

탁도에 따른 Echo Sounder 관측 한계 분석

Analysis of Measuring Limit of Echo Sounding by Turbidity

김용보¹⁾

Kim, Yong-bo

Abstract

Dredging and reclaiming on coast, harbor construction etc. of when construct, the interest about efficiency and accuracy of sounding by measurement condition very rise. However, there are only a few studies on the accuracy improvement concerning water depth sounding condition. In this study, among the precision decline main causes of sounding, I suggested the characteristics of sounding data acquired by echo sounder with increasing of turbidity and the critical turbidity range under a given transducer frequency. For this, I acquired sounding data by inputting turbidity inducer artificially in artificial water tank. And then achieved regression analysis. Conclusion are as following : Sounding Capabilities can be divided into three ranges according to the turbidity : normal range, critical range and the range where data can not be obtained by an echo sounder. When the turbidity exceeds 217~259 NTU which was considered as critical range, depth sounding was impossible.

Keywords : Precise depth sounding, Echo sounder, Critical range, Turbidity

요 지

연안에서의 준설, 매립, 항만건설 등의 공사 시 해상에서의 측량 조건에 따른 수심측량의 효율성과 정밀도에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 그러나 측량조건에 따른 수심측량의 정밀도 향상에 대한 연구는 부족한 실정이다. 수심측량의 정밀도 저하 요인 중 본 연구에서는 탁도 증가에 따른 echo sounder의 측심 특성 파악과 한계 탁도 구간을 제시하고자 하였다. 이를 위해, 인공수조에 탁도 유발물질을 인위적으로 투입하여 탁도 별 수심측정 값을 취득한 후, 회귀분석을 수행하여 탁도 증가에 따른 측심 특성이 정상관측구간, 한계구간, 관측불가능구간의 순으로 이루어지고 탁도에 대한 echo sounder 수심관측 한계구간이 217~259NTU로 나타났다.

핵심용어 : 정밀수심측량, 음향측심기, 한계 탁도구간, 탁도

1. 서 론

해상에서의 3차원 위치결정 정밀도 향상에 관한 연구는 기존의 육상에서의 3차원 위치결정 방법에 해양특성 요소를 추가하는 형태로 활발히 이루어지고 있으며 GPS를 이용한 선박 항법, GPS를 이용한 선박접안기술 등과 같이 실제 활용방법에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

그러나, 연안에서의 준설, 매립, 항만건설과 해양토목시설물 건설 등의 해양토목공사에 있어 중요한 요소인 해저 지형정보, 즉 수심정보의 정밀도 향상에 관한 연구는 매

우 국한되어 있다.

특히 최근의 환경오염으로 인한 항내 부유물 등의 급격한 증가로 echo sounder에 의한 수심측량에 많은 영향을 주지만 이에 대한 환경적 요인을 고려하지 않고 있으며, 작업과 측량이 동시에 실시될 수 있는 준설, 매립공사 등에서는 공사 중 높은 탁도가 발생되어 echo sounder를 이용한 측량이 불가능하나 이에 대한 원인 규명 및 대책에 대한 연구가 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 echo sounder를 이용한 수심 측량 시, 탁도에 의한 정밀도를 저하 요인을 분석하고 실험

1) 정회원 · 동아대학교 건설기술연구소 전임연구원(E-mail:drako@dau.ac.kr)

을 통해 이에 대한 보정 기법을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 실험을 통해 echo sounder의 음파가 통과하는 매질인 물의 탁도에 따른 측심 오차를 분석하고자 한다.

탁도에 따른 echo sounder의 오차를 분석하기 위해서는 실제 자연 상태의 조건에서 탁도에 대한 실험을 행하여 분석해야 하지만 실제 하천이나 해상에서는 불가능하므로 참값에 대한 오차는 구할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 인공수조 실험을 통해 벤토나이트와 실제하천에서 채취한 시료를 이용하여 탁도를 재현하고 echo sounder로 측심하여 탁도별 수심을 측정하였다.

본 연구에서 탁도에 대한 echo sounder의 측심 한계구간 결정에 있어 점토와 실트를 사용한 것은 사실은 실트와 점토에 비해 입경이 크고 침강도 신속히 되므로 실제 준설, 매립공사 등에서 탁도를 유발하는 주요 물질이 아닌 것으로 판단하였기 때문이다.

실험결과로부터 echo sounder로 관측이 불가능한 탁도의 한계치를 제시하고자 한다.

2.1 실험장치 구성 및 실험방법

탁도에 따른 echo sounder의 측심오차를 분석하기 위해 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 실험 장치를 구성하였다.

본 구성에 대해 설명하면, 먼저 수조 내에 설치된 수중 펌프는 탁도를 유발시키기 위한 물질을 투입하였을 때 수조내부를 순환시켜 가능한 일정한 탁도를 유지할 수 있도록 장치하였다.

그러나 echo sounder의 음파경로 전체에서 동일한 탁도를 유지할 수 없으므로 본 구성에서 음파경로 중 가장 높은 탁도를 나타내는 지점을 사전 실험을 통해 결정한다.

그리고 수조의 상부에 echo sounder와 탁도계를 거치시키고, echo sounder의 송수파기를 고정시키고, 또한 탁도계의 관측센서를 사전실험에서 결정된 지점에 고정하여 관측하였다.

고정된 송수파기와 탁도 관측센서로부터 얻어진 데이터는 동시에 컴퓨터에 저장되도록 구성하였다.

구성된 실험 장치로 먼저 수조 내에 시료를 투입하지 않은 상태에서 초기 탁도와 초기측심자료를 획득하였다.

그리고 수중펌프에 의한 수조내부순환이 측심결과에 미치는 영향을 파악하기 위해 수중펌프만을 가동시켜 측

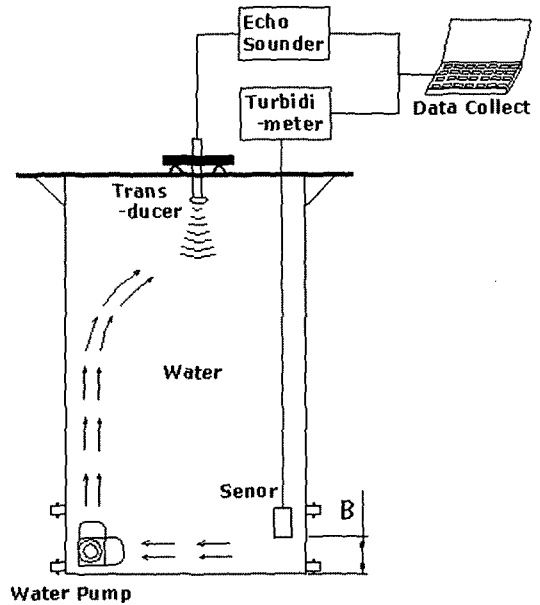


Fig. 1. Schematic Diagram of Equipment Setup.

심자료를 획득하였다. 송수파기의 주파수는 200kHz를 사용하였고, 자료취득 간격을 1sec로 설정하여 1시간동안 3,600회 관측하였다.

주 실험은 두 가지 형태로 실시하였다.

첫째, 벤토나이트를 탁도 유발 물질로 사용한 경우이다. 벤토나이트는 상용 시판되는 토목재료로서 물에 분산되어서 현탁액이 되는 현탁성을 가지며 제품에 따라 일정 입경이하의 입자를 가진다.

따라서 본 연구에서는 동일한 탁도라도 탁도 유발물질의 입경에 따른 echo sounder 측심 특성을 파악하기 위해 사용하였다.

Table 1은 본 연구에서 사용된 벤토나이트의 사양과 입도분석 결과이다.

Table 1. Specifications and Results of Grain Analysis (Bentonite)

Spec. number	DY-100S
Moisture Content	10%
Density	0.75~0.90g/cm ²
Granularity	90%/250 mesh Upper
pH	9~11
Average Grain Size (D ₅₀)	0.005mm
Classification by USCS	Clay

Table 2. Coordinates and Results of Grain Analysis (Field Sample)

X	179085.8914m
Y	195490.6804m
Average Grain Size (D ₅₀)	0.026mm
Classification by USCS	Silt

입도분석은 비중계분석방법을 이용하였다.

둘째, 실제자연하천에서 채취한 시료를 탁도 유발물질로 사용한 경우이다. 본 연구에서는 낙동강 하구둑 상류부 인근에서 채취한 시료를 사용하였다.

Table 2에 시료채취지점과 평면직교 좌표 및 입도분석 결과이다.

시료채취지점의 평면직교좌표는 RTK GPS를 이용하여 획득하였고, 입도분석은 비중계분석방법을 이용하였다.

주 실험은 탁도 유발 물질을 500g씩 투여한 후, 수중펌프에 의해 충분히 순환되어 탁도 관측치가 안정화된 때부터, 10분씩 탁도와 측정자료를 저장하였다.

시료는 각각 20Kg을 사용하였으며, Fig. 2는 Echo Sounder와 탁도계 등이 설치된 실험수조의 모습이다.

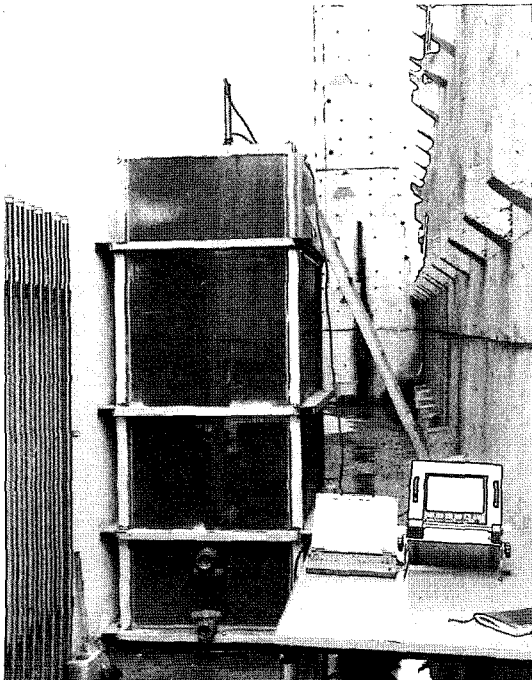


Fig. 2. A Photograph of Equipment Setup.

탁도 측정 단위는 Nephelometer를 사용하여 탁도를 측정하는 단위인 NTU단위를 사용하였다.

이는 EPA(US. Environmental Protection Agency : 미국환경보호국)와 우리나라의 표준 탁도 단위이다.

2.2 실험장비

2.2.1 실험수조

실험 인공수조는 수조 상부에 echo sounder와 탁도계를 거치할 수 있는 상부거치대를 설치하였으며, 수조 내 입·배수가 용이하고 내부가 보이는 형태로 제작되었다.

Fig. 2는 실험에 사용된 수조의 실제 모습이다.

2.2.2 관측 장비

탁도에 따른 echo sounder 관측 정밀도 분석 실험에 사용된 관측 장비인 echo sounder는 Marimatech사의 E-Sound 103과 탁도계는 투입 센서형인 TOA사의 WQC-22A를 사용하였다. 탁도계와 Echo sounder의 상세한 설명은 Table 3과 Table 4에 나타내었다(<http://www.marimatech.com>).

Table 3. Specifications of Turbidimeter

Specification	Value
Measurement range	0~800NTU
Accuracy	±1%±5NTU
Resolution	1 NTU

Table 4. Specifications of Echo Sounder

Specification	Value
Measurement range	0~1,600m
Accuracy	1cm±0.1% (200kHz) 4cm±0.1% (50kHz) 5cm±0.1% (33kHz)
Frequency	200kHz
Directional Angle	3.8°
Sound velocity settings	1,400~1,600 m/sec
Computer Interfacing	RS-232C, data format selectable

3. 실험 결과분석

3.1 사전실험

주 실험 전의 첫 번째 사전실험은 수중펌프에 의한 수조내부순환이 측정 결과에 미치는 영향을 파악하기 위한

실험으로 자료취득 간격을 1sec로 설정하여 1시간동안 3,600개의 측심 자료를 취득하였다. 취득결과 초기 수심 2.10m에서 수중펌프를 가동한 1시간동안 측심치의 변화는 전혀 일어나지 않았다. 따라서 본 연구에서 사용한 수중펌프에 의한 수조내부순환이 echo sounder의 측심 결과에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

두 번째 사전실험은 echo sounder의 음파경로에 대한 탁도 분포를 파악하기 위한 실험으로 주 실험에서 탁도계 센서의 관측위치를 결정한다.

이를 위해 벤토나이트와 현장채취시료를 각각 0.5kg, 1kg, 1.5kg을 투입하고 순환펌프를 가동시키면서, 수조바닥으로부터 2m지점, 1.8m지점, ..., 0.4m, 0.2m지점까지 탁도를 3회 반복 관측하였다. Table 5와 6은 벤토나이트와 현장채취시료에 대한 실험 결과이다.

Table 5. Bentonite Test Results

B	0.5kg				1kg				1.5kg			
	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균
20	19	19	18	18.7	35	36	35	35.3	51	50	52	51.0
40	16	17	19	17.3	33	34	35	34.0	50	51	52	51.0
60	16	16	17	16.3	35	33	33	33.7	50	49	50	49.7
80	15	16	15	15.3	34	32	33	33.0	48	50	49	49.0
100	18	16	15	16.3	35	35	31	33.7	49	49	48	48.7
120	15	15	16	15.3	32	30	31	31.0	45	47	48	46.7
140	16	15	14	15.0	33	34	32	33.0	44	45	44	44.3
160	19	16	15	16.7	33	31	33	32.3	49	48	45	47.3
180	18	18	13	16.3	32	33	30	31.7	45	46	45	45.3
200	19	14	15	16.0	33	31	28	30.7	43	44	45	44.0

Table 6. Field Sample Test Results

B	0.5kg				1kg				1.5kg			
	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균
20	23	24	24	23.7	41	42	42	41.7	57	56	56	56.3
40	24	23	24	23.7	43	40	42	41.7	55	56	55	55.3
60	24	23	22	23.0	40	40	40	40.3	55	55	54	54.7
80	21	22	21	21.3	39	40	39	39.3	56	55	54	55
100	22	19	22	21.0	38	39	38	38.3	53	54	55	54.0
120	20	21	20	20.3	38	38	38	38.0	53	53	55	53.7
140	21	20	20	20.3	37	37	38	37.3	52	50	49	50.3
160	20	21	17	19.3	38	37	35	36.7	51	49	48	49.3
180	19	18	17	18.0	34	35	31	33.3	51	48	50	49.7
200	17	18	18	17.7	36	35	31	34.0	50	47	50	49.0

Table 5와 6에서 진하게 표시된 값은 일정량의 시료를 투입하였을 때 음파 진행경로 중에서 가장 높은 탁도 값을 보인 곳이다.

본 실험결과를 통해 벤토나이트와 현장채취시료 모두 수조 바닥에서 20cm지점이 가장 높은 탁도를 보이는 것으로 나타났다.

따라서 주 실험에서 탁도계 센서의 관측지점을 바닥 면에서 20cm로 결정할 수 있었다.

3.2 주 실험

3.2.1 벤토나이트에 대한 실험

벤토나이트를 500g씩 투입하고 탁도가 안정화된 이후 10분 동안 탁도와 측심 자료를 저장하였다.

총 20kg의 시료를 사용하여 36,000개의 동일시간 탁도와 측심 자료를 취득하였다. 동일한 방법으로 총 10회 반복 실시하였다.

Fig. 3은 총 10회 반복 관측한 자료 중 1차 분의 탁도와 관측수심의 결과이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 탁도에 따른 관측수심의 관계는 일정정도의 탁도까지는 관측수심에 영향을 주지 못하다가, 1차 실험의 경우 탁도 242NTU에서 249NTU 사이에서 수심관측 자체가 이루어지지 않거나 불규칙적인 수심값을 보이는 한계구간이 나타났다. 이후로 시료를 추가 투입하여 실험을 계속 실시하였으나 수심 자료를 더 이상 취득할 수 없었다.

또한 1차 실험을 바탕으로 10회 실험을 실시하여 결과를 분석한 결과, 한계구간에 있어서 차이는 있었지만 1차

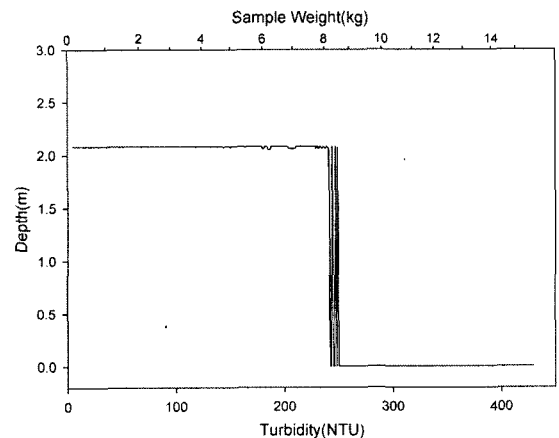


Fig. 3. Results of Sounding Test by Turbidity (Bentonite-1st.).

Table 7. Critical Ranges (Bentonite)

Times of Test	Critical Range (NTU)
1st.	242~249
2nd.	241~252
3rd.	238~250
4th.	240~254
5th.	243~248
6th.	240~255
7th.	237~247
8th.	239~249
9th.	241~253
10th.	242~248

Table 8. Critical Range (Field Sample)

Times of Test	Critical Range (NTU)
1st.	224~230
2nd.	220~238
3rd.	230~242
4th.	226~237
5th.	228~232
6th.	220~232
7th.	228~230
8th.	225~231
9th.	228~240
10th.	221~229

실험과 같은 경향을 나타내었다.

Table 7은 10회 실험의 한계구간이다.

3.2.2 현장채취시료에 대한 실험

현장채취시료를 500g씩 투입하고 탁도가 안정화된 이후 10분 동안 탁도와 측심 자료를 저장하였다.

총 20kg의 시료를 사용하여 36,000개의 동일시간 탁도와 측심 자료를 취득하였다. 동일한 방법으로 총 10회 반복 실시하였다.

Fig. 4는 총 10회 반복 관측한 자료 중 1차 분의 탁도와 관측수심의 결과이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 탁도에 따른 관측수심의 관계는 일정정도의 탁도 까지는 관측 수심에 영향을 주지 못하다가, 1차 실험의 경우 탁도 224NTU에서 232NTU

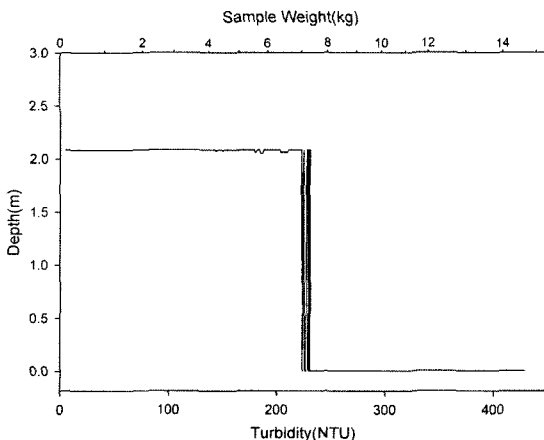


Fig. 4. Results of Sounding Test by Turbidity (Field Sample-1st).

사이에서 수심관측 자체가 이루어지지 않거나 불규칙적인 수심값을 보이는 한계구간이 나타났다.

이후로 시료를 추가 투입하여 실험을 계속 실시하였으나 수심 자료를 더 이상 취득할 수 없었다.

또한 1차 실험을 바탕으로 10회 실험을 실시하여 결과를 분석한 결과, 한계구간에 있어서 차이는 있었지만 1차 실험과 같은 경향을 나타내었다. Table 8은 10회 실험의 한계구간이다.

3.2.3 한계구간 분석

이상의 실험결과로부터 벤토나이트와 현장채취시료에 의한 탁도 증가에 따른 echo sounder에 의한 수심관측은 정상수심관측구간, 한계 구간, 관측불가능구간의 순으로 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

한계구간을 결정하기 위해 10회 반복실험으로 얻은 모든 자료를 통합하여 회귀분석을 수행하였다.

회귀분석은 탁도에 따른 관측수심의 관계 특성을 고려하여 비선형 Sigmoidal(S자형) 방정식을 이용하여 실시하였다.

구해진 회귀방정식의 적합도는 회귀분석 결과 구해진 결정계수로 점검하였다.

Fig. 5와 Table 9는 벤토나이트에 대한 비선형 Sigmoidal 방정식을 이용한 회귀분석 결과이다.

구한 회귀방정식을 이용하여 한계구간을 계산한 결과 221~259NTU로 결정할 수 있었다.

Fig. 6과 Table 10은 현장채취시료를 이용한 경우의 비선형 Sigmoidal 방정식을 이용한 회귀분석 결과이다. 구한 회귀방정식을 이용하여 한계구간을 계산한 결과 217~

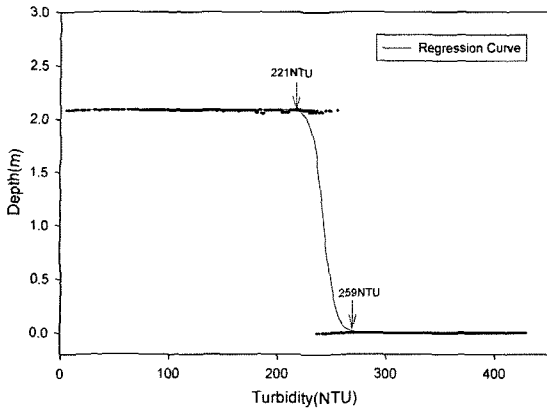


Fig. 5. Results of Regression Analysis using Sigmoidal Equation (Bentonite).

Table 9. Results of Regression Analysis using Sigmoidal Equation (Bentonite)

Regression Equation	$y = y_0 + \frac{ax^b}{c^b + x^b}$
Coefficients of Regression	$y_0 = 0.0014$ $a = 2.0840$ $b = -46.6895$ $c = 242.6573$
R ²	0.9548

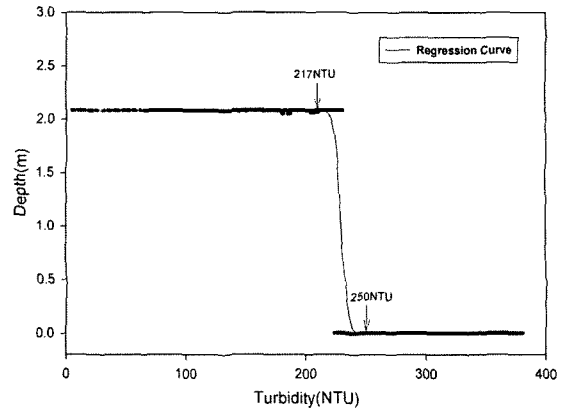


Fig. 6. Results of Regression Analysis using Sigmoidal Equation (Field Sample).

Table 10. Results of Regression Analysis using Sigmoidal Equation (Field Sample)

Regression Equation	$y = y_0 + \frac{ax^b}{c^b + x^b}$
Coefficients of Regression	$y_0 = -0.0063$ $a = 2.0839$ $b = -87.9731$ $c = 229.2981$
R ²	0.9441

250NTU로 결정할 수 있었다.

이상의 분석을 통해 점토질인 벤토나이트를 사용한 경우 221~259NTU, 실트질인 현장채취시료를 사용한 경우 217~250NTU의 한계구간을 결정할 수 있었다.

두 경우에 있어 값의 차이가 작아 따로 나누어 한계구간을 결정하는 것이 큰 의미가 없는 것으로 사료되어, 본 연구에서 사용한 점토와 실트 시료의 echo sounder 수심관측 탁도 한계구간은 217~259NTU로 결정할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 echo sounder를 이용한 수심측량 시, 탁도에 대한 Echo Sounder의 측정한계구간을 제시하기 위해 echo sounder의 음파가 통과하는 매질인 물의 탁도 별 수심을 실험을 통해 측정, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

탁도 증가에 따른 echo sounder에 의한 수심관측은 측심치가 정상관측구간, 한계구간, 관측불가능구간의 순으

로 이루어 졌다.

한계구간은 수심관측 자체가 이루어지지 않거나 불규칙적인 수심값을 보이는 상태를 의미하며, echo sounder 수심관측 한계구간은 217~259NTU로 나타났다.

본 연구에서 결정한 한계구간은 실제 준설, 매립공사 등에서 적용 가능하며 본 연구에 결정한 한계구간은 작업과 측량이 동시에 실시될 수 있는 준설, 매립공사 등에서 먼저 echo sounder에 의한 수심측량이 불가능할 경우 원인 규명에 있어서의 기준과 echo sounder의 음파 주파수를 변경하거나 탁도저감대책 등의 대책 수립에 있어서의 기준으로 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Kenneth C. Kiesel (2000), A New Pitch/Yaw Stabilized Bathymetric Survey System, *L-3 communications/SeaBeam Instruments*, pp. 201-205.
<http://www.marimatech.com>
 Richard B. Phelan (1997), OTF DGPS for Estuarine Dredging

and Sounding Surveys, The University of New Brunswick, Mast of Engineering, pp. 2-30.

Eden, H. (2002), Echo Sounding - DSLP - an Innovative Echo Sounding Technology, *Hansa*, Vol. 137, No. 10, pp. 36-39.

노대훈 (2000), 멀티빔 자료를 이용한 웹기반의 3차원 해저 지형 가시화, 인하대학교 대학원 석사학위논문, pp. 15-31.

박운용, 김천영, 김용보 (2003), 하구하상 측량 정밀도 향상에 관

한 연구, 한국측량학회지, 제 21권 제 2호, pp. 137-145.

박운용, 김용보, 백기석 (2003), 하구하상 모니터링 정밀도 향상에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 제 11권 제 3호, pp. 23-34.

서용운, 최윤수 (2000), 실시간 DGPS & Echo- Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인, 한국측량학회지, 제 18권 제4호, pp. 343-350.

(접수일 2005. 5. 25, 심사일 2005. 6. 11, 심사완료일 2005. 6. 21)