Recently the environmental change in river such as channel dredging and weir operation caused by climate change and large scale national project should affect hydraulic and hydrological phenomena. Therefore, study for topographical change and operation/maintenance of facilities in river is necessary. In this study, the method of three dimensional (3D) expression of river bed was proposed using detailed measurement in section with the advanced technique. The remote controlled boat called River Robot for Velocity and Volume (R2V2) was used to measure the detailed measurement. A remote controlled boat R2V2 equipped with ADCP and RTK GPS were integrated to measure bottom geometry, velocity profile, and river discharge simultaneously. Therefore, if river bed is expressed in 3D based on this study, it is possible to plan considering surrounding and river topography when planning of river transverse facilities or structures in river.

Key words : Change of river environment, River bed, Cross section, Three-dimensional expression, ADCP

요 지

최근 기후변화 및 대규모 국가사업으로 인한 하도준설, 보 운영 등의 하천환경 변화는 유역 내 수리·수문현상에 많은 영향을 끼칠 것으로 예상되며, 이로 인하여 하도의 물리적 변화에 따른 하상 및 지형 변동 예측, 하도와 시설물의 운영 및 유지관리 등에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다. 이를 위해 본 연구에서는 첨단 기술을 이용하여 2차원 위치와 수심에 대한 정밀한 측정을 수행하고 이를 바탕으로 3차원 하상단면을 표출하는 연구를 수행하였다. 정밀 측정을 위한 장비로는 자유롭게 이동하며 측정할 수 있는 하천유량 계측보트인 R2V2 (River Robot for Velocity and Volume)를 이용하였다. R2V2는 ADCP 센서와 RTK-GPS 모듈을 장착하여 실시간으로 하천 전단면에 대한 유속, 유량, 하상 등에 대한 자료를 측정할 수 있고, RTK-GPS를 이용하여 정밀한 위치측정이 가능한 장비이다. 향후 본 연구결과를 바탕으로 3차원 하상단면을 표출한다면, 하천 횡단 또는 하천 내 구조물 계획 수립시 주변지형 뿐 아니라 하천 지형도 고려하는 계획 수립이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 하천환경 변화, 하상, 단면, 3차원 표출, ADCP

1. 서 론

우리나라의 한해 수문조사예산은 2008년 기준 연간 256억원, 국가하천정비 사업에 투자되는 예산은 2009년 기준 연간 1조 5천억 원 규모로 기후변화 등의 여건을 감안하면 향후 지속적으로 확대될 것으로 전망되고 있다. 또한 4대강 살리기 사업에 투입된 예산 약 22조원 및 향후 4대강의 운영 및 유지관리를 위해서 지속적으로 투입될 예산을 감안하면 우리나라에서 한해 하천정비 및 관리에 투입하는 예산은 매우 크다고 할 수 있다.

한편 산업화와 도시화에 따른 화석연료 사용의 증가는 이

상기후 및 기후변화를 야기하고 있으며, 이 같은 변화에 더해 4대강 살리기 사업의 추진으로 해당유역 내 수리·수문현상의 많은 변화가 발생될 것으로 예상된다. 구체적으로 하도준설, 보 운영, 생태하천 조성 등에 따른 하천환경의 변화가 예상되나 4대강 살리기 사업과 같은 수계전반에 걸친 구조물 설치 및 하상준설 사례는 국내 뿐 아니라 해외에서도 매우 드물기 때문에 이로 인한 하도의 물리적 변화에 따른 하상 및 지형변동 예측, 하도와 시설물의 운영 및 유지관리 등에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다. 특히 4대강 살리기 사업은 하천정비사업의 주목적인 홍수예방 기능을 강화하기 위해 수십 년 동안 하도에 쌓였던 퇴적토 5.2억m³를 준설하여

*교신저자. 정회원, 인덕대학교 토목환경설계공학과 조교수(Tel: +82-2-950-7579, Fax: +82-2-950-7567, E-mail: csjeong@induk.ac.kr)
Corresponding Author: Member, Assistant Professor, Department of Civil & Environmental Engineering

계획홍수위를 0.4~3.9 m 저하시킴으로써 치수안전도를 100년에서 200년 빈도로 높일 예정으로, 이에 따른 하상 및 지형변동을 예측하는 기술은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 그러나 우리나라의 기존 국가사업에서 계측장비 및 방법에 대한 정확도 향상 기술, ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) 등 새로운 장비의 도입 및 활용 기술 등을 개발하여 보급하고 있으나, 계측장비나 계측결과의 활용방법과 관련된 구체적인 기술은 개발되지 못하고 있는 상황이며, 실제 현장 적용을 위한 해결과제가 여전히 남아 있다. 다시 말해 smart 시장과 기술의 등장으로 LBS(location based service) 등과 관련된 첨단 기술의 발달이 최근 몇 년 동안 급속도로 진행되고 있는 반면, 하천조사 분야에서 이를 체계적으로 활용하고 운영할 수 있는 연구가 절실한 상황이나 상대적으로 많지 않았으며, 홍수 방어, 피해조사 자동화, 댐 운영 등의 일부 분야에서 국한된 내용을 중심으로 수행되어 온 실정이다. 이를 하천조사 분야로 확대하기에는 한계가 있음에도 불구하고 이러한 문제점에 대한 연구 및 기술 개발이 부족한 실정이며 해외 기술의 도입 또한 매우 제한적으로 이루어져 왔으므로 4대강 살리기 사업 이후에 활용될 수 있는 최첨단 기술을 전체 유지관리에 실질적으로 활용하는데 많은 기술적인 한계가 있다. 현재 하천조사, 특히 하상조사의 경우 하천정비계획이나 각 하천관련 사업주체의 측정, 하천횡단 구조물 계획시 수심측량을 통해 이루어지나, 시간 및 비용 등의 한계로 인하여 연속된 측정이 아니라 수십에서 수백 m 간격으로 이루어지고 있다. 이로 인해 하천의 흐름영향 검토시 하천단면 자료의 불연속성으로 인해 오차는 내포될 수밖에 없으며, 결과의 정확성 역시 상대적으로 떨어질 수밖에 없다.

한편 국내에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연구가 있었는데, 강창모(1996)가 위성영상과 수문 분석 자료를 포함한 GIS 통합관리와 GPS를 하천측량에 적용하는 연구를 발표한 바 있으며, 박요섭(1996)은 해저면의 측량과 해저면지형의 맵핑처리 방법에 Seebeem 음향측심기를 적용하여 해저 및 하저의 관측모형을 생성하는 방법에 대해 연구하였다. 서정훈 등(2002)은 GPS와 음향측심기의 조합하여 수체의 체적을 산정하는 방법에 대해 발표하였으며, 이동락(2006)은 DGPS, RTK-GPS와 음향 측심기의 조합해석에 의해 하구부근의 하상 모니터링에 적용하였다. 강길선 등(2004)은 RTK-GPS와 음향 측심기 조합계측을 통하여 얻어진 수치표고모형의 정확도에 대하여 연구하고 수체의 체적 계산을 통한 댐의 저수량 산정, 유사량 변화탐지를 통한 정밀한 준설량 계산, 수공 구조물에 대한 엄밀한 모니터링, 정밀 시공측량 등에 요구되는 매우 높은 정확도의 3차원 위치 결정이 RTK-GPS와 음향 측심기 조합계측을 통해 가능함을 보였다. 이재원 등(2005)은 RTK-GPS와 음향측심기를 이용하여 저수지의 저수량을 산정하고 3차원 시각화를 통해 결과를 표출하였다. 이와 같이 하천측량에서 3차원 자료의 획득을 위해 GPS 및 음향측심기 등의 조합계측방법을 이용한 다양한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 첨단 기술을 이용하여 측정 구간을 조밀하게 측정하고 이를 바탕으로 3차원 하상단면을 표출하는 연구

를 수행하였다. 이를 위해 하천을 자유롭게 이동하며 유속, 유량, 하상단면 등을 측정할 수 있는 하천유량 계측보트로써 과학기술부/건설교통부 연구개발과제에서 개발되고 검증된 장비인 R2V2를 이용하였다. R2V2는 ADCP 센서와 RTK-GPS 모듈을 장착하여 실시간으로 하천 전단면에 대한 유속, 유량, 하상 등에 대한 자료를 측정할 수 있고, RTK-GPS를 이용하여 정밀한 위치측정도 가능하므로 R2V2를 이용하여 측정된 자료를 GIS에서도 활용이 가능하며 무선 조종 시스템을 기본으로 갖추고 있어 사람의 접근이 어려운 지역에 접근이 자유로워 하천 조사를 효율적으로 수행할 수 있는 장비이다. 이와 같이 조밀한 간격으로 이루어진 측정 자료를 이용하여 3차원 하상단면을 표출하면 향후 하천 횡단 또는 하천 내 구조물 계획 수립시 주변지형 뿐 아니라 하천 지형도 고려하는 계획 수립이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

2. 3차원 하상측정 및 분석

2.1 측정 및 표출 원리

본 연구에서는 3차원 하상측정을 위해 9개의 Transducer가 내장되어있는 M9 센서를 이용한 ADCP와 R2V2를 이용하였다. R2V2는 하천을 자유롭게 이동하며 유속, 유량, 하상단면 등을 측정할 수 있는 하천유량 계측보트로 RTK-GPS 모듈을 장착하여 정밀한 위치측정이 가능하다. 3차원 하상을 측정하기 위해서는 Fig. 1과 같이 2차원 평면상의 정확한 위치와 하상에 대한 수직방향 측정이 요구된다. ADCP에서 자체적으로 생산되는 Bottom Tracking 정보는 하천에서 저질의 이동이 없을 때 정확하게 측정위치를 추적할 수 있지만 저질이 이동하거나 측선거리가 한계를 초과할 경우에는 R2V2에 탑재한 RTK GPS를 이용하여 생성한 위치정보를 2차원 평면상의 위치자료로 결정한다.

2.2 현장측정 및 3차원 하상 표출

현장측정은 낙동강의 강정보와 달성보 사이 금포천 합류 이후 약 1 km 구간에 대하여 수행하였다. 다음 Fig. 2는 현장측정구간의 위치를 나타낸 것이며, Fig. 3은 현장 측정시 실제 측정이 이루어진 포인트 및 측정이 이루어진 측정경로를 나타낸 그림이다. 측정은 약 1 km 구간에 대하여 80 m 간격의 22단면을 측정하였으며 약 26,000개의 측정점이 생성되었다.

측정된 결과는 SonTek에서 제공하고 있는 RiverSurveyor Live 프로그램을 이용하여 데이터베이스화하고 후 처리를 위한 기초 자료를 생성하였다. 3차원 데이터베이스를 구축하기 위해 평면 위치정보와 수심정보를 스프레드시트 형식으로 생성하였으며 3차원 연속하상을 표출하기 위해 Matlab 형식으로 측정 자료를 변환하였다. 3차원 연속하상 표출은 Matlab Developer를 이용하여 개발한 Bathymetry & Volume 프로그램을 이용하였다. ADCP M9센서와 RTK-GPS를 통해 측정된 자료를 Fig. 4와 같이 원자료 표출, 정확한 수심분포 작성을 위한 좌표 수정, 최종 연속하상 표출의 순서로 3차원 연속하상 표출하고 하천의 체적을 계산한다.

Fig. 1. Location Information of R2V2

Fig. 2. Site Location

Fig. 3. Measurement Path

(a) Raw Data (b) Modified Coordination (c) Continuous River Bed

Fig. 4. Expression Process of 3D Continuous River Bed Using Measurement Result

3. 적 용

측정 자료의 3차원 표출을 위해 각 측정에서의 결과를 이용

주변지형을 포함한 3차원 하상단면 표출에 관한 연구

하여 3차원 interpolation을 수행하였으며, 3차원 interpolation 방법으로 Natural Neighbor 법을 이용하였다. Natural Neighbor 법은 Sibson(1981)에 의해 개발된 공간 근사법으로

계산 속도와 정확도에서 균형적이라 평가되고 있다. 향후 대용량의 자료를 처리해야 할 상황을 고려하여 본 연구의 3차원 공간 근사법으로 선택하였다. Natural Neighbor 법은 각 측정마다 보로노이 다각형을 구성하고 구성된 보로노이 다각형에 해당하는 체적이 추가된 좌표점(x, y)에 의해 구성된 보로노이 다각형에 의해 빼앗기는 체적을 가중치로 부여하고 최종적으로 추가된 좌표점에 의한 보로노이 다각형을 제거하는 방법으로 3차원 공간을 구성하는 방법이다. Natural Neighbor 법을 2차원으로 간략화한 기본방정식은 다음 Eq. (1)과 같다(Boissonnat and Cazals, 2001).

$$G(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i f(x_i, y_i) \quad (1)$$

여기서 $G(x,y)$ 는 좌표점 (x,y)에서의 추정치이며, w_i 는 가중치, $f(x_i, y_i)$ 는 측정점 (x_i, y_i)에서 측정된 자료이다.

3.1 임의의 단면에 대한 종횡단면도 추출

Natural Neighbor 법으로 구성한 3차원 하상에 임의의 종횡단 측선을 가정하고 각 측선에서의 단면자료를 추출하였다. 하천정비기본계획 및 하천 내 시설물 계획에 필수적인 측량 자료인 하천에 수직방향 횡단면을 100 m 간격으로 추출하였으며 하천중심선과 유심선을 따라 하천 종단면을 추출하였다. Fig. 5에 3차원으로 구성된 하상평면과 하천의 종횡단면을 추출하기 위한 측선을 표시하였다. 하천기본계획에서 설정한 측

Fig. 5. Contour Map and Sections Considered in This Study

선과 일치하지 않는 횡단선에 시설물을 계획할 경우 별도의 현지 측량이 필수적이거나 본 연구에서 제시하고 있는 방법을 이용한다면 간단한 작업으로 현지 측량과 같은 측량성과를 Fig. 6과 같이 쉽게 구할 수 있다. 한편, Fig. 7은 하천중심선과 유심선을 따르는 하천의 종단도로써 기존의 하천 측량 방법의 성과를 이용한 종단도는 횡단측량 간격의 거리마다 단절된 선형을 보이거나 본 연구 성과를 이용한 종단도는 연속

Fig. 6. Arbitrary Cross Section

Fig. 7. Arbitrary Longitudinal Section

된 종단하상을 표현할 수 있다. 하천의 흐름특성을 파악하고 정밀한 준설량을 계산할 수 있는 장점이 있다.

3.2 주변지형을 포함한 3차원 하천지형

본 연구 결과를 바탕으로 연구 결과의 적용성을 살펴보기 위해 기존 수치지도와의 병합을 수행해 보았다. 기존 수치지도와의 병합을 통해 하천을 횡단하는 도로, 보, 댐 등의 시설물 설치에 대한 계획 수립 시 별도의 측량을 거치지 않고 계획자가 원하는 임의의 단면에 대하여 하천주변 지형을 포함한 하천 횡단을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

R2V2에서 생성되는 2차원 위치정보는 WGS84 타원체를 사용하는 UTM 좌표계로 제공된다. GRS80 타원체를 사용하는 TM 좌표계로 제작되어있는 국내 수치지형도와 병합하기 위해서는 좌표변환 과정이 필요하다. 대상지역의 수치지도는 국토지리정보원에서 제공하는 1:5000 수치지형도를 이용하였으며 좌표변환 프로그램인 NGI를 이용하였다. 수치지도와 3차원 하상 측정자료를 병합하는 과정을 Fig. 8에 나타내었다. 보다 정확한 병합을 위해 측정된 자료를 표출한 윈도우를 설정하고 수치지도상의 특이점에 일치시키는 방법을 이용하였다. 주변지형과 하상을 병합한 3차원 하천지형은 Fig. 9와 같다.

Fig. 8. Merger between Existing Numerical Map and River Bed Contour Map

주변지형을 포함한 3차원 하상단면 표출에 관한 연구

Fig. 9. 3D Expression Result of Surrounding Topography and River Bed

4. 결 론

본 연구에서는 ADCP M9센서와 RTK-GPS를 탑재한 R2V2를 이용하여 위치자료와 수심자료를 측정하여 3차원 하상을 구성하였다. 원격조정으로 제어되는 측정장비를 이용하여 5.2측점/100 m²의 해상도로 정밀한 측정을 수행하였으며 Bathymetry & Volume 프로그램과 Natural Neighbor 법을 이용하여 3차원 하천지형을 구성하였다. 기존 하천 측량 방법의 단점과 제한적인 활용방안을 개선하기 위한 본 연구 결과의 활용방안을 제시하였으며, 하천 계획자 또는 설계자가 원하는 지점에서 3차원으로 구성된 하상으로부터 임의의 중 횡단면을 추출하여 추가적인현장측량 없이 효율적으로 하천 중횡단면 측량성과를 생산 할 수 있음을 보였으며, 하천을 포함한 주변의 종합적인 계획에 적용할 수 있도록 주변지형을 포함한 3차원 하천지형을 구성하는 방안을 제시하였다. 추 후 연구과제로는 향후 보다 많은 측정 성과와 공인된 측량성과를 활용하여 정확도 해석과 최적의 측정 경로, 측정 간격, 관측량 등에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 인덕대학교 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

References

- Boissonnat, J.-D. and Cazals, F. (2001) Natural neighbor coordinates of points on a surface, *Computational Geometry: Theory and Applications*, Vol. 19, No. 2-3, pp. 155-173.
- Kang, C.M. (1996) *Application of GIS for River Survey and Management*, masters degree dissertation, Yeungnam University.
- Kang, G., Sung, C., and Cho, K. (2004). 3-Dimension Positioning to Combined RTK-GPS and E/S Observation. *Journal of Korean Society Of Cadastre*, the Korean Society Of Cadastre, Vol. 20, No. 1, pp.111-124.
- Kim, E.S. and Choi, H.I. (2009) Verification and Application of Velocity Measurement Using Price Meter and ADCP. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 9, No. 3, pp. 101-106.

- Lee, D. (2006) Estuary Riverbed Monitoring Combined by GPS and Echo Sounder, *Journal of the Korean Geophysical Society*, Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists, Vol. 9, No. 2, pp. 105-112.
- Lee, J.O., Park, U.Y., Yang, Y.B., and Kim, Y.S. (2005) 3D Modeling Shape Embodiment and Efficiency Analysis of Reservoir that using RTK-GPS and E/S, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information System*, the Korean society for geo-spatial information system, Vol. 13, No. 1, pp. 11-17.
- Park, Y. (1996) *Development of Sea-bed Mapping System for Processing Multi-beam Echo Sounding Data*, masters degree dissertation, Inha University.
- Seo, J.H., Seo, D.J., and Lee, J.C. (2002) Calculation of Reservoir Capacity by Combination of GPS and Echo Sounder, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information System*, the Korean society for geo-spatial information system, Vol. 10, No. 1, pp. 27-35.
- Sibson, R. (1981) *A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation (Chapter 2)*. In V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester: John Wiley. pp. 21-36.
-
- © Received March 28, 2013
 © Revised April 5, 2013
 © Accepted April 29, 2013