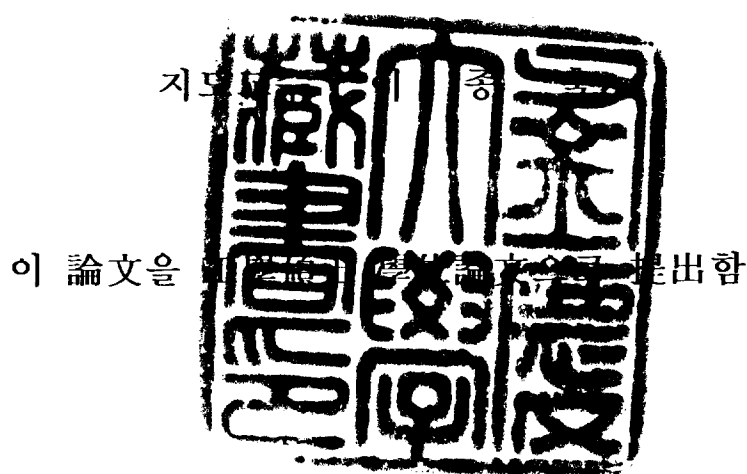


공 학 석 사 학 위 논 문

GPS/Echo Sounder 조합에 의한 저수지 지형 추출 기법



2002년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

김 중 성

김종성의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 15일

주	심	공 학 박 사	김 상 용
위	원	공 학 박 사	손 인 식
위	원	공 학 박 사	이 중 출



목 차

목차	i
표목차	iii
그림목차	iv
사진목차	v
 Abstract	 1
 1. 서론	 2
1.1 연구목적	2
1.2 연구범위	4
1.3 연구방법	5
1.4 연구연혁	6
 2. GPS 이론	 7
2.1 GPS 관측원리	7
2.2 정지관측법	10
2.3 급속정지관측법	11
2.4 동적관측법	11
2.4.1 의사 동적관측법	12
2.4.2 실시간 동적관측법	13
2.5 GPS의 오차	14
2.5.1 오차원인과 크기	14
2.5.2 구조적인 요인에 의한 거리오차	14

2.5.3 위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차	15
2.5.4 선택적 이용성에 의한 오차	16
3. Echo Sounder System	19
3.1 음향측심기의 원리	19
3.2 측심법의 종류	19
3.2.1 색 측심법	19
3.2.2 음향 측심법	19
3.2.3 온도 측심법	20
3.2.4 기계적 변형에 의한 방법	20
3.2.5 기타의 방법	20
3.3 음향 측심기의 보정	20
3.3.1 음속도보정	20
3.3.2 조석보정	28
3.3.3 홀수보정	28
4. 현장관측 및 분석	30
4.1 관측대상지역	30
4.2 관측장비제원	30
4.3 관측결과	33
5. 결론	51
참고문헌	52

표 목차

<표 2.1> SA의 유무시 정밀도	18
<표 4.1> 관측장비제원	31
<표 4.2> 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과	34
<표 4.3> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 결과	40
<표 4.4> 토탈스테이션에 의한 내용적표	48
<표 4.5> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 내용적표	48

그림 목차

<그림 2.1> GPS 관측방법 종류	10
<그림 2.2> 기하학적 오차	16
<그림 3.1> Bar 판	22
<그림 3.2> L형 앵글 반사기	22
<그림 3.3> Bar Check 기록지	25
<그림 3.4> 표준독취척과 「바-」심도와의 차	25
<그림 4.1> 토탈스테이션에 의한 등고선도	49
<그림 4.2> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 등고선도	49
<그림 4.3> 토탈스테이션에 의한 내용적 산출	50
<그림 4.4> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 내용적 산출	50

사진 목차

<사진 4.1> 사수위 직전의 ○○저수지 전경	31
<사진 4.2> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 관측모습	32

Method of Reservoir Terrain Extraction by Combination of GPS / Echo Sounder

Jong-Seong, Kim

Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University

Abstract

The dam made reservoir, a major means to overcome the problems caused by water resource's uneven supply by time and space, plays an important role, particularly, of water supply. The role of water supply will get more important, considering the usage of water resource becomes more intensive. Therefore, it is continuously required to construct new dams securing water supply and to study on effective operation plans of the dam. The size of reservoir needs to be measured according to possible supply estimation in the pre-design stage. The depth of water, at this point, should be taken. There are many ways of sounding though echo sounding has been frequently used recently.

This study, therefore, presents a new way of sounding that takes less time with stronger accuracy, uniting GPS and echo sounder to apply a means of obtaining three dimensional position data. This enables the designer escape from the conventional way of sounding when the content needs to be estimated for the reservoir capacity in the design of a new dam or enlargement of a dam.

This is expected to be used broadly for the sounding that requires the measurement of position and depth of water together.

1. 서론

1.1 연구목적

한국은 지리적으로 삼면이 바다로 둘러싸여 있고, 대양진출과 해저자원 개발 또는 용수공급을 위한 댐의 축조, 해저토목구조물 설치를 위해서 하천, 댐, 해양의 위치결정과 수심의 측정은 매우 중요하다. 수심측량은 하천이나 해양 또는 필요한 곳에 수심을 측량하는 것을 말하며, 원칙적으로 음향측심기를 사용한다. 계획된 측심선에 따라 위치측량과 수심측량을 동시에 실시한다. 수심측량에서 암초, 장애물 등의 확인이 중요하므로 철저한 확인작업은 물론 측심기록의 오독이 없도록 유의하여야 한다.

음향측심기에 의한 측심은 수면으로부터 초음파를 발사하여 바닥에서 반사되어 올 때까지의 시간을 측정하여 수심을 구하게 되는데 음파의 수중 전파속도는 수온, 염분도, 수압에 따라 변하게 되며 측심 자료에는 이들에 따라 보정해 주어야 한다.^{1)~4)} 또, 음향측심은 측심선상의 지형을 기록함으로써 바닥의 지형을 파악하게 되며, 또 등심선으로 표시할 수 있다. 그리고 교차되어 있는 측심선에 대해서는 그의 교점의 수심에 의해 관계 위치의 확인이나 수심의 검사를 할 수 있다.^{5)~7)}

댐에 의해 형성된 저수지는 수자원이 시간적, 공간적으로 편중되는 문제를 극복하기 위해 이용되는 대표적인 수단으로 특히, 용수공급이라는 역할에서 매우 중요하다. 앞으로 수자원이용 수준이 더욱 고도화 될 것으로 볼 때 이러한 댐의 용수공급에 대한 역할은 더욱 증가할 것으로 보인다. 따라서 수자원의 확보를 위한 새로운 댐의 건설이나 기존 댐의 효율적 운영방안에 대한 연구는 지속적으로 이루어 져야 하며⁸⁾, 저수지는 그 예비 설계단계에서 공급 가능한 수량을 평가하고 필요한 저수지의 규모를 결정할 필요가 있다.

따라서, 본 연구는 이러한 목적으로 신규 댐 건설 또는 기존 댐의 용량

증대를 위한 설계에서 이용될 수 있는 저수지용량 결정을 위한 내용적 측량의 기법을 기존의 측량기법에서 탈피하여 GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 적용함으로써 기존측량과 비교 검토하여 단시간에 측량자료를 취득할 수 있고, 정확도향상에 기여할 수 있는 방법을 제시 하고자 한다.

1.2 연구범위

본 연구는 김해시 대동면의 ○○저수지를 선정하여 저수지의 물을 완전히 배제시켰을 때 토탈스테이션에 의해 지형측량을 실시하여 측량자료를 획득하였으며, 저수지의 물이 만수위일 때 GPS와 Echo Sounder를 일체식으로 제작 및 조합시켜 수심측량을 실시하였다.

GPS의 3차원 좌표값중 2차원 평면좌표만 추출하였고, Echo Sounder의 수심값을 서로 조합하여 3차원 자료를 추출하여 내용적을 산출 및 토탈스테이션에 의한 내용적과 GPS와 Echo Sounder의 자료에 의한 내용적을 비교하여 정확도를 분석하여 본 연구의 측량방법에 대한 정확도를 입증하는 것을 범위로 한다.

1.3 연구방법

본 연구를 위한 현장관측은 2001. 6. 17 ~ 2001. 7. 3 사이에 경남 김해시 대동면 ○○저수지를 선정하여 댐의 수심이 사수위에 가까운 수위를 유지하고 있을 때 토탈스테이션에 의한 지형측량을 선행하고, 댐의 수위가 만수위일때 인공위성을 이용한 GPS 측량방법 중 RTK GPS 측량방법을 이용하여 Echo Sounder와의 조합에 의해 수심측량을 실시하였다.

관측된 자료로부터 GPS 취득자료와 Echo Sounder의 자료를 서로 조합하여 자료를 추출하여 내용적을 산출하고 토탈스테이션에 의한 내용적 측정 결과와 비교 및 분석하여 정확도를 산출하였다.

관측시스템은 댐의 상단부에 기지국을 설치하고, 이동국은 보트에 GPS 안테나와 Echo Sounder를 일체화 시켜 탑재하며, 저수지의 관측범위를 횡방향과 종방향으로 각각 이동하면서 측정하였다.

RTK GPS 측량방법의 데이터 취득은 각 측점에서 10초마다 1개의 데이터로 3차원 좌표를 취득하였고, 보트에 탑재된 Echo Sounder와 노트북을 연결시켜 일정한 간격으로 상하좌우로 2초마다 수심자료를 취득하였으며, RTK GPS 측량방법의 취득 좌표값과 Echo Sounder 수심 자료값을 시간대별로 서로 조합하여 3차원 자료를 취득하였다.

1.4 연구연혁

해저지형을 알기 위해서는 수심에 대한 측량이 필요하다. 예전에는 와이어 줄 끝에 납으로 추를 만들어 수심을 잴으나 지금은 배에서 소리를 내어 그 반사음이 되돌아온 시간과 수중음속에 의해서 깊이를 재는 음향측심원리를 이용한 방법이 널리 이루어지고 있다.

1996년 박요섭⁶⁾은 다중빔 음향측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑시스템 개발을 연구한 바 있고, M.R. Hinojosa⁴⁾는 Echo Sounder, Boundary-Layer Model 등에 의한 대기의 열 구조에 대해 연구한 바 있다.

1997년 서상일⁵⁾은 수심을 고려한 사이드 스캔 소나 자료의 보정 및 분할에 대해 연구한 바 있고, Meredith. M.P³⁾는 역 Echo Sounder 자료의 처리 및 적용에 대해서 연구한 바 있다.

1998년 박민규⁸⁾는 저수지 용량결정과 용수공급능력 평가를 위한 가뭄빈도공식의 적용에 대해 연구한 바 있고, Asade. A, Ueki. T²⁾는 다중빔 Echo Sounder를 이용한 합성 개구 분석에 대해 연구한 바 있다.

2000년 노대훈⁷⁾은 멀티빔 자료를 이용한 Web기반의 3차원 해저 지형가사화에 대해 연구한 바 있다.

본 연구에서는 저수지 용량 결정을 위한 내용적 측량의 기법을 기존의 측량기법에서 탈피하여 GPS와 Echo Sounder 조합에 의해 3차원적 위치 자료를 취득할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. GPS 이론

GPS가 어떤 원리로 작동되는가를 이해하는 것은 개념적으로 매우 단순하다. 근본적으로 GPS는 삼각측량의 원리를 사용하는데 전형적인 삼각측량에서는 알려지지 않은 지점의 위치가 그 점을 제외한 두 각의 크기와 그 사이 변의 길이를 측정함으로 결정되는데 반해 GPS에서는 알고 싶은 점을 사이에 두고 있는 두 변의 길이를 측정함으로 미지의 점의 위치를 결정한다는 것이 고전적인 삼각측량과의 차이점이라고 할 수 있다.

근본적으로 GPS는 미지의 위치에 가지고 있는 지상 측정점에서 위치한 수신기로부터 정확하게 알고 있는 궤도를 선회하는 GPS 위성까지의 거리를 측정함으로써 3차원 위치결정이 가능한 후방교회법의 원리이다.

2.1 GPS 관측원리

GPS 위성은 모두 24개의 위성(예비위성 6개 포함)으로 구성되는데 이 위성들은 고도 20,183km 상공에서 3.9km/sec의 속도로 회전한다. 그리고 각각의 위성은 두 개의 반송파를 통하여 독특한 전자 신호를 연속적으로 제공하고, 이 반송파는 PRN(Pseudo-random noise codes : 무작위추출 소음 부호)코드로 변조되어 있다. PRN 코드는 반송파 위에 포개어져 독특한 연속적인 이진값(0, 1)으로 구성되어 있다. 반송파와 PRN 코드의 주파수들은 기지값에서 매우 정확하게 제어된다.

관측거리는 전송된 위성신호 관측에 의한 GPS 측량에서의 의사거리에 의한 위치결정과 반송파 측정에 의한 위치결정에 의하여 이루어지고, 의사거리 위치결정은 정확한 시간측정에 의한 위성과 수신기 사이의 측정 거리이다. 그것은 위성에서 지상 수신기까지의 이동에 대한 전송된 신호를 획득하는 것이고, 시간은 위성 전송기에서 수신기 안테나까지 이동되는 신호를 획득하는 동안에 발생하는 PRN 코드에서의 변화를 측정하여 행하여

졌다. 그때 PRN 코드의 기지 주파수까지 매우 정확한 이동시간이 측정되고, 신호의 속도와 이동시간을 알고 있다면, 거리는 계산될 수 있으며, 거리에 근거한 지상 측점위치도 계산될 수가 있다. 의사거리가 PRN 코드 관측에 근거하기 때문에, 이 GPS 관측기법은 종종 코드 관측 과정으로 언급된다.

반송파 진행과정에서, 관측된 위상 변화량은 위성에서 수신기까지 이동되는 반송파의 결과로서 발생하는 위상 변화이다. 그 원리는 EDM위상 전환과 비슷하다. 그러나 중요한 차이는 위성이 이동한다는 것이다. 그래서 신호가 실제 위상전환측정으로 전달되어 전이되지 못한다는 것이다. 대신에, 위상전환은 수신기에서 측정되어진다. 그러나 실제 위상전환측정을 하기 위해서는 위성과 수신기에서의 시간이 완전하게 일치될 것이 요구되나, 이것은 어렵다. 그리고 이러한 시간문제를 해결하고 시스템에서의 다른 오차를 소거하기 위해서는 차분법(위상측정 사이의 차이를 획득)이 사용된다. 여러 차분 과정이 적용될 수도 있지만, 한 수신기로 동시에 두 위성을 측정하는 단차분은 수신기 시간 오차를 소거할 뿐만 아니라 두 개의 지상 수신기에서 동시에 한 위성까지 측정하는 단차분은 위성시간오차를 제거한다.

이중차분(두 수신기에서 두 위성까지 동시 측정의 결과로 추출되는)은 수신기와 위성 시간 오차 및 다른 시스템 오차를 소거하는 것이다. 반송파 측정에서의 다른 문제는 반송파의 마지막 주기의 위상전환으로 측정되고, 이동 거리에서는 전체 주기의 수가 미지값이라는 것이다. 다시, 위성이 이동하기 때문에, 이것은 GPS 작업에서 행해질 수는 없다. 그러나 삼중차분법이라 불리는 차분법을 적용하면 주기수를 제거하는 애매함이 해결된다. 삼중차분법은 이중차분법 결과의 차이로 구성되어 있으므로 두 위성에서 두 측점까지 또는 두 개의 다른 시간에서의 측정이 포함된다.

실제로, 측량이 반송파를 측정하여 행하여 졌을 때, 4개 또는 그 이상의 위성이 정상적으로 지상 측점에 위치한 2개 또는 그 이상의 수신기를

사용하여 연속적으로 측정된다. 또한 측정은 많은 시간에 반복되었고, 이것은 계산될 수 있는 많은 조합으로 잉여 측정의 매우 큰 수를 산출한다.

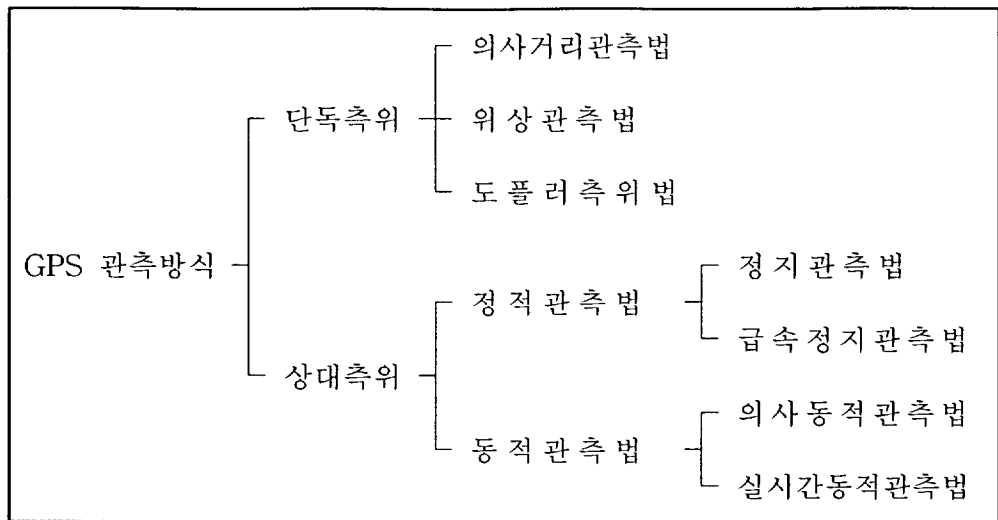
두 개의 GPS 측정 과정 중, 의사거리측정은 약간 낮은 등급의 정확도를 산출하지만, 그것은 만족스러운 정확도의 연속점의 위치를 나타내기 때문에 항법이용에 오히려 좋다. 반송파 기법은 더 높은 정확도를 산출하고, 고정밀도 측량 적용에 선택한다.

위에서 간단하게 설명된 반송파 측정에 사용된 차분법은 수신기에 사용된 점에 대해 정확하게 위치를 산출하지 못하고 반대로 기선(측점 사이의 벡터 거리)이 측정된다. 이들 기선은 실제로 그들의 좌표차인 요소 ΔX , ΔY , ΔZ 에 대해 계산되는데 이들 좌표차들은 기준 3D 직각 좌표계에서 측정되었다.

GPS에 의한 3차원 관측법은 <그림 2.1>과 같이 단독측위법과 상대측위법으로 구분할 수 있으며, 단독측위법은 위성으로부터 수신기까지의 거리를 결정하는 방법에 따라 의사거리관측법(Pseudo-range positioning), 위상관측법(Phase-range positioning), 도플러관측법(Dopler positioning) 등으로 구분하며 주로 실시간 관측에서 사용된다.

그리고 상대측위법은 크게 정적관측방법 및 동적관측방법으로 나누어지고, 정적관측방법에는 정지관측법(Static) 및 급속정지관측법(Rapid static)으로 되어있다. 또, 동적관측방법에는 의사동적관측법(Pseudo kinematic)과 실시간동적관측법(Realtime kinematic)으로 되어 있다. 이들 관측 방법은 반송파의 위상차 측정과 상대측위방법에 근거한 것이다. 이때, 수신기 사이의 거리는 기선이 되며 관측한 결과로는 3차원 직각 좌표의 좌표차인 ΔX , ΔY , ΔZ 가 계산된다⁹⁾.

본 연구에서는 댐체 상부에 기지국을 설치하고 이동국을 보트에 탑재하여 실시간 측량방법인 RTK GPS 방법에 의해 수행되었다.



<그림 2.1> GPS 관측방법 종류

2.2 정지관측법

정지관측 방법은 운반파의 위성을 이용하여 기선해석을 실시할때 시간 경과에 따라 변화하는 위성의 위치정보를 이용하여 불확실정수(Integer ambiguity)가 결정되며, 2개 또는 그 이상의 수신기가 사용되며, 1대의 수신기는 기지점에, 다른 수신기들은 미지점에 설치하여 측량을 시행한다.

양 측점에서 동시에 4대 이상의 위성신호를 1시간이상 수신해야 하는데, 기선길이가 클수록 관측시간을 증가시킨다. 관측중에 수신이 중단되어도 기선해석에서 사이클슬립(Cycle slip)을 소거할 수 있으며, 관측 후 자료처리는 수신기의 내장메모리에 저장된 자료를 컴퓨터에 옮겨서 후 처리과정을 거치게 된다. 이때 일반적으로 사용하는 궤도력은 방송궤도력이며 좀 더 높은 정확도를 요구할 때는 GPS 관련기관에서 제공하는 정밀궤도력을 사용해야 한다. 측점간의 기선벡터가 얻어지면 기지점의 좌표값에 더하여 미지점의 좌표를 산출한다. 정지관측방법의 상대정확도는 일반적으로 $\pm (5\text{mm}+1\text{ppm})$ 정도이며, 이 방법은 측지기준점측량과 같은 높은 정확도를 요하는 측량에 주로 사용된다.

2.3 급속정지관측법

이 방법은 정지관측방법과 거의 동일 하지만 1대의 수신기를 하나의 기준점에 계속 고정하고 다른 수신기는 미지점에 옮겨가면서 관측을 수행하는 방식이며, 관측시간은 정지측량에 비하여 매우 적게 요구된다.

측점간 일정한 위성의 추적을 하지 않아도 되고, 각 측점을 1회 측정하며, 짧은 기선에 효과적이며, 낮은 정도의 기준점 측량, 지도제작용, 경계측량 등에 적용이 가능하다. 급속정지관측방법의 정확도는 약 $\pm(10\text{mm}+1\text{ppm})$ 수준 이상이다

2.4 동적관측법

이 방법은 정적관측법에서와 같이 두 개 또는 그 이상의 수신기가 필요하며 사용하고자 하는 모든 수신기는 관측을 시작하기 전에 반드시 초기화를 하여야 한다. GPS 수신기의 초기화 과정은 각각 다른 방법으로 수행될 수 있다. 첫 번째 방법은 두 개의 기지점을 사용하는 방법이다. 이것은 두 개의 기지점에서 두 개의 수신기를 사용하여 동시에 짧은 관측시기(보통 2분-15분)동안 정적관측을 시행하는 것이다. 기선에 대한 좌표 차가 알려졌기 때문에 차동관측법에서는 미지의 불확정 정수치가 발생할 것이다. 이들 차동관측법에 의한 차동 계산은 두 개의 수신기에 의하여 관측된 자료를 사용하여 계산된다. 만일 하나의 수신기로부터 얻어진 자료만 사용할 수 있을 경우에는 정적관측법에 의하여 처리된다. 그런 다음 차동계산에 의하여 초기화 작업이 가능하다.

초기화 작업의 또 다른 방법은 안테나 교환법이라는 방법으로서 오직 하나의 기지점만 이용이 가능한 경우에 사용된다. 먼저 수신기 하나를 기지점에 설치하고 다른 하나는 기지점에 가까운 위치에 하나의 미지점을 정하고 그 위에 설치한다. 이때 미지점은 기지점으로부터 약 10m 정도 떨

어지면 적당하다.

두 개의 수신기로부터 수분 동안의 자료를 수신한 후, 수신기가 작동되는 상태에서 그들의 위치를 서로 바꾼다. 이때 수신기를 교환 설치하는 과정에서 주의해야 할 점은 어떤 연속적인 추적이 이루어지거나 최소한 4개의 위성신호를 연속적으로 받아야 한다. 그런 후 수분 동안의 추가 관측이 이루어진 다음에 수신기를 서로 교환하고 그들의 원래의 위치로 돌아간다.

초기화 작업이 완료되면 고정국이라고 불리는 수신기는 기지점에 계속 유지되고 반면에 이동국이라 불리는 다른 수신기는 한 점으로부터 다른 점으로, 또는 일정한 선을 따라서 이동한다. 이동국의 위성신호 취득간격은 1초 정도로 짧게 정한다. 중간점에 대한 정밀도는 cm 단위이다.

동적 관측법에서는 두 개의 수신기는 전 관측시기 동안 최소한 4개의 위성에서 신호수신 상태를 반드시 유지하여야 한다. 만약 신호수신 상태가 해제되면 초기화 작업을 다시 거쳐야 한다. 따라서 안테나의 위치가 건물, 나무, 교량 등에 의하여 방해가 되지 않도록 주의하여야 한다. 관측 작업이 완료되면 이동국은 맨 처음의 기지점 또는 다른 기지점에 설치하여 그 결과를 검사하여야 한다. 동적관측법은 지형측량, 해양측량, 현장공사측량 등에 사용된다.

2.4.1. 의사 동적관측법

이 방법은 다른 방법에서와 같이 두 개의 수신기를 사용하고, 다른 방법에서 문제점이 되었던 수신기의 신호수신 상태를 계속하여 유지할 필요가 있다. 이 방법은 상대적으로 짧은 두 번의 관측시기(약 5분 정도)를 약 1시간 간격으로 각 측점에서 실시하고, 관측 결과의 처리과정은 정적관측법에서와 같으며 정밀도도 이 방법과 비슷하다.

2.4.2. 실시간 동적관측법

앞에서 설명한 관측법에서는 관측된 자료는 관측이 완료될 때까지 수신기의 내장된 기억 장치에 일시적으로 저장되고 후속 계산 처리과정을 거쳐 기준점의 좌표가 구해진다. 그러나 실시간 동적관측법은 그 이름이 암시하는 것과 같이 이동국이 다른 측점으로 이동하여 관측하는 실시간 동안에 순간적으로 측점의 위치가 결정된다. 다른 동적관측법에서와 같이 실시간 동적관측에서도 두 개 또는 그 이상의 수신기가 필요하다. 하나의 수신기가 기지점에 설치되고 관측된 GPS 기초 자료를 이동국에 송신한다. 이동국에서는 두 개의 수신기로부터 얻은 GPS 관측자료를 각 수신기에 장치된 자체 컴퓨터에 의하여 실시간 동안에 처리되어 그들의 위치가 즉시 계산된다.

이 방법에서 얻을 수 있는 정밀도는 일반적인 동적관측법에 의한 결과와 같다. 이 방법은 관측하고 싶은 순간에 그 측점의 위치를 높은 정밀도로 알 수 있기 때문에 현장 말뚝박기, 지형 측량에서의 위치결정 등에 많이 이용된다.

2.5 GPS의 오차

2.5.1 오차원인과 크기

GPS 위치측정의 정확도를 떨어뜨리는 요소들은 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 구조적 요인으로 생기는 오차로는 인공위성에 의한 시계 오차, 인공위성위치로 인한 궤도오차, 대기권의 전파지연원인인 전리층과 대류층의 굴절, 수신기에서 발생하는 잡음(Noise), 다중 경로(Multipath)등이 있다. 두 번째로는 위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차가 있으며 마지막으로 가장 큰 오차 원인인 선택적 이용성에 의한 오차인 SA가 있다.

2.5.2 구조적인 요인에 의한 거리오차

구조적인 요인에 의한 거리오차는 위성과 수신기간의 측정된 거리의 오차를 의미하고 다음과 같이 크게 네 가지로 구분하며, 정도는 약 5~10m이다. 첫 번째로는 인공위성에 의한 시계오차이다. 이는 위성에 탑재된 원자시계의 오차로부터 발생하는 오차이나, 다행히 위성시계의 오차는 어느 정도 예측이 가능하므로 주 관제국에서 이를 조정함으로서 최소화시키고 있다. 두 번째로는 인공위성의 위치로 인한 위성궤도오차로써, 위성의 궤도는 모니터국이 취득한 데이터를 바탕으로 예측하여 그 매개변수값들을 위성이 코드정보와 함께 방송하도록 관제하고 있다. 그러나 예측된 궤도와 실궤도 사이에는 차이가 생기므로 이에 따른 거리오차가 발생하는 것이다. 세 번째로는 대기권의 전파지연원인인 전리층과 대류층의 굴절오차로써, 위성이 고도가 20,183km 상공에서 회전하므로 신호가 위성을 통과하여 수신기까지 오는 동안에 대기권을 이루는 전리층과 대류권을 통과하게 되는데 이때에 생기는 전파지연 때문에 오차가 생긴다. 특히 전리층에서의 전파지연은 전리층의 전자활동이 활발한 정오경에는 매우 커지고, 활동이 미약한 자정 무렵에는 작아지며, 그 차가 일별, 계절별로 상당한 격차를 보인다. 따라서 주 관제소에서는 상기 지연량들을 예측하여 코드정

보와 함께 반송함으로써 수신기는 측위계산시 이를 보정하여 위치오차를 줄이고 있다. 끝으로 수신기에서 발생하는 오차가 있는데 이는 수신기에서 발생하는 전자파적 잡음이나, 위상지연 편차, 발진기의 불안정, 수신기 위상의 중심 편차, 전파의 다중경로 등으로 인한 거리오차가 발생한다.

이와 같이 구조적인 요인에 의한 거리오차는 위성의 배치상황에 따른 기하학적인 요인과 어울려 최종적으로 위치의 오차로 나타나게 된다.

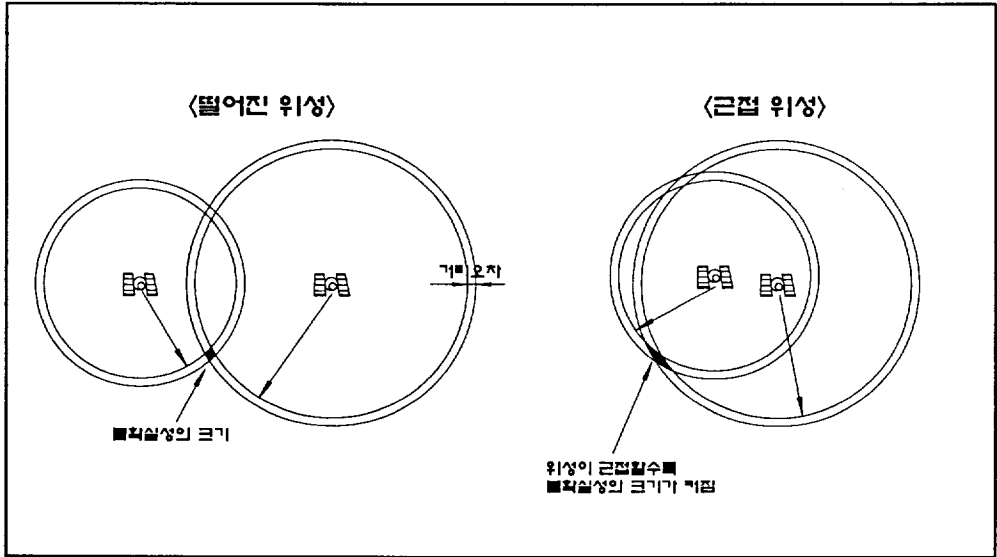
2.5.3 위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차

측위시 이용되는 위성들의 배치상황에 따라 오차가 증가하게 되는데, 이는 육상에서 독도법으로 위치를 구할때와 마찬가지로 적당한 간격의 기준점을 선택하여 독도법을 실시하면 오차삼각형이 적어져서 위치가 정확해지고, 몰려있는 기준점을 이용하는 경우 오차삼각형이 커져서 위치가 부정확해지는 것과 마찬가지로 수신기 주위로 위성이 적당히 고르게 배치되어 있는 경우에 위치의 오차가 작아진다. 보이는 위성의 배치의 고른 정도를 DOP(Dilution of Precision)이라고 한다. DOP의 값은 2보다 적은 경우는 매우 좋은 경우이고 2~3 값을 가지면 양호하고, 4~5 값을 가지면 보통이며, 6 이상이 되는 경우의 자료는 효용가치가 없다. DOP의 종류에는 GDOP, HDOP, VDOP, PDOP, RDOP, TDOP가 있지만 그 중에서 가장 많이 사용되는 것은 PDOP(Positional DOP)이다. 이 PDOP는 DOP값들 중에서 3차원 위치로 표시되는데 관측위성들이 이루는 체적에 반비례하며 이 값이 작을수록 정확하므로 다음 식 (2.1)과 같은 관계가 성립한다.

$$PDOP = \frac{1}{V} \quad \dots \dots \dots \text{식 (2.1)}$$

따라서, 최적의 위성배치는 그 체적이 최대일 때이므로 한 위성은 관측자의 머리 위에 다른 세 위성이 각각 120° 가 될 때이다.

<그림 2.2>에서는 GPS 수신기가 관측된 자료를 이용하여 식 (2.1)과 같이 PDOP를 계산하고, 이를 거리오차에 곱하면 측위오차가 된다.



<그림 2.2> 기하학적 오차

$$\text{구조적 요인에 의한 거리오차} \times \text{PDOP} = \text{측위오차} \quad \dots \text{식 (2.2)}$$

따라서 대부분의 수신기는 PDOP가 작은 위성의 조합을 선택하여 측위 계산을 하고 이를 표시하도록 설계되어 있다. 최근 수신기의 성능이 좋아서 PDOP가 3인 경우 위치오차는 대략 15m CEP(Circular Error Probability), 즉, 50% 오차확률의 범위에서 평면으로 약 15m 정도이다.

2.5.4 선택적 이용성에 의한 오차

SA(Selective Availability)는 오차요소 중 가장 큰 오차의 원인이다. 일반적으로 허가되지 않은 사용자들이 일정 한도내로 정확성을 얻지 못하도록 고의적으로 인공위성의 시간에다 오차를 집어넣어서 95% 확률로 최대 100m까지 오차가 나도록 하였다. 이는 항법에 이용하는 한 큰 문제는 없

으나, GIS 자료의 취득이나 측량에서와 같이 수 cm에서 수 mm의 정밀도로 위치를 구해야 하는 경우에는 단독측위가 아닌 상대측위를 실시해야 한다.

그리고, 이 오차는 미국이 백악관 대변인을 통해 2000년 5월 1일 자정(이하 미국 동부시각)부터 위성항법시스템인 GPS에 대해 일명 SA라고 불리는 의도적 정밀도 저하조치를 해제한다고 밝혔다. 군사적 목적으로 GPS를 개발한 미국은 안보차원에서 적대국의 GPS 오용을 막기 위해 민간용 코드에 인위적으로 오차를 첨가하는 방식으로 1990년 3월 25일부터 SA를 실시하여 왔으며, 이로 인해 GPS의 민간 및 상업용 이용에 많은 제약이 뒤따랐다. SA 실시에 의해 GPS의 표준위치결정 정밀도는 25m에서 100m로 저하되어 왔다. 그 동안 민간사용자들은 SA를 극복하기 위해 DGPS라는 기술을 사용하여 왔다.

그러나, 1990년대 중반부터 전세계적으로 폭발적인 증가를 보인 GPS의 민간수요에 의해 SA 해제에 대한 필요성이 꾸준히 제기되어 왔다. 1996년 3월 백악관에서는 이와 같은 민간의 요구를 반영하여 향후 10년 내에 SA를 해제하겠다는 의지를 표명한 바 있고, 작년에는 GPS의 민간 수요를 확대하는 차원에서 GPS에 새로운 민간용 신호 2개를 추가하겠다고 엘 고어 부통령이 밝힌바 있다. 이번의 SA 해제 조치는 GPS의 전세계적 민간 수요의 확대를 통해 자국의 GPS 산업을 증대시키고자 하는 미국의 정책과, 유럽을 중심으로 계획되고 있는 새로운 위성항법시스템인 갈릴레오 프로젝트를 희석시키고자 하는 의도 및 SA를 해제하더라도 미국의 안보에 큰 영향을 미치지 않으리라는 판단하에 이루어진 것으로 보인다.

이번의 SA가 해제 조치로 인해 언제 어디서나 10~30m의 정밀도로 위치를 파악할 수 있게 됨에 따라 항공, 교통, 물류, 선박, 철도, 전자통신, 응급차량, 광산 등을 포함한 다양한 분야에 걸친 GPS 민간 이용자가 혜택을 받을 것으로 백악관은 예측하였다.

그러나 이번에 SA가 해제되더라도 수 미터의 고정밀도를 요하는 자동

차 항법 및 GIS(Geographic Informatic System)분야에는 기존의 DGPS 기술이 여전히 필요할 것으로 보인다. <표 2.1>은 SA 유무시의 정밀도의 비교를 나타낸 것이다.

<표 2.1> SA의 유무시 정밀도

정 밀 도	SA(유)	SA(무)
수평방향 위치오차	100m(95%), 300(99.99%)	20m(95%)
수직방향 위치오차	150m(95%)	30m(95%)
시 간 오 차	340nsec(95%)	40nsec
속 도 오 차	0.3m/sec	-

3. Echo Sounder System

3.1 음향측심기의 원리

수면으로부터 해저까지의 연직성에 따라 측정한 거리, 즉 수심을 측정하는 작업을 측심(sounding)이라 한다. 측심의 방법에는 색측심법, 음향측심법 및 수압측심법 등이 있으며, 연속된 초음파를 수면아래로 발사하면 해저에서 반사된 초음파는 다시 같은 경로를 통하여 발사점에 되돌아 온다. 즉, $D = 1/2 t V$ 일반적으로 음향측심기는 가정 음속 $V = 1500\text{m/sec}$ 를 기준으로 하여 설계되며 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 변하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측당시의 실제 음속을 구하여 음속 보정을 해주어야 한다. 이 밖에도 수심의 기준면과 관측시 수위 차이를 고려하는 조석보정, 관측시 수위 차이를 고려하는 홀수 보정 등이 필요하다.

3.2 측심법의 종류

해면으로부터 해저까지의 연직성에 따라 측정한 거리, 즉 수심을 측정하는 작업을 측심(sounding)이라 한다. 측심의 방법에는 색측심법, 음향측심법 및 수압측심법 등이 있다.

3.2.1 색측심법

색측심법(Line sounding method)은 보통 윈치의 와이어에 의해 관측층까지의 깊이를 직접측정하는 방법이다. 와이어를 지심활차에 걸쳐 내리면 그 회전수로부터 심도를 읽을 수 있다.

3.2.2 음향 측심법

음향측심법(Echo sounding)은 음향측심기에 의해 음파의 해중 전파속도로부터 수심을 측정하는 방법이다.

본 연구는 음향측심법의 원리를 이용하여 Echo Sounder에 의해 수심 자료를 취득하였다.

3.2.3 온도측심법

온도측심법(Temperature sounding)은 과압 및 방압전도 온도계를 사용하여 양온도계의 온도차로부터 수압을 얻어 수심으로 환산하는 방법이다.

3.2.4 기계적 변형에 의한 방법

수압에 의해 스프링 베로즈의 수축이나 브로돈관이 변형하는 것을 이용하여 심도를 얻는 방법으로 BT나 STD에 사용되고 있다.

3.2.5 기타의 방법

사전에 낙하시간을 알고 있는 프로브의 낙하시간으로부터 비례적으로 얻는 방법으로 XBT에 응용되며 진동수 또는 저항의 변화로부터 수압을 얻어 심도를 결정한다.

3.3 음향 측심기의 보정

연속된 초음파를 수면아래로 발사하면 해저에서 반사된 초음파는 다시 같은 경로를 통하여 발사점에 되돌아 온다. 즉, $D=1/2 t V$ 일반적으로 음향측심기는 가정 음속 $V=1500\text{m/sec}$ 를 기준으로 하여 설계되며 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 변하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측당시의 실제 음속을 구하여 음속도 보정을 해주어야 한다. 이 밖에도 수심의 기준면과 관측시 해수위 차이를 고려하는 조석보정, 관측시 해수위 차이를 고려하는 홀수 보정 등이 필요하다.

3.3.1 음속도 보정

음속측심의 기준이 되는 수중의 음속도는 온도, 염분, 수압등에 변화한

다. 이 때문에 일반적으로 가정음속도 1,500m/sec를 채용하고 있는 음향측심기에서 취득한 수심치는 측정시의 측정치의 실효음속도의 차에 의해 생기는 오차가 포함되어 있으며, 이 오차를 보정하지 않으면 안된다.

실제로 채용되고 있는 음속보정의 방법은 Bar-Check에 의한 방법, 해수의 염분, 온도를 측정하여 계산으로 보정치를 구하는 방법 및 속도계로 직접 음속도를 구하는 방법 등이 있다.

가) 「바-체크」 Bar-Check법에 의한 보정

항만 및 연안측량 등 천해의 측량에서 음속도 보정의 방법으로는 「바-체크」에 의한 방법이 가장 적당하며, 또한 필요한 기구도 간단하고 제작이 매우 쉽다.

이 방법은 수심 30~50m 미만 측심시에 채용된다. 그보다 깊은 수심에서는 「바-체크」의 실시가 어려울 뿐만 아니라 취득한 수심 정도도 좋지 않기 때문이다.

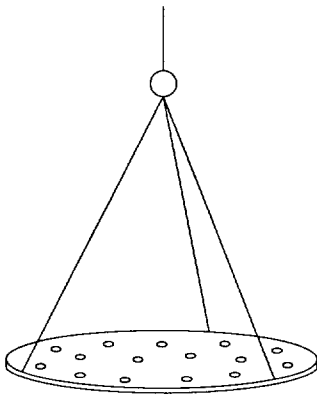
「바-체크」에 필요한 기구는 반사판과 그것을 매달아 내리는 「와이어」 및 「와이어」의 권양기로서 되어 있다. 소형 측량정에서 사용되는 반사기는 두께 0.5~1cm, 지름 50~70cm의 원형철판이면 좋다. 이 원판에는 원판을 올리고 내릴 때 물의 저항을 덜어주기 위해서 지름 약 2cm의 작은 구멍을 여러개 내는 것이 좋다. 반사판의 면적은 음향측심기가 사용하고 있는 초음파의 파장이 클수록 커진다.

<그림 3.1>은 원판이 원주상의 3점에 원판면이 수평이 되도록 3본의 지지 「와이어」를 달아 맨 것이다. 일반적으로 「와이어」는 지름 1.2~2mm의 강선을 많이 쓰고 있으나, 하중 및 수분에 대하여 신축이 적은 화학섬유의 「로우프」도 사용이 가능하다. 권양기에 감아서 매달아 내리는 「와이어」는 다음의 요령으로 눈금을 붙인다. 「와이어」를 매달아 내릴 때와 같은 장력을 가하고 반사판을 0으로 하여 30m까지는 2m마다, 그 이상은 4m마다에 「마크」를 붙인다. 이 「마크」가 지워져 없어지는 것을 막기 위

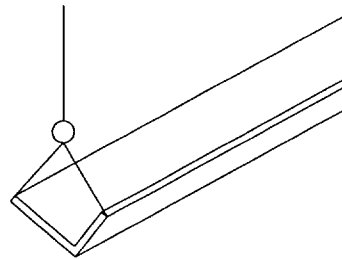
해서 「와이어」의 꼬임속에 노끈 등을 끼워서 감아두면 된다.

송수파기가 선저에 장비되어 있는 중형급 이상의 측량선에서는 상기의 방법은 적절하지 못하다. 현측에서 매달아 내린 반사판의 위치가 송수파기의 수직하방이 아니기 때문이다. 이와 같은 경우에는 다음과 같은 기구를 쓰게 된다.

송수파기가 장비 되어 있는 곳과의 측량선의 선폭과 길이가 같거나 또는 조금 짧은 L형 「앵글」을 반사기로서 준비한다. <그림 3.2>와 같이 이 L형 「앵글」의 양안을 「와이어」로 매달아 내리게 하고 「와이어」에 눈금을 붙인다. 그러나 「앵글바-」의 길이가 매달아 내리는 장소에서 선폭보다 짧을 때에는 「와이어」는 수직이 되지 않기 때문에 「와이어」에 붙이는 눈금의 간격은 그의 경사분 만큼 보정하지 않으면 안된다.



<그림 3.1> Bar판



<그림 3.2> L형 앵글 반사기

「바-체크」는 다음의 순서로 실시한다.

- ① 「바-체크」를 실시하기에 앞서, 음향측심기에 전원을 넣고, 각부의 상태가 정상인가를 확인한다.
- ② 실시심도와 같은 수심의 평균해저의 측심을 할 때의 감도와 동일하거나 그 이하로 조절한다.

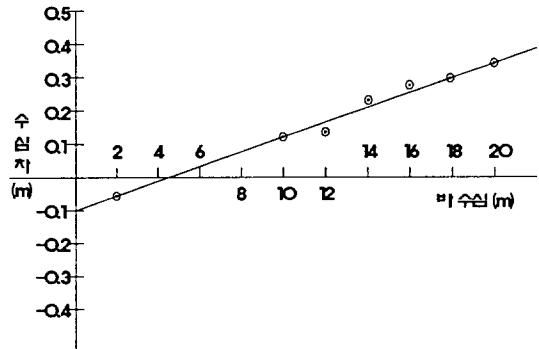
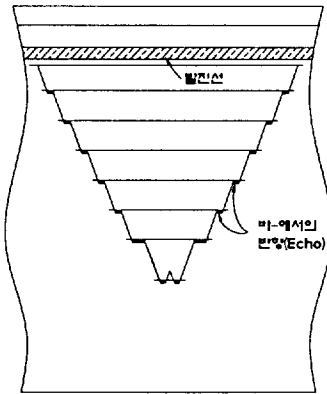
- ③ 송수파기의 흘수량을 확인하여 음향측심기의 흘수보정을 한다.
- ④ 「바-체크」는 측심당일의 작업개시전과 작업완료시에 하는 것이 원칙이다. 작업 중에 측심기를 수리할 경우에는 다시 「바-체크」를 하지 않으면 안된다.
- ⑤ 「바-체크」를 실시하는 장소는 해류나 조류가 강하지 않는 곳이 바람직하다. 흐름이 가하면 「바-」가 측심기의 송수파기의 수직하방에 오지 않기 때문에 측정 오차가 증대하며, 또한 측정이 불가능하게 될 때도 있다.
- ⑥ 「바-」의 심도는 30m까지는 2m마다 30m보다 깊은 곳은 5m마다 그 날의 최대의 예정심도까지를 상하로 왕복하여 「바-」를 방향을 기록한다.
- ⑦ 「바-」의 심도의 기준은 송수파기의 하면을 0으로 한다. 「바-」는 송수파기가 있는 곳에서 수직방향으로 매달아 내리게 된다. 그리고 「바-」의 심도의 0을 수면으로 취할 경우에는, 직접 수면에 맞추지 말고, 송수파기의 하면부터 흘수량 만큼 상방의 송수파기의 지지파이프나 또는 선체에 표지를 하여 이를 0으로 이용하는 것이 좋다.
- ⑧ 기록심도 범위의 「레인지」 전환을 하는 측심기를 사용할 경우에는 사용하는 변환 범위의 모든 것에 대해서 「바-체크」를 하고, 절환 오차(기계오차 및 실제음속도 편차를 포함)를 구하지 않으면 안된다.

기록된 수심은 음속도, 기차, 흘수량 및 조고에 관한 보정을 함으로써 실수심이 된다. 이들의 제보정의 방법을 대별하면 다음 두 가지 방법이 있다. 그 하나는 제보정을 모두 기록지상에서 하여 직접 실수심을 읽는 방법이며, 다른 하나는 흘수량 보정만을 기록지상에서 하고 다른 보정을 하지 않고 수심을 측심부상에서 계산보정하여 실수심을 구하는 방법이다. 여기에서는 처리능률이 좋고 보정과정에서 오차가 적은 기록지상에서의 제보

정 방법에 대하여 설명한다.

- ① <그림 3.3>은 「바-」 심도를 14m까지 2m간격으로 레이저절환 1을 사용하여 「바-」의 왕복에 대하여 기록한 경우이다. 가정음속도 1,500m/s에 상당하는 표준독취척과 그 이외에도 크기가 $\pm 0.5\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$ 등의 여러 가지 독취척(Percent Scale)을 준비하여 둔다. 「바-체크」의 각 심도의 왕복의 기록을 평균하기 위해서 가는 선으로 연결한다. 이 가는선과 독취척의 해당하는 수심눈금이 각각 $\pm 0.05\text{m}$ 이내로 합치되는 독취척을 선정한다.
- ② 「바-체크」의 상하의 왕복기록이 기록지상에서 떨어져 있을 경우, 또는 직접 독취척의 선정을 할 수 없을 경우에는 각 「바-」 심도의 표준독취척을 읽어 얻은 값과 실제의 「바-」심도와 차를 <그림 3.4>에 표시한 것과 같이 방안지상에 전개하여 이들의 점을 평균선으로 통하는 직선을 그린다. 이 직선의 경사도에서 적당한 독취척을, 수심령의 편위량에서 실효발진선의 편위치를 결정한다.
- ③ 상술한 방법으로 구한 실효발진선의 위치를 기준으로 하여, 홀수개정 및 조고보정을 기록지상에서 하고, 이것을 실수심 기준선으로 한다.
- ④ 실수심 기준선에 선정한 독취척의 0m선을 맞추어 실수심을 읽는다. 수심 30.9m이하 수심은 0.1m까지, 31m이상 수심은 1m미만은 절사하고 m단위만 읽는다.
- ⑤ 기록심도범위의 레인지전환으로 「바-체크」한 기록에 대하여서는 전술한 방법과 마찬가지로 각각의 실효발진선을 구하여 수심보정을 한다.
- ⑥ 기록된 전수심의 범위에 대하여 단일의 독취척으로 적당하지 않을 경우에는 기록범위를 구분하여 각각의 구분에 적당한 독취척을 선정하여 사용한다.

- ⑦ 이상의 기록처리의 전공정을 2회에 걸쳐 되풀이 「체크」하고 처리상의 잘못이 발견될 때에는 정정하지 않으면 안된다.



<그림 3.3> Bar Check 기록지 <그림 3.4> 표준독취척과 「바-」심도와의 차

나) 데이터에 의한 보정

음속도와 염분, 온도 및 수압의 관계를 실험적으로 관측하여 구한 실험식에는 Willson의 실험식¹⁰⁾과 Matthews¹¹⁾, 또는 상원(桑園)의 식¹²⁾, 우리나라 해양연구소 KORDI식이 있다.

$$V = 1449.14 + V_p + V_s + V_t + V_{stp} \text{ (m/sec)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{식 (3.1)}$$

여기서, V_p , V_s , V_t , V_{stp} 는 각각 압력, 염분, 온도를 고려할 때의 해수 음속을 말한다.

$$V = V_{35.0,p} + C_s + C_t + C_{stp} + C_G \text{ (m/sec)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{식 (3.2)}$$

여기서, $V_{35.0,p}$ 는 염분 35‰, 0℃, 수압P인 때 기본 음속표에서 $V_{35.0,p}$ 와

C_s, C_t, C_{stp} 는 각각 구할 수 있다.

$$V = 1410 + 4.21\theta - 0.037 \theta^2 + 1.14S + 0.0168h \quad \dots \dots \dots \text{식 (3.3)}$$

여기서 V 는 수중 전파속도(m/sec), θ 는 해수온도($^{\circ}\text{C}$), S 는 해수의 염분도(‰), h 는 수심이다.

측심오차를 알기 위해서는 1~2회 정도의 Bar Check가 필요하며 Bar check는 정조시(靜潮時) 파랑이 없는 때에 수심이 가장 깊은 위치에서 행하는 것이 좋다¹³⁾.

식 (3.1), (3.2), (3.3)에서 평균음속도를 V_m 이라 하고 실제수심을 D 라 하면,

$$D = \frac{1}{2} V_m T \quad \dots \dots \dots \text{식 (3.4)}$$

여기서, T 는 음파의 전변 소요 시간이며 임의의 수심에서의 음속도를 V 를 가정하면,

$$D = \frac{1}{2} \int_0^T V dt \quad \dots \dots \dots \text{식 (3.5)}$$

식 (3.4), 식 (3.5)에서

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T V dt \quad \dots \dots \dots \text{식 (3.6)}$$

혹은,

$$V_m = \frac{1}{T} \sum V_e dt \dots\dots\dots \text{식 (3.7)}$$

여기서, V_e 는 일정 두께층의 음속도
 혹은,

$$d_t = \frac{dD}{V_e},$$

$$T = \sum d_t = \sum \frac{dD}{V_e} \text{ 이라면}$$

$$V_m = \frac{1}{\sum \frac{dD}{V_e}} \sum V_e \frac{dD}{V_e} = \frac{D}{\sum \frac{dD}{V_e}}$$

위 식에서

- | | |
|------------------|-------------------------|
| D_0 : 실측된 수심 | dD : 각 층의 두께 |
| V_m : 평균 음속도 | T : 음파의 전변소요시간 |
| D : 실제수심 | V_a : 가정음속(1500m/sec) |
| V_e : 각 층의 음속도 | $Corr_0$: 수심 개정치 |

일때의 수심 개정치를 구한다.

$$D_0 = \frac{1}{2} V_a T$$

$$D = \frac{1}{2} V_m T$$

$$V_e = \frac{D}{\sum \frac{dD}{V_e}}$$

이므로,

$$\text{Corr}_0 = D - D_0 = \frac{1}{2} (V_m - V_a) T$$

$$= D \left(1 - \frac{V_a}{V_e} \right)$$

$$= D - V_a \sum \frac{dD}{V_e} \quad (\because D = \sum dD \text{ 이므로})$$

$$= \sum \left\{ dD \left(\frac{V_e - V_a}{V_e} \right) \right\}$$

$$\therefore \text{Corr}_0 = \sum \left\{ dD \left(\frac{V_e - V_a}{V_e} \right) \right\} \dots \dots \dots \text{식 (3.8)}$$

3.3.2 조석보정

연안 측심의 경우에는 음향 측심에서 얻어진 수심치에서 그 측심시의 조고(검조기의 조고-기본수준면의 높이)를 감하여 기본수준면하의 수심치로 통일하게 된다. 그러나 수심이 100~200m를 초과하는 경우에는 음향 측심기의 정밀도가 약 1% 정도이므로 조석 보정치가 수심의 1% 이내의 경우에는 보정할 필요가 없다¹⁴⁾.

$$\therefore \text{조석 보정량} = (\text{검조기의 조고} - \text{기본수준면의 높이})$$

3.3.3 홀수(吃水)보정

송수파기의 수면으로부터 일정한 깊이(吃水 Draft)에 잠겨 있으므로 음향 측심기록에 이 홀수량(吃水量)을 더해 주어야 한다.

천해용 측심기에서는 홀수량은 일반적으로 0.6~0.8m 정도이다.

흘수량은 일반적으로 음향 표적법을 통하여 구한다. 측량선은 수평으로 유지하며 송수파기 아래로 1m 단위로 2m이상(보통4m)의 위치에 음향 표적을 놓고 그 기록지를 대조하여 흘수량을 구한다. 음향표적의 깊이를 4m로 하고 기록한 유효 발신선 위치로부터 표적의 깊이가 3.2m로 나타났다면, 흘수량 = $4.0 - 3.2 = 0.8\text{m}$ 가 되며 이 값을 음향 표적 기록의 여백에 기입해 두고 실수심 읽기 기준선의 자료로 삼는다.

본 연구에서는 실측한 흘수심 0.15m를 고려하여 수심보정을 하였다.

4. 현장관측 및 분석

4.1 관측대상지역

본 연구를 위한 현장관측은 1982년 준공된 총저수량 20.65ha·m, 댐의 높이 11m, 댐의 연장 162m, 만수면적 3.80ha를 총저수량 57.50ha·m, 댐의 높이 34.3m, 댐의 연장 190m, 만수면적 6.61ha로 보강개발사업이 진행 중인 경남 김해시 대동면 예안리의 ○○저수지를 선정하여 2001. 6. 17 ~ 2001. 7. 3 사이에 댐의 수심이 사수위에 가까운 수위를 유지하고 있을 때 토탈스테이션에 의한 지형측량을 선행하여 시행하고, 댐의 수위가 만수위 일때 GPS 측량방법 중 RTK GPS 측량방법을 이용하여 Echo sounder 조합에 의해 수심측량을 실시하였으며, 관측된 자료로부터 GPS 취득자료와 Echo sounder의 자료를 서로 합성하여 자료를 추출하고 내용적을 산출하여 토탈스테이션에 의한 내용적 측량 결과와 비교·분석하여 정확도를 산출하였다.

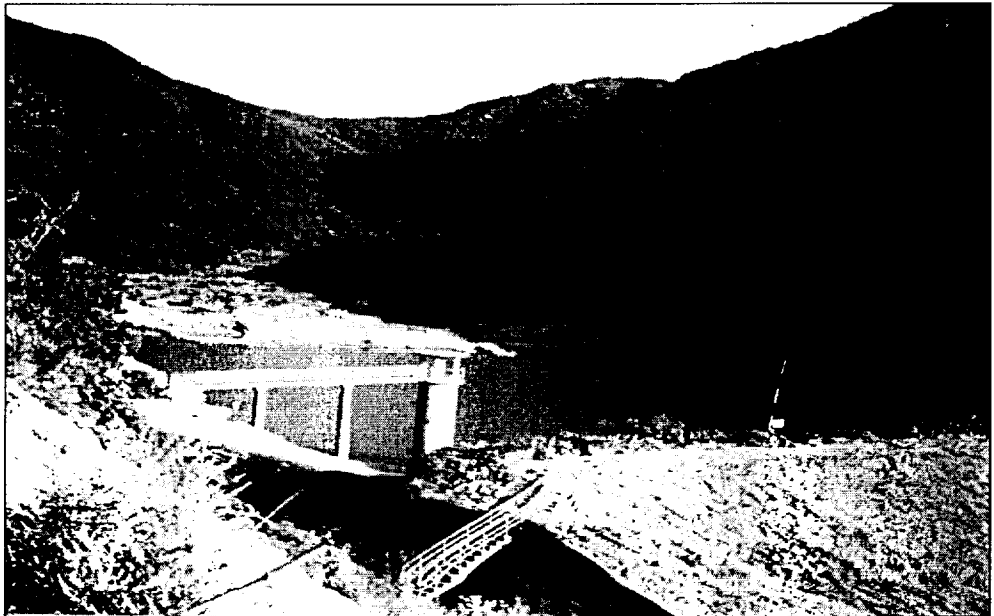
4.2 관측장비제원

관측장비는 토탈스테이션, GPS, Echo sounder를 사용하였으며, 관측장비 제원은 <표 4.1>과 같고, 관측시스템은 댐의 상단부에 기지국을 설치하고, 이동국은 보트에 탑재하여 이동하면서 각 측점에서의 10초마다 3차원 좌표를 취득하였고, 보트에 탑재된 Echo sounder와 노트북을 연결시켜 일정한 간격으로 상하좌우로 2초마다 수심자료를 취득하였다.

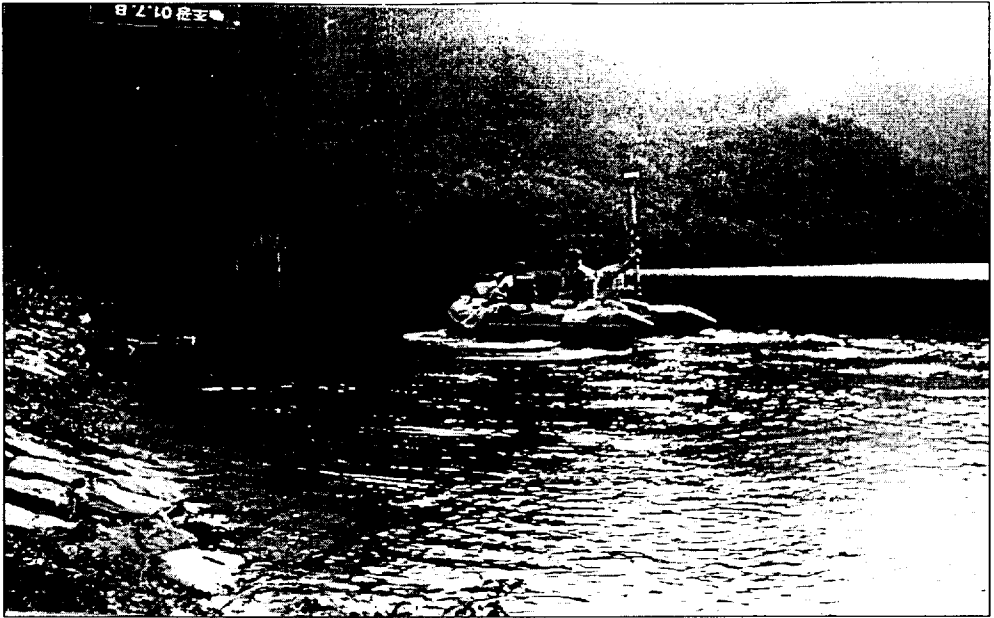
사수위 직전의 ○○저수지의 전경은 <사진 4.1>과 같고, GPS/Echo Sounder의 조합에 의한 관측모습은 <사진 4.2>와 같다.

<표 4.1> 관측장비제원

구 분	토탈 스테이션	GPS	Echo sounder
제품명	TOPCON	TRIMBLE	LOWRANCE
모델명	GTS-701	4600LS	LMS-350A
정확도	2mm±2ppm	수평 1cm±1ppm 수직 2cm±1ppm	2주파수 50/192 kHz



<사진 4.1> 사수위 직전의 ○○저수지 전경



<사진 4.2> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 관측모습

4.3 관측결과

관측대상지역인 경상남도 김해시 대동면 예안리 ○○저수지의 GPS에 의한 좌표값의 산출결과와 Echo sounder에 의한 수심측량결과를 서로 조합하여 3차원 좌표값을 추출하였다. 기존방식에 의한 댐의 내용적 측량과 본 연구의 방식에 의한 정확도를 분석하기 위하여 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과자료 287개를 이용하여 내용적을 산출하고, GPS 404개 자료와 Echo sounder의 1968개의 자료를 측정시간대에 의해 GPS의 404개 자료로 조합하였으며, 부적절한 자료를 삭제하고 396개의 자료를 이용하여 내용적을 산출하여 분석하였으며, 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과에 의한 취득자료는 <표 4.2>에 나타내었으며, GPS와 Echo Sounder의 조합에 의한 조합결과는 <표 4.3>에 나타내었다. 분석방법은 MOSS 시스템이 지원되는 프로그램을 이용하여 토탈스테이션에 의한 내용적과 GPS와 Echo Sounder의 조합에 의한 내용적의 비교를 통하여 분석하였다. ○○저수지의 만수위 EL.67.00m를 이용하여 내용적을 산출한 결과는 <표 4.4>, <표 4.5>에 나타내었다.

<표 4.2> 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
1	195800.8650	196269.1638	56.2193	26	195818.3970	196272.1839	58.1993
2	195757.2422	196317.4348	56.6292	27	195818.0307	196272.1700	58.2533
3	195757.0062	196317.0989	56.7062	28	195810.0709	196266.5472	58.2634
4	195756.9160	196317.0489	56.7477	29	195809.2056	196264.9194	58.2637
5	195859.4459	196327.3363	56.7973	30	195880.2787	196326.0668	58.5081
6	195755.2623	196317.3121	56.8444	31	195796.1764	196254.2104	58.5081
7	195753.3686	196318.2625	56.8608	32	195782.9706	196262.5029	58.5104
8	195798.0441	196262.5138	56.9673	33	195730.2156	196356.0073	58.5597
9	195797.5789	196261.6461	56.9805	34	195763.8476	196370.9739	58.5638
10	195838.8347	196337.9020	57.1691	35	195770.3734	196274.0323	58.5684
11	195747.7903	196318.6619	57.2917	36	195721.4765	196329.5099	58.5739
12	195797.6263	196261.2218	57.3229	37	195772.8851	196282.4697	58.5765
13	195736.3285	196331.1021	57.3756	38	195715.9266	196333.9903	58.5772
14	195732.4160	196331.1499	57.3784	39	195746.7706	196345.2638	58.5784
15	195733.5881	196331.2369	57.3797	40	195746.7859	196345.2597	58.5787
16	195747.5668	196318.7557	57.4737	41	195880.8449	196322.0508	58.5804
17	195746.9974	196318.9275	57.4833	42	195745.9122	196314.4536	58.5837
18	195729.5665	196332.8339	57.5292	43	195758.4192	196308.4336	58.5944
19	195729.1297	196336.9522	57.5890	44	195802.6408	196259.1147	58.5959
20	195745.4392	196320.1106	57.6441	45	195725.5145	196326.6842	58.6015
21	195723.8285	196339.6861	57.7472	46	195814.0047	196267.7869	58.6030
22	195806.8794	196264.1248	58.1462	47	195767.4989	196291.6551	58.6048
23	195814.5173	196271.9922	58.1641	48	195724.6486	196358.2365	58.6055
24	195818.5257	196272.2375	58.1832	49	195808.4078	196263.3209	58.6077
25	195819.0262	196272.4777	58.1892	50	195823.4557	196275.3887	58.6095

<표 4.2> 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
51	195855.9435	196370.1737	58.6110	76	195701.4395	196344.3115	58.7785
52	195818.8353	196271.4976	58.6121	77	195818.7435	196371.3793	58.8914
53	195741.0693	196348.9232	58.6162	78	195803.3038	196372.4716	58.9813
54	195734.4786	196323.4262	58.6243	79	195863.0183	196368.8965	59.0805
55	195761.6294	196365.2232	58.6273	80	195849.8035	196378.8480	59.1360
56	195773.3014	196377.6671	58.6295	81	195850.9429	196381.2675	59.2144
57	195710.1083	196352.8497	58.6300	82	195692.6077	196349.9416	59.2468
58	195830.8919	196280.7481	58.6342	83	195794.0258	196386.3436	59.3544
59	195874.1614	196313.9585	58.6495	84	195840.5861	196386.0626	59.4023
60	195873.4746	196337.5675	58.6500	85	195701.9544	196364.2442	59.4162
61	195855.2990	196299.5701	58.6543	86	195692.5468	196359.8229	59.4601
62	195771.1365	196375.4234	58.6586	87	195765.7479	196386.1474	59.5125
63	195737.8053	196352.7294	58.6594	88	195806.9892	196378.0714	59.5233
64	195712.7823	196357.7973	58.6610	89	195685.8570	196358.8575	59.6644
65	195752.5223	196343.3027	58.6624	90	195828.3947	196382.5014	59.6842
66	195877.4472	196331.5090	58.6689	91	195684.1794	196363.7771	59.6964
67	195757.2144	196344.9819	58.6779	92	195695.2086	196367.3189	59.7150
68	195879.6705	196318.0450	58.6806	93	195747.2132	196355.0205	59.7836
69	195869.8510	196355.5867	58.6891	94	195821.0895	196378.9121	59.8598
70	195777.5969	196376.3150	58.6935	95	195730.7253	196368.7772	59.8845
71	195766.3307	196373.4829	58.6961	96	195833.3531	196394.5937	59.8847
72	195757.3405	196340.6631	58.7041	97	195758.1730	196388.5683	60.0849
73	195757.3416	196340.6629	58.7087	98	195750.1563	196378.5135	60.0955
74	195787.1106	196375.2997	58.7167	99	195708.7800	196375.0195	60.1203
75	195757.3286	196354.0697	58.7437	100	195805.6585	196392.8589	60.3216

<표 4.2> 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
101	195683.8279	196378.4835	60.3291	126	195674.5217	196404.8691	61.0089
102	195754.4416	196364.4171	60.3709	127	195892.8592	196323.7088	61.0238
103	195842.1328	196404.5233	60.4600	128	195828.8841	196416.8274	61.0276
104	195691.5761	196381.4988	60.4763	129	195727.6361	196379.6421	61.0928
105	195751.2842	196388.1927	60.5069	130	195805.5606	196406.9850	61.1554
106	195791.5794	196400.3902	60.5274	131	195762.8336	196398.9476	61.1849
107	195792.5776	196401.2716	60.5441	132	195683.3557	196406.7824	61.3821
108	195677.6332	196369.9014	60.5700	133	195881.7245	196362.4994	61.5946
109	195704.8869	196385.3585	60.6350	134	195812.8479	196418.4753	61.6120
110	195757.5741	196358.1323	60.6684	135	195668.2773	196397.8040	61.6353
111	195889.8770	196339.4165	60.6936	136	195730.5037	196387.4826	61.6982
112	195838.6114	196411.6754	60.6983	137	195659.1070	196426.7943	61.7706
113	195850.4667	196396.6172	60.7001	138	195795.1882	196421.2548	61.8421
114	195732.4313	196374.8998	60.8103	139	195741.9925	196400.8994	61.8527
115	195807.4262	196400.8530	60.8116	140	195666.9074	196390.5602	61.8565
116	195782.1247	196380.7629	60.8740	141	195672.0866	196418.8222	61.8842
117	195892.6392	196325.6782	60.8845	142	195821.8622	196430.9624	61.9013
118	195673.3449	196380.1345	60.9043	143	195718.7335	196380.6746	61.9598
119	195804.8835	196416.8891	60.9134	144	195718.6701	196395.0496	61.9850
120	195873.7070	196374.8592	60.9202	145	195783.4244	196410.6734	62.0843
121	195826.7806	196405.0636	60.9524	146	195664.0044	196402.0524	62.0869
122	195892.2132	196323.9671	60.9737	147	195681.4899	196416.5125	62.1015
123	195858.7592	196388.8892	60.9769	148	195790.6648	196428.8301	62.2111
124	195832.9888	196415.4068	60.9874	149	195731.7298	196396.2272	62.2209
125	195887.8767	196347.5489	61.0055	150	195672.6011	196422.1873	62.2540

<표 4.2> 토달스테이션에 의한 지형측량 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
151	195897.5448	196330.4179	62.2952	176	195798.9589	196456.9633	63.8606
152	195754.3963	196404.3018	62.3501	177	195729.4215	196416.3865	63.9255
153	195777.8640	196409.5633	62.3796	178	195659.9607	196404.5951	64.2396
154	195787.2301	196414.7627	62.3895	179	195694.5448	196417.4103	64.2566
155	195703.7387	196406.8407	62.3910	180	195794.9916	196459.2224	64.3251
156	195705.7630	196408.5724	62.4119	181	195743.9980	196430.4100	64.4309
157	195700.3941	196407.6757	62.4281	182	195788.3373	196454.3609	64.4591
158	195733.1969	196405.6444	62.4829	183	195792.1152	196458.1151	64.4656
159	195689.4930	196412.3388	62.5093	184	195661.6357	196393.5905	64.5370
160	195761.3446	196410.1887	62.6365	185	195645.3128	196425.8709	64.5411
161	195812.4872	196441.7959	62.7114	186	195767.8084	196427.9455	64.6733
162	195782.2249	196433.3849	62.8088	187	195641.6072	196438.3900	64.7156
163	195766.1039	196414.7761	62.8525	188	195645.3777	196411.6480	64.7651
164	195727.2412	196404.9518	62.9510	189	195756.7137	196438.5393	64.8348
165	195788.6586	196439.9290	62.9867	190	195692.7072	196340.0995	64.8920
166	195743.2215	196413.1567	63.0044	191	195702.6152	196328.9139	64.9332
167	195797.9630	196437.7729	63.0578	192	195721.0167	196319.7612	64.9888
168	195901.6093	196321.2971	63.1405	193	195713.8599	196324.3105	65.0067
169	195654.2881	196419.9327	63.1603	194	195687.5255	196427.6586	65.0579
170	195646.2881	196428.3723	63.4590	195	195675.3216	196357.2203	65.0950
171	195777.8478	196421.2003	63.4707	196	195825.5593	196442.2665	65.2897
172	195648.5257	196433.8473	63.4873	197	195718.3962	196430.4366	65.3062
173	195938.0380	196284.7070	63.5550	198	195720.3476	196433.7284	65.3625
174	195806.6431	196452.9135	63.7332	199	195649.3741	196405.2447	65.3938
175	195777.6498	196453.4416	63.7947	200	195657.3464	196390.7090	65.4421

<표 4.2> 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
201	195727.5705	196311.4803	65.4619	226	195666.1885	196448.8258	67.1008
202	195742.8954	196303.2407	65.4859	227	195728.6535	196453.7799	67.1926
203	195634.0817	196435.4936	66.0094	228	195757.8449	196266.8033	67.1936
204	195647.3148	196398.2919	66.0827	229	195814.2690	196449.8519	67.2071
205	195707.7040	196441.6706	66.0940	230	195696.6054	196437.2140	67.2306
206	195614.5997	196470.7902	66.1336	231	195850.2703	196423.4291	67.2774
207	195750.5504	196289.3378	66.3077	232	195769.3084	196253.0581	67.2889
208	195682.3649	196346.7460	66.3427	233	195675.7003	196440.2107	67.2931
209	195691.5086	196433.3509	66.3855	234	195836.6173	196424.5471	67.3148
210	195666.7648	196375.4917	66.5022	235	195624.6523	196439.8186	67.3627
211	195670.1516	196367.1279	66.5034	236	195801.1102	196230.3535	67.4134
212	195782.9064	196491.8576	66.5565	237	195899.5717	196346.0758	67.4183
213	195747.4928	196466.5538	66.6206	238	195797.6057	196227.3310	67.4188
214	195637.3010	196413.7372	66.6630	239	195772.7789	196243.4776	67.4268
215	195743.0821	196456.8966	66.6867	240	195784.8750	196235.4273	67.4274
216	195778.1809	196477.3719	66.7330	241	195834.1678	196427.6375	67.4567
217	195756.1273	196278.6282	66.7608	242	195866.0591	196280.4199	67.5040
218	195609.1280	196461.8595	66.8037	243	195860.1681	196404.3154	67.5081
219	195766.3429	196468.7197	66.8105	244	195886.1224	196295.1587	67.5198
220	195760.2205	196471.6410	66.8401	245	195902.5342	196306.7084	67.5217
221	195709.4157	196447.6410	66.8659	246	195823.5037	196248.2231	67.5269
222	195611.5095	196451.9042	66.9182	247	195841.7138	196262.0781	67.5711
223	195718.4407	196449.4636	66.9504	248	195806.9273	196235.6302	67.5803
224	195770.7777	196476.9365	66.9939	249	195855.6790	196412.6797	67.5873
225	195755.4716	196462.3828	67.0784	250	195794.3152	196476.0820	67.6682

<표 4.2> 토달스테이션에 의한 지형측량 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
251	195881.8177	196382.4332	67.6766	270	195826.8713	196348.52	57.759
252	195891.7498	196370.0319	67.6837	271	195841.5813	196361.12	58.362
253	195895.1198	196352.4008	67.7286	272	195822.2513	196335.30	57.215
254	195866.5594	196397.1464	67.7886	273	195855.7913	196347.57	57.967
255	195809.7632	196458.2348	67.7904	274	195866.8013	196332.78	57.763
256	195809.7619	196458.2387	67.7905	275	195846.4113	196318.71	57.317
257	195901.3255	196334.2575	67.8227	276	195855.6613	196313.25	57.726
258	195914.4895	196313.9870	67.9718	277	195830.4413	196310.73	57.415
259	195784.6313	196312.2000	57.2160	278	195814.6813	196326.27	56.823
260	195805.6613	196275.3200	56.7960	279	195810.7513	196323.83	56.523
261	195788.4613	196288.0600	57.2360	280	195803.9613	196315.56	56.693
262	195811.9613	196283.6700	57.3760	281	195821.4113	196313.46	57.326
263	195774.5413	196367.6300	58.3620	282	195831.0713	196290.37	58.295
264	195770.7613	196364.6900	58.4520	283	195817.2013	196296.67	57.851
265	195764.2913	196340.1800	58.2510	284	195809.7413	196292.74	57.458
266	195773.2813	196345.7900	58.1620	285	195805.5113	196282.19	57.395
267	195787.3813	196360.0000	58.3620	286	195787.1513	196293.94	57.653
268	195786.1013	196345.5800	57.7620	287	195769.6513	196311.99	56.325
269	195816.1013	196356.6000	58.4210	-	-	-	-

<표 4.3> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
101	195817.6730	196271.3230	58.4330	126	195806.1431	196452.4135	63.5320
102	195817.5307	196271.6700	58.3570	127	195805.1585	196392.3589	61.7216
103	195816.1560	196410.7300	61.2130	128	195805.0880	196287.7220	57.2750
104	195814.2830	196268.6740	58.5420	129	195805.0606	196406.4850	60.4680
105	195814.0173	196271.4922	58.2010	130	195804.3835	196416.3891	60.1250
106	195814.0047	196267.7869	60.1030	131	195803.9450	196342.5760	58.3460
107	195813.7690	196449.3519	67.1071	132	195802.8200	196293.5650	56.4189
108	195812.8479	196418.4753	63.1120	133	195802.8038	196371.9716	60.3813
109	195812.0980	196444.6720	63.6580	134	195802.1408	196258.6147	58.6720
110	195811.9872	196441.2959	62.6250	135	195801.3130	196382.5230	61.2480
111	195811.4020	196406.8350	60.4270	136	195800.6102	196229.8535	62.2460
112	195809.6000	196264.5180	58.4690	137	195800.3650	196268.6638	56.4890
113	195809.5709	196266.0472	58.1950	138	195799.6560	196232.7780	67.4460
114	195809.2632	196457.7348	67.6904	139	195799.3090	196269.5250	57.1240
115	195809.2619	196457.7387	67.6905	140	195798.4589	196456.4633	63.6980
116	195809.1240	196280.5560	57.5210	141	195798.3720	196263.8040	56.9250
117	195808.7056	196264.4194	58.4150	142	195797.8120	196460.8250	64.7360
118	195807.9078	196262.8209	58.3170	143	195797.5441	196262.0138	57.1350
119	195807.5510	196440.6160	62.6310	144	195797.4630	196437.2729	63.0730
120	195806.9262	196400.3530	62.2116	145	195797.1263	196260.7218	57.9250
121	195806.9020	196284.4970	57.3260	146	195797.1057	196226.8310	67.6190
122	195806.4892	196377.5714	60.9233	147	195797.0789	196261.1461	57.8120
123	195806.4273	196235.1302	67.6230	148	195796.0520	196275.0120	56.4210
124	195806.3794	196263.6248	58.2580	149	195795.7920	196248.5300	60.8950
125	195806.1750	196260.7470	58.6580	150	195795.6764	196253.7104	58.6310

<표 4.3> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
151	195795.0550	196437.2740	62.7580	176	195783.4800	196403.9090	61.7860
152	195794.9750	196465.9760	65.7150	177	195782.9244	196410.1734	63.4843
153	195794.6882	196420.7548	61.7250	178	195782.4706	196262.0029	59.9104
154	195794.5150	196389.5000	60.7540	179	195782.4600	196330.1810	58.4250
155	195794.4916	196458.7224	64.2930	180	195782.4064	196491.3576	66.9565
156	195793.8152	196475.5820	67.5682	181	195782.2100	196380.4760	62.3840
157	195793.5258	196385.8436	60.7544	182	195782.1247	196380.7629	62.3740
158	195793.2100	196306.7530	56.6370	183	195781.7249	196432.8849	62.9130
159	195792.1200	196309.2630	56.7150	184	195780.9400	196332.4670	58.5410
160	195792.0776	196400.7716	61.9440	185	195779.8910	196333.2750	58.8750
161	195791.6152	196457.6151	64.3150	186	195779.0200	196375.7340	61.8960
162	195791.0794	196399.8902	61.9270	187	195778.3340	196463.1160	64.9830
163	195790.7420	196312.9850	56.8650	188	195778.1809	196477.3719	66.7330
164	195790.1648	196428.3301	62.1360	189	195778.1750	196335.6050	60.8460
165	195789.0620	196316.4410	56.8650	190	195777.7010	196409.7320	63.9530
166	195788.7360	196396.6740	60.7950	191	195777.3640	196409.0633	63.7796
167	195788.1586	196439.4290	62.7380	192	195777.3478	196420.7003	64.8707
168	195787.8373	196453.8609	64.3520	193	195777.1498	196452.9416	63.7280
169	195787.5620	196331.4450	58.6840	194	195777.0969	196375.8150	60.0935
170	195787.4850	196320.6050	56.9210	195	195776.7420	196314.6310	56.8750
171	195786.7301	196414.2627	63.7890	196	195776.2890	196336.5260	60.1460
172	195786.6106	196374.7997	60.1170	197	195775.0920	196337.8200	57.8730
173	195785.7520	196324.6600	58.2360	198	195773.1230	196458.6790	64.8360
174	195784.3750	196234.9273	67.3274	199	195772.8014	196377.1671	60.0295
175	195783.6030	196325.4070	58.3750	200	195772.3851	196281.9697	59.9765

<표 4.3> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
251	195752.8686	196317.7625	56.5360	276	195738.8260	196360.1970	60.0230
252	195752.0223	196342.8027	60.0624	277	195737.3053	196352.2294	60.0594
253	195751.2100	196300.8280	63.2180	278	195736.7650	196361.9920	59.4620
254	195750.7590	196363.4710	60.5460	279	195735.8285	196330.6021	57.4760
255	195750.0504	196288.8378	66.2077	280	195735.7860	196365.0470	62.2480
256	195749.6563	196378.0135	60.9955	281	195733.9786	196322.9262	59.0160
257	195749.0760	196327.1790	57.9260	282	195733.5740	196327.4170	58.1260
258	195748.7150	196312.5980	58.9460	283	195733.0881	196330.7369	57.3570
259	195747.7903	196318.6619	58.6917	284	195732.8660	196371.2400	62.5890
260	195747.3910	196360.7430	61.8450	285	195732.6969	196405.1444	63.8829
261	195747.0470	196358.9720	61.4510	286	195731.9313	196374.3998	62.2103
262	195746.9928	196466.0538	66.5206	287	195731.9160	196330.6499	57.4830
263	195746.7132	196354.5205	60.6836	288	195730.6190	196371.6780	62.6490
264	195746.4974	196318.4275	57.7210	289	195730.2253	196368.2772	61.2845
265	195746.2859	196344.7597	59.9787	290	195730.0037	196386.9826	61.5720
266	195745.4122	196313.9536	59.0160	291	195729.7156	196355.5073	59.9597
267	195744.9700	196444.4040	65.6280	292	195729.0665	196332.3339	57.6210
268	195744.9392	196319.6106	57.8260	293	195728.9215	196415.8865	63.7950
269	195743.7930	196416.7590	65.2490	294	195728.1535	196453.2799	67.0926
270	195743.4610	196313.9020	59.6370	295	195727.9410	196373.5730	62.3450
271	195742.5821	196456.3966	66.5867	296	195727.2412	196404.9518	64.4510
272	195742.3954	196302.7407	66.3859	297	195727.0705	196310.9803	66.3619
273	195741.4925	196400.3994	63.2527	298	195726.8490	196331.5060	57.8250
274	195741.4490	196357.8630	60.3480	299	195725.5145	196326.6842	58.7130
275	195740.3830	196358.7450	60.1240	300	195725.3900	196437.6950	65.7230

<표 4.3> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
301	195724.1486	196357.7365	60.0055	326	195705.3790	196413.1370	63.2620
302	195723.3285	196339.1861	57.8530	327	195705.2760	196397.1330	62.6490
303	195722.9110	196377.0800	60.4860	328	195705.1590	196408.5820	62.5550
304	195720.9765	196329.0099	59.9739	329	195704.8869	196385.3585	62.1350
305	195720.5167	196319.2612	66.3888	330	195703.7387	196406.8407	63.8910
306	195719.8730	196381.8070	61.8960	331	195703.3080	196351.9810	58.8250
307	195719.8476	196433.2284	65.2360	332	195702.1152	196328.4139	65.2110
308	195719.7850	196402.5730	63.9480	333	195701.4544	196363.7442	59.3910
309	195718.6701	196395.0496	62.9750	334	195701.4430	196354.0370	59.1020
310	195718.2335	196380.1746	61.8250	335	195700.9395	196343.8115	59.1790
311	195717.9407	196448.9636	66.8504	336	195699.8790	196357.8920	59.2190
312	195715.6480	196338.9390	58.4320	337	195699.1740	196426.9460	65.5880
313	195715.4266	196333.4903	59.2160	338	195696.6054	196437.2140	67.1306
314	195714.9040	196393.8050	61.7320	339	195695.2086	196367.3189	59.6210
315	195713.3599	196323.8105	66.4067	340	195695.0360	196365.2630	59.6350
316	195712.7823	196357.7973	58.5280	341	195693.9720	196425.9680	65.5490
317	195711.7610	196426.1600	64.8290	342	195693.3450	196415.0780	63.5860
318	195711.0940	196342.6230	58.5760	343	195692.1077	196349.4416	60.6468
319	195710.3030	196424.4970	64.6310	344	195692.0468	196359.3229	60.8601
320	195709.5470	196429.0890	65.4580	345	195691.4320	196382.9150	60.6830
321	195709.3520	196432.3660	65.9840	346	195691.0761	196380.9988	60.4150
322	195709.0130	196429.8060	65.5970	347	195691.0086	196432.8509	66.2855
323	195708.9157	196447.1410	66.7659	348	195688.9930	196411.8388	63.9093
324	195708.2770	196346.2500	58.7120	349	195688.5480	196423.3620	64.4180
325	195707.7040	196441.6706	66.0940	350	195687.0255	196427.1586	64.9230

<표 4.3> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 결과 (계속)

NO	X	Y	Z	NO	X	Y	Z
351	195685.9620	196378.8090	60.4750	374	195662.9370	196383.2840	65.7540
352	195685.3570	196358.3575	61.0644	375	195661.9240	196421.8790	61.2130
353	195683.8130	196419.5360	63.0160	376	195660.7230	196389.0760	65.8610
354	195683.3279	196377.9835	60.4580	377	195659.4607	196404.0951	64.3530
355	195682.8557	196406.2824	62.7821	378	195658.7000	196424.0870	61.3750
356	195681.8649	196346.2460	66.2427	379	195658.6070	196426.2943	61.6360
357	195681.1400	196373.8920	60.4320	380	195656.8464	196390.2090	66.3421
358	195680.9899	196416.0125	62.0570	381	195653.7881	196419.4327	63.0550
359	195675.6010	196378.5240	61.6330	382	195650.2130	196400.6870	66.1120
360	195675.2003	196439.7107	67.1931	383	195648.0257	196433.3473	64.8873
361	195674.0217	196404.3691	61.1360	384	195646.2881	196428.3723	64.9590
362	195673.7170	196372.2820	62.2350	385	195644.8128	196425.3709	65.9411
363	195672.6011	196422.1873	63.7540	386	195644.5240	196411.5550	65.6780
364	195671.5866	196418.3222	61.5760	387	195641.1072	196437.8900	66.1156
365	195670.3390	196381.9740	61.3750	388	195637.3010	196413.7372	66.6630
366	195669.6516	196366.6279	66.4034	389	195631.6140	196429.0990	66.4860
367	195667.7773	196397.3040	61.8720	390	195626.9660	196464.4250	66.5640
368	195667.6940	196420.5440	61.4790	391	195620.7340	196447.4160	66.4590
369	195666.4074	196390.0602	61.9360	392	195614.0997	196470.2902	66.0336
370	195666.2648	196374.9917	66.4022	393	195611.3020	196463.7920	66.4840
371	195665.6885	196448.3258	67.0008	394	195611.0095	196451.4042	66.8182
372	195664.7840	196420.6380	61.3950	395	195608.3210	196468.4820	65.6240
373	195663.5044	196401.5524	62.4510	396	195608.0380	196472.8910	66.2340

<표 4.4> 토탈스테이션에 의한 내용적표

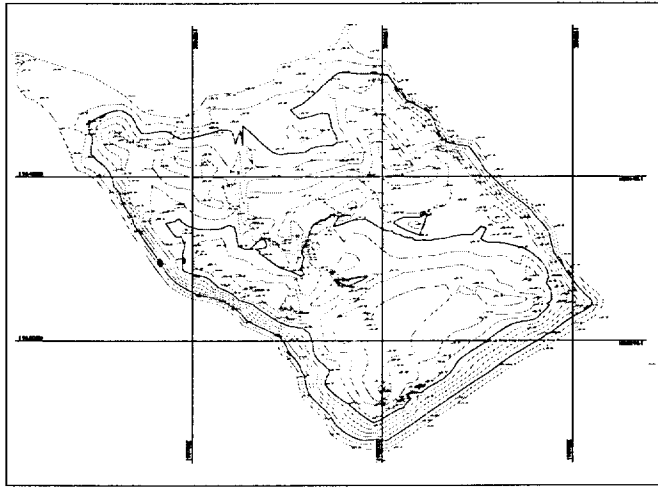
표고 (E.L.m)	고차 (m)	면 적 (m ²)	평균면적 (m ²)	내용적 (m ³)	누가내용적 (m ³)
55.0	0.0	-	-	-	-
56.0	1.0	-	-	-	-
57.0	1.0	1,457.13	728.57	728.57	728.57
58.0	1.0	7,543.29	5,228.78	5,228.78	5,957.35
59.0	1.0	13,103.52	14,095.05	14,095.05	20,052.40
60.0	1.0	16,584.33	21,395.69	21,395.69	41,448.09
61.0	1.0	20,358.11	26,763.39	26,763.39	68,211.48
62.0	1.0	24,086.47	32,401.35	32,401.35	100,612.83
63.0	1.0	27,147.11	37,660.03	37,660.03	138,272.86
64.0	1.0	29,836.00	42,065.11	42,065.11	180,337.97
65.0	1.0	32,689.70	46,180.85	46,180.85	226,518.82
66.0	1.0	35,302.99	50,341.20	50,341.20	276,860.02
67.0	1.0	39,442.30	55,024.14	55,024.14	331,884.16

<표 4.5> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 내용적표

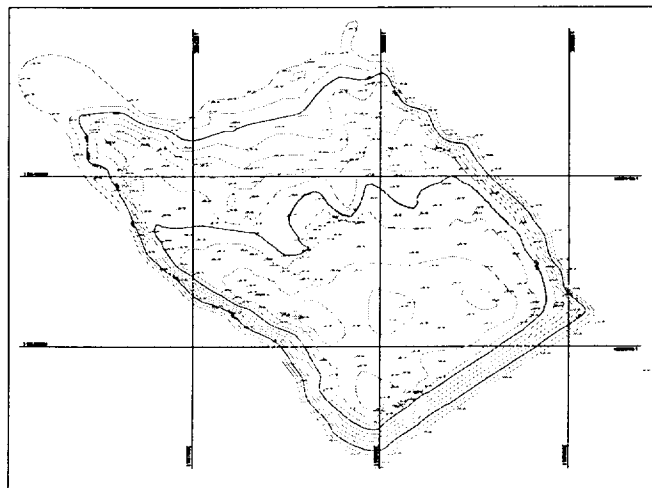
표고 (E.L.m)	고차 (m)	면 적 (m ²)	평균면적 (m ²)	내용적 (m ³)	누가내용적 (m ³)
55.0	0.0	-	-	-	-
56.0	1.0	13.00	7.00	7.00	7.00
57.0	1.0	2,038.24	1,032.20	1,032.20	1,038.74
58.0	1.0	5,459.79	4,768.14	4,768.14	5,806.88
59.0	1.0	9,944.46	10,432.02	10,432.02	16,238.90
60.0	1.0	13,148.19	16,518.56	16,518.56	32,757.46
61.0	1.0	17,970.29	22,133.34	22,133.34	54,890.80
62.0	1.0	26,390.25	31,165.42	31,165.42	86,056.32
63.0	1.0	25,532.19	39,156.35	39,156.35	125,212.57
64.0	1.0	28,516.67	39,790.53	39,790.53	165,003.10
65.0	1.0	37,357.02	47,195.18	47,195.18	212,198.28
66.0	1.0	35,024.74	54,869.39	54,869.39	267,067.67
67.0	1.0	39,308.77	54,544.13	54,544.13	321,611.80

댐의 내용적 산출은 관개용 댐에 있어서는 댐의 규모와 직접적인 연관이 있기 때문에 대단히 중요한 설계과정의 하나이다. 토탈스테이션에 의한

표고별 내용적 산출결과는 <그림 4.1>에 나타내었고, GPS와 Echo sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 표고별 내용적 산출결과는 <그림 4.2>에 나타내었다. <그림 4.1>과 <그림 4.2>의 결과를 보면 내용적 차이는 10,272.36 m³로 약 3.10%의 오차가 있는 것으로 분석되었다.



<그림 4.1> 토탈스테이션에 의한 등고선도



<그림 4.2> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 등고선도

5. 결론

토탈스테이션에 의한 지형측량 자료를 이용하여 내용적을 산출한 결과와 GPS 측량방법 중 RTK GPS측량방법과 Echo Sounder의 조합에 의한 수심측량을 실시하여 댐의 내용적을 산출하여 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 토탈스테이션에 의한 측량 자료로 내용적을 산출한 결과 331,884.16 m' 이고, GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 내용적을 산출한 결과 321,611.80 m'로 10,272.36 m' 3.10%의 내용적 차이를 보이고 있으며, 실시간으로 내용적 산출이 가능하므로 유지 관리 측면에서 이 방법의 효율성이 뛰어난 것으로 판단된다.
- 2) GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 내용적을 산출한 결과 정확도 향상과 측량시간의 단축, 설계시 적정한 댐규모 결정에 있어 정확한 지형자료 취득이 가능할 것으로 판단된다.
- 3) GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 취득된 자료는 댐의 준공 후 관개용수량 및 수위자료, 용량증대를 위한 개보수 등의 수자원의 관리에 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 내용적을 추출할 경우 이 자료에 적합한 보간방법이 연구되어지면 실제에 가까운 지형을 추출할 수 있을 것으로 판단된다.

13. 이석우, “해양측량학”, 집문당, pp235~259, 1996.
14. 고영호, “음향측심기에 의한 수심측량 연구”, 경남대 공업기술연구소 연구논문
집 제 11집, pp 227~234, 1993.

감사의 글

저에게 있어 올 한해는 많은 일들이 있었습니다. 두려움 반 설레임 반으로 대학원 생활을 시작한 지가 엇그제 같은데 벌써 지나간 날들을 떠올리며 논문을 정리하고 있으며, 얼마 전에는 아름다운 저의 배필을 맞이하였습니다.

회사생활을 하면서 여실히 느꼈던 부족함을 메우기 위해 더 배우고자 시작했던 대학원 생활을 어느덧 마무리하려니 성취감을 느끼기에 앞서 최선을 다해 더 열심히 하지 못했다는 후회감이 건잡을 수없이 밀려옵니다.

돌이켜 생각해보면 열심히 하고자 시작했던 대학원생활이 회사생활에 묻히면서 점점 퇴색되어 갈 때마다 제 게으름의 소치를 타하며 문득문득 마음을 다잡고자 노력하던 게 엇그제 같습니다.

어려움과 시행착오 속에서 이 논문을 완성하기까지 너무나 부족한 저에게 주위에서 도움을 주신 많은 분들에게 감사를 드리며 무엇보다도 제가 끝까지 무사히 학교생활을 할 수 있게 늘 채찍질하며 옆에서 신경 써주신 이종출교수님께 마음속 깊은 감사의 마음을 전하고 싶고, 바쁜 와중에도 많이 부족한 논문을 세심하게 심사해 주신 김상용교수님, 손인식교수님, 그리고 그동안 아낌없이 가르침을 주신 김종수교수님, 장희석교수님, 이종섭교수님, 이동욱교수님, 이영대교수님, 김명식교수님, 정진호교수님, 이환우교수님, 정두희교수님, 국승규교수님, 이상호교수님께 깊은 고개숙여 감사드립니다.

그리고, 저의 회사생활과 대학원생활을 별 무리없이 병행할 수 있도록 옆에서 묵묵하게 지켜봐 주시고 아낌없는 보살핌을 베푸신 아버지, 어머니께도 감사의 마음을 전하고 싶고, 논문 완성을 위해 물심양면으로 도움을 주신 측량연구실 가족들-서동주, 서정훈, 노태호, 장호식 박사과정 선배님들과 강성원, 김진수,, 왕정환, 남신, 강상민 석사과정 후배님들과 도우회 회원님들께도 감사를 드립니다.

마지막으로 바쁜 회사생활 속에서도 학업에 열중할 수 있게 배려해 주시고 항상 우리는 공무원이기에 앞서 기술자임을 잊지 말라고 당부하신 저희 도시개발과 구자현과장님이하 동료 직원들에게도 깊은 감사를 드리며, 저에게 도움을 주신 모든 분들께 이 논문을 바칩니다.