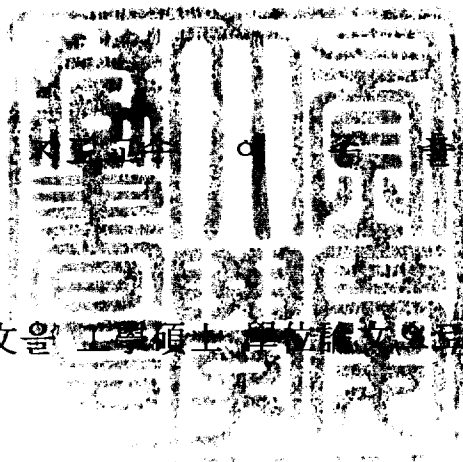


공 학 석 사 학 위 논 문

보간기법에 따른 해저지형의
정확도 분석



이 論文을 工学碩士學位論文으로 提出함

2006 년 2 월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

박 중 민

박종민의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 11월 19일

주	심	공 학 박 사	김 명 식	
위	원	공 학 박 사	이 영 대	
위	원	공 학 박 사	이 중 출	

목 차

표 목차	i
그림 목차	ii
Abstract	iv
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구방법 및 범위	4
2. 기본 이론	6
2.1 GPS 이론	6
2.1.1 GPS 위성측량의 특성	6
2.1.2 GPS의 위치해석 원리	7
2.2.3 GPS 측위원리	11
2.2 음향측심	14
2.2.1 음향측심의 원리	14
2.2.2 음속도의 보정	15
2.3 공간보간법	21
2.3.1 보간법의 분류	21
2.3.2 Kiriging 보간기법	24
2.3.3 이동평균과 거리경중률 평균	25

2.3.4	최근린 보간법	26
3.	현장실험	28
3.1	관측대상지역 및 관측 장비의 구성	28
3.1.1	관측대상지역	28
3.1.2	관측 장비의 구성	29
3.2	기준점 및 GPS 검사점 측설	30
3.2.1	GPS 기준점 설치	30
3.2.2	검사점 설치	33
3.3	위치 및 수심측량	33
3.3.1	위치 및 수심측량	33
3.3.2	GPS 정확도 분석	34
4.	관측결과 및 분석	38
4.1	관측 결과	38
4.2	3차원 해저지형모델	41
4.3	결과 분석	47
5.	결 론	50
	참고문헌	52

표 목차

<표 3.1> GPS 수신기의 제원	29
<표 3.2> 망조정 계산에 의한 조정된 그리드 좌표와 WGS82좌표 ·	31
<표 4.1> 획득된 평면좌표와 수심데이터	39
<표 4.2> 실제 호퍼준설량	47
<표 4.3> 보간기법별 체적 결과 값	48
<표 4.4> 보간기법별 실 체적과의 차이량	49

그림 목차

<그림 1.1> 연구방법 및 범위	5
<그림 2.1> GPS위성의 배치	6
<그림 2.2> 위치해석의 원리	7
<그림 2.3> GPS 위성의 신호체계	9
<그림 2.4> 미분측위법	10
<그림 2.5> 절대측위	12
<그림 2.6> 후처리방식의 상대측위	13
<그림 2.7> Bar-Checker	16
<그림 3.1> 관측대상지역	28
<그림 3.2> GPS 수신기의 형상	29
<그림 3.3> 기준점의 해석결과	31
<그림 3.4> 장지산의 GPS 측위 모습	32
<그림 3.5> 관측대상지역의 GPS 기준점 측위 모습	32
<그림 3.6> GPS/Echo Sounder 조합에 의한 선박의 측위모습	34
<그림 3.7> 해상구조물위에 설치된 검사점과 GPS 관측값과의 비교	35
<그림 3.8> 육상구조물위에 설치된 검사점과 GPS 관측값과의 비교	35
<그림 3.9> 가시위성의 수	36
<그림 3.10> GPS 측위시의 PDOP	36
<그림 4.1> 항적도	38
<그림 4.2> 격자 수심도	40
<그림 4.3> Inverse distance to a power 보간 기법을 이용한 3차원 해 저지형 모델현장관측 검증실험 모델	42

<그림 4.4> Kriging 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델현장관측 검증실험 모델	42
<그림 4.5> Minimum curvature 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모 델현장관측 검증실험 모델	43
<그림 4.6> Natural neighbor 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델 현장관측 검증실험 모델	43
<그림 4.7> Nearest neighbor 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델 현장관측 검증실험 모델	44
<그림 4.8> Polynomial regression 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델현장관측 검증실험 모델	44
<그림 4.9> Radial basis function 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델현장관측 검증실험 모델	45
<그림 4.10> Triangulation with Linear interpolation 보간 기법을 이용 한 3차원 해저지형 모델현장관측 검증실험 모델	45
<그림 4.11> Moving average 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델 현장관측 검증실험 모델	46
<그림 4.12> Data metric 보간 기법을 이용한 3차원 해저지형 모델현장 관측 검증실험 모델	46

The Analysis of Accuracy for Submarine Topographic Information by Interpolation Method

Jong Min, Park

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

ABSTRACT

Three-dimensional information of submarine topography acquired by assembling GPS and Echo Sounder which mainly used in the marine survey. However, it is difficult that feature of submarine topography according to mechanical data was confirmed using human eyes. Because dredging capacity using submarine surveying data influence in harbor public affair, analysis and process method of surveying data is very special element in construction cost.

In this study, information of submarine topography acquired by assembling GPS and Echo Sounder. Moreover, the dredging capacity in harbor public affair has been calculated by interpolation method ; Inverse distance to a power, Kriging, Minimum curvature, Natural neighbor, Nearest neighbor, Polynomial regression, Radial basis function, Triangulation with Linear interpolation, Moving average, Data metric. Also, utilization of GPS and Echo Sounder method in calculation of the dredging capacity have been confirmed by comparing and analyzing the dredging capacity and the actual one as per each interpolation. According to this comparison result, in case of applying data metric interpolation, some 1.89% of error rate has been shown as

difference of the contents is 15,364 m³ and in case of applying radial basis function interpolation and moving average interpolation, 3.9% and 4.4% of error rates have respectively shown. In case the study for application of the proper interpolation as per characteristics of submarine topography, is preceded in calculation of the dredging capacity relevant to harbor public affair, it is expected that more speedy and correct calculation for the dredging capacity can be made.

Keyword : GPS, Echo Sounder, submarine topography, interpolation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

한국은 지리적으로 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 이의 한계성을 극복하기 위해 대양진출과 해저자원개발 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 확인 작업은 물론 측심기록의 오독이 없도록 유의 하여야 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 측심자료에는 이들에 따라 보정해 주어야 한다.¹⁾²⁾³⁾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⁾⁶⁾⁷⁾

이러한 수심측량의 목적은 항만 및 해상공사시의 기초 자료를 확보하고, 그 결과를 처리 분석하여 효율적이고 합리적인 공사관리를 하기 위함이다. 특히, 항만 및 해상항로 기타 해상매립 등의 공사에서 시공 또는 기존 시설물에 대한 관리 등에 필요한 기초 자료를 확보하기 위해 국가기관 뿐만 아니라 많은 국내의 시공사들이 이러한 측량을 실시하고 있다. 이러한 기초자료 중 해저지형에 대한 정확한 물량관리는 측량성과의 정확도에 의해 준설 매립시의 상대적인 관리비에 큰 영향을 미친다.

과거 해상측량 기술에 이용되던 인력에 의한 육분의 측량 및 수심측량은 측정정보를 실시간으로 적용할 수 없어 발생되던 작업상의 비경제성과 비능률성은 현재 GPS의 발달과 더불어 이에 관한 연구가 진행되면서 크게 보완 되었다. 따라서 현재 해상공사에 사용되는 해저지형의 용량을 산출하기위해 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저의 지형 및 용량을 결정하고 있다. 하지만, 기기에 의존하여 확인되는 해저면의 지형은 인간의 눈으로 그 형상을 확인하기가 힘들며, 해저측량데이터를 이용한 해저 준설량은 항만 및 해저토목공사 시에 공사비에 큰 영향을 미치기 때문에 측량과 측량데이터의 분석 및 처리기법들은 해상공사의 공사비에 있어서 중요한 요소가 된다.

GPS/Echo sounder에 의한 측위기법을 이용하여 정확한 측량과 물량을 구하기 위해 위치와 수심의 측량간격을 작게 할수록 정확한 결과 값을 얻을 수 있겠지만, 이 경우 자료가 방대하여 그 자료를 관리하고 처리하기위해 많은 시간과 노력이 요구된다. 또한 해저면의 불규칙함과 획득 자료의 간격이 불규칙하여 이러한 데이터를 합리적으로 처리하기위한 보간 기법들이 요구되고 있다.

따라서, 본 연구는 GPS/Echo sounder에 의한 해상공사의 해저지형측위 자료를 합리적이고 효율적으로 처리하기위한 방법을 여러 가지 보간 기법으로 처리하여 해저지형의 준설물량을 산출하기위해 정확하고 알맞은 보간 기법을 제시하고자한다.

1.2 연구동향

최근 해양과 하천분야에서 GPS와 Echo Sounder조합을 활용하여 지형을 분석하는 방법이 많이 연구되고 있다. 또한 측정된 위치와 수심데이터를 이용하여 지형을 분석, 3차원 모델화 하며 그 수량을 산출하기위해 많은 보간 기법들이 적용되고 있다.

과거 해상측량 기술에 이용되던 인력에 의한 육분의 측량 및 수심측량은 측정정보를 실시간으로 적용할 수 없어 발생되던 작업상의 비경제성과 비능률성은 현재 GPS가 해상측량에 이용되고 이에 관한 연구가 진행되면서 이러한 현상은 피할 수 있게 되었다.

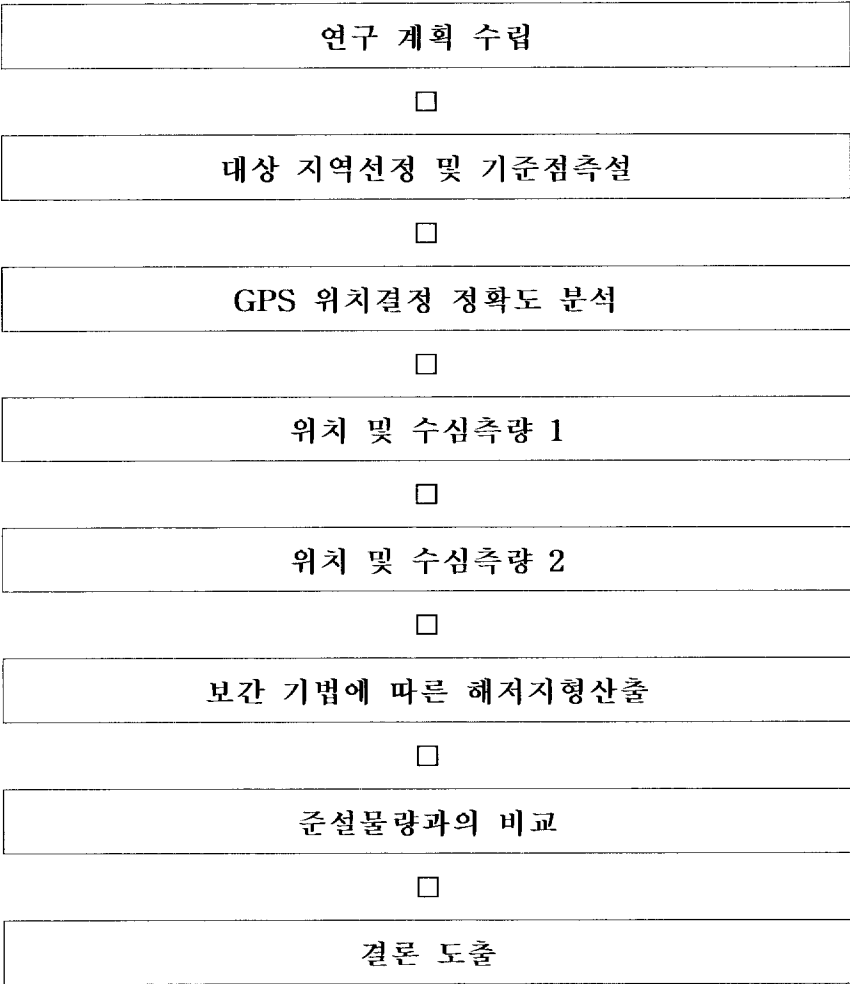
먼저 RTK-GPS와 Echo Sounder 조합관측을 통한 3차원 위치측량에 관한 연구가 강길선⁸⁾ 등에 의해 발표되었으며, GPS와 Echo Sounder를 이용하여 저수지 지형 추출기법에 관한 연구로 기존 재래식 측량방법과 비교 분석하여 활용가능성⁹⁾이 제시되었다. 또한 DGPS와 GIS기법을 활용하여 자료의 이용과 준설물량을 확인하여 해상에서의 침단 준설공법에 관한 연구¹⁰⁾가 발표되었다.

측량으로 획득된 위치와 수심의 3차원데이터를 이용하여 관측이 실행된 영역내에서 조사되지 않은 변수값을 평가하기위해 보간법의 사용이 요구된다. 신봉호¹¹⁾ 등은 수치지형을 이용한 도로의 최적토공량 산정에 관한 연구 및 수치적분에 의한 토공량 산정에 관한 연구를 발표하였다. 이는 선형식보다는 비선형식이 등간격에 의한 방법보다는 부등간격에 의한 공식이 대체로 정확도가 향상되었음을 밝혔다. 또한 GSIS 응용을 위한 지형정보 획득기법에 따른 토공량 산정에 관한 연구를 수행하여 현장측량을 통해 지형정보를 획득하는 방법보다 등고선도로부터 격자기반의 지형변환점의 지형정보를 랜덤하게 획득하고 수치지적분을 통해 지형체적을 산정하는 방법¹²⁾이 시간적·경험적으로 매우 효율적임을 제시하였다.

2001년도 박운용¹³⁾등은 수치지형모형(Digital Terrain Mode : DTM)보간기법별 토공량 산정과 지형분석에 관한 연구를 수행하여 역거리보간법이 면적과 표면적 그리고 토공량에서 가장 큰 값을 보였고, 최근린보간기법이 가장 작은 값을 보였으며, 특히 불규칙삼각망(TIN)방법이 정확도측면에서 가장 효율적인 구축 방법임을 제시하였다.

1.3 연구방법 및 범위

GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저지형의 결정과 보간 기법에 따라 측정된 데이터 처리에 따른 준설물량을 비교·분석하기위해 <그림 1.1>과 같은 방법으로 연구를 수행하였다. 먼저 연구를 수행할 대상지역은 해저면의 지형과 효율적인 준설물량을 산정하기위해 현재 준설공사가 진행 중인 부산항내의 000 부두를 대상지역으로 선정하였다. DGPS의 참조점으로 활용되는 기준점을 정적 GPS 관측기법으로 두 점을 선점하였다. 또한 두 점을 기선으로 하여 DGPS의 정확도를 분석하기위해 5개의 검사점을 토탈스테이션을 이용하여 설치하였다. 정적 GPS로 측위된 기준점은 수심측량의 참조자료인 조위를 관측하기위한 기준으로 도 활용된다. 따라서 실험대상지역의 해상과 시통이 잘되는 가까운 위치에 설치되었다. 기준점과 검사점을 활용하여 DGPS의 정확도를 분석하였다. 해저지형을 산출하고 산출된 해저지형을 준설량으로 비교하기위해GPS와 Echo sounder 조합에 의한 두 번의 위치와 수심측량을 수행하였다. 획득된 위치와 수심데이터는 보간 기법에 따라 분석·비교하였으며, 보간 기법에 따라 산출된 해저면의 준설량은 두 번의 실험 기간동안 실제로 준설된 물량과 비교하여 위치와 수심측량으로 산출된 준설량 산정에 알맞은 보간 기법을 제시할 수 있다.



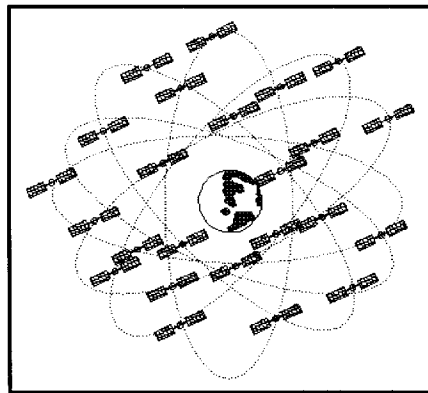
<그림 1.1> 연구방법 및 범위

2. 기본 이론

2.1 GPS 이론

2.1.1 GPS위성측량의 특성

인공위성측량시스템의 개발은 1950년대에 시작하였다. 처음에는 군사적인 목적이 강하고 정확도가 낮아 실용목적에 맞지 않아서 일반에 알려지지 않았으나 지속적인 연구와 개발, 기술의 발달로 최근에는 그 정확도가 높아지고 수신기를 간단하게 조작할 수 있어 점차 그 이용이 확대되고 있다.



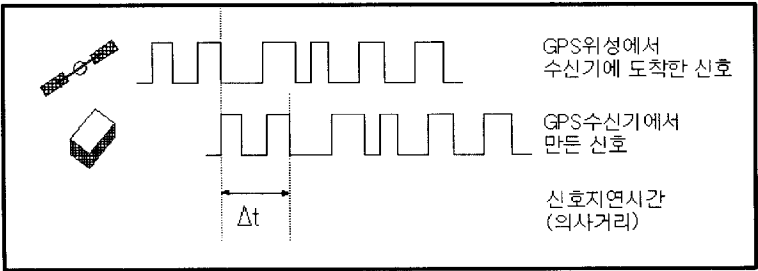
<그림 2.1> GPS위성의 배치

GPS는 미국 로스앤젤레스 공군기지에 설치되어 있는 합동프로그램사무소(JPO: Joint Program Office)의 책임 하에 계획 및 통제되고 있으며, 위성의 개발목적은 미군의 모든 군사적 목표에 대하여 지구상 언제, 어디서나 그들의 정확한 위치와 속도, 그리고 시간 등을 하나의 통일된 기준계에

의하여 중단없이 연속적으로 결정하고자 하는 전천후 위성체계를 구축하는데 그 목적이 있다. GPS의 구성은 제어부분(control segment)외에 우주부분(space segment), 사용자 부분(user segment)으로 되어 있다. GPS는 <그림 2.1>과 같이 궤도고도 약 20,200km 상공에서 총 24개의 위성과 3개의 보조위성이 6개 궤도면상에 적도면과 55도의 각도로 배치되어 있다.

2.1.2 GPS의 위치해석 원리

코드측정값은 <그림 2.2>와 같이 코드신호가 위성에서부터 수신기까지 도달하는데 소요되는 시간의 지연을 이용하여 계산한다. GPS위성과 수신기간의 범위가 의사시간 코드(Pseudo Timing Code)의 사용에 의해서 결정되는 기법이며, 수신기는 특정시간에 레플리카 코드(Replica Code)를 만들어낸다. 이때 생성된 코드는 교차상관(Cross Correlation) 방법에 의해서 위성신호와 비교된다. 교차상관은 위성으로부터 수신되는 신호와 수신기의 신호가 동일한 위상을 갖도록 이진배열을 순환시키는 기법이다. 이진배열의 이동과 함께 이동시작을 구할 수 있으며, 광속을 곱하면 두 지점간의 거리를 구할 수 있다.



<그림 2.2> 위치해석의 원리

반송파의 경우 위성에서 송신된 시간을 알 수 없으므로 2개 이상의 측량용 수신기로 GPS위성이 발송하는 C/A코드 및 L1, L2 전파의 위상(Carrier Phase)을 관측하여 상대측위를 행함으로서 관측점간의 기선 벡터를 구하는 것을 말한다. GPS위성은 두 가지의 다른 주파수의 신호를 동시에 발생시키는데 L1 반송파는 1575.42 MHz(154×10.23 MHz)주파수와 L2의 반송파는 1227.60 MHz(120×10.23 MHz)주파수로 전송된다. 이러한 반송파의 정보는 PRN(Pseudo-Random Noise)부호와 항법메세지(Navigation Message)로 이루어지며 각 위성마다 신호가 다르며 이진 부호로 구성되는데 매우 길고 복잡하기 때문에 신호 자체만 보았을 때는 의미를 파악할 수가 없다. 사실상 PRN 부호는 어떠한 규칙에 의해 만들어지는 불규칙한 이진 수열로써 위성까지의 거리를 측정하는데 사용되어진 것이다.

PRN 부호는 민간부문 항법에서 이용하는 C/A 코드와 군사적인 목적과 정밀측지용에 이용되는 P코드로 나누어진다.

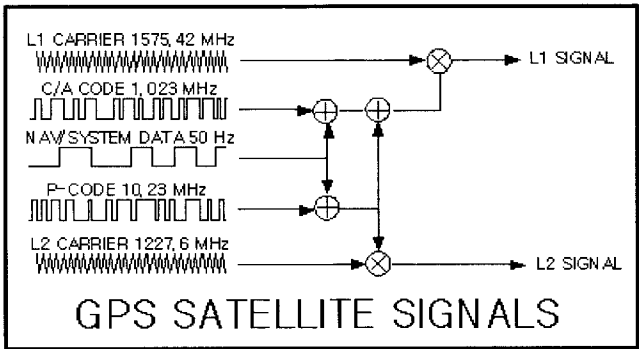
L1파에는 변조된 C/A코드와 P코드가 존재하며 P코드는 L2에서만 변조된다. C/A코드는 표준측위서비스(Standard Positioning Service ; SPS)를 제공하기 위하여 사용되고 P코드는 정밀 측위서비스(Precise Positioning Service ; PPS)를 처리하기 위한 과정으로 사용된다. 24개의 GPS 위성이 동일 주파수로 송신하면서 겹다가 전파가 얹히지 않게 송신되는 것은 의사잡음 신호에 의한 확산 스펙트럼(Spread Spectrum ; S.S) 통신방식이라는 기술 때문이다.

L1대의 반송파에는 C/A코드와 함께 P코드로도 변조되지만 그 때 단순히 양방향의 코드를 겹쳐서 반송파를 변조하지 않는다. 원래의 반송파를 두 개로 분리해서 한쪽은 다른 쪽에 대해 90° 의 위상차를 둔다. 즉, 한쪽이 sin파라면 다른 쪽은 cos파로 하는 것이다. 여기서 sin파 쪽은 C/A코드 및 항법메세지로 변조하고 cos파 쪽은 P코드로 변조하는 것을 직교변조(Quadrature)라고 하며 양쪽은 간섭하는 일없이 위성수신 안테나로부터

방사되는 것이다. L2대 쪽은 P코드밖에 실려있지 않기 때문에 직교변조는 수행할 수 없다.

반송파 위상(Carrier-Phase)은 부호 위상(Code-Phase)보다 매우 정밀도가 높은 반면에 장시간의 측정이 필요하고 특별한 소프트웨어가 필요하다는 단점이 있다. 부호위상 또는 반송파위상이라는 용어는 타이밍(Timing) 측정을 위해 이용하는 신호로 구분하며 부호위상에 비해 반송파위상의 파장이 좀 더 짧으므로 더 정밀한 위치측정이 가능하다.

<그림 2.3>과 같이 반송파의 진동수가 부호보다 높고 파장이 짧기 때문에 좀 더 정확히 의사거리를 측정할 수 있도록 도와주며 빛의 속도 300,000km/s를 이용하여 반송파의 파장을 계산하면 약 20cm 정도인데 만약 수신기가 한 파장의 1%까지 감지할 수 있다면 의사거리의 정밀도는 3~4mm까지 높아질 수 있다.



<그림 2.3> GPS 위성의 신호체계

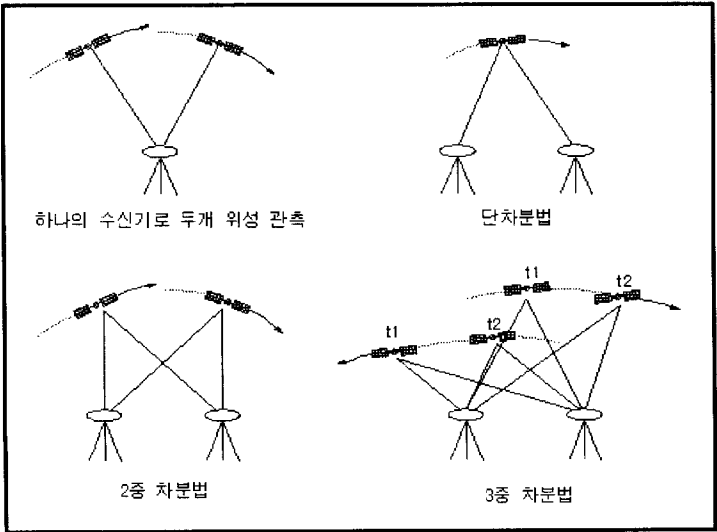
반송파를 이용하는 방법은 위성과 수신기간에 존재하는 반송파 파장의 수를 파악하는 작업이지만, 파장의 파형이 균등하므로 파장의 수를 판단하기가 복잡하지만 의사 난수 코드는 각 비트가 불규칙하므로 쉽게 수신기가 신호의 어느 부분을 감지하고 있는지 판단할 수 있다.

만약 수신기가 의사난수코드를 이용하여 1m까지 결정할 수 있다면 1m

안에는 단지 몇 개의 반송파 파장이 존재하기 때문이다. 이처럼 처음 몇 개의 반송파 안에 존재하는 위상의 수를 결정하는 것을 모호정수 결정 (Ambiguity Resolution)이라 부른다.

수신된 신호의 순간적 위상차를 사용하는 미분측위법을 사용하면 좀 더 정밀한 위치결정이 가능하다.

미분측위법은 m개의 수신기에서 n개의 위성에 대하여 p개의 관측시기 동안 관측하였다고 하면, 총 $m \times n \times p$ 개의 관측방정식이 형성된다. 이때 미지수는 $3 \times m$ 개의 측점좌표, $n \times p$ 개의 위성시계 오차, $m \times p$ 개의 수신기 시계 오차, $m \times n$ 의 정수치 불확정이 있다. 이때 GPS측량에서 최소 4대이상의 위성데이터를 수신하기 때문에 많은 관측방정식과 미지수가 생기게 되는데 이러한 방정식을 동시에 푼다는 것은 쉬운 일이 아니다. 실제적인 방법에서는 한 방정식에서 다른 방정식을 빼는 방법으로 각 관측방정식의 미지수의 수를 줄이는 방법을 행한다. 이러한 미분측위법에는 <그림 2.4>와 같이 단차분법, 2중 차분법, 그리고 3중 차분법의 세 가지가 있다.



<그림 2.4> 미분측위법

2.1.3 GPS 측위원리

GPS측위는 위성과 수신기의 의사거리를 구하고 이 값에 대해서 각각의 보정 정보를 덧붙여 거리를 관측하며 시간은 GPS시(GPS Time)라 불리고, 어떤 시점을 경계로 독자적인 시계를 만들고 있다.

우리가 현재 사용하고 있는 시계는 UTC(Universal Time Coordinated) 협정 세계시라고 불리고, 한국은 이 시계로부터 9시간을 더한 시간을 대한민국 표준시로 하고 있다. UTC는 시간 보정을 수행하지만 GPS시는 보정을 하지 않고 항상 일정하게 시간이 결정되고 있다. 따라서 UTC와 GPS시의 사이에는 항상 일정하지 않다. 3개의 위성으로부터 의사거리를 구하면 2차원 측위가 가능하게 되지만, 동시에 4개의 위성을 이용할 경우는 3차원 측위, 경도, 위도, 고도와 시간이 구해진다.

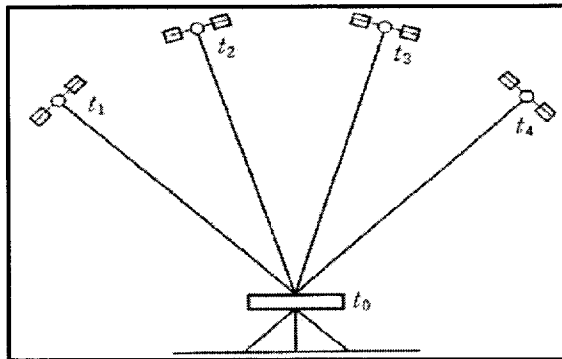
1) 절대측위

절대측위 방식에서는 동시에 4개의 GPS위성이 필요하며, 위성으로부터의 전파신호에 포함되는 궤도정보나 그 밖에 위치계산에 필요한 정보(전리층, 위성시계의 수정치 등)를 해독하고 신호의 도달시간 측정값을 근본으로 미지점의 위치를 계산한다. 절대측위 방식으로 정확한 위치를 결정하기 위해서는 우선 이용자의 수신기시계와 위성의 시계를 일치시키며 각각의 위성까지의 측정된 의사거리를 반경으로 하는 4개의 구면은 한 점에서 만난다. 이렇게 하므로써 미지점의 위치를 알 수가 있다.

절대측위에서 가장 좋은 위성배치조건이 상대측위에서는 좋지 않으며 PDOP(Position Dillution of Precision)의 변화가 클때가 유리하다. 변화가 크기 위해서는 PDOP값은 큰 것이 필요하다.

절대위치측정의 방법으로는 정확도가 낮아 항공기, 선박 등의 항해에 주로 이용된다.

절대위치측정의 방법은 코드거리에 의한 방법과 전송위상에 의한 방법이 있는데 코드거리에 의한 방법은 <그림 2.5>와 같이 시간t에서 코드의 사거리를 식(2.1)에서부터 다음과 같이 모형화한다.



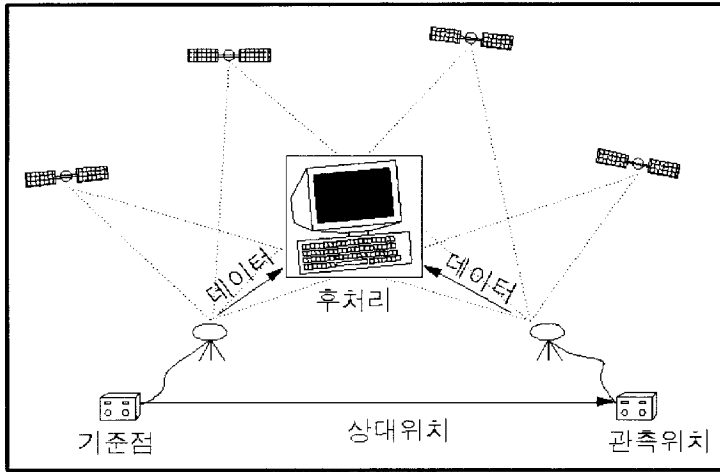
<그림 2.5> 절대측위

$$R_i^j = \rho_i^j(t) + C \times \Delta\delta_i^j(t) \tag{2.1}$$

여기서 $R_i^j(t)$ 는 관측점 i와 위성점 j에 관측된 코드의사거리, $\rho_i^j(t)$ 는 위성과 관측점간의 기하학적인 거리를, C는 광속을, 그리고 $\Delta\delta_i^j(t)$ 는 GPS시간에 대한 위성 및 수신기시계의 편차를 나타낸다.

2) 상대측위

상대측위에서는 <그림 2.6>에 나타나 있듯이 기선의 양끝에 있는 수신기에 의해서 위성으로부터 거리의 차이를 측정한다. 각각의 수신기에서는 거리의 일부 또는 거리와 관계된 양을 측정하며 위성의 위치와 기선의 길이 및 방향에 의해서 측정되는 거리차를 행로차(Path Difference)라 부른다.



<그림 2.6> 후처리방식의 상대측위

상대측위에서 높은 정도를 얻을 수 있는 이유는 GPS위성으로부터의 L1 대의 반송파의 위상을 측정하므로 수신기로서는 mm의 분해능력을 가지며, 위성의 궤도정보 오차나 대기의 영향 등이 상쇄되는 것과 장거리 측량시에 전리층의 영향 보정이 가능하다.

상대측위 기법에 의해 측량을 하는 경우 측량의 목적과 요구 정밀도에 따라 크게 후처리 방식과 실시간 처리방식으로 나눌 수 있다. 후처리방식은 <그림 2.6>과 같이 GPS수신기를 기준점 및 관측점에 설치하여 GPS위성이 반송하는 코드자료와 반송파 위상자료를 수신한 후, 실내에서 GPS측량 소프트웨어로 계산, 처리하는 방식으로 정지측량(Static Survey), 이동측량(Kinematic Survey), 고속정지측량(Fast Static Survey)으로 분류할 수 있다. 정지측량은 기준점 측량에 주로 사용되고, 이동측량은 지형측량에 주로 사용된다. 실시간 이동측위 방식은 기지점의 보정정보를 실시간으로 미지점에 보내주는 것이 후처리 DGPS와 다르다고 할 수 있다. 즉 일반 GPS측량에 무선통신을 이용하여 보정정보를 알려줌으로써 두 점간의 거리, 방위, 고도차를 실시간으로 측량할 수 있는 측량방식이다.

2.2 음향측심(Echo Sounding)

하천, 호소, 해양 등의 수심을 측정하는 방법은 현재까지 수많은 방법이 개발되고 사용되어지고 있다. 재래식 연추(Lead) 줄자에서부터 위성에 의한 측심에 이르기까지 그 방법은 사용용도나 정밀도에 따라 매우 다양하다. 그러나 측량용 측심방법은 주로 음향측심기(Echo Sounder)를 이용하거나 다중빔음향측심기(Multibeam Echo Sounder)를 이용한다. 여기서 사용된 음향측심법은 연속된 초음파를 수면 아래로 발사하면 해저에서 반사된 초음파가 다시 같은 경로를 통하여 발사점에 되돌아 오는 원리를 이용하여 측심선상의 수심을 기록함으로써 해저지형을 파악하게 되며, 수평위치와 결합하면 등심선으로 표시할 수 있다.

2.2.1 음향측심의 원리

음향 측심은 측심봉(Transducer)의 송신음파와 수신음파의 시간의 간격을 측정하고, 음파의 해수중의 전파속도가 주어지게 되면 식(2.2)에 의해 수심이 구해진다.

$$D = \frac{1}{2} \cdot t \cdot V \quad (2.2)$$

여기서, D : 수심(m)

t : 측정된 시간(sec)

V : 해수 중 음파의 평균전파속도(m/sec)

음향측심기에 의한 수심의 측정정확도를 높이기 위해서는 위의 식에서

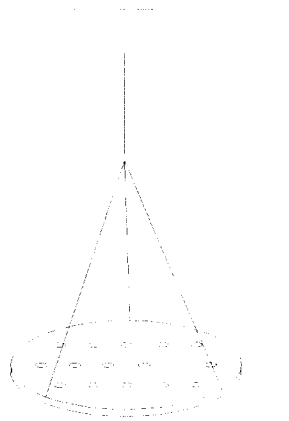
t를 보다 정확히 측정하고, 측심시의 측정지점에서의 실제의 V를 얻는 것이 필요하다. 일반적인 음향측심기는 가정 음속 $V = 1500 \text{ m/sec}$ 를 기준으로 하여 설계되며, 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 변하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측당시의 실제 음속을 구하여 음속보정을 해주어야한다. 그리고 측심값을 평균해수면의 값으로 환산하는 조석보정, 측심시 측심봉과 수면과의 차이를 고려하는 홀수보정 등이 필요하다.

2.2.2 음속도의 보정

음속보정의 방법은 바-체크에 의한 방법, 해수의 염분, 온도를 측정하여 계산으로 보정식을 구하는 방법 및 속도계로 직접음속도를 구하는 방법 등이 있다.

1) 바-체크(Bar-Check)에 의한 보정방법

항만, 연안측량, 준설 및 매립등 천해역에서의 측심에 있어 음속도 보정은 바-체크에 의한 방법이 가장 적당하다. 바-체크에 의한 방법은 그 사용기구가 매우 간단하고 작업도 매우 쉽다. 이 방법은 유속이 적고, 수심 30~50m 미만의 측심시에 채용된다. 바-체크에 필요한 기구는 반사판과 그것을 매달아 내리는 와이어로 구성된다. 소형측량정에서 사용되는 반사기는 두께 0.5~1 cm, 지름 50~70 cm의 원형판을 주로 사용한다. 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 2.7>은 바(Bar)판을 나타낸 것이다.



<그림 2.7> Bar-Checker

바-체크는 측심 당일의 작업개시전과 작업 완료시에 하는 것이 원칙이다. 작업 중에 측심기를 수리할 경우에는 다시 「바-체크」를 하지 않으면 안 된다. 실시하는 장소는 유속이 적고, 해류나 조류가 강하지 않은 곳이 적당하며, 흐름이 강하면 측정이 불가능하고, 송수파기의 수직방향이 나오지 않기 때문에 측정 오차가 증대한다.

2) 수온, 염분, 수압 자료에 의한 음속도 보정

바-체크작업의 실시는 수심 50m~60m가 한도이며, 그보다 깊은 곳에서는 해류, 조류, 바람 등에 의해 바-체크가 송신파기의 직하에 머물러 있지 못하기 때문에 바-체크에서의 반사기록을 얻지 못하게 된다. 따라서 측량해역의 최심부에서 수온, 염분 및 수압의 각 층을 관측하고 여기서 얻어진 자료로부터 음속보정식(V_s)을 구하게 된다. 해수중의 음파의 전파속도는 이미 언급한 바와 같이 수온, 염분 및 수압에 의해 변화하며, 그의 관계는 식(2.3)과 같다.

$$V_S = \frac{1}{D} \left\{ \int_0^D V_{35, 0, p} \cdot dD + \int_0^D C_G \cdot dD + \int_0^D (C_S + C_t + C_{SP}) \cdot dD \right\} \quad (2.3)$$

단, $V_{35, 0, p}$: 염분, 35‰ 수온 0℃의 해수 중에서 각 수압에 대한 음속도
(m/sec)

C_G : 중력에 대한 수정식

C_S : 염분(‰)

C_t : 수온(℃)

C_{SP} : 염분, 수온, 수압의 3요소가 동시에 관계하는 수정식

수심 D 는 평균음속도를 V_m , 음파의 주기시간을 T 라 하면 다음 식(2.4)으로 주어진다.

$$D = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot T \quad (2.4)$$

또 임의의 깊이에서 음속도를 V 로 하면

$$D = \frac{1}{2} \int_0^T V_{dT} \quad (2.5)$$

와 같다. 식 (2.4)과 식(2.5)에 의하여

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T V_{dT} \quad (2.6)$$

로 표시된다. 따라서 지금 어떤 일정의 깊이(두께)를 가진 층을 생각하고,

이 중에는 음속도 V_e 는 일정이라 가정하여 층의 두께를 dD 라 하면, 심도 D 에 있어서 평균음속도는 V_m 은

$$V_m = \frac{1}{T} \sum V_e dt \quad (2.7)$$

로 표시되며

$$\begin{aligned} dt &= \frac{dD}{V_e} \sum T = \sum dt = \sum \frac{dD}{V_e} \\ V_m &= \frac{1}{\sum \frac{dD}{V_e}} \sum V_e \frac{dD}{V_e} = \frac{D}{\sum \frac{dD}{V_e}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

로 된다. 따라서 측득수심의 보정치는 다음과 같이 구하게 된다.

$$D_0 = \frac{1}{2} V_a T, \quad D = \frac{1}{2} V_m T, \quad V_m = \frac{D}{\sum \frac{dD}{V_e}} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} corr &= D - D_0 = \frac{1}{2} (V_m - V_a) T \\ &= D \left(\frac{1 - V_a}{V_m} \right) \\ &= D - V_a \sum \frac{dD}{V_e} \end{aligned} \quad (2.10)$$

여기서, D_0 : 측득수심(m),

V_m : 평균음속도(m/sec)

D : 진수심(m),

V_e : 각 층의 음속도(m/sec)

dD : 각 층의 두께(m) T : 음파의 전파소요시간(sec)

V_a : 가정음속도(1500 m/sec), $corr$: 수심보정식

그러나 $D = \sum dD$ 에 의해

$$\begin{aligned} &= \sum dD - V_a \sum \frac{dD}{V_e} \\ &= \sum \left\{ dD \left(\frac{V_e - V_a}{V_e} \right) \right\} \end{aligned} \quad (2.11)$$

즉, 각 층마다의 보정식 $\left(\frac{V_e - V_a}{V_e} \right)$ 을 계산하여 적산하면 심도마다의 보정식을 구할 수 있다.

3) 조석보정

연안 측심의 경우에는 음향측심에서 얻어진 수심치에서 그 측심 시의 조고를 감하여 평균해수면의 값으로 환산된 수심치로 통일하게 된다.

조석보정 방법으로는 측심시간을 측정하여 조위표를 이용하여거나 연안의 경우 정밀 레벨을 이용하여 조위관측을 행하여 시간대별로 측심값에 보간하여 사용한다.

그러나 해도측량이나 수로측량과 달리 해저 및 하상의 3차원 지형도를 획득하기위한 측량에서는 평균해수면상의 수준점을 기지점으로 사용하면서 조석보정 없이 3차원 지형도를 평균해수면에 대한 값으로 환산할 수 있다.

4) 흘수보정

송수파기(Transducer)는 수면으로부터 일정한 깊이에 잠겨있으므로 음

향 측심기록에 이 흘수량을 더해 주어야 한다. 천해용 측심기에서 흘수량은 일반적으로 0.6~0.8m 정도이다.

흘수량은 일반적으로 음향 표적법을 통하여 구한다. 측량선은 수평으로 유지하며 송수파기 아래로 1m 단위로 2m이상(보통 4m)의 위치에 음향 표적을 놓고 그 기록지를 대조하여 흘수량을 구한다.

5) 해저의 이상기록

자연 해저의 대부분은 평편하여 변화가 적으나, 암이나 산호 등의 해저는 열외이며 매우 변화가 많기 때문에 음향측심기의 기록상에도 복잡한 형태로 나타난다. 또 준설 등의 인공적인 해저도 역시 복잡하게 된다. 특히 천해에서 수로측량을 위한 측심에서는 측심기록의 잘못된 처리로 큰 사고의 원인이 될 수 있으므로 충분한 주의가 필요하다. 100~200m안 수심에서 사용되는 음향측심기의 주파수는 100~200kHz이고, 심해용은 10~20kHz 이므로, 거의 1자리만큼 주파수가 낮다. 보통 음향신호의 주파수가 높을수록 특, 파장이 짧을 수록 작은 반사체에서의 반사효율이 좋다. 따라서 해저에서가 아닌 반사가 기록되는 것은 천해용 음향측심기에 의한 경우가 거의 전부를 차지하고 있다.

2.3 공간보간법

공간보간법은 관측을 통해 얻어진 관측값을 이용하여, 관측이 실행된 영역내에서 조사되지 않은 변수값을 평가하는 과정이다. 표면을 정확하게 표현하는 수치고도모형(Digital Elevation Model : DEM)으로부터 몇 개의 점을 선택하는 과정과는 반대로 진행된다.

보간법의 적용은 두 가지 경우에 필요하다. 자료 기준점으로부터 DEM 절점을 유도하는 경우와 DEM이 완결된 후에 DEM 자료가 응용될 때 발생한다.

지형공간정보체계에서 공간보간법의 사용목적은 다음과 같다. 첫째, 도형적으로 자료를 영상면에 출력하기위한 등고선을 제공하기 위해 사용된다. 둘째, 주어진 점에서 몇 가지 표면성질은 계산하기 위해서 사용된다. 셋째, 다른 층에서 다른 자료구조를 사용할 때 비교의 단위를 변환하고, 넷째, 공간보간법은 자연지리 및 인문지리, 광물탐색 및 탄화수소개발과 관련된 학문분야의 공간의사 결정과정에서 사용된다.

공간보간법 기술 대부분은 원래 연속시간분석을 위해 발전되어 온 일차원 방법을 이차원적으로 발전시킨 것이다.

2.3.1 보간법의 분류

1) 점 보간법과 면 보간법

(1)점 보간법

점에 기초한 보간법은 기지의 값인 점위치가 주어진다면, 임의의 위치에 있는 다른 점의 값을 결정한다. 기상관측소 관측값, 점표고, 유정관측값, 공극비 관측과 같은 점 위치에서 수집되어질 수 있는 자료를 처리하는데

사용된다.

보간된 격자점은 전산기 등고선 작성을 위한 연산법에 대한 자료로 입력된다. 일단 점의 격자가 결정되어 졌다면, 등고선은 각 격자쌍 사이의 직선에서 선형보간법을 사용하여 이들 사이를 연결한다.

점 대 점 보간법은 GIS에서 수행되는 공간보간법 중 많이 사용되는 형식이다.

(2) 선 대 선 보간법

선 대 선 보간법은 표고격자간의 등고선에 대한 보간법을 말한다.

(3) 면 보간법

자료영역의 한 집합에서 지도화되는 자료집합은 표적영역의 다른 집합에 대한 자료의 값을 결정한다. 예를 들어 주어진 인구수는 국세조사표준 구역에 대해서 계산되며, 선거구역에 대한 인구를 추정한다.

2) 전역적보간과 국소적보간

전역적보간은 전체면을 가로질러 지도화되는 하나의 함수를 결정한다. 전역적보간에서 한 입력값의 변화는 전체지도에 영향을 미친다. 경향표면 분석, 푸리에급수를 이용한 보간법은 전역적 보간법의 대표적인 예이다.

국소적보간은 전체점집합의 작은 부분에 반복적으로 연산법을 적용하는 방법을 사용한다. 국소적보간에서 입력값의 변화는 대상영역안에서의 결과값에만 영향을 미친다. B-스플라인은 국소적 보간법의 대표적인 예이다.

다른 몇 가지 보간은 집합에서 자료점의 큰 부분을 포함하게 되며, 이러한 부분을 전역적으로 처리하게된다. 그러므로 전역적보간과 국소적보간사이의 구분은 연속적인 것이지 이분법적인 구분은 아니다.

3) 엄밀보간과 근사보간

엄밀보간은 아래의 사항과 같은 보간의 기초가 되는 점들에 중점을 둔다.

첫째, 표면은 값이 알려진 모든 점을 통과한다. 둘째, 값을 가진 자료점은 정유산업과 같은 적요에 있어서 중요한 특징으로 간주된다. 셋째, 인접보간, B-스플라인과 Kriging 방법 모두는 주어진 자료점에 값을 준다.

근사보간은 주어진 표면값에 대해서 몇 가지 불확실한 것이 존재할 때 사용된다. 근사보간은 많은 자료집합에 전역적인 경향이 존재한다는 근거를 이용하여, 이러한 전역적 경향은 매우 완만하게 변한다. 국소적인 변화에 의해서 지배받는다면, 이러한 국소적 경향은 급격히 변화하며 기록된 값에서 오차를 만들게 된다. 그러므로 평활화의 효과는 결과로 나오게 되는 표면에서 오차영향을 감소시킨다.

4) 추계학적보간과 결정론적보간

추계학적방법은 무작위성의 개념을 사용한다. 보간된 표면은 관측되어 왔던 많은 표면중의 하나로써 개념화되며, 이들 모두는 기지의 자료점을 만들 수 있다. 추계학적 보간은 경향표면분석, 푸리에 분석과 크리징을 포함한다. 경향표면분석과 같은 처리과정은 표면의 통계학적 중요성과 계산되는 예측값의 불확실성을 허용한다. 반면에, 결정론적 방법은 확률이론을 사용하지 않는다.

5) 점진보간과 급격보간

점진보간의 전형적인 예는 거리 경중를 이동평균이며, 일반적으로 점진적 변화를 가진 보간된 표면을 만든다. 그러나 이동평균에서 사용되는 점의 수가 적어진다면, 또는 하나일지라도 표면에서 급격한 변화가 생긴다.

보간과정에서 경계를 포함하는 것이 필요한 것이다. 예를 들어, 기후전

선과 같은 반투수성 장애물은 급격히 변화 하지만 연속적인 값을 만들어 낸다. 반면에 지질학적인 문제인 불투수성 장애물은 급격한 변화를 일으킨다.

2.3.2 Kriging 보간기법

Kriging 보간기법은 Georges Matheron과 D.G. Krige에 의해 개발되었다. 이 보간법의 기초는 점들 사이의 분산이 공간에 걸쳐 변화하는 비이다. 이것은 점에서의 값 사이의 평균차가 점 사이의 거리에 따라 어떻게 변화하는가를 보여주는 분산도로 표현된다.

크리징 보간법은 연구대상인 토양속성의 공간적 변이가 추계학적 표면에 의해서 모형화될 수 있다고 가정한다. 추계학적 표면으로 변화하는 속성은 영역화된 변수라 불리며, 이러한 영역화된 변수는 본질적인 가정을 만족시킨다.

영역화된 변수이론에 의하면 임의 변수의 공간적 변이는 세 가지 주요한 요소의 합으로 표현될 수 있다. 세 가지 주요한 요소는 일정한 평균값 또는 다항식 경향과 관계되는 구조적 요소, 공간적으로 상관되는 무작위 요소, 공간적으로 상관되지 않는 잔차이다. 1, 2 또는 3차원에서의 위치를 x 라 하면, x 에서 변수 Z_i 는 다음 식에 의해서 구할 수 있다.

$$Z_i(x) = m(x) + \delta(x) + \delta \quad (2.12)$$

여기서, $m(x)$ 는 x 에서 Z_i 의 구조적 요소를 표현하는 결정론적 함수이다. $\delta(x)$ 는 $m(x)$ 로부터 국소적으로 변화하는 공간종속 잔차를 추계학적으로 표현하는 항이며, 0의 평균과 분산 σ^2 을 가지는 공간독립 노이즈항인

δ 은 잔차를 나타낸다. 문제를 단순화하기 위해서, 여기서는 $m(x)$ 가 일정하다고 가정하면, 공간에 걸쳐 무작위 함수 $\delta(x)$ 의 변이는 h 의 표본분리에 대해서 아래 식과 같이 주어지는 반분산에 의해 요약된다.

$$\gamma(h) = 1/2E[Z_{x+h} - Z_x] \quad (2.13)$$

일차원적 횡단에 대해서, 래그 h 의 반분산은 아래 식에 의해서 관측된다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(n-h)} \sum_{i=1}^{n-h} [Z_{\delta+h} - Z_{\delta}]^2 \quad (2.14)$$

여기서, h 는 표본위치 Z_i, Z_{i+h} 의 $(n-h)$ 쌍 사이의 거리이다. 함수는 2차원 또는 3차원에 존재하는 표본위치에 대한 비등방성을 결정하는 것에 대해서 추정될 수 있다. $\gamma(h)$ 를 h 로 변환하는 도표를 실험적 분산도라 한다. 반분산속성값이 표면건본위치 지정에 따라 변화하는 방식을 표현하기 위해서, 경험적 분산도를 이용하여 다양한 이론적 모형에 적용시킬 수 있다.

2.3.3 이동평균과 거리경중률 평균

이동평균과 거리경중률 평균을 통해서 얻은 산정값은 n 개의 기지점에서 얻은 값의 평균이며, 이에 대한 식은 아래와 같다.

$$z = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w_i} \quad (2.15)$$

여기에서 w 는 아래와 같은 거리 함수이다.

$$w = 1/d^k \quad \text{혹은} \quad w = e^{-kd}$$

이 식은 무한히 많은 연산법이 사용될 수 있으며, 거리함수의 특성, 사용되는 점의 수의 변화, 점이 선택되는 방향등을 포함한다.

이동평균과 거리경중률 평균은 가장 광범위하게 사용되는 방법이다. 이 방법에 대한 문제점은 보간된 값의 범위가 자료의 범위에 의해 제한된다는 것이다. 보간되지 않은 값은 z 값의 관측된 범위 밖에 존재하게 되며, 보간된 값은 z 값의 관측범위 밖에는 존재하지 않는다.

또한, 이동평균과 거리경중률 평균법은 평균값을 내기 위한 점의 수, 불규칙한 분포를 가지는 점, 경계효과를 처리하는 등에 대한 문제점을 포함하고 있다.

2.3.4 최근린 보간법

최근린 보간법은 DTM자료기반구축에서 임의로 분포된 실측자료점을 이용하여 격자형 자료를 생성하거나, 인공위성영상의 기준점자료를 이용하여 영상소를 재배열할 경우에 사용된다. 출력데이터의 최근린을 결정하기 위해 영사소의 수정좌표(x_0, y_0)를 역변환행렬을 사용하여 원좌표계로 다시 바꾼다. 재변환된 좌표(x_r, y_r)는 공일차보간법과 공삼차보간법에서도 사용된다.

최근린 보간법을 사용하는 경우의 장점은 다음과 같다.

첫째, 재배열의 최근린보간법은 원래의 자료값을 다른 방법들처럼 평균하지 않고 바꾼다. 그러므로 자료값의 최대값과 최소값이 손실되지 않는다. 최근린 보간법은 최근린을 사용하는 공일차보간법과 공삼차보간법보다 계산하기가 쉽고 빠르다. 둘째, 최근린 값은 GIS파일에 적당하며, 질적·양적체계에 기초한 자료 파일값을 가질 수 있다.

공일차보간법과 공삼차보간법에서 행해지는 평균값을 이용하는 방법은 질적 등급체계에는 알맞지 않다. 그러나 크기가 작은 격자를 재배열하는데 최근린보간법을 이용하면 사선과 곡선주위에 상승계단 효과가 생긴다는 단점을 가지고 있다.

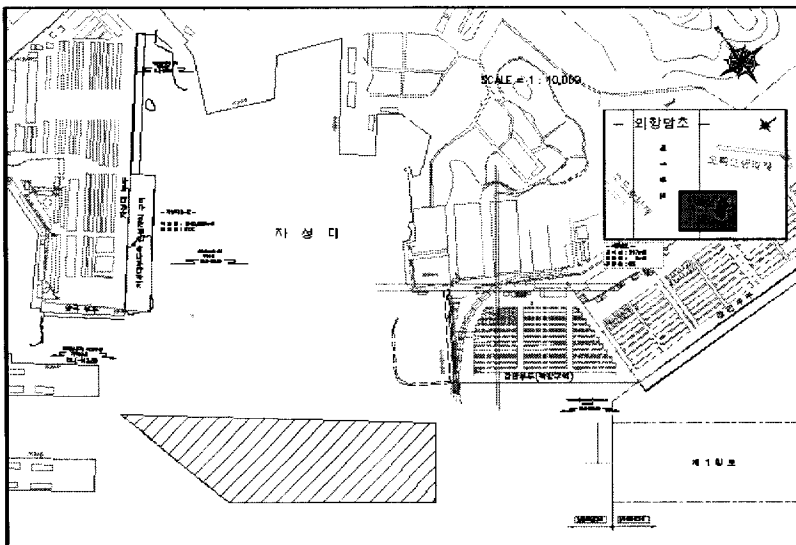
3. 현장실험

3.1 관측대상지역 및 관측장비의 구성

3.1.1 관측대상지역

GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저면의 지형과 효율적인 준설물량을 산정하고 그 결과를 전산화 하여 효율적인 공사관리에 이용하는데 목적을 두고 현재 준설공사가 진행 중인 부산항내의 000 부두를 대상지역으로 기준점측량, 검사점측량, 수준측량, 그리고 위치와 수심측량을 수행하였으며, <그림 3.1>은 실험대상지역을 나타내고 있다.

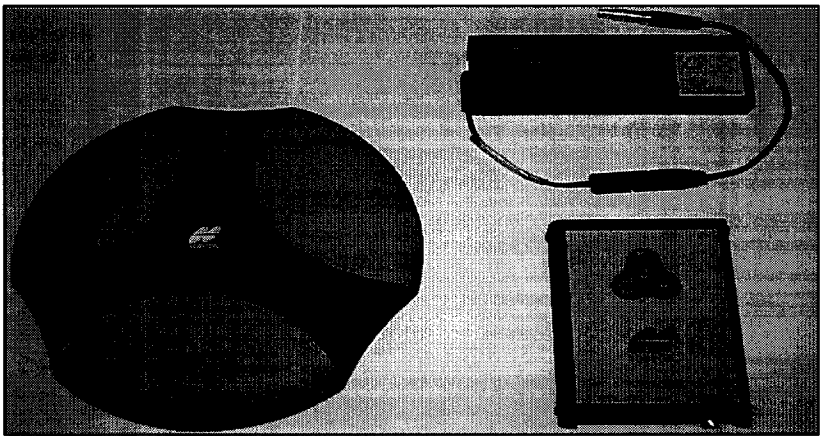
관측구역과 시통이 잘되는 육상구조물위에 GPS의 참조점과 수심측량의 참조자료인 조위관측을 위해 활용될 기준점을 측설 하였으며, 5개의 검사점 또한 측설 하였다.



<그림 3.1> 관측대상지역

3.1.2 관측장비의 구성

본 연구에 사용된 관측장비는 GPS, Echo sounder, Total station을 사용하였다. GPS 측위와 기준점 측정에 필요한 GPS 수신기는 JAVAD사의 GPS 수신기를 사용하였으며, 이 수신기는 L1/L2 C/A 코드와 P코드 및 반송파 위상을 수신할 수 있다. 장비의 모습은 <그림 3.2>와 같으며, 제원은 <표 3.1> 과 같다.



<그림 3.2> GPS 수신기의 형상

<표 3.1> GPS 수신기의 제원

Characteristics	Receiver	Antenna
Type	Legacy(JAVAD)	LegAnt
Tracking Channel	40 L1 channels 20 L1/L2 channels GPS/GLONASS	
Signals Tracked	L1/L2 C/A and P-code and Carrier phase	
Accuracy	Horizontal Static 3mm+1ppm (×D) for dual frequency Rapid static 5mm+1ppm (×D) fo Single frequency kinematic 10mm+1.5ppm (×D) for dual frequency RTK (H) 10mm+1.5ppm (×D) for dual frequency (V) 20mm+1.5ppm (×D) for dual frequency	

3.2 기준점 및 GPS 검사점 측설

3.2.1 GPS 기준점 설치

1) 선점

본 연구에서 GPS 측위에 필요한 기준점 설치를 위한 기준점의 선정은 다음과 같은 기준을 정하여 선점하였다. 첫째, 선점기준으로는 향후 인접 토목공사에서의 활용이 가능한 점으로 부대토목공사 시에 기준점으로 사용이 가능하도록 하고, 수평선으로부터 15도 이상의 시계를 확보할 수 있는 점을 선택하였다. 둘째, 선점의 위치는 반영구적이며, 경사변화가 없는 곳으로 선점하였다. 셋째, GPS 측위에 필요한 점이므로 가능한 전파에 영향이 적은 현장과 시통이 잘되는 곳에 선점하였다.

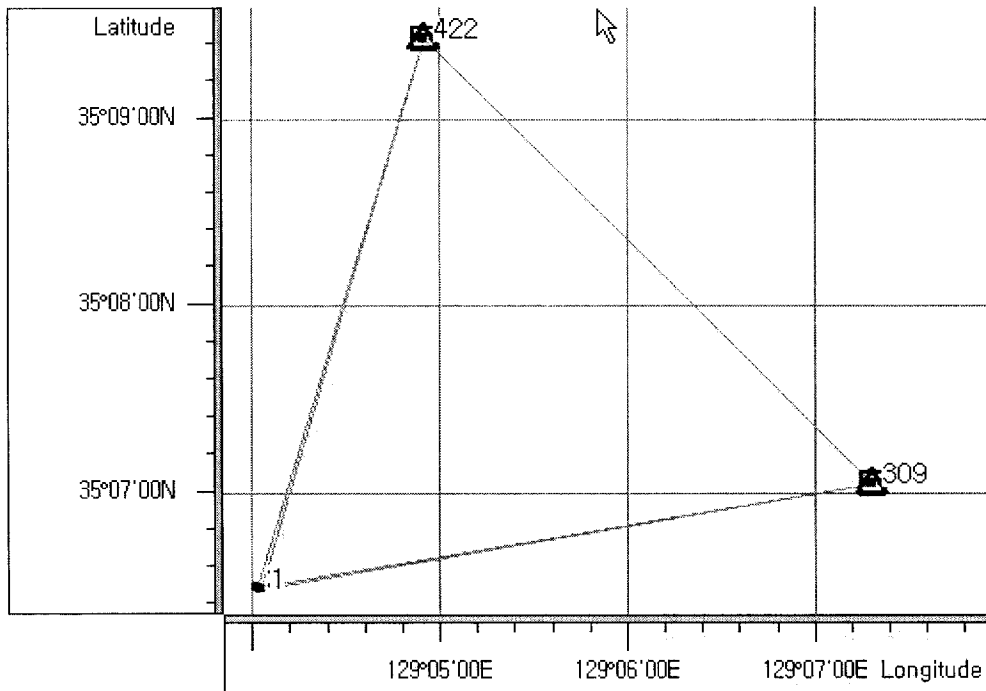
2) 기준점측량

기준점 측량을 위해 인접지역 내에 설치된 삼각점 황련산(422)과 장지산(309)을 기점으로 정지측위(static)법으로 측정하였다. Epoch 간격은 5초이며, 2시간동안 측정하였다. 그 성과는 국토지리정보원에서 고시된 성과를 이용하였다. 그 결과는 <표 3.2>와 같으며, GPS에 상용되는 WGS84 좌표와 동부원점을 기준으로 한 좌표이다.

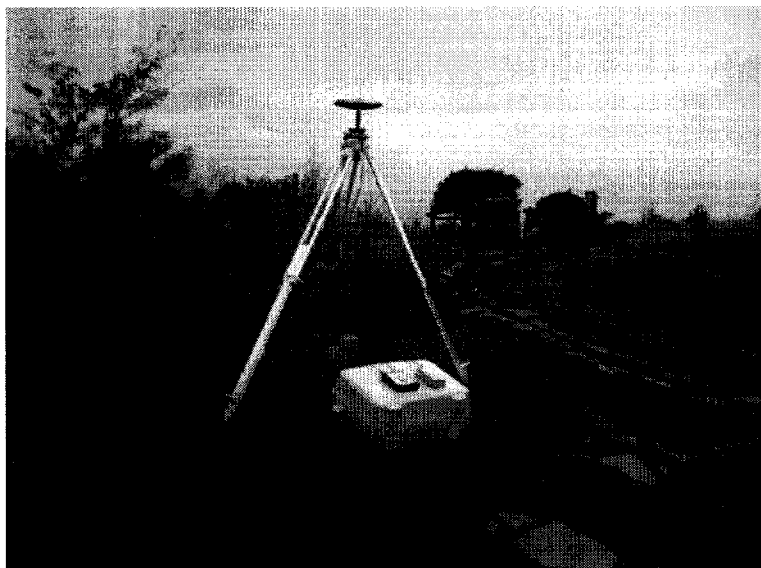
기선해석에 사용된 S/W는 TOPCON사에서 제공된 Pinnacle을 사용하여 기선해석 후 기설삼각점 두 점($\Delta 309$, $\Delta 422$)을 고정으로 하여 망조정을 실시하였다. 망조정된 기선의 모습은 <그림 3.3>에서 볼 수 있다. <그림 3.4>은 GPS 기준점 측량에 사용된 장지산($\Delta 309$)의 모습이며, <그림 3.5>는 연구대상지역의 설치기준점의 GPS 측위 모습을 나타낸다.

<표 3.2> 망조정 계산에 의한 조정된 그리드 좌표와 WGS84좌표

Point name	대한민국 동부원점			WGS84		
	Northing	East	Height	Latitude	Longitude	Height
1	178765.5362	206094.8237	2.9273	35°6′28.64828″	129°4′02.94091″	2.9273
2	178801.0834	206061.4079	2.1115	35°6′29.80247″	129°4′01.62234″	2.1115
309	179821.0906	211051.9436	224.6000	35°7′02.74852″	129°7′18.73472″	224.6000
422	184236.8096	207407.7806	427.6300	35°9′36.15294″	129°4′54.96187″	427.6300



<그림 3.3> 기준점의 해석결과



<그림 3.4> 장지산의 GPS 측위 모습



<그림 3.5> 관측대상지역의 GPS 기준점 측위 모습

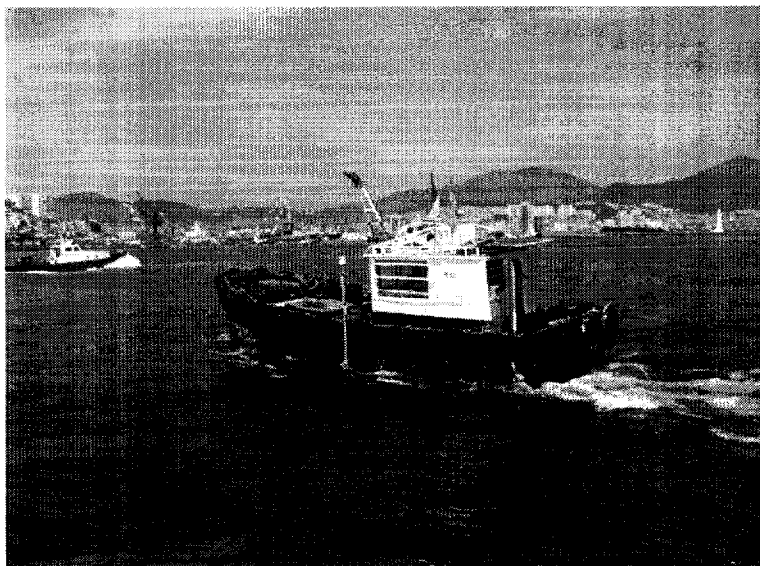
3.2.2 검사점 설치

GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저면의 지형과 준설물량을 산출하기 위한 평면위치를 결정은 GPS의 측위를 이용하여 결정하게 된다. 이러한 평면위치의 결정은 GPS의 측위기법에 따라 다른 정밀도로 산출하게 되며 따라서 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저면의 지형측량에 앞서 GPS측위의 정확도를 검사할 기준점이 필요하다. 정적 GPS 측위로 관측된 2개의 기준점에서 T/S를 이용하여 5개의 추가적인 검사점이 설치하여, GPS 평면위치 정확도를 분석하였다. 현장내의 2개의 기준점과 5개의 검사점은 육상구조물과 해상의 방파제구조물위에 설치하였다.

3.3 위치 및 수심측량

3.3.1 위치 및 수심측량

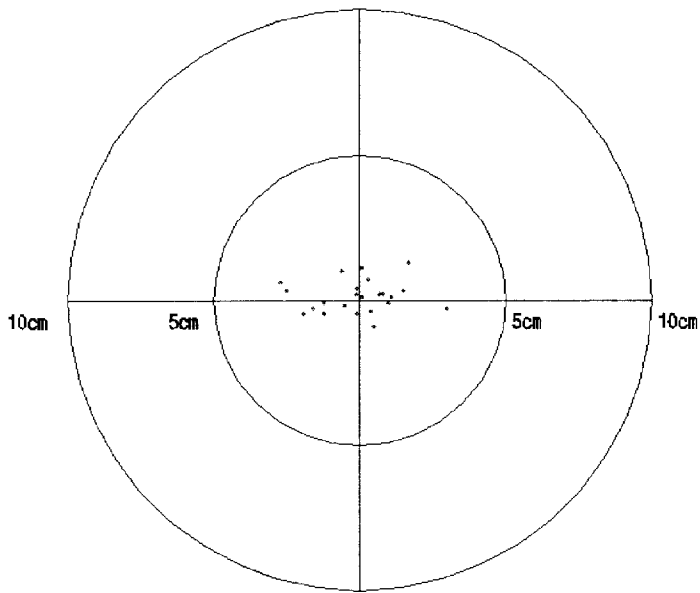
본 연구에서 수심측량의 가장 기본이 되는 해상에서의 위치데이터와 수심데이터를 신속하고 정확하게 수집하기위해 정밀 RTK-GPS와 천해용 음향측심기(Echo sounder)를 이용하여 위치와 수심을 실시간으로 측정하였고, 이와 동시에 데이터를 컴퓨터 소프트웨어가 저장하는 방법을 택하여 측정하였다. 수심측량에 사용되는 위치데이터는 50cm 이내로 규정하고 있지만, RTK GPS는 센티미터 이하의 정밀도를 제공하므로 정확한 위치결정이 가능하다. 주 수심은 20m 간격으로 실험대상면적 약 444,432.04 m²를 예정항로를 따라 측량선박을 운행하여 측량을 실시하였다. <그림 3.6>은 RTK GPS와 Echo sounder 조합에 의한 위치 및 수심을 측정하는 모습을 나타내고 있다.



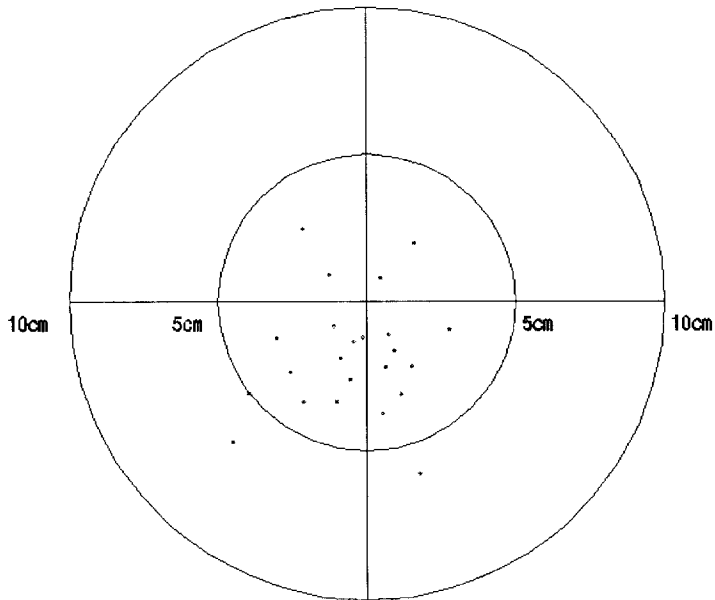
<그림 3.6> GPS/Echo sounder 조합에 의한 선박의 측위모습

3.3.2 GPS 정확도 분석

GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저면의 지형측량에서 평면의 위치를 결정하기위해 2개의 GPS 기준점과 이를 이용하여 5개의 기준점을 설치하였으며, 위치와 수심측량에 앞서 GPS 위치결정 정확도를 T/S에 의해 설치된 검사점과 비교하였다. <그림 3.7>과 <그림 3.8>은 T/S에 의한 기준점에 GPS 측위점을 비교한 모습이다. <그림 3.7>은 해상의 방파제구조물위에 위치한 검사점이며, 이때의 가시위성수는 9개, PDOP은 0.983으로 양질의 위치결정 정확도를 제공한다. <그림 3.8>은 육상구조물 위에 설치된 기준점에서 GPS 측위점과 비교하였으며, 이때의 가시위성수는 주변의 구조물에 영향을 받아 6개, PDOP는 2.564로 해상보다 위치결정 정확도가 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 위치결정 시에는 위성의 가시성이 좋은 해상에서 측위되므로 양질의 위치결정 정확도를 얻을 수 있는 것으로 보인다.

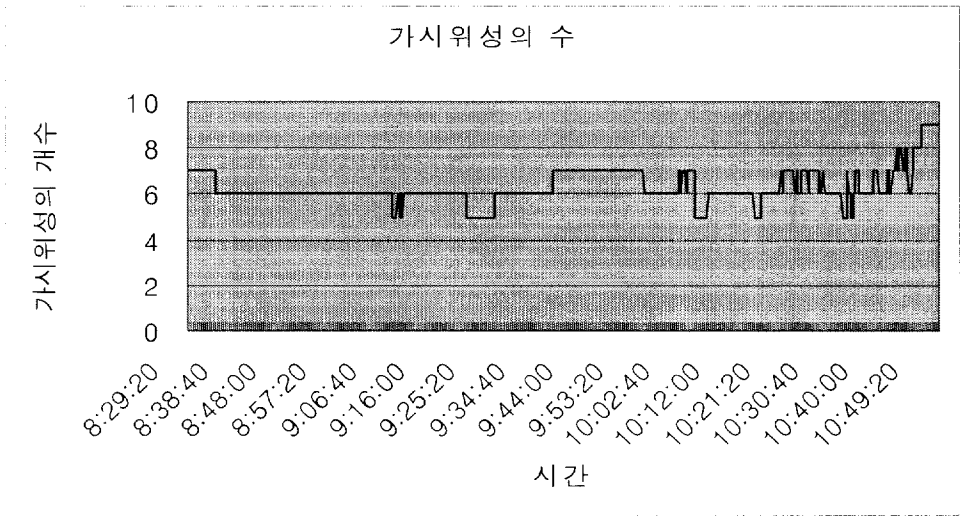


<그림 3.7> 해상구조물위에 설치된 검사점과 GPS 관측값의 비교

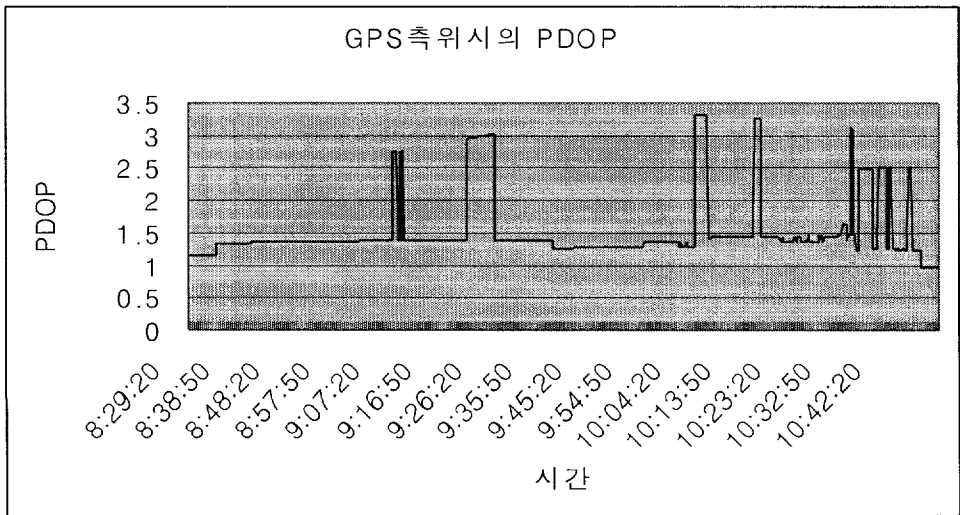


<그림 3.8> 육상구조물위에 설치된 검사점과 GPS 관측값의 비교

실제 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 GPS의 정확도는 측위시에 위성의 PDOP으로 평가할 수 있으며, <그림 3.9>와 <그림 3.10>은 측위시의 가시위성 개수와 PDOP 값을 나타낸다.



<그림 3.9> 가시위성의 수



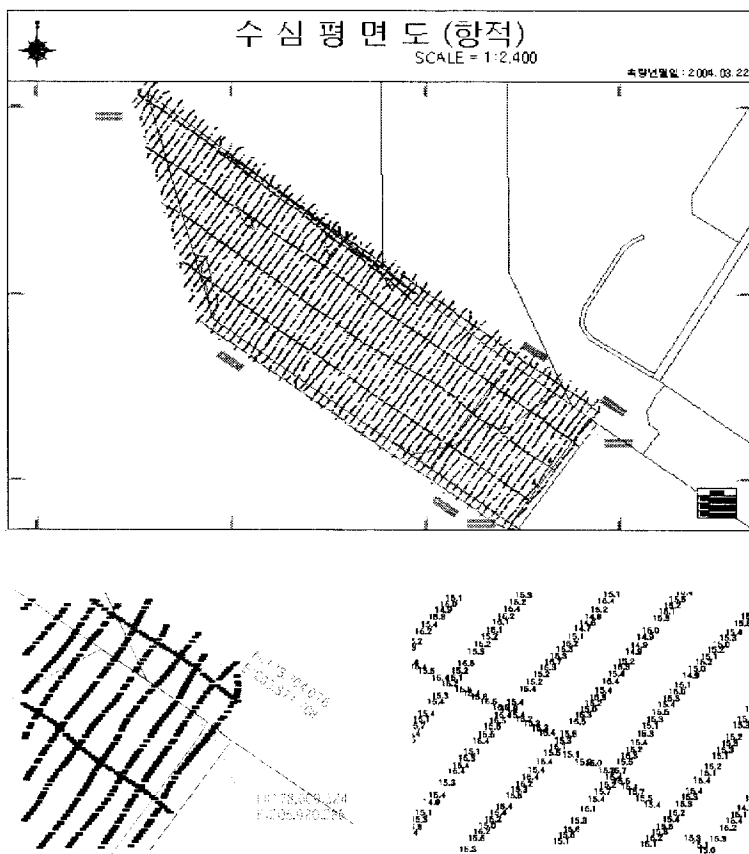
<그림 3.10> GPS 측위시의 PDOP

<그림 3.9>에서는 가시위성의 개수를 보여주고 있다. 측위시간 2시간 20분 동안의 평균가시위성의 개수는 6.28개이며, 해상에서는 위성수신 각이 넓기 때문에 일반적인 육상에서의 위성개수보다 많이 나타났다. 따라서 위성의 측위 정밀도를 간접적으로 나타내는 위치결정 정확도 저하율(PDOP)은 <그림 3.10>에서 나타나며 평균값은 1.52로 나타나 양호한 정확도로 측위 되었음을 알 수 있다.

4. 관측결과 및 분석

4.1 관측결과

관측대상지역인 부산항 000부두내의 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 측량결과 위치와 수심의 3차원 데이터를 획득하였다. <그림 4.1>은 컴퓨터에서 실시간으로 획득된 위치와 수심을 나타낸 항적도이고, <표 4.1>은 획득된 평면위치좌표와 수심의 일부분을 나타낸다.

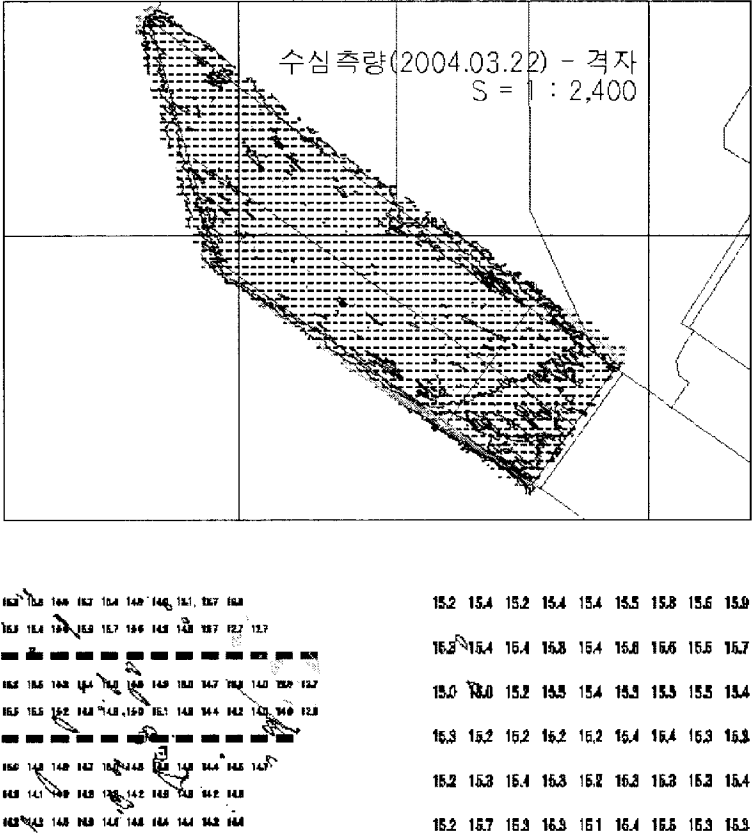


<그림 4.1> 항적도

<표 4.1> 획득된 평면좌표와 수심데이터

No	X 좌표	Y 좌표	측정수심	조위	경정수심
1	204847.82	179168.01	18.55	3.65	14.90
2	204848.02	179168.76	18.66	3.65	15.01
3	204848.22	179169.51	18.75	3.65	15.10
4	204848.42	179170.46	18.81	3.65	15.16
5	204848.62	179171.58	18.91	3.65	15.26
6	204848.72	179172.46	19.00	3.65	15.35
7	204848.79	179173.35	19.13	3.65	15.48
8	204848.85	179174.29	19.16	3.67	15.49
9	204848.92	179175.46	19.02	3.67	15.35
10	204849.00	179176.65	19.01	3.67	15.34
11	204849.08	179177.56	18.85	3.67	15.18
12	204849.17	179178.53	18.77	3.67	15.10
13	204849.30	179179.69	18.74	3.67	15.07
14	204849.46	179180.93	18.69	3.68	15.01
15	204849.63	179182.09	18.64	3.68	14.96
16	204849.77	179183.05	18.75	3.68	15.07
17	204849.94	179184.13	18.91	3.68	15.23
18	204850.19	179185.43	18.95	3.68	15.27
19	204850.45	179186.67	18.91	3.68	15.23
20	204850.77	179187.74	18.90	3.68	15.22
21	204851.06	179188.68	18.96	3.68	15.28
22	204851.49	179189.84	19.04	3.70	15.34
23	204851.97	179191.06	19.01	3.70	15.31
24	204852.44	179192.13	18.95	3.70	15.25
25	204852.95	179193.20	18.91	3.70	15.21
26	204853.40	179194.13	18.92	3.70	15.22
27	204853.95	179195.14	19.05	3.70	15.35
28	204854.50	179196.14	19.27	3.70	15.57
29	204855.19	179197.30	19.32	3.70	15.62
30	204856.02	179198.64	19.44	3.70	15.74
31	204858.02	179201.61	20.19	3.70	16.49

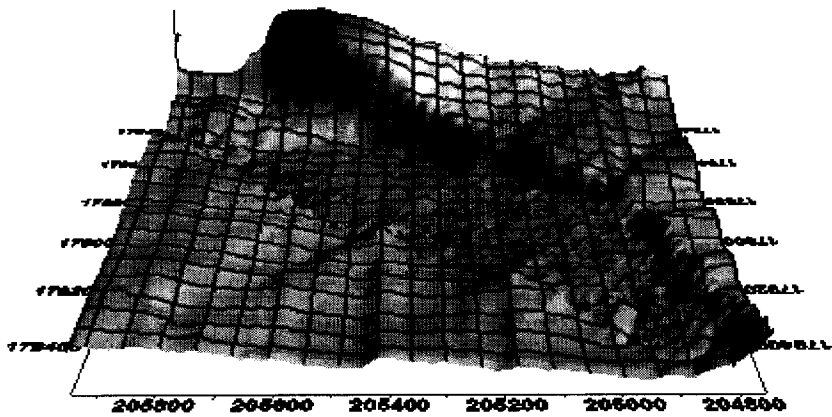
본 연구에서 GPS와 echo sounder를 이용하여 정밀한 물량산출의 결과를 1/2,400의 축심원도를 작성하여 20 m 간격의 수심치를 격자로 하여 최종 수심도를 작성하였으며, <그림 4.2>는 격자 수심도를 나타낸다.



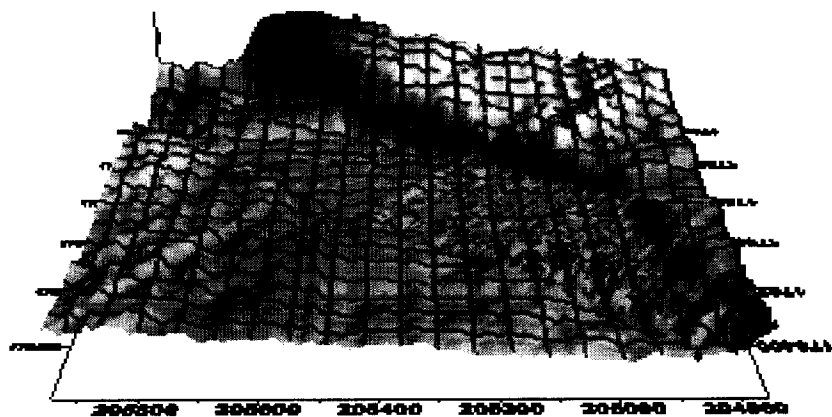
<그림 4.2> 격자 수심도

4.2 3차원 해저지형모델

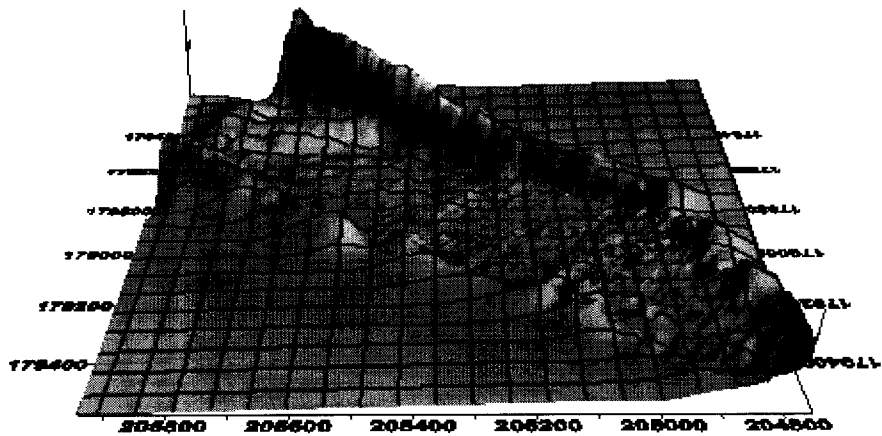
본 연구에서 획득된 데이터를 여러 가지 보간기법을 사용하여 3차원 해저지형 모델을 형성하였으며, 사용된 보간기법은 Inverse distance to a power, Kriging, Minimum curvature, Natural neighbor, Nearest neighbor, Polynomial regression, Radial basis function, Triangulation with Linear interpolation, Moving average, Data metric 의 10가지 보간기법이다. 이러한 보간기법은 관측을 통해 얻어진 관측값을 이용하여 관측이 실행된 영역 내에서 조사되지 않은 변수값을 평가하는 과정이다. 따라서 최적의 해저지형 추출을 위하여 획득된 데이터를 보간 S/W에 적용시켜 모델화 하였다. <그림 4.3>~<그림 4.12>은 10가지 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델을 나타낸다.



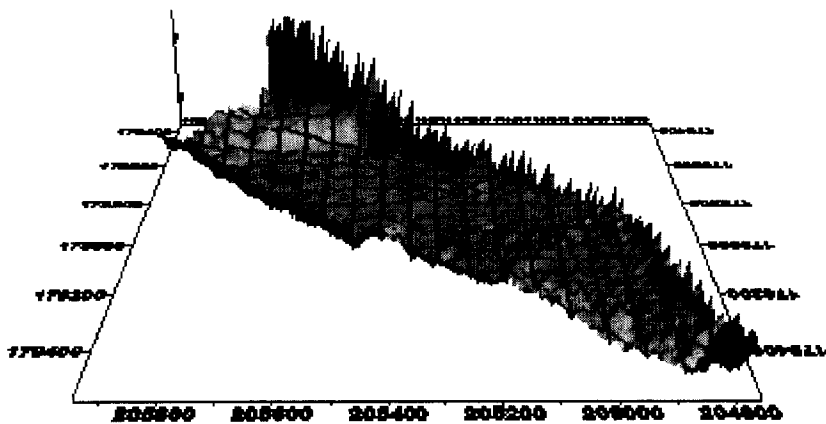
<그림 4.3> Inverse distance to a power 보간기법을 이용한 3차원
해저지형 모델



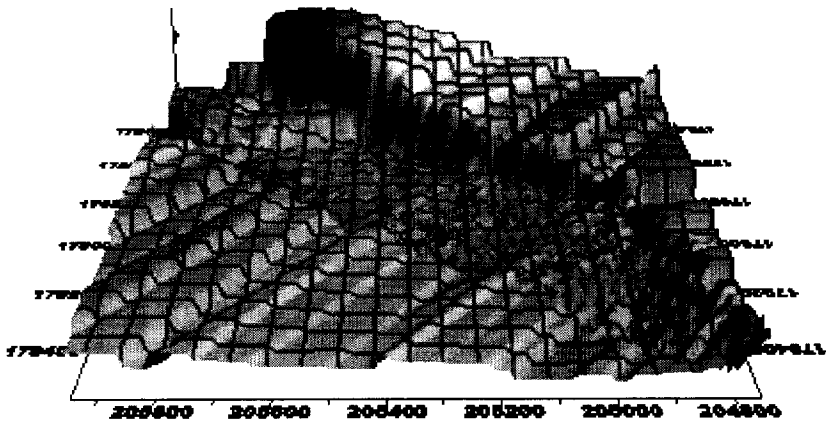
<그림 4.4> Kriging 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



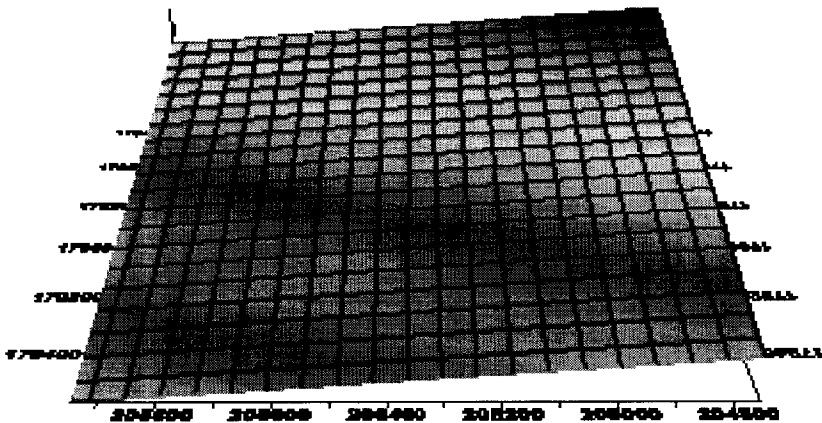
<그림 4.5> Minimum curvature 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



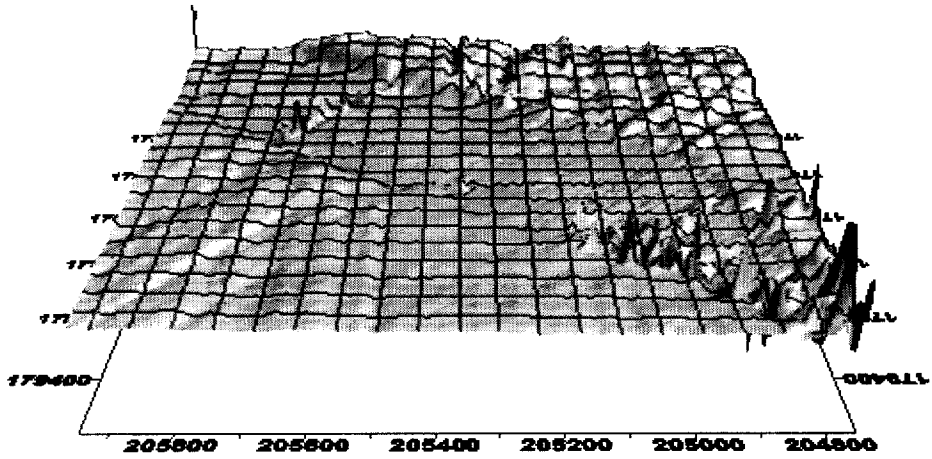
<그림 4.6> Natural neighbor 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



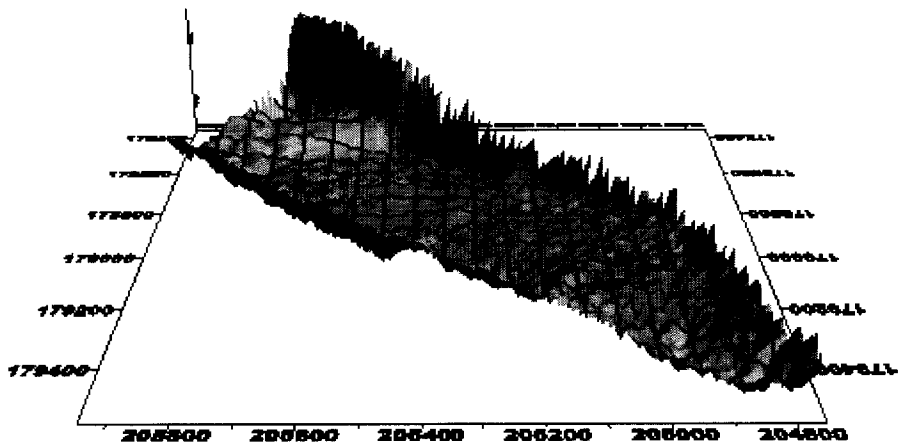
<그림 4.7> Nearest neighbor 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



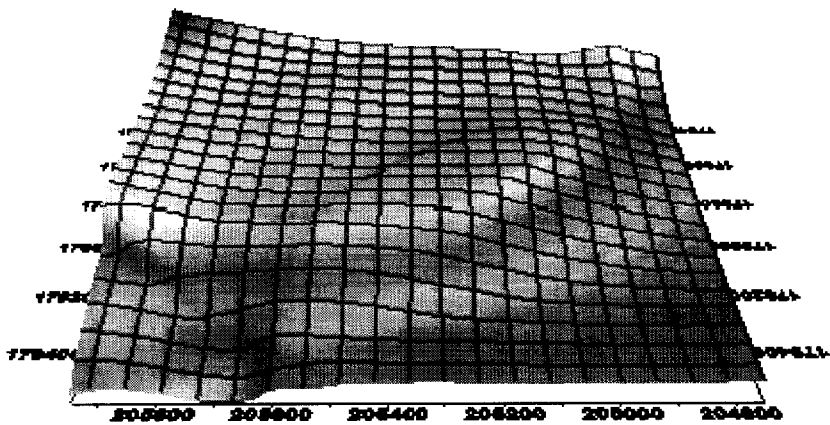
<그림 4.8> Polynomial regression 보간기법을 이용한 3차원 해저지형
모델



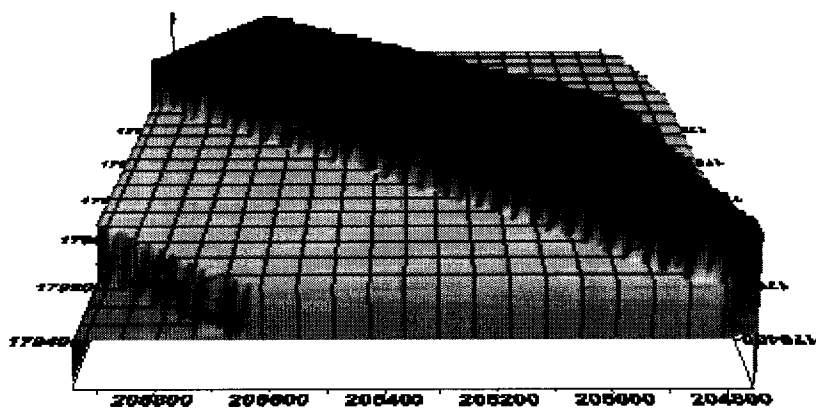
<그림 4.9> Radial basis function 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



<그림 4.10> Triangulation with Linear interpolation 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



<그림 4.11> Moving average 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델



<그림 4.12> Data metric 보간기법을 이용한 3차원 해저지형 모델

4.3 결과 분석

본 연구에서 두 번의 시험으로 여러 가지 보간 기법을 사용하여 3차원 해저지형 모델을 형성하였으며, 산정된 체적을 정량적으로 비교분석하기 위해 실제 준설량과 비교하였다. 실제 준설량은 두 번의 시험이 이루어진 2003년 7월과 2004년 3월의 호퍼준설량 데이터로서 준설토량의 잔여수량을 나타낸다. <표 4.2>는 두 번의 시험기간사이의 실제 호퍼준설량의 총 잔여수량을 나타낸다.

<표 4.2> 실제 호퍼준설량

일자	단위	작업구역						총 잔여 수량	비고
		항로 A		항로 A-1		항로 A-2			
		V1	V2	V1	V2	V1	V2		
2003년 7월	m³	158,808	27,981	465,396	77,139	142,740	29,482	896,495	
2004년 3월	m³	45,983	21,046	2,832	7,267	325	6,249	83,701	
준설수량	m³							812,794	

GPS/Echo Sounder 조합으로 산정된 3차원 해저지형데이터는 여러 가지 보간 기법을 이용하여 체적을 산정하였으며 <표 4.3>는 두 번의 시험에서 보간 기법에 따라 산출된 체적과 시험으로 산출된 준설량을 나타내고 있다.

<표 4.3> 보간 기법별 체적 결과 값

보 간 기 법	준설 시공 전		준설 시공 후		체적 (m³)
	cut(m³)	cut-fill(m³)	cut(m³)	cut-fill(m³)	
Inverse distance to a power	4,485,786	4,485,786	4,111,798	4,111,798	373,987
Kriging	4,928,597	4,928,399	4,153,168	4,153,068	775,330
Minimum curvature	4,508,983	4,508,983	3,549,360	3,416,335	1,092,647
Natural neighbor	1,299,167	1,299,167	1,115,346	1,115,346	183,821
Nearest neighbor	4,511,840	4,511,840	4,005,792	4,005,792	506,047
Polynomial regression	3,500,313	3,367,245	2,935,297	2,935,102	432,142
Radial basis function	4,937,056	4,904,311	4,214,311	4,123,574	780,736
Tringulation with Linear interpolation	1,389,934	1,389,934	1,219,628	1,219,628	170,305
Moving average	3,799,913	3,799,918	2,951,108	2,951,108	848,810
Data metrics	102,125,433	102,125,433	101,328,003	101,325,003	797,430

보간기법에 따라 산출된 준설물량은 그 정확도를 분석하기위해 실제준설량과 비교하였으며 <표 4.4>은 보간기법별 실 체적과의 차이를 보여주고 있다. 보간 기법에 따라 실제준설량과 1.9%~77%의 오차를 보이고 있으며 Data metrics, Radial basis function, Moving average, 그리고 Kriging기법에서 각각 1.9%, 3.9%, 4.4%, 그리고 4.6%의 비교적 정확도가 높은 것으로 산정 되었다. 따라서 GPS와 Echo Sounder에 의해 결정된 해저지형의 위치와 수심데이터 처리에는 Data metrics 기법을 이용하였을 때 체적의 산정과 지형분석에 가장 정확하게 산정될 수 있다.

<표 4.4> 보간기법별 실 체적과의 차이량

보 간 기 법	실 체적과의 차이량(m³)	오차율(%)
Inverse distance to a power	438,806	54
Kriging	37,463	4.6
Minimum curvature	279,853	34
Natural neighbor	628,972	77
Nearest neighbor	306,746	38
Polynomial regression	380,652	47
Radial basis function	32,058	3.9
Tringulation with Linear interpolation	642,488	79
Moving average	36,016	4.4
Data metrics	15,363	1.9

5. 결 론

본 연구에서 GPS와 Echo Sounder 조합으로 해저면의 위치와 수심을 결정하였다. 또한 일정간격으로 획득된 데이터를 여러 가지 보간기법을 이용하여 3차원 모델화 하였으며, 여러 보간기법의 정확도를 비교하기 위해 2번의 실험값과 실제 준설량을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 해저면의 지형측량에서 평면의 위치를 결정하기 위해 2개의 GPS 기준점과 이를 이용하여 5개의 기준점을 T/S를 이용하여 설치하였다. GPS 위치결정 정확도를 T/S에 의해 설치된 검사점과 비교한 결과 육상구조물 위에 설치된 기준점에서 평균 6개의 가시위성개수와 2.564의 PDOP 값을 얻었으며, 방파제 구조물위의 점에서 가시위성수는 9개, PDOP은 0.983으로 육상보다 양질의 위치결정 정확도를 얻을 수 있었다.
2. 해저면의 지형분석을 하기 위해 GPS와 Echo Sounder 조합에 의하여 위치와 수심을 결정할 수 있었으며, GPS에 의한 위치결정시 가시위성의 개수는 평균 6.28개, PDOP는 평균 1.52의 양호한 정확도로 위치를 결정 할 수 있었다.
3. 획득된 위치와 수심데이터를 Inverse distance to a power, Kriging, Minimum curvature, Natural neighbor, Nearest neighbor, Polynomial regression, Radial basis function, Triangulation with Linear interpolation, Moving average, Data metric 의 10가지 보간 기법을 이용하여 해저면의 3차원 지형을 분석하였으며, 실제준설량과 비교한 결

과 Data metrics, Radial basis function, Moving average, 그리고 Kriging기법에서 각각 1.9%, 3.9%, 4.4%, 그리고 4.6%의 정확도로 산정되었다.

4. GPS와 Echo Sounder에 의해 결정된 해저지형의 위치와 수심데이터 처리에는 Data metrics 기법을 이용하였을 때 체적의 산정과 지형분석에 가장 정확하게 산정되는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Russell C., Brinker Roy Minnick., "The Surveying Hand-Book", V.N.R New York, pp. 867-889, 1987.
2. Asada A., Ueki T., "Synthetic aperture analysis using a multibeam echo sounder", The Journal of the Acoustical Society of Japan(E), Vol. 19, No. 4, 1998.
3. Meredith M. P., "The processing and Application of inverted Echo Sounder Data from Drake Passage", Journal of atmospheric and oceanic technology, Vol. 14, No. 4, 1997.
4. Solar, M. R. Hinojosa, "Atmospheric Thermic structures studied by Acoustic Echo Sounder, Boundary-Layer Model, and Direct Measurements, Boundary-Layer", meteorology, Vol. 81, No. 1, pp. 35-47, 1996.
5. 서상일, "수심을 고려한 사이드 스캔 소나 자료의 보정 및 분할", 인하대학교, 석사학위논문, 1997.
6. 박요섭, "다중빔 음향측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑시스템 개발", 인하대학교, 석사학위논문, 1996.
7. 노대훈, "멀티빔 자료를 이용한 웹기반의 3차원 해저 지형 가시화", 인하대학교, 석사학위논문, 2000.
8. 강길선, 성천경, 조규전 "RTK-GPS와 E/S 조합관측을 통한 3차원 위치 측량", 한국지형학회지 제 20호 2004, pp 178-181
9. 박종열, "RTK-GPS를 이용한 실시간 정밀 3차원 지형분석", 부산대학교, 석사학위 논문, 2003.
10. 은진개발 주식회사, "DGPS와 GIS를 이용한 첨단준설공법 개발", 대한 측량학회지 제48호, 1997, pp 52-61

11. 신봉호, “GSIS 응용을 위한 지형정보 획득기법에 따른 토공량 산정에 관한 연구”, 건설기술연구소 논문집, 제18권, 제1호, 1999, pp. 1-9.
12. 신봉호, 송왕재, 윤철규, 임재구, “수치적분에 의한 토공량 산정에 관한 연구”, 건설기술연구소 논문집, 제11권, 제1호, 1992, pp. 153-161.
13. 박운용, 김천영, 이현우, “DTM 보간기법별 토공량 산정과 지형분석에 관한 연구”, 한국지형공간정보학회논문집, 제9권, 제1호, 2001, pp. 39-47.

감사의 글

직장생활과 학업을 병행해서 둘 다 잘해보겠다고 저 나름대로 노력을 해 보았지만 제가 처음 생각한 만큼은 결과를 얻지 못해 그동안 많은 도움을 준 여러분의 은혜에 보답을 다 못하는 것 같아 죄송한 맘으로 이 글을 씁니다.

인격적으로나 학문적으로 아직도 많이 부족한 저를 지금까지 늘 따뜻하게 이끌어 주신 이종출 은사님께 먼저 머리 숙여 감사를 드리며, 본 논문의 심사를 맡아 세심한 검토와 자상한 지도를 해주신 김명식 은사님, 이영대 은사님께도 고마움을 금할 길이 없습니다. 측량 및 지형공간정보연구실의 서동주 박사 외 노태호 박사, 장호식 박사, 김진수 박사, 김성호, 강운성, 김세준, 유영화, 서재수, 남일현 석사과정 연구원님들에게도 감사한 맘을 전하고 싶습니다. 특히 서재수군에게 너무 많은 도움을 받았고, 저의 논문을 위해 개인시간을 많이 뺐은 것 같아 미안하고 감사하게 생각합니다.

또한, (주)한진중공업/건설부문 부산항 증심준설 현장의 최현수 소장님 이하 직원 여러분들에게도 감사한 맘을 전합니다. 특히 본인이 몸담고 있는 이 현장은 부산의 중추항인 북항을 증심준설하는 현장으로 몇 년 동안 묵묵하게 수행해 온 직원들이 있어 여러 업무가 많은데도 불구하고 제가 해야 할 업무를 잘 마무리 해 주셔서 미약하지만 이런 결실을 맺을 수 있게 된 것 같습니다. 또한 본 학위 논문 현장 실험을 할 수 있는 배경을 제공하여 이 미약한 논문을 완성할 수 있게 해 주셔서 정말 감사하게 생각합니다.

그리고 항상 말없이 지켜봐 주시고, 늘 나의 편이 되어 주신 여든을 바라보시는 어머님에게 고맙게 생각하고 있으며 이런 지면을 통해서 항상 사랑하고 있다고 말을 전하고 싶습니다.

사랑하는 우리 가족에게도 감사하는 맘을 전하고 싶습니다. 그리고 아무 것도 없는 저를 믿고 따라와 준 아내 서미형에게도 감사의 마음을 전하며, 늘 사랑스러운 나의 두 아이 재홍, 보운에게 부모로서 많은 시간을 할애 못해 미안한 생각이 듭니다.

지면에 모두 나타내지는 못했지만 저에게 은혜와 사랑으로 베풀어 주신 모든 분에게 보답하며 진리를 추구함에서는 늘 바다로 들어간 소금인형과 같은 맘으로 앞으로 저의 삶을 계속해서 열심히 배우며 살아가겠습니다.

2006년 1월

박 종 민