

Study on the enhancement of data quality from shallow water seismic reflection survey

¹⁾, Jungyul Kim, ²⁾, Yoosung Kim

¹⁾ () , C.E.O., SOAM Consultant Co.,Ltd.

²⁾ () , Director of research and services, SOAM Consultant Co.,Ltd.

SYNOPSIS : Recently, as the forerunner in establishing the Northeast Asia's logistics base, a lot of marine engineering works such as new ports and container terminals, extension of old ports, new bridges, land reclamation etc. have been progressed. Parallel to it, there is also an increasing demand for improving the safety of construction. In this situation, high resolution seismic reflection profiling can be well used, attempting to classify rocks and sediments under water, if possible, to delineate the distribution of grain sizes in sediments not only for calculating the cost of removing sediments from harbour's channels, but also for estimating the bearing capacities for bridge or port construction. However, the results from the corresponding reflection survey that has been in operation in our country can not be effectively used for engineering purposes mostly due to the insufficient resolution. Thus, in this paper, two innovative strategies are introduced to enhance resolution. The one deals with a newly designed exploration barge that will help reduce several kinds of noises encountered electrically or operationally. The other is associated with an establishment of optimum measuring system comprising e.g. a specially devised hydrophone with a combination of 7 piezoelectric elements. Field experiments performed at Busan harbour are illustrated. The quality of acquired data was thereby fundamentally improved in comparison with that obtained at the same time in a conventional way.

Key words : shallow water seismic reflection profiling, exploration barge, boomer, hydrophone, PDGPS.

1. 서 론

탄성과 반사법 현장 탐사는 대부분의 경우 지표면에서 선정된 임의의 축선을 따라 수행되며 그 결과는 축선하부 수직단면에 대한 지층구조 단면도로 표현된다. 즉, 기본 발생원-수진기 배열이 축선을 따라 일정간격으로 이동하면서 그 하부 각 지층경계면의 수직 및 수평적인 변화를 파악하게 되는 것이다. 이러한 탐사 성과는 바로 탄성과 반사법이 갖는 특유한 고유 기능에 의한 결과이기 때문에 그의 응용은 심부에 부존한 자원 조사(예: 석유, 가스, 광물) 이외에도 최근 제반 토목설계 및 시공을 위한 지반조사 분야에도 점차 요구되고 있는 실정이다. 편의상, 탐사 축선이 지면에서 선정되면 지면 탄성과 반사법, 수면에서 선정되면 수면 탄성과 반사법이라 한다. 비록 그들이 각 경계면으로부터의 반사파를 이용한다는 공통점을 갖고 있으나 반면, 그들 각각의 현장 응용에 따른 측정 장치 면에서는 상당한 차이점을 보여주고 있다. 우선 수면에서 사용하는 탄성과 발생원은 지면의 것(화약, 낙하형 발생원 등)과는 달리 내

파형(implosion)을 띤 수압파(pressure wave)를 발생하는 부머(boomer) 및 스파커(sparker)나 에어건(air gun), 워터건(water gun) 혹은 resonance source(sonar) 등이 사용되며 수면에서의 그의 위치는 고정밀 GPS에 의해 측정된다. 또한 수면에서의 측정은 수초내에 데이터 취득이 연속적으로 반복되기 때문에 데이터 관리(데이터 저장, GPS 데이터와의 연계)의 신속함이 유지되어야 한다. 수면에서 주어지는 측정 여건은 대체로 지면에서보다 상당부분 불리하다고 볼 수 있다. 그러나 물은 탄성과 전달 측면에서 거의 균질한 매질로 간주되며 동시에 탄성과 흡수성이 낮다. 더구나, 수중에서는 S파가 배제된 P파만 전달되기 때문에 제반 반사파의 도달이 보다 효율적으로 포착될 수 있다. 이러한 물의 탄성과 특성은 바로 측정 장치의 단순화와 고도화로 이어지게 되었으며 그에 따라 해수층(호수, 하천 포함)과 연관된 유용한 정보(수심, 해저 케이블 시설, 수중 구조물, 해저 지형, 고기 떼 조사)가 고분해능으로 얻어질 수 있게 되었다(그림 1 참조). 이러한 부류의 탐사를 흔히 Echo Sounding이라 하며 그의 발생원으로는 주로 sonar pulse를 발생하는 resonance source가 사용된다. 지금까지 Echo Sounding에 대한 여러 종류(다양

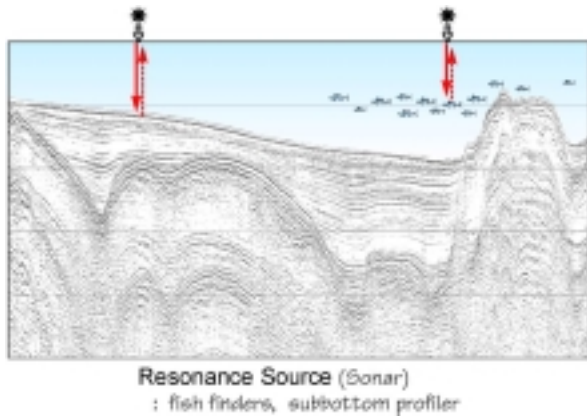


그림 1. Echo Sounding 부류 기술의 응용

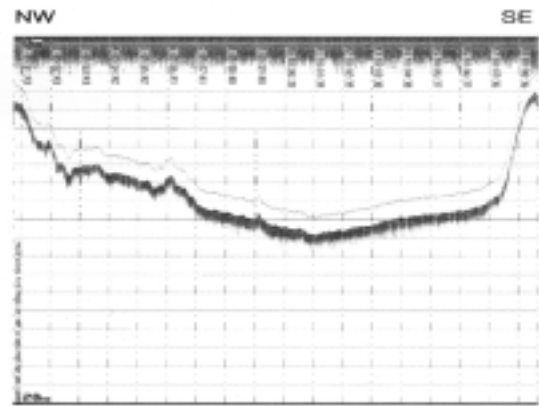


그림 2. Echo Sounding 응용 사례

한 주파수 발생원)의 우수한 측정 장비가 시판되고 있으며, 그들은 국내 항만공사에서 이미 오래 전부터 널리 활용되고 있다. 그림 2는 하나의 Echo Sounding 응용 사례(해저면)를 예시하고 있다. 이러한 탐사기법은 비교적 측정이 용이하고 또한 분해능 향상을 위한 별도의 전산처리가 요구되지 않는 큰 장점을 가지고 있다.

그런데, 상기 resonance source에 의해 발생하는 음파는 해수층 하부 지층에 대한 투과력이 대단히 낮다. 따라서, 해저면은 물론 그 하부 지층 구조(퇴적층 발달 상태, 기반암 암층구분)가 관심의 초점이 된다면(그림 3 참조) 탄성과 반사법의 기능이 폭 넓게 발휘될 수 있는 소위 수면 탄성과 반사법 탐사(Shallow water seismic reflection survey)가 요구되는 것이다. 여기에는 우선 저주파수화 된 탄성파가 매질에 대한 투과력을 높일 수 있게 되나, 반면 그만큼 퇴적층 및 암층에 대한 분해능을 떨어뜨리게 되는 것이다. 나아가서 이러한 상반된 효과에 대처하는 노력은 불가피하게 여러 형태의 잡음(noise)을 유발하여 전체적으로 기대에 크게 미치지 못하는 탐사결과를 얻게 되는 경우가 흔히 발생되고 있다. 그림 4는 최근 국내 항만 공사를 위한 지반조사에서 수면 탄성과 반사법 탐사 명목 하에 얻게 된 탐사 결과를 예시하고 있다. 일별하여, 여러 가지 요인에 의해 초래된 잡음이 전 주시구간에서 발달하여 각 경계면에 대한 정보가 거의 인식되

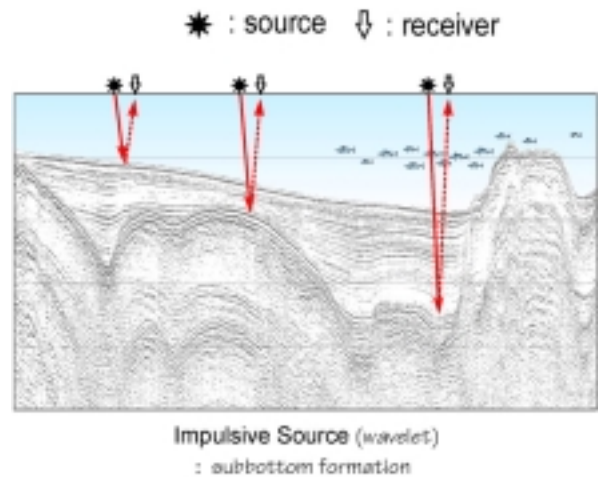


그림 3. 수면 탄성과 반사법의 응용

지 않고 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 바로 해저면과 암층경계면에 대한 정보를 동시에 얻는다는 것이 단순히 시판되는 측정 장치만으로는 기대될 수 없음을 보여주는 것이 되겠다. 따라서, 본 논문은 수면 탄성과 반사법 본연의 기능을 극대화 할 수 있는 제반 측정 및 현장응용기술 개발 내용을 담고 있다. 여기서, 대두된 대부분의 기술개발은 주로 정부출연과제(김중열 외, 2000~2002)에 의해 비롯되었다.

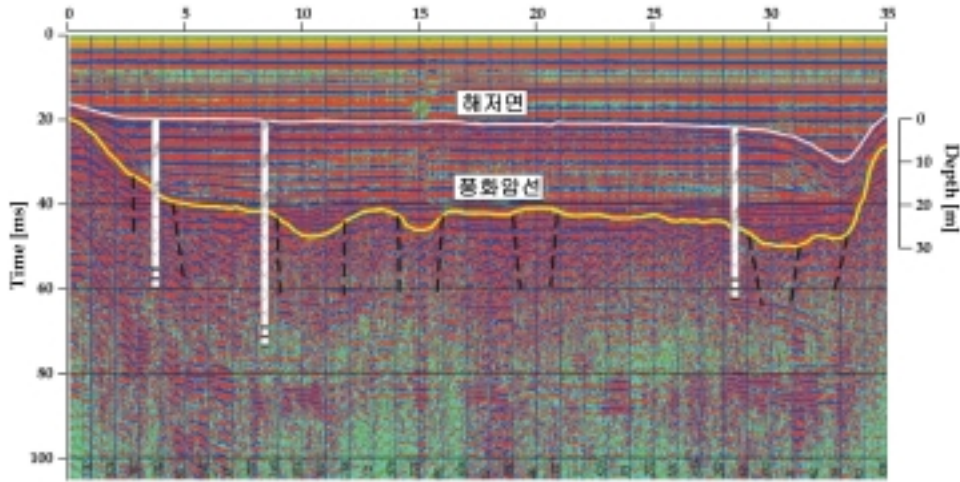


그림 4. 재래의 수면 탄성과 반사법 응용 사례

2. 연안 수면 탄성과 반사법의 현장 응용사례

Echo Sounding 부류의 기술은 해저지형 조사를 신속하고 경제적으로 수행할 수 있는 기능을 갖고 있기 때문에 항만·어항 공사의 설계 및 시공을 위해 대단히 바람직한 것이다. 한편, 수면 탄성과 반사법은 해저면은 물론 그 하부 퇴적층 발달 상태(예: 실트질 점토, 모래 섞인 자갈, 모래질 점토, 점토질 모래) 및 기반암(풍화암, 연암, 경암) 경계면 규명에 목표를 두고 있기 때문에 그의 응용은 주로 항로 준설 및 연안 교량 설계, 연안 매립지 사석투하 이전 지반상태 파악 등에서 찾을 수 있다. 탄성과 발생원으로는 주로 impulsive source 즉, 부머, 스파커, 에어건이 사용되며 그들 각각의 파형요소 $w(n)$ 은 그림 5에 예시하고 있다. 여기서 파형요소 길이 T_D 는 주파수 내용과 연관되며 부머는 상대적으로 높은 주파수를 나타내고 있다. 그림 6은 해저면 하부 지층구조를 모델링한 결과를 예시하고 있다. 여기서 $r(n)$ (reflection series)은 경계면의 반사계수치를 나타내고 있으며, $p(n)$ (impulse response)은 $r(n)$ 으로부터 각 경계면 사이의 다중 반사를 고려한 결과이다.

$s(n)$ (탄성과 기록)은 $w(n)$ (부머)* $p(n)$ (* convolution)의 결과를 나타내고 있다. 이해를 돕기 위해 그림 7에는 상기 $p(n)$ 에 대해 각 발생원의 파형요소 $w(n)$ (그림 5 참조)을 적용하여 얻게 된 기록 $s(n)$ 을 상호 대조하고 있다. 일별하여 T_D 가 짧은 부머에서 각 경계면의 분리가 잘 이루어지고 있음을 관찰할 수 있다. 본 현장탐사에서 사용된 부머 발생원은 비교적 작은 에너지를 방사하기 때문에 이에 대처하여 수진

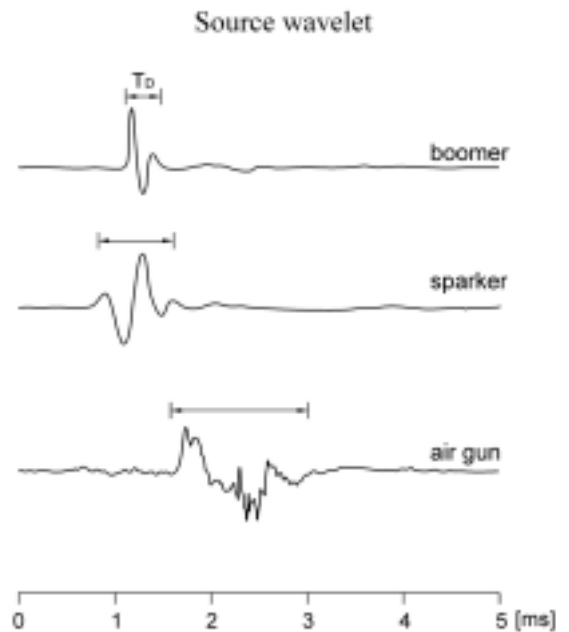


그림 5. 탄성과 발생원 파형요소의 유형

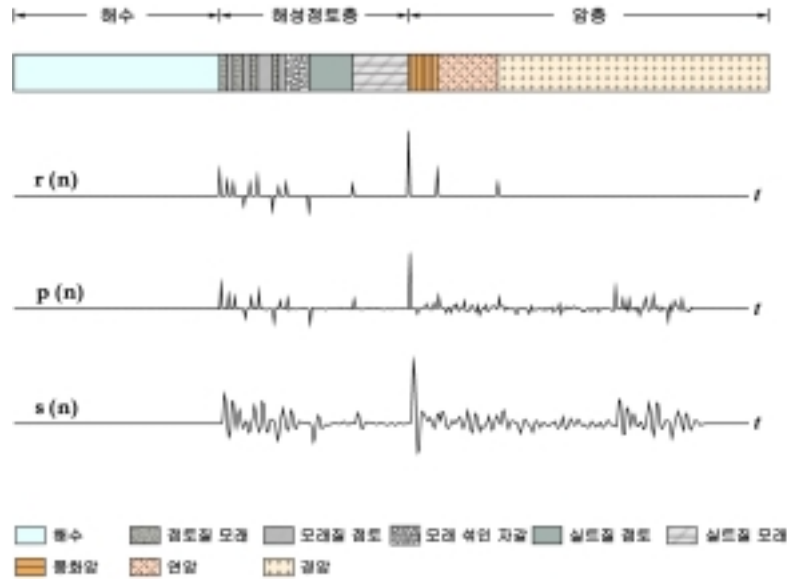


그림 6. 전형적인 국내 연안 해저 지층구조를 모델링 한 결과

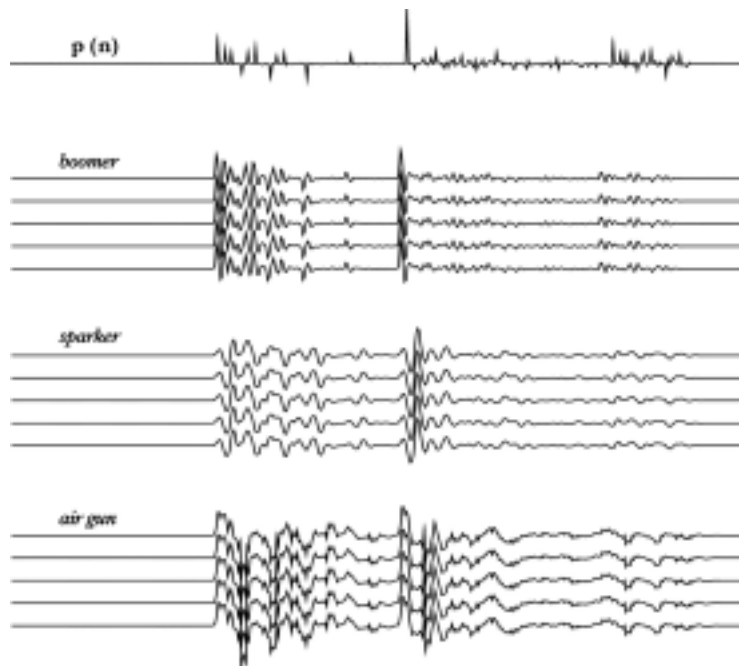


그림 7. 다양한 파형요소에 의한 모델링 결과

기능을 그만큼 높이고자 하였다. 즉, 재래의 하이드로폰의 센서만을 7개 적절하게 배열함으로써 재래의 것보다 약 3배 이상의 진폭 증대 효과를 얻을 수 있게 하였을 뿐만 아니라 나아가서 성분 수신기능도 부분적으로 발휘할 수 있게 하였다(김중열, 2001; 김중열 외, 2002). 데이터 제어 장치는 “SUMMIT MARINE UNIT”(DMT사, 독일)를, 발생원 위치 추적을 위해서는 10cm 미만의 오차 범위를 갖는 고정밀 GPS(PDGPS)를 사용하였다. 재래의 수면 탄성과 반사법 측정은 주로 발생원-수진기 장치가 소형 탐사선(데이터 제어장치 위치)과 인접하여 수면에 띄운 상태로 진행되어 왔었다(그림 8 참조). 그러나, 연

안(항만)의 불리한 탐사 여건 즉, 자연발생적이거나 혹은 빈번한 선박 왕래로 인해 초래되는 크고 작은 파도, 조수간만에 따른 빠른 물의 흐름 등은 수면에 띄워 둔 발생원-수진기 장치를 요동하게 하여 데이터의 질을 크게 떨어뜨리는 경우가 허다하며 때에 따라서는 발생원-수진기 장치가 전복되거나 혹은 파손될 가능성도 배제할 수 없게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 개발된 것이 바로 수면 탄성과 반사법 탐사전용 바지선(그림 9 참조)이다. 다음은 그에 따른 세부 개발내용 및 기대효과를 요약하고 있다.

- 발생원과 수신 장치를 바지선 하부에 장착함으로써 우선 파도에 의한 그의 요동이 최소화되어 파손 위험이 배제될 수 있으며 나아가서 그로 인한 데이터의 양질화가 기대된다.
- 발생원-수진기 배열을 조립한 후 그것을 수면에 띄우는 과정이 생략되어 상당한 시간과 인력 소모가 감소된다. 즉, 탐사 경제성이 그 만큼 높아지게 된다.
- 바지선 내 공간 확보로 인해 고압 전원 케이블에 의한 전기적 잡음을 최소화 할 수 있다.
- 측정에 따른 안전이 보장되어 데이터 취득의 일관성을 유지할 수 있다.
- 수중 내에서 발생하는 소위 수중 다중 반사의 발달이 약화될 수 있다.
- 다중 채널 측정이 손쉽게 수행될 수 있다.

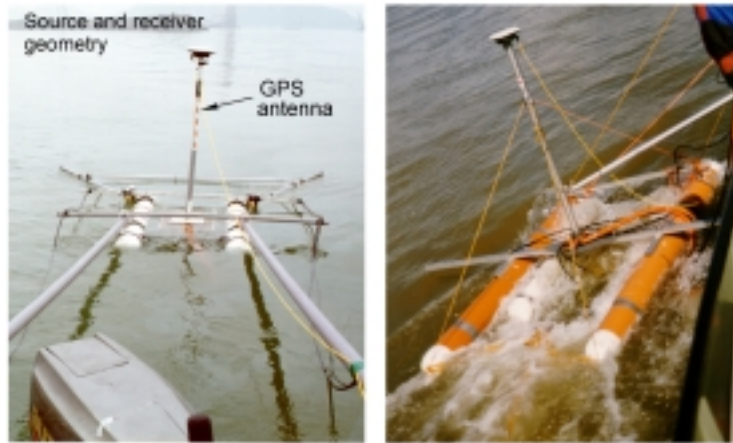


그림 8. 발생원-수진기 장치가 소형 탐사보트에 인접하여 수면위에 놓인 상태



그림 9. 탐사 바지선이 응용되는 전경

그림 10은 상기 바지선에 의해 얻게 된 탐사 결과(부산 연안)를 예시하고 있다. 탐사 당시 주어진 수면 상태는 파고가 약 3m에 달하였으며 더구나 탐사도중 대형 선박이 빈번하게 왕래하여 바지선 전체의 요동을 배가시키는 현장 여건을 보여주었다. 그러나 바지선 바닥에 설치한(그림 9 참조) 발생원과 수신

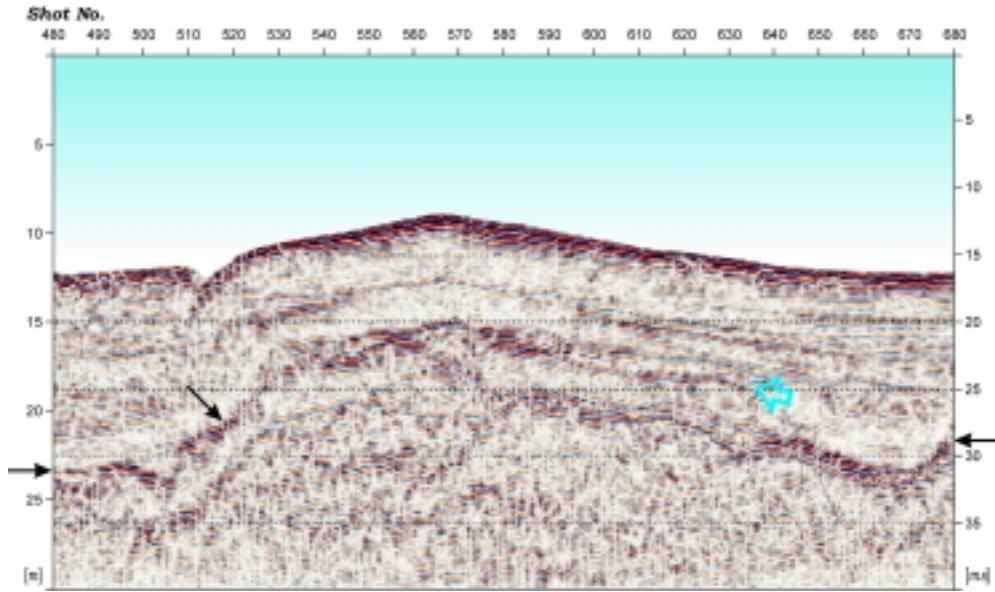


그림 10. 수면 탄성과 반사법 현장 응용 사례

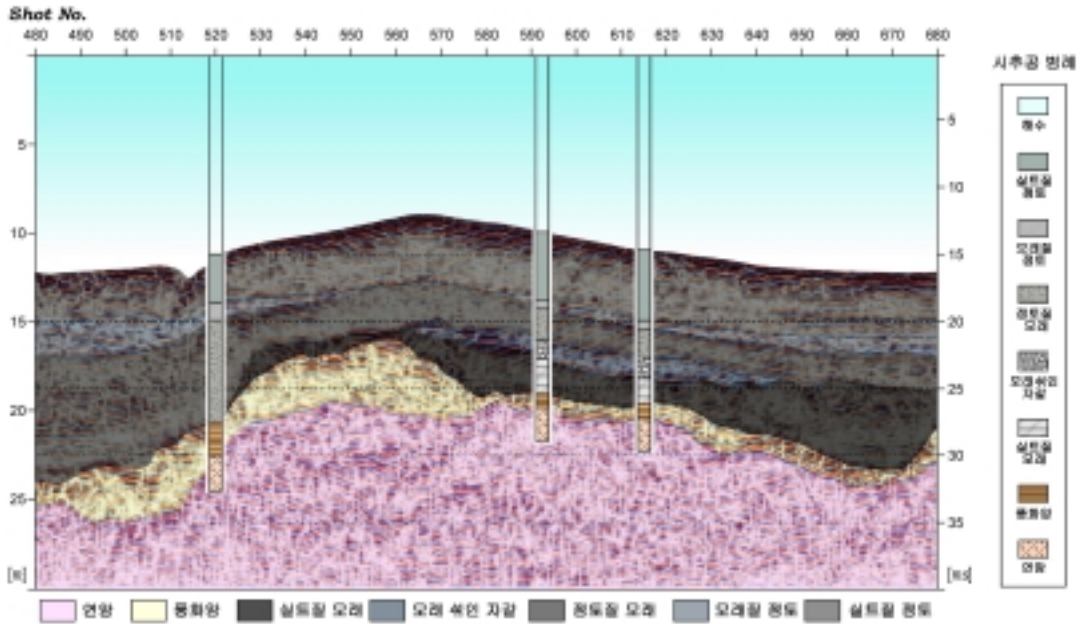


그림 11. 해석 단면도

기는 상대적으로 미약한 요동을 보여주었을 뿐만 아니라 나아가서 안전하고 동시에 일관성을 띤 측정이 보장될 수 있었다. 일별하여 기반암 상부 경계면(화살표로 표시)이 별다른 전산처리 과정 없이 뚜렷하게 관찰되고 있으며 더구나 그 상부 해성점토 구간에는 박층을 띤 퇴적층이 세분화되어 훌륭하게 재현되고 있음을 볼 수 있다. 특히, 빈 화살표로 표시한 경계면은 그의 높은 반사계수로 인하여 모래 섞인 자갈층에 대응되는 것으로 판단된다. 그림 11은 탐사결과를 바탕으로 한 해석단면도와 시추 결과를 상호 대조하여 나타내고 있다. 전체적으로 탐사 결과에서 판단되는 박층의 분리가 천공에 의한 것과 비교하여 보다 세분화되고 있음을 볼 수 있다. 참고로, 그림 12에는 측정된 데이터의 대표적인 주파수 내용을 나타내고 있다. 대체로 경계면 반사파의 에너지가 주

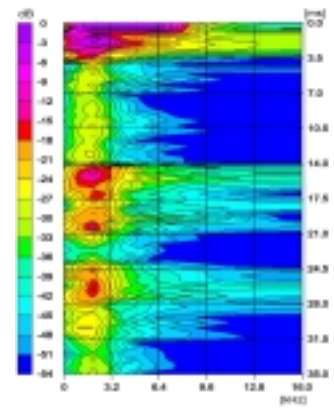


그림 12. 주파수 내용

파수 약 6KHz를 넘어서도 인식되고 있음을 볼 수 있다. 그림 13 및 14는 동일한 탐사 지역의 또 다른 측선에 대한 결과를 보여주고 있다. 한편, 주어진 조사 범위 내에서 적정량의 탐사 측선에 대한 데이터가 취득된다면 퇴적량 산출도 가능하게 된다(그림 15 참조).

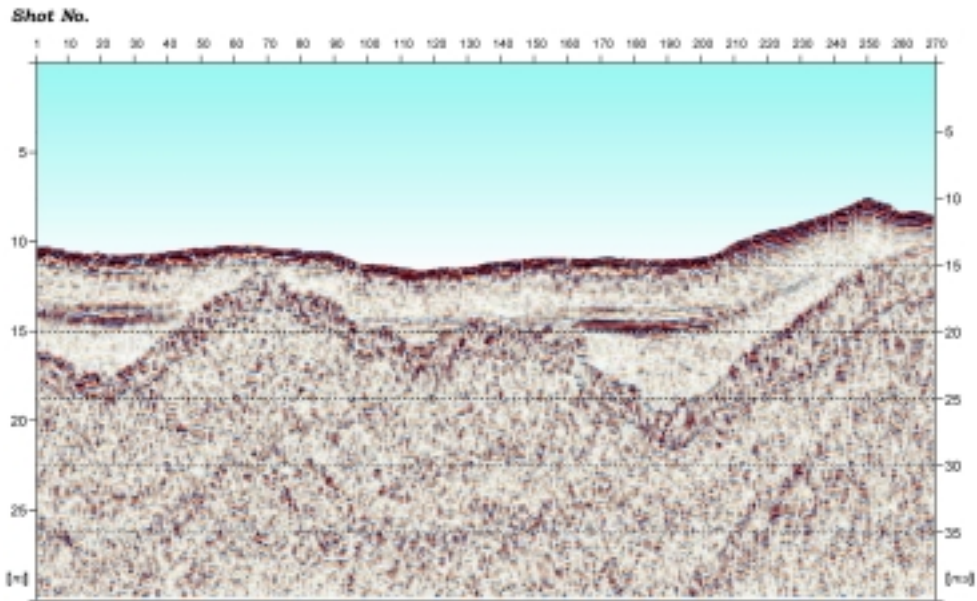


그림 13. 수면 탄성과 반사법 현장 응용 사례

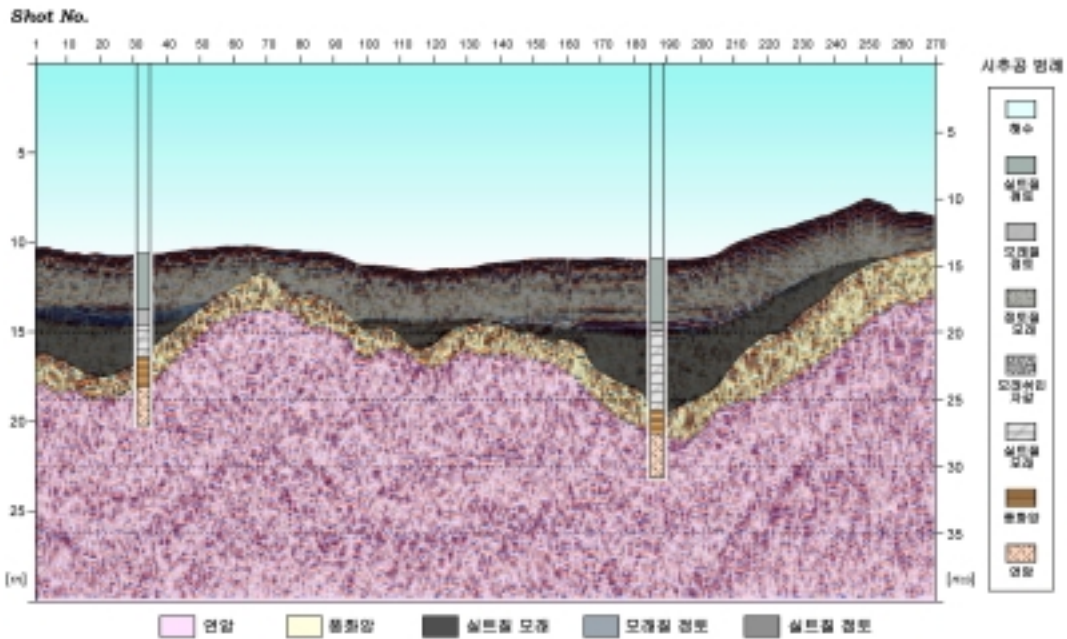


그림 14. 해석 단면도

상기 개발내용을 바탕으로 한 수면 탄성과 반사법은 2001년 11월 해양수산부 건설 91580-295(2001. 8. 25.)에 의거 기술의 표준화에 이르게 되었으며 그로 인해 “천해저 지층구조 조사를 위한 수면 탄성과 반사법 탐사 세부 지침”이 전 항만 및 연안 지반조사 부처에 전달되었다.

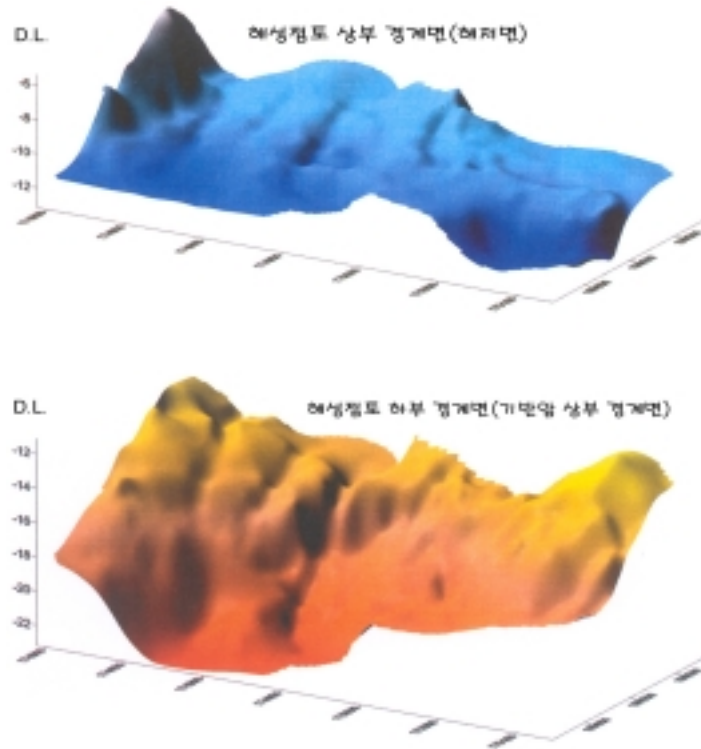


그림 15. 해저면과 기반암 상부 경계면의 정확한 정보는 해성점도량의 산출을 가능하게 한다.

3. 결 론

연안 수면 탄성과 반사법 탐사는 주로 해수층을 대상으로 활용되는 Echo Sounding 부류기술과는 달리 해수층과 그 이하 퇴적층 및 기반암층에 대한 정보를 동시에 얻고자 하는 데 있기 때문에 그에 따라 적절한 발생원 및 수신 장치 선정, 발생원-수진기 배열의 최적화, 각종 잡음(noise)의 약화, 데이터 취득의 고분해능화, 전산처리의 고도화 등 여러 가지 부대 기술들을 요구하고 있다. 더구나, 연안에서 보여주는 불리한 탐사 여건(예: 파도, 조수간만)은 흔히 데이터의 질을 크게 떨어뜨리는 요인이 되었다. 본 현장 실험에서 얻게 된 탐사 결과는 상기 제반 문제에 훌륭하게 대처하여 수면 탄성과 반사법 본연의 기능이 극대화된 것이라 할 수 있다. 이러한 고분해능 데이터 취득은 한편으로 상기 탐사 바지선의 효율성이 기대이상으로 반영되고 있었음을 시사하는 것이 되었다.

참고문헌

1. 김중열, Swoboda Ulrich, 김유성, 김기석(2002) “철도교량 설계 지반조사를 위한 고분해능 수면 탄성과 반사법의 응용 사례”, *지반 한국지반공학회지*, Vol.18, No.1, pp.31-40.
2. 김중열 외(2003) *탄성파를 이용한 천부 지층구조의 입체 영상화 연구 최종보고서(2000년~2002년, 3년 과제)*, KR-02(C)-12, 한국지질자원연구원, 산업자원부.
3. Kim, J. Y.(2001) "Case Histories of Shallow Seismic Reflection Methods in the Environmental Problems in the Engineering Works", *International Symposium, KIME*, pp.117-128.