

보간기법에 따른 해저지형의 정확도 분석

김가야* · 서동주* · 문두열*

*동의대학교 토목도시공학부

An Analysis of Accuracy for Submarine Topographic Information by Interpolation Method

GA-YA KIM*, DONG-JU SEO* AND DOO-YOUL MOON*

*Division of Civil and Urban Engineering, Donggeui University, Busan, Korea

KEY WORDS: Global positioning system 범지구위치결정체계, Echo sounder 음향측심기, Submarine topography 해저지형, Interpolation method 보간법, Dredging capacity 준설량

ABSTRACT: Three-dimensional information of submarine topography was acquired by assembling DGPS and Echo Sounder, which is mainly used in the marine survey. However, the features of submarine topography, derived according to mechanical data, were confirmed using human eyes. Because the dredging capacity using a submarine surveying data influences harbor public affairs, analysis and the process method of surveying data is a very special element in construction costs. In this study, information on submarine topography is acquired by assembling DGPS and Echo Sounder. Moreover, the dredging capacity in harbor public affairs has been analyzed by the interpolation method: inverse distance to a power, kriging, minimum curvature, nearest neighbor, and radial basis function. Also, utilization of DGPS 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 the case of applying Radial basis function interpolation and Kriging, 3.94 % and 4.61 % of error rates have been shown, respectively. In the case of 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 affairs, it is expected that more speedy and correct calculation for the dredging capacity can be made.

1. 서 론

우리나라는 상대적으로 산지가 많고 국토가 좁은 반면에 높은 인구 밀도를 가지고 있어서, 국토 이용 면에서 볼 때 도시나 농경지 면적이 부족한 편이다. 따라서 국토확장을 위한 간척이나 매립 등의 공사가 빈번하게 이루어지고 있다. 특히 우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여져 있으며, 수심이 낮은 대륙붕이 국토면적의 2배에 달하고 있어 해저지형을 활용한 공사가 증가되고 있는 실정이다. 위와 같은 대규모의 매립공사에서 토공작업은 총 공사비의 상당한 비중을 차지하므로 합리적인 해저지형을 분석이 필수적이다(문두열, 2002).

일반적으로 해저지형을 분석할 때 선행되어야 할 작업은 해저지형의 3차원 위치정보를 획득하기 위한 측량이다.

해저지형의 3차원 위치정보를 획득하기 위해 계획된 측심선에 따라 DGPS기법에 의한 수평위치측량과 음향측심기에 의한 수심측량을 병행하여 실시하고 있다.

음향측심기에 의한 측심은 수면으로부터 초음파를 발사하여

바닥에서 반사되어 올 때까지의 시간을 측정하여 수심을 구하게 되는데 음파의 수중전파 속도는 수온, 염분도, 수압에 따라 변하게 되며 측심 자료에서는 이들에 따라서 보정을 해주어야 한다(Meredith, 1997; 박요섭, 1996).

또한, 음향측심은 측심선상의 지형을 기록함으로써 바닥의 지형을 파악하게 되며, 등심선으로 표시할 수 있다(Collins et al., 1996). 그리고 교차되어 있는 측심선에 대해서는 그의 교점에 대한 수심에 의해 관계 위치의 확인이나 수심의 검사를 할 수 있다(김진수 등, 2005).

위와 같은 해저지형의 3차원위치정보를 획득한 후에는 합리적인 수치보간기법들을 이용하여 해저지형을 추출하여야 한다. 그러나 지금까지는 분석가의 경험에 의한 보간기법을 사용하여 정보의 신뢰성이 많이 저하되었다.

따라서 본 연구에서는 부산항의 항만공사 현장을 대상으로 해저지형의 3차원 위치정보를 획득하였다. 이렇게 획득된 3차원 위치정보를 역거리보간법(Inverse distance method), 크리깅보간법(Kriging), RBF보간법(Radial basis function), 최소곡률보간법(Minimum curvature) 및 최근근(Nearest neighbor) 보간법을 각각 적용하여 분석한 후, 해저지형 추출을 하는 데 효율적인 보간기법을 제시하고자 한다.

교신저자 서동주: 부산광역시 부산진구 엄광로 995

011-494-9023 dpsdj@pknu.ac.kr

2. 이론

2.1 DGPS 측위 이론

위성으로부터의 항법신호는 L1과 L2의 반송파를 수신함으로써 얻을 수 있으며, L1 반송파는 C/A코드와 P코드로 변조되며, L2 반송파는 P코드만으로 변조된다. 수신된 신호는 위성시계의 오프셋(Offset), 수신기 시계의 오프셋(Offset), 위성신호가 통과하는 전리층이나 대류권에서 전파의 지연으로 인한 시간차, SA 등에 의해서 정확도가 떨어지게 된다. 위성시계와 수신기 시계의 오프셋은 항법정보에 대한 보정 및 위치 계산과정에서 구할 수 있다. 현재 일반에 무료로 제공되는 GPS의 표준 위치해석 서비스인 SPS는 SA가 없는 상태에서 30~50m 정도의 위치해석오차를 발생시키며, SA가 작동중일때에는 약 100m의 위치해석오차를 발생시킨다. 그러나 다양한 응용분야에서 요구되는 위치정확도를 만족시킬 수 없기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위해서 DGPS(Differential global positioning system) 기법이 개발되었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 DGPS 기법은 이미 알고 있는 기지점의 좌표를 이용하여 오차를 최대한 줄여서 이용하기 위한 위치해석방식이다. DGPS는 기지점에 기준국용 GPS 수신기를 설치한 후 위성을 관측하여 각 위성의 의사거리 보정값을 구하고, 이 보정값을 이용하여 이동국용 GPS 수신기의 위치해석오차를 개선하는 위치해석기법이다. DGPS 기법을 이용하면 SPS의 위치정확도를 100m에서 10m 미만으로 크게 향상시킬 수 있다. 실시간 DGPS인 경우 기준국의 보정값을 무선으로 이동국에 송신하여 의사거리를 보정한 후 위치를 계산한다. 후처리(Post processing) 방식의 경우 양국에서 수신한 자료를 컴퓨터에서 보정하여 위치를 해석한다.

DGPS 기법은 자료를 보정하는 방법에 따라 3가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 정확한 위치를 알고 있는 기준점에 GPS 수신기를 설치하고 기준국의 실제 위치와 관측된 위치와의 차이값인 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 를 이용자에게 전송하는 방법이다. 기준국과 이용자는 동일한 위성들을 선택해야 하며, 기준국과 이용자 사이의 거리가 멀어지면 동시에 선택 가능한 위성들의 위치 정밀도 저하율(Positional dilution of precision : PDOP)이 커지게 되고 보정자료의 유효성도 떨어진다. 두 번째 방법은 기준국과 수신 가능한 모든 GPS 위성들에 대한 의사거리를 관측하고 의사거리 보정자료를 이용자에게 전송하는 방법이다. 기준국에서는 모든 위성에 대한 의사거리 보정값을 이용자들에게 제공한다. 이용자는 기준국에서 전송한 의사거리 보정자료를 이용하여 이용자의 정확한 위치를 계산할 수 있다. 세 번째 방법은 기준국에서 모든 위성들의 의사거리 보정값들을 GPS 위성과 동일한 주파수, 같은 자료형태로 전송하는 방법이다. 이용자는 의사위성(Pseudo-satellite)의 보정자료를 GPS 위성의 항법정보와 같이 처리하여 항법해를 구한다. 이 방법은 3개의 위성이 수신되는 상황에서도 위치해석이 가능하며, 수직 정밀도 저하율(Vertical dilution of precision : VDOP)이 개선되는 장점을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 세 번째방법으로 측위하여 위성측위자료를 획득하였다(이인수, 2001).

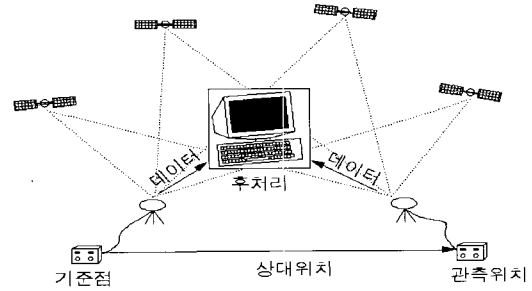


Fig. 1 Differential GPS

2.2 수심측량 이론

일반적으로 음향측심기는 단일파 방식과 다중파 방식이 있다. 본 연구에서는 단일파 방식을 사용 하였다. 수면에서 매우 짧은 시간 지속하는 음파를 수저에 발사하면, 음파는 사방에 확산하여 전파된다. 그 음파의 일부는 수직으로 수저방향에 전파되고, 수저면에서 일부는 투과되나 대부분은 반사되어 수면부근에 도달한다. 음파신호는 일정한 범위로 확산되지만 평탄한 수저에서는 수직방향 부근의 음파신호가 가장 강하게 검출된다. 송신음파와 수신음파의 도달시간차 T 를 정확히 재고, 수중음속 V 를 알면 수심 D 는 식 (1)과 같다(정영동과 장상구, 2002).

$$D = \frac{1}{2} VT \quad (1)$$

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 음속보정을 해주어야 한다. 이 밖에도 수심의 기준면과 관측 시 수위 차이를 고려하는 조석보정, 관측 시 수위 차이를 고려하는 홀수 보정 등이 필요하다(서정훈 등, 2002).

2.2.1 음속도 보정

음향측심의 기준이 되는 수중의 음속도는 온도, 염분, 수압 등에 의해 변화한다. 실제로 사용되고 있는 음속보정의 방법은 Bar-check에 의한 방법, 해수의 염분, 온도를 측정하여 계산으로 보정치를 구하는 방법 및 속도계로 직접 음속도를 구하는 방법 등이 있다.

2.2.1.1 Bar-check법에 의한 보정

항만 및 해안측량, 댐 등의 천해의 측량에는 음속도 보정의 방법이 적합하며, 필요한 기구도 간단하고 제작이 매우 쉽다. 수심 30~50m 미만의 측량에 사용되며, 필요한 기구는 반사판과 그것을 매달아 내리는 와이어 및 와이어의 권양기로 되어 있다. 와이어에는 반사판을 0으로 하여 30m까지는 2m마다, 그 이상은 5m마다 마크를 붙인다. 심도는 30m까지는 2m마다 30m보다 깊은 곳은 5m마다 그 날의 최대예정심도까지를 상하로 왕복하여 Bar의 반향을 기록한다.

기록된 수심은 음속도, 기차, 홀수량 및 조고에 관한 보정을

함으로써 실수심이 된다.

측심오차를 알기 위해서는 1~2회 정도의 Bar-check가 필요하며 Bar-check는 정조시 파랑이 없는 때에 수심이 가장 깊은 위치에서 행하는 것이 좋다(이석우, 1996).

2.2.1.2 데이터에 의한 보정

해수의 깊에 따른 각 층의 염분, 수온, 수압을 직접관측하여 정확한 음속도를 계산하고 가정음속과의 보정량을 구하는 방법이 있다. 그 계산식은 Willson식과 Matthews식이 있으며, 상원의 식과 국립 해양연구소 KORDI식도 있다. 실제수심 D 는 평균음속도를 V_m , 음파의 왕복시간을 T 라 하면,

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

또, 임의의 수심에서의 음속도를 V 로 하면,

$$D = \frac{1}{2} \int_0^T V dt \tag{3}$$

이므로 식 (2), (3)에 의해

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T V dt$$

로 표시한다.

따라서, 어떤 일정한 깊이(두께)를 가진 층을 생각하고, 이층에서 음속도 V_e 는 일정이라 가정하여 층의 두께를 dD 라 하면, 수심 D 에 있어서 평균음속도 V_m 은,

$$V_m = \frac{1}{T} \sum V_e dt \tag{4}$$

로 표시되며,

$$d_t = \frac{dD}{V_e}, \quad T = \sum d_t = \sum \frac{dD}{V_e}$$

$$V_m = \frac{1}{\sum \frac{dD}{V_e}} \sum V_e \frac{dD}{V_e} = \frac{D}{\sum \frac{dD}{V_e}} \tag{5}$$

로 된다.

따라서, 취득수심의 개정치는 다음과 같이 구하게 된다.

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

$$D_0 = \frac{1}{2} V_a T, \quad D = \frac{1}{2} V_m T,$$

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

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

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

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

그러나, $D = \sum dD$ 에

$$= \sum dD - V_a \sum \frac{dD}{V_e}$$

$$= \sum \left\{ dD \left(\frac{V_e - V_a}{V_e} \right) \right\} \tag{6}$$

즉, 각층마다의 개정치($\frac{V_e - V_a}{V_e}$)를 계산하여 적용하면 심도마다의 개정치를 구할 수 있다.

2.2.2 흘수(吃水)보정

송수파기의 수면으로부터 일정한 깊이에 잠겨 있으므로 음향 측심기록에 이 흘수량을 더해 주어야 하며, 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(고영호, 1993).

2.2.3 조석보정

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

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

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

2.3 수치보간 이론

2.3.1 역거리 보간법(Inverse distance method)

역거리보간법은 매우 광범위하게 사용되고 있는 방법으로 “독단적인 위치의 값을 선정하기 위한 계산을 할 때 측정거리 보가 가까운 이웃점들의 값이 더욱 영향이 있다는 직관적인 개념”인 토블러의 법칙을 바탕으로 한다. 고도의 추정점과 영향을 미치는 구역 내의 기준점들 사이의 지형학적 관계 요소로써 거리의 역수를 가중값으로 적용한다. 이 방법은 분명하게 두가지 문제를 내포하고 있다. 첫째는 불연속경사의 표면은 연속된 경사의 표면에서 얻어지는 성취감과 동일한 결과를 이루어 낼 수 없다. 둘째는 거리가 너무 멀거나 너무 가까운 값은 전체적 평균을 구할 때 상당한 영향이 작용되기 때문에 지역적으로 세밀한 효과를 가져올 수 없다는 것이다. 이러한 단점은 역거리보간법이 본질적으로 일차원적인 해법을 적용하고 있기 때문이다(조규전 등,1998). 따라서 역거리보간법을 식 (7)에 나타내었다.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \tag{7}$$

여기서, Z_p : P점의 추정고도

h_i : 계산에 사용되는 이웃기준점(i)의 고도

W_i : 고도 추정점과 이웃 기준점과의 거리의 역수

2.3.2 크리깅 보간법

크리깅 보간법의 기초는 점들 사이의 분산이 공간에 걸쳐 변화하는 비이다. 이것은 점에서의 값 사이의 평균차가 점 사이의 거리에 따라 어떻게 변화하는가를 보여주는 분산도로 표현된다.

크리깅 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 임의변수의 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 공간적 변수 Z_i 는 다음의 식 (8)에 의해서 구할 수 있다.

$$Z_i(x) = m(x) + \epsilon'(x) + \epsilon'' \tag{8}$$

여기서, $m(x)$ 은 x 에서 Z_i 의 구조적 요소를 표현하는 결정론적 함수이다. $\epsilon'(x)$ 는 $m(x)$ 으로부터 국소적으로 변화하는 공간종속 잔차를 추계학적으로 표현하는 항이며, 0의 평균과

분산 σ^2 을 가지는 공간독립 노이즈항인 ϵ'' 은 잔차를 나타낸다. 문제를 단순화하기 위해서, 여기서는 $m(x)$ 가 일정하다고 가정하면, 공간에 걸쳐 무작위 함수 $\epsilon'(x)$ 의 변이는 h 의 표본분리에 대해서 아래의 식 (9)과 같이 주어지는 반분산에 의해 요약된다.

$$\gamma(h) = 1/2E[Z_{x+h} - Z_x] \tag{9}$$

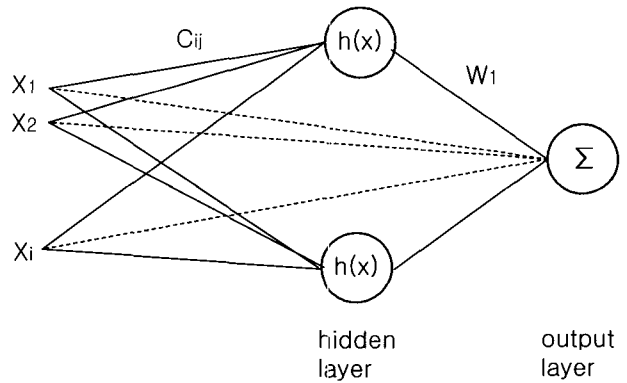
일차원적 횡단에 대해서, 래그 h 의 반분산은 아래의 식 (10)에 의해서 관측된다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(n-h)} \sum_{i=1}^{n-h} [Z_{i+h} - Z_i]^2 \tag{10}$$

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. 반분산 속성값이 표면 견본위치 지정에 따라 변화하는 방식을 표현하기 위해서, 경험적 분산도를 이용하여 다양한 이론적 모형에 적용시킬 수 있다(유복모, 2001).

2.3.3 RBF(Radial basis function) 보간법

RBF 신경망은 입력층과 은닉층이 선형으로 연결되어 은닉층과 출력층만으로 구성된 단층 신경망 형태를 갖고 있다. 단층으로 구성된 모형이기 때문에, 수학적 표현이 명료하고 기존 신경망이 학습알고리즘으로 사용한 Gradient descent와 같은 반복적이고 시간소모적인 알고리즘 대신에 역행렬을 사용하여 연산속도가 매우 빠른 강점을 갖고 있다. Fig. 2는 가장 일반적인 RBF 신경망의 구조를 도식화한 것이다. 입력층은 단지 은닉층으로 입력값을 전달하는 역할만을 하기 때문에 모든 연결 강도값은 1로 고정되어 있다. 은닉층의 활성화함수는 Radial function을 이용하고 은닉층 뉴런의 활성화값과 연결강도 W_j 를 곱하여 선형적으로 합한 값을 출력층 뉴런이 출력한다.



(실선은 smoothing effects를 의미함 : λ_i)

Fig. 2 RBF neural network

$$f(x_i) = \sum_{j=1}^m w_j h(|x_i - c_j|) \quad (11)$$

여기서, h (은닉층 뉴런의 활성화 함수)는 RBF함수를, c_i 는 입력값들의 중심을, w_j 는 연결강도를 의미한다. RBF 신경망에서 활성화 함수로 사용하는 h 는 중심 c_i 에서 멀어질수록 단조 증가나 또는 단조감소하는 특징을 갖는 함수를 사용한다. 이와 같은 RBFs로는 Gaussian function, Multiquadratic function, Cauchy function 등이 있다. RBFs는 c_i 와 입력값 x_i 사이의 유클리드 기하학에 근거를 두고 있다. 따라서, 일반적으로 RBFs h 는 거리가 0일 경우에 최대값을 갖게 된다. 가우시안 함수의 경우 중심값 c_i 와 x_i 값이 같을 때 이 함수는 1.0의 값을 산출하고 반면에, t_i 와 x_i 의 값의 차이가 한계범위에 가까워질수록 0에 가까운 값을 산출하게 된다(하성룡 등, 2002).

2.3.4 최소곡률(Minimum curvature) 보간법

최소곡률법은 구하고자 하는 임의의 점의 높이를 그 주위의 가장 가까운 점, 즉 곡률이 최소가 되는 점을 기준으로 하거나, 또는 가장 가까운 그 주위의 두점의 높이의 평균으로 표고를 보간하여 구하는 방법이다. Fig. 3에서 Z_p 는 Z_c 를 기준값으로 하거나 $(Z_a+Z_b)/2$ 값을 취한다. 그러므로 오직 호수개의 격자만이 최소곡률법의 이론에 적합하게 된다. 또한 다른 보간법에 비해 자료의 외삽에는 이용할 수 없다(김경덕 등, 1996).

2.3.5 최근린(Nearest neighbor) 보간법

최근린 보간법은 새로운 화소 위치에서 가장 가까이 있는 기존 화소의 값을 새로운 위치의 화소값으로 취하는 가장 간단한 내삽법으로, 식 (12)와 같은 관계가 성립한다.

$$O(x, y) = l(i, j) \quad (12)$$

여기서,

i : $(x+0.5)$ 의 정수부

j : $(y+0.5)$ 의 정수부

이 때 $l(i, j)$ 은 입력 격자에서 (i, j) 영상소의 값

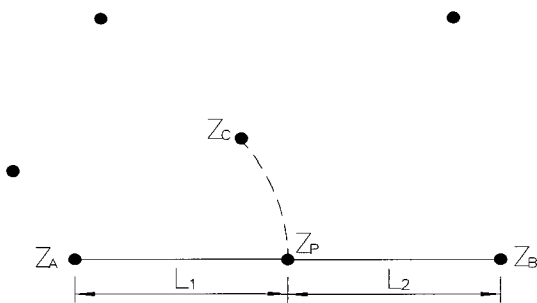


Fig. 3 Interpolation by the minimum curvature method

$O(x, y)$ 는 출력 격자에서 (x, y) 영상소의 값이다.

이 방법은 새로운 화소값을 만들지 않으므로 입력화상의 자료를 변질시키지 않는 장점이 있지만 영상이 고르지 못하고 가장 가까이 있는 기존 화소를 취하기 때문에 동일한 화소가 여러 번 중복되는 Commission효과와 화소가 사라지게 되는 Omission효과가 나타날 수 있는 단점이 있다(최준석, 2002).

3. 3차원 해저지형 관측

3.1 관측대상지역 및 관측장비

부산항내의 자성대 부두부근 항로 중심공사를 하고 있는 지역을 대상으로 선정하여, GPS와 Echo sounder 조합에 의한 3차원 해저지형을 관측하였다. 3차원위치결정의 정확도를 높이기 위하여 기준점측량, 검사점측량을 실시하였으며, Fig. 4는 실험대상지역을 나타내고 있다.

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

본 연구에 사용된 관측장비는 GPS, Echo sounder를 사용하였다. DGPS 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 Fig. 5와 같으며, 제원은 Table 1에 나타내었다. 그리고 Echo sounder는 Odom사의 장비이며 GPS와 같이 장착하여 3차원해저지형을 관측하였다. Echo sounder의 모습과 제원은 Fig. 6과 Table 2에 나타내었다.

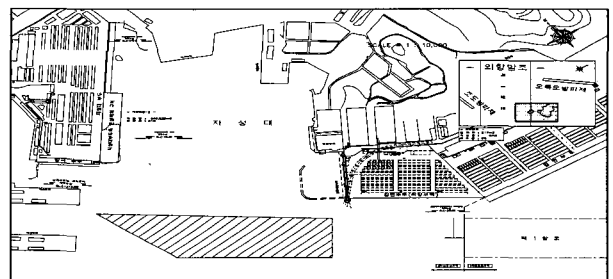


Fig. 4 Shape of observation field

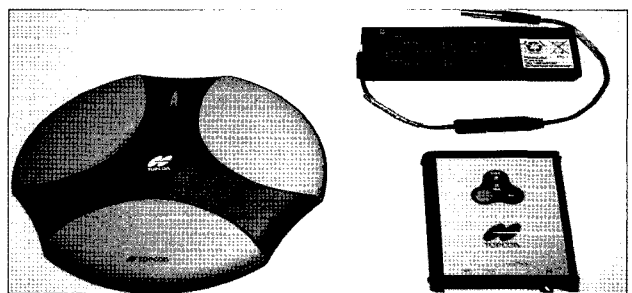


Fig. 5 Shape of GPS receiver

Table 1 Specifications of GPS receiver

Characteristics	Receiver	Antenna
Type	Legacy(JAVAD)	LegAnt
Tracking channel	40 L1 channels	
	20 L1/L2 channels	
Signals tracked	GPS/GLONASS	
	L1/L2 C/A and P-code and Carrier phase	
Accuracy	Static	3mm+1ppm
	Rapid static	5mm+1ppm
	kinematic	10mm+1.5ppm

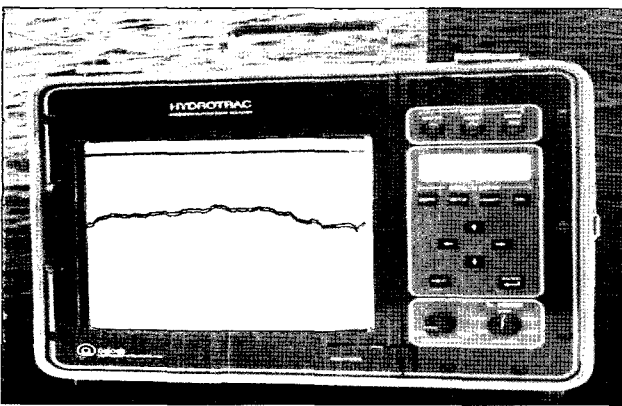


Fig. 6 Echo sounder

Table 2 Specifications of echo sounder

Specifications	Features	remark
Type	Single beam	
Frequency agile	24, 30, 40, 200, 210, 340 kHz	
Resolution	0.1 ft or 0.01 meters	
	200kHz	
Accuracy	1cm 0.1% of depth value	
	33kHz	
	10cm 0.1% of depth value	

3.2 DGPS 기준점관측

본 관측에서 GPS의 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 Table 3 와 같으며, GPS에 상용되는 WGS84 좌표를 동부원점을 기준으로 변환하였다.

기선해석에 사용된 S/W는 TOPCON사에서 제공된 Pinnacle 을 사용하여 기선해석 후 기선삼각점 두 점(△309, △422)을 고정으로 하여 망조정을 실시하였다. Fig. 7은 GPS 기준점 측량에 사용된 장지산(△309)의 모습이며, Fig. 8는 연구대상지역의 설치기준점의 GPS 측위 모습이다.

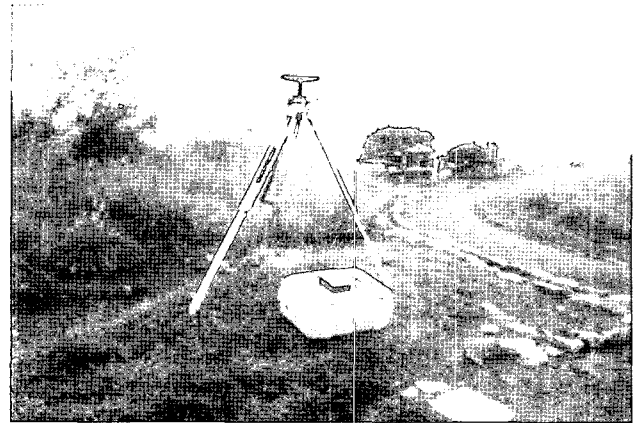


Fig. 7 Typical of triangulation station △309

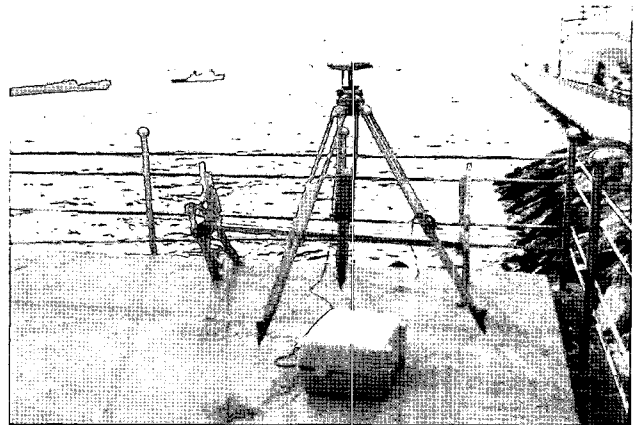


Fig. 8 Control point of DGPS

Table 3 Adjusted coordinates of TM (Grid, Zone Krea)

Point name	Coordinates		
	Northing(m)	East(m)	Height(m)
1	178765.5362	206094.8237	2.9273
2	178801.0834	206061.4079	2.1115
309	179821.0906	211051.9436	224.6000
422	184236.8096	207407.7806	427.6300

3.3 3차원해저지형 관측

본 연구에서 3차원 해저지형관측에서의 가장 기본이 되는 해상에서의 위치데이터와 수심데이터를 신속하고 정확하게 수집하기 위해 정밀 DGPS와 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, DGPS는 센티미터 이하의 정밀도를 제공하므로 정확한 위치결정이 가능하다. 수심측량은 20m 간격으로 실험대상면적 약 444,432.04m²를 예정항로를 따라 측량선박을 운행하여 측량을 실시하였다. 관측은 8개월 정도의 기간을 두고 다

시 한번 더 관측을 하여 해저지형을 변화를 준설량으로 검증하고자 하였다. 첫 번째 관측을 49,812개의 자료들을 취득하였고, 8개월 후의 두 번째 관측에서는 64,201개의 자료를 취득하여 자료를 비교 분석할 수 있게 하였다. 수심측량에서 취득된 자료들은 조위분석을 통해서 경정수심으로 나타내었다. 그 결과값은 Table 4과 Table 5와 같다.

Fig. 9는 선박을 이용하여 DGPS와 Echo sounder 조합에 의한 위치 및 수심을 측정하는 모습을 나타내고 있으며, Fig. 10은 선박내에 자료를 취득하는 모습을 이다. 관측된 DGPS 자료들은 가시위성수는 약 6.28개, PDOP은 2.54으로 양호한 위치 정확도를 보여지고 있으며, Fig. 11과 Fig. 12은 가시위성수와 PDOP를 나타내었다.

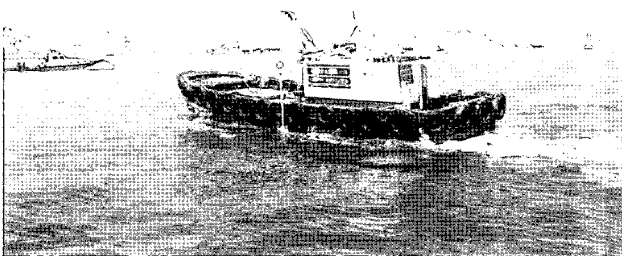


Fig. 9 Observation DGPS & Echo sounder (Exterior)

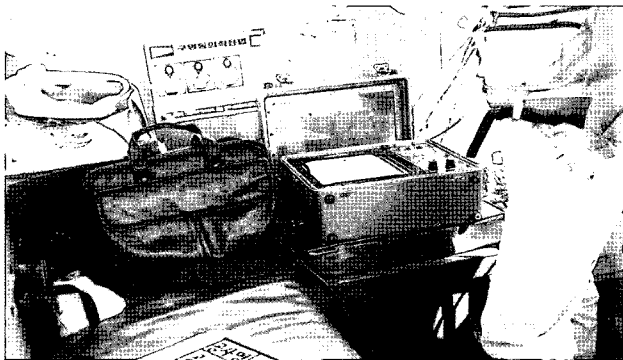


Fig. 10 Observation DGPS & Echo sounder (Interior)

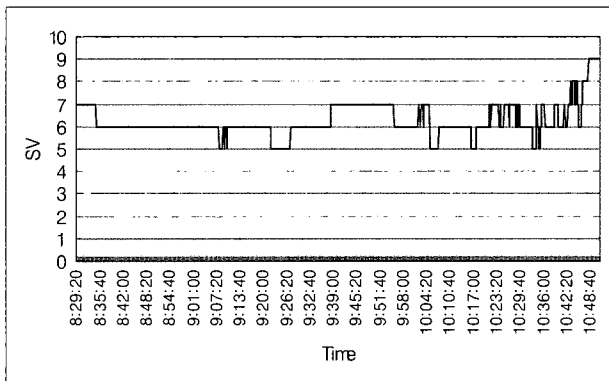


Fig. 11 Satellite visibility

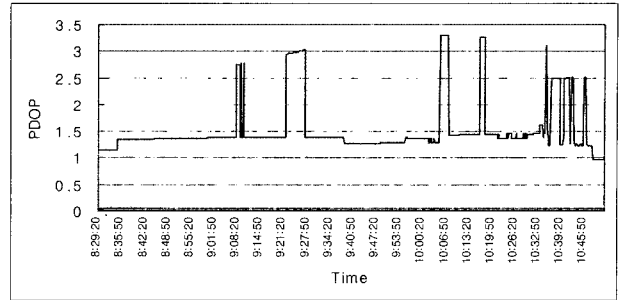


Fig. 12 PDOP of DGPS

Table 4 Result of observation (First)

No	X	Y	Z
1	204925.39	178900.95	11.80
2	204925.52	178901.12	11.77
3	204925.70	178901.35	11.76
4	204925.89	178901.60	11.76
5	204926.05	178901.81	11.74
6	204926.24	178902.05	11.75
7	204926.55	178902.45	11.79
⋮	⋮	⋮	⋮
49806	204852.33	179189.16	13.80
49807	204851.53	179188.10	13.69
49808	204850.74	179187.06	13.82
49809	204849.64	179185.64	14.20
49810	204848.59	179184.30	14.14
49811	204847.67	179183.27	14.10
49812	204846.79	179182.32	14.06

Table 4 Result of observation (Second)

No	X	Y	Z
1	204847.82	179168.01	14.90
2	204848.02	179168.76	15.01
3	204848.22	179169.51	15.10
4	204848.42	179170.46	15.16
5	204848.62	179171.58	15.26
6	204848.72	179172.46	15.35
7	204848.79	179173.35	15.48
8	204848.85	179174.29	15.49
9	204848.92	179175.46	15.35
10	204849.00	179176.65	15.34
⋮	⋮	⋮	⋮
64192	205743.21	178799.86	15.63
64193	205743.57	178800.37	15.55
64194	205743.94	178800.89	15.52
64195	205744.42	178801.56	15.45
64196	205744.85	178802.15	15.48
64197	205745.32	178802.82	15.47
64198	205745.77	178803.44	15.33
64199	205746.16	178803.99	15.28
64200	205746.62	178804.63	15.35
64201	205746.98	178805.13	15.43

4. 3차원 해저지형 분석

4.1 관측결과분석

부산항내의 자성대 부두내의 GPS와 Echo sounder 조합에 의한 측량결과 위치와 수심의 3차원 데이터를 획득하였다. 첫 번째 관측시 취득된 자료들을 위치와 수심으로 나타낸 항적도 Fig. 13 이고, 두 번째는 Fig. 14에 나타내었다. 이러한 결과로 취득된 자료들을 여러 가지 보간기법을 사용하여 3차원 해저지형 모델을 형성하였으며, 사용된 보간기법은 Inverse distance to a power, Kriging, Radial basis function, Minimum curvature, Natural neighbor의 5가지 보간 기법이다. 이러한 보간기법은 관측을 통해 얻어진 관측값을 이용하여 해저지형의 정확도를 분석하였다. 따라서 최적의 해저지형 추출을 위하여 획득된 데이터를 보간 S/W에 적용시켜 모델화 하였다. 각각의 보간기법별 체적의 변화양상은 Table 5에 나타내었고, 그 지형모습은 Fig. 13에서 Fig. 17과 같다.

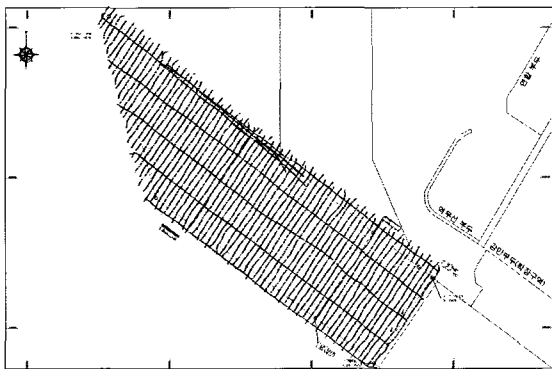


Fig. 13 Drawing of track (First)

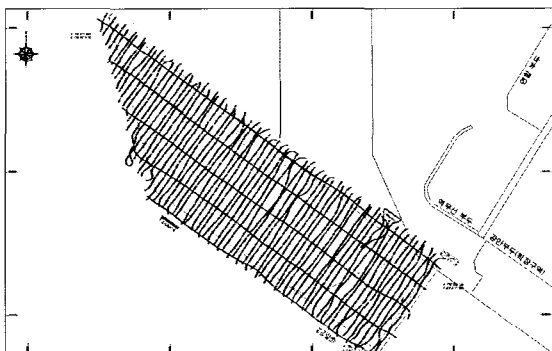


Fig. 14 Drawing of track (Second)

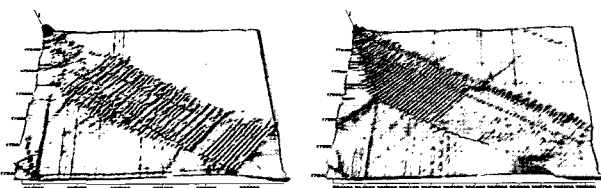


Fig. 15 Result of inverse distance power

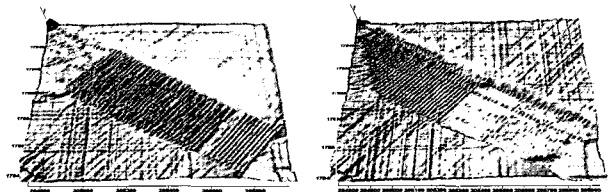


Fig. 16 Result of kriging

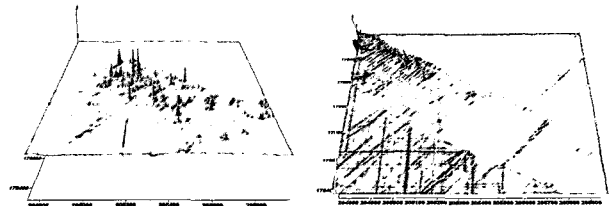


Fig. 17 Result of radial basis function

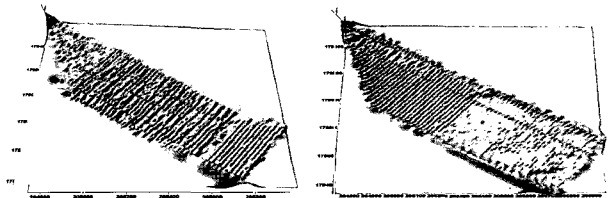


Fig. 18 Result of minimum curvature

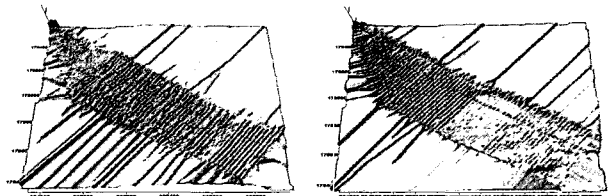


Fig. 19 The result of nearest neighbor

Table 5 Result of volume by the interpolation method

Interpolation method	First volume (m ³)	Second volume (m ³)	Difference volume(m ³)
Inverse distance power	4,485,786	4,111,798	373,988
Kriging	4,928,399	4,153,068	775,331
Radial basis function	4,904,311	4,123,574	780,737
Minimum curvature	4,508,983	3,416,335	1,092,648
Nearest neighbor	4,511,840	4,005,792	506,048

4.2 정확도분석

본 연구에서 준설 전 후의 해저지형을 관측하고 여러 가지 보간 기법을 사용하여 3차원 해저지형 모델을 형성하였으며,

산정된 체적을 정량적으로 비교 분석하기위해 실제 준설량 자료를 수집하였다. 그 준설량은 812,794m³이다.

보간기법에 따라 산출된 해저지형의 체적에 대하여 그 정확도를 분석하기위해 실제 준설량과 비교하였으며, Table 6은 보간기법별 실 체적과의 차이를 보여주고 있다. 보간 기법에 따라 실제 준설량과 4.61%~53.99%의 오차율을 보이고 있으며, 항만표준시방서에 따라 약 5%정도이면 양호한 값으로 규정한다. 따라서 본 연구에 사용한 보간기법들의 오차율들을 보면 Fig. 20과 같이 Radial basis function, Kriging기법은 3.94%,4.61%로 나타나 정확도가 양호한 기법이라고 판단 되었으며, Minimum curvature, Nearest neighbor, Inverse distance power 은 34.43%, 37.74%, 53.99%로 분석되어 매우 불량한 값으로 나타났으며 해저지형분석에서는 적합하지 못한 것으로 판단된다. 이러한 위의 3가지 기법들은 선보간이나 면보간에는 정도가 양호한 것으로 연구되지만, 연구와 같이 점보간에 따른 지형분석에서 부정오차들이 포함된다고 생각된다. 그러므로 본 연구에서는 해저지형 분석 시 보간기법은 Radial basis function법과 Kriging법을 사용하는 것이 합리적이라고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서 해저지형의 정확도 향상시키기 위한 보간기법

에 따른 해저지형 분석을 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) GPS와 Echo sounder 조합에 의한 해저지형 측량에서 GPS위치결정 정확도는 평균 약 6.24개의 가시위성개수와 2.54의 PDOP값을 얻었으며 이는 해저지형 관측값으로는 양호한 정확도라 판단된다.

(2) 관측한 3차원 해저지형자료를 이용하여 Inverse distance Power, Kriging, Minimum curvature, Nearest neighbor, Radial basis function 의 5가지 보간 기법을 이용하여 해저면의 3차원 지형을 분석하였으며, 실제 준설량과 비교한 결과 Radial basis function, Kriging기법은 3.94%, 4.61%로 분석되어, 비교적 정확도가 양호하다고 판단되며, Minimum curvature, Nearest neighbor, Inverse distance power은 34.43%, 37.74%, 53.99%로 나타났으며, 이는 해저지형 분석에 비효율적인 값으로 판단된다.

(3) 해저지형을 분석할 때에는 Radial basis function, Kriging 기법이 체적의 산정과 해저지형분석에 가장 효율적인 보간 기법이라 판단된다.

참고 문헌

Table 6 Error ratio by the interpolation method

Interpolation method	Residual (m ³)	Error ratio(%)
Inverse distance power	438,806	53.99
Kriging	37,463	4.61
Radial basis function	32,058	3.94
Minimum curvature	279,853	34.43
Nearest neighbor	306,746	37.74

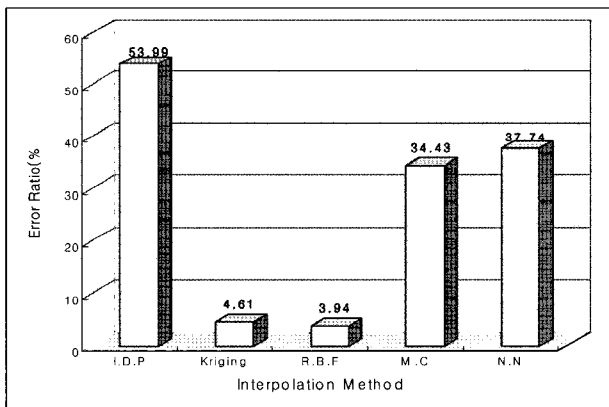


Fig. 20 Error ratio by the interpolation method

고영호 (1993). "음향측심기에 의한 수심측량 연구", 경남대학교 공업기술연구소 연구논문집, 제11집, pp 227-234.

김경덕, 허준행, 조원철 (1996). "2변수 보간법을 이용한 호우시 한강유역의 평균면적 강우량 산정에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제16권, 제II-3호, pp 219-228.

김진수, 서동주, 이종출 (2005). "DGPS/Echo Sounder 조합에 의한 호퍼준설량 산정", 한국측량학회지, 제23권, 제1호, pp 39-47.

문두열, 정범석 (2002). "지형곡면해석에 의한 토공량 계산에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제16권, 제6호, pp 37-43.

박요섭 (1996). "다중빔 음향측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑시스템 개발", 공학석사학위논문, 인하대학교, pp 8-9.

유복모 (2001). "지형공간정보", 동명사, pp 245.

이석우 (1996). "해양측량학", 집문당, pp 235-259.

이인수 (2001). "GPS/GLONASS결합에 의한 차량의 동적위치결정", 공학박사학위논문, 동아대학교, pp 26-50.

서정훈, 서동주, 이종출 (2002). "GPS와 음향측심기의 조합에 의한 저수용량 산정", 한국지형공간정보학회지, 제10권, 제1호, pp 27-35.

정영동, 강상구 (2002). "음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심측량", 한국측량학회지, 제20권, 제4호, pp 375-381.

조규전, 조영호, 정의환 (1998). "정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구", 한국측량학회지, 제16권, 제1호, pp 119-132.

최준석 (2002). "수치사진측량에 의한 암반사면의 불연속 선구조 분

- 석”, 공학석사학위논문, 충남대학교, pp 17.
- 하성룡, 박대회, 박상영 (2002). “영상합성을 통한 KOMPSAT-1 EOC의 분류정확도 및 환경정보 추출능력 향상”, 한국지리정보학회지, 제5권, 제2호, pp 16-24.
- Collins, W. T., Gregory, R. and Anderson, J. (1996). “OA digital approach to seabed classification. *Sea Technology*, 37, pp 83-87.
- Meredith, M. P. (1997). The processing and Application of inverted Echo Sounder Data from Drake Passage, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol 14, No 4, pp 871- 882.
-
- 2006년 5월 2일 원고 접수
2006년 6월 15일 최종 수정본 채택