



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2017年 2月
박사학위논문

하천과 연안 지형측량 DB구축 및 활용

조선대학교 대학원

토목공학과

이정환

하천과 연안 지형측량 DB구축 및 활용

Construction of Stream and Coastal Surveying
Database and Application

2017년 2월 24일

조선대학교 대학원

토목공학과

이정환

하천과 연안 지형측량 DB구축 및 활용

지도교수 박 상 준

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함

2016년 10월

조선대학교 대학원

토목공학과

이 정 환

이정환의 박사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 朴 吉 鉉 (인)

위 원 송원대학교 교수 高 濟 雄 (인)

위 원 조선대학교 교수 金 雲 中 (인)

위 원 조선대학교 교수 朴 正 雄 (인)

위 원 조선대학교 교수 朴 祥 濬 (인)

2016년 12월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서론	1
1.1 연구배경과 목적	1
1.2 연구 동향	3
1.3 연구방법과 범위	5
제 2 장 하천과 연안 지형자료 탐측장비의 원리	6
2.1 Echo Sounder	6
2.1.1 음파의 특성	6
2.1.2 음파의 전달속도	7
2.1.3 도플러효과	11
2.2 SBES	16
2.2.1 측정원리	16
2.2.2 오차요소	17
2.3 MBES	19
2.3.1 측정원리	19
2.3.2 시스템 오차분석	20
2.4 LiDAR	26
2.4.1 역사	26
2.4.2 측정원리	27
2.4.3 장비구성	31

2.5 ADCP	33
2.5.1 역사	33
2.5.2 측정원리	34
2.6 SHOALS	39
2.6.1 역사	39
2.6.2 측정원리	40
제 3 장 하천과 연안 지형탐측 국내 사례 분석	45
3.1 하천과 연안 지형탐측	45
3.1.1 측량계획	48
3.1.2 지형측량	48
3.2 하천과 연안 지형탐측 현황	51
3.2.1 하천기본계획을 위한 하천측량	51
3.2.2 수자원·환경 기초조사를 위한 하천측량	53
3.2.3 댐 퇴사량 조사	56
3.3 하천과 연안 지형탐측 자료의 확보	57
3.3.1 기존 하천과 연안 지형탐측 자료	57
3.4 국내 탐측사례	61
3.4.1 LiDAR와 MBES 탐측장비	61
3.4.2 ADCP 탐측장비	66
3.4.3 SHOALS 탐측장비	69
3.4.4 사례별 탐측장비 측정결과 비교	71
제 4 장 최적 하천과 연안 지형탐측 장비 선정 및 데이 터베이스 구축 방안	76

4.1 하천과 연안 지형탐측 장비의 비교	76
4.1.1 하천과 연안 특성을 고려한 탐측장비	76
4.1.2 탐측장비 정확도 비교 분석 결과	81
4.1.3 사례별 탐측장비 정확도 종합 비교 분석	81
4.2 최적 하천과 연안 지형탐측 장비 선정	84
4.2.1 하천과 연안 지형 관측을 위한 하천지형 탐측	85
4.2.2 댐 퇴사량 조사	86
4.3 하천과 연안 지형탐측 자료 데이터베이스 구축 방안	91
4.3.1 하천과 연안 지형탐측 자료 관리의 문제점	91
4.3.2 하천과 연안 지형탐측 자료 데이터베이스 구축 방향	92
4.4 수리분석모형에 활용할 자료 확보 방안	94
4.4.1 하천과 연안 지형탐측 자료를 이용한 3차원 지형자료 구축	98
제 5 장 결론	99
참고문헌	101

표 목 차

표 2.1 SHOALS 모듈 현황 및 특징	44
표 3.1 등고선 간격 기준	49
표 3.2 수심측량 오차 허용범위	50
표 3.3 측심위치 결정시 활용 장비	50
표 3.4 하천법상 하천의 분류	51
표 3.5 하천측량 범위	54
표 3.6 하폭에 따른 횡단측량 측정간격	54
표 3.7 기본지리정보 하천분야 데이터 모델의 항목	59
표 3.8 기본지리정보 하천분야 속성정보	60
표 3.9 캘리브레이션 보정량	62
표 3.10 GPS 측량과 LiDAR 측량의 측정결과	63
표 3.11 MBES 측량의 측정결과	64
표 3.12 IHO 등급별 수심측량 비교	65
표 3.13 하상추적 방식 측정결과	67
표 3.14 연직 빔 방식 측정결과	68
표 3.15 LiDAR 및 SHOALS 제원	69
표 3.16 자료 취득 현황	70
표 3.17 수치지도, SHOALS, LiDAR 측정결과	70
표 3.18 SBES와 SHOALS 측정결과	71
표 3.19 GPS 측량과 LiDAR 측량의 측정결과 비교	72
표 3.20 하상추적 방식 측정결과 비교	73
표 3.21 연직 빔 방식 측정결과 비교	74
표 3.22 수치지도, SHOALS, LiDAR 측정결과 비교	75
표 3.23 SBES와 SHOALS 측정결과 비교	75
표 4.1 수심측정 장비별 특징 비교	79
표 4.2 수심측량 방법 비교	80
표 4.3 탐측장비별 오차량 비교 분석 결과	81
표 4.4 탐측장비별 상대오차 비교 분석 결과	82

표 4.5 토탈스테이션에 의한 하천 횡단측량 단위비용	86
표 4.6 DEM 공간해상도별 표고오차의 범위	87
표 4.7 하천지형 탐측장비별 사업 비교 결과	88
표 4.8 지형별 최적 탐측장비 적용 비교 결과	90
표 4.9 하천 수리분석모형 비교	94
표 4.10 차원별 수리분석모형 비교	96

그림 목 차

그림 2.1 유체 내 음파에 의한 압력교란 및 변위	6
그림 2.2 음파의 구성	8
그림 2.3 음파의 주파수 영역	9
그림 2.4 수심에 따른 수중 음속의 변화	10
그림 2.5 Bar-Check	11
그림 2.6 음원이 정지한 상태에서 관측자가 움직이는 경우 도플러 현상	13
그림 2.7 관측자가 정지한 상태에서 음원이 이동하는 경우 도플러 현상	16
그림 2.8 SBES 측정원리	17
그림 2.9 불규칙한 하상의 음향측심	18
그림 2.10 경사진 하상의 음향측심	18
그림 2.11 기울어진 배에서의 SBES 측정원리	19
그림 2.12 MBES 측정원리	20
그림 2.13 빔지향각과 경사거리로 구성된 i번째 소나벡터	24
그림 2.14 빔 전달 경로 추정	24
그림 2.15 LiDAR 시스템 측정원리	27
그림 2.16 LiDAR 시스템 장비구성	28
그림 2.17 연속파레이저의 위상차에 의한 거리관측 원리	30
그림 2.18 펄스레이저의 거리관측 원리	30
그림 2.19 LiDAR 시스템의 거리관측 원리	30
그림 2.20 레이저 footprint의 정의 (a),(b),(c) 및 swath width (d)	31
그림 2.21 ADCP 관측방법(정지관측)	35
그림 2.22 ADCP 관측방법(이동관측)	35
그림 2.23 ADCP 장비장착	35
그림 2.24 ADCP 관측	35
그림 2.25 ADCP의 유량측정 가능영역	37
그림 2.26 하상추적의 긴 송신 펄스와 짧은 송신 펄스의 차이	38
그림 2.27 SHOALS의 작동원리	40
그림 2.28 SHOALS 수심측량 모식도	40

그림 2.29 SHOALS 측정원리	41
그림 3.1 하천의 형상 및 관련용어	46
그림 3.2 하천의 단면형상	46
그림 3.3 일반적인 하천측량의 작업 흐름도	47
그림 3.4 하천 종·횡단측량(4km구간) 세부절차	55
그림 3.5 GPS를 이용한 기준점 측량	56
그림 3.6 레벨 및 토탈스테이션을 이용한 횡단측량	56
그림 3.7 SBES 및 수심관측 전경	57
그림 3.8 기본지리정보 하천분야 데이터 모델	59
그림 4.1 탐측장비별 오차범위 비교 결과	83
그림 4.2 최적 탐측장비 선정 흐름도	85
그림 4.3 DEM 공간해상도별 오차량 변화	87
그림 4.4 하천 지형자료 데이터베이스 구축 방향	93
그림 4.5 하천기본계획의 하천횡단면 자료현황	95
그림 4.6 HEC-RAS 지형자료(횡단자료) 입력 형식	95
그림 4.7 하천지형자료로부터 하천 횡단면 정보 추출	97
그림 4.8 수치표고모형 제작 과정	98

ABSTRACT

Construction of Stream and Coastal Surveying Database and Application

Lee, Jung Hwan

Advisor : Prof. Park, Sang-jun, Ph. D.

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

Decades later, many countries in the world will be expected to be ones with water shortages. These days, the need of water resources management is getting much higher every day and stream, coast, dam, river, and reservoir are to be one of the main infrastructures for water resource management. For example, river has positive roles for damage prevention and nature protection, so it is very important to figure out the current state of water resources. Especially, surveying techniques which furnish the basic data of current state of water resources are significantly important.

The objectives of the study is to investigate and analyze the latest techniques of river topography data sounding operation technique for the construction of stream and coastal topographical data which is a base of hydrological investigation, and set the direction available to apply the sounding operational techniques for the practical usages.

Accordingly, the methodology and range of this research can be summarized as below.

a) The accuracy and economic efficiency is analyzed after conducting investigations such as the current state of sounding techniques and domestic

examples which utilized those techniques.

b) The desirable optimum operational technique is proposed for water resources such as stream, coast, river, dam and reservoir.

c) The direction of database construction of topographical data is suggested for the improvement of efficiency and security.

This research drew some results from the investigation of the state-of-practices and the principles of surveying techniques and made some conclusions as follows.

a) Single Beam Eco Sounder (SBES) which has been generally used is efficient from the equipment's economic feasibility and operational availability perspectives especially for the cases of stream and coast, the availability of running ship and the necessity of lateral-profile.

b) The use of Multi Beam Eco Sounder (MBES), a precise terrain observation equipment that has higher point density than plane unit, is a reasonable technique for the precise grasp of topographical state of deep level water resources such as reservoir, and etc.

c) The use of total station is an efficient way, if water level is partially low. Total station can also be used for general purposes in precise terrain observations in small areas, such as lateral-profile outcome on each certain section, installation of water intake station, and aggregate extraction.

d) A connecting process between water flow rate and topography survey is required to observe the rate of flow. Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) is a representative survey technique to observe those two at the same time. When the equipment is operated properly after considering the work field conditions and the state of flow, ADCP will be a very efficient survey method as the river topography survey for the river flow rate measurement.

e) Land topography data are dependent on a digital topographic map or a leveling outcome, but there is a limit. The water level survey could furnish only rough topographic cross-section but could not reflect the frequently changeable river topography after flood. Therefore, it is reasonable to make a connection to the water level topography by making an aerial laser scanning survey (LiDAR) for

topography data construction on surrounding area.

f) Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey (SHOALS) makes it possible to have coherence in the data by obtaining topography data of land and river in large area at once. SHOALS is more economical and efficient than MBES. Also, SHOALS is to make it possible to obtain uniform topography data even in the large area where it has big topographic undulating of water level. Therefore, in an area whose river topography has big undulating like lakes and marshes or where has a low water level, a water flow rate and a high transparency of water.

제 1 장 서론

1.1 연구배경과 목적

하천이라 함은 지표면에 내린 빗물 등이 모여 흐르는 물길로서 공공의 이해에 밀접한 관계가 있어 하천법의 구분에 따라 국가하천 또는 지방하천으로 지정된 것을 말하며, 하천구역 및 하천시설과 함께 하천법에 정의되어 있다.

국가하천은 국토보전상 또는 국민경제상 중요한 하천으로서 유역면적 합계가 $200km^2$ 이상인 하천이나 다목적댐의 하류 및 댐 저수지로 인한 배수영향이 미치는 상류의 하천, 유역면적 합계가 $50km^2$ 이상이면서 $200km^2$ 미만인 하천으로서 인구 20만명 이상의 도시를 관류하거나 범람구역 안의 인구가 1만명 이상인 지역을 지나는 하천 또는 다목적댐, 하구둑 등 저수량 $500km^2$ 이상의 저류지를 갖추고 국가적 물이용이 이루어지는 하천과 상수원보호구역, 국립공원, 유네스코 생물권 보전지역, 문화재 보호구역, 생태·습지보호지역을 관류하는 하천, 그 밖에 범람으로 피해가 일어나는 지역으로서 국가에서 별도로 지정한 하천 등이 포함되고, 지방하천은 지방의 공공이해와 밀접한 관계가 있는 하천으로서 해당관할 광역단체에서 그 명칭과 구간을 지정하는 하천을 말한다(국토교통부, 2016).

본격적인 하천이용은 국가체계가 성립된 삼국시대 이후로 유추되고 있는데, 삼국사기에 의하면 이미 서기 330년에 김제군의 벽골제에 관한 기록이 보이며 그 이전에도 신라, 백제의 여러 왕들이 명을 내려 제방을 수리하게 한 기록이 있다. 고려 초 1243년에는 해면간척을 위해 강화도에 제방을 쌓았다는 기록이 있으며 이조시대에는 홍수방제를 위하여 큰 하천연변에 제방공사가 시행된 것으로 되어 있다. 현재 남아있는 제방, 보, 교량 등 하천구조물의 옛 유적과 기록으로부터 당시 선인들이 하천에 기울인 노력을 짐작할 수 있다. 조선시대에 하천조사 역사에서 빼놓을 수 없는 자랑거리로는 세종조에 이룩한 치적을 꼽을 수 있다. 기록에 의하면 세종 24년에 최초로 측우기를 제작하여 각 도에 설치하여 관측케 한 사실은 잘 알려져 있으며, 수위표에 의한 하천수위 관측도 이 무렵에 이루어졌다(최내인, 2009).

현대적인 의미에서 하천조사의 첫 시작은 일제강점기인 1910년 초반에 와서야 이루어지게 되었다. 이 시기에 처음으로 하천개발의 기본이 되는 수문관측을 체계적으로 시행하기 위해 전국 주요하천에 수문관측시설을 설치하였다. 1914년부터 1927년까지에

는 전국 14개 주요하천에 대한 치수조사를 시행하고 하천개수계획을 수립하였으며 1928년에는 조사결과를 종합하여 하천조사서를 발간하였다. 당시 수립된 하천개수계획은 하천연안 토지의 이용도를 높이고 홍수방재를 목표로 한 치수일변도의 보수공사에 치중하였으며 주로 제방축조에 의한 유로(流路) 고정방식을 채택하고 있다.

일제 말기에는 한반도를 대륙침략을 위한 병참기지화 하면서 수력발전, 관개 및 생공용수 등 이수(利水)면에서의 수요가 증가되었다. 이를 위하여 치수(治水)계획과는 별도로 국지적인 수요에 대처하여 포장수력조사와 용수원 개발을 위한 조사가 시행되고 이에 따라 단일목적의 수자원 개발이 시행되었다. 그러나 이 시기까지는 홍수에 의한 하천의 범람을 막기 위한 치수사업과 농업, 공업 및 생활을 위한 이수사업이 기초가 되어 하천의 지형조사 보다는 하천의 수위조사에만 국한되어 있었고, 단지 교량 등의 건설 사업을 위한 횡단면 조사 등이 있을 뿐이었으며, 이러한 경향은 2차 세계대전, 해방과 6.25 동란을 거치는 대혼란기와 전쟁복구에 여념이 없던 1960년대 초까지도 계속되었다(최내인, 2009).

실제적인 하천 지형조사는 해방 이후 정부에서 제 1차 경제개발 5개년 계획이 성공적으로 진척됨에 따라 당시 정부의 경제정책의 목표였던 자립경제 달성, 식량 자급자족, 공업의 고도화 및 민생안정을 위한 기반조성을 위해서는 효율적이고 종합적인 수자원 개발이 필요하다는 인식하에 1965년에 수자원개발 10개년 계획을 수립하고 1966년에는 한강유역조사사업을 필두로 낙동강, 금강, 영산강 등의 4대강 유역에 대한 전반적인 유역조사를 실시하면서 이루어지게 되었다. 이후 수자원에 대하여 다양한 형태의 필요성과 활용방안이 대두되었고, 하천 개발과 이용 면에서 고도화 단계에 들어서면서 하천에 대한 보다 세밀한 자료가 필요하게 됨으로써 각 정부 부처는 물론이고 지방자치단체까지도 하천에 대한 종합적인 자료를 요구하게 되어 하천의 지형 탐측장비에 대한 필요성도 더욱 증대되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수문조사의 기초인 하천과 연안 지형자료 구축을 위한 사례를 조사·분석하여 실무에 적용할 수 있는 최적의 탐측장비 적용 방향을 설정함으로써 이·치수와 하천 환경·생태 등의 하천사업에 필수적인 데이터베이스 구축 및 수리분석모형에 활용할 자료 확보 방안과 최적의 하천과 연안 지형자료 탐측장비를 선정하는데 목적이 있다.

1.2 연구 동향

오늘날 측량분야에서 기술의 발전으로 많은 첨단 장비가 이용되고 있다. 특히 1990년 중반 이후부터 GPS(Global Positioning System), 항공레이저측량, 원격탐사기술 등이 다양한 기술들이 활용되고 있다. 또한 측량관련 프로그램 및 시스템의 발전으로 3차원 자료의 구축이 쉬워지고 있으며, 특히 지리정보시스템(Geographic Information System 이하 GIS)의 발전으로 인하여 많은 자료의 정보화 및 효율적인 관리체계가 이루어져 가고 있다. 하천지형자료는 국가하천 및 지방하천, 소하천 등의 각종 하천종합계획 수립과 대상지역의 환경문제, 무분별한 개발행위의 제한, 홍수 등의 재난관리, 건설 산업의 지원 등에 다양하게 활용되고 있다(choi et al., 2014).

Jeong(2014)은 하천지형자료를 신속하고 정확하게 생산, 가공 및 제공하기 위한 연구 및 지형공간을 기반으로 한 정보를 생산하기 위한 연구가 활발하게 진행 되고 있으며, 대표적으로 원격탐측방법이 주로 사용되고 있다고 하였다. 그러나 하천지형자료 취득에 활용되고 있는 원격탐측방법으로는 수심부의 지형자료 취득에 많은 한계점을 가지고 있음을 주장하였다. 하천측량에 많이 활용되고 있는 항공레이저측량에서 Shim(2006)은 항공레이저측량 결과를 수치지형도와 비교분석을 통하여 하천자료로 활용하는 방안을 제시하였다.

Jang(2010)은 무선조종 헬리콥터를 이용하여 3차원 수치표고모형을 제작하는 방법에 대한 연구로 UAV(Unmanned Airborne Vehicles)를 이용한 영상탐측의 분야를 2차원 평면 위치 관측 뿐만 아니라 3차원으로 확대했다.

Park(2011)은 항공레이저측량을 이용한 하천지형제작에 관한 연구를 통하여 항공레이저 측량으로 정밀하천 지형제작이 가능하나 수심측량자료는 별도의 보완이 필요하다는 것을 증명하였다.

Choi et al.,(2014)은 항공라이다측량의 수치표고모형성과와 골조측량 성과를 비교분석하여 일반적인 육지부에서의 두 자료 간 표고는 그 차이가 거의 없었으나, 수심부에서는 항공라이다측량으로 정확하게 관측하지 못하는 것을 증명하였고, 기존의 원격탐사를 이용한 하천지형자료 성과는 지표면과 수심부를 나누어 수심부는 음향측심기를 활용하여 자료를 취득하였다.

하지만 Jeong(2014)은 음향측심기를 활용한 하천측량 방법으로는 저수심 지역의 관측을 위한 보트가 하천면에 접근 할 수 있는 한계가 있어 측량결과를 3차원으로 표현

할 경우 저수심의 경계부에서 단절부가 발생 할 수밖에 없다고 하였다.

원격탐측은 사람이 측정하고자 하는 위치에서 지점의 공간정보를 취득하던 재래식 측량 방법에서 벗어나 레이저, 전파, 가시광선, 음파 등을 이용하여 원거리에서 넓은 면적의 공간정보를 디지털화된 데이터로 취득하는 방식이며, 측정하고자 하는 공간을 구성하고 있는 매질의 물리적 특성에 따라 적합한 방식이 결정되므로 공기와 물처럼 물리적 특성에 차이가 큰 공간을 측정하기 위해서는 다른 방식을 사용하게 된다.

물을 매질로 갖는 하상지형자료 취득을 위한 원격탐측은 대부분 GPS와 음향측심기를 조합한 형태로 구성되어 있다. GPS를 이용하여 하천면의 3차원 좌표를 결정하고 결정된 좌표의 수심을 음향측심기를 이용하여 측정하는 방식이다(정창삼, 2014).

Kang(1996)은 하천측량을 위해 위성영상과 수문 분석 자료를 포함한 GIS 통합관리와 GPS를 적용하는 연구를 발표하였으며, Seo et al.,(2002)은 수체의 체적 산정을 위해 GPS와 음향측심기의 조합한 연구를 수행하였다.

Lee(2006)는 DGPS(Differential GPS), RTK(Real-Time Kinematic 이하 RTK)-GPS와 음향측심기의 조합해석에 의해 하구 부근의 하상 모니터링에 적용하였다.

Kang et al.,(2004)은 RTK-GPS와 음향측심기 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 시공 측량 등에 요구되는 매우 높은 정확도의 3차원 위치 결정이 RTK-GPS와 음향측심기 조합계측을 통해 가능함을 보였다.

공기를 매질로 갖는 일반지형자료 취득을 위한 원격탐측은 LiDAR, 레이저스캐너, 항공영상, 위성영상 등을 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다. LiDAR, 레이저스캐너, 위성영상, 고고도 항공기를 이용한 항공영상 등은 중·소규모 현장에 적용하기에는 제한이 많고 장비를 운용하기 위해 소요되는 비용이 고가이며, 운용을 위한 날씨와 위치 등의 조건이 까다롭다. 따라서 최근 중·소규모의 원격탐측에는 저고도 무인항공기를 이용한 사진측량 방법이 많이 이용되고 있는데 재해관측을 위한 탐측방법에서 시작하여 3차원 지형 자료 취득에도 활발하게 적용되고 있다.

1.3 연구방법과 범위

수십 년 후에 세계의 많은 나라들이 물 부족 국가가 될 것으로 예상 되는 가운데 오늘날 각 나라의 수자원관리의 필요성은 나날이 더욱 증가하고 있으며, 특히 수자원을 관리하는 주요 인프라가 될 댐과 하천 및 연안에 대한 관리의 필요성은 지속적으로 증가할 것이다. 하천은 수자원관리의 목적 외에 재해예방의 역할을 동시에 수행하게 되는데, 이러한 목적 달성을 위해 신뢰성 있는 하천현황의 기본 자료를 제공하기 위해서는 탐측장비 선정이 중요하다고 할 수 있다. 또한 하천은 환경보호의 역할을 수행하고 있으므로 이에 대한 관리의 필요성은 지속적으로 증가할 것이다.

본 연구에서는 2장 하천과 연안 지형자료 탐측장비의 원리를 설명, 3장 하천과 연안 지형탐측 국내 사례 분석을 통해, 4장 최적 하천과 연안 지형탐측 장비 선정 및 데이터베이스 구축 방안을 제시한다.

따라서 본 연구의 방법과 범위를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하천과 연안 지형자료 탐측장비 Single Beam Echo Sounder(이하 SBES), Multi Beam Echo Sounder(이하 MBES), Light Detection And Ranging(이하 LiDAR), Acoustic Doppler Current Profiler(이하 ADCP), Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey(이하 SHOALS)의 원리를 분석한다.
- 2) 하천과 연안 지형탐측 장비 사례를 통하여 정확도 및 경제성을 비교한 후 최적 탐측장비 방안을 제시한다.
- 3) 하천과 연안 특성을 고려한 탐측장비를 제시한 후 비교를 통하여 하천과 연안 지형자료 탐측장비를 선정한다.
- 4) 최적 하천과 연안 지형탐측 장비로 확보된 자료의 데이터베이스 구축 및 수리분석모형에 활용할 자료 확보 방안을 제시한다.

제 2 장 하천과 연안 지형자료 탐측장비의 원리

2.1 Echo Sounder

2.1.1 음파의 특성

음(sound) 또는 음파(sound wave)란 음원에서 발생한 진동이 공기압의 주기적인 변화를 일으켜서 조밀파의 형태로 전파(propagation, 傳播)되는 현상으로 공기중, 수중, 또는 고체내에서의 압력파로써 유체내에서 종파의 가장 전형적인 예이다.

평형상태의 유체 내에서 압력과 밀도는 균일하지만 분자들은 무질서하게 충돌하고 있다. 이와 같은 상태에 음파가 존재하게 되면 유체 내에서의 매우 작은 부피요소들은 주기적으로 종적 진동을 하게 되고 이와 같은 부피요소의 운동은 기체 내 분자들의 무질서한 운동과 중첩되어 유체의 밀도에 주기적인 교란을 발생시키며, 압력에서도 같이 주기적인 교란 현상이 발생하게 된다.

다시 말해서, 파들이 유체를 통하여 진행할 때, 유체를 구성한 요소들은 그림 2.1과 같이 음파의 파동의 운동 방향에 따라서 밀도와 압력의 변화를 일으키면서 진동하고 만약 음원이 sin형 파동으로 진행된다면, 압력의 변화 또는 sin형 파동을 갖는다.

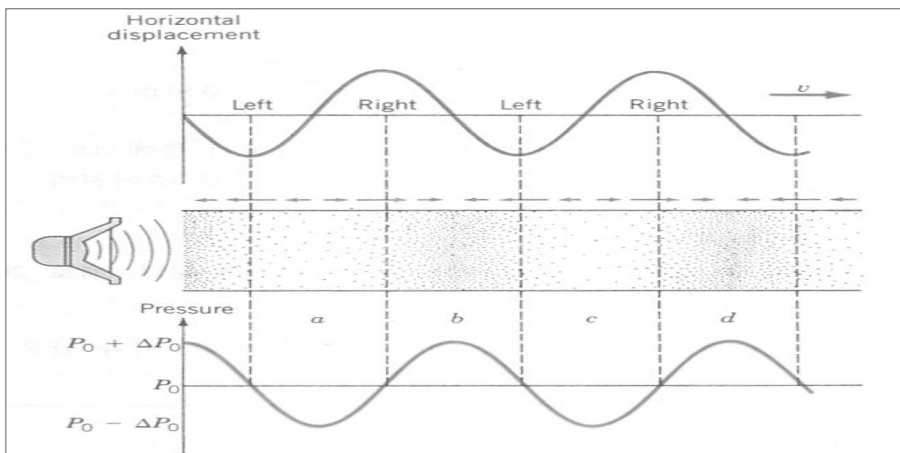


그림 2.1 유체 내 음파에 의한 압력교란 및 변위

2.1.2 음파의 전달속도

매질 안에서의 음파의 속도는 매질의 압축성과 밀도에 의존한다. 만약 매질이 부피탄성률과 밀도의 특성을 갖는 유체인 경우 매질 안에서의 음파의 속도는 식 (2.1)과 같이 표현된다.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.1)$$

여기서, v : 음속(m/s)
 B : 탄성률(N/m^2)
 ρ : 밀도(kg/m^3)

이때, 매질의 부피탄성률은 식 (2.2)와 같다.

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (2.2)$$

여기서, B : 부피탄성률(N/m^2)
 $\Delta V/V$: 부피변화비
 ΔP : 압력변화

또한, 연속적인 음파의 마루와 마루 사이의 물리적 거리를 파장(wave length), 단위 시간동안 통과하는 음파의 마루의 개수를 주파수(frequency)라 하고, 파장과 주파수를 알고 있을 때 음속은 식 (2.3)으로 구할 수 있다.

$$v = f \times wl \quad (2.3)$$

여기서, v : 음속(m/s)
 f : 주파수(Hz)
 wl : 파장(m)

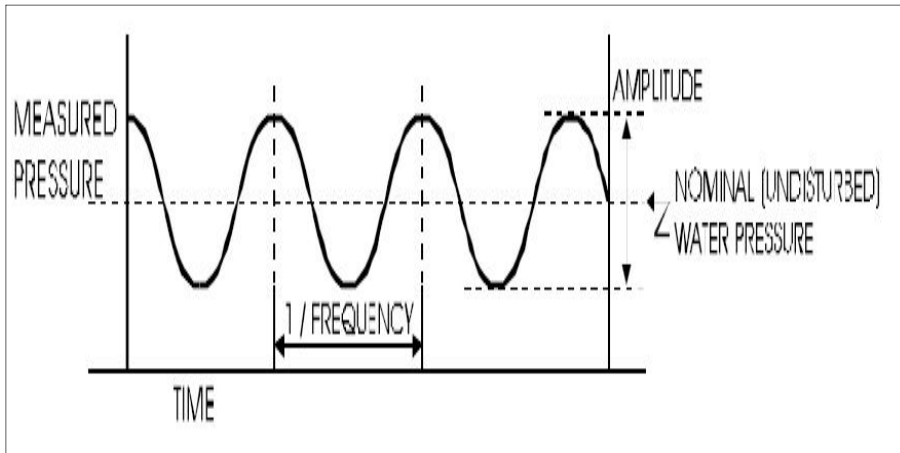


그림 2.2 음파의 구성

음향측심에 쓰이는 음파신호는 극히 짧은 시간동안 지속하는 펄스를 사용한다. 음파는 주파수, 펄스폭, 파형 등에 의하여 성질을 달리하며 이들 요인에 따라 음향 측심기의 성능과 크기 및 분해능이 정해진다(강준묵, 2006).

2.1.2.1 음파의 주파수

음의 파장, 주파수, 속도의 사이에는 식 (2.4)의 관계가 있다.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.4)$$

여기서, λ : 파장(m)

f : 주파수(Hz)

v : 음속(m/s)

그림 2.3은 음파의 주파수 영역을 나타낸다. 일반적으로 가청주파수는 대략 20Hz에서 20kHz까지의 주파수 영역을 나타내며 20kHz 이상의 고주파 음파를 초음파라고 한다.

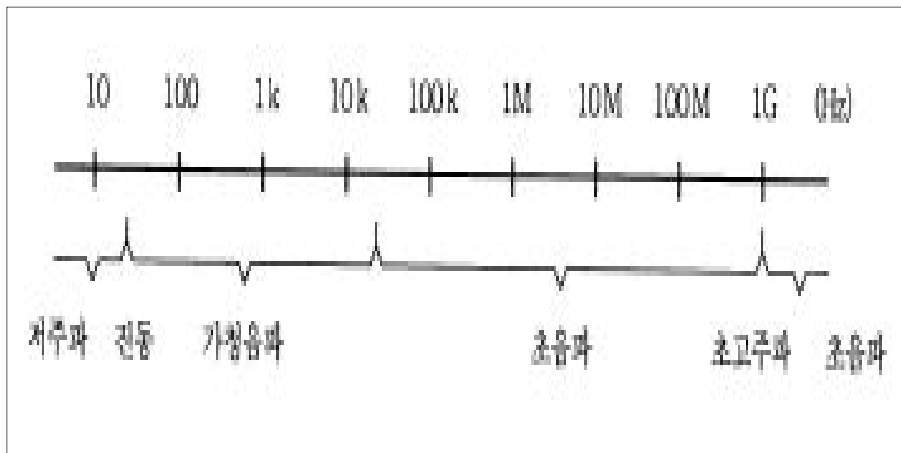


그림 2.3 음파의 주파수 영역

음향측심에 쓰이는 음향펄스의 주파수는 일반적으로 $10kHz \sim 350kHz$ 범위를 가지며, 대상해역의 평균수심과 필요한 분해능, 음파송신출력 등을 고려하여 주파수의 범위를 결정한다. 일반적으로 음파의 주파수가 높을수록 일정한 출력에서 음파의 지향성과 미세한 기복변화를 알아낼 수 있는 분해능은 좋아지는 반면 음파의 감쇄, 즉 에너지의 손실이 크기 때문에 측정 가능한 심도는 감소된다. 또한, 주파수가 클수록 하저에 대한 투과력보다는 반사특성이 좋아지는 경향을 보인다(이성희, 2006).

따라서 높은 주파수의 음파는 대부분 하상퇴적물 표면에서 반사하여 퇴적물 아래의 암반이나 돌출부 등이 기록상 잘 나타나지 않는다. 역으로, 낮은 주파수(예: $12kHz$ 이하)의 음파는 퇴적물을 잘 투과하여 표층퇴적부와 그 저층의 굳은 지층이 함께 기록되거나, 표층퇴적부는 기록상 나타나지 않는 경우가 많다.

이와 같이, 일정한 출력 아래서 주파수에 따른 높은 지향성, 분해능, 반사성과 큰 가측심도 및 투과력을 동시에 만족할 수 없으므로 측량해역의 수심과 필요한 분해능, 측량선에 적재가능한 장비의 중량 등을 고려하여 적절한 주파수대역을 선택하여야 한다.

2.1.2.2 수심에 따른 음속 변화

수중에서의 음파 속도는 음향측심의 정확도에 가장 큰 영향을 끼치는 요소이다. 수중에서의 음속은 평균적으로 $1,500m/s$ 이지만, 실제 음속은 시공간적으로 계속 변화하

고 있으며 이에 따른 계측 오차 또한 시스템 성능에 영향을 미친다.

수중에서의 음속은 계절적 요인에 의한 표층 온도의 변화, 육수의 유입으로 인한 해수 구성물질의 변화 및 해수 순환에 의한 온도 변화 등에 영향에 의하여 다르게 나타난다. 즉, 물의 성분, 온도, 압력의 영향을 받게 되며 이러한 변수들은 수심을 기준으로 일주기 단위로 변화 되는 표층, 계절적 요인에 영향을 받는 중층, 수중음속이 대단히 안정화되어 있는 심층으로 그림 2.4와 같이 분류할 수 있다(박요섭, 2004).

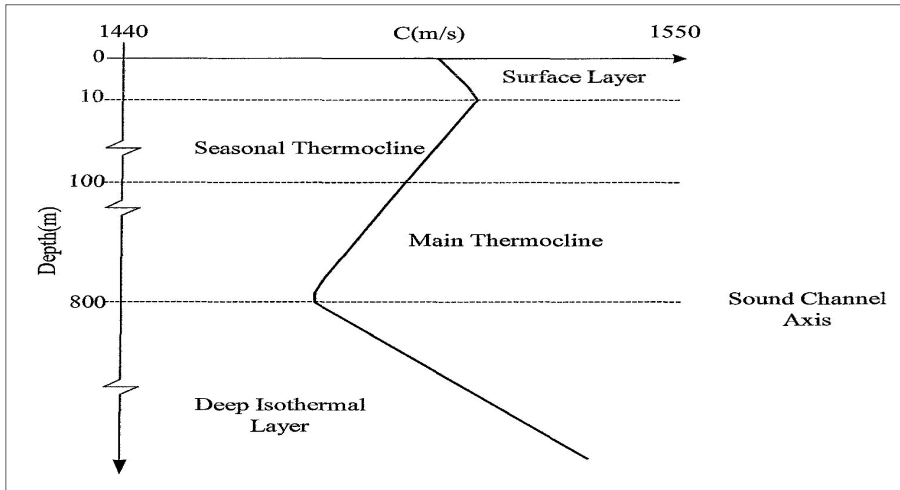


그림 2.4 수심에 따른 수중 음속의 변화(박요섭, 2004)

해수면에서 가까운 부분은 바람과 파도 등의 해수면 효과에 의해 해수의 활발한 순환이 이루어지므로 온도가 일정한 혼합층을 형성하고, 따라서 수심에 따른 음속의 변화는 거의 없게 된다. 그러나 수심이 깊어짐에 따라 대기로부터의 에너지 감소로 인하여 해수의 온도가 일정하게 낮아지고 그에 따라 음속이 감소하는 수온약층이 형성되며 수심이 더 깊어지면 더 이상의 수온의 변화는 없으나, 증가한 수압의 영향으로 음속이 증가하는 등 온도층이 형성된다.

음속보정의 방법으로는 바-체크에 의한 방법, 해수의 염분, 온도를 측정하여 계산으로 보정식을 구하는 방법 및 속도계로 직접 음속도를 구하는 방법 등이 있다.

(1) 바-체크(Bar-Check)에 의한 보정

바-체크에 의한 방법은 주로 유속이 적고, 수심이 30m~50m 미만의 낮은 수심에서 주로 사용되는 방법으로써 사용기구가 매우 간단하고 작업이 쉬운 반면, 측정오차가

크다.

바-체크는 그림 2.5와 같이 반사판과 그것을 매달아 내리는 와이어로 구성되며 반사판은 두께 0.5cm~1cm, 지름 50cm~70cm의 원형철판이 주로 사용된다. 이 원판에는 원판을 올리고 내릴 때 물의 저항을 덜어주기 위해서 지름 약 2cm의 여러 개의 작은 구멍을 있으며 반사판의 면적은 음향측심기가 사용하고 있는 초음파의 파장이 클수록 커진다.

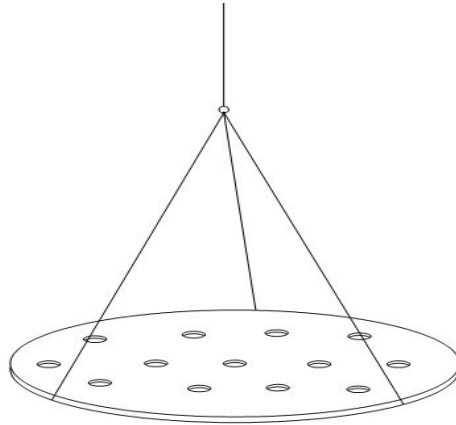


그림 2.5 Bar-Check(강효섭, 2005)

(2) 수온, 수압 자료에 의한 음속 보정

바-체크에 의한 음속보정은 최대 50m~60m의 수심까지 가능하나 보다 깊은 수심에서는 해류, 조류, 바람 등에 의해 바-체크가 송신기의 직하에 머물러 있지 못하기 때문에 반사기록을 얻지 못하게 된다.

따라서 수심이 깊은 지역에서는 수중 음속은 수온, 염분, 수압에 관한 함수라는 사실에 근거하여 측심해역의 최심부에서 수심별 수온, 염분 및 수압을 관측하고 여기서 얻어진 자료로부터 심도별 음속 보정식을 구하게 된다.

2.1.3 도플러효과

자동차가 경적 소리를 내며 빠르게 지나갈 때 자동차가 가까이 접근하게 되면, 진동수는 정상 진동수보다 더 높게 들리다가, 자동차가 지나간 후 정상 진동수보다 급격히

낮게 되는 것을 경험하게 된다. 이와 같이 음원과 관측자가 상대운동을 할 때 관측되는 음파의 진동수에 변화가 생기는 현상을 도플러효과라 한다.

음속, 음원의 속도, 관측자의 속도를 가정하고, 이 값들이 모두 지면을 기준으로 측정되었으며, 공기는 이 지면에 대하여 정지되어 있다고 가정한다면, 음원과 관측자가 모두 정지한 상태에 있을 때, 진동수와 파장은 모두 정상적인 값으로 측정되며, 음속은 식 (2.5)와 같다.

$$v = f_0 \times \lambda_0 \quad (2.5)$$

여기서, v : 음속(m/s)
 f_0 : 진동수(Hz)
 λ_0 : 파장(m)

그런데, 음원 또는 관측자가 움직이는 경우 관측된 진동수는 f' 로 변하게 되고, 이 진동수 f' 은 음원과 관측자의 각각의 운동에 의존하게 된다.

만약, 그림 2.6과 같이 관측자 O 가 속도 v_0 로 정지한 음원 S 쪽으로 이동하는 경우 관측자 O 에 대한 음속은 식 (2.6)과 같다.

$$v' = v + v_0 \quad (2.6)$$

여기서, v' : 관측자 O 에 대한 음속(m/s)
 v : 음속(m/s)
 v_0 : 관측자의 속도(m/s)

따라서 관측자 O 가 듣게 되는 진동수는 식 (2.7)과 같다.

$$f' = \frac{v' + v_0}{v} f_0 \quad (2.7)$$

여기서, f' : 관측자 O 가 듣게 되는 진동수(Hz)

- v : 음속(m/s)
- v' : 관측자 O 에 대한 음속(m/s)
- v_0 : 관측자의 속도(m/s)

관측자 O 가 음원 S 로부터 멀어 진다면 관측자 O 는 진동수 f' 는 식 (2.8)과 같다.

$$f' = \frac{v - v_0}{v} f_0 \quad (2.8)$$

- 여기서, f' : 관측자 O 가 듣게 되는 진동수(Hz)
- v : 음속(m/s)
- v_0 : 관측자의 속도(m/s)
- f_0 : 진동수(Hz)

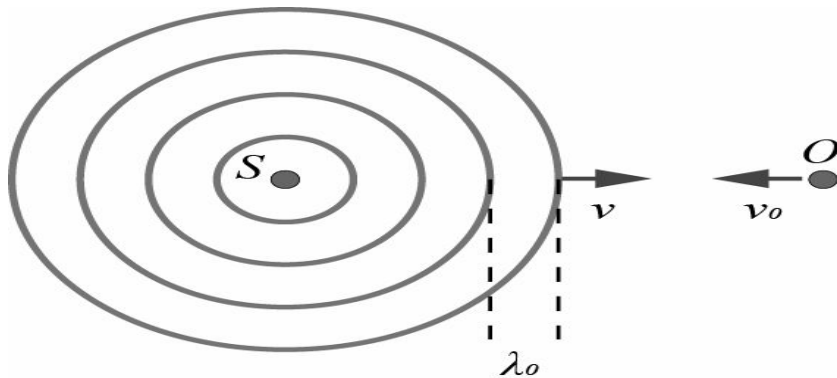


그림 2.6 음원이 정지한 상태에서 관측자가 움직이는 경우 도플러 현상

또한, 그림 2.7(a)에서 음원 S 가 정지한 상태이면 음파의 파장은 식 (2.9)와 같다.

$$\lambda_0 = \frac{v}{f_0} \quad (2.9)$$

- 여기서, λ_0 : 파장(m)

f_0 : 진동수(Hz)

v : 음속(m/s)

그런데 음원 S 가 관측자 O 쪽으로 이동한다면, 한 주기 안에 음원 S 는 다음 파의 마루가 나타나기 전에 거리 $v_s T_0$ 만큼 이동하기 때문에 그림 2.7(b)에서와 같이 파장이 변하게 되어 음원 S 와 관측자 O 모두에게 유효 파장은 식 (2.10)과 같다.

$$\lambda' = \frac{v - v_s}{f_0} \quad (2.10)$$

여기서, λ' : 유효파장(m)

f_0 : 진동수(Hz)

v : 음속(m/s)

v_s : 음원 S 의 음속(m/s)

그러나 관측자 O 에 대한 음속은 단순히 v 이다. 따라서 관측자 O 가 듣게 되는 진동수는 식 (2.11)과 같다.

$$f' = \frac{v}{v - v_s} f_0 \quad (2.11)$$

여기서, f' : 관측자 O 가 듣게 되는 진동수(Hz)

v : 음속(m/s)

v_s : 음원 S 의 음속(m/s)

f_0 : 진동수(Hz)

또한, 음원 S 가 관측자 O 로부터 멀어져 가는 경우 유효파장 λ' 은 식 (2.12)이며,

$$\lambda' = \frac{v + v_s}{f_0} \quad (2.12)$$

여기서, λ' : 유효파장(m)
 f_0 : 진동수(Hz)
 v : 음속(m/s)
 v_s : 음원 S 의 음속(m/s)

진동수는 f' 은 식 (2.13)과 같다.

$$f' = \frac{v}{(v + v_s)} f_0 \quad (2.13)$$

여기서, f' : 관측자 O 가 듣게 되는 진동수(Hz)
 v : 음속(m/s)
 v_s : 음원 S 의 음속(m/s)
 f_0 : 진동수(Hz)

따라서 도플러 효과에 의한 주파수 변화는 식 (2.14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f' = \left(\frac{v \pm v_0}{v \pm v_s} \right) f_0 \quad (2.14)$$

여기서, f' : 관측자 O 가 듣게 되는 진동수(Hz)
 v : 음속(m/s)
 v_s : 음원 S 의 음속(m/s)
 v_0 : 관측자의 속도(m/s)
 f_0 : 진동수(Hz)

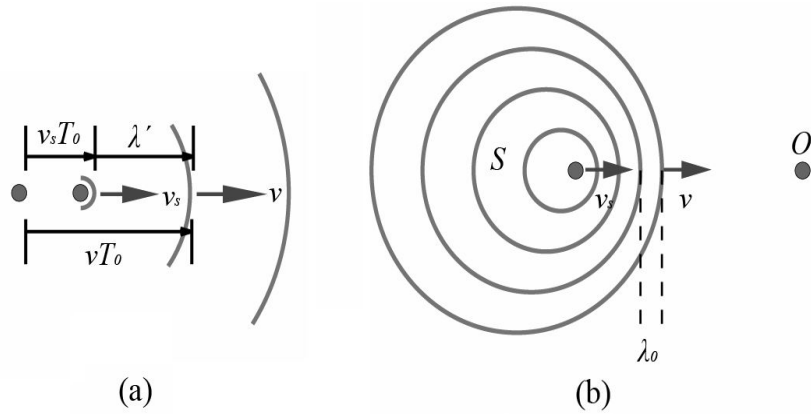


그림 2.7 관측자가 정지한 상태에서 음원이 이동하는 경우 도플러 현상

2.2 SBES

2.2.1 측정원리

음향측심은 음파의 수중에서의 물리적 특성을 이용하여 거리를 재거나, 반사되는 음향특성을 이용하여 매질을 계측하는 방법으로써, 그림 2.8과 같이 짧은 시간 지속하는 특정 주파수 특성을 가지는 음파를 생성하여 수중에 발사하면 음의 파동이 해저 바닥까지 도달한 후 반사되어 되돌아 오는 것을 이용하여 수심을 관측하는 장비로써 파동이 발사되어 되돌아오는 데 걸린 시간과 물속에서의 소리속도를 감안하여 계산하여 해저지형에 대한 연속적인 기록을 식 (2.15)를 이용하여 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{2}vt \tag{2.15}$$

- 여기서, D : 송수기파에서 해저면까지의 거리(m)
- v : 해수중의 음파의 평균 전파 속도(m/sec)
- t : 송신음파와 수신음파의 도달시간차(sec)

실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 미소하게 변화하며, 대략 $1,500\text{ m/s}$ 이다. 또한, 15°C 대기 중의 음속은 340 m/s 이며, 음속은 온도의 영향을 받으며 식 (2.16)을 이용하여 구할 수 있다.

$$v = (331.5 + 0.6\theta)\text{ m/s} \quad (2.16)$$

여기서, v : 음속(m/s)
 θ : 섭씨온도($^\circ\text{C}$)

즉, 0°C 일 때의 음속은 1초에 약 331 m 이고, 온도가 1°C 높아지면 0.6 m 씩 빨라진다.

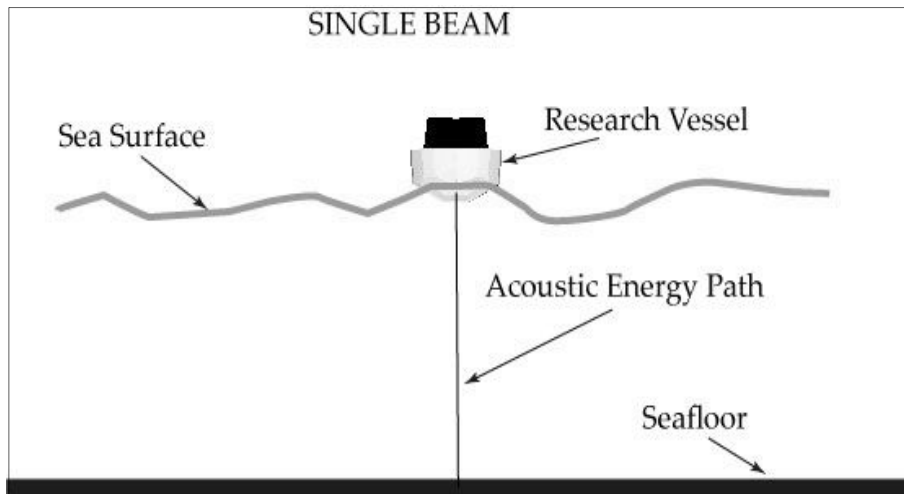


그림 2.8 SBES 측정원리

2.2.2 오차요소

SBES는 1개의 음파만을 사용하므로 처리하기 용이하고, 가격도 저렴하나 하상의 여러 특징에 의하여 정확한 수심을 측정하기 오차가 발생할 수 있다.

2.2.2.1 불규칙한 바닥면에 의한 문제

SBES는 하상을 향하여 일정한 각을 이루며 음파를 발사한 후 가장 먼저 반사되어 되돌아오는 음파를 수신하여 해당 위치의 바닥면을 수심으로 파악하게 된다.

그러나 그림 2.9와 같은 불규칙한 바닥면이 존재할 경우 직하로 발사한 (a)의 음파보다 측면으로 발사한 (b)의 음파가 먼저 되돌아오게 되어 직하면의 수심을 파악하기 어렵게 된다. 이 경우 그림 2.10과 같이 지역적인 음파를 수신함으로써 그 정확도를 향상시킬 수 있다. 지역적인 음파를 수신할 경우에도 그 폭에 따라 차이가 있을 수 있다. 빔의 폭이 작을수록 그 정확도는 향상된다.

음파가 $12kHz$ 인 경우 음파의 확산각이 30° 이면 트랜스듀서의 직경이 $25cm$ 이어야 하지만, 음파의 확산각을 2.5° 까지 줄이려면 트랜스듀서의 직경이 $295cm$ 이어야 한다. 이때 직경에 따라 트랜스듀서의 가격은 더욱 상승하게 된다.

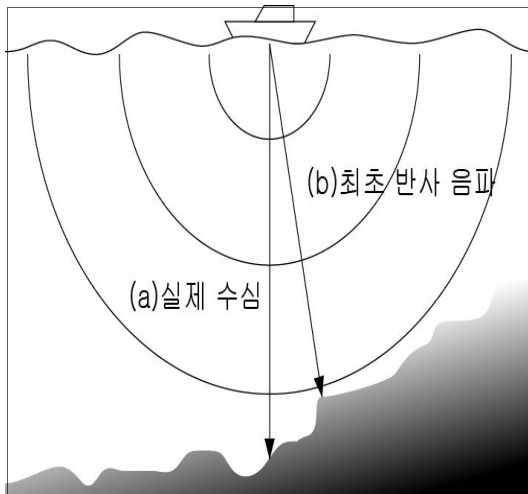


그림 2.9 불규칙한 하상의 음향측심

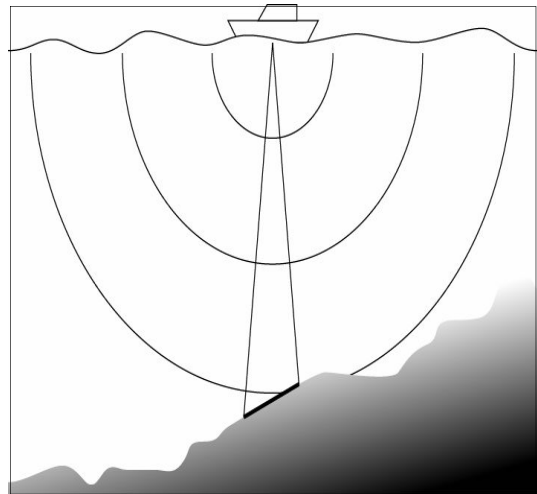


그림 2.10 경사진 하상의 음향측심

2.2.2.2 배의 자세에 따른 문제점

음향측심은 장비를 배에 탑재해야 된다. 그러므로 과도나 배의 이동에 따른 배의 자세로 인한 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어, 그림 2.11처럼 배가 흔들림으로 인해 흔들리거나 기울어질 경우, 측심하는 지역은 대상지역과 다른 지역을 측심하게 된다.

그러므로 기상상태의 영향을 고려하여 파고의 변화가 적은 시기를 택해야 하고, 지속적으로 배의 흔들림에 대한 주의가 필요하다.

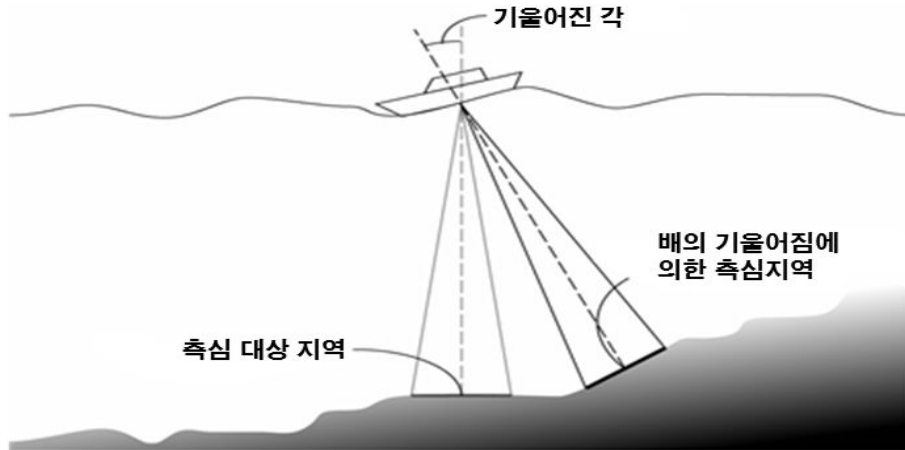


그림 2.11 기울어진 배에서의 SBES 측정원리

2.3 MBES

2.3.1 측정원리

MBES는 복수의 음향측심 트랜스듀서 배열로 구성 되어 각각의 위상차를 조절함으로써 지향 각을 가지는 빔을 생성한다. 일반적으로 음파를 발사할 때 빔 폭이 현 방향으로로는 넓고, 선수 방향으로로는 좁은 부채꼴 모양의 빔을 생성하여 발사하고, 수신할 때에는 그와 직교되는 방향으로 여러 개의 빔을 수신하여, 두 빔의 직교되는 시점을 관측함으로써 경사거리를 측정하게 된다. 두 빔의 직교되는 면적을 빔 탐지 면적 (footprint area)라 부르며, 빔 단위 면적은 송신 빔과 수신 빔의 퍼짐 각 (beam angle)에 좌우된다(박요섭, 2004).

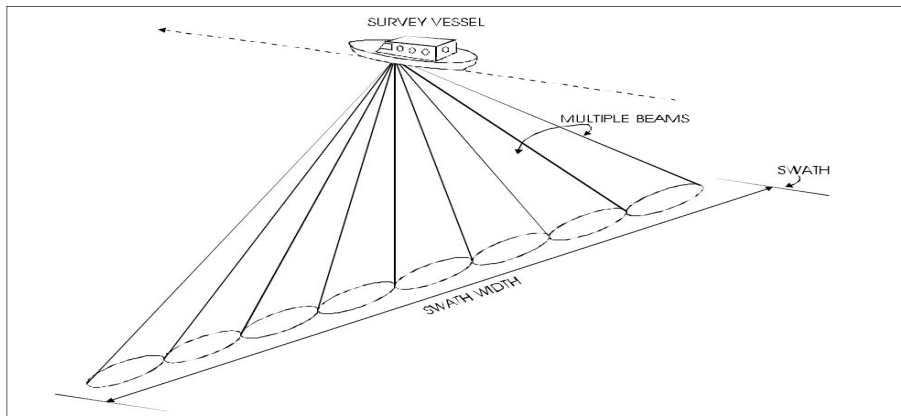


그림 2.12 MBES 측정원리

2.3.2 시스템 오차분석

2.3.2.1 기본좌표체계

해수면 혹은 수중에 위치하는 탐사체(remote operating vehicle)는 플랫폼의 임의의 원점을 중심으로 3차원 회전운동을 하게 된다. 이때, 국가평면직각좌표계(X, Y, Z)와 플랫폼 좌표계(local level) 상의 차이가 발생하며, Gyro compass와 VRU(voice response unit)의 관측 기준좌표체계(x, y, z)는 플랫폼의 선수방향을 x 축, 플랫폼의 현 방향을 y 축, 플랫폼의 직하 방향(nadir)을 z 축으로 설정하고, x 축을 기준의 회전을 Roll, y 축 기준의 회전을 Pitch, 진북(true north)을 가리키는 Y 축과 선수 방향(x)과의 차이(방위각)를 왼손 좌표계 방식으로 계측하며, 두 좌표계는 동일한 원점을 공유한다. 매번 송신된 음향 신호는 트랜스듀서에 의해 수신되며, 플랫폼 좌표계는 국가평면직각 좌표계로 변환된다.

따라서 음향신호의 송수신 동안 플랫폼 좌표계의 원점은 측량선박의 움직임에 따라 매번 국가평면직각 좌표계의 한 점으로 변환된다. 선박의 거동은 플랫폼 3축의 원점을 선박의 무게중심점으로 이동한 후, 각 좌표축 상의 회전으로 정의할 수 있다. 선박의 Rolling 측정을 위한 기준 좌표축은 선박을 반으로 나누는 선수방향 중심 면과 수면이 이루는 교차 선이고, Pitching을 정의하는 축은 부력 중심을 통과하는 선으로 결정하는 것이 좋으나, 선박의 전체 거동 모델을 위해서 선박의 무게 중심점을 기준점으로 삼고

Body-Frame의 각 축을 거동 기준 축으로 이용한다(박요섭, 2009).

선박의 거동과 연관된 회전은 두 개의 독립적인 Euler각도 ω, ϕ 로 정의 되며, 식 (2.17) 및 (2.18)의 회전 변환 행렬로 표현된다.

$$R_x(\omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & \sin(\omega) \\ 0 & -\sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

여기서, R_x : x 축을 기준으로 회전
 ω : Euler 각도

$$R_y(\phi) = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & 0 & -\sin(\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\phi) & 0 & \cos(\phi) \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

여기서, P_y : y 축을 기준으로 회전
 ϕ : Euler 각도

선박의 Rolling은 x 축을 중심으로 회전하는 각도를 의미하며, 우현이 내려가는 방향을 양으로 삼는다. Pitch는 y 축을 중심으로 회전한 각도를 의미하며, 선수가 올라가는 방향을 양으로 삼는다. z 축을 중심의 회전 양을 Yaw(K)라 부르며, Z 축을 기준으로 선수방향의 회전을 Heading(Φ)이라 일컬으며 시계방향을 양방향으로 정의한다.

회전변환 행렬은 yaw, pitch, roll 의 순서로 적용한다. yaw 성분은 Body-Frame 의 x 축이 북쪽을 향하고 있다는 가정과 플랫폼 좌표계와 고정플랫폼 좌표계의 z 축이 평행하다고 가정하면 방위로 대체할 수 있다. 선박의 z 축이 수평면과 직교하기 때문에, yaw각을 대신하여 방위각을 이용할 수 도 있지만, VRU에서 Gyro compass를 입력 받아 순간적으로 움직이는 yaw 값과 Heading 값을 합하여 최종적인 현 방향을 결정하게 된다. 플랫폼 좌표계의 왼손좌표체계에서 고정 플랫폼 좌표계의 오른손좌표체계로 전환하기 위하여, 방위각 ϕ 에 라디안을 $-\pi/2$ 추가하였다. 각 회전요소의 통합은 식 (2.19)로 이루어진다.

$$R_z(\Phi - \frac{\pi}{2}) = \begin{bmatrix} \sin(\Phi) - \cos(\Phi) & 0 \\ \cos(\Phi) & \sin(\Phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

여기서, R_z : z 축을 기준으로 회전
 Φ : 방위각

식 (2.20)에서 P 는 플랫폼 좌표체계에서 Body-Frame 좌표체계로 전환시키는 연산자로 사용된다.

$$P = R_{yy}R_x(w)R_y(\phi)R_z(\Phi - \frac{\pi}{2}) \quad (2.20)$$

여기서, P : 연산자
 R_x : x 축을 기준으로 회전
 R_y : y 축을 기준으로 회전
 R_z : z 축을 기준으로 회전
 w : Euler 각도
 Φ : 방위각

2.3.2.2 센서의 설치

트랜스듀서, VRU, 그리고 측위 시스템 안테나는 일반적으로 하나의 측량플랫폼 안에서도 서로 다른 위치에 설치된다. Body-Frame의 원점으로부터 고정적인 선형 위치 오프셋을 수심 성과의 좌표 계산에 적용된다. 플랫폼내의 센서 간 위치 관계를 일관되게 계측하기 위하여, 식 (2.21)과 같은 센서 오프셋의 정의를 사용한다. 보통 VRU와 선박의 운동 중심점에 설치하도록 권장하고 있으나, 대부분 선박의 운동중심점에 VRU를 설치하기가 어렵기 때문에 최대한 근접한 곳에 설치하게 된다. VRU와 Heading Sensor 그리고 송수파기의 정렬문제를 해결하기 위해선 설치 상태를 계측할 수 있는 위치에 시스템들을 설치하여야 한다.

$$A = \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

여기서, A : 안테나

T : 트랜스듀서

2.3.2.3 소나 벡터

수중에서 사각으로 진행하는 음파는 밀도가 다른 수괴층을 통과할 때 굴절하게 된다. 한 번의 송수신에서 다양한 발사각으로 송신된 음파는 각기 다른 경로를 거쳐 수신기에 돌아오게 된다. 빔 입사각은 트랜스듀서의 중심으로 통과하는 직하방 평면에서부터의 송수신 경로의 사이 각으로 정의된다.

그러나 음속도 프로파일이 시공간마다 다르기 때문에, 한 시점 및 한 지점에서 얻은 프로파일 자료를 이용하여 전체 수심 자료의 위치를 계산하는 과정에서 실제와 다른 성과를 얻을 수 있다. 이러한 음파 전달 경로는 Snell의 법칙을 따르며 현장에서 관측한 음속 프로파일을 이용하여, 그림 2.13과 같이 트랜스듀서 기준의 빔의 위치를 경사 거리와 각도로 표현할 수 있으며, 이를 다시 Body-Frame 좌표체계에 맞추어 식 (2.22)와 같은 소나벡터로 표현할 수 있다.

$$B_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}_{BF} = - \begin{bmatrix} 0 \\ -r \sin(\beta_i) \\ r \cos(\beta_i) \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

여기서, B_i : 소나벡터

β_i : 빔지향각

현장 관측을 통해 얻어진 음속도 프로파일과, 초기 빔 입사각이 주어지면, 각 빔 별 측정시간을 이용하여 실제 현 방향 거리와 수심을 계산하게 된다.

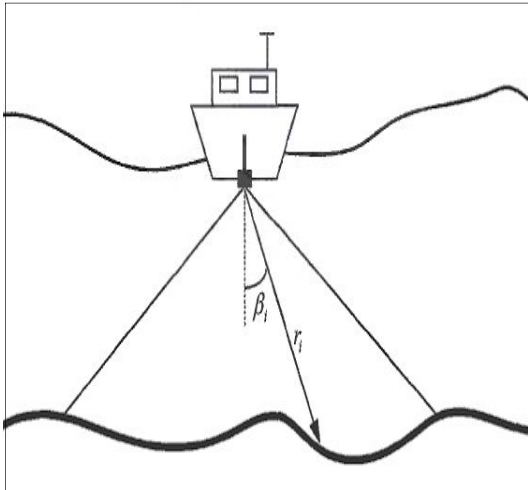


그림 2.13 빔지향각과 경사거리로 구성된 i번째 소나벡터(박요섭, 2004)

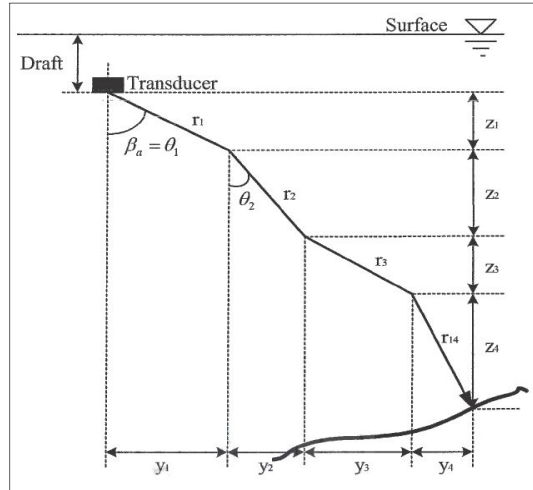


그림 2.14 빔 전달 경로 추정 (박요섭, 2004)

기본적으로 음속이 변화되는 지점에서 입사각과 반사각의 변화는 Snell의 법칙을 따른다. 그림 2.14와 같이 N개의 음속 프로파일이 관측되었다면, 입사가 굴절되는 계층은 N-1층이 되며, 각 층에서 경사거리를 매번 구하여 최종적으로 빔이 착지되는 지점을 계산한다. 경계층에서의 굴절각은 Snell의 법칙으로부터, 초기 θ_1 입사각으로 발사된 음파는 음속이 변화되는 지점에서의 θ_2 로 계산된다. θ_2 은 식 (2.23)에 의해 구할 수 있다. 그리고 초기 동일 음속 동일한 구간에서의 경사거리, 현 방향 거리 그리고 수심은 식 (2.24), (2.25), (2.26)으로 구해진다.

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{v_2 \sin(\theta_1)}{v_1}\right) \quad (2.23)$$

여기서, θ_2 : 음속이 변화되는 지점의 입사각

θ_1 : 입사각으로 발사된 음파

$$r_1 = t_1 \times v_1 \quad (2.24)$$

여기서, r_1 : 경사거리

t_1 : 도달시간

$$z_1 = r_1 \times \cos(\theta_1) \quad (2.25)$$

여기서, z_1 : 소 영역 중심

r_1 : 경사거리

θ_1 : 입사각으로 발사된 음파

$$y_1 = r_1 \times \sin(\theta_1) \quad (2.26)$$

여기서, y_1 : 소 영역의 현 방향 수평거리

r_1 : 경사거리

θ_1 : 입사각으로 발사된 음파

또한, 잔여시간을 구하는 식 (2.27)과 같이 계산된다.

$$t_r = t - t_1 \quad (2.27)$$

여기서, t_r : 잔여시간

t : 전체시간

t_1 : 도달시간

2.4 LiDAR

2.4.1 역사

LiDAR 시스템은 주로 항공기에 장비를 탑재하여 측량을 수행하므로 ALS(Airborne Laser Scanner) 혹은, 레이저를 사용하므로 LADAR(LASer Detection and Ranging)라고도 한다. 최근 몇 년 사이에 비약적인 발전을 한 LiDAR 시스템은 전통적인 항공사진측량 및 기존의 지상측량에 비하여 빠르고 정밀한 고밀도 DTM(Digital Terrain Model) 및 DSM(Digital Surface Model)의 취득이 가능하며 측량이 용이하지 않은 도심지역이나 산악지역 또는 전력선(electrical power lines)에 대한 새로운 측량 방법으로 제시되고 있다(임완호, 2006).

레이저 고도 측정계(laser altimeter)는 1970년대 초에 개발 되어 아폴로 15, 16, 17호 등에 탑재된 바 있으며, 레이저 주사(laser scanning) 기술은 1970년대 중반에 개발되어 미국 및 캐나다를 중심으로 많은 연구가 수행되었다(김두용, 2010).

또한, 1980년대에 이르러 레이저 고도 측정계와 같은 장비를 레이저 Profiler로 개조하여 측량에 활용하기 위한 연구가 시작되어 1987년 독일에서 최초의 레이저 Profiler 실험이 실시되었으나, 항공기의 위치를 결정하기 위한 보조 장비가 INS(Inertial Navigation System)로 한정되어 있어 정확한 위치 결정이 불가능하여 상업적으로 성공할 수 없었다. 그러나 1980년대 말 GPS가 도입되기 시작하면서 레이저 Profiler에 대한 본격적인 연구가 시작되었으며, 1990년대 중반부터 레이저 주사기 상품으로 개발되기 시작하면서 다양한 상용제품이 등장하였고 이를 이용하는 LiDAR 측량이 가능하게 되었다(강규동, 2008).

LiDAR 시스템은 항공사진측량용 카메라처럼 항공기나 헬리콥터에 장착되어 사용이 가능하고 광학카메라와 같은 수동센서(passive sensor)가 아닌 능동센서(active sensor)를 이용하는 시스템이기 때문에 야간에도 촬영이 가능하며 기상, 태양각, 숲의 우거진 정도와 같은 환경적인 조건에 덜 민감하다(이규달, 2010).

뿐만 아니라, 우거진 숲을 통과하여 나무 밑 지표면에 대한 3차원 위치정보를 취득하거나, 송전탑 사이의 전력선의 처짐을 알 수 있으며, 해변과 같은 기복의 변화 및 대비(contrast)가 모호한 지역에 대한 정확한 표고데이터를 제공하는 등 과거의 사진측량 기법과 비교할 때 많은 장점을 갖는다. 특히 넓은 지역에 대한 정밀한 표고데이터 구

측에 매우 적합하며, 많은 비용과 시간이 소요되는 기존의 측량방법을 대체할 수 있는 새로운 측량방법으로 인정받고 있다(유영일, 2010).

2.4.2 측정원리

LiDAR 시스템은 그림 2.15와 같이 공간상의 한 점으로부터 레이저를 지표면에 주사하고 지상으로부터 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 관측함으로써 레이저 펄스의 반사 지점에 대한 3차원 공간위치를 결정하게 된다(박정기, 2015).

따라서 LiDAR를 이용할 경우 지형지물 및 구조물에 따라 반사되는 시간이 모두 다르기 때문에 건물 및 지형지물의 정확한 수치표고모델(Digital Elevation Model 이하 DEM) 생성이 가능하다.

또한 고해상도 영상과 융합되어 건물 레이어의 자동 구축, 광학영상에서 획득이 어려운 정보의 획득, 취득된 고 정밀 수치표고모델을 이용하여 지형 DEM과 건물 및 구조물 DEM으로 구분하여 생성하고 융합함으로써 신속하고 효율적으로 3차원 모델을 생성할 수 있다(유영일, 2010).

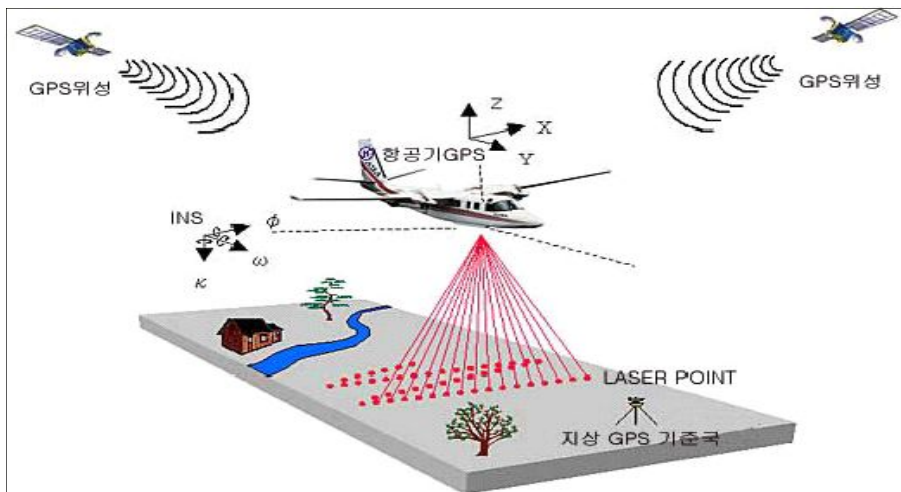


그림 2.15 LiDAR 시스템 측정원리(임완호, 2006)

그러나 정지상태가 아닌 비행기와 같은 곳에서 측정을 할 경우 지상좌표로 나타낼 비행기의 정확한 위치를 알 수 없을 뿐만 아니라 그 거리의 정확성도 보장할 수 없게

되어 LiDAR 시스템에는 관성항법장치와 GPS라는 두 가지 추가적인 기술이 요구된다.

따라서 LiDAR 시스템은 그림 2.16과 같이 레이저 주사기, GPS, INS로 구성되어 있으며, 레이저 주사기는 다시 거리측정부와 주사(scanning)부분으로 나누어진다.

또한, 이들은 제어부를 통해 통합 운영되고 제어되며(Wehr & Lohr, 1999), GPS가 센서의 위치를, INS가 센서의 자세를, 레이저 주사기가 센서와 지표면과의 거리를 측정하여 식 (2.28)를 이용하여 지표면 상의 표고점에 대한 3차원 X, Y, Z 좌표 정보를 빠르고 정확하게 결정하게 된다(김두용, 2010).

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{pmatrix} + (R_{IMU} \cdot R_{IMU}^{LS}) \cdot \begin{pmatrix} l_X \\ l_Y \\ l_Z \end{pmatrix} \quad (2.28)$$

여기서, X, Y, Z : 지상 표고점의 좌표

X_L, Y_L, Z_L : 레이저 스캐너의 위치

X_G, Y_G, Z_G : GPS위치

R_{IMU} : 기준 좌표계와 IMU간의 회전행렬

R_{IMU}^{LS} : 레이저 스캐너와 IMU간의 회전행렬

l_X, l_Y, l_Z : 레이저 광선의 벡터

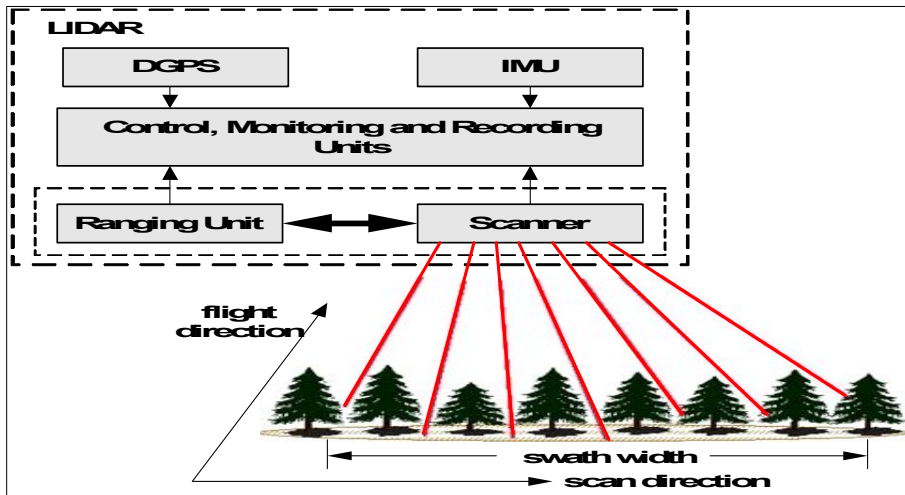


그림 2.16 LiDAR 시스템 장비구성(강규동, 2008)

레이저는 주기가 짧고 높은 에너지를 갖는 펄스(pulse)를 만들 수 있다는 점과 작은 개구(aperture)를 이용하여 고도로 밀집된, 상대적으로 짧은 파장의 빛을 만들 수 있다는 장점이 있어 정밀한 거리관측에 많이 사용되어왔다. 레이저를 이용하여 거리를 관측하는 방법에는 펄스를 이용하는 방법과 연속파 레이저(continuous wave)의 위상차를 이용하는 방법 등이 있으며, 두 방법 모두 신호의 방출과 수신 사이에 걸린 시간을 측정하지만 서로 다른 물리적인 효과를 사용한다(장영운, 2011).

그림 2.17은 연속파 레이저의 위상차를 이용한 거리관측 원리를 나타내며, 왕복시간과 거리 구하는 과정은 식 (2.29) 및 (2.30)과 같다.

$$t_L = \frac{\phi}{2\pi} \frac{1}{f} \tag{2.29}$$

여기서, t_L : 왕복시간

f : 초점거리

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{c}{f} \phi \tag{2.30}$$

여기서, D : 거리

f : 초점거리

c : 연속파 레이저

연속파 레이저는 장시간 지속적으로 신호를 사용하거나 대상물이 가까이 있는 경우에 사용하므로 대상지역의 평균적인 특성을 측정하는데 편리하고 작은 대상지역의 세밀한 측량을 가능하게 한다(송경동, 2010).

그러나 연속파 레이저는 전력소모가 심하여 장시간 사용이 곤란하며 현재 사용되고 있는 상업용 LiDAR 장비에서는 그림 2.18과 같이 대부분 펄스 레이저가 사용된다.

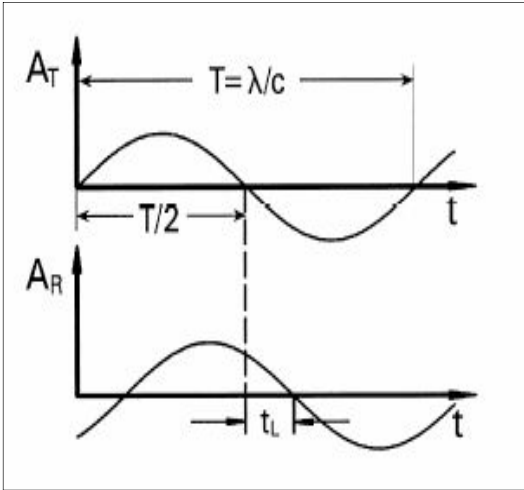


그림 2.17 연속파레이저의 위상차에 의한 거리관측 원리(강규동, 2008)

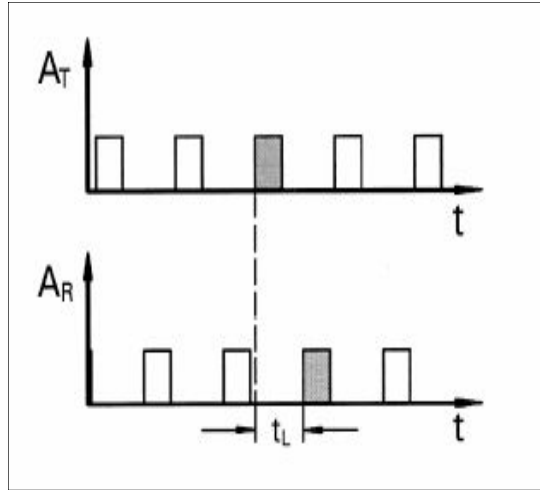


그림 2.18 펄스레이저의 거리관측 원리 (김상일, 2006)

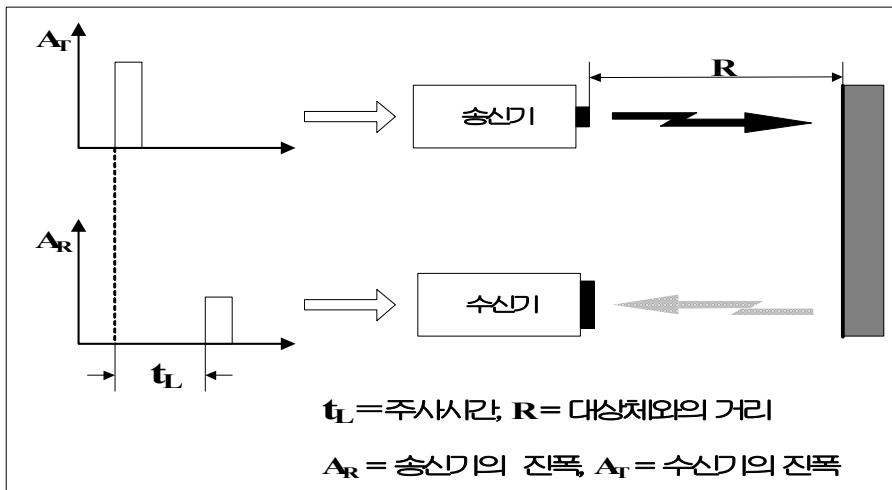


그림 2.19 LiDAR 시스템의 거리관측 원리(강규동, 2008)

레이저는 펄스를 생성하며, LiDAR 시스템에서 보낸 펄스는 지표면 상의 대상체에 반사되어 수신기로 돌아오게 된다.

2.4.3 장비구성

2.4.3.1 레이저 스캐너

레이저 스캐너는 센서와 지표면까지의 거리 및 방향을 측정하여 지표에 대한 3차원 좌표를 결정한다. 항공기 하부에 탑재되어 있는 레이저 시스템은 주사폭에 해당하는 지역에 대해 스캐닝 레이저와 지표면 사이의 범위에 대한 지형 정보를 관측하게 된다. 여기서 레이저 측정 장치는 관측대상 혹은 지표면에 레이저를 발사하고 반사하여 되돌아오는 왕복시간을 발사한 방향과 함께 기록하게 된다. 스캐닝 각도를 넓게 할 경우에는 비행 방향에 대해 직각으로 레이저를 주사하는 것보다 넓은 면적에 대한 관측이 가능하며, 주사폭은 관측목적, 기상조건, 점밀도, 간격 및 다른 인자들에 의해서 결정된다 (Wehr et al., 1999).

(1) Laser Footprint, Swath Width

한 라인을 스캔하기 위해 사용되는 주요한 레이저의 파라미터는 footprint와 swath width이다. 촬영높이(h)가 주어졌을 때 footprint는 주로 레이저빔의 divergence에 의존하고 swath width는 소위 FOV(field of view)라고 불리는 스캔각(θ)에 따라 달라진다 (Wehr et al., 1999).

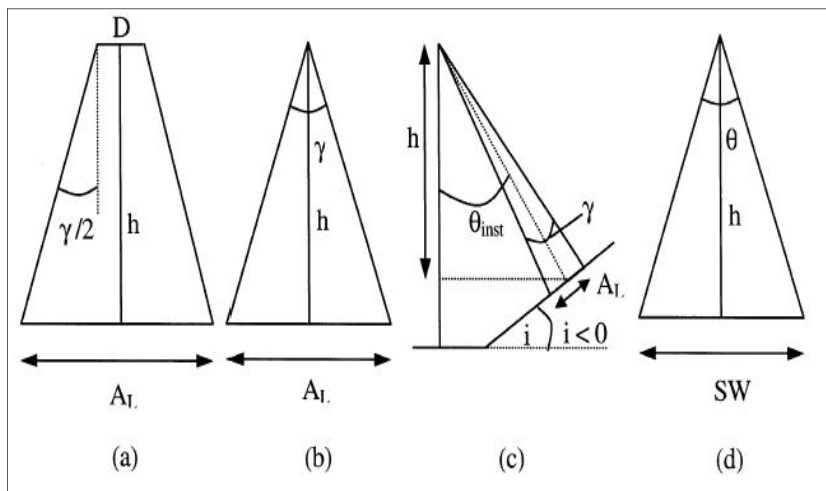


그림 2.20 레이저 footprint의 정의 (a),(b),(c) 및 swath width (d)(유지호, 2006)

(2) Scanning 방식

주사방식은 한 방향 혹은 양방향으로 이루어지며, 일반적으로 진동거울(oscillating mirror), 회전주사(palmer scan) 및 광섬유주사(fiber scan) 등의 방식으로 지표면을 주사함으로써 주사각, 주사 진동수, 비행고도, 비행속도 및 초당레이저 측정회수 등이 측량의 밀도와 특성을 결정한다. 또한, 지표면에 대한 주사 형태는 비행방향과 속도, 그리고 지형 등에 의해서 영향을 받기 때문에 가속도나 경사 등의 영향으로 지표면 상에서 점간 거리는 항상 일정하지는 않게 된다.

2.4.3.2 GPS

항공기의 위치는 항법 GPS에서 발생하는 부정확성을 교정하기 위해 DGPS를 사용하여 3차원으로 정해진다. 이를 위해 고정밀 GPS장비가 항공기내부와 지상기지국에 설치되어야하며 더 높은 정확도를 얻기 위해서는 L1/L2 GPS을 사용하고 지상 기지국이 측량지역에 가까이 있어야 한다. 현재 사용되는 레이저 스캐너 장비를 가지고 최대 로 얻을 수 있는 높이 정확도는 $\pm 0.15m$ 이다.

그러나 이를 위해서는 촬영 대상지역 20km안에 기지국이 있어야 한다.

2.4.3.3 INS

INS는 ‘빠른 속도로 회전하는 물체는 공간상에서 자신의 상대적인 방향성을 유지하려 한다’는 것과 ‘지구상에서 빠르게 회전하는 물체는 보통 중력에 따라 스스로 정렬한다’는 두 가지 물리적 원리를 이용하여 항공기의 자세정보를 관측하기 위한 장비로써, 자이로를 이용 관성공간에 대해 일정한 자세를 유지하는 기준 테이블을 만들고 그 위에 정밀한 가속도계가 장치된 구조로 되어 있다.

레이저 장치는 일반적으로 항공기가 수평으로 비행하는 동안에 지표면과 수직이 되도록 고정되어 있다. 그러나 비행하는 동안에 발생할 수 있는 항공기의 좌우요동(roll), 전후요동(pitch) 및 수평요동(yaw)에 의한 자세의 변화로 인하여 레이저빔은 항상 수직으로 방출되지 않게 된다.

특히, LiDAR 시스템에서 레이저 스캐너의 관측시간 간격은 GPS의 수신간격에 비해 매우 짧기 때문에 관측된 자료는 보간 된 위치정보에 해당하므로 항공기의 자세에 영

향을 크게 받게 된다. 이러한 영향을 최소화하기 위해 3축 자이로와 가속도계가 부착된 IMU를 이용하여 항공기 운항 중 발생하는 좌우요동, 전후요동 및 수평요동 등과 같은 자세의 변동 상태를 3축 방향으로 계측하여 기록하게 되며, 이 자세데이터는 LiDAR 점 데이터의 3차원 좌표결정에 이용된다.

2.5 ADCP

2.5.1 역사

ADCP의 원형은 물이나 해저면에 대한 선박의 속도를 측정하는 기기인 도플러 속도계(speed log)였다. 1970년대 중반에 생산된 최초의 상용 ADCP는 상용 속도계를 응용한 것이었다(Rowe et al., 1979). 속도계는 유속을 보다 정확하게 측정하고 수심 프로파일상의 범위 셀들 내에서 측정이 가능하도록 재설계 되었다. 이렇게, 세계 최초의 선박에 장착된 ADCP가 만들어졌다.

1982년에, RDI는 장기간 동안 배터리 전원을 채용하기 위한 용도로 설계된 최초의 ADCP를 생산하였다(Pettigrew et al., 1986). 1983년에 RDI는 자체적으로 선박에 장착된 ADCP를 생산하였다. 1986년까지, RDI는 5종류의 다른 주파수 (75~1200kHz)와 3개의 다른 ADCP 모델 (자체전원형, 선박 장착형 및 직독식)을 가지게 되었다.

제 1세대의 ADCP는 도플러 주파수 스펙트럼의 처음 순간을 계산하는 협대역밴드폭(narrow-bandwidth), 단일펄스(single-pulse), 자동상관법(autocorrelation)을 사용하였으나, 보다 정확한 신호처리방법인 광대역 신호처리과정(broadband signal processing)에 의해 대체되었다. 광대역 방법은 ADCP가 유속측정에 전체 시그널 밴드폭을 적용하도록 하는 장점을 갖도록 해준다. 보다 큰 밴드폭을 갖는 광대역 ADCP가 유속을 추정하기 위하여 보다 많은 정보를 갖도록 해준다. 전형적으로 100배 이상의 밴드폭으로써, 광대역 초음파해류계는 협대역 ADCP에 비하여 변동을 거의 100배정도 감소시킨다.

2.5.2 측정원리

ADCP는 물속으로 일정 주파수의 초음파를 전송하고 수중에 부유하는 플랑크톤, 부유모래, 쓰레기등과 같은 부유입자들에 의해 산란되어 돌아오는 반향을 수집, 도플러 효과를 이용하여 유속을 측정한다.

유사한 원리의 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)나 LDA(Laser Doppler Anemometry)가 아주 작은 체적에 집중하여 높은 주파수로 반향을 수집하는 것과는 달리 ADCP는 큰 체적에서 반향 되는 초음파를 수집하고, 이를 수심에 따라 일정 깊이별로 정리하여 수심별 유속 분포를 만들어 낸다. 그러므로 각기 다른 발생기에서 나온 음파들의 확산각이 클수록, 수심이 깊어질수록 더 큰 체적에서 자료가 수집되는 특성을 갖는다(이찬주 등, 2005).

또한, 일정 시간동안 한 지점에서 연속적으로 점 유속을 측정하는 일반적인 유속계와는 달리 ADCP는 기본적으로 순간 유속을 측정하기 때문에 하천을 가로지르며 ADCP로 측정한 유속 자료는 수 십초 이상의 연속 측정으로 얻어지는 시간평균 유속 자료와는 차이가 있으며 다양한 시간 규모에서 나타나는 난류의 영향을 반영하지 못하는 것으로 알려져 있다. 그러나 2.21처럼 ADCP는 일정한 수심 범위의 유속을 초에 1회 이상의 빠른 속도로 연속유속분포를 수집하면서 측정하고 공간적으로 이를 평균함으로써 시간적 순간성을 보완하는 특성을 갖고 있다.

ADCP 측정방법으로는 이동측정법과 정지측정법이 있다. 이동측정법은 하천을 횡단하면서 유량을 측정하는 방법으로 도플러 효과를 이용하여 하천의 유속을 결정하기 위해서는 하상추적 혹은 GPS에 의해 이동속도를 결정해야 한다. 정지측정법은 통상적인 유속면적법처럼 ADCP를 일정간격의 측선에 고정시켜놓고 유량을 측정하는 방법으로 홍수시와 같이 이동측정이 어려운 경우 측정이 가능하다는 장점이 있으나 20개 이상의 측선에서 측정을 수행해야하기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

통상 ADCP를 이용하여 현장 하천에서 유속을 측정하는 경우 ADCP를 그림 2.23과 같이 보트에 고정시키거나 별도의 작은 보트에 고정시켜 그림 2.24와 같이 하천을 가로지르는 횡측선을 따라서 이동시키거나 큰 하천의 경우 대략적인 코스를 정하여 이동하면서 측정한다.

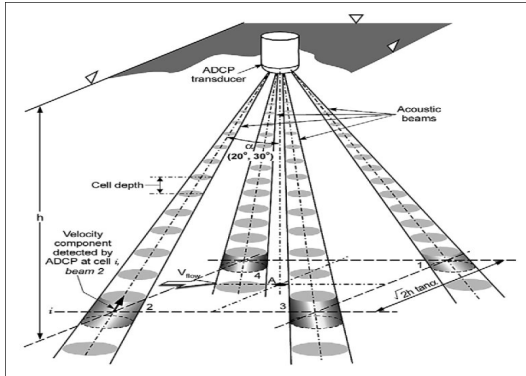


그림 2.21 ADCP 관측방법(정지관측)
(이찬주 등, 2005)

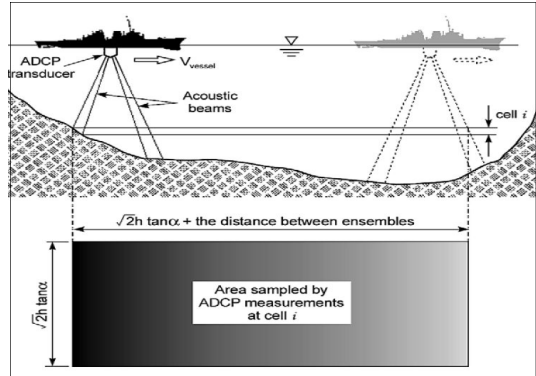


그림 2.22 ADCP 관측방법(이동관측)
(이찬주 등, 2005)



그림 2.23 ADCP 장비장착



그림 2.24 ADCP 관측

이 때, ADCP는 자체적으로 기기의 방향과 유속 방향을 내부적으로 파악한다. 또한 기기가 이동하는 경로를 하상에 쓴 음파를 분석하여 측정하는 하상추적 기능을 갖고 있어 일정시간동안 이동한 거리와 단면 형태, 그리고 음파에 의해 수집된 유속 자료 등을 종합하여 유향을 계산한다. 물론 음파에 의한 하상 추적이 아닌 DGPS를 이용한 이동 경로의 추적도 가능하다(김대현, 2015).

이에 따라 유수의 흐름에 직각으로 측선을 설치하는 등의 작업이 불필요하여 대하천에서도 손쉽게 유량을 측정할 수 있는 장점이 있다. ADCP가 유량을 계산하는 것은 식 (2.31)에 의해 구해진다.

$$Q = \int \int n(L) \cdot U(z, L) dz dL \quad (2.31)$$

- 여기서, Q : 유량(m^3/s)
- n : 직각단위벡터
- U : 유속벡터
- z : 수심(m)

ADCP는 측정된 유속에서 하상추적에 의해 계산된 보트의 이동 속도를 빼고 이를 보트의 진행 방향에 직각인 성분으로 변환하여 유량 계산에 활용하는 유속 성분을 추출한다. 그러므로 ADCP를 이동시키는 속도가 실제 유수의 흐름에 비해 빠른 경우 유속 측정에 오차가 발생하기 쉽다. 특히 유속이 전체적으로 느린 경우 그 오차가 증가하는 것으로 알려져 있다.

따라서 ADCP를 이동시키는 속도는 통상 유속의 3배를 초과하지 않는 것이 좋으며, 가장 최적의 데이터를 얻기 위해서는 유속보다 느린 속도로 운용하는 것이 바람직하다고 알려져 있다. ADCP는 기기의 특성상 하천 단면 전체에서 유량을 측정할 수 없는 한계를 지니며 측정 가능한 영역은 그림 2.25와 같다.

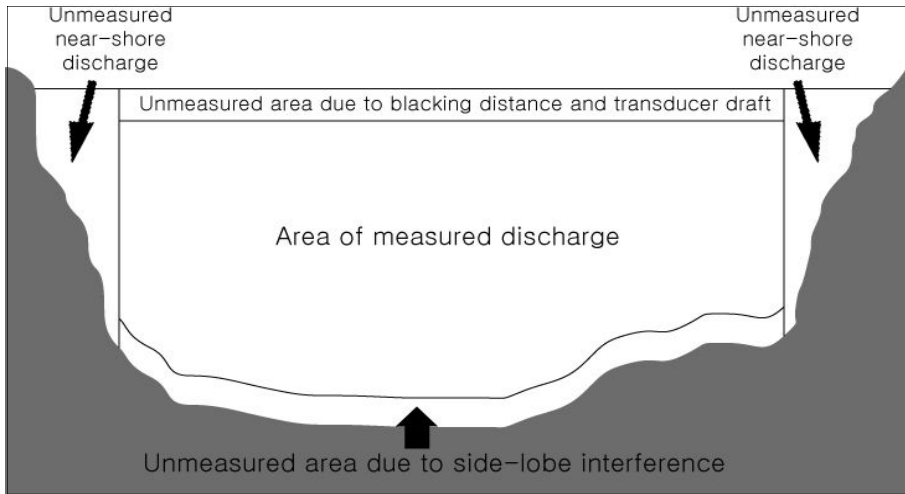


그림 2.25 ADCP의 유량측정 가능영역(김종민 등, 2015)

ADCP가 유속을 측정하기 위해서는 음파 송수신기가 수면 아래 잠겨있어야 하며 ADCP로부터 아래로 일정 거리까지는 정상적인 신호를 받기 위해 음파의 간섭 등의 효과를 차단하므로 이로 인해 수면 부근의 공백 거리가 발생하는데, 이는 저주파의 ADCP일수록 크게 나타난다. 또한 음파가 송신기에서 발생하여 하상으로 전달될 때 음파의 확산각이 아닌 빗겨간 방향으로 일부 음파가 전달되므로 정상적인 음파에 비해 일찍 하상에 도달되어 강한 반사파를 발생시켜 하상 부근의 유속 측정 시 노이즈가 발생하는 측면 효과가 존재한다. 이로 인해 ADCP는 하상 부근의 일정 깊이를 측정할 수 없으므로, ADCP가 작동하는 최소 수심보다 얕은 양안 부근에서는 측정이 불가능하다는 특징이 있다(이찬주 등, 2005).

즉, 송수파기에서 하상까지의 거리를 H_r , 송수파기의 연직방향에서의 기울기를 θ 라고 하면 측정 불가능한 높이 H_b 는 식 (2.32)와 같다.

$$H_b = H \times (1 - \cos\theta) \quad (2.32)$$

여기서, H_b : 측정 불가능한 높이(m)

H : 송수파기에서 하상까지의 거리(m)

θ : 송수파기의 연직방향에서의 기울기

그러나 ADCP는 이러한 측정 불가능 영역을 측정된 유속 자료를 이용하여 추정하고 측정된 유량과 합산하여 하천 단면의 유량을 계산한다.

ADCP의 하상추적기능은 기본적으로 일반적인 음향측심의 원리와 같고 유속 관측에 짧은 송신 펄스를 사용하여 수직적인 분해능을 얻는 반면, 하상추적에는 긴 송신 펄스를 사용하여 음파가 해저 면까지 도달할 수 있도록 한다.

짧은 송신 펄스를 사용하는 경우 반향음은 빔의 앞선 끝 부분부터 되돌아오고 그 후 뒷부분이 돌아오게 되며, 빔이 정해진 빔 폭을 가지고 있기 때문에 이 둘 사이의 수평 성분 빔 각도는 다르게 된다. 이것은 한 쪽과 다른 쪽의 도플러 이송이 다르다는 것을 의미하며 정확한 수평 및 수직위치를 결정할 수 없게 된다.

긴 송신 펄스를 사용함에 있어 반향음의 뒷부분이 수중에 반사되어 올수 있으나 수중에 반사되는 반향음은 바닥면에서 반사되는 반향음에 비하여 상대적으로 약하기 때문에 문제가 되지 않는다. 그림 2.26은 하상추적의 긴 송신 펄스와 짧은 송신 펄스의 차이를 나타내고 있다.

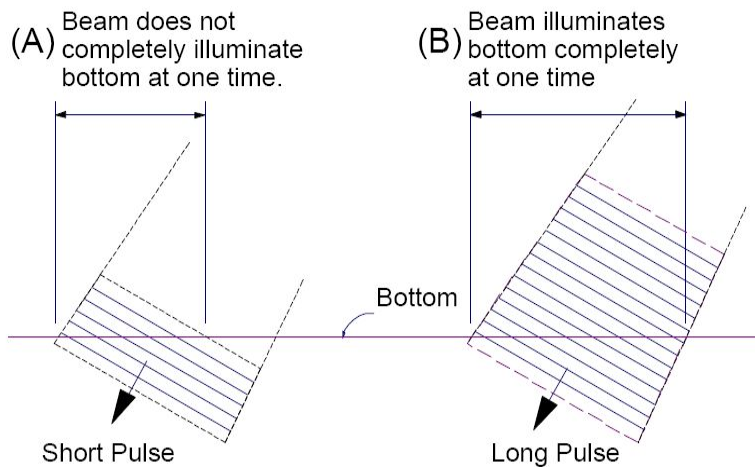


그림 2.26 하상추적의 긴 송신 펄스와 짧은 송신 펄스의 차이

2.6 SHOALS

2.6.1 역사

SHOALS 기법(Airborne Laser Hydrography)은 1960년대 이후 각광받기 시작하였으나, 초기에는 활용범위가 한정된 탐지를 위한 조사에만 국한되어 있었으며 SHOALS에 관한 최초의 보고서는 1969년 시라큐스 대학에서 발표된 바 있다.

1970년 초반에는 NASA 및 미 해군, 캐나다 원격탐사센터와 Optech사, 스웨덴 등을 중심으로 Profiling system에 관한 연구가 진행되었으며, 호주 해군의 무기 연구소(Weapons Research Establishment)는 WRELADS-1이라 불리는 Profiling system을 개발하였다.

1970년대 후반 Profiling 방식으로부터 레이저빔을 스캔하는 방법으로 발전하여 NASA, NOAA 및 미 해군에 의하여 Scanning Airborne Oceanographic Lidar (AOL)가 제작되었으며, 이후 AOL은 미 해군, 국방 도면 지도제작국(DMA)와 NASA에 의해 HALS(Hydrographic Airborne Laser Sounder)프로그램으로 발전하였다. 또한, 호주에서는 WRELADS-1으로부터 발전된 WRELADS-2라는 스캐닝 시스템이 개발되었으며 캐나다와 스웨덴은 MARK-2 프로파일링 시스템에 관한 연구를 진행하였다.

1980년대, ALH 시스템은 시험 단계를 넘어 실용화 단계로 이어졌다. Optech사는 캐나다 수로국 및 원격탐사센터의 지원을 받아 Larsen-500를 제작하였으며 스웨덴 국방 연구소는 Optech에 의해 FLASH-1이라 불리는 스캐닝 ALH를 개발하여 1988년 실용화하였다. 또한, 미국의 HALS 시스템은 다중 스펙트럼 스캐너와 결합되어 Airborne Bathymetric System(ABS)로 다시 불려졌다. 1988년도에 최초로 캐나다 수로국에 의해 LARSN-500으로 도면이 제작되었으며, 1989년 Optech사의 연구가 호주의 Vision System과 BHP Engineering으로 이전되어 호주 해군을 위한 LADS(Laser Airborne Depth Sounder)가 제작되었다.

또한, 1990년대 스웨덴 국방성의 후원으로 두 개의 ALH 시스템, 즉 Ocean Water Lidar, Ran LADS이 개발되었고 1994년에는 SHOALS 시스템이 미국 공병대에 납품되어 사용되었으며 1995년 SHOALS와 비슷한 두 개의 Hawkeye ALH 시스템이 스웨덴에 납품되었다.

1997년, SHOALS 시스템은 on-the-fly Ambiguity 해상도를 가진 동적 GPS를 사용

하여 기능을 향상시켰으며, 해저면 도면 제작과 결부되어 육지 전반에 지형도 제작을 수행하였다.

현재 이러한 상업화된 항공수심관측 장비는 캐나다의 Optech사와 오스트레일리아의 Tenix LADS사로 한정되어 생산하고 있으며, 세계적으로 사용되고 있는 실용화된 기종은 Optech사의 SHOLAS 시스템과 TenixLADS사의 LADS 시스템 뿐이다.

2.6.2 측정원리

SHOALS 시스템의 원리 및 시스템 구성은 기본적으로 육상에서 사용하는 LiDAR 시스템과 동일하다. 그러나 SHOALS 시스템이 LiDAR 시스템과 다른 점은 그림 2.27 과 같이 서로 다른 파장의 녹색레이저($532nm$)와 근적외 레이저($1,064nm$) 두 개의 레이저 펄스를 이용한다. 발사된 레이저는 각각 파장에 따라 수체 내에서의 투과율이 다르며 그림 2.28과 같은 파형으로 반사되어 되 돌아온다.

따라서 물 표면에서 반사되어 되 돌아오는 근적외 레이저와 수체 바닥에서 반사되어 되 돌아오는 녹색 레이저의 시간차를 대기중과 수중에서의 광속의 차이를 고려하여 관측함으로써 레이저 파장이 도달한 지점의 수심을 관측한다.

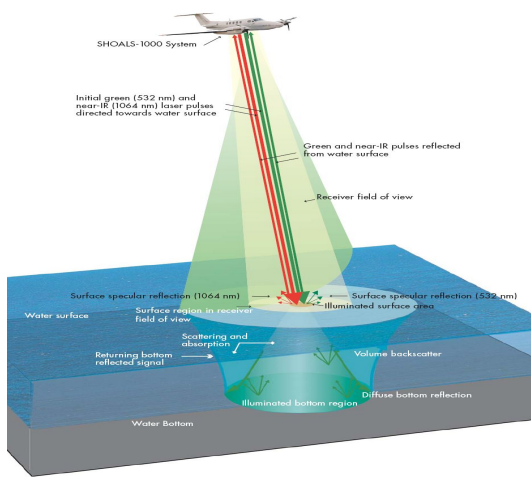


그림 2.27 SHOALS의 작동원리
(정현, 2008)

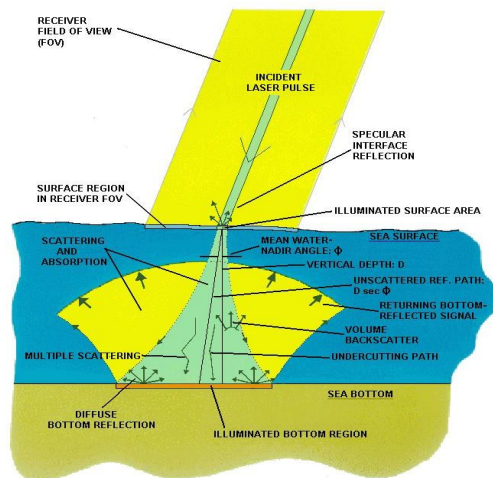


그림 2.28 SHOALS 수심측량 모식도
(정현, 2008)

항공레이저측심기로부터 발사된 레이저광중 근적외 파는 해면에서 반사되어 되 돌아온다. 해면에 도달한 근적외 레이저 빔은 해수 중에서 수 cm정도는 투과하지만 대부분은 해면에서 산란되며, 이중 후방 산란된 일부가 측심기의 수신기로 되 돌아온다.

또한, 해면에 도달한 녹색레이저 펄스는 수면에서 굴절되는 것으로 각각 수중을 투과하여 수분자 등과 상호작용을 일으켜 산란과 흡수 등을 일으키면서 해저면에 도달한다. 해저면에 도달한 녹색 레이저 빔은 해저 면에서 반사, 산란되어 그 중 일부가 입사 경로와 동일한 경로를 따라 수신기 센서에 도달하며, 그 왕복시간을 이용하여 해저면의 특성을 결정한다. 또한 수분자의 양자적인 상호작용에 따라 해면부근에서 비탄성적으로 산란하여 산란광이 발생하여 수치측정이 가능하다(정현, 2008).

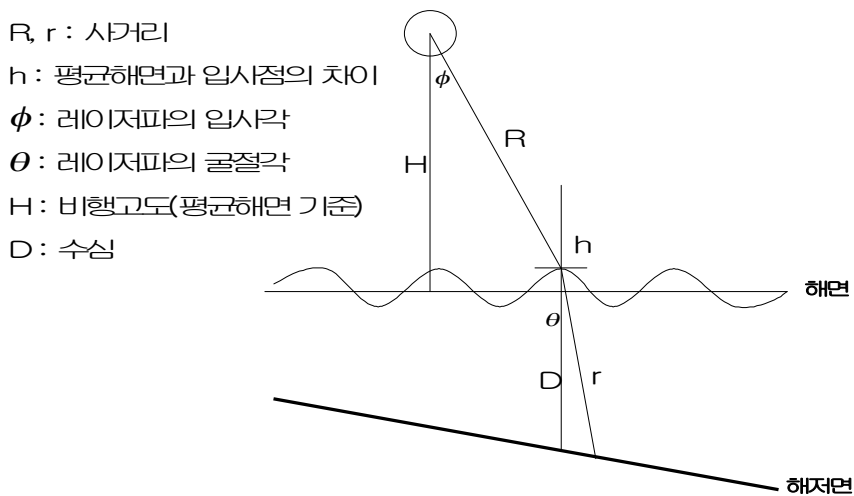


그림 2.29 SHOALS 측정원리(정현, 2008)

그림 2.29에서 레이저 발사 장치로부터 해저반사점까지의 레이저 파의 거리를 식 (2.33)으로 구하게 된다.

$$R_b = R + nr \tag{2.33}$$

여기서, R_b : 해저반사점 레이저 파의 거리(m)

n : 수중 굴절률

r : 수중 레이저파의 길이(m)

이때, 레이저 파의 왕복시간을 사용하면, 식 (2.34)를 만족한다.

$$R_b = C \times t \quad (2.34)$$

여기서, R_b : 해저반사점 레이저 파의 거리(m)
 t : 레이저 파의 왕복시간

또한, 수중 굴절률은 스넬(snell)의 법칙에 따라 식 (2.35)로 표현된다.

$$n = \frac{\sin\phi}{\sin\theta} \quad (2.35)$$

여기서, n : 수중 굴절률

수중에서의 광속의 저하에 따라 depend bias를 ϵ_d 라 하면, 식 (2.36)과 같다.

$$R_b = (H-h)\sec\phi + n \times (D+h+\epsilon_d)\sec\phi \quad (2.36)$$

여기서, R_b : 해저반사점 레이저 파의 거리(m)
 H : 비행고도(m)
 h : 평균해면과 입사점의 차이
 ϕ : 레이저파의 입사각
 D : 수심(m)

식 (2.36)을 변형하면, 수심 구하는 식은 (2.37)과 같다.

$$D = \frac{R_b - H\sec\phi}{n\sec\theta} - \epsilon_d - h \left[1 - \frac{\sec\phi}{n\sec\theta} \right] \quad (2.37)$$

여기서, D : 수심(m)
 n : 수중 굴절률

R_b : 해저반사점 레이저 파의 거리(m)

H : 비행고도(m)

h : 평균해면과 입사점의 차이(m)

θ : 레이저파의 굴절각

ϕ : 레이저파의 입사각

여기서, 우변 제 3항은 파랑의 효과로 볼 수 있다. 레이저 파는 파랑의 어느 위치에 있다고 가정하면, 파랑성분은 식 (2.38)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta h = h \left[1 - \frac{\sec \phi}{n \sec \theta} \right] \leq \frac{h}{4} \quad (2.38)$$

여기서, Δh : 위치오차(m)

h : 평균해면과 입사점의 차이(m)

n : 수중 굴절률

θ : 레이저파의 굴절각

ϕ : 레이저파의 입사각

또한, $-h_{\max} \leq h \leq h_{\max}$ 되고, 정의에 따라 $h_{\max} = \frac{1}{2}$ 파고가 된다.

여기서, 측량해역에 파고가 $2m$ 파가 확인되었다면, $20cm \sim 30cm$ 정도의 파랑의 영향이 예측된다. 실제 측량의 경우에는 파고의 영향이 적은 것으로 해석처리를 하고 있지만, 그렇더라도 항공레이저측심에 있어서 파랑의 작은 조용한 바다에서 하는 것이 바람직하다. SHOALS 시스템의 수심관측에 있어서의 기본적인 제약조건은 수체의 맑은 정도이다.

따라서 관측 가능한 최대 수심은 물의 탁도와 매우 밀접한 관계가 있으며 탁도에 따라 수심 m 에서 수 m 까지 변할 수 있다. 수체의 탁도는 초기값에 대한 광량의 감소량을 수치화한 확산감쇠계수(diffuse attenuation coefficient) K_d 로 표현되며, $K_d D$ 를 기준으로 수심관측 가능여부를 판정한다. 보다 실제적인 판정방법으로는 Secchi Depth가 있다. 만약 1/4씩 흑색 및 백색으로 칠해진 $45cm$ 직경의 판을 수중에 내려 판이 보이지 않을 때까지의 깊이를 Secchi Depth라하고, SHOALS 시스템의 수심관측 한계는

Secchi Depth의 3배까지로 판정한다.

또한 SHOALS 시스템에서는 수심관측을 위한 Hydrographic 모듈과 함께 육상 측량을 위한 Topographic 모듈을 지원하고 있으며 각 모듈별 상세내역은 표 2.1과 같다.

표 2.1 SHOALS 모듈 현황 및 특징

Hydrographic 모드		Topographic 모드	
주파수	3,000Hz	주파수	20,000Hz
촬영폭	215m	촬영폭	350m
촬영고도	200m ~ 400m	촬영고도	300m ~ 700m
수평오차	1m	수평오차	60cm
수심오차	±20cm	수직오차	±25cm

제 3 장 하천과 연안 지형탐측 국내 사례 분석

하천 지형탐측(하천측량)이란 하천, 저수지, 호수 또는 연안에 있어서 수저부의 지형을 파악하기 위하여 수위와 조위, 수심 및 측심위치를 측정하여, 횡단면도 또는 수심도를 작성하는 작업을 말한다(국토교통부, 2016).

구체적으로 하천의 형상, 수위, 단면, 경사, 유속 및 지형지물의 위치를 측량하고, 평면도, 종단면도, 횡단면도를 작성하여 각 지점의 유량을 계산함으로써 용수공급을 위한 이수와 홍수조절을 위한 치수 계획에 활용하기 위한 측량이다.

하천측량 결과는 하천의 유량측정에 있어서의 중요한 자료로 활용되며 측정된 하천의 유량정보는 합리적이고 경제적인 이수 및 치수 계획의 수립, 홍수예보 및 경보 업무, 수위-유량 관계곡선 개발, 각종 수공 구조물 설계 등에 활용하기 위한 수문 분석 시 기본 자료로 이용된다(최내인, 2009).

본 장에서는 하천과 연안 지형탐측의 현황, 그리고 탐측장비를 이용한 국내 사례를 분석한다.

3.1 하천과 연안 지형탐측

일반적으로 측량계획은 도상조사, 자료조사, 현지조사로 구분할 수 있으며, 지형측량의 범위는 하천의 형상을 포함할 수 있는 크기로 하며, 일반적인 하천 및 하천 횡단면의 형상은 각각 그림 3.1 및 그림 3.2와 같이 나타낼 수 있다.

지형측량은 평면측량과 고저측량으로 나누어 측량을 실시하며, 평면측량은 다시 골조측량과 세부측량으로 분류가 된다. 골조측량이란 세부측량의 기준이 되는 기준점들의 측량을 말하며, 세부측량은 골조측량에 의한 도근점 등 측량 기준점의 성과를 바탕으로 지상의 지형지물 및 경계등을 측량하고 도시하는 것으로 평판 또는 항공 사진측량에 의해 실시하고, 지형지물 및 하천 구조물의 위치 등을 측량 후 도시하여 지형도를 작성하는 것이다.

고저측량은 종단 측량 및 횡단측량으로 구성되며, 유수부는 심천측량에 의하여 종단면도, 횡단면도를 제작한다. 이후 유량측량을 통하여 각 관측점에서 수위관측, 유속관측, 수심측량을 행하여 유량을 계산하고 유량곡선을 제작하며, 필요에 따라 강우량 및 하천구조물 등 조사를 실시한다. 일반적인 작업순서는 그림 3.3과 같다.

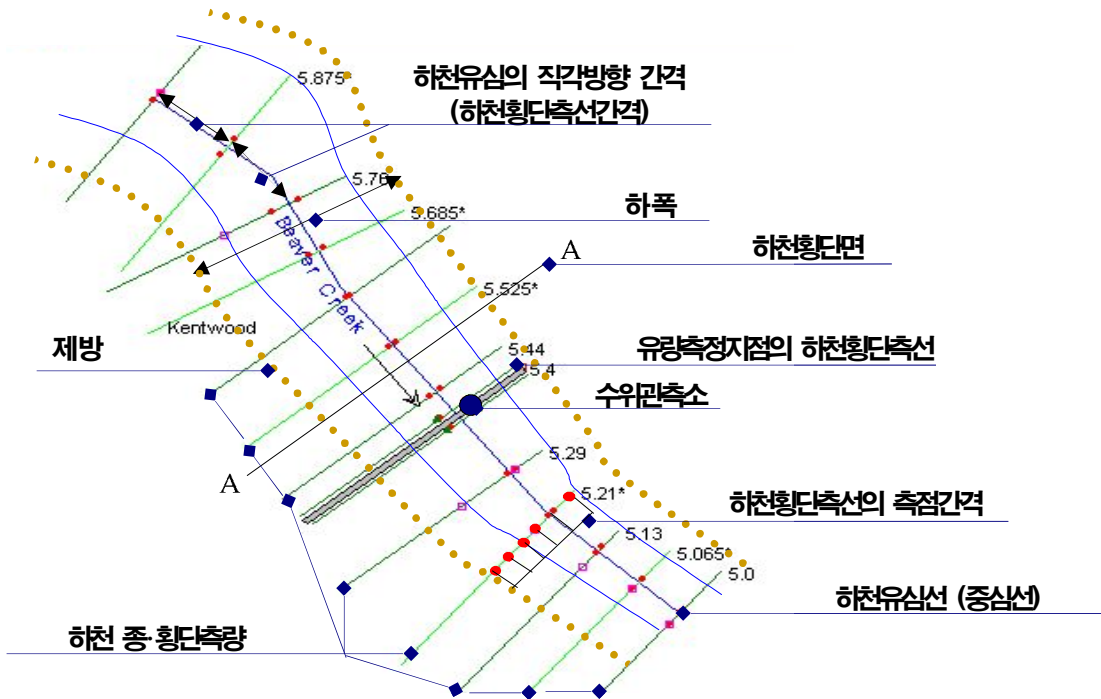


그림 3.1 하천의 형상 및 관련용어(최내인, 2009)

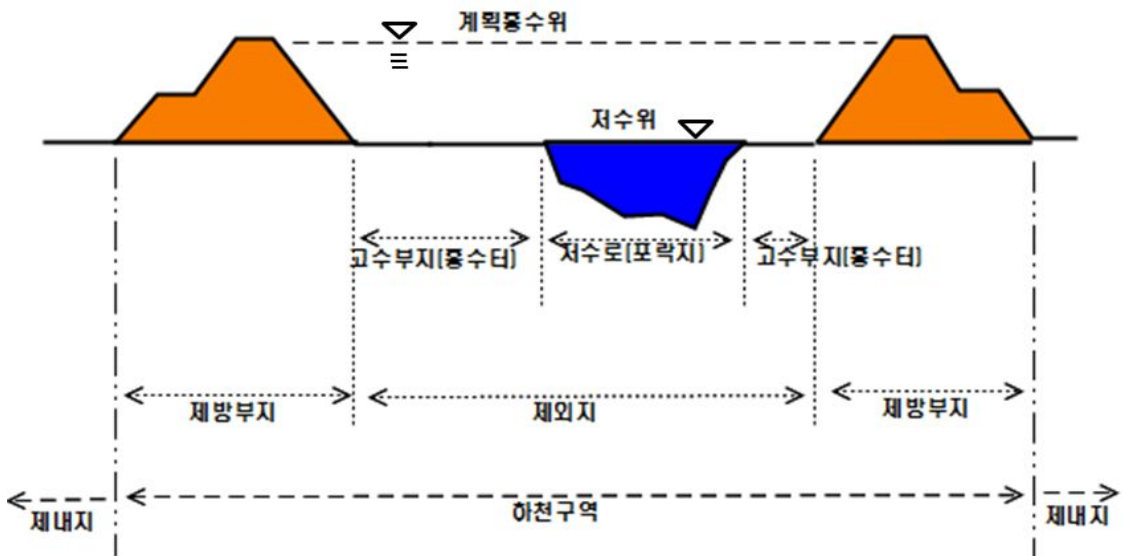


그림 3.2 하천의 단면형상(최내인, 2009)

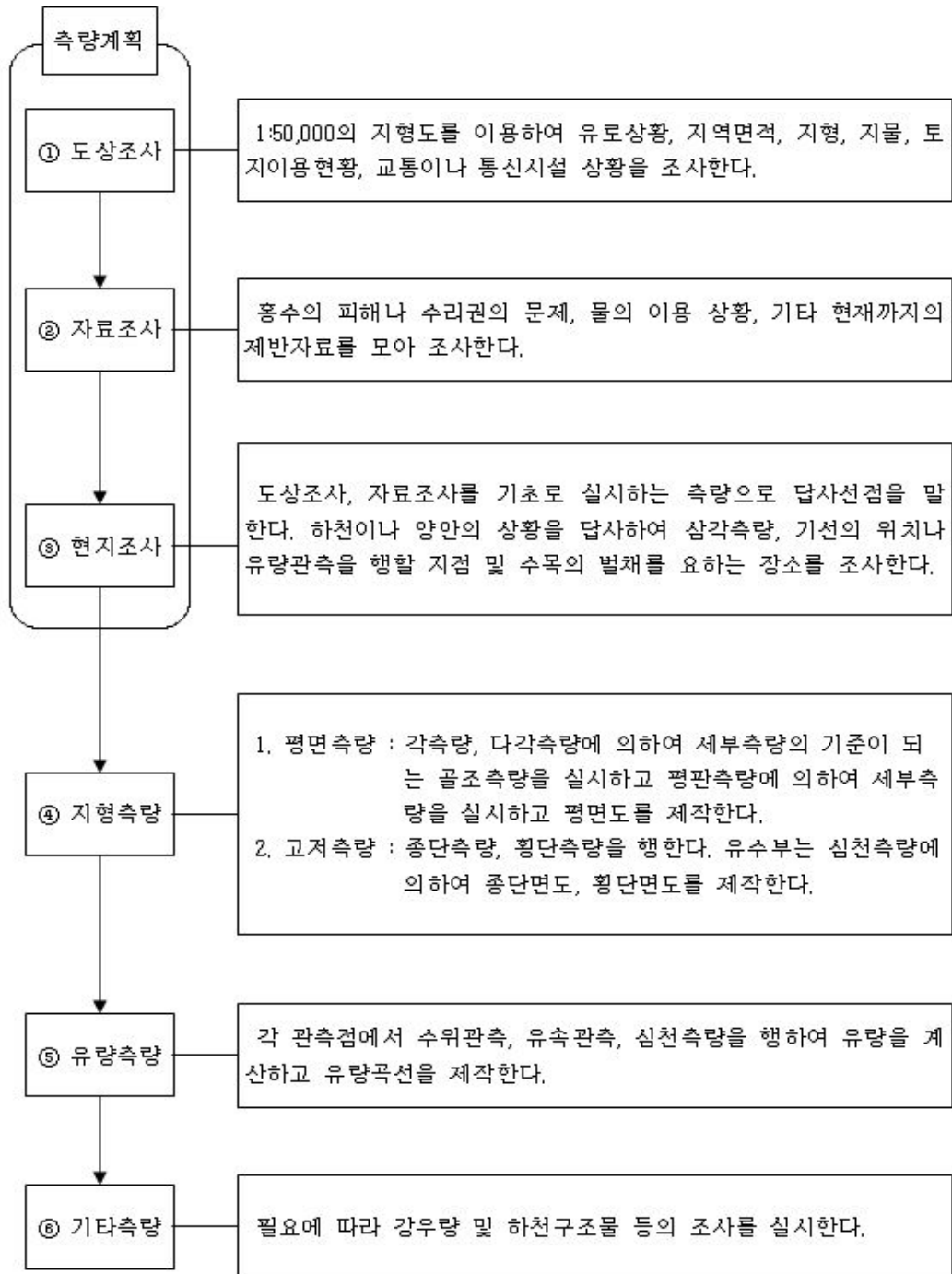


그림 3.3 일반적인 하천측량의 작업 흐름도(최내인, 2009)

3.1.1 측량계획

측량을 실시할 경우에는 원칙적으로 현장답사를 통하여 측량목적에 따른 측량의 범위, 방법, 정확도 및 허용오차를 결정하게 된다.

각 측량방법에 의해 얻어진 성과의 정확도에는 한계가 있기 때문에 측량의 목적에 부합하는 허용오차를 설정하여 측량을 수행하게 된다.

최근에 개발된 측량방법인 GPS 측량, 항공사진측량, 그리고 GIS를 위한 측량성과의 수치지도 작성 등을 활용하여 광범위하고 정확하며 신속한 수치 및 그래픽 처리가 가능한 하천측량이 이루어지도록 하여야 한다.

3.1.2 지형측량

3.1.2.1 평면측량

(1) 골조측량

골조측량이란 세부측량의 기준이 되는 기준점들을 측량하는 것으로 국토지리정보원에서 매설한 기본 삼각점을 바탕으로 점간거리 1km 이상의 기준을 결정하는 경우에는 삼각측량에 의해 실시하고, 점간거리 300m 전후에서는 다각측량에 의해 실시하며, 광과 측거기 및 전자과 측량기에 의해 측량할 경우에는 점간거리 3km 이내에서는 다각측량을 실시할 수 있도록 한다.

(2) 세부측량

세부측량이란 골조측량에 의한 도근점 등 측량 기준점의 성과를 바탕으로 지상의 지형지물 및 경계등을 측량하고 도시하는 것으로 평판 또는 항공 사진측량에 의해 실시하고, 지형지물 및 주요 하천구조물의 위치 등을 측량하고 도시하여 지형 현황도를 작성하는 것이다.

계획용 기본도 작성을 위한 축척은 1:1,200~1:5,000(세부도면은 1/600)을 원칙으로 하되 그 축척은 조사대상 하천의 하폭 등 현지실정에 따라 정하며 조사목적에 따라 표 3.1과 같은 등고선 간격 기준에 의한 등고선을 삽입한다.

표 3.1 등고선 간격 기준

축척	주곡선	계곡선	간곡선	조곡선
1/250	0.5m	2.5m	-	-
1/500	1.0m	5.0m	0.5m	0.25m
1/1,000	1.0m	5.0m	0.5m	0.25m
1/2,500	2.0m	10.0m	1.0m	0.50m
1/5,000	5.0m	25.0m	2.5m	1.25m
1/10,000	5.0m	25.0m	2.5m	1.25m
1/25,000	10.0m	50.0m	5.0m	2.50m

또한, 지형 현황측량 결과는 정확도를 확인하기 위하여 필요한 심사를 받아야 하며, 측량성과의 정확도 및 심사는 국토교통부의 공공측량성과 심사업무처리규정에 의거 국토지리정보원에서 시행(또는 위임받은 공간정보산업협회)하는 심사를 받아야 한다.

3.1.2.2 고저측량

(1) 종단측량

거리표(종단측점)는 하천의 종점으로부터 기점을 향하여 하천의 종방향으로 계획하폭의 중앙선을 따라 측점을 부여하고 계획하폭 중앙선의 측점간 거리는 200m 간격이 표준이나, 하천설계기준에서 정하고 있는 간격을 고려하되 10m, 20m, 40m, 50m, 100m, 125m, 200m, 250m 중에서 선택하며 하폭이 급변하거나 보 및 교량 등 하천 횡단구조물이 설치되어 있는 지점, 하상경사가 급한 구간 등에서는 추가 측점을 설치한다.

계획하폭 중앙선 측점의 접선방향에 직각방향으로 과거 최고홍수위 이상 되는 지점(좌·우안)에 측점번호가 음각된 영구표석을 매설하고 영구표석에는 계획하폭 중앙선 측점번호와 하천의 종점에서 동 측점까지의 누가거리를 표기(예:5km+125m 등)한다.

수준측량은 국토지리정보원에서 매설한 1등 또는 2등 수준점으로부터 조사 구간 내에 설치한 측점까지의 수준표고를 연결하는 측량이며, 종단측량은 하천의 종단형을 구하기 위하여 좌, 우 양안에 설치한 측점의 표고 및 지반고 등을 측량하는 작업으로 관련규정의 정확도를 확보하여야 한다.

수준측량의 정확도는 표 3.2와 같은 세부기준의 1급 수준측량 기준을 만족해야 하며,

중단 도면 축척으로 횡축척은 1/1,000~1/100,000, 종축척은 1/100~1/500을 표준으로 하나 계획 및 이용이 편리하도록 결정한다.

표 3.2 수준측량 오차 허용범위

항 목 구 분	1급 수준측량	2급 수준측량	3급 수준측량	4급 수준측량	비 고
왕복측정값의 교차	$2.5\text{mm}\sqrt{S}$	$5\text{mm}\sqrt{S}$	$10\text{mm}\sqrt{S}$	$20\text{mm}\sqrt{S}$	S : 편도 관측거리(km)

중단 측량 작업은 조사구간의 좌우 양안을 폐합시키고 각각 왕복측량을 실시하며 중단 측량 시에는 측점의 표고를 비롯한 측량 구간 내에 위치한 수위표 영점표고 및 단별 표고(수위표 수준점등 포함), 수문 및 갑문의 문턱, 교량, 보 등 각종 하천시설물의 필요한 표고를 측정하여 도시하여야 한다.

중단측량은 하천의 중요도에 따라 1급~3급 수준측량의 정확도를 만족해야 하나 산간부의 급경사 하천에서는 4급 수준측량의 정확도를 허용하기도 한다.

(3) 심천(수심)측량

심천(수심)측량이란 하천, 저수지, 호수 또는 연안에 있어서 수저부의 지형을 파악하기 위하여 수위와 조위, 수심 및 측심위치를 측정하여, 횡단면도 또는 수심도를 작성하는 측량이며, 수심의 측정은 음향측심기를 사용하여 행한다.

다만, 수심이 얇은 경우에는 직접측정을 행할 수 있다. 또한, 측심위치 측정을 위한 사용 장비에 따른 측정 간격은 표 3.3과 같다.

표 3.3 측심위치 결정시 활용 장비

측 정 기 기	측 정 간 격
와이어로프, 광파거리측정기, 토탈스테이션, GPS측량기	5m~20m
해상위치측량용 전파측위기	20m~100m

초기 수심측량은 짧은 밧줄이나 닻줄을 선박의 뱃전에서 내려뜨린 다음 해저바닥에 도달하는 데 필요한 길이를 측정하는 방법을 이용하거나, 납으로 만든 추에 눈금을 새긴 줄을 매어 해저까지 내린 다음 줄에 표시한 눈금으로 바다의 깊이를 알아내는 방법으로 수심을 측량하였다. 이때 사용되는 장비가 측심봉(rod, sounding pole)과 측심추(lead, sounding weight)이며, 이 방법은 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 흔히 결과가 부정확하므로 연속적인 측정보다는 어느 한 지점에서의 수심을 측정하는 데 이용된다.

오늘날 널리 사용되는 방법으로는 제2차 세계대전 이후 음향탐지 기술의 급속한 발달이 이루어지면서 개발되기 시작한 음향측심기(echosounder)를 이용하고 있다.

3.2 하천과 연안 지형탐측 현황

3.2.1 하천기본계획을 위한 하천측량

하천법에서는 하천을 표 3.4와 같이 구분하고 있으며, 하천기본계획은 하천법 제 17조 및 동법 시행령 제 10조의 규정에 의거 관리청에서는 10년 단위로 하천기본계획을 수립하되 수립된 날부터 5년 마다 타당성 여부를 검토하고 필요한 경우 하천기본계획을 변경하도록 규정하고 있다(국토교통부, 2016).

표 3.4 하천법상 하천의 분류

분 류	내 용	관 리 청
국가하천	국토보전상 또는 국민경제상 중요한 하천으로서 국가가 관리하는 하천	국토교통부장관
지방 1급하천	지방의 공공이해에 밀접한 관계가 있는 하천	관할구역 시/도지사
지방 2급하천	국가하천 또는 지방 1급 하천에 유입하거나 이에서 분기되는 수류로서 국가하천 또는 지방 1급 하천에 준하는 하천	관할구역 시/도지사

하천기본계획에는 하천의 개황 및 하천공사의 시행에 관한 사항, 하천예정지·하천구역 및 연안구역의 지정을 위한 조사, 그밖에 하천의 환경보전과 적절한 이용에 관한 사항이 포함되는데 이 중 하천측량 부분이 포함되며, 하천기본계획 수립 및 하천대장 작성지침에서 하천기본계획을 위한 하천측량 방법을 제시하고 있다(국토교통부, 2016).

(1) 지형 현황측량

하천의 최소 폭이 도면상에서 1cm이상이 되도록 축척을 정하여 도면을 작성토록 하되, 이때의 최대축척은 1/1,000 이내로 한다.

하천기본계획 수립 및 하천대장 작성을 위한 기초자료인 지형평면도는 지형 현황 측량에 의하여 적절한 축척(1/1,000~1/5,000)으로 작성함을 원칙으로 하되, 측량이 곤란한 지역은 기 제작된 지형평면도를 이용하여 작성한다. 지형 현황측량은 하천구역은 물론 연안 인접지역의 모든 지형지물의 위치와 표고 등이 정확히 나타나도록 실시하여야 한다.

지형 평면도를 색인할 수 있는 평면 일람도와 위치 평면도는 1/25,000 또는 1/50,000에 적절히 표기하여 구분 작성하고, 기본계획 보고서의 부도는 하천 현황을 나타낼 수 있도록 지형 평면도를 적절한 축척으로 축도하여 색인 일람도와 함께 수록한다.

지형측량의 범위는 유제부에서는 제외측 전부, 제내측은 200m로 하되 하폭 등 해당 하천의 특성에 맞추어 가·감하여 결정하고, 무제부에서는 계획홍수위 또는 과거 최고홍수위선 이상까지 시행하되 하천의 특성을 감안하여 조정할 수 있다. 지형현황 측량을 항공사진 측량으로 작업할 경우에는 측량관계 법령 및 규정에 의한다.

(2) 거리표(중단측점)의 설치

거리표(중단측점)는 하천의 종점으로부터 기점을 향하여 하천의 종방향으로 계획하폭의 중앙선을 따라 측점을 부여하고, 계획하폭 중앙선의 측점간 거리는 하천설계기준에서 정하고 있는 간격을 고려하되 10m, 20m, 40m, 50m, 100m, 125m, 200m, 250m 중에서 선택하며 하폭이 급변하거나 보 및 교량 등 하천 횡단구조물이 설치되어 있는 지점, 하상경사가 급한 구간 등에서는 추가 측점을 설치한다.

접근이 곤란한 위치를 제외하고 계획하폭 중앙선 측점의 접선 방향에 직각방향으로 과거 최고홍수위 이상 되는 지점(좌·우안)에 측점번호가 음각된 영구표석을 매설하며 영구표석에는 계획하폭 중앙선 측점번호와 하천의 종점에서 동 측점까지의 누가거리를

표기(5km+125m 등)한다.

(3) 수준 및 종단측량

종단측량 작업은 측점에 대하여 좌우 양안을 함께 폐합시키고 좌우 양안에서 각각 왕복측량을 실시한다. 종단 도면의 축척은 원칙적으로 종으로 1:100, 횡은 중·횡단계획 및 이용이 편리하도록 결정하며, 종단측량 시에는 측점의 표고를 비롯한 측량 구간 내에 위치한 수위표 영점표고 및 단별 표고(제방표고, 소단표고, 저수위 표고 등), 수문 및 갑문의 문턱, 교량(하부구조와 상단 포함), 보 등 각종 하천시설물의 필요한 표고를 측량한다.

(4) 하천 횡단측량

측량의 범위는 계획하폭 중앙선을 중심으로 하천수가 흐르는 부분을 포함한 전 구간을 측량하고, 제내지측은 제방이 설치되어 있는 곳에서부터 200m로 하되 하폭 등 해당하천의 특성에 맞추어 가·감하여 결정하고, 제방이 설치되어 있지 않은 경우는 과거 최고홍수위 이상 되는 지점까지 측량함을 원칙으로 한다.

한 단면의 횡단측량을 실시할 때 점간 거리는 하폭에 따라 5m~20m를 원칙으로 하되 지형의 변화가 급한 구간은 저수로에서 최소한 1m~5m 간격의 추가지점을 측량하여 상세하고 완전한 횡단형을 작성할 수 있도록 한다.

횡단면도의 축척은 종으로 1:100, 횡으로 1:100~1:200을 원칙으로 하되, 유수의 하류 방향을 향하여 작도함으로써 좌안측이 왼쪽, 우안측이 오른쪽에 위치하도록 한다.

3.2.2 수자원·환경 기초조사를 위한 하천측량

수자원·환경 기초조사는 댐 건설 예정지를 포함하여 댐 상·하류 및 댐 연계운영에 필요한 하천 주요지점에 대하여 강우량, 수위, 유량, 유사량, 하상변동, 수질조사 등을 수립하며, 이 중 유량조사는 이·치수, 환경관리를 목적으로 유량측정이 필요한 지점에 대하여 정기적으로 실시하며 하상변동조사는 유량 측정 자료의 수리학적 분석 및 하상 변동현황의 파악을 위하여 유량 측정 지점 상·하류 각 2km를 대상으로 3~4년을 주기로 조사한다.

유량 측정 지점의 하천 횡단측량은 홍수기 전·후 각 1회씩 유제부는 제방 및 제외지

구간, 무제부는 계획 홍수위까지 측정간격을 5m로 하여 실시하며, 하폭이 좁은 하천의 경우 하폭(횡단측량거리)의 최대 1/10이하 간격을 유지하고 경사가 급변한 지점 등에서는 추가 측정 배치하여 수행한다.

또한, 유량 측정 지점 상·하류 각 2km 구간의 하천 중·횡단 측량은 하폭에 따라 100m, 200m, 500m 내외의 간격으로 실시하며, 하폭이 급변하거나 보 및 교량 등 하천 횡단구조물이 설치되어 있는 지점, 하상경사가 급변한 구간 등에서는 측선을 추가 배치한다. 표 3.5 및 표 3.6, 그림 3.4와 같은 하상변동조사를 위한 하천 중·횡단 측량의 기준 및 세부절차를 활용하고 있다.

표 3.5 하천측량 범위

하 폭	중·횡단측량				
	하천유심의 직각방향간격	무제부		유제부	
		제내지	제외지	제내지	제외지
5m~50m	50m 내외	계획홍수위 이상	전부	50m 이상	전부
50m~200m	100m 내외			100m 이상	
200m~500m	200m 내외			200m 이상	
500m 이상	500m 내외			500m 이상	

표 3.6 하폭에 따른 횡단측량 측정간격

하 폭	횡단측량 측정간격
100m 이하	5m
200m 이하	10m 내외
200m~500m	15m 내외
500m 이상	20m 내외

구 분		세 부 내 용
1	도 상 (수 치 지 도) 계 획 수 립	<ul style="list-style-type: none"> - 하천기본계획을 참조하여 하폭에 따라 수치지도상에서 100m, 200m, 500m 내외로 하천횡단측선배치 - 하천횡단측선 양안기준점은 수치지도상 좌표(TM)확인 ※ 수치지도상 좌표는 지리좌표체계상 베셀타원체를 기준으로 하여 평면좌표체계(투영)로 표시되어 있으며 평면좌표체계의 기준점은 서부, 중부, 동부원점 기준
2	기 준 점 확 인 및 선 점	<ul style="list-style-type: none"> - 하천 종·횡단측량 구간의 국가기준점(평면좌표), 수준점(표고), 하천기본계획 시 설치한 기준점 및 수위관측소지점의 표시의 좌표·표고성과를 확인하고 표시의 존재 여부를 현장에서 확인
3	횡 단 측 선 기 준 점 설 치	<ul style="list-style-type: none"> - 기준점을 이용하여 도상 계획한 하천횡단측선 양안 기준점을 찾아 말목을 설치, 이 때 계획한 양안 기준점설치지점은 하천 지형을 고려하여 조정 확정 ※ 하천횡단측선 기준점 설치는 하천횡단측량을 위한 골조측량이라고 볼 수 있으며, 광파기를 이용할 경우 기준점(최소 2지점)을 이용한 삼각측량을 실시하고, GPS RTK방식의 경우 기준점(1지점)을 이용하여 측량 가능
4	하 횡 단 측 량 (육 상)	<ul style="list-style-type: none"> - 하천횡단측선의 양안기준점을 기준으로 하천횡단측량 측점간격으로 측량실시 ※ 하천 수심이 얕아 도섭이 가능한 경우 수심부 측량도 육지부 측량과 같은 방법으로 실시
5	하 횡 단 측 량 (수 심)	<ul style="list-style-type: none"> - 수심이 깊어 도섭이 불가능한 경우 ADCP를 이용하여 육지부 측량에서 표시해둔 연결점에서 수심측량(왕복) 실시 후 측량성과로부터 횡단측선상의 직선으로 보간
6	횡 단 측 량 성 과 정 리	<ul style="list-style-type: none"> - 하천횡단측량 성과정리는 육지부 측량성과와 수심측량 성과를 연결하여 작성하며, 이 때 하천횡단측선상의 측점을 좌안에서부터 No.0, 1, 2....로 정리, 횡단측선번호는 하류로부터 No.0, 1, 2... 작성하고, 추가 측선의 경우 직하류 측선번호, 거리(m)로 표시

그림 3.4 하천 종·횡단측량(4km구간) 세부절차

3.2.3 댐 퇴사량 조사

댐 퇴사량 조사는 향후 효율적인 댐 운영 관리 및 수자원 기초자료로 활용하기 위하여 댐 저수구역 내 중횡단 측량을 통해 퇴사량을 실측 조사하여 수치지도를 작성하고 저수용량 검토, 배수위 계산, 퇴사특성조사, 장래 저수지 퇴사량 예측 등에 대한 검토를 수행하는 것으로 기준점 측량, 하천 횡단측량 및 수심측량의 내용을 포함한다.

기준점 측량은 그림 3.5와 같이 GPS 측량에 의한 상대측위의 정적측량방식으로 수행하고, 토탈스테이션 및 레벨을 이용한 다각측량 및 수준측량을 병행하며, 하천의 횡단측량 및 수심측량은 수심이 낮은 지역에서는 그림 3.6과 같이 레벨 및 토탈스테이션을 활용하여 직접 관측한다. 또한, 수심이 1m가 넘는 경우에는 그림 3.7과 같이 SBES를 활용하여 하천지형 정보를 취득한다.



그림 3.5 GPS를 이용한 기준점 측량

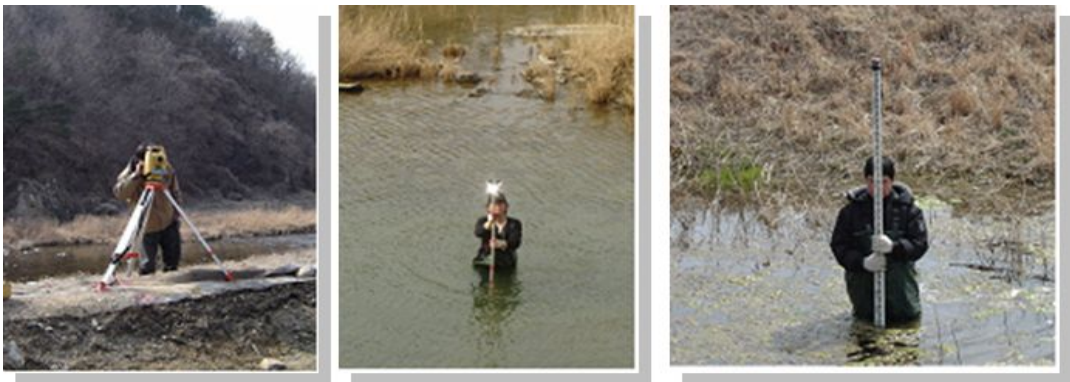


그림 3.6 레벨 및 토탈스테이션을 이용한 횡단측량

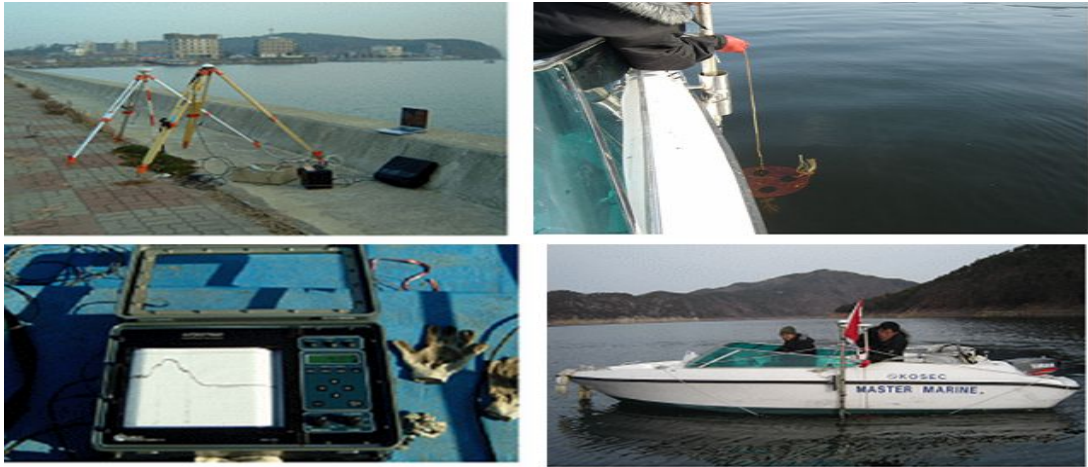


그림 3.7 SBES 및 수심관측 전경

3.3 하천과 연안 지형탐측 자료의 확보

3.3.1 기존 하천과 연안 지형탐측 자료

국가차원에서 GIS 기반조성을 위하여 1995년에 시작된 제 1단계 국가지리정보체계(National Geographic Information System 이하 NGIS)사업에 의하여 공간정보의 구축, 활용 등에 관한 국가 표준이 정립되고 지형도 및 각종 주제도 등의 수치지도화가 완료되었으며, 2001년에 시작된 제 2단계 NGIS 사업을 통하여 누구나 쉽게 공간정보에 접근하여 사용할 수 있는 시스템이 구축되었다. 이후 2006년에는 제 3단계 NGIS 사업을 통하여 부분별, 기관별로 구축된 데이터와 응용시스템을 연계·통합하여 시너지 효과를 제고하는데 주력하였으며, 제 4단계 2010년에는 성장단계, 2013년에는 도약단계로 구분하여 정부와 민간의 활발한 공간정보 활용을 통하여 국가공간정보인프라 제공을 추진하였다.

따라서 기본적으로는 국가기관, 각 지자체 및 유관기관 등을 통하여 기 구축된 대부분의 지형자료들은 제 4단계 NGIS 사업을 통하여 구축된 지리정보 유통체계 등을 통하여 검색, 열람, 구입이 가능하게 되었다.

하천지형 탐측자료는 크게 하천주변 육상부 지형자료와 하천의 수체부 지형자료로

구분할 수 있으며, 기 구축된 대표적인 육상부 및 수체부 지형자료로는 각각 국토지리정보원에서 제작하는 수치지형도 및 각종 하천의 관리청에서 10년 단위로 수행하는 하천기본계획 중 하천측량에 의한 자료가 있다.

3.3.1.1 수치지형도

수치지형도는 지형을 3차원상의 좌표 값으로 표현한 것으로, 1995년 건설교통부 국토지리정보원에서는 NGIS 구축 사업에 의하여 수치지도 제작 사업을 착수하여, 2016년까지 1:1,000, 1:2500, 1:5,000, 1:25,000, 1:250,000 축척의 지형도 수치지도를 제작 완료하였으며, 7월부터 수치지도를 전면 온라인상에서 무상으로 전환하였다.

3.3.1.2 국가기준점

하천측량에 필요한 기준점들은 국토지리정보원의 “국토정보플랫폼”을 통하여 제공받을 수 있다. 이 시스템을 통해 삼각점 및 수준점에 대한 점의 조서를 발급받아 해당지역에 대한 지형측량 시 참조할 기준점 혹은 검증점으로 이용할 수 있다. 점의 조서에는 각 기준점의 번호와 소재지, 약도, 기준점 성과 값 등이 수록되어 있다.

3.3.1.3 기본지리정보

국가지리정보 수요자가 광범위하게 GIS를 활용할 수 있도록 가장 기본이 되고 공통적으로 사용되는 총 8개 분야 기본지리정보중 도로 및 하천분야 기본지리정보구축을 완료하고 국가지리정보유통망을 통하여 유통시키고 있다.

기본지리정보라 함은 여러 지리정보를 통합, 활용하기 위하여 위치적 혹은 내용적 참조체계를 제공하거나 통합모델을 구현하기 위한 기본 틀이 되는 지리정보로서 NGIS 구축 및 활용에서 정한 기본지리정보를 말한다.

이 중 수자원분야의 기본지리정보로 하천에 대한 하천중심선, 흐름방향 및 경계정보가 포함되어 있으며, 해당지역에 대한 개황을 파악하고자 할 때 기본지리정보를 활용할 경우 매우 효과적이다. 그림 3.8 및 표 3.7은 하천분야 기본지리정보의 데이터 모델의 항목 및 각 항목에 대하여 설명하고 있으며, 표 3.8은 하천분야 기본지리정보의 속

성정보를 나타낸다.

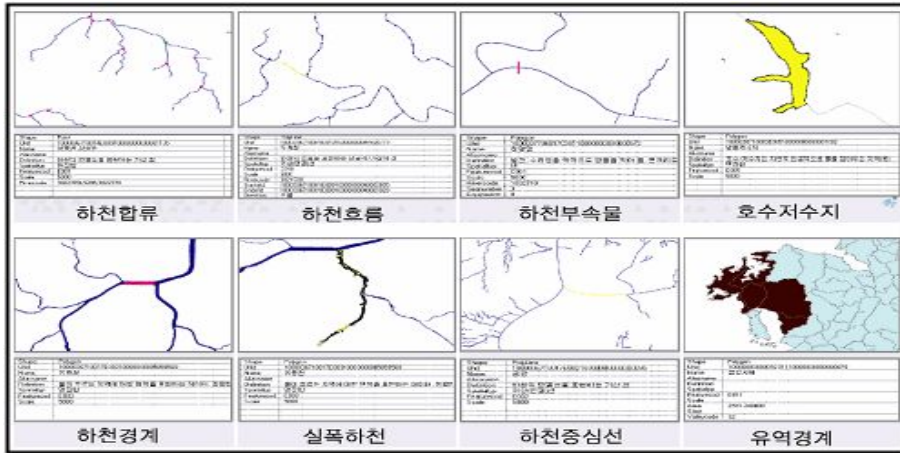


그림 3.8 기본지리정보 하천분야 데이터 모델

표 3.7 기본지리정보 하천분야 데이터 모델의 항목

구 분	항 목	설 명
공통수자원 기본지리정보	하천중심선	하천의 임의의 중심을 표현하는 가상선
	실폭 하천	평상시 물이 흐르는 지역으로 시설제방 법선 중 제외지 측 제방하단 법선
	하천구역경계	지형지물을 표현하는 만수위일 때 제방의 내측까지의 경계
	호수/저수지	자연/인공적으로 물을 잡아두는 곳 내측까지의 경계
전문수자원 기본지리정보	하천부속물	발전, 수리 등을 목적으로 강물을 막아 돌/콘크리트 등으로 쌓아올린 구조물
	하천흐름	하천의 흐름을 표현하는 가상선
	하천합류	하천의 연결성을 표현하는 가상의 점
	유역경계	수문과 수질을 고려하여 어떤 지점에 떨어진 강우가 유출되는 영향을 면으로 표현

표 3.8 기본지리정보 하천분야 속성정보

명칭	정의	비고
명칭	하천명칭	호수/저수지, 하천구역경계, 실폭 하천, 하천중심선, 유역경계, 하천흐름
UFID	유일하게 구분할 수 있는 식별자	하천흐름
하천코드	하천관리를 위해서 부여된 고유 코드번호, 하천합류가 포함되어 있는 하천의 코드번호를 기술함.	하천흐름
시작점종류	하천합류점의 UFID, 혹은 null	하천흐름
끝점종류	하천합류점의 UFID, 혹은 null	하천흐름
유하방향	하천흐름선의 흐름방향, 시작점의 값이 0 이고, 끝점의 값이 합류점의 UFID이면 '가상선시작', 시작점과 끝점의 값이 합류점 UFID이면, '흐름'입력	하천흐름

3.3.1.4 국가지리정보유통망을 통한 자료 확보

국토교통부는 1995년부터 지리정보의 중요성을 초기에 인식하고 지리정보에 대한 수요를 충족시키기 위하여 NGIS 구축사업을 추진하였으며, 이를 통해 다양한 분야에서 활용될 수 있는 각종 지리정보를 구축하고 있다. 그러나 NGIS 구축사업을 비롯하여 각 분야별 GIS 사업을 통해 구축되고 있는 지리정보가 공공기관 및 민간기업 등에 분산되어 있으며, 이들 지리정보의 소재와 구체적인 내용 파악이 어렵고, 또한 기술적, 제도적인 문제로 접근이 제한되어 있어 지리정보의 체계적인 구축과 활용을 위하여 지리정보 공급자와 수요자를 원활히 연결할 수 있는 유통망 활성화의 필요성에 의하여 국토교통부는 지리정보의 원활한 유통과 활용을 위한 방안을 마련하고, 지리정보 수요자에게 온라인상에서는 무상 및 오프라인에서는 유상으로 정보를 제공하고 있다.

3.4 국내 탐측사례

3.4.1 LiDAR와 MBES 탐측장비

이근상 등(2010)은 “LiDAR와 MBES를 이용한 댐 저수지 3차원 공간영상정보 구축”에 관한 연구에서 최근 댐 저수지 주변의 3차원 공간정보 구축은 퇴사량 조사와 같은 댐 관리 업무에 매우 중요한 부분이나 기존에는 지형측량을 위해 토탈스테이션과 SBES를 사용한 관계로 지형자료 취득이 어려웠음을 주장하였으며, LiDAR와 MBES를 이용하여 댐 저수지 주변의 정밀 지형자료를 구축하는 기술을 제시하였다.

또한, 연구에서 저수지를 MBES를 이용하여 측량한 후 이를 지형측량의 검측과정을 통해 IHO의 수심측량 허용오차 기준을 만족하는 지형정보를 구축할 수 있다는 것을 검증하였다. 그리고 LiDAR와 MBES 측량자료를 통합한 후 고해상도 정사영상지도와의 연계를 통해 퇴사량 예측 및 지형변화 모니터링 등과 같은 댐 관리 업무에 활용 가능한 3차원 공간영상정보를 구축하는 것을 검증하였다.

(1) 대상지역

안동댐은 1971년 4월 착수하여 1977년 5월 15일 준공되었으나, 연간 용수공급량은 926백만 m^3 로서 그 중 450백만 m^3 이 생활용수와 공업용수로 사용되며, 부산을 비롯하여 동해 남부지방의 울산지역과 남해동부의 창원, 마산, 진해 등의 주요 산업도시의 생공용수 공급원으로서 절대적 역할을 다하고 있다(한국수자원공사, 1996).

(2) 기준점측량

댐 저수지 주변의 3차원 공간정보를 취득하기 위해서 안동댐 분류 및 지류구간을 포함하는 지역을 대상으로 기준점측량, 수준측량, LiDAR 및 MBES 측량을 수행하여 육상부와 수심부에 대한 정보를 융합하였다.

먼저 기준점측량을 위해 조정지 댐 주변의 1급 기준점 1개소, 3급 기준점 18개소, 4급 기준점 34개소를 한국수자원공사(1996) 자료를 토대로 선정하였다.

(3) 육상측량

육상부의 지형관측을 위해 LiDAR측량을 수행하였으며, 안동댐의 지형변화가 심하고

고도가 높아 촬영고도는 1,800m~2,700m로 설계하였다.

또한, 연구에 사용된 장비는 레이저스캐너 장비는 라이카 ALS50-II로서, 최대 주파수는 150kHz, 최대 Scan Rate는 90kHz, 최대 주사각은 75°이며, LiDAR 측량과 동시에 영상정보를 취득하기 위해 1,280×1,024 픽셀을 갖는 디지털 카메라를 장착하였다.

보다 정확한 지형정보 취득을 위해 작업 전 캘리브레이션을 수행하여 Roll, Pitch, Heading 및 Torsion 등에 대한 보정량을 산출하였으며, 표고보정에 대한 보정량은 지상기준점 관측을 통해 얻어진 값을 이용하였다.

캘리브레이션 과정을 거쳐 산출한 보정량은 표 3.9와 같다.

표 3.9 캘리브레이션 보정량(이근상 등, 2010)

Forsite Angle 보정량			
구분	Roll	Pitch	Heading
보정량(deg)	-0.5458	0.1695	-0.0603
표준편차(deg)	±0.0018	±0.0026	±0.0110
Range 보정량과 표고 오프셋			
구분	Range 보정량	표고 오프셋	
보정량(m)	1.228	0.096	
표준편차(m)	0.082	0.169	

최종 성과물인 DEM을 제작하기 위해서는 취득된 원시 데이터로부터 지표면에 대한 관측점을 분류해야 한다. 지형분류는 건물 등과 같은 인공지물 및 수목에 대한 레이저 관측점을 제거하는 것으로서, Terrascan 소프트웨어를 이용하여 지형의 경사도와 건물의 크기를 기준 값으로 분류하였다(최연웅 등, 2005).

LiDAR 측량의 고도별 정확도 기준은 수직오차의 경우 ±15cm와 ±35cm이며, 수평오차는 비행고도(H)×1/2,000로 약 1,000m 측량 시 ±50cm이내가 유지되도록 해야 한다.

표 3.10은 댐 주변의 기준점을 한국 수자원공사(1996) 자료를 토대로 선정하여 건물

과 식생을 제거한 DEM 자료에 대한 정확도 검측을 위해 GPS 관측성과와 가장 근 거리에 있는 레이저 관측점을 선택하여 높이값에 대한 비교를 시행하였으며, 근거리 점을 찾기 위한 조건으로 최대 삼각망의 거리(5.0m), 지형 경사각(5.0°) 및 경사 높이(1.0m)에 대한 조건을 이용하였다. Z축의 값을 살펴보면 최소 88.2m에서 최대 458.8m에 이르는 것을 알 수 있으면 GPS로 관측한 값과 LiDAR로 관측한 값이 상당히 근사한 것을 알 수 있다.

표 3.10 GPS 측량과 LiDAR 측량의 측정결과(이근상 등, 2010)

측 점	GPS 지형측량(m)			LiDAR 측량(m)		
	<i>GX(m)</i>	<i>GY(m)</i>	<i>GZ(m)</i>	<i>LX(M)</i>	<i>LY(m)</i>	<i>LZ(m)</i>
1	188440.075	354908.308	166.127	188439.700	354908.301	166.320
2	193574.863	352106.002	458.864	193575.320	352105.180	458.880
3	182359.771	356859.758	181.752	182359.480	356858.820	181.370
4	187676.045	353177.693	183.117	187675.800	353177.950	183.420
5	192659.231	349834.640	171.734	192658.890	349835.140	171.970
6	186301.173	350944.979	148.102	186301.100	350945.330	148.100
7	191523.091	348152.657	156.377	191523.710	348152.330	156.620
8	182245.790	350603.040	193.887	182245.970	350603.110	193.880
9	184367.977	348581.559	151.879	184368.200	348581.460	151.790
10	189797.927	345687.117	178.177	189798.420	345687.080	178.300
11	191344.457	344702.236	201.411	191344.130	344701.660	201.410
12	189999.293	342365.121	173.212	189999.010	342365.600	173.230
13	184703.561	343233.370	179.501	184703.470	343233.370	179.520
14	189083.062	340899.223	177.005	189083.300	340899.120	176.940
15	180992.012	343203.301	210.748	180992.390	343203.910	210.900
16	186006.549	339046.598	166.693	186006.340	339046.560	166.740
17	179500.158	340677.199	161.608	179499.880	340676.690	161.660
18	175467.221	340051.432	88.248	175467.860	340051.110	88.250

(4) 수심측량

기존의 SBES 방법에 의한 수심측량은 횡단상의 직하수심만을 관측하므로 정밀도를 증가시키기 위해 측량측선의 간격을 조밀하게 해야 하며, 이로 인한 작업량과 작업시간이 과다하게 설계되는 문제가 있다.

또한 SBES 측량은 선박의 거동(Roll, Pitch, Heading, Heave)에 의한 오차가 고려되지 않으므로 성과의 정도가 저하되는 문제도 발생하게 된다. MBES 측량은 선박의 거동오차를 효과적으로 개선 할 수 있으며, 수심별 음속보정이 가능하므로 정확도에서도 유리하다. 사용된 MBES 시스템은 Seabat 8125(Reson)로서 음파생성 기법을 이용하여 데이터를 획득하는 장비로서 240개의 빔을 구성하고 있고 주사폭은 120°이다.

댐 저수지는 저수지 수위에 따라 육상부와 수심부가 나누어지는 특성상 수심측량은 가급적 수위가 높은 시기에 수행하고 육상부는 수위가 낮은 시기에 수행하여 중복지역을 효과적으로 처리하는 것이 매우 중요하다.

수심이 10m 이상인 지역을 대상으로 MBES 측량을 수행하였고, 10m 이하의 수심 지역은 부분적으로 SBES 측량을 수행하여 보완하거나 저수지 수위 저하 시 육상으로 드러나는 시점에 LiDAR 측량을 수행하여 자료를 취득 하였다. MBES 측량은 우천이나 수면파고가 0.5m 이상일 때는 수행하지 않았으며, 측선은 기성과의 등고선과 나란한 방향으로 배치하였고 불규칙한 육상과 수면의 인접부를 먼저 측량한 후 측선을 측량하는 방법으로 계획하였다.

수심 10m 이하의 지역에 대해서는 수위 저하 시에 LiDAR 측량을 수행하는 것이 바람직하나 댐 운영상 단기간 내의 수위 저하가 어려운 문제가 있어, 부분적으로 SBES 측량에 의한 보완측량을 실시하여 최종 결과물을 MBES 자료와 합성하였다. MBES 수심측량의 정확도 검증을 위해 수위 저하 후 육상으로 드러난 2개 지역(예산교, 사월)에 대하여 토탈스테이션 측량을 수행한 후 오차를 비교한 결과는 표 3.11과 같다.

표 3.11 MBES 측량의 측정결과(이근상 등, 2010)

구 분	오차범위(cm)	평균오차(cm)
예산교	-13~5	0
사 월	-3~19	8

2개 지역에 대한 측량 결과 수심측량과 지형측량의 차이는 최소 -0.03m에서 최대 +0.19m로 발생하였으며, 평균오차는 0m와 0.08m로 IHO(International Hydro graphic Organization) 특등급 기준 수심측량 허용오차(수심 10~20m 측량 시 허용오차 ±0.25~0.29m)를 만족하는 것으로 나타났다.

IHO등급 오차 계산은 식 (3.1)로 계산된다.

$$\varepsilon = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \tag{3.1}$$

- 여기서, ε : 오차(m)
- a : 오차상수
- b : 수심에 따른 오차 인수
- d : 수심(m)

표 3.12 IHO 등급별 수심측량 비교

등급 \ 조건	특등급	1등급	2등급	3등급
구역 형태의 예	항만, 묘박지, 최소 선저 통과수심의 위험수로	항만, 항만접근수로, 추천항로, 수심 100m까지 연안해역	특등급 또는 1등급에서 정하지 않은 구역, 수심200m 까지 해역	특등급 또는 1, 2등급에서 정하지 않은 외해 해역
수평 위치정도 (신뢰수준 98%)	2m	5m+수심의 5%	20m+수심의 5%	150m+수심의 5%
수심 정확도 (신뢰수준 95%)	a=0.25m b=0.0075	a=0.5m b=0.013	a=1.0m b=0.023	2등급과 동일
100% 해저탐사	강제적	특정해역에 한정	특정해역에 할 수 있음	적용 없음
최대 측심선 간격	100% 강제탐사로 적용 안 됨	평균수심의 3배 또는 25m중에서 큰 것	평균수심의 3~4배 또는 200m중 큰 것	평균수심의 4배

3.4.2 ADCP 탐측장비

김종민 등(2010)은 “ADCP를 이용한 직선 하천의 유속 및 수심 측정 정확도 분석”에 관한 연구에서 최근 수문관측의 측정 인력과 비용의 절감과 측정 정확도를 높이기 위해 초음파를 이용한 ADCP 유량 측정 방법의 적용이 활발하게 이루어지고 있으며 점점 그 비중이 높아지고 있다. 하지만 ADCP의 유속 및 수심 측정 정확도에 대한 자료가 부족하여 ADCP 측정 결과에 대한 신뢰도를 확신하기 어렵다. 이에 직선하천에서 체계적이고 정밀한 측정을 통해 ADCP의 유속 및 수심 정확도를 분석하였다.

(1) 대상지역

경북 안동시 하천실험센터의 직선수로의 연장은 490m이고, 하상경사는 약 1/800이다.

(2) 실험조건

하상재료는 모래로 구성된 이동상 하상으로 흐름의 안정을 확보하기 위해 수로 최상단에서 약 300m 하류 지점에서 수행하고, 측정 단면은 1:2 경사를 갖는 사다리꼴 단면이고, 모래하상에 약간 식생이 활착되어 있는 상태이다.

(3) 사용장비

ADCP는 SonTek사에서 제작한 RiverSurveyor M9를 사용하였으며, 해당 계측기기는 저 수심용 3MHz 빔 4개, 고 수심용 1MHz 빔 4개, 그리고 수심측정용이 0.5MHz 빔 1개로 총 9개의 빔을 사용하였다.

(4) 수심 측정

일반적으로 ADCP를 이용한 수심측정은 초음파를 이용하기 때문에 하상 근처에서 ADCP의 수심 측정을 평균하여 수심을 측정하는 하상추적 방식과 ADCP 중앙에 위치한 1개의 연직 빔으로 수심을 측정한 결과를 검토하였다. 또한, 각각의 측정 방법에 따라 ADCP를 대차에 고정한 상태에서 이동식 측정 방법과 고정식 측정 방법에 대하여 검토하였다. 하상추적 방식으로 수심을 측정한 결과는 표 3.13과 같고, 연직 빔 방식으로 수심을 측정한 결과는 표 3.14와 같다.

표 3.13 하상추적 방식 측정결과(김종민 등, 2010)

측 점	토탈스테이션(m)	ADCP 이동식(m)	ADCP 고정식(m)
1	0.533	0.536	0.570
2	0.610	0.602	0.667
3	0.715	0.677	0.657
4	0.731	0.698	0.698
5	0.785	0.739	0.729
6	0.785	0.745	0.753
7	0.795	0.753	0.756
8	0.800	0.747	0.742
9	0.815	0.764	0.763
10	0.810	0.747	0.771
11	0.805	0.734	0.735
12	0.815	0.714	0.719
13	0.760	0.730	0.734
14	0.760	0.721	0.732
15	0.760	0.696	0.710
16	0.712	0.644	0.667
17	0.658	0.584	0.596
18	0.550	0.539	0.541

표 3.14 연직 빔 방식 측정결과(김종민 등, 2010)

측 점	토탈스테이션(m)	ADCP 이동식(m)	ADCP 고정식(m)
1	0.533	0.544	0.538
2	0.610	0.665	0.662
3	0.715	0.654	0.656
4	0.731	0.691	0.697
5	0.785	0.725	0.720
6	0.785	0.749	0.751
7	0.795	0.712	0.708
8	0.800	0.738	0.738
9	0.815	0.729	0.734
10	0.810	0.714	0.720
11	0.805	0.704	0.704
12	0.815	0.720	0.723
13	0.760	0.680	0.679
14	0.760	0.699	0.689
15	0.760	0.634	0.686
16	0.712	0.633	0.635
17	0.658	0.589	0.587
18	0.550	0.479	0.485

3.4.3 SHOALS 탐측장비

정현(2008)은 “SHOALS 데이터를 이용한 해안선 추출”에 관한 연구에서 해양부분에 대한 정확한 해저지형의 형상 파악은 선박을 이용한 MBES와 SBES의 측량 방식으로 측정되고 있으나, 측량 시간과 비용이 막대하게 소요되고 있으며, 해안절벽과 천소 및 도서지역에 있어서는 접근이 용이하지 않은 관계로 많은 제약이 따르고 있는 실정이다.

따라서 MBES와 SBES를 사용하여 취득한 데이터와 비교하여 SHOALS가 현행 수심측량의 한계점을 극복 할 수 있으며, 정확한 검증을 위하여 실험지역에서 취득된 SHOALS 데이터를 기준으로 해저지형의 현행 수심측량 값, 육상지역의 LiDAR 데이터 등을 비교하여 SHOALS 데이터를 평가하였다.

자료 검증에 사용된 LiDAR 및 SHOALS 제원은 표 3.15와 같다.

표 3.15 LiDAR 및 SHOALS 제원

사용 장비	LiDAR	SHOALS	
		Hydrographic Mode	Topographic Mode
비행고도	200m~3,000m	200m~400m	
평면 정확도	1/2,000×고도	IHO Order 1(2.5m, 1σ)	
높이 정확도	< 15cm at 1,200m < 25cm at 2,000m < 35cm at 3,000m	IHO Order 1(25cm, 1σ)	
레이저 펄스 주사율	70kHz	1000Hz	10kHz
최대 측심 가능 수심	-	50m	

또한, 자료 취득 현황은 표 3.16과 같다. SHOALS 장비의 가장 큰 특징은 레이저빔을 발생시키고 발사시키는 모드를 지형모드와 해양모드로 구분되어져 있고 각각의 특징이 있다. 수심측량 모드와 같은 경우에는 초당 1KHz를 발사할 수 있으며, 측량할 수 있는 고도는 400m이다. 해저 지형에서 반사된 레이저의 정확도는 국제 수로기구(IHO)에서 규정한 1등급을 만족하며, 최대 50m 수심까지 측량 할 수 있다. 지형모드

는 초당 10KHz를 발사시킬 수 있으며, 최대 고도 700m까지 측량용 항공기를 운항 할 수 있다. 정확도는 수직과 수평으로 구분하여 표시할 수 있으며, 수평과 같은 경우에는 비행고도에 의존하며, 수직은 표준편차가 $\pm 25cm$ 이내이다.

아울러, 자료취득 지역의 측점에 대한 기존 1:1,000 수치지도와 SHOALS, LiDAR 측정 결과는 표 3.17과 같으며, 수심부분에 대한 SBES와 SHOALS의 측정 결과는 표 3.18과 같다.

표 3.16 자료 취득 현황

사용 장비	LiDAR	SHOALS
대상지역	독도	독도, 울릉도
취득날짜	2005.04.15	2006.12.18~2006.12.19
비행고도	1200m	400m
레이저 펄스 주사율	70kHz	1000Hz

표 3.17 수치지도, SHOALS, LiDAR 측정결과(정현, 2008)

측 점	수치지도(m)	SHOALS(m)	LiDAR(m)
1	1.38	2.05	1.83
2	2.58	3.08	3.03
3	1.3	1.82	1.79
4	2.71	3.25	2.97
5	1.06	2.11	1.97
6	4.42	5.34	4.70
7	3.30	3.76	3.67
8	1.62	2.07	1.90
9	6.43	6.57	6.49
10	8.96	9.20	9.14
11	3.51	3.74	3.56
12	0.67	1.03	1.01

표 3.18 SBES와 SHOALS 측정결과(정현, 2008)

측 점	SBES(m)	SHOALS(m)
1	20.80	22.80
2	2.60	2.54
3	14.80	14.09
4	22.30	23.80
5	2.00	2.06
6	10.40	10.63
7	14.70	15.09
8	21.40	21.21
9	16.90	16.62
10	11.20	11.57

3.4.4 사례별 탐측장비 측정결과 비교

측정된 자료의 결과들을 비교한 결과는 표 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 및 3.23과 같다. 우선 표 3.19에서 보는 바와 같이 GPS 측량과 LiDAR의 측정결과는 GPS 지형측량 자료와 비교한 결과는 최대 -0.4%에서 0.0%의 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 표 3.20은 하상추적 방식 측정결과를 비교한 것으로, 토탈스테이션의 측정값과 비교하여 이동식 ADCP의 경우 최대 -11.4%에서 최소 0.8%의 오차를 가지는 것으로, ADCP 고정식의 경우 최대 -11.8%에서 -1.6%의 오차를 가지는 것으로 분석되었다. 표 3.21은 연직 빔 방식 측정결과를 비교한 것으로 ADCP 이동식의 경우 최대 -12.9%에서 최소 2.3%의 오차를 보이며, ADCP 고정식의 경우 최대 -12.5%에서 최소 1.1%의 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 표 3.22의 경우 수치지도, SHOALS, LiDAR의 측정결과를 비교한 것으로 수치지도와 비교하였을 때 SHOALS의 경우 최대 5.0%에서 최소 0.2%, LiDAR의 경우 최대 4.3%에서 최소 0.1%의 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 마지막으로 표 3.23은 SBES와 SHOALS 측정결과를 비교한 것으로 SHOALS는 최대 -9.6%에서 최소 0.9%의 오차를 보이는 것으로 분석되었다.

표 3.19 GPS 측량과 LiDAR 측량의 측정결과 비교(이근상 등, 2010)

측점	GPS 지형측량(m)			LiDAR 측량(m)			dx (m)	dy (m)	dz (m)	dx (%)	dy (%)	dz (%)
	GX(m)	GY(m)	GZ(m)	LX(M)	LY(m)	LZ(m)						
1	188440.075	354908.308	166.127	188439.700	354908.301	166.320	0.375	-0.002	-0.193	0.2	0.0	-0.1
2	193574.863	352106.002	458.864	193575.320	352105.180	458.880	-0.457	0.822	-0.016	-0.2	0.2	0.0
3	182359.771	356859.758	181.752	182359.480	356858.820	181.370	0.291	0.938	0.382	0.2	0.3	0.2
4	187676.045	353177.693	183.117	187675.800	353177.950	183.420	0.245	-0.257	-0.303	0.1	-0.1	-0.2
5	192659.231	349834.640	171.734	192658.890	349835.140	171.970	0.341	-0.500	-0.236	0.2	-0.1	-0.1
6	186301.173	350944.979	148.102	186301.100	350945.330	148.100	0.073	-0.351	0.002	0.0	-0.1	0.0
7	191523.091	348152.657	156.377	191523.710	348152.330	156.620	-0.619	0.327	-0.244	-0.3	0.1	-0.2
8	182245.790	350603.040	193.887	182245.970	350603.110	193.880	-0.180	-0.070	0.007	-0.1	0.0	0.0
9	184367.977	348581.559	151.879	184368.200	348581.460	151.790	-0.223	0.099	0.089	-0.1	0.0	0.1
10	189797.927	345687.117	178.177	189798.420	345687.080	178.300	-0.493	0.037	-0.123	-0.3	0.0	-0.1
11	191344.457	344702.236	201.411	191344.130	344701.660	201.410	0.327	0.576	0.001	0.2	0.2	0.0
12	189999.293	342365.121	173.212	189999.010	342365.600	173.230	0.283	-0.479	-0.018	0.1	-0.1	0.0
13	184703.561	343233.370	179.501	184703.470	343233.370	179.520	0.091	0.000	-0.019	0.0	0.0	0.0
14	189083.062	340899.223	177.005	189083.300	340899.120	176.940	-0.238	0.103	0.065	-0.1	0.0	0.0
15	180992.012	343203.301	210.748	180992.390	343203.910	210.900	-0.378	-0.609	-0.152	-0.2	-0.2	-0.1
16	186006.549	339046.598	166.693	186006.340	339046.560	166.740	0.209	0.038	-0.047	0.1	0.0	0.0
17	179500.158	340677.199	161.608	179499.880	340676.690	161.660	0.278	0.509	-0.052	0.2	0.1	0.0
18	175467.221	340051.432	88.248	175467.860	340051.110	88.250	-0.639	0.322	-0.002	-0.4	0.1	0.0

표 3.20 하상추적 방식 측정결과 비교(김종민 등, 2010)

측 점	토탈스테이션 (<i>m</i>)	ADCP 이동식 (<i>m</i>)	토탈-이동식 (<i>m</i>)	토탈-이동식 (%)	ADCP 고정식 (<i>m</i>)	토탈-고정식 (<i>m</i>)	토탈-고정식 (%)
1	0.533	0.536	0.004	0.8	0.570	0.038	7.1
2	0.610	0.602	-0.009	-1.5	0.667	0.057	9.3
3	0.715	0.677	-0.038	-5.3	0.657	-0.058	-8.1
4	0.731	0.698	-0.033	-4.5	0.698	-0.033	-4.5
5	0.785	0.739	-0.046	-5.9	0.729	-0.056	-7.1
6	0.785	0.745	-0.040	-5.1	0.753	-0.032	-4.1
7	0.795	0.753	-0.043	-5.4	0.756	-0.039	-4.9
8	0.800	0.747	-0.053	-6.6	0.742	-0.058	-7.3
9	0.815	0.764	-0.051	-6.3	0.763	-0.052	-6.4
10	0.810	0.747	-0.063	-7.8	0.771	-0.039	-4.8
11	0.805	0.734	-0.071	-8.8	0.735	-0.070	-8.7
12	0.815	0.714	-0.101	-12.4	0.719	-0.096	-11.8
13	0.760	0.730	-0.030	-3.9	0.734	-0.026	-3.4
14	0.760	0.721	-0.039	-5.1	0.732	-0.028	-3.7
15	0.760	0.696	-0.064	-8.4	0.710	-0.050	-6.6
16	0.712	0.644	-0.068	-9.6	0.667	-0.045	-6.3
17	0.658	0.584	-0.075	-11.4	0.596	-0.062	-9.4
18	0.550	0.539	-0.011	-2.0	0.541	-0.009	-1.6

표 3.21 연직 빔 방식 측정결과 비교(김종민 등, 2010)

측 점	토탈스테이션 (<i>m</i>)	ADCP 이동식 (<i>m</i>)	토탈-이동식 (<i>m</i>)	토탈-이동식 (%)	ADCP 고정식 (<i>m</i>)	토탈-고정식 (<i>m</i>)	토탈-고정식 (%)
1	0.533	0.544	0.012	2.3	0.538	0.006	1.1
2	0.610	0.665	0.055	9.0	0.662	0.052	8.5
3	0.715	0.654	-0.061	-8.5	0.656	-0.059	-8.3
4	0.731	0.691	-0.040	-5.5	0.697	-0.034	-4.7
5	0.785	0.725	-0.060	-7.6	0.720	-0.065	-8.3
6	0.785	0.749	-0.036	-4.6	0.751	-0.034	-4.3
7	0.795	0.712	-0.083	-10.4	0.708	-0.087	-10.9
8	0.800	0.738	-0.062	-7.8	0.738	-0.062	-7.8
9	0.815	0.729	-0.086	-10.6	0.734	-0.081	-9.9
10	0.810	0.714	-0.096	-11.9	0.720	-0.090	-11.1
11	0.805	0.704	-0.101	-12.5	0.704	-0.101	-12.5
12	0.815	0.720	-0.095	-11.7	0.723	-0.092	-11.3
13	0.760	0.680	-0.080	-10.5	0.679	-0.081	-10.7
14	0.760	0.699	-0.061	-8.0	0.689	-0.071	-9.3
15	0.760	0.634	-0.126	-16.6	0.686	-0.074	-9.7
16	0.712	0.633	-0.079	-11.1	0.635	-0.077	-10.8
17	0.658	0.589	-0.069	-10.5	0.587	-0.071	-10.8
18	0.550	0.479	-0.071	-12.9	0.485	-0.065	-11.8

표 3.22 수치지도, SHOALS, LiDAR 측정결과 비교(정현, 2008)

측 점	수치지도 (m)	SHOALS (m)	LiDAR (m)	SHOALS	SHOALS	LiDAR	LiDAR	SHOALS	SHOALS
				- 수치지도 (m)	- 수치지도 (%)	- 수치지도 (m)	- 수치지도 (%)	- LiDAR (m)	- LiDAR (%)
1	1.38	2.05	1.83	0.67	3.3	0.45	2.2	0.22	1.1
2	2.58	3.08	3.03	0.50	1.6	0.45	1.5	0.05	0.2
3	1.30	1.82	1.79	0.52	2.9	0.49	2.7	0.03	0.2
4	2.71	3.25	2.97	0.54	1.7	0.26	0.8	0.28	0.9
5	1.06	2.11	1.97	1.05	5.0	0.91	4.3	0.14	0.7
6	4.42	5.34	4.70	0.92	1.7	0.28	0.5	0.64	1.2
7	3.30	3.76	3.67	0.46	1.2	0.37	1.0	0.09	0.2
8	1.62	2.07	1.90	0.45	2.2	0.28	1.4	0.17	0.8
9	6.43	6.57	6.49	0.14	0.2	0.06	0.1	0.08	0.1
10	8.96	9.20	9.14	0.24	0.3	0.18	0.2	0.06	0.1
11	3.51	3.74	3.56	0.23	0.6	0.05	0.1	0.18	0.5
12	0.67	1.03	1.01	0.36	3.5	0.34	3.3	0.02	0.2

표 3.23 SBES와 SHOALS 측정결과 비교(정현, 2008)

측 점	SBES (m)	SHOALS (m)	SBES-SHOALS (m)	SBES-SHOALS (%)
1	20.80	22.80	-2.00	-9.6
2	2.60	2.54	0.06	2.3
3	14.80	14.09	0.71	4.8
4	22.30	23.80	-1.50	-6.7
5	2.00	2.06	-0.06	-3.0
6	10.40	10.63	-0.23	-2.2
7	14.70	15.09	-0.39	-2.7
8	21.40	21.21	0.19	0.9
9	16.90	16.62	0.28	1.7
10	11.20	11.57	-0.37	-3.3

제 4 장 최적 하천과 연안 지형탐측 장비 선정 및 데이터베이스 구축 방안

본 장에서는 하천과 연안 지형탐측 장비의 특성과 사례 분석을 통한 최적 하천과 연안 지형탐측 장비를 선정, 그리고 하천과 연안 지형자료 데이터베이스 구축 및 수리분석모형에 활용할 자료 확보 방안에 대하여 기술한다.

4.1 하천과 연안 지형탐측 장비의 비교

4.1.1 하천과 연안 특성을 고려한 탐측장비

4.1.1.1 SBES

- ① 측심가능심도: 최대 600m까지
- ② 정확도: $0.01m \pm$ 수심의 0.1%(음속보정 후)
- ③ 장점 : 선박의 모션이나 잡음에 강하고, 직하방향으로만 빔을 투사하기 때문에 수층별 음속변화에 의한 빔 위치 변동이 거의 없으며 한 정점의 위치만 확인하면 되므로 시스템이 간단하여 손쉽게 활용할 수 있다.
- ④ 단점 : 수심이 깊어질수록 탐지되는 영역이 넓어져서 공간 해상도가 낮아지고 선측량 방법이라 할 수 있으므로 측심선 사이의 결측 구간이 발생함으로써 높은 밀도의 자료를 취득할 수 없으며 측심선 사이의 지형변화를 반영할 수 없어 기초자료의 신뢰성이 낮다.

4.1.1.2 MBES

- ① 측심가능심도 : 최대 600m까지
- ② 정확도 : 최하 IHO 1등급 이상의 기준 만족
- ③ 장점 : 면 측량 방법이라 할 수 있으며, 한 번에 수심의 3~5배 폭의 수심을 측정

하여 해저면의 형상을 정밀하게 취득할 수 있는 방법으로 탐사대상의 전체 지형과 음압 영상을 동시에 취득할 수 있다.

④ 단점 : 매우 낮은 수심에서는 포괄할 수 있는 면적이 감소되어 효율성이 떨어지며 여러 민감한 장비가 조합되어 작동하기 때문에 복잡한 자료처리 과정이 필요하며 장비의 운영 및 관리가 어렵다.

4.1.1.3 ADCP

① 측심가능심도 : 30m

② 정확도 : 수심의 $\pm 1\%$

③ 장점 : 하천단면과 함께 하천의 유속을 측정함으로써 유량을 관측하므로 효율적이다. 또한 음파에 의한 하상추적 뿐만 아니라 GPS를 이용한 경로추적이 가능하기 때문에 유수 흐름에 직각으로 횡측선을 설치하는 작업이 불필요하여 교량이 없는 지점, 대 하천 및 조석의 영향을 받는 하천에서도 유량측정이 가능하다.

④ 단점 : 센서의 특성상 수면(센서 잠긴 깊이 +0.3m)과 하상(수심의 10%)부근의 미결측 구간이 발생하기에 수심이 낮은(1m 이내) 하천의 경우 유량측정의 정확도가 떨어진다.

4.1.1.4 LiDAR

① 측심가능심도 : 수심측정 불가

② 정확도 : 15cm~35cm(수직), 1/2,000×고도(수평)

③ 장점 : 짧은 시간동안 넓은 지역에 대한 고밀도의 정확한 자료취득으로 3차원 지형자료인 정밀한 DSM, DEM 제작이 가능하여 현실에 가까운 지형의 3차원 재현이 가능하다. 또한, 댐 유입하천 또는 하폭이 넓고 상시 하천 하상이 수면위로 노출되는 하천 등의 수량이 적거나 없는 하천지역의 지형탐측에 효과적이며, 도시하천관리, 홍수 및 재해 시 피해지역 예측 등 다양한 분야에서 활용이 가능하다.

④ 단점 : 수심관측이 불가능하고 서로 다른 작동원리를 갖는 다중 센서들의 조합에 의하여 자료를 취득하는 장비이기 때문에 센서들 간의 융합과정에서 발생하는 다양한 오차처리 및 자료처리가 복잡하고 지형지물을 모두 포함하는 DSM 형식의 자료를 취

특하게 되어 지형자료를 취득하기 위해서는 취득된 자료들로부터 지형지물을 제거하기 위한 추가적인 작업이 필요하다.

4.1.1.5 SHOALS

- ① 측심가능심도 : $0.2m \sim 50m$
- ② 정확도 : IHO 1등급 기준 만족
- ③ 장점 : 기존 수심측량 기술의 단점인 작업시간이 길고 노동집약적이며 유속이 빠른 시기에 작업에 위험이 따르고 하상전체에 대한 자료를 취득하지 못하는 등의 다양한 문제점을 해결할 수 있으며 하천과 같이 선형의 대상지에 대하여 짧은 시간에 많은 자료취득이 가능하다.
- ④ 단점 : 최대 측심가능 심도가 낮고 수표면의 변동에 의한 레이저의 굴절의 영향 및 수체의 탁도의 영향을 많이 받게 되며 촬영고도가 낮아 산악지역에서의 자료취득이 곤란하다.

표 4.1 수심측정 장비별 특징 비교

측정장비	SBES	MBES	ADCP	SHOALS
측심 가능심도	최대 600m까지	최대 600m까지	30m	0.2m~50m
정확도	0.01m±수심의 0.1% (음속보정 후)	최하 IHO 1등급 이상 만족	수심의±1%	IHO 1등급 기준 만족
장 점	<ol style="list-style-type: none"> 수층별 음속변화에 의한 빔 위치 변동 거의 없음 정점의 위치만 확인하면 되므로 시스템이 간단하여 손쉽게 활용 가능 	<ol style="list-style-type: none"> 면 측량 방법 동시에 3~5배 폭의 수심을 측정 대상의 전체 지형과 음압 영상을 동시에 취득 	<ol style="list-style-type: none"> 동시에 유속측정이 가능 중/대 하천에서 효율적임 DGPS을 이용한 하상단면 추출 가능 	<ol style="list-style-type: none"> 육상부 및 수심부의 동시측량 가능 자료의 일관성 및 경제성에서 우수 짧은 시간에 고정밀 자료취득 가능
단 점	<ol style="list-style-type: none"> 선박의 모션 및 잡음에 민감 수심 깊어질수록 공간 해상도가 낮음 측심선 사이의 결측 구간 발생 기초자료의 신뢰성이 낮음 	<ol style="list-style-type: none"> 낮은 수심에서 포괄할 수 있는 면적이 감소되어 효율성 떨어짐 민감한 장비가 조합되어 작동하기 때문에 복잡한 자료처리 과정이 필요 장비의 운영 및 관리가 어려움 	<ol style="list-style-type: none"> 하상상태에 따라 측정정확도가 다름 유속이 느린 경우 유량 오차 증가 수면부, 하상부, 양안부의 유속측정 불가 	<ol style="list-style-type: none"> 최대 측심가능심도 낮음 수표면의 변동에 의한 레이저의 굴절의 영향 낮은 촬영고도에 의해 산악지역의 자료 취득 곤란

표 4.2 수심측량 방법 비교

분		류	기 존 방 법	SHOALS
저수지	기간	측량	3개월 (대청호기준 : 70km ²)	1주일 (대청호기준 : 70km ²)
		전체공정	4개월	1개월
	비용		3억	3억
	수심측정범위		1m ~ 100m	0.2m ~ 50m
	오차	수심	±10cm	±15cm
	해상도	Pitch	50m ~ 100m	2m
		Density	1m	2m
	관측범위		수체만 관측	수체 및 주변부 동시
하천	측량가능여부		수심이 깊고 유속이 있는 곳은 불가능	수심이 낮고 유속이 있는 곳에서도 가능
	안전성 (수심, 유속측면)		위험	안전
	해상도	Pitch	100m ~ 500m	2m
		Density	5m ~ 10m	2m
	기간		30일	10일
비용		5천만원	5천만원	

4.1.2 탐측장비 정확도 비교 분석 결과

각 탐측장비의 정확도는 수심의 0.1%로 매우 높거나, 최소 IHO 1등급 기준을 만족하는 것으로 나타났다. IHO 1등급 수심측량은 항만, 항만접근수로, 내륙수로, 해저가 점토, 모래 등으로 형성되어 항해에 덜 위험한 구역과 선저통과에 위험성이 적은 구역으로서 상업적 통항이 빈번한 연안 해역에서 실시하는 수심측량이다.

4.1.3 사례별 탐측장비 정확도 종합 비교 분석

앞 장에서 언급한 탐측장비별 오차량을 분석하여 표준편차를 산출한 결과는 표 4.3과 같다. 또한, 표 4.4는 오차량 비교 분석을 통해 얻은 값들을 이용하여 상대오차를 산출한 결과이다.

표 4.3 탐측장비별 오차량 비교 분석 결과

측 점	LiDAR - GPS (m)	토탈스테이션 - 이동식 하상추적 (m)	토탈스테이션 - 고정식 하상추적 (m)	토탈스테이션 - 이동식 연직빔 (m)	토탈스테이션 - 고정식 연직빔 (m)	SHOALS - 수치지도 (m)	LiDAR - 수치지도 (m)	SHOALS - LiDAR (m)	SBES - SHOALS (m)
1	-0.193	0.004	+0.038	+0.012	+0.006	+0.670	+0.450	+0.220	-2.000
2	-0.016	-0.009	+0.057	+0.055	+0.052	+0.500	+0.450	+0.050	+0.060
3	+0.382	-0.038	-0.058	-0.061	-0.059	+0.520	+0.490	+0.030	+0.710
4	-0.303	-0.033	-0.033	-0.040	-0.034	+0.540	+0.260	+0.280	-1.500
5	-0.236	-0.046	-0.056	-0.060	-0.065	+1.050	+0.910	+0.140	-0.060
6	+0.002	-0.040	-0.032	-0.036	-0.034	+0.920	+0.280	+0.640	-0.230
7	-0.244	-0.043	-0.039	-0.083	-0.087	+0.460	+0.370	+0.090	-0.390
8	+0.007	-0.053	-0.058	-0.062	-0.062	+0.450	+0.280	+0.170	+0.190
9	+0.089	-0.051	-0.052	-0.086	-0.081	+0.140	+0.060	+0.080	+0.280
10	-0.123	-0.063	-0.039	-0.096	-0.090	+0.240	+0.180	+0.060	-0.370
표준 편차	±0.193	±0.018	±0.039	±0.045	±0.043	±0.262	±0.219	±0.172	±0.782

표 4.4 탐측장비별 상대오차 비교 분석 결과

측 점	LiDAR - GPS (%)	토달스테이션 - 이동식 하상추적 (%)	토달스테이션 - 고정식 하상추적 (%)	토달스테이션 - 이동식 연직빔 (%)	토달스테이션 - 고정식 연직빔 (%)	SHOALS - 수치지도 (%)	LiDAR - 수치지도 (%)	SHOALS - LiDAR (%)	SBES - SHOALS (%)
1	0.1	0.8	7.1	2.3	1.1	3.3	2.2	1.1	9.6
2	0	1.5	9.3	9.0	8.5	1.6	1.5	0.2	2.3
3	0.2	5.3	8.1	8.5	8.3	2.9	2.7	0.2	4.8
4	0.2	4.5	4.5	5.5	4.7	1.7	0.8	0.9	6.7
5	0.1	5.9	7.1	7.6	8.3	5.0	4.3	0.7	3.0
6	0	5.1	4.1	4.6	4.3	1.7	0.5	1.2	2.2
7	0.2	5.4	4.9	10.4	10.9	1.2	1.0	0.2	2.7
8	0	6.6	7.3	7.8	7.8	2.2	1.4	0.8	0.9
9	0.1	6.3	6.4	10.6	9.9	0.2	0.1	0.1	1.7
10	0.1	7.8	4.8	11.9	11.1	0.3	0.2	0.1	3.3
절대값 오차	0.10	4.92	6.36	7.82	7.49	2.01	1.47	0.55	3.72

탐측장비별 비교를 통하여 분석한 결과 GPS 지형측량 성과와 LiDAR 측량성과는 최소 +0.002m와 최대 +0.382m 오차와 표준편차는 ±0.193m가 발생하였고, 상대오차의 경우 평균적으로 0.10%로 장비의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 상대오차의 평균계산에서 음과 양의 값이 상쇄되어 불합리하므로 각 측정에서의 상대오차의 절대값을 가지고 평균오차를 계산하였다.

ADCP의 경우, 토달스테이션 수심성과와 하상추적 방식으로 수심 측정 결과 이동식의 경우 최소 -0.004m, 최대 -0.063m 오차와 표준편차 ±0.018m가 발생하였고, 고정식의 경우 최소 -0.032m, 최대 -0.058m 오차와 표준편차 ±0.039m가 발생함을 알 수 있었다. 상대오차의 경우 평균적으로 전자는 4.92%, 후자는 6.36%의 값을 얻을 수 있었다.

한편 연직 빔 방식으로 수심 측정 결과 이동식의 경우 최소 +0.012m, 최대 -0.096m 오차와 표준편차 ±0.045m가 발생하였고, 고정식의 경우 최소 +0.006m, 최대 -0.090m 오차와 표준편차 ±0.043m가 발생함을 알 수 있었다. 상대오차의 경우 평균적으로 전

자는 7.82%, 후자는 7.49%의 값을 산출하여 하상추적 방식보다는 연직빔 방식이 더 효율적인 것으로 확인할 수 있었다.

SHOALS의 경우, 관측된 측정 결과와 수치지도와 비교하였을 때 최소 +0.140m, 최대 +1.050m 오차와 표준편차 $\pm 0.262m$, 상대오차 2.01%가 발생하였고, LiDAR의 성과와 수치지도를 비교하였을 때 최소 +0.060m, 최대 +0.910m 오차와 표준편차 $\pm 0.219m$, 상대오차 1.47%가 발생함을 알 수 있었다.

또한, SHOALS의 성과와 LiDAR 성과를 비교하였을 때, 최소 +0.030m, 최대 +0.640m 오차와 표준편차 $\pm 0.172m$, 상대오차 0.55%가 발생하였고, SBES의 성과와 SHOALS 성과를 비교 하였을 때, 최소 -0.060m, 최대 -2.000m 오차와 표준편차 $\pm 0.782m$, 상대오차 3.72%가 발생함을 알 수 있었다. 따라서, 탐측장비별 오차범위와 표준편차를 비교한 결과는 그림 4.1과 같다.

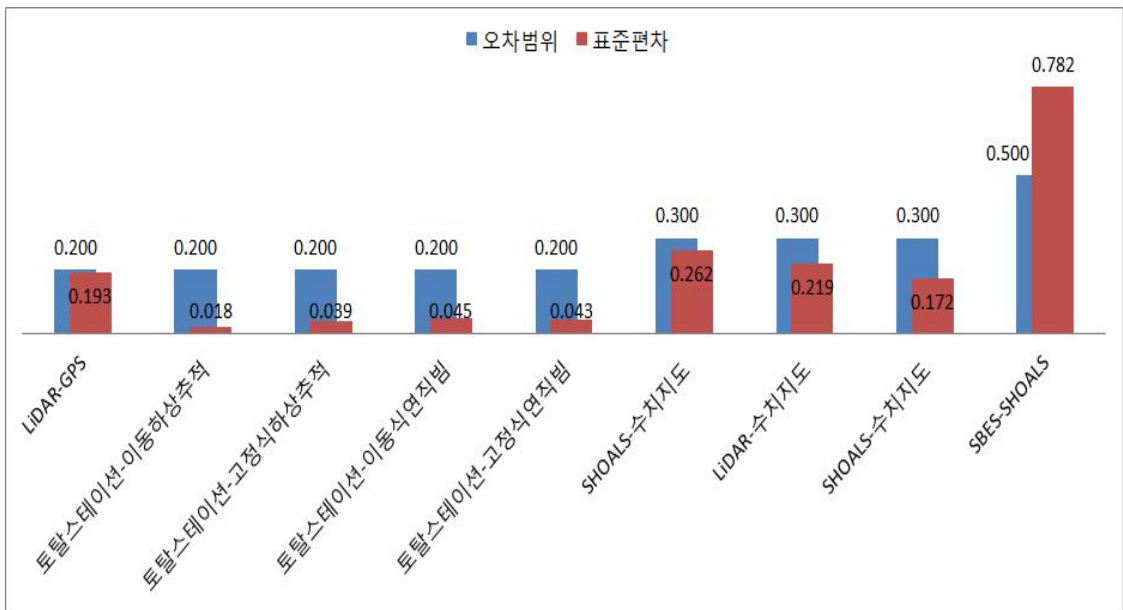


그림 4.1 탐측장비별 오차범위 비교 결과

GPS 지형측량 성과와 LiDAR 측량성과에 대한 표준편차는 $\pm 0.193m$ 로 분석되었다. LiDAR 측량의 고도별 정확도 기준은 비행고도 1,200m와 3,000m에서 각각 $\pm 0.150m$ 와 $\pm 0.350m$ 이내가 되도록 유지해야 되는데 2,700m에서 $\pm 0.200m$ 로 허용 정확도를 만

족한 것으로 나타났다.

ADCP의 경우 하상 추적 방식으로 이동하며 측정한 경우는 평균적으로 $-0.038m$ 오차를 보였으며, 고정식으로 수심을 측정한 경우 평균적으로 $-0.028m$ 의 오차를 보였다.

또한, 연직빔 방식으로 이동하며 수심을 측정한 경우는 평균적으로 $-0.046m$ 의 오차를 보였으며, 고정식으로 수심을 측정한 경우는 평균적으로 $-0.045m$ 의 오차를 보였다.

즉, 하상 추적 방식과는 반대로 이동식 측정이 고정식 측정 보다 오차가 약간 크게 나타났지만, 측정 결과의 분석은 유사한 것으로 확인하였다. 향후 다양한 흐름 및 하상 조건에 대한 추가적인 ADCP의 측정 정확도 분석 연구가 필요할 것으로 판단된다.

SHOALS의 경우, LiDAR 결과의 차이는 $0.176m \pm 0.172m$ 로 측정 결과의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 또한, 1/1000 수치지도와 비교하였을 때, SHOALS와 수치지도 차이는 $0.549m \pm 0.262m$ 로 수치지도의 정확도 범위(높이 값 $\pm 0.300m$)를 고려하였을 때, SHOALS 데이터의 사용 및 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4.2 최적 하천과 연안 지형탐측 장비 선정

최적 탐측장비 선정을 위해 기본적으로 수행하여야 할 절차는 그림 4.2와 같으며 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫 번째, 조사 목적을 명확히 파악하여 하천지형, 유량관측, 유속관측, 댐 퇴사량 관측의 종류를 우선 분류한다.

하천지형 관측 경우, 선박운행이 가능 할 경우 하상변동 또는 골재채취 등의 특정 목적에 따라 SBES와 MBES 중 선택하고 선박운행이 불가능 할 경우 지형관측을 효과적으로 수행하기 위해서는 토탈스테이션을 최적의 장비로 선택한다.

수심 $30m$ 이상인 구간의 유속을 관측하기 위해서 SHOALS를 적용하며, 수심 $30m$ 이하인 구간의 유속과 유량을 동시에 관측하기 위해서는 ADCP를 선택하여 조사를 수행한다.

댐 퇴사량 조사는 단일 장비로는 SHOALS를 사용하며, 수심부 측정이 가능한 경우 SHOALS와 MBES를 동시에 사용하고, 그렇지 않은 경우 LiDAR와 MBES를 사용하여 조사한다. 보다 자세한 사항은 그림 4.2와 다음절에서 기술한다.

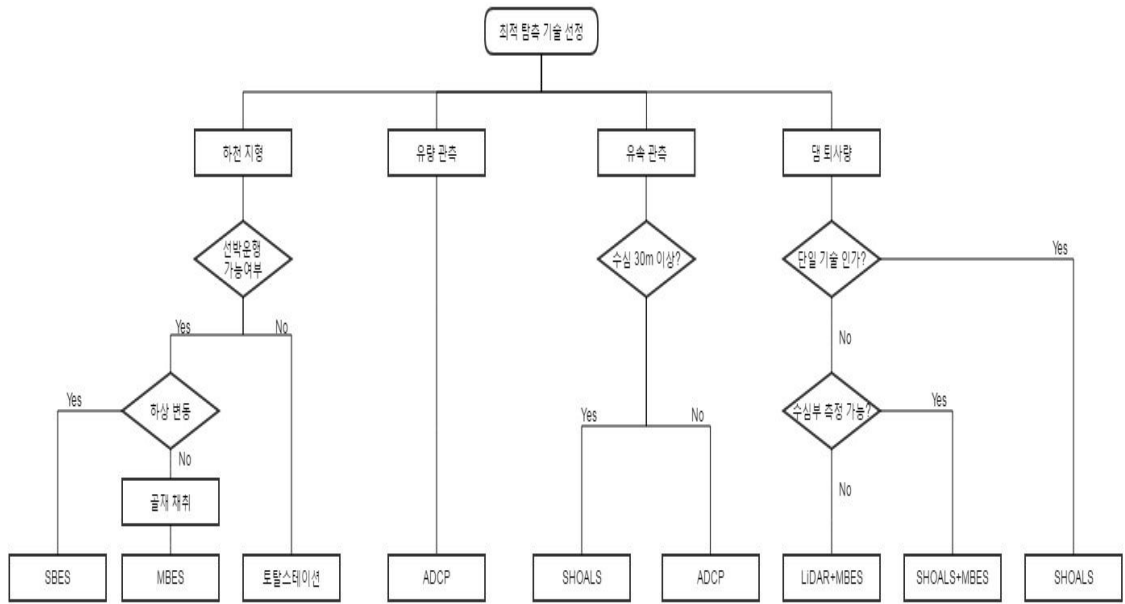


그림 4.2 최적 탐측장비 선정 흐름도

4.2.1 하천과 연안 지형 관측을 위한 하천지형 탐측

하천과 연안의 지형자료를 취득하기 위한 최적 장비 선정 시 고려되어야 할 사항은 하천의 범위, 수심 및 크기와 같은 공간적 특성과 하천지형 탐측의 목적이라 할 수 있다.

우선 하천과 연안의 공간적 특성을 고려할 때 하천이 1m 이상의 수심을 확보하고 있어 선박의 운행이 가능한 경우, 하천측량의 목적이 전체 하천에 대한 하천의 전반적인 하상변동 등의 하천지형 파악 또는 유속관측을 동반한 유량관측 등의 목적을 위해 일정구간별 횡단측량성과가 필요한 경우라면 탐측장비의 경제성 및 장비운영의 용이성을 고려할 때 현재 일반적으로 사용되고 있는 SBES 장비가 효과적이라 판단된다.

반면 취수장과 같은 수리시설물 설치 및 골재채취 업무 등 특정 목적의 비교적 짧은 하천구역 내에서 정밀한 지형탐측자료가 필요한 경우 MBES 장비가 효과적이다. 특히 MBES 장비는 일정구간별 횡단측량성과물을 얻는다는 측면보다는 해당구간에 대한 3차원의 지형형태를 구축하여 전체적인 하상특성을 평가하는 측면이 강하다고 할 수 있다.

하천의 수심이 부분적으로 낮아 선박의 운행이 어려운 경우라면, 수준측량에 의해 설치된 하천측점에서 토탈스테이션 장비를 활용한 지형관측이 효과적이다. 이 방법은 일정구간별 횡단측량성과물이나 취수장 설치 및 골재채취 업무를 위한 좁은 지역에서의 정밀지형관측용 자료취득에도 범용적으로 활용할 수 있다. 표 4.5는 토탈스테이션에 의한 하천 횡단측량 단위비용을 개략적으로 산출한 결과이며, 현장상황 및 설계 조건 등에 따라 달라질 수 있다.

표 4.5 토탈스테이션에 의한 하천 횡단측량 단위비용

구 분	하폭에 따른 하천의 횡단측량 비용					
	50m	100m	200m	400m	700m	1000m
용역단가(1단면)	약 5만원	약 8만원	약 16만원	약 30만원	약 45만원	약 56만원

최근 RTK-GPS측량에 의한 하천지형 관측방법이 있으나 WGS84 타원체 기준의 타원체고로부터 정표고로 환산하기 위한 지오이드고 계산과정이 선행되어야 하는 특성상 공정이 복잡하고 작업시간 단축에도 큰 차이는 없다고 볼 때, 토탈스테이션 장비에 의한 하천지형측량이 효과적이라고 판단된다.

하천의 유량을 관측하기 위해서는 유속 및 지형측량 성과물을 연계하는 과정이 필요하며, 이 두 가지를 동시에 관측할 수 있는 방법으로는 ADCP가 대표적이며, 실제 현장에서 현장상황과 흐름상태 등을 고려하여 탐측장비를 적절하게 운용하는 경우 유량 측정을 목적으로 하는 하천지형 탐측방법으로는 매우 효율적인 측정방법이라 판단된다.

4.2.2 댐 퇴사량 조사

한국수자원공사에서 시행하는 댐 퇴사량 조사는 댐 건설시점으로부터 약 10년의 주기로 퇴사로 인한 댐의 저수용량 변화 등을 파악하기 위하여 저수구역을 일정간격으로 분할하여 측량하고 있다. 그러나 측량하는 두 횡단면간 간격이 다소 넓어 수치지도 작

성 시 미측량구간은 기술자가 주관적인 판단 또는 시스템에서 제공하는 보간법을 이용하여 등고선을 작성함으로써 실제지형과 차이가 발생할 수 있다.

이근상(2003)은 “항공레이저측량 자료의 해상도에 따른 DEM 오차 비교평가 연구”에서 항공레이저측량 자료를 이용하여 다양한 공간해상도를 갖는 DEM을 구축하고 1:5,000 수치지형도와와의 점비교(Point comparative method) 및 등고선비교(Contour comparative method)에 의한 표고오차를 분석하였으며, 그림 4.3 및 표 4.6과 같은 결과를 제시하였다.

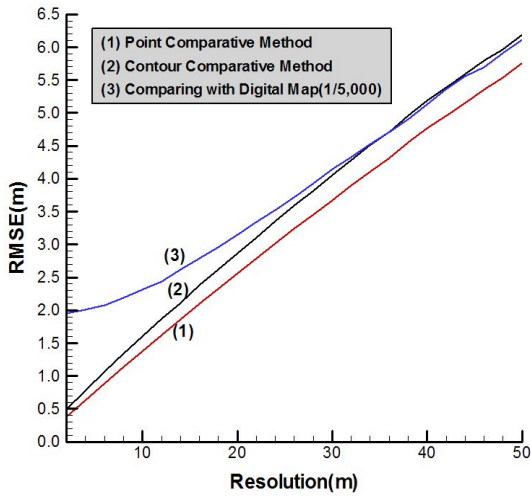


그림 4.3 DEM 공간해상도별 오차량 변화

표 4.6 DEM 공간해상도별 표고오차의 범위

공간해상도	표고오차 범위
10m	1.3m ~ 2.2m
20m	2.5m ~ 3.2m
30m	3.7m ~ 4.2m
40m	4.7m ~ 5.2m
50m	5.7m ~ 6.3m

따라서, 현행 SBES를 이용한 저수지 측량(pitch: 100m, 점밀도: 2m)의 공간해상도를 20m×20m로 볼 때 최대 3.2m 정도의 오차발생 가능성을 내재하고 있으며, 결과적으로 10km²당 약 3천 2백만톤의 퇴사량 오차가 발생하게 된다. 일반적으로 호수와 늪을 포함하는 호소 내에서는 지형변화가 육지보다 비교적 적게 나타나기 때문에 표고오차도 다소 작게 나타날 것으로 예상되나 이런 오차량은 퇴사량 평가 결과에 큰 영향을 줄 것으로 보인다.

정밀지형자료 구축을 위해 SBES 장비를 이용하는 경우 측심선 간격을 조밀하게 설계하여 결측 자료를 보완하는 방법도 있겠지만, 이를 위한 작업에는 많은 시간과 측량 비용이 소요된다는 점에서 비효율적이라 할 수 있다.

따라서 저수지내 국부적인 지형변화를 모니터링하기 위해서는 면단위의 보다 점밀도

가 높은 정밀지형 탐측장비가 필요하다. 표 4.7은 하천지형 측량 시 SBES와 MBES의 특성을 비교한 것으로서 사업의 특성에 따라 두 장비의 특성을 고려하여 선택하여야 하는 것을 간접적으로 보여주고 있다. MBES는 상대적으로 SBES와 비교하여 면 측량이 가능한 탐측장비로써 수심의 3~5배 폭에 대한 정밀한 지형자료 취득이 가능하며, 상대적으로 단시간에 사업의 완료가 가능하다는 장점을 가지고 있으나 단위비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

표 4.7 하천지형 탐측장비별 사업 비교 결과

사용 장비	SBES		MBES
용역단가	약 10만원/km		약 30만원/km
측심간격	약 100m 간격	약 25m 간격	100% 커버리지
작업량 (약70km ² 대청호기준)	약 700km	약 2800km	약 700km
예상 사업금액	약 0.7억원	약 3억원	약 2.1억원
작업기간(외업)	50일 이상	약 180일	약 25일

또한, MBES 장비와 함께 4m×4m 해상도로 동시에 폭 110m의 영역에 대한 자료 취득이 가능한 SHOALS 장비를 고려할 수 있다. SHOALS 장비는 넓은 지역에 대하여 육상부와 수체에 대한 지형자료를 동시에 취득함으로써 자료의 일관성을 확보할 수 있으며 수심에 대한 지형기록이 큰 지역에서도 균일한 지형자료 취득이 가능하기 때문에 수심이 낮고, 유속이 빠르지 않으며 투명도가 높은 하천지역 또는 호소 등과 같이 하천지형의 기록이 큰 지역에서는 MBES 장비에 비하여 경제적이며 효율적일 수 있다.

그러나, SHOALS 장비는 최대 측심가능 심도가 낮고 수표면의 변동에 의한 레이저의 굴절의 영향 및 수체의 탁도 영향을 많이 받으며 작업수행을 위한 비행고도가 200m~400m로 낮아 험준한 국내 지형특성상 항공기 운행에 상당한 부담을 주게 된다.

이런 단점을 보완하기 위하여 수표면 변동에 의한 레이저의 굴절영향을 최소화하기 위하여 수면부근의 레이저빔을 넓혀 섬세한 수표면의 변동에 의한 굴절각의 분산을 평균화 하거나 반사펄스의 파형분석에서 최적해를 구하는 등 다양한 연구가 계속되고 있다. 또한, 작업능률의 향상을 위한 촬영고도를 높이기 위하여 레이저 파의 강도를 높이는 등의 노력을 지속하고 있으나 레이저 파의 강도를 조절하는 경우 출력에너지의 높여야 하며, 이는 곧 탑재체인 항공기의 크기가 커져 경제적이지 못하게 되는 또 다른 문제점이 발생하게 된다.

특히 국내 다목적댐 저수지의 상당수가 수심 50m가 넘고, 또한 홍수기 전후에 유입된 토사의 영향으로 대부분의 저수지들이 많은 탁수와 전이질을 포함하고 있어 SHOALS 장비를 통한 신뢰성 있는 자료취득에 관하여 보다 많은 연구가 필요하다.

과거 댐 퇴사량 관측의 경우, 댐 주변부는 국토지리정보원의 수치지형도를, 댐 유입하천에 대해서는 수준측량 성과물에 의존하였으나, 1:5,000 수치지형도의 등고선 간격이 5m임을 고려할 때 환경사지역에서는 정밀한 형태의 지형자료를 취득할 수 없는 단점이 있고, 또한 약 5년에서 10년 주기로 댐 퇴사량이 갱신되는 문제로 지형변화가 심하거나 산사태 등의 지형 갱신이 필요한 지역에서 그 한계를 노출시켜 왔다.

또한 댐 유입하천의 수준측량은 개략적인 지형단면을 제공할 수 있으나 홍수기 전후에 수시로 변화하는 하천내의 사주나 초지와 같은 하천지형을 효과적으로 반영하지 못하였다. 따라서 댐 주변지역 및 수심이 거의 없는 댐 유입하천에 대해서는 LiDAR 측량을 수행하여 3차원의 지형자료를 관측하여 수심부의 MBES 장비에 의한 지형자료와 연계하는 것이 바람직하다.

다만, 이 경우 수심부의 MBES 장비로 부터 취득된 하천지형자료와 육상부의 LiDAR 측량을 통하여 취득된 하천 지형자료의 연계처리를 위해서는 MBES 장비에 의한 수체의 지형측량은 수위가 매우 높을 때 수행하는 것이 바람직하며, 육상부의 LiDAR 측량은 갈수기처럼 댐 수위가 낮아 상류의 유입하천의 형태가 노출된 시기에 수행하여 중복지역을 최대한 확보하는 것이 필요하다.

표 4.8은 이상의 언급한 내용들과 개략적인 측량기간과 소요 사업비를 간략히 요약한 결과로서 사업의 특성에 따라 제한된 사항들을 검토하고 표에서 언급한 내용들을 바탕으로 최적의 장비를 선정하여야 할 것이다.

표 4.8 지형별 최적 탐측장비 적용 비교 결과

구 분	LIDAR + MBES	SHOALS + MBES	SHOALS
측량 방법	육상부 : LIDAR 수체부 : MBES	육상부 : SHOALS 수체부 : MBES	육상부 : SHOALS 수체부 : SHOALS
장점	다수의 사례로 적용성 입증	육상부 및 수체부의 연속적인 3차원 자료 획득 가능	육상부 및 수체부 동시측량으로 자료의 일관성 및 경제성 우수
단점	유입천의 수심부 측정 불가	SHOALS 시행이 보편화되어 있지 않음	고심도에서 SHOALS 신뢰도 미입증
측량기간 (외업기준)	1개월/70km ² (대청호 기준)	1개월/70km ² (대청호 기준)	5일/70km ² (대청호 기준)
예산사업비	약 4억	약 4억	약 3억

또한, 현재 하천의 육상부 및 수체부 지형자료의 일관성 있는 일괄취득이 가능한 장비로 SHOALS가 유일하고 국가적으로 전 국토에 대한 3차원 실감정보 구축 및 이를 이용한 국토관리의 필요성이 있음을 감안할 때 시범사업을 통하여 국내 하천 및 댐 저수지 등을 대상으로 탁도와 이에 따른 측심가능 심도 및 측심정확도 등에 대한 면밀한 검토가 선행되어야 할 것이며, 결과에 따라 기술의 도입여부가 논의되어야 할 것이다.

아울러 SHOALS 장비 외에 홍수기 전후의 하천 내 지형형태가 많이 변경되어 이에 대한 신속한 지형평가가 필요할 경우에는 위성영상이나 항공촬영에 의한 영상정보를 함께 연계하여 하천 내 지형을 평가하는 방법도 개발하여야 할 것으로 판단된다.

4.3 하천과 연안 지형탐측 자료 데이터베이스 구축 방안

4.3.1 하천과 연안 지형탐측 자료 관리의 문제점

하천과 연안 및 댐 저수지에 대한 지형측량 성과물은 향후 하천 및 저수지의 지형변화 모니터링을 위한 중요한 기초자료가 된다. 그러나 현장에서의 실태를 살펴보면 많은 경우 분실의 우려가 있는 종이형태의 측량 성과물을 수치화 과정 없이 그대로 보유하고 있는 실정으로 무엇보다도 이를 수치화하고 자료구축을 통하여 공적인 데이터베이스 형태로 구축하는 것이 필요하다.

또한, 하천기본계획 및 하천의 유량측정 등을 목적으로 취득된 하천 횡단면 자료 등의 경우 계획된 측심선에 대한 하천 단면에서의 기록을 표현하고 있을 뿐 취득된 자료들이 국가기준좌표계를 기준으로 하는 실세계 좌표정보를 포함하지 않고 있기 때문에 동일측선에 대한 중장기적인 관측(5년 단위)이 필요한 하천지형탐측에 어려움이 있다.

여기서, 중장기적인 관측 시기는 조사항목의 생성주기, 자료의 변동성, 활용빈도 등을 고려하여 국가 수자원정책 및 계획 수립에 필요한 조사항목으로 정하며, 1년, 5년, 10년 주기와 수시 및 특별조사로 구분한다. 1년 단위의 조사항목은 상시 활용성과 변동성이 높은 자료 또는 연간 분석을 말하며, 5년 단위의 조사는 유역의 중장기변동 특성 분석, 10년 단위는 유역특성 등과 같이 변동성이 적은 조사항목을 말한다(국토교통부, 2013).

퇴사량 자료의 경우 현재 지형탐측 성과물을 dxf 또는 dwg 파일 형식의 수치지형도에 측심위치 및 각 측심위치에서서의 수심을 주석(annotation)으로 처리하거나 등고선 형태 등 수치화된 형태로 납품하고는 있으나 데이터베이스를 구축하기 보다는 각종 사업들에 의한 성과물을 모아놓은 형태에 불과하여 자료 활용에 어려움이 있다.

하천지형 자료의 데이터베이스 구축은 시계열 하천 모니터링을 위해서라도 동일한 측선에 대한 중장기적 측량이 필요하며, 이러한 전산화된 자료의 확보는 하천설계 및 관리 그리고 대상지역내 퇴사모델링 등을 수행하고 검증하는 매우 중요한 자료로 활용 가능하기 때문에 구축된 자료는 그 유형별로 정리하여 시계열로 관리하는 것이 필요하다.

따라서, 업무자가 하천설계 및 사업관리를 위해 쉽고 신속하게 자료를 열람하고 활용할 수 있는 업무체계 개선이 필요하며 이를 지원하기 위한 시스템 도입이 필요하다고

판단된다.

아울러, 하천계획 및 저수지 운영계획 등을 포함한 다양한 업무지원 목적으로 누적된 기초자료로부터 가공정보를 생성할 수 있는 저수지 댐 퇴사량 원시자료로부터 일정구간별 자료추출, 원하는 구간에 대한 횡단면도 자동생성, 횡단 성과물에 대한 실세계 좌표정보 변환, 다양한 지형 보간 기법의 적용가능한 지형의 3차원 가시화, 저수지 유상 흐름 및 퇴사모델링을 위한 입력자료 자동생성, 세계측지계 시행에 따른 기 구축 자료들에 대한 좌표계변환, 세계측지계의 전면시행까지의 기존 한국측지계 성과 및 세계측지계 성과의 통합관리 등의 기능이 포함된 업무지원시스템 구축도 병행 개발되어야 할 것이다.

4.3.2 하천과 연안 지형탐측 자료 데이터베이스 구축 방향

하천측량을 통하여 취득되는 하천지형자료는 하천지형탐측 방법과는 무관하게 국가 기준 좌표계를 기준으로 하는 x, y, z 좌표정보를 포함한 3차원 위치자료의 형태를 가지게 된다. 국가기준좌표계는 국가의 모든 위치정보의 기준이 되며 국가기본도, 공공측량, 지적측량, 국방, 학술 등의 관리를 위한 인프라로써 사용되는 좌표의 기준이 동일할 경우 자료의 통합에 있어서의 자료 호환문제가 발생하지 않기 때문에 하천 지형자료 데이터베이스를 구축함에 있어 취득되는 자료의 기준좌표를 결정하는 것은 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

향후 실제 하천지역의 원격 지형탐측 수행 시 취득된 3차원 지형 탐측자료 외에 기존 2차원 자료의 특성, 3차원 변환, 자료 관리방안 등에 대한 데이터베이스화가 고려되어야 할 것이며, 또한 기존 자료와 신규 자료의 일관성 있는 지형자료 구축을 위해 각 자료의 호환성을 분석하여 자료의 통합방안이 제시되어야 할 것이다. 지형자료의 추출 및 변환, 성과조회의 효율적인 처리를 위한 Database Management System (DBMS)의 구조에 대한 연구와 각각의 자료에 대한 사용자 입장에서의 자료 활용의 용이성 및 효율성 등을 고려한 Graphical User Interface (GUI)에 대한 개발 방안 또한 구체화 되어야 할 것이다. 그림 4.4는 본 연구를 통하여 제시하고자 하는 하천 지형자료의 데이터베이스 구축 방향을 나타낸 모식도이다.

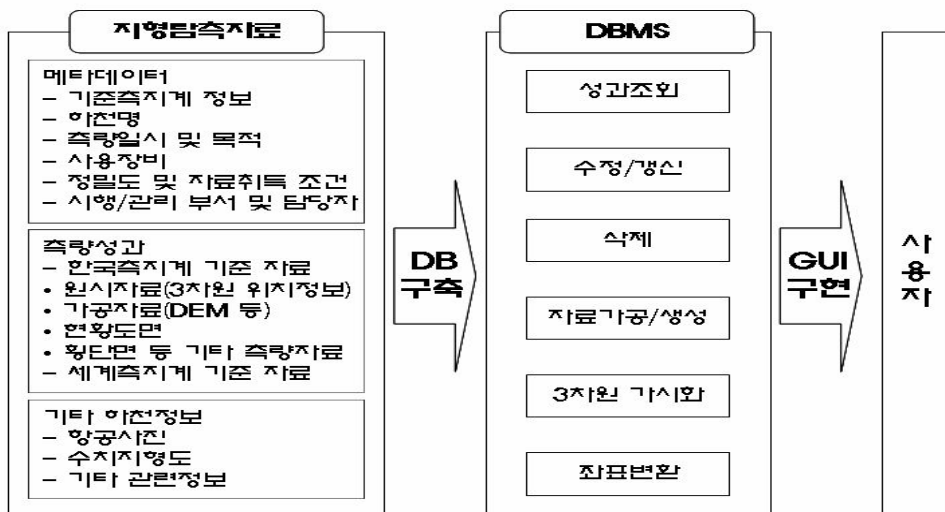


그림 4.4 하천 지형자료 데이터베이스 구축 방향

자료의 저장방식은 크게 ASCII 형식과 이진(binary) 형식이 있다. 이진 형식은 물리적 저장 공간이 작고 입출력 속도가 상대적으로 빠른 대신 해당 파일을 사용하기 위해서는 해당 형식에 대한 전용 소프트웨어를 이용해야 하는 단점이 있으나, ASCII 형식은 파일의 이진 파일에 비하여 상대적으로 많은 물리적 저장 공간이 필요하고 자료의 입출력 시간 또한 오래 걸린다는 단점이 있으나 American Standard Code for Data Interchange의 코드체계로 표준화 되어있어 하드웨어나 소프트웨어의 제약 없이 사용이 가능하며 일반문서편집기를 통하여 내용의 확인이 가능한 장점이 있다.

이와 관련하여 국가고도자료 구축연구에서는 DEM자료의 저장을 위한 파일형식에 대하여 ASCII 형식과 이진 형식의 물리적 저장 공간을 비교분석하고 사용자의 편리를 이유로 ASCII 형식을 제시하고 있다(국토지리정보원, 1999).

추후 취득된 지형 탐측자료에 대한 체계적인 데이터베이스를 구축하고 공간자료유통망 및 이와 관련된 업무지원 시스템을 구축하는 경우 효율적인 데이터베이스 구축을 위해서는 구축되는 자료들에 관한 물리적 저장 공간 등에 관한 충분한 고려가 선행되어야 할 것이다. 그러나, 사용자의 기초자료에 대한 접근방법의 용이성, 자료의 활용성 및 범용성 등을 고려할 때 현행 납품되는 자료의 형태인 dxf 또는 dwg, 등고선 및 DEM 등과 더불어 x, y, z의 3차원 위치정보를 포함하는 ASCII 형식의 원시자료를 함께 데이터베이스화 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

따라서 하천지형 탐측자료는 오차처리 등의 후처리가 완료된 원시자료 및 자료이력이 포함된 메타데이터를 함께 구축해야 할 것으로 판단된다.

4.4 수리분석모형에 활용할 자료 확보 방안

하천 수리분석모형은 고려하는 공간의 차원에 따라 1차원, 2차원, 3차원 모형으로 구분된다. 3차원 모형은 3차원 유속 및 압력에 관한 데이터가 필요한 유동해석에 필요하며, 주로 내부 흐름 해석에 이용된다. 그러나 근래 하천 흐름과 구조물과의 상호 작용을 해석하는데 종종 이용되고 있다. 폭 방향으로 변화가 큰 흐름의 경우 수리해석은 2차원 모형을 사용하며, 그렇지 않은 경우에는 1차원 모형을 사용할 수 있다. 하천 수리분석모형의 종류는 표 4.9와 같다.

표 4.9 하천 수리분석모형 비교

구분	HEC-RAS HEC-2	FLDWAV (DWOPER)	NETWORK	SMS(RMA-2)	FLOW3D
분석 대상	부등류, 부정류	부정류	부정류	부등류, 부정류	모든 흐름
지배 방정식	점변류 방정식 St. Venant 방정식	St. Venant 방정식	St. Venant 방정식	천수방정식	레이놀즈 방정식
차원	1차원	1차원	1차원	2차원	3차원
수치해석 기법	축차계산법	유한차분법	유한차분법	유한요소법	유한체적법
개발자	HEC	NWS	NWS	HEC	FLOW Science

일반적으로 하천은 수심에 비해 폭이 매우 넓고 폭에 비해 길이가 매우 긴 기하학적 특성에 기인하여 수치해석에 주로 1차원 모형이 많이 사용되어 왔으며, 폭 방향으로

변화가 큰 흐름의 경우 수리해석은 2차원 모형을 사용한다.

전체 하천 구간의 흐름방향에 대한 수위변화 양상 등을 파악하기 위하여 사용되는 1차원 모델의 경우 높은 점밀도에 의한 정밀한 하천지형자료 보다는 전체수계에 대하여 동일단면에서 장기간에 걸쳐 취득된 자료를 필요로 한다.

따라서, 축심선 간격을 하천 설계기준에서 정하고 있는 간격을 고려하되 10m, 20m, 40m, 50m, 100m, 125m, 200m, 250m 중에서 선택하도록 되어있는 하천기본계획을 위한 하천측량 성과로부터 지형자료를 확보하여 사용해도 적용상 큰 문제가 없을 것으로 보인다.

특히, 그림 4.5는 “하천단면정보”라 표시된 부분은 하천기본계획을 위한 하천측량성 과로서, 대표적인 1차원 수리분석모형인 HEC-RAS의 입력파일 중 일부를 나타내고 있는 그림 4.6은 “하상단면정보 입력부분”으로 표시된 부분과 동일한 형식으로 구성되어 있다. 따라서 HEC-RAS의 경우 하천기본계획을 위한 하천측량 성과를 가공 없이 사용이 가능하다.

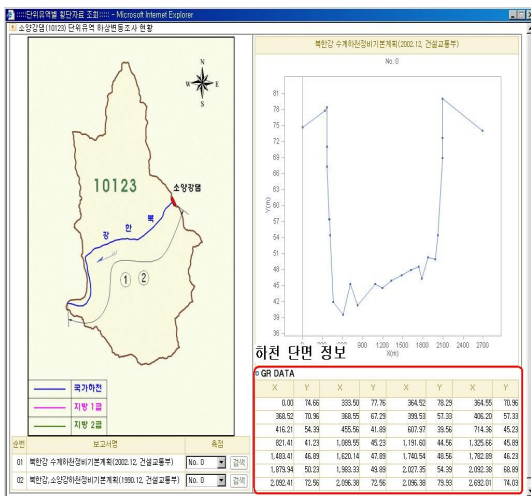


그림 4.5 하천기본계획의 하천횡단면 자료현황

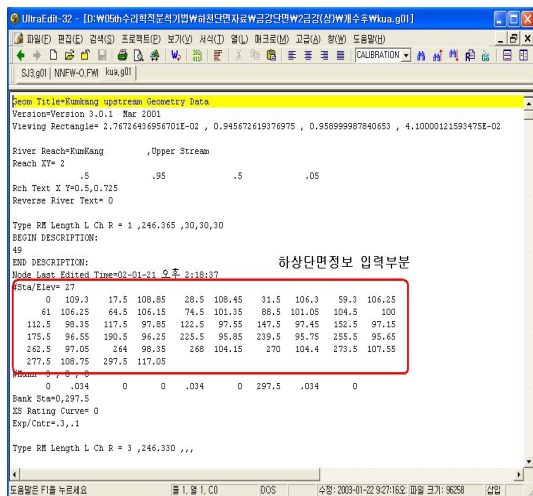


그림 4.6 HEC-RAS 지형자료(횡단자료) 입력 형식

단, 전술한 바와 같이 1차원 모형은 동일단면에서 장기간에 걸쳐 취득된 자료를 필요로 하기 때문에 한번 설치한 축심선의 위치를 나타내는 표석의 관리가 매우 중요하다. 그러나, 표석이 망실되더라도 축심선 위치에 관한 실세계 좌표정보를 이용하여 동일한 축심선의 위치를 찾을 수 있으므로 축심선 위치에 대하여 실세계좌표를 취득하는

것이 중요하다. 하천의 만곡부, 구조물 주변, 지류유입부 등에서의 국부적이 수체의 변화해석이 가능하고 계산 값이 정교하며 수체의 횡방향 흐름에 대한 모의가 가능한 2차원 모델의 경우 실제 지형을 정확하게 반영하기 위하여 1차원 모형에 비하여 상대적으로 높은 점밀도에 의한 정밀한 지형자료가 필요하다. 차원별 수리분석모형의 비교는 표 4.10과 같다.

표 4.10 차원별 수리분석모형 비교

	장 점	단 점
1차원 수리분석 모형	1. 하천측량자료의 적용 용이함 2. 계산시간의 단축 3. 모형적용의 용이함 4. 전체하천구간의 흐름방향에 대한 5. 수위변화양상 판단가능 6. 좁고 긴 하천에 적용가능 7. 계산의 발산 가능성이 적음 8. 주로 HEC-RAS 모형 사용 9. 다양한 해석방법 및 모형 tool이 존재함	1. 만곡 및 구조물 주위 해석 곤란 2. 하천흐름의 벡터에 의한 도식화 곤란 3. 국부적인 흐름 해석 곤란 4. 현재는 2차원 연구가 주로 진행 되는 추세임
2차원 수리분석 모형	1. 실제지형의 정확한 반영 2. 만곡부, 구조물주변, 지류유입의 국부적 변화해석가능 3. 하구부와 항만내의 해석가능 4. 횡단방향으로 계산절점에 의한 수위 및 유속계산 가능 5. 계산값의 정교함 6. 출력값의 다양한 도식화 가능 7. 주로 RMA모형 또는 SMS 모형 사용	1. 측량단면자료 전환이 어려움 2. 계산시간이 길어짐 3. 모형적용이 어려움 4. 현재 2차원에 관련된 적용 tool 거의 없음 5. 계산 발산가능성이 많음 (정확한 초기 /경계조건 필요)

특히, RMA-2와 같은 2차원 모델에 입력되는 지형자료의 형식은 일정간격의 mesh를 구성하여 입력하도록 되어있다. 이런 형식의 자료를 생성하기 위해서는 보간 과정이 필수적이라 할 수 있으며, 보다 정확한 모의 결과를 얻기 위해서는 ASCII 파일 형식의 원시자료를 함께 데이스베이스화 하여 사용자에게 제공하고 사용자가 필요한 자료 및 가공방법을 선별하여 사용하게 하는 것이 필요하다.

또한, 충분히 높은 밀도로 취득된 하천지형자료를 이용하여 DEM, 불규칙 삼각망 또는 등고선 자료를 가공한 경우 상용 프로그램이나 특정 프로그램상의 횡단면 추출기능을 구현함으로써 3차원 지형자료들로부터 그림 4.7과 같이 원하는 지점에서의 횡단면 정보의 취득이 가능하게 되며 이렇게 취득된 하천의 횡단면 정보는 1차원 모델에서도 활용이 가능하다.

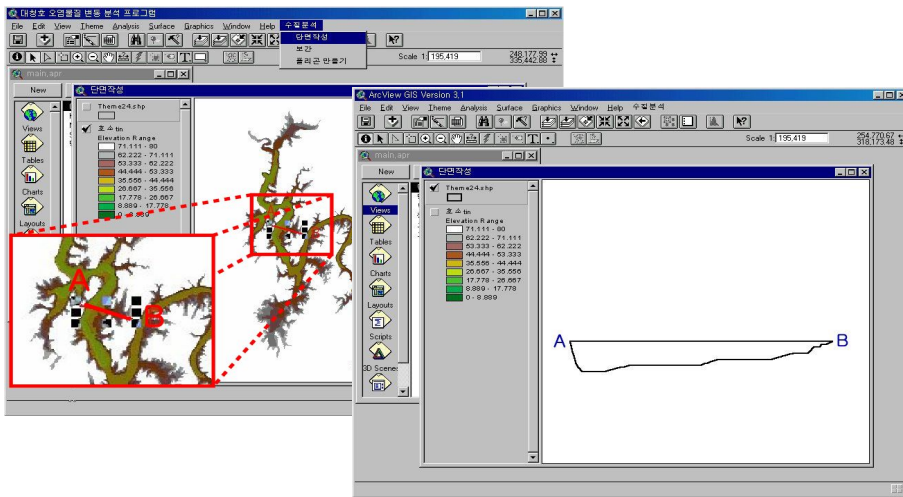


그림 4.7 하천지형자료로부터 하천 횡단면 정보 추출

4.4.1 하천과 연안 지형탐측 자료를 이용한 3차원 지형자료 구축

일반적인 3차원 지형자료인 DEM 제작과정은 그림 4.8과 같이 고도추출점으로 부터 보간 과정을 통하여 수행된다.

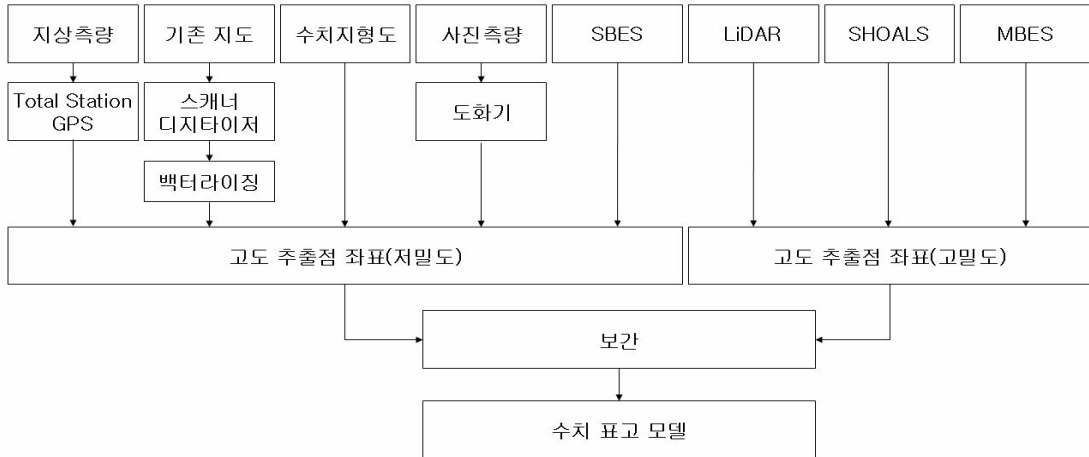


그림 4.8 수치표고모형 제작 과정

이러한 방법 모두는 x, y, z 값을 갖는 임의의 3차원 좌표 값을 관측하는 자료수집단계와 수집된 자료로부터 보간에 의한 또 다른 고도자료를 만드는 자료처리 단계로 구분된다. 이중 수치표고모형의 정확도나 제작 효율에 직접적인 영향을 주는 것은 자료수집단계라고 할 수 있으며, 수치표고모형 제작방법 역시 자료 수집방법의 차이에 따라 구별된다고 할 수 있다. 이 중 수치지형도를 이용하여 수치표고모형을 제작하는 경우 수치지형도의 일부 레이어 높이(z)값을 포함하기 때문에 수치지형도에 포함된 다양한 레이어 중 높이를 포함하는 레이어를 추출해서 사용하게 된다.

사용하는 상용 소프트웨어는 ESRI의 ArcGIS 및 ArcView, ERDAS IMAGINE, GEOmania 등 다양하고, 각 소프트웨어별로 ASCII 형태의 3차원 좌표 값을 import하는 방법 및 수치지도 레이어를 추출하는 방법이 각각 다르며, 소프트웨어에 따라 Linear, Bilinear, Quintic, Bicubic, Nearest Neighbor Assignment, IDW(Inverse Distance Weighting), Kriging 등 다양한 보간 기법들을 적용하여 수치표고모형을 제작한다.

제 5 장 결론

본 연구에서는 수문조사의 기초인 하천과 연안 지형자료 구축을 위한 사례를 조사·분석하여 실무에 적용할 수 있는 최적의 탐측장비 적용 방향을 설정하였다. 구체적으로 이·치수와 하천 환경·생태 등의 하천사업에 필수적인 데이터베이스 구축 및 수리분석모형에 활용할 자료 확보 방안과 최적의 하천과 연안 지형자료 탐측장비를 선정과 관련하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하천과 연안의 공간적 특성을 고려할 때 선박의 운행이 가능하고 탐측장비의 경제성 및 운용의 용이성을 고려할 때 SBES 장비가 효과적이라 판단된다. 다만, 짧은 하천구역 내에서의 정밀한 지형 탐측자료가 필요한 경우 지형조건 및 탐측장비의 운용성을 고려할 때 MBES 장비가 효과적이라 판단된다.
2. 수심이 깊은 구역과 저수지 등의 신속하고 효율적인 지형측량을 위해 면단위 보다 점밀도가 높은 정밀지형 관측 장비인 MBES를 활용한 측량이 정밀한 지형상태 파악을 위한 탐측장비로 적합하다.
3. 수심이 부분적으로 낮은 경우 토탈스테이션 장비를 활용한 지형관측이 효과적이며, 일정 구간별 횡단측량성과물이나 취수장 설치 및 골재채취 업무를 위한 좁은 지역에서의 정밀지형 관측용 자료 취득에도 범용적으로 활용이 가능하다. 최근 RTK-GPS측량에 의한 하천지형 관측방법이 있으나 공정이 복잡하고 작업시간 단축에도 큰 차이는 없다고 볼 때, 토탈스테이션 장비에 의한 하천 지형측량이 적합하다.
4. 유량을 관측하기 위해서는 유속 및 지형측량 성과물을 연계하는 과정이 필요하며, 이 두 가지를 동시에 관측할 수 있는 방법으로는 ADCP 장비가 대표적이며, 실제 현장에서 현장상황과 흐름상태 등을 고려하여 탐측장비를 적절하게 운용하는 경우 ADCP가 최적의 탐측방법으로 판단된다.

5. 육상부의 지형자료는 수치지형도 또는 수준측량 성과물에 의존하였으나, 홍수기 전후에 수시로 변화하는 지형을 효과적으로 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 수체 주변지역에 대한 지형자료를 연속적으로 구축하기 위해서는 LiDAR 측량을 수행하여 수심부 지형자료와 연계하는 것이 바람직하다. 다만, 이 경우 수심부의 지형자료와 육상부의 LiDAR 측량을 통하여 취득된 지형자료의 연계처리를 위해서는 중복지역을 최대한 확보하는 것이 필요하다.

6. SHOALS 장비는 수심에 대한 지형기복이 큰 지역에서도 균일한 지형자료 취득이 가능하기 때문에 지형의 기복이 큰 지역에서는 MBES 장비에 비하여 경제적이며 효율적이다. 국내 다목적댐 저수지의 상당수가 수심 50m가 넘고, 또한 홍수기 전후에 유입된 토사의 영향으로 대부분의 저수지들이 많은 탁수와 전이질을 포함하고 있어 SHOALS 장비를 통해 수집한 자료의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 많은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

마지막으로 제안하자면, 하천과 연안 지역의 원격 지형탐측 수행 시 취득된 3차원 지형 탐측자료 외에 기존 2차원 자료의 특성, 3차원 변환, 자료 관리방안 등에 대한 데이터베이스화가 고려되어야 할 것이며, 신·구 자료의 일관성 있는 구축을 위해서는 각 자료의 호환성을 분석하여 자료를 효율적으로 통합할 수 있는 방안에 관한 보다 많은 연구가 필요하다. 또한, 연안 및 하저의 정확한 측심자료의 구축을 통하여 해안선 관리 및 수자원개발의 기초자료로 활용하고, 주기적인 측심자료의 구축을 통해 최신의 지형 자료를 유지·관리 할 수 있는 방안이 필요하다.

참고문헌

1. 강규동(2008), LiDAR 원시 자료에 대한 영상처리기법 적용 및 지면정보 추출기법 연구, 석사학위논문, 전북대학교
2. 강준묵(2006), 댐저수지 유역 및 하상퇴적물의 정밀 모니터링을 위한 GIS 시스템 개발 연구, 석사학위논문, 충남대학교
3. 강효섭(2005), 실시간 동적 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 저수지 지형분석, 석사학위논문, 경기대학교
4. 건설교통부(1999), 국가고도자료 구축 연구 보고서
5. 국토교통부(2013), 유역조사지침
6. 국토교통부(2016), 하천대장 작성지침
7. 국토교통부(2016), 하천법
8. 김대현(2015), 가로림만 입구부에서의 수리 및 표사이송 특성, 석사학위논문, 전북대학교
9. 김두용(2010), 산림정보 추출을 위한 항공 LiDAR 활용 연구, 석사학위논문, 전북대학교
10. 김상일(2006), LiDAR 데이터 및 수치지형도를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발, 석사학위논문, 경기대학교
11. 김종민, 김동수, 손근수, 김서준(2015), ADCP를 이용한 직선 하천의 유속 및 수심 측정 정확도 분석, 한국수자원학회논문집, 제 48권, 제 5호, pp.367-377
12. 류영일(2010), 국지적 경사도기반 LiDAR 자료의 지면정보 분류기법 연구, 석사학위논문, 전북대학교
13. 박요섭(2004), 다중빔음향소해탐사시스템 자료의 오차 분석 및 처리 기술 연구, 박사학위논문, 인하대학교
14. 박정기(2015), LiDAR와 GIS기반의 홍수피해액 평가기법 개발, 박사학위논문, 전북대학교
15. 송경동(2010), 수치지도 건물레이어 수정갱신을 위한 점군자료 활용 연구, 석사학위논문, 전북대학교
16. 유지호(2006), 항공레이저측량 데이터를 이용한 3차원 수치지도 제작, 석사학위논문, 상지대학교
17. 이규달(2010), 수치지도 수정 갱신을 위한 표고자료 취득기법의 정확도 평가, 석사학위논문, 전북대학교
18. 이근상(2003), 항공레이저 측량 자료의 해상도에 따른 DEM 오차 비교평가 연구, 한국지리정보학회지, 제 6권, 제 3호, pp.33-42.

19. 이근상, 최연웅(2010), LiDAR와 MBES를 이용한 댐 저수지 3차원 공간영상정보 구축, 한국공간정보학회지, 제 18권, 제 3호, pp.1-10.
20. 이성희(2006), GPS와 Echo Sounder를 이용한 하상의 3차원 지형 해석, 석사학위논문, 충남대학교
21. 이찬주, 김원, 김치영, 김동구(2005), ADCP를 이용한 유속과 유량 측정, 한국수자원학회논문집, 제 38권, 제 10호, pp.811-824
22. 임완호(2006), LiDAR 자료의 지면정보 추출기법의 정확도 평가, 석사학위논문, 전북대학교
23. 장영운(2011), 도심지역 3차원 표현을 위한 LiDAR 자료 압축 기법 연구, 박사학위논문, 전북대학교
24. 정현(2008), SHOALS 데이터를 이용한 해안선 추출에 관한 연구, 석사학위논문, 서울시립대학교
25. 최내인(2009), 하천지형 생성을 위한 GIS기반의 공간보간기법 연구, 박사학위논문, 전북대학교
26. 최연웅, 조기성(2005), 도시지역 LiDAR DSM으로부터 DEM추출기법 연구, 한국지형공간정보학회지, 제 13권, 제 1호, pp.19-25.
27. 한국수자원공사(1996), 안동댐 저수지 퇴사량 조사 보고서
28. Choi, B. G., Na, Y. W., Choo, K. H. and Lee, J. I., 2014, A study on the application of river surveying by airborne LiDAR, journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 22 NO. 2, pp.25-32.
29. Jang, H., 2010, 3D stereoscopic terrain extraction of road cut failure slope using unmanned helicopter photography system, Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy photogrammetry and Cartography, Vol. 28, NO. 5, pp. 485-491.
30. Jeong, C., 2014, Development of method for acquisition of 3-Dimensional river geographic information using R2V2 and UAV, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 14, NO. 3, pp.269-275.
31. Kang, C. (1996) An Application of Gis for River Survey and Maintenance Management. a Master's Degree, Yeungnam Uni-versity, Korea (in Korean).
32. Kang, G., Sung, C., and Cho, K. (2004) 3-Dimensions Positioning to Combined RTK-GPS and E/S Observation. Journal of the Korean Society of Cadastre, Korean Society of Cadastre, Vol. 20, No. 1, pp. 111-124 (in Korean).
33. Lee, D. (2006) Estuary Riverbed Monitoring Combined by GPS and Echo Sounder. Journal of the Korean Geophysical Society, Korean Geophysical

- Society, Vol. 9, NO. 2, pp. 105-112 (in Korean).
34. Park, H. C., 2011, A study of techniques for precise evaluation of river topography by using multidimensional spatial information, Master's Thesis, University of Kyungil, p.135.
 35. Pettigrew, N., J. Irish, and R. Beardsley. Field evaluations of a bottom-mounted acoustic Doppler profiler and conventional current meter moorings. Current Measurement, Proceedings of the 1986 IEEE Third Working Conference on. Vol. 3. IEEE, 1986.
 36. Rowe, F., and J. Young. An ocean current profiler using doppler sonar. OCEANS'79. IEEE, 1979.
 37. Seo, J., Seo, D., and Lee, J. (2002) Calculation of Reservoir Capacity by Combination of GPS and Echo Sounder. Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, KSGSIS, Vol. 10, NO. 1, pp. 27-35 (in Korean).
 38. Shim, J. M. and Lee, S. B., 2006, The study of flood simulations using LiDAR data, Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, Vol. 14, NO. 4, pp.53-60.
 39. Wehr, A., Lohr, U., 1999, Airborne laser scanning-an introduction and overview, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, pp.68-82.