

## 二重 周波數에 의한 淺海 淺部地層의 分解力과 透過力에 關한 思考 Sub-Bottom Profile Analysis Using Dual Frequency Prototype 15/100 KHz

金 昭 九\*  
So Ku Kim\*

**要 旨 :** 이중 주파수(Dual Frequency)를 사용한 Prototype형 천해 지층 탐사기를 사용하여 얻은 탐사 기록지가 제시되었다. 이중 주파수로는 3.5/100 kHz 혹은 15/100 kHz를 이용해서 고주파수에 의한 고해상도(High Resolution)을 얻고 동시에 저주파수(3.5~15 kHz)에 의한 심층 투과력을 높이는데 본 연구의 목적이 있다. 특히 탐지하는 목표물이 Fresnel 반경에 비해서 매우 작을 때는 쌍곡선형 회절 무늬(Hyperbolic Diffraction)가 나타나기 때문에 쉽게 목표물을 찾을 수 있다. 감쇠상수가 큰 모래층은 작은 감쇠상수를 갖고 있는 점토보다 지진파의 투과력을 약하게 만든다. 이와같이 이중 주파수의 동시 운용은 해저 지질, 모래와 점토(Silt/Clay) 분포, 오니토 및 해양고고학 유물 탐사에 크게 활용할 수 있다.

**Abstract** □ Shallow sub-bottom reflection recorders are obtained using dual frequency (15/100 kHz). The main goal of this study is to enhance the resolving power and penetration for the sub-bottom reflection of the sub-marine seismic exploration. The Fresnel zones of spherical waves for the near-field are of great importance to reach the high resolution. In case a target to detects than the Fresnel radius, a diffraction hyperbola on the recorder is observed. A larger attenuation of sand makes less penetration than the smaller attenuation of silt and clay. It is found that the selective frequency as well as the seismic energy generation is the most important factors for sub-marine exploration. This technique of using dual frequency sub-marine exploration may be applied to detect the sub-bottom sludge soil, ocean contamination and marine archaeological relics.

### 1. 緒 論

천해 Echo Sounder의 기원은 1912년 독일 Kiel 태생인 Alexandor Behm이 바다속으로 떠다니는 빙산(Ice berg)을 탐지하는 데서 시작되었다. 그는 Echo Sounder를 개발하여 빙산의 위치를 미리 정확하게 탐지하므로 선박의 파손을 막고 안전한 항해를 가능하게 하였다. 오늘날에 와서는 고도의 첨단 전자과학의 발달과 더불어 Transistor Circuit Board의 개발로 해저 지층탐지기 기술도 크게 성장하였다. 지층탐사기로는 일본 海上電氣 Model SP-3, Datasonics (Model CAP-6000A), Geoacoustics(Model 137D) 및

EG & G 등과 같은 회사를 들 수 있는데 이들 장비는 모두가 큰 중량(500~1000 kg)을 갖고 있고 설치하는데 매우 복잡하다는 것이다. 그 뿐만 아니라 또한 이들 장비도 해저 심부층 기반암을 탐사하는데 지질구조와 물성, 그리고 주변잡음(Background Noise)에 따라 어려운점이 많이 있다. 이러한 난점을 극복하고 설치하기 쉬운 뿐더러 고해상도(High Resolution)와 투과력(penetration)을 동시에 습득할 수 있는 Prototype 이중 주파수 Sub-Bottom Profiler(3.5/100 kHz, 15/100 kHz)를 소개한다. 이 두 Set의 주파수 치환은 간단한 PCB를 치환하므로 얻어질 수 있는 휴대용(Portable) 지층 탐사기이다. 그리고 이 해저 지층

\*漢陽大學校 地球海洋科學科 (Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea)

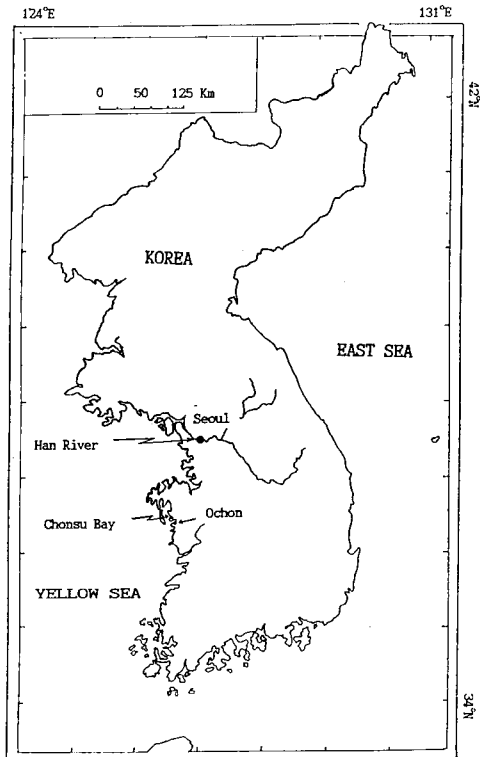


Fig. 1a. The exploration sites in Korea using 15/100 kHz Sub-bottom profiler arrows represent exploration sites.

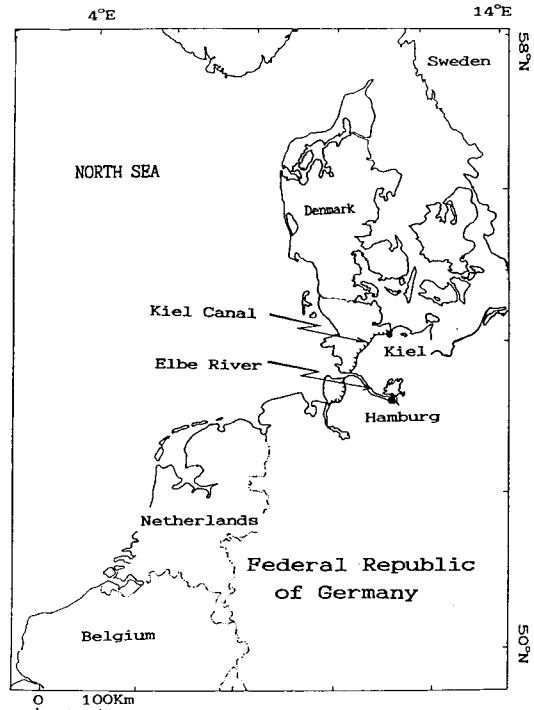


Fig. 1b. The exploration sites in Germany using 15/100 kHz Sub-bottom profiler arrows represent exploration sites.

탐사기는 탐사선 중간점(선두의 물결과 선미의 Engine Screw를 피함)에서 흡수선 아래 1m 깊이에 송·수파기가 오도록 Joint Bolt나 Manila Rope로 움직이지 않도록 부착시킨다. 전원공급은 배의 직류 발전용 AVR을 거쳐 24V DC/1.5A로 연결하면 된다.

탐사기록은 수심에 따라 1 : 50(얕은 수심), 1 : 100(보통수심), 1 : 250(깊은 수심)으로 고정시키고 기록지 속도는 30~100 mm/분으로 하여 천해인 경우에는 빠른 속도로 한다. Transducer Depth를 결정하고 그 밑에 Dead Zone을 설정하므로 해수면에서 오는 다 반사(Multiple Reflection)를 방지한다. 본 연구에서 실험한 탐사 지역은 충청남도 천수만과 오천만(내부), 한강의 오폐수 오염이 심한 원효대교밑 그리고 독일의 Kiel 운하와 Elbe 강 등이다(Fig. 1 참조).

본 연구에서 모래와 점토(Silt/clay)의 물성 구별은 뚜렷하게 나타났으며 동시에 고결층(Consolidated Layer)과 미고결층(Unconsolidated Layer)의 경계를 명확하게 읽을 수 있다. 천부층 기반암은 쉽게 본

장비로 찾을 수 있으나 심부층의 기반암은 저주파수와 고에너지 Source가 필요하기 때문에 고 지진파 에너지 발생기인 Seisgun과 Digital 24 CH 지진파 굴절 탐사기를 해서 지층 탐사에 활용하는 것이 필요하다. 이에 관한 지진학적 이유, 즉 지진파 반사와 감쇠 상수에 관한 인자 변화에 대해서도 본 연구는 기술한다. 즉 심부층 기반암을 보기 위해서는 저주파수(100 Hz 미만)와 고 지진 에너지(High Seismic Source)가 필요하다. 따라서 육상 탐사방법을 해양 탐사에 치환하는 기술(Know-How)개발이 필요하다. 그동안 수중 음향학에 관한 연구와 장비는 해군 분야에서 크게 성장해 왔다. 그리고 심해저, 대륙붕 유전탐사와 지층조사도 지구물리학적 방법인 저주파수 지진파를 활용한 최첨단 장비(Hardware)와 기술(Software)로 급속도로 발전되어 왔다. 그러나 연안의 천해 천부층 탐사는 그 필요성의 인식부족과 장비운영 및 기술부족으로 그 발전이 뒤지고 있다. 따라서 본 연구는 천해 천부층 탐사에 있어 지구물리 방법의 응용성을 창출

하는데 그 의의를 두고 있다.

## 2. 方法 및 理論

다중 주파수 해저지층 탐사기 Sub-Bottom Profiler를 선박에 장치하고 충청남도 오천 앞바다에서 해저 퇴적층의 정확한 해상도와 분해력을 조사한다. 다중 주파수 해저지층탐사기(3.5/100 kHz, 15/100 kHz)의 송파기(Transmitter)와 수파기(Receiver)는 50 cm 간격을 두고 함께 부착되어 있다. 천해의 천부층 탐사는 근격탐사(Near-Field)이기 때문에 구면파의 Fresnel Zone을 생각할 수 있다. 즉 Fresnel Zone의 반경은  $R_f = V/2(t/t_d)^{1/2}$ 으로 나타낼 수 있다. 여기서 V는 지진파의 속도, t는 two-way travel time,  $t_d$ 는 탁월주기이다. 만약  $V=1500$  m/s  $V=30$  ms,  $t_d=100$  kHz/15 kHz라고 놓았을 때  $R_f=0.41\text{m}\sim 1.06\text{m}$ 이다. 일반적으로 목표물의 Fresnel Zone 보다 훨씬 크기 때문에 본 천해 천부층 탐사기에서 해저 지층의 미세구조를 정밀 탐사할 수 있다(Fig.2 참조).

- i)  $t=30$  ms(수심  $h=22.5\text{m}$ )  
 $R_f=0.41\sim 1.06\text{m}$
- ii)  $t=20$  ms(수심  $h=15\text{m}$ )  
 $R_f=0.34\sim 0.87\text{m}$
- iii)  $t=10$  ms(수심  $h=7.5\text{m}$ )  
 $R_f=0.24\sim 0.61\text{m}$

본 탐사에서 최대 수심은 오천만 입구와 천수만 남부지역에서 20~25m이며 평균 수심은 대부분 7.5 m이므로 본 이중 탐사기에 의한 분해력 효과는 천부 퇴적층인 모래와 점토(진흙) 구별이 뚜렷하게 기록지에 나타났다. 즉 모래인 경우에는 지진파의 감쇠현상이 커서 밑에 있는 다수층인 고결층(Consolidated Layer)이 나타나지 않았다. 그러나 점토 밑에는 지진파의 감쇠현상이 모래인 경우보다 약하기 때문에 점토층 밑에는 뚜렷한 고결층(Consolidated Layer)이 나타남을 알 수 있다(Fig. 3~8 참조). 일반적으로 감쇠계수와 주파수의 관계는 이미 Bennett(1967)과 Hamilton(1976) 등에 의해서 연구되었다.

즉 감쇠상수는  $\alpha(\text{db/m})=kf(\text{khz})$ 라고 쓸 수 있다.

$\alpha$ 는 Log×Log Scale에 관측치를 Plot하여 기울기를 구함으로 얻어질 수 있다.

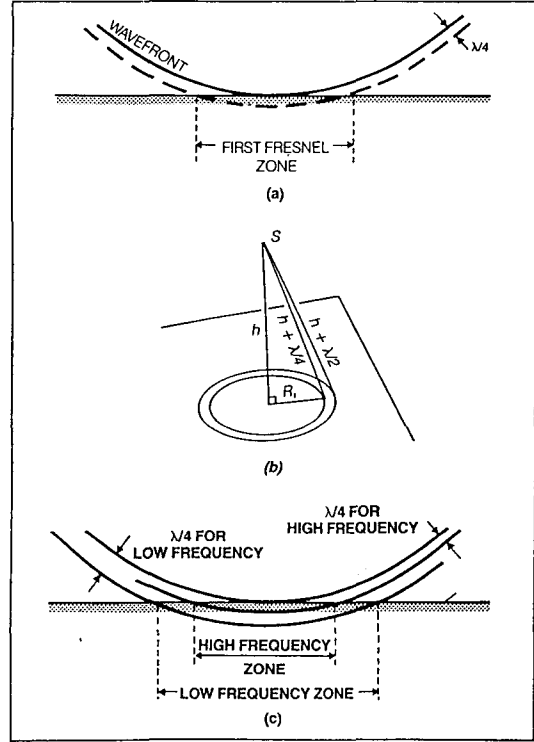


Fig. 2. Fresnel zone and low/high frequency.

- i) 모래(Sand)의 경우 감쇠상수  $k=0.45$ ,
- ii) 점토(Silt/Clay)의 경우 감쇠상수  $k=0.08$ 이므로 100 kHz 주파수인 경우 모래는 점토보다 약 6배 더 급격히 감쇠가 일어남을 알 수 있다.

본 탐사에서 송 출력은 100~500W로 되어 있고 송출 Pulse는 0.1~10 ms로 되어 있다. 그리고 항해 속도는 2~5 knot로 탐사한다. 천부 기반암은 본탐사 기록에 나타났으나 심부층 기반암은 진원에너지의 약쇠 때문에 나타나기 어렵다는 것을 알았다. 해상에서 심부층 기반암 탐사는 본 연구팀이 개발중인 24 Channel Digital의 탐사기와 High Energy Source인 Betsy Seisgun을 사용하여 굴절파탐사를 수행하여 얻을 수 있다. Fig.9와 같이 바다는 퇴적면을 깊게 만들어 상(Facies)은 육지쪽으로 이동한다. 이와같은 현상은 해침상(Transgressive Phase)이라고 부르며 퇴적분지를 이루게 된다. 그 반면에 자연 지리적 분지(Physiographic Basin)의 바다부분이 얇게 되면 퇴적 운동은 바다쪽으로 이동하게 되는데 이러한 현상을

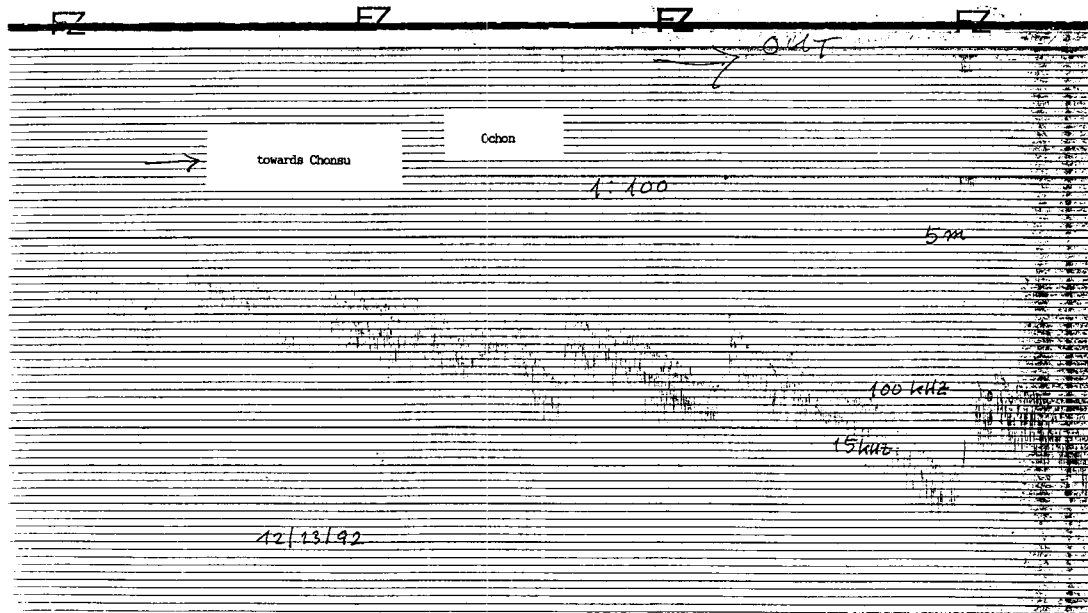


Fig. 3. Sub-marine exploration using 15/100 kHz in Ochon Bay, Chungnam.

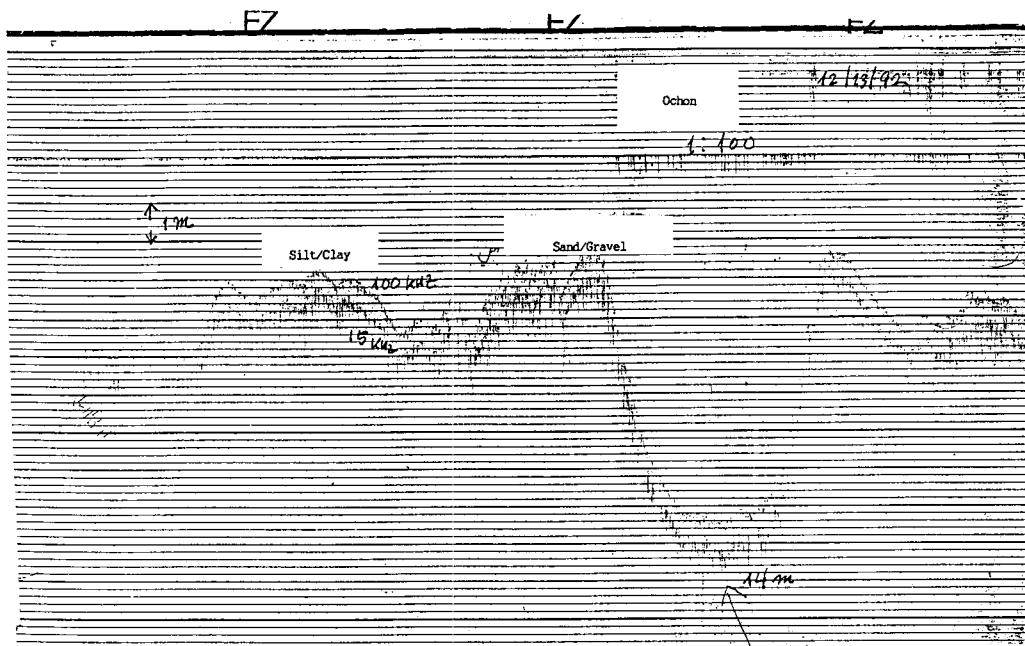


Fig. 4. Sub-marine exploration using 15/100 kHz in Ochon Bay, Chungnam.

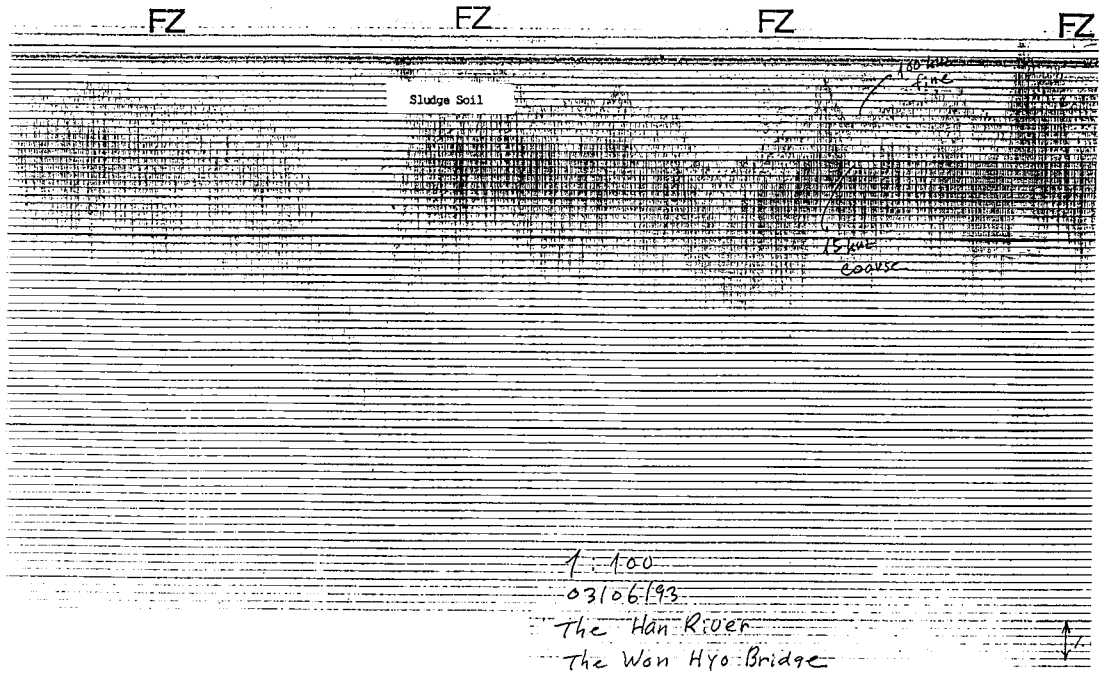


Fig. 5. Exploration of the sub-bottom sludge soil using 15/100 kHz at the Han River.

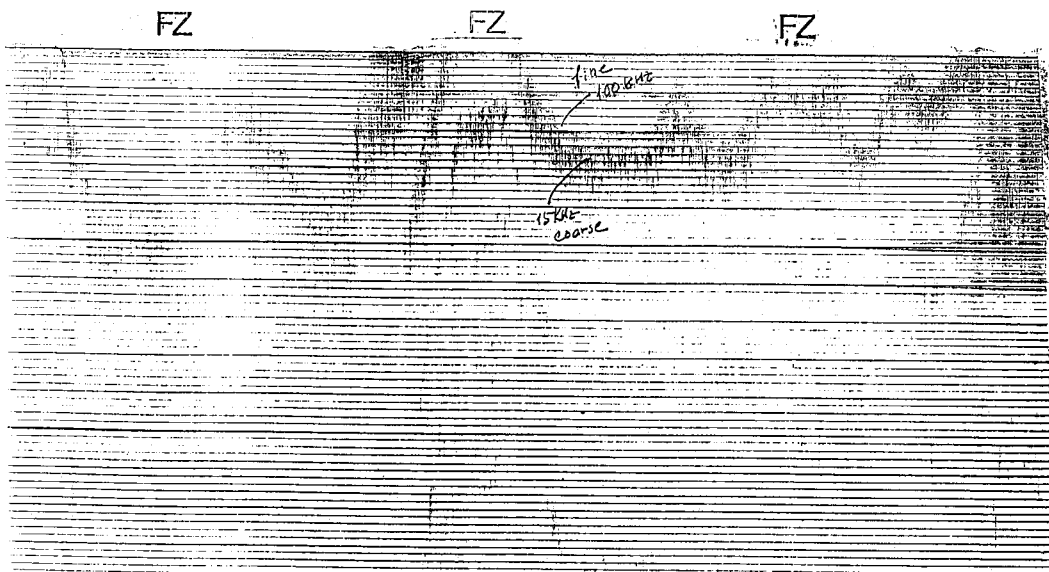


Fig. 6. Exploration of the sub-bottom sludge soil using 15/100 kHz at the Han River.

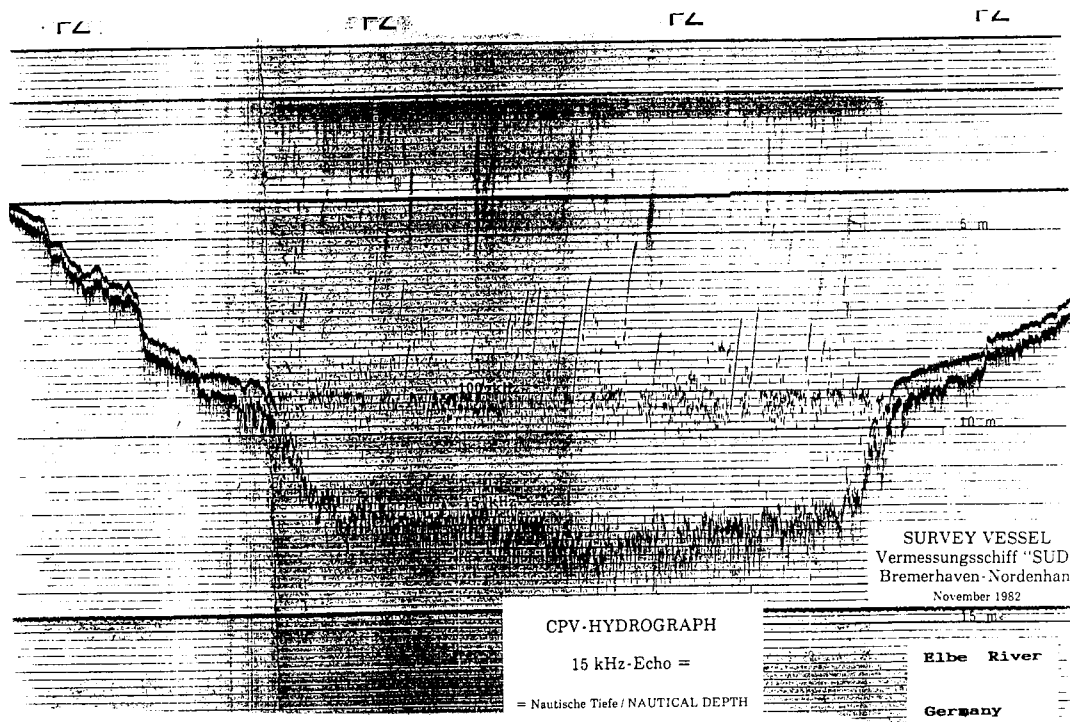


Fig. 7. The sub-bottom exploration of the Kiel Cannal, Germany using 15/100 kHz.

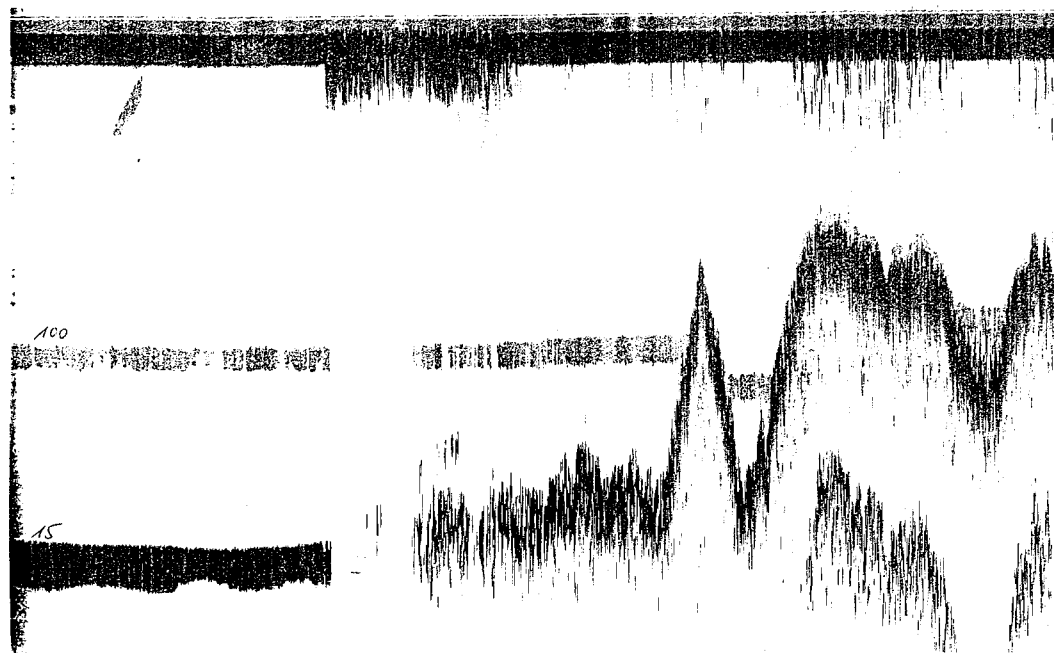


Fig. 8. Experimental records for the sub-bottom of the Kiel Canal, Germany.

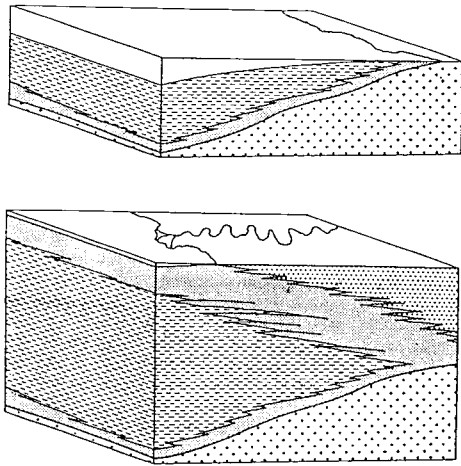


Fig. 9. Block Diagram of Transgressive Sequence (above) and Regressive Sequence (below): Neric Facies-Dashes, Nertic-Paralic-Fine Dots, Paralic-Terrestrial-Coarse Dots.

해퇴(Regression)라고 부른다. 해퇴(Regression)는 육지에 대해서 해수면을 낮추고 있다. 해퇴에 있어서는 심해 Basin, 즉 해성층위에 대륙지층에 쌓이는 천해 Basin의 퇴적물이 생기는 것을 보여주고 있다. 해퇴의 제 1종류는 이미 퇴적 분지에 축적된 퇴적물의 침식(Erosion)과 재분배(Redistribution)에 중요한 역할을 한다. 그리고 제 2의 해퇴는 삼각주(Delta)섬을 이루며 아주 정상적 Type이다. 이와같은 현상은 바다에 의해서 이동되는 부피를 초과하는 양을 강이 공급할 때 퇴적부피로부터 생기게 된다. 오천만 입구에 생기는 모래섬은 오천만 내부를 통해서 썰물에 의해서 공급되는 모래양이 오천만 입구에서 이동되는 모래양보다 초과하기 때문에 일어난다. 해침(Transgression)은 해퇴(Regression)와 비슷하다. 즉 해침은 육지에 대해서 해수면을 높이면서 퇴적층을 만든다. 그리고 제 2 종류의 해침은 Base Level을 낮추고 퇴적층을 침식시키고 재분배를 한다. 천수만과 오천만 내부에서는 밀물과 썰물의 차이는 약 3~4m가 된다. 그리고 이 조류가 하루에 두번씩 내부로 깊숙히 들어간 오천만을 유입, 유출하면서 해침(Transgression)과 해퇴(Regression)운동을 번갈아 일으키고 있다. 따라서 오천만 앞바다와 오천만 입구에는 수시로 모래섬을 만들고 수심변화를 일으키고 있다. 그리고 오천만 내부쪽으로 깊숙히 들어갈수록 모래층과 점토층의 구별이 뚜렷이

나타남을 본 이중 주파수탐사기를 사용하여 확인할 수 있었다. 따라서 서해안과 같이 조석운동이 심하고 퇴적운동의 변화가 심한 곳 일수록 이중주파수 지층 탐사기의 활용은 더욱 그 역할이 크다고 말할 수 있다.

### 3. 結論 및 論議

천해 천부층 탐사에 있어서 다중 주파수 해저 지층 탐사에(3.5/100 kHz, 15/100 kHz)와 고해상은 지진파 탐사기(24 CH)을 사용하면 먼저 말한 바와 같이 분해력과 투과력을 동시에 얻을 수 있다는 장점이 있으나 지금까지 이러한 방법은 산업체, 특히 연안공학, 환경, 해저 지층 연구에 실용화되지 않았다. 따라서 본 연구를 통해서 얻은 결과는

- 1) 이중 주파수(3.5/100 kHz, 15/100 kHz)해저 지층 탐사기를 이용하면 점토(Silt), 진흙(Clay)과 모래(Sand)의 분포, 두께 등을 산출할 수 있다.
- 2) 감쇠 상수(Attenuation Coefficient)에 따라 고결층(Consolidated Layer)과 미고결층(Unconsolidated Layer)이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.
- 3) 본 연구는 오니토의 분포 및 두께결정, 해양 오염상태, 그리고 어군탐지 등을 정확하고 민첩하게 판단할 수 있는 Know-How를 준다.
- 4) 천해의 심부층 기반암 조사를 위한 Prototype 24 CH 지진파 탐사기와 Betsy Seisgun의 High Energy Source를 활용하는 탐사기술을 제공한다. 따라서 연안 공학의 비용을 최소한도로 절감할 수 있다.

### 謝 辭

본 연구는 한국과학재단 산하의 전략광물연구 센터(소장 소칠섭)의 지원과 한양대학교 교내 연구비의 보조로 이루어졌다. 그리고 지구물리 연구실의 마상윤, 오정석 제군과 강수영양의 도움이 컸다. 이들 모두에게 깊은 감사를 드린다.

### 參考文獻

- 김소구, 심중섭, 1984. 지구과학, 청문각, p. 481.  
 최동립 외 5인, 1989. 대륙 연변부의 천부탄성과 특성, *Ocean Research* 11, pp. 15-27.  
 김한준, 조철현, 최동립, 안중현. 1988. 3.5 kHz 음향 단면 탐사 자료 처리에 관한 연구, *Ocean Research* 10(2),

- pp. 29-33.
- 해저 지질 조사 연구(대천 서부해역) (1992), 한국자원연구소, p. 151.
- 황동환, 1992. 충무공 해전 유물 발굴 조사, 충무공 해전 유물 발굴단, p. 100.
- Bennet, L.C., 1967. In situ measurement of acoustic absorption in unconsolidated sediments, (abstract) *Trans. Am. Geophys. Union.* **48**, p. 144.
- Hamilton, E.L., 1976. Sound attenuation as a function of depth in the sea floor, *J. Acoust. Soc. Am.* **59**(3), pp. 528-535.
- Addison, S.R. and Bass, H.E., 1984. Study of source attenuation in sediments, Pargum Report 84-03, Univ. of Mississippi, Dept. of Physics and Astronomy, p. 180.
- Sheriff, R.E., 1977. Limitation on resolution of seismic reflections and geological detail derivable from them, *AAPG Memoirs* **26**, pp. 3-14.
- Sheriff, R.E., 1980. Nomograms for Fresnel zone calculation, *Geophysics* **45**, pp. 968-972.