

이중 주파수 에코 사운드를 이용한 부니층 두께 조사

하희상· 박형근*

Floating silt-clay thickness survey using dual frequency Single Beam Echo Sound

Heesang Ha· Hyeongkeun Park

†지오맥스 대표이사(E-mail:hsha@geomax.co.kr)

* 지오맥스 기술연구소 책임연구원 (E-mail:hkpark@geomax.co.kr)

1. 서론

일반적으로 수심측량은 해저면의 지형을 조사하기 위한 방법으로 많이 이용되어 왔다. 트랜스듀서로부터 발생된 수백 KHz 대역의 고주파의 echo sound를 측정하여 수심을 측정하는 것으로 정밀한 GPS 기술과 조석변화 등을 같이 측정하여 보정하게 된다. 본 연구에서는 주파수에 따라 해저면에 대한 파의 침투심도가 다르다는 사실을 이용하여 같은 지역에 대하여 고주파와 저주파 두개의 시스템을 이용하여 수심을 측정한 후 두 결과의 차이로부터 부니층의 두께를 조사하고자 하였다. 또한 이 층의 물리적 특성을 분석하기 위하여 조사지역내의 시추공에 대해 방사능 검층방법인 RI시험을 수행하였다.

부니층은 밀도가 1~1.4사이에 분포하며 함수비가 매우 높아 준설후 투기시에 배수가 되어 물량의 차이가 많이 생기는 층이다. 따라서 투기장 건설시에 부니층의 분포를 정확하게 조사하는 것은 투기장의 크기를 결정하는데 중요한 역할을 한다.

이 연구의 조사는 광양만 해역에 대하여 수행하였으며 100m X 100m 면적으로 3개지역을 대상으로 하였다. 이 연구에서는 격자형태의 수심 측량과 달리 측선을 따라 1~2미터 정도의 간격으로 세밀하게 조사를 수행하였고 측선 간격은 5에서 10미터였다. Stephen 등(1999)에 의해 28KHz 주파수 시스템은 호상 미체 퇴적층에서 침투심도는 약 10미터로 이미 알려져 있다. 이 연구의 대상지역은 시추조사로부터 부니층 및 퇴적층의 두께가 수미터 이내인 것을 확인하여 저주파 시스템은 33KHz로 적용하였고 고주파 시스템은 일반적으로 수심측량에 많이 이용되는 200KHz 시스템을 사용하였다. 본 연구에서는 이중 주파수를 이용한 수심측량으로 퇴적층의 분포를 확인하였고 시추공 검층 자료와 비교하여 천부 퇴적층의 물리적 특성을 규정할 수 있었다. 향후 퇴적패턴 및 시간에 따른 퇴적량 등에 대한 연구에도 적용 가능할 것으로 사료된다.

2. 지형

광양만은 한반도의 남해안 중앙부에 위치하며 남해군과 해협을 이루며 광양만 동쪽은 노량해협을 통하여 남해와 연결되어 있다(그림 1). 해안선 주변부는 리아스식 침강해안선으로 노년기 지형에 대당하며 지질구조와 암상에 따라 그 양상을 달리하고 있다. 광양만은 하나의 반폐쇄적 지형으로서 20여개의 섬들이 분포한다. 대체로 길쭉한 장방형이며 그 면적은 약 $230km^2$ 이며, 만의 서쪽과 북측은 수심이 5m이하로 얇고, 동측의 노량해협에서 동서측의 여수만 입구로 이어지는 부분은 수심이 20m 이상으로 깊다. 그림 2에 나타난 바와 같이 조사 해역은 광양만 3단계 준설토 투기장 건설예정지역 인근에 위치하며 수심이 5m 이하로 낮은 지역으로 JS-1 방향은 이미 선박 항로를 위해 준설된 곳으로 수심이 15m 정도로 깊다.

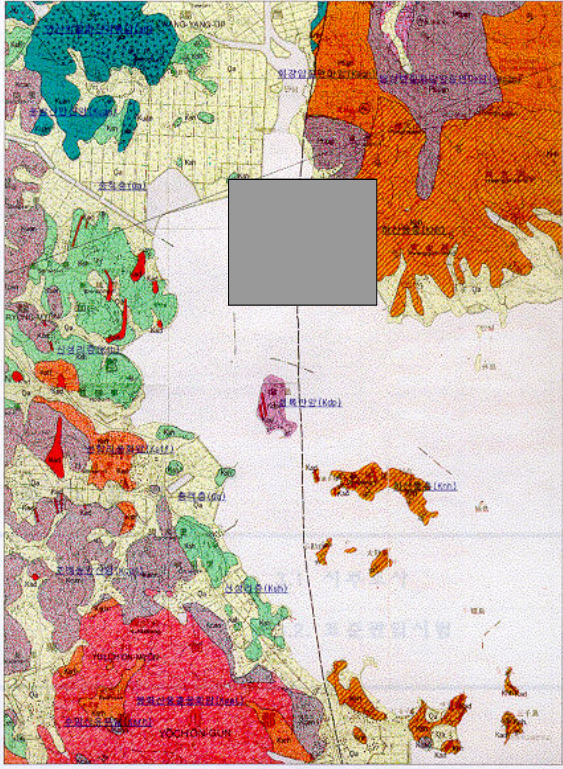


그림 1 광양만 주변해역도

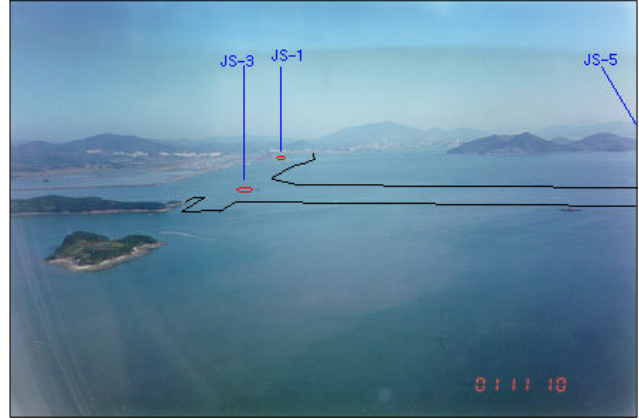


그림 2 조사지역 항공사진(JS - 1, 3, 5 지점)

3. 조사 내용

광양만 3단계 준설토 투기장 건설에 따른 준설예정 해역에 대하여 해저퇴적상의 수평적 및 수직적인 분포상태조사를 실시하기 위하여 2개 주파수의 에코 사운딩(Dual Frequency Echo Sound)방식과 위성측위의 D-GPS방법으로 조사를 실시하였다.

조사 장비는 수심 측량용으로 E-Sea sounder(200/33KHz) 시스템을 이용하였고 해상 측위는 RTK 방식의 D-GPS 시스템으로 트림블 4000 SSi Base(Trimble, Ltd, USA) 시스템과 2개의 이동국을 선상에 장착하여 사용하였다. 자료 처리 프로그램은 HYPACK 8.9(Coastal, Ltd, USA)과 HYDROMAP(Trimble, Ltd, USA)을 이용하였다.

조사가 실시된 공사예정구역(3.7km×2.6km) 주변에 대해 그림 3에 나타난 바와 같이 준설예정구역상에 JS-1, 3, 5를 중심으로 100m×100m 구역에 대하여 각각 동서방향으로 10m간격씩 10개의 측선으로 설정하였다. 측심간격에 있어서 측심선의 간격은 원칙적으로 정박지와 항로에 있어서는 5-30m, 기타해역에서는 10m~50m로 하며 설계측량의 중요도, 해저의 기복, 해저면이 토양, 모래, 암반인가에 따라 특별시방서에서 정하는 바에 따르게 되어 있으나 본 조사에서는 10m로 측심선의 간격을 정하였으며, 측심방향은 원칙적으로 해안선에 직각되는 방향으로 설정하여 해저 지형을 파악할 수 있도록 하나 부니층의 파악을 위해 조사선박의 항해에 원활한 방향인 동서방향 또는 서동방향으로 하였다. 검측심선은 주측심선에 가급적 직교하도록 하며 그 간격은 주측심 간격의 5-10배로 하였다.

지점별 항측계획선의 좌표계산은 관측 측량점인 JS-1, JS-3, JS-5의 좌표를 중심으로 계산하였으며 이를 위해 각각의 좌상,좌하,우상,우하의 좌표를 계산하였으며 이에 대한 좌표는 다음과 같다.

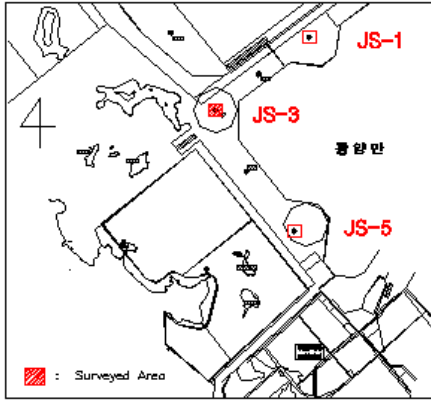


그림 3. 조사구역 위치도

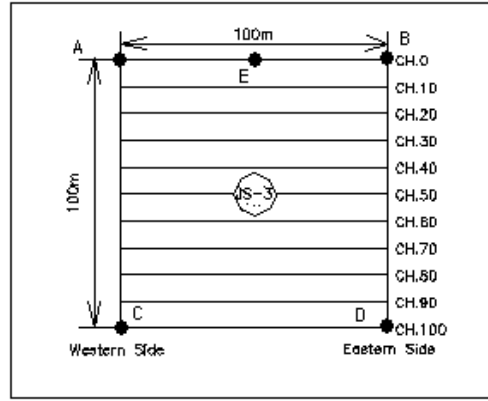


그림 4. 지점별 항측 계획도

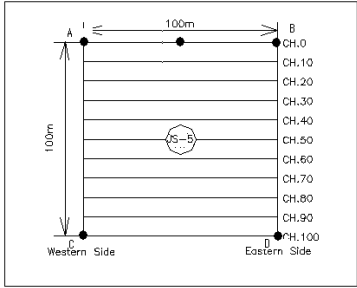
표 1. 측선구역 좌표도(JS-1 지점)

JS-1 측선 계획도	측점	N	E
		JS-1	154920.984
E		154970.984	260196.558
A		154970.984	260146.558
B		154970.984	260246.558
C		154870.984	260146.558
D		154870.984	260246.558

표 2. 측선구역 좌표도(JS-3 지점)

JS-3 측선 계획도	측점	N	E
		JS-3	153423.646
E		153473.646	258287.914
A		153473.646	258237.914
B		153473.646	258337.914
C		153373.646	258237.914
D		153373.646	258337.914

표 3. 측선구역 좌표도(JS-5 지점)

JS-5 측선 계획도	측점	N	E
		JS-5	150948.884
	E	150998.884	259890.747
	A	150998.884	259840.747
	B	150998.884	259940.747
	C	150898.884	259840.747
	D	150898.884	259940.747

3.1 측선 및 조사선의 유도

예정 조사구역에 대하여 설정한 조사 측선은 항측 System을 이용하여 제어를 하며, 조사시 선박으로부터 발생하는 스크류의 Noise에 의한 계측 자료의 질적 저하를 방지하기위해 조사한 측선의 다음 측선 측정시 충분한 시간차를 두고 조사하였으며 조사선의 선속은 3~4.0knot 전후를 유지 계측하였다.

3.2 D-GPS에 의한 해상측위조사

당 해역에는 해상 측위 계측을 위해 DGPS(Differential Global Positioning System)를 사용하였다. 이 장비는 육상의 기준점에 기준국(base station)을 설치하고 조사선에 이동국(mobil station)을 장착하여 항해하면서 같은 시각에 동일 인공위성으로부터 좌표를 수신한다. 이 때 기준국에서는 수신된 좌표값과 기지값의 편차를 계산하여 이동국에 송신하면 이동국에서는 위성으로부터 수신된 좌표값에 편차를 보정하여 각 해상측점의 실제좌표를 얻게 된다(그림 5).

사용된 D-GPS장비는 Trimble 4000ssi로 측량정밀도는 RTK에 의한 정지측량시, 5mm+ 1ppm(H), 10mm+ 1ppm(V)이며 이동측량시 1cm+ 2ppm(H), 2cm+ 2ppm(V)로 당 조사에 성격상 이용된 측위방식은 Roll, Pitch, Yaw등과 같은 해상조사시의 위치 변화인자를 고려할수 없기에 RTK보다 안정된 자료전송을 수행하는 DGPS를 사용하게 되었으며, GPS기지국의 설치에 위성관측 안테나의 수평기준면으로부터 15°이상에 장애물이 있지 않는 곳이며 무선모뎀의 허용범위에 포함되는 R점(JS-3 부근의 섬. 그림 6)을 이용하였으며 기지국에서는 측위위성의 예보궤도의 오차 및 우주공간의 전리층을 통과할 때 발생하는 불규칙적인 측위의 오차를 실시간(Real-Time)으로 계산하여 조사선에 설치된 GPS이동국에 0.3초간격으로 전송 및 수신하게 설정하였다.



그림 5. 선박의 항적유도(JS-3지점)



그림 6. 중계기지국(상),
베이스기지국(하)

한편, 여기서 얻어진 측위 Data는 해저지형탐사용 조사선박의 예정 측선유도와 조사구역의 측위결정에 기본 자료로 활용되며, 측위 Data의 송신과정에서 발생하는 Delay Time보정과 Data Processor 내부의 계산과정에서 발생하는 Delay Time등을 계산하여 실시간 측위 및 음파수신 Data 보정을 실시하였다.

3.3 DF(Dual Frequency type) 방식을 이용한 해저 수심 음파탐사

얕은 해역에서 에코사운드링시 주로 고주파 시스템을 이용해서 해저면 바닥의 깊이를 측정할 수가 있다. 고주파와 저주파 시스템에 의한 반사패턴에 대해 그림 7에 나타내었다. 고주파는 실트의 상단층에서 반사되며 하부로 침투하는 에너지는 거의 없다. 저주파수는 실트상에서 약한 반응을 보이며 하부의 단단한 바닥면상에서 강하게 반응하게 되므로 실트의 하단층을 알아낼 수가 있다. 저주파 에너지의 대부분을 반사하는 면이 실트층 하부에 주로 존재하므로 저주파 시스템을 이용하여 정확한 수심을 측정하기는 어렵다. 따라서 저주파 시스템은 수심 측정용으로 이용하기보다는 주로 부니층의 경계에서 강한 반사를 나타내므로(그림 8) 부유 유동층 내지 퇴적층의 경계면을 측정하는데 적용성이 높다고 하겠다. 그러나 이 경우 비교를 위하여 반드시 고주파 시스템으로부터 정밀한 수심 측정이 필요하다. 그림 9에 이 조사에서 수행된 두개의 주파수 트랜스듀스 센스를 장착한 모습을 나타내었다.

측심에 있어서 음파송수신기는 선체의 중앙부근에 설치하여야 하나 어선을 이용하여 선박의 우측중간위치에 설치하였으며 이에 대한 GPS의 좌표 옵션을 측정하여 GPS의 위치와 음파 송수신기의 위치를 분류하여 사용하였다. 수심은 수직 측심치만을 채용하도록 유도하기 위해 음파 송신각이 가능한 10도 이하의 송수신기를 사용하였으며 특히 33Khz의 경우 10도 이하의 발진이 가능하여 수직 측심치 획득에 상당한 노력을 기울였다. 또한 이를 위해 가능한 잔잔한 해상의 기상조건이 필수적인데 조사 당시의 해상 조건 또한 복서풍이 없어 잔잔한 수면위에서 본 조사를 수행할수 있었다.

이 조사에서는 조사 장비에서 제공되는 0.01m의 정밀한 값을 사용하였다. 음측 기록의 수심은 해저의 표면인 최저 수심을 읽었으며 200Khz 주파수에 의한 에코 사운드링시 해저에 부니층 표면의 수심 값을 획득하도록 하였다.

음향 측심 기록에 이상이 있어 판단하기 어려울때는 재측정하여 이를 확인하였으며 대부분의 경우 조사선박의 스크류에 의한 거품 발생으로 인한 오차였으며 일부 구간의 경우 어군에 의한 오차가 발생하여 이를 현장에서 직접

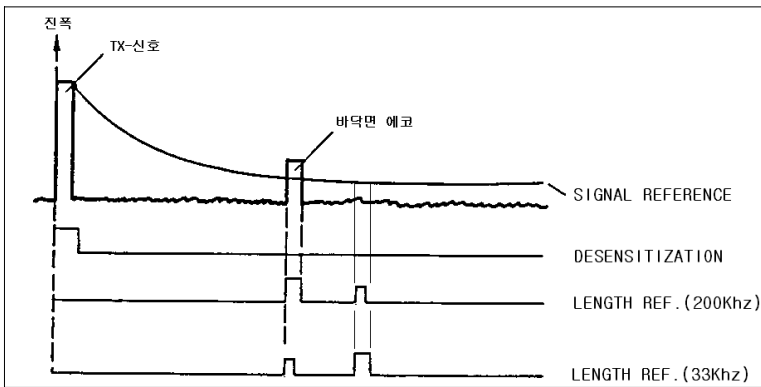


그림 7. 주파수별 진폭의 변화

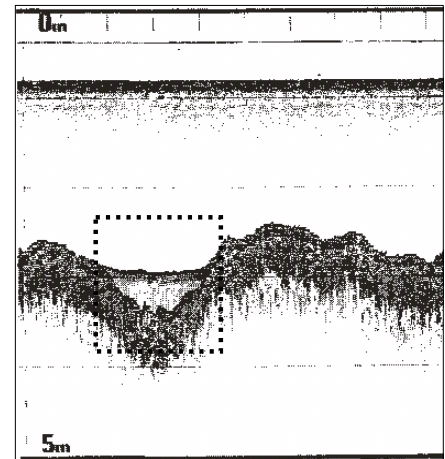


그림 8. Roll상의 부니층(33KHz)

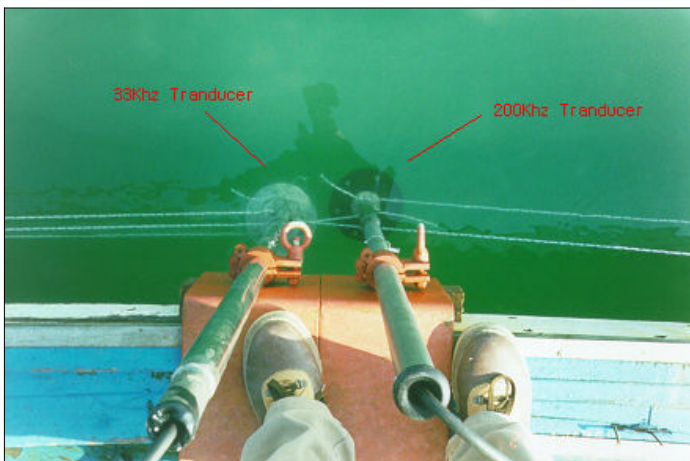


그림 9. 이중 주파수에 의한 사운드링 장면

재확인하여 처리하였다. 이 조사지역의 경우 측량선이 접근하기 곤란한 지역은 없었으며 다만 어망 또는 양식을 위해 설치한 망으로 인해 일부지역의 경우 자료를 수집하지 못하였다. 이 경우에는 참고용으로 레드등의 기타 재래식 측정방식을 이용하여 주변의 조사구역과 비교하도록 하였다.

3.4 밀도 검층

밀도 검층은 감마선의 콤프턴 산란 효과를 이용하여 암석의 체적 밀도(bulk density)를 측정(민경덕 외, 1987)하며 일반적으로 ^{137}Cs 방사능 선원과 일렬 배치된 여러개의 센서 중 시추공의 여러 환경 중에서 가장 영향을 작게 받는 가장 먼 거리에 있는 센서를 이용하여 밀도를 측정한다(이상규 외, 1998). 일반적으로 검출기의 교정은 3단계로 이루어지며(Samworth, 1992) 본 연구에서 사용한 RI meter 장비는 미국 Troxler 4350 Probe이며 측정정도는 밀도 : $\pm 0.009\text{t}/\text{m}^3$, 함수비 : $\pm 0.0032\text{t}/\text{m}^3$ 이다. 이 조사에서는 지반의 단위 중량과 함수비를 측정하기 위하여 대상지역에 25cm 간격으로 RI meter 시험을 실시하였다.

4. 조사자료분석

4.1 부니층 분석도 작성

주과수 대역별 횡단면도를 기준으로 JS-1에 위치한 시추공에서 조사한 습윤밀도를 그림 9에 나타내었다. 습윤밀도는 -3에서 -4사이의 심도에서 급격한 변화를 나타내고 있다. -3.1지점에서 변화를 보이기 시작하여 -3.35에서 변화의 폭이 줄어들며 -3.6에서 밀도 1.43정도로 안정되게 나타나고 있다. RI의 측정 심도를 25cm 간격으로 하여서 정밀한 결과는 알수 없지만 약 30센티미터 두께인 부니층의 존재를 확인할 수 있었다. 그림 10에 RI결과와 두개의 주과수 시스템으로부터 나온 결과를 단면도에 중첩하여 나타내었다. 두개의 주과수시스템으로부터 측정된 수심의 차이 부분이 시추지점에서 약 30cm 정도로 나타나고 이 층의 특성은 부니층으로 RI 결과를 통하여 확인할 수 있다.

JS-5 지점의 습윤밀도를 그림 11에 나타내었고, 그림 12에 RI 결과와 함께 두개의 주과수 시스템의 결과를 나타내었다. JS-5지점의 경우는 있어서는 부니층의 두께가 시추위치에 0.2m으로 나타나며 RI의 경우 또한 0.2m정도로 그 변화의 폭을 알수가 있다.

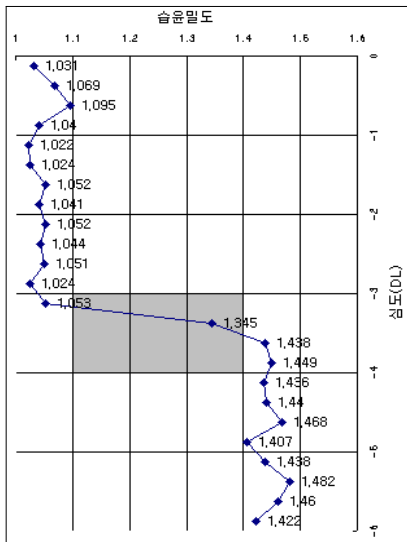


그림 9 J1지점 습윤밀도

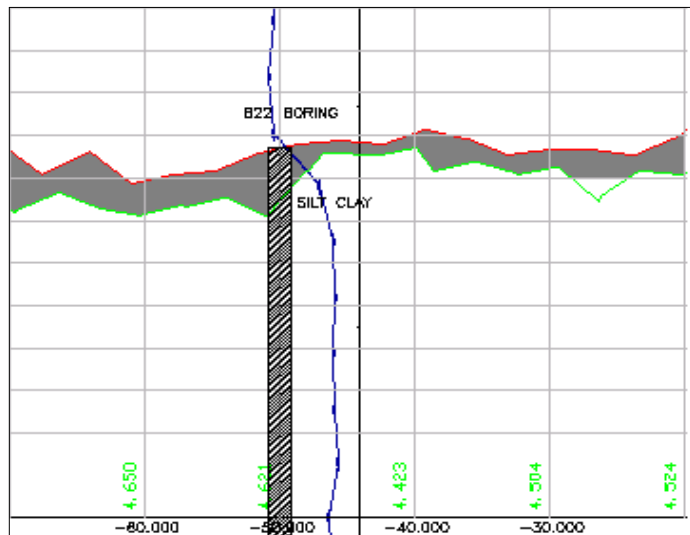


그림 10 JS-1지점 부니층 분석도

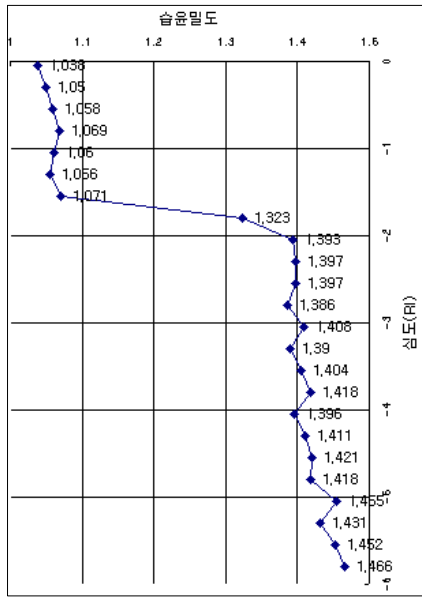


그림 11 JS-5지점 습윤밀도

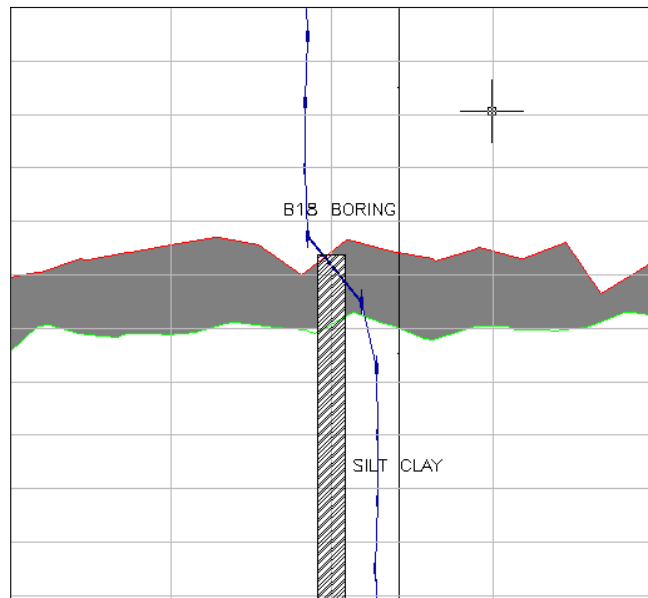


그림 12 JS-5지점 부니층 분석도

4.2 평균 부니층 두께의 계산

부니층 분포도에서 생성된 등고선도를 이용하여 각각의 지점에 따른 100m×100m 구역 전체의 평균두께를 계산한 결과 다음과 같다.

- JS1지점 100m×100m 구역 : **0.128m**
- JS3지점 100m×100m 구역 : **0.043m**
- JS5지점 100m×100m 구역 : **0.172m**

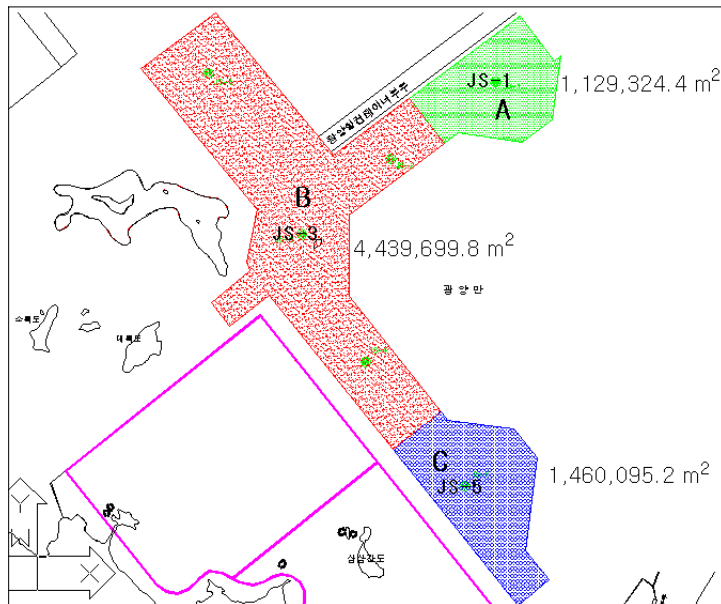


그림 13 지점별 준설예정구역 면적도

4.4 지점 대역별 부니층 물량계산

부니층의 물량계산은 그림 13에 나타난 바와 같이 지점을 중심으로 적정한 구간을 3등분하여 표 4에 표시한 좌표값들로부터 면적을 계산한후 지점에서 계산한 평균 두께를 이용하여 물량을 계산하였으며 이는 다음과 같다.

- A구역(JS-1지점) : **144,553.5m³** (= 1,129,324.4m²×0.128m)
- B구역(JS-3지점) : **190,907,1m³** (= 4,439,699.8m²×0.043m)
- C구역(JS-5지점) : **251,136.4m³** (= 1,460,095.2m²×0.172m)

표 4 . 지점별 준설예정구역 좌표면적표

A구역(JS-1)	B구역(JS-3)	C구역(JS-5)
	X=264282.986 Y=152849.211	
	X=264183.125 Y=152328.134	
	X=264217.611 Y=152236.296	
	X=263829.815 Y=151922.935	
	X=264017.223 Y=151688.674	
X=261284.856 Y=153640.918	X=264407.658 Y=152001.020	X=267985.054 Y=147532.615
X=261420.733 Y=153742.826	X=265624.078 Y=150480.486	X=267888.249 Y=147650.255
X=262050.733 Y=153652.825	X=266092.600 Y=150855.302	X=266756.163 Y=149065.371
X=262347.006 Y=153875.031	X=265186.984 Y=151987.329	X=267295.800 Y=149351.292
X=262437.006 Y=154505.031	X=265186.984 Y=152786.543	X=267945.765 Y=149271.140
X=262369.009 Y=154454.033	X=266126.975 Y=153491.536	X=268173.617 Y=148979.187
X=262028.684 Y=154898.789	X=265783.040 Y=153933.585	X=268061.913 Y=148073.364
X=260940.921 Y=154082.967	X=265035.127 Y=153372.651	X=268295.684 Y=147781.117
	X=265011.127 Y=153404.651	
	X=263875.381 Y=154773.853	
	X=263142.760 Y=154224.387	
	X=264278.506 Y=152855.184	
1,129,324.4m²	4,439,699.8m²	1,460,095.2m²

5. 결론

이중 주파수를 이용한 부니층에 대한 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

고주파(200KHz)와 저주파(33KHz) 시스템으로 수심측량을 수행한 후 이 차이 값으로부터 부니층의 존재를 확인할 수 있었다. 밀도검층(RI test)를 통해 부니층의 밀도 특성을 확인하였으며, 이로부터 준설예정지역에 대한 부니층의 물량을 산정할수 있었다. 이러한 부니층의 물량계산은 준설 투기장 건설시 설계 규모에 대하여 좀 더 정확하게 산정할 수 있게 하며, 준설 물량 산정시에도 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후, 항만지역 및 호수 지역에 대한 정기적인 조사를 통하여 부니층 또는 퇴적물의 두께뿐만이 아니라 시간에 따른 축적되는 양 및 퇴적 패턴에 대한 분석도 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

민경덕, 권병두, 서정희, 1987, 응용지구물리학, 우성문화사
 이상규, 황세호, 황학수, 박인화, 1998, 지하 물성의 정보화를 위한 물리 검층 품질관리연구 : 한국자원연구소, KR-98(C)-10
 Gerald B. Mills, "Internatinal Hydrographic Review:", LXXXV(2), 1998
 Samworth, J. R., 1992, The dual-spaced density log characteristic, calibration, and compensation: The Log Analyst, 33, 42-49