

## 전산모형을 통한 고해상도 다중채널 해양반사파의 획득변수 결정 Determination of Acquisition Parameters for High-Resolution Marine Reflection Surveys through a Computer Model Study

김기영 (Kim, Ki Young)  
주형태 (Jou, Hyeong Tae)  
홍종국 (Hong, Jong Kuk)  
유해수 (Yoo, Hai Soo)

강원대학교 지구물리학과  
한국해양연구소 해양지구물리연구그룹  
한국해양연구소 해양지구물리연구그룹  
한국해양연구소 해양지구물리연구그룹

### 요약/Abstract

전산모형시험을 통하여 고해상도 해양반사파 탐사를 위한 최적 장비구성과 자료획득변수를 결정하였다. 조사선 온누리호에 탑재된 내부용적이 각기 다른 6종류의 독립 에어건과 1쌍의 cluster에 대하여 시간 및 주파수 영역에서 분석한 원거리장 파형특성은 내부용적 2.46ℓ의 슬리브건 2개로 구성된 cluster를 2m 정도의 깊이에서 발파할 경우에 고해상도 탐사시 적합한 원거리장 파형이 발생될 수 있음을 보인다. 온누리호의 12채널 스트리머는 96채널 스트리머와 비교할 때, 신호대 잡음비가 다소 낮은 문제는 있으나, 높은 수직 및 수평 해상도를 얻을 수 있어 천부 반사파탐사에 적합한 것으로 분석된다. 기타 획득변수는, 대상심도, 주파수범위, 에어건 내부용적, 수신 채널수, 콤프레샤 용량 등 제한요소를 고려할 때, 기록시간 1s, 샘플간격 1ms, 발파간격 3.125m 혹은 6.25m가 적당한 것으로 판단된다.

Through a computer model study, optimum system configuration and field parameters were determined for high-resolution marine reflection surveys. Characteristics of far-field signatures were analysed in both time and frequency domains for the six individual

airguns and the cluster comprising two airguns installed on the R/V Onnuri. The analysis shows that the cluster fired at the depth of 2m below the sea surface generates the most ideal far-field signatures among the above seismic sources. Compared with the 96-channel streamer on the R/V Onnuri, the 12-channel streamer is suitable for shallow reflection profiling due to its high resolution both in the vertical and horizontal directions despite its lower signal-to-noise ratio. Considering factors including target depth, frequency range, airgun volume, number of recording channels, and capacity of compressors, optimum values for record length, sample period, and shot interval are believed to be 1s, 1ms, and 3.125m or 6.25m, respectively.

## 서 언

다중채널 반사파탐사는 지하 지질구조를 가장 정확하게 구명할 수 있는 지구물리학적 탐사방법으로(Telford et al., 1976), 국내에서는 대륙붕 석유탐사 등의 자원탐사와 기타 학문적인 목적으로 사용되고 있으며 자료의 전산처리 및 지질학적 해석분야에 연구가 부분적으로 수행되어 왔다. 해양 반사파자료 획득에 관한 연구는 1992년 온누리호 도입에 즈음하여 본격화되기 시작하였으며, 지하 수 km 정도의 비교적 심부 지질구조를 주요 대상으로 삼았다.

이보다 대상심도가 얇은 경우, 고주파 성분을 많이 사용하는 소위 '고해상도 다중채널 반사파 탐사법'이 사용된다. 이러한 고해상도 반사법은 세계적으로 1980년대 이후 급격히 발전하고 있으며 댐 위치 선정, 도로건설, 폐기물 매립후보지 조사 등의 여러 지질공학분야(Steeple et al., 1986; Butler et al., 1990)와 신생대 지층 퇴적연구(Jongeris and Helbig, 1988) 등

에 널리 활용되고 있다. 뿐만 아니라 석유 시추지 지질조사 등의 산업목적 및 최근에는 해양 환경분야에까지 그 활용범위가 점차 넓어지고 있다. 국내 경우에는 이러한 목적의 천부 고해상도 탐사를 위해 주로 단채널 지진파자료에 의존함으로써 정확성 및 투과심도 등에 제약을 받고 있는 실정이며, 지하 1km 이내의 심도를 대상으로한 반사파탐사에 대한 연구가 아직 본격적으로 시도된 바 없다.

이번 연구는 온누리호에 부착되어 있는 다중채널 지진파 탐사장비를 이용하여, 지하 약 1km까지의 지질구조를 명확히 구명하기에 적합한 장비구성과 자료획득 변수를 결정함에 그 목적이 있다. 이러한 목적을 위해 현장에서 여러가지 서로 다른 획득변수의 조합으로 자료를 획득한 후, 이를 분석하는 방법이 가장 이상적인 방법이나, 예산, 장비, 시간, 인원 등의 제약으로 현실적으로는 어려움이 따른다. 따라서 이 연구에서는 전산모형시험을 통하여 주요 획득변수들을 결정하고자 한다.

결정하여야 할 주요변수로는 (1) 에어

전(이하 '전'이라 칭함)의 내부용적(이하 '전부피'라 칭함), (2) 발파심도, (3) 스트리머 종류, (4) 발파간격, (5) 기록시간, (6) 기록시 샘플간격, (7) 수신심도, (8) 조사선에서 전까지의 수평거리, (9) 전과 스트리머 사이의 간격, (10) 기록시 주파수필터의 범위, (11) 조사속도 등이다. 이 중 사용코자 하는 스트리머, 조사선 스크류잡음, 해상상태 등과 밀접한 관계가 있는 마지막 5가지 변수는 현장시험을 통하여 결정하는 것이 바람직하므로 처음 6가지 변수만을 본 연구의 대상으로 삼았다.

### 파원 특성 분석

고해상도 해양 반사파탐사에 적합한 파원은 (1) 주신호 진폭 ( $P_s$ )이 크고, (2) 주신호대 기포의 진폭비 ( $P_s/P_b$ )가 크며, (3) 긴 기포주기 ( $T_b$ )를 갖는 이상적인 수중파원으로서의 기본적인 특징 이외에도 수직 및 수평 해상도(resolution)를 높이기 위해서는 (4) 고주파 에너지를 많이 포함하도록 넓은 대역의 주파수를 가지며, (5) 발파사이의 시간간격이 짧아야 한다.

운누리호에 부착되어 있는 슬리브진들의 원거리장 파형(far-field signature)에 관한 자료로는 Cotton and Monk(1990)가 많은 시험기록자료에 바탕을 두고 주파수 영역에서의 전산모의계산 과정을 통하여 구한 전산모형자료와 김기영 외(1993a, 1993b)가 남극해역에서 해저면 반사파로부터 추출한 실제기록자료가 있다. 그러나 이러한 원거리장 파형은 파원의 깊이를

일정하게 고정시킨 상태에서 계산하거나 기록한 자료이므로, 발파심도별 원거리장 파형 분석을 위하여는 우선 수중 해수면 반사에 의한 고스트(ghost)를 원거리장 파형으로부터 분리하여야 한다. 원거리장 파형의 절대진폭계산, 해저면 반사시 위상 변화 등 원거리장 파형으로부터 근거리장 파형을 추출하는 과정에서 발생할 수 있는 여러 계산상의 오류 가능성을 고려하여, 이 연구에서는 많은 실제 관측자료에 바탕을 두고 전산모형계산으로 구한 근거리장 파형을 직접 이용하여 발파심도별 원거리장 파형을 구하였다.

### 시간영역에서의 분석

#### 근거리장 파형

Fig.1은 HGS(Halliburton Geophysical Service)사가 Cotton and Monk(1990)의 방법으로 구한 근거리장 파형으로, 내부용적이 각각 (a) 0.16 l, (b) 0.33 l, (c) 0.66 l, (d) 1.15 l, (e) 1.64 l, (f) 2.46 l 인 슬리브진을 대상으로 계산한 것이다. 또한 Fig.1(g)는 0.46m 간격의 2.46 l 진두개로 구성되어 있는 cluster의 근거리장 파형을 보여준다. 기록시간 0ms 부근의 주신호 진폭과 40-120ms 정도의 기포주기가 전부피의 증가에 따라 뚜렷히 증가하는 양상을 보인다. 또한 주신호의 정점(peak)은 예리하고 큰 양(+ )의 값을 갖는 반면에 정곡(trough)은 비교적 완만하고 작은 음(-)의 값을 갖는 특징을 보인다. 전산모형 계산시 사용한 주요 변수로

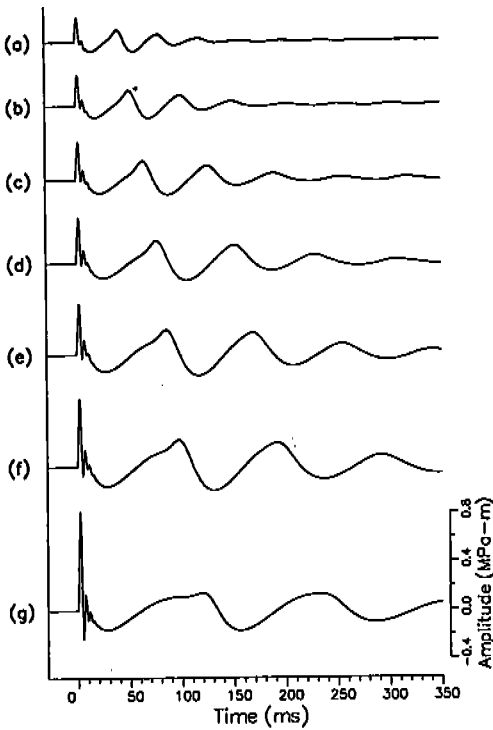


Fig.1 Computer-simulated near-field signatures for (a)  $0.16 l$ , (b)  $0.33 l$ , (c)  $0.66 l$ , (d)  $1.15 l$ , (e)  $1.64 l$ , and (f)  $2.46 l$  sleeve-guns, respectively. The signature (g) is for the cluster comprising two  $2.46 l$  sleeve-guns separated by  $0.46m$ .

로는 샘플수 512개, 샘플률 1ms, 대역필터 범위 0-500Hz, 전 내부압력 13.8MPa (2000PSI), 발파심도 5m, 수중음파속도 1480m/s 등이다.

원거리장 파형 계산

원거리장 파형  $F(t)$ 는

$$F(t) = N(t) + R \cdot N(t - \tau) \quad (1)$$

와 같이 근거리장 파형  $N(t)$ 를  $\tau$ 만큼 지연시키고 수중 해수면 반사계수  $R$ 을 곱하여 구한 값에 원래의 근거리장 파형  $N(t)$ 를 합한 형태로 표시된다. 이 때 지연시간  $\tau$ 는

$$\tau = \frac{2d \sin \theta}{V_w} \quad (2)$$

으로  $d$ ,  $\theta$ ,  $V_w$ 는 각각 발파심도, 파선이 해수면과 이루는 각도, 수중음파속도를 뜻한다.

이와같이 원거리장 파형은 Fig.1의 근거리장 파형에 해수면반사 고스트(ghost)를 추가하여 제작되기 때문에 고스트 지연시간  $\tau$ 와 관련된  $d$ ,  $\theta$ ,  $V_w$  외에도 고스트 진폭과 관계되는 해수면 반사계수  $R$ 에 따라 그 특성이 결정된다. 발파심도  $d$ 는 시간영역에서의 주신호 진폭  $P_s$ , 주신호와 기포의 진폭비  $P_s/P_b$ , 기포주기  $T_b$  등에 영향을 미치며, 주파수영역에서의 노치(notch) 주파수를 결정짓는 중요한 획득변수이다. 파원의 깊이에 따른 노치주파수  $f_n$ 은

$$f_n^m = \frac{m V_w}{2d \sin \theta} \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

로서(Parkes and Hatton, 1986), 이 때 위첨자  $m$ 은 차수를 뜻한다. 여기서 1480m/s의 속도로 수직입사한 경우, 즉  $V_w=1480m/s$ 이고  $\theta=90^\circ$ 인 경우, 1차 노치주파수  $f_n^1$ 은 발파심도  $d$ 만의 함수인

$$f_n^1 = 740/d \quad (4)$$

이 된다. 따라서 고해상도 지진파탐사시 필요로 하는 50-200Hz 구간에서 평탄한

스펙트럼을 갖기 위해서는  $d$ 가 3.7m를 넘지 않아야 한다. 한편 수중 해수면 반사계수  $R$ 은 해상상태에 따라 결정되며, 잔잔한 바다의 경우  $-0.95$  정도에 이르고 거친 바다는  $-0.6$ 보다도 작을 수 있다 (Verma, 1986).

Fig.2는 해상상태가 보통일 경우를 가정하여  $R = -0.8$ ,  $d = 2m$ ,  $V_w = 1480m/s$ 으로

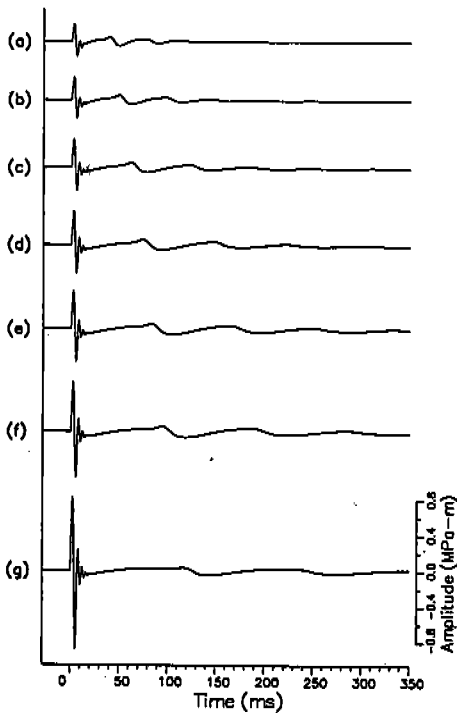


Fig.2 Computer-simulated far-field signatures for (a) 0.16  $\ell$ , (b) 0.33  $\ell$ , (c) 0.66  $\ell$ , (d) 1.15  $\ell$ , (e) 1.64  $\ell$ , and (f) 2.46  $\ell$  sleeve-guns, respectively. The signature (g) is for the cluster comprising two 2.46  $\ell$  sleeve-guns separated by 0.46m. For the simulation using the corresponding near-field signatures in Figure 1, source depth and reflectivity at the sea surface in water are assumed to be 2m and  $-0.8$ , respectively.

설정하여 운누리호에 설치되어 있는 6개 독립 건 및 1개 cluster의 원거리장 파형을 구한 것이다. Fig.1의 근거리장파형의 경우와 마찬가지로 건부피 증가에 따라 주신호 진폭, 기포주기 등이 증가하는 양상을 보인다. Fig.1의 근거리장 파형과 상이한 점은 주신호가 예리하고 큰 양(+)의 값을 갖는 0ms 부근의 정점과 아울러 수 ms 부근의 정꼭 역시 예리하고 절대값이 큰 음(-)의 값을 갖는 것으로, 이는 수중에서의 해수면 반사계수가  $-1$ 에 가까운 값  $-0.8$ 을 갖는데 기인한다.

#### 주신호 진폭

Fig.3(a)는 1m에서 5m까지 1m 간격으로 발파심도를 변화시키며 발파심도에 따른 원거리장 파형의 주신호 진폭  $P_s$ 를 나타낸 그림으로, 각각 (1) 0.16  $\ell$ , (2) 0.33  $\ell$ , (3) 0.66  $\ell$ , (4) 1.15  $\ell$ , (5) 1.64  $\ell$ , (6) 2.46  $\ell$ 의 독립 건과 (7) 0.46m 간격의 2.46  $\ell$  건 두개로 구성되어 있는 총부피 4.92  $\ell$  cluster를 대상으로 구한 것이다. 각 건들의 발파심도별  $P_s$ 값들을 MPa-m의 단위로 Table 1에 표시하였다. 200Hz 미만의 주파수영역에서 노치가 생기지 않는 3.7m 이내 범위에서의 발파심도별  $P_s$ 는 건부피와 무관하게 2m의 경우에 최대치를 가지며, 건부피의 증가에 따라 단조증가하는 양상을 보인다. 발파심도 2m에서는  $P_s$ 값이 0.16  $\ell$  건의 경우 0.37 MPa-m에 비하여 총부피 4.92  $\ell$ 의 cluster 경우는 1.70 MPa-m로 약 4.6배 증가한 값이다. 이는 이룬치(Nootboom, 1978)

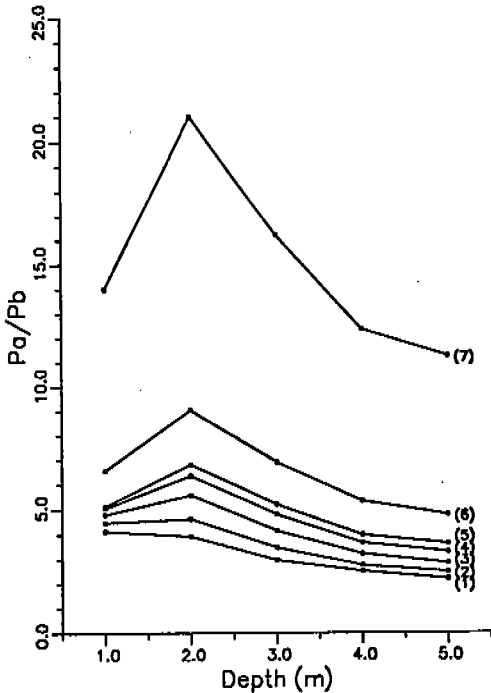
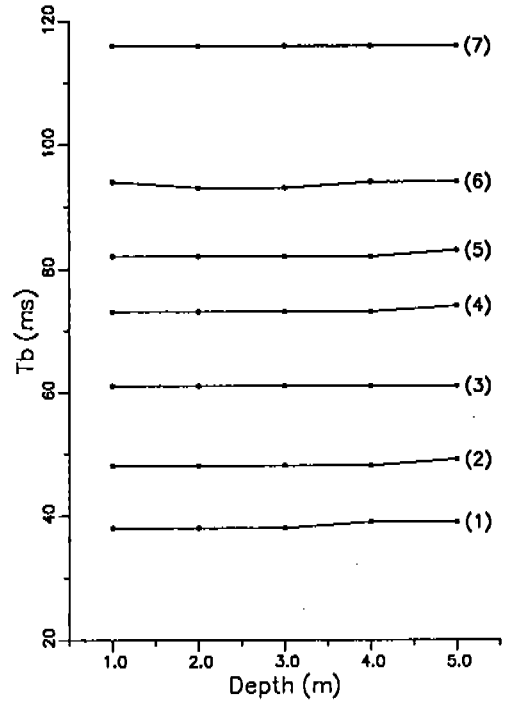
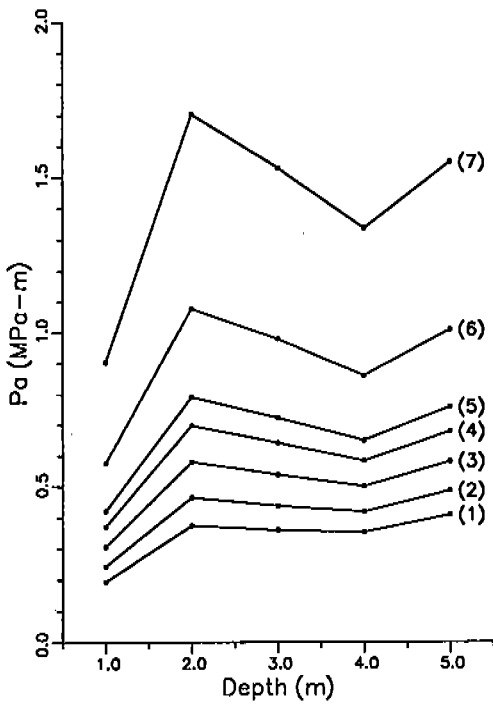


Fig.3 (a) Peak-to-peak amplitude  $P_a$ , (b) primary-to-bubble ratio  $P_a/P_b$ , and (c) bubble period  $T_b$  of the far-field signatures as a function of source depth for the range of 1-5m at 1m interval. The gun volumes for the numbers (1) through (6) indicated on the right of each curve are 0.16  $\ell$ , 0.33  $\ell$ , 0.66  $\ell$ , 1.15  $\ell$ , 1.64  $\ell$ , and 2.46  $\ell$ , respectively. The curve (7) is for the cluster comprising two 2.46  $\ell$  sleeve-guns separated by 0.46m. Reflectivity at the sea surface in water is assumed to be  $-0.8$  to synthesize the far-field signatures for a normal sea surface.

및 관측치(김기영 외, 1993a)로부터 각각 계산하여 구한 값인 3.1배와 3.0배보다 약

간 큰 값이다.

### 주신호와 기포의 진폭비

Fig.3(b)는 1m에서 5m까지 1m 간격으로 발파심도를 변화시키며 발파심도에 따른 원거리장 파형의 주신호와 기포의 진폭비  $P_s/P_b$ 를 나타낸 그림으로, 각 그래프 번호별 건부피는 Fig.3(a)의 경우와 동일하다. 각 건들의 발파심도별  $P_s/P_b$ 의 수치값 역시 Table 1에 표시하였다. 발파심도별로는 0.16ℓ와 0.33ℓ의 경우를 제외하고는 건부피와 무관하게 2m의 경우에 최대치를 가지며, 건부피의 증가에 따라 단조증가하는 양상을 보인다. 특히 cluster의 경우는  $P_s/P_b$ 값이 10.0을 넘어, 기포효과가 미약한 양호한 파원임을 지시한다.

### 기포주기

Fig.3(c)는 1m에서 5m까지 1m 간격으로 발파심도를 변화시키며 발파심도에 따른 원거리장 파형의 기포주기  $T_b$ 를 나타낸 그림으로, 각 그래프 번호별 건부피는 Fig.3(a)의 경우와 동일하다. 각 건들의 발파심도별  $T_b$  수치값 역시 Table 1에 표시하였다. 발파심도와 상관계는 매우 작은 편이나, 건부피의 증가에 따라서는 규칙적으로 단조증가하는 양상을 보인다. 최소자승법을 이용하여 구한 이들 사이의 관계는  $T_b$ 가 건부피  $V$ 의 0.326승에 비례함을 보이며, 이는 이론치인 0.33(Nootboom, 1978) 및 김기영 외(1993a)의 관측치인 0.35와 잘 일치한다.

### 해수면 반사계수 효과

Fig.4 및 Fig.5는 해상상태가 극히 양호한 이상적인 환경과 극히 불량한 상태를 나타내기 위하여 해수면 반사계수  $R$ 을 각각 -1.0과 -0.6으로 설정하여 계산한 원거리장 파형들로서 발파심도에 따른 특성을 보여준다. 각 그래프 번호에 해당하는 건부피는 Fig.3의 경우와 동일하다.  $R=-1.0$  및  $R=-0.6$ 인 경우의  $P_s$ ,  $P_s/P_b$ ,  $T_b$ 의 수치자료는 Table 1에 함께 요약하였다.

Fig.4(a)와 Fig.5(a)에 도시된 발파심도와 건부피에 따른 주신호 진폭  $P_s$ 의 변화 양상은  $R=-0.8$ 인 Fig.3(a)의 경우와 유사하다. 즉, 200Hz 미만의 주파수영역에서 노치가 생기지 않는 3.7m 이내의 범위에서의 발파심도별 주신호 진폭  $P_s$ 는 건부피와 무관하게 2m의 경우에 최대치를 가지며, 건부피의 증가에 따라  $P_s$ 는 단조증가하는 양상을 보인다. Table 1은 발파심도 2m의 cluster 경우,  $P_s$ 는  $R=-0.8$ 인 때에 비하여  $R=-1.0$  및  $R=-0.6$ 일 때 각각 9.6% 증가 및 9.6% 감소함을 보인다.

$R=-1.0$ 인 Fig.4(b)와  $R=-0.6$ 인 Fig.5(b)는 주신호와 기포의 진폭비  $P_s/P_b$ 가  $R=-0.8$ 인 Fig.3(b) 경우와 유사하게 건부피의 증가에 따라 단조증가하는 양상을 보인다. Fig.4(b)의 경우는 2m의 경우 최대치를 갖지 않고 발파심도에 따라 단조감소하는 반면, Fig.5(b)에서 모든 경우에 2m의 경우 최대치를 갖는 대조적인 모습을 보인다. 특히 cluster 경우, Fig.4(b)는  $P_s/P_b$ 비가 13.9-57.0인 반면, Fig.5(b)는

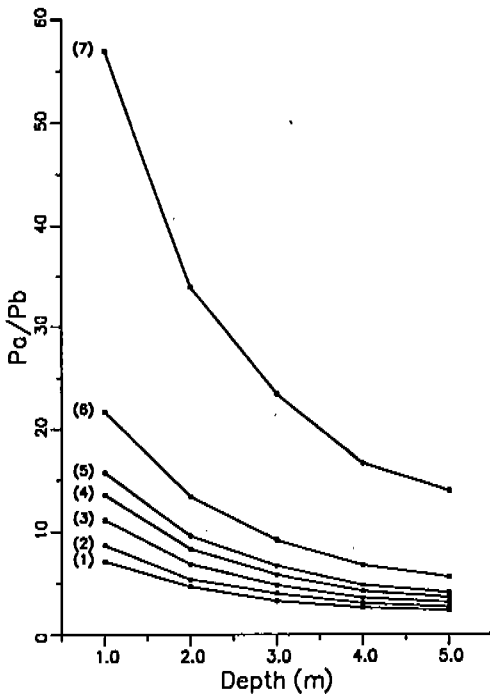
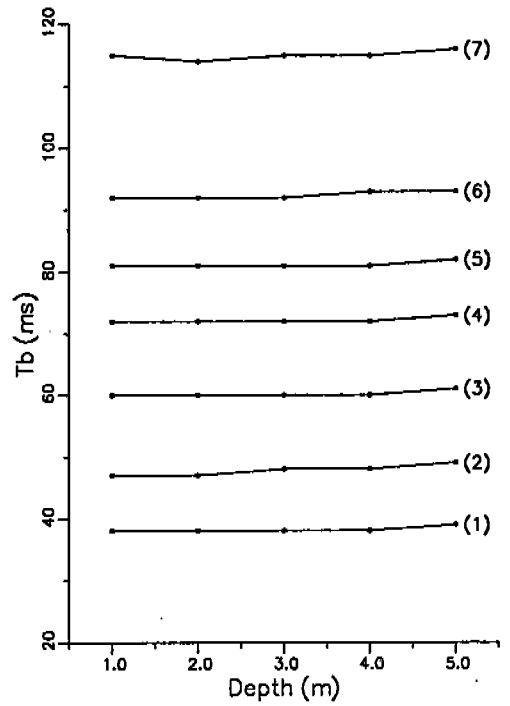
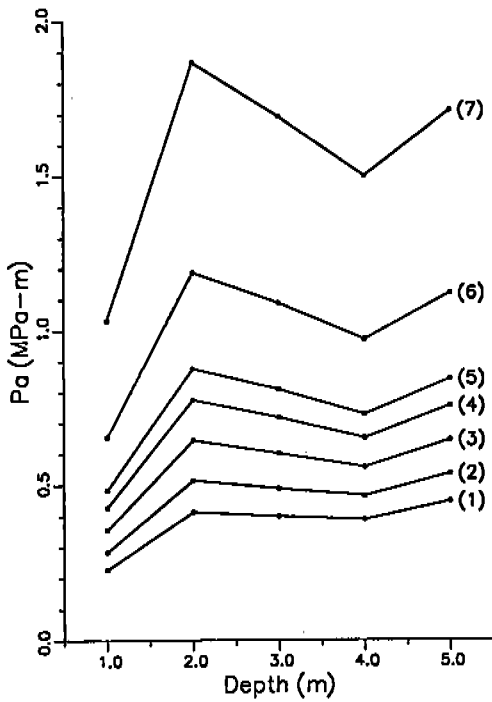


Fig.4 (a) Peak-to-peak amplitude  $P_a$ , (b) primary-to-bubble ratio  $P_a/P_b$ , and (c) bubble period  $T_b$  of the far-field signatures as a function of source depth for the range of 1-5m at 1m interval. The gun volumes for the numbers (1) through (6) indicated on the right of each curve are 0.16 l, 0.33 l, 0.66 l, 1.15 l, 1.64 l, and 2.46 l, respectively. The curve (7) is for the cluster comprising two 2.46 l sleeve-guns separated by 0.46m. Reflectivity at the sea surface in water is assumed to be -1.0 to synthesize the far-field signatures for an ideal sea surface.

11.2-21.0의 값을 나타내어,  $P_a/P_b$ 는 해수면 반사계수에 따라 민감하게 변하는



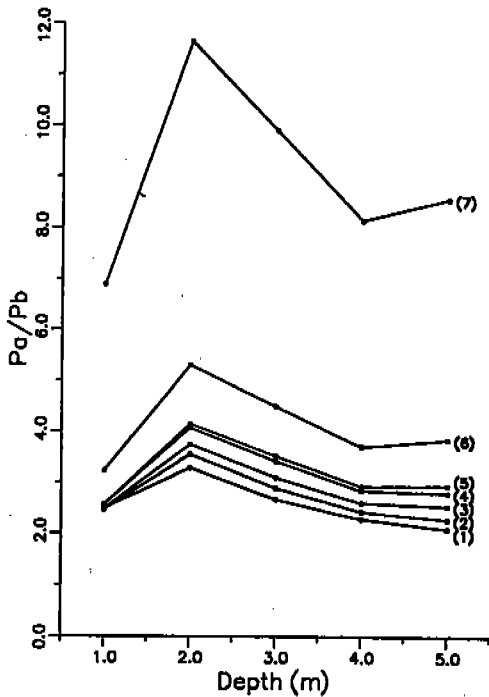
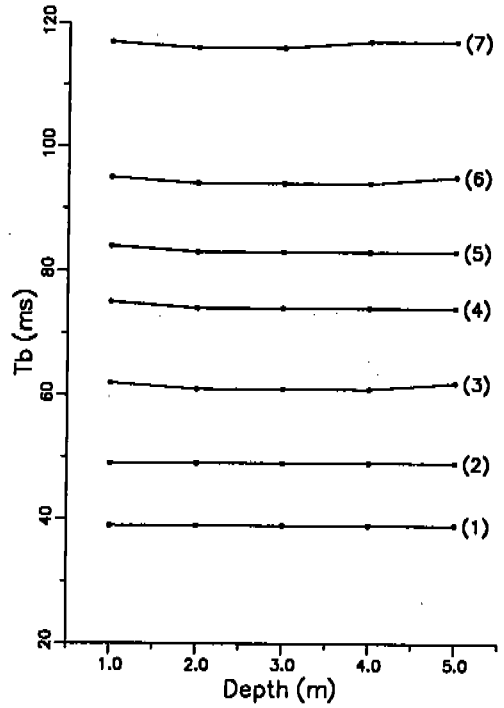
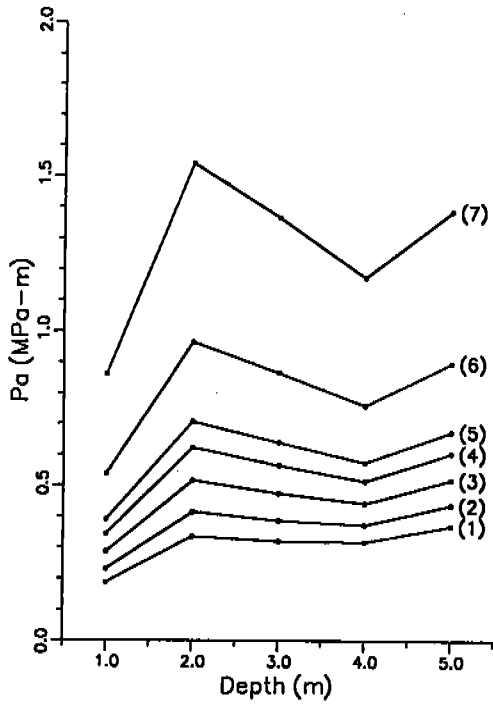


Fig.5 (a) Peak-to-peak amplitude  $P_a$ , (b) primary-to-bubble ratio  $P_a/P_b$ , and (c) bubble period  $T_b$  of the far-field signatures as a function of source depth for the range of 1-5m at 1m interval. The gun volumes for the numbers (1) through (6) indicated on the right of each curve are 0.16 l, 0.33 l, 0.66 l, 1.15 l, 1.64 l, and 2.46 l, respectively. The curve (7) is for the cluster comprising two 2.46 l sleeve-guns separated by 0.46m. Reflectivity at the sea surface in water is assumed to be  $-0.6$  to synthesize the far-field signatures for a rough sea surface.

특징이 있음을 보인다. Table 1은 발파심도 2m인 cluster 경우,  $P_a/P_b$ 는  $R = -0.8$

Table 1. Characteristics of source signatures in the time domain.

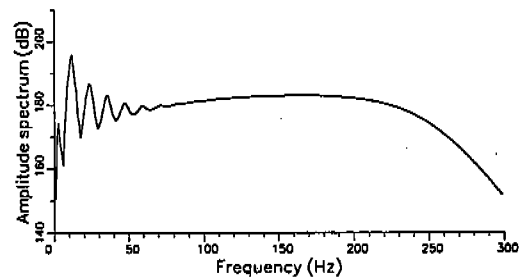
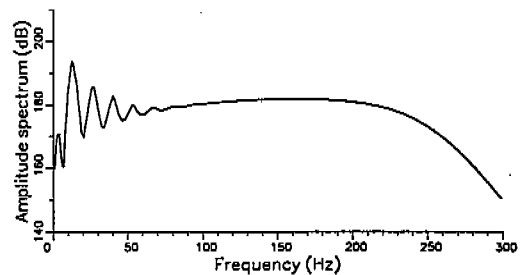
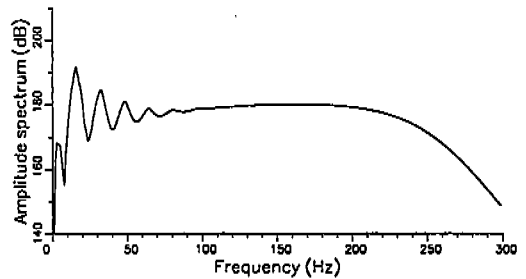
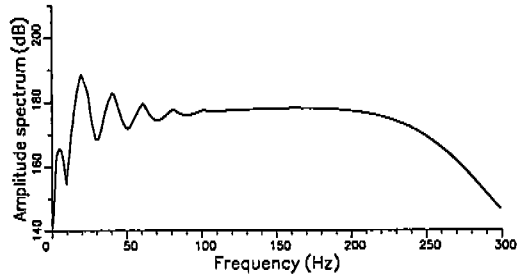
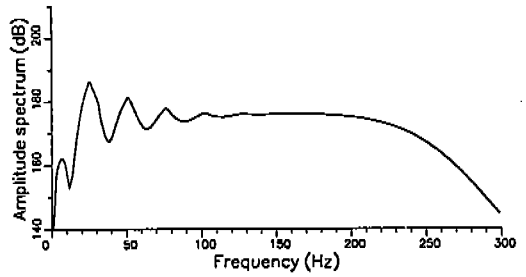
$R_{app} = -0.6$					$R_{app} = -0.8$			$R_{app} = -1.0$		
V ( $\ell$ )	d (m)	$P_a$ (MPa-m)	$P_a/P_b$	$T_b$ (ms)	$P_a$ (MPa-m)	$P_a/P_b$	$T_b$ (ms)	$P_a$ (MPa-m)	$P_a/P_b$	$T_b$ (ms)
0.16	1	.1870	2.479	39.0	.1938	4.125	38.0	.2271	7.066	38.0
0.16	2	.3346	3.275	39.0	.3745	3.920	38.0	.4143	4.611	38.0
0.16	3	.3198	2.660	39.0	.3597	2.952	38.0	.3996	3.252	38.0
0.16	4	.3171	2.277	39.0	.3532	2.500	39.0	.3893	2.614	38.0
0.16	5	.3688	2.090	39.0	.4086	2.202	39.0	.4485	2.324	39.0
0.33	1	.2306	2.457	49.0	.2436	4.465	48.0	.2841	8.642	47.0
0.33	2	.4145	3.538	49.0	.4651	4.615	48.0	.5156	5.331	47.0
0.33	3	.3877	2.882	49.0	.4382	3.447	48.0	.4887	3.982	48.0
0.33	4	.3734	2.422	49.0	.4194	2.738	48.0	.4655	3.003	48.0
0.33	5	.4362	2.269	49.0	.4867	2.484	49.0	.5373	2.628	49.0
0.66	1	.2859	2.474	62.0	.3062	4.787	61.0	.3558	11.100	60.0
0.66	2	.5163	3.741	61.0	.5798	5.566	61.0	.6433	6.795	60.0
0.66	3	.4745	3.091	61.0	.5380	4.134	61.0	.6015	4.781	60.0
0.66	4	.4425	2.591	61.0	.5003	3.201	61.0	.5581	3.542	60.0
0.66	5	.5177	2.535	62.0	.5812	2.830	61.0	.6446	3.084	61.0
1.15	1	.3439	2.560	75.0	.3709	5.053	73.0	.4276	13.569	72.0
1.15	2	.6225	4.070	74.0	.6981	6.357	73.0	.7737	8.281	72.0
1.15	3	.5660	3.409	74.0	.6415	4.790	73.0	.7171	5.782	72.0
1.15	4	.5148	2.841	74.0	.5830	3.653	73.0	.6512	4.196	72.0
1.15	5	.6033	2.791	74.0	.6789	3.298	74.0	.7545	3.581	73.0
1.64	1	.3909	2.548	84.0	.4210	5.111	82.0	.4837	15.694	81.0
1.64	2	.7063	4.145	83.0	.7909	6.815	82.0	.8756	9.567	81.0
1.64	3	.6391	3.511	83.0	.7237	5.188	82.0	.8084	6.648	81.0
1.64	4	.5739	2.920	83.0	.6496	3.971	82.0	.7269	4.773	81.0
1.64	5	.6738	2.935	83.0	.7584	3.629	83.0	.8431	4.061	82.0
2.46	1	.5384	3.219	95.0	.5752	6.557	94.0	.6535	21.678	92.0
2.46	2	.9652	5.305	94.0	1.0763	9.036	93.0	1.1875	13.376	92.0
2.46	3	.8663	4.496	94.0	.9775	6.913	93.0	1.0886	9.148	92.0
2.46	4	.7604	3.697	94.0	.8608	5.310	94.0	0.9719	6.676	93.0
2.46	5	.8978	3.840	95.0	1.0090	4.794	94.0	1.1201	5.552	93.0
4.92	1	.8626	6.893	117.0	.9033	13.998	116.0	1.0318	56.965	115.0
4.92	2	1.5407	11.640	116.0	1.7041	21.003	116.0	1.8674	33.898	114.0
4.92	3	1.3665	9.906	116.0	1.5299	16.202	116.0	1.6932	23.396	115.0
4.92	4	1.1737	8.143	117.0	1.3370	12.348	116.0	1.5004	16.572	115.0
4.92	5	1.3862	8.548	117.0	1.5496	11.247	116.0	1.7130	13.923	116.0

인 때에 비하여  $R = -1.0$  및  $R = -0.6$ 일 때 각각 61% 증가 및 45% 감소함을 보인다.

Fig.4(c) 및 Fig.5(c)는 발파심도 및 건부피에 따른 기포주기  $T_b$ 를 나타낸 것으로, 발파심도와 상관은 매우 작은 편이나, 건부피의 증가에 따라서는 규칙적으로 단조증가하는 양상을 보여 Fig.3(c)의 결과와 흡사한 양상을 보인다. 해수면 반사계수  $R$ 이  $-0.6$ 에서  $-1.0$ 으로 절대크기가 증가함에 따라  $T_b$ 는 항상 감소하는 모습을 보이나 그 정도는 매우 미약하다. Table 1은 발파심도 2m인 cluster 경우,  $T_b$ 는  $R = -0.8$ 인 때에 비하여  $R = -1.0$  및  $R = -0.6$ 일 때 각각 1.7% 감소 및 0.0% 증가함을 보인다.

### 주파수영역에서의 분석

Fig.6은 Fig.2의 원거리장 파형들의 진폭 스펙트럼을 구한 것이다. 즉, 해상상태가 보통일 경우를 가산하여 해수면 반사계수를  $-0.8$ 로 설정하고 발파심도 2m, 수중 음파전달속도 1,480m/s로 가정하여 온누리호에 설치되어 있는 6개 독립전 및 1개 cluster의 원거리장 파형을 주파수영역에서 나타낸 것이다. SEG 기술 표준위원회(Johnston et al., 1988)가 표준으로 제시한 바에 따라, 가로축은 주파수를 Hz로, 세로축은 주파수별 절대진폭을 1 Pa-m/Hz 기준 dB값으로 나타내었다.



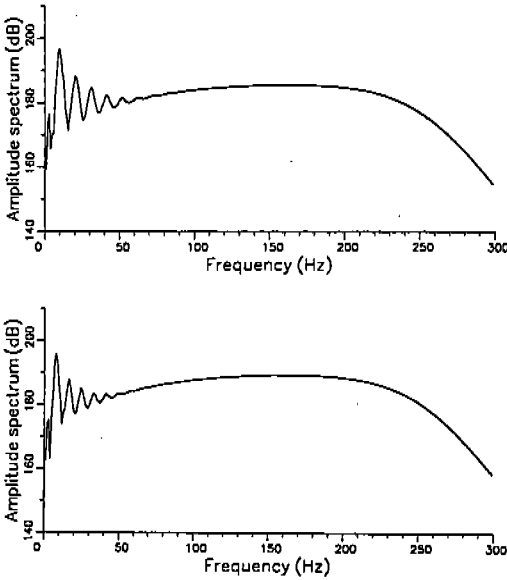
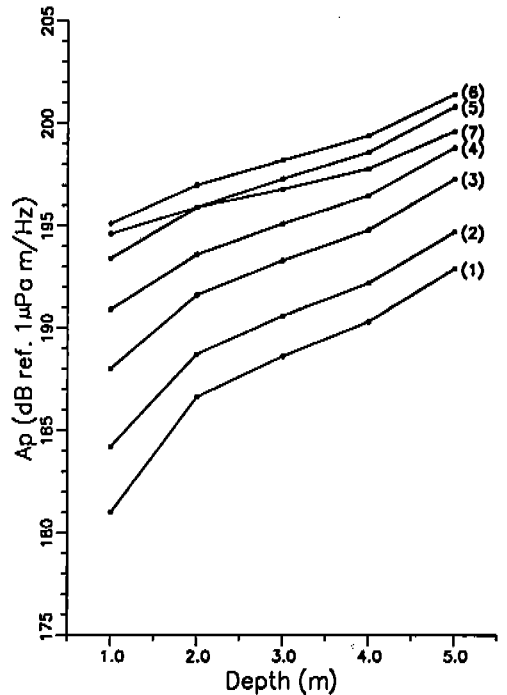


Fig.6 Amplitude spectra for the far-field signatures in Figure 2. The corresponding gun volumes for (a) through (f) are 0.16 l, 0.33 l, 0.66 l, 1.15 l, 1.64 l, and 2.46 l, respectively. The spectrum (g) is for the cluster comprising two 2.46 l sleeve-guns separated by 0.46m.

전부피 증가에 따라 진폭 스펙트럼의 절대크기는 증가하고, 기포주기 효과는 오히려 감소하여 0.16 l 전의 경우 100Hz 이상까지 뚜렷하게 미치던 영향이 2.46 l 전의 경우에는 70Hz 부근까지만 가시적으로 나타난다. 이는 시간영역에서 전부피의 증가에 따라 주신호대 기포의 진폭비가 감소하는데 기인한다. 그러나 가장 부피가 작은 전인 0.16 l 경우 기포주기의 배수로 나타나는 정점이 6개 정도 인지되는 반면, 가장 부피가 큰 2.46 l의 전 두 개로 구성되어 있는 cluster 경우는 9개까

지도 정점이 인지된다. 이러한 현상들은 시간영역에서 전부피에 따른 기포주기의 증가가 주파수영역에서 정점간의 간격을 감소시키기 때문이다. 한편 식 (3)을 이용하여 구한 고스트에 의한 노치 주파수는 375Hz로 300Hz 미만의 구간에서는 노치가 나타나지 않으며, 비교적 평탄한 스펙트럼 양상을 보인다.

Fig.7(a)는 원거리장 파형들의 발파심도에 따른 스펙트럼 최대치  $A_p$ 를 나타낸 그림으로, 각 그래프 번호에 해당하는 전부피는 Fig.3의 경우와 동일하다. 노치 주파수 이내 범위에서의 발파심도별 스펙트럼 최대치  $A_p$ 는 전부피와 발파심도에 따라 단조증가하는 양상을 보인다. 다만 그



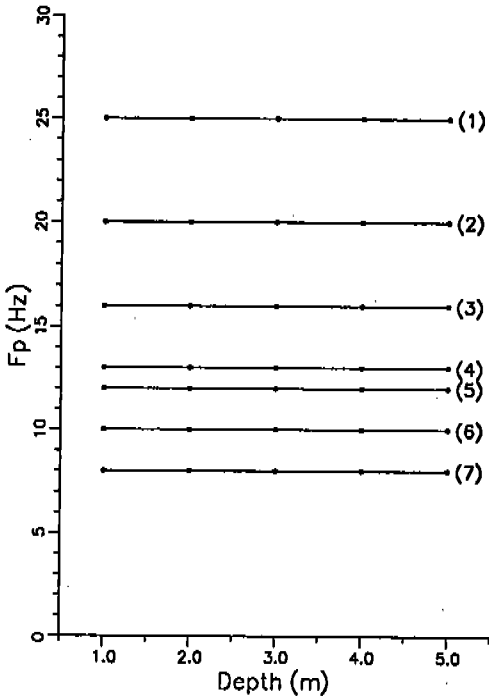


Fig.7 (a) Peak amplitude  $A_p$  and (b) dominant frequency  $F_p$ , as a function of source depth for the range of 1-5m at 1m interval. The gun volumes for the numbers (1) through (6) indicated on the right of each curve are 0.16  $\ell$ , 0.33  $\ell$ , 0.66  $\ell$ , 1.15  $\ell$ , 1.64  $\ell$ , and 2.46  $\ell$ , respectively. The curve (7) is for the cluster comprising two 2.46  $\ell$ , respectively. The curve (7) is for the cluster comprising two 2.46  $\ell$  sleeve-guns separated by 0.46. Reflectivity at the sea surface in water is assumed to be  $-0.8$  to synthesize the far-field signatures for a normal sea surface.

래프 6의 2.46  $\ell$  전보다 이 부피의 건 두 개로 구성된 그래프 7의 cluster 경우, 예외적으로  $A_p$ 값이 다소 작은 모습을 보인다. 이는 cluster를 구성하고 있는 두 건 사이의 간섭현상에 의해 기포발생이 오히려 억제되었기 때문이다(김기영 외, 1993b). 주파수영역에서의 스펙트럼 최대치  $A_p$ 가 발파심도에 따라 단조증가하는 양상은, 시간영역에서 주신호 진폭  $P_p$ 가 발파심도 2m에서 최대치를 갖는 점과 일치하지 않는 것처럼 보인다. 이는  $A_p$ 가 주로 기포효과에 영향을 많이 받으며(김기영 외, 1993a) 발파심도가 깊을수록 일정한 주파수 범위내에서의 노치수가 증가하기 때문에 노치 이외의 주파수 범위에 상대적으로 많은 에너지가 분포하게 되기 때문이다. Table 2는  $1\mu\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{Hz}$  기준 dB값의 단위로 표시한 각 건들의 발파심도별  $A_p$ 값들을 보여준다. 발파심도 1m인 0.16  $\ell$  건의 경우 181 dB 정도에서, 발파심도 5m인 2.46  $\ell$  건의 경우 201 dB 정도로 20 dB 정도의 차이가 있음을 보인다.

Fig.7(b)는 원거리장 파형들의 발파심도에 따른 우세주파수  $F_p$ 를 나타낸 그림으로, 각 그래프 번호에 해당하는 건부피는 Fig.7(a)의 경우와 동일하다. 발파심도별 우세주파수  $F_p$ 는 건부피에 따라 단조감소하나, 발파심도와는 무관하게 일정함을 보인다. Table 2는 Hz 단위로 표시한 각 건들의 발파심도별  $F_p$ 값들을 보여준다. 발파심도 및 해수면 반사계수와는 무관하게 0.16  $\ell$ , 0.33  $\ell$ , 0.66  $\ell$ , 1.15  $\ell$ , 1.64  $\ell$ , 2.46  $\ell$  건들의 우세주기가 각각 25Hz,

Table 2. Characteristics of source signatures in the frequency domain.

V ( $\ell$ )	d (m)	$R_{app} = -0.6$			$R_{app} = -0.8$			$R_{app} = -1.0$		
		$A_p$ (dB ref $1\mu\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{Hz}$ )	$F_p$ (Hz)	$F_n$ (Hz)	$A_p$ (dB ref $1\mu\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{Hz}$ )	$F_p$ (Hz)	$F_n$ (Hz)	$A_p$ (dB ref $1\mu\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{Hz}$ )	$F_p$ (Hz)	$F_n$ (Hz)
0.16	1	185.6	25	-	181.0	25	-	177.2	25	-
0.16	2	187.8	25	332	186.6	25	334	186.7	25	333
0.16	3	189.1	25	255	188.6	25	252	189.1	25	250
0.16	4	190.3	25	201	190.3	25	201	190.9	25	200
0.16	5	192.4	25	143	192.9	25	143	193.6	25	143
0.33	1	189.3	20	-	184.2	20	-	178.8	20	-
0.33	2	190.8	20	332	188.7	20	333	188.3	20	333
0.33	3	191.8	20	255	190.6	20	252	190.7	20	250
0.33	4	192.8	20	201	192.2	20	201	192.6	20	200
0.33	5	194.6	20	143	194.7	20	144	195.4	20	143
0.66	1	193.4	16	-	188.0	16	-	181.1	16	-
0.66	2	194.5	16	332	191.6	16	334	190.6	16	333
0.66	3	195.2	16	255	193.3	16	252	193.0	16	250
0.66	4	196.0	16	200	194.8	16	201	195.0	16	200
0.66	5	197.6	16	143	197.3	16	143	197.8	16	143
1.15	1	196.5	13	-	190.9	13	-	182.3	13	-
1.15	2	197.2	13	333	193.6	13	333	191.8	13	334
1.15	3	197.8	13	255	195.1	13	252	194.3	13	250
1.15	4	198.4	13	200	196.5	13	200	196.2	13	200
1.15	5	199.7	13	144	198.8	13	143	199.1	13	143
1.64	1	199.0	12	-	193.4	12	-	184.2	12	-
1.64	2	199.7	12	336	195.9	12	334	193.7	12	332
1.64	3	200.2	12	255	197.3	12	252	196.2	12	250
1.64	4	200.7	12	201	198.6	12	201	198.1	12	200
1.64	5	201.9	12	143	200.8	12	143	201.0	12	143
2.46	1	200.9	10	-	195.1	10	-	184.5	10	-
2.46	2	201.3	10	334	197.0	10	334	194.0	10	332
2.46	3	201.7	10	255	198.2	10	252	196.5	10	250
2.46	4	202.1	10	201	199.4	10	200	198.4	10	200
2.46	5	203.1	10	143	201.4	10	144	201.3	10	143
4.92	1	200.4	8	-	194.6	8	-	182.1	8	-
4.92	2	200.7	8	333	195.9	8	333	191.7	8	332
4.92	3	201.0	8	255	196.8	8	252	194.2	8	250
4.92	4	201.3	8	200	197.8	8	200	196.1	8	200
4.92	5	202.0	8	144	199.6	8	144	199.0	8	143

20Hz, 16Hz, 13Hz, 12Hz, 10Hz로 나타난다. 한편 cluster의 경우는 8Hz에 스펙트럼의 최고치가 높인다. 이 결과는 김기영 외(1993a)가 발파심도 5m의 해저면 반사파로부터 구한 이 파원들의 기포주파수 27Hz, 22Hz, 16Hz, 14Hz, 12Hz, 11Hz, 8Hz 등과 비교적 잘 일치하는 경향이 있으며, 이는 원거리장 파형의 우세주기가 주로 기포주기에 영향을 받고 있음을 지시한다.

Table 2의 노치 주파수는 식 (3)에 수중음속도 1480m/s을 이용하여 구한 발파심도 1m, 2m, 3m, 4m, 5m에서의 노치 주파수 740Hz, 370Hz, 247Hz, 185Hz, 145Hz와 최대 37Hz 정도까지의 차이를 보인다. 스펙트럼 계산범위를 초과하여 나타나지 않는 발파심도 1m의 경우를 제외하고는, 발파심도가 얕을수록 계산치와의 차이가 커지는데, 이 오차는 수중 해수면 반사에 의한 고스트 지연시간이 ms 단위로 정확히 떨어지지 않는데 주로 기인한다. 1ms 단위로 수치화되어 있는 근거리장 파형을 내삽(interpolation) 과정을 통하여 이 오차를 줄일 수는 있으나 노치 주파수는 너무 자명하게 계산이 가능하므로 이 연구에서 더 이상의 시도는 없었다. 기타 근거리장 파형 계산시 추가한 백색 잡음도 계산치와 모형이 정확히 일치하지 않는 한 요인으로 지적될 수 있다.

### 소 결론

이상의 결과에서, (1) 수신호의 진폭  $P_r$ ,

(2) 수신호와 기포의 진폭비  $P_r/P_b$ , (3) 기포주기  $T_b$ 가 모두 크며, (4) 300Hz 미만의 주파수 대역에서 비교적 평탄한 스펙트럼을 보이는, 2.46ℓ의 건 두개의 cluster를 2m의 깊이에서 발파할 경우가 분석대상 파원중에서는 가장 이상적인 원거리장 파형을 발생한다는 것을 알 수 있다. 다만 건 내부압력 11.8MPa(약 1710PSI), 발파심도 5m의 경우 이 건들의 평형반경 0.31m의 2.4배인 0.73m로 두 건 사이의 간격을 변화시킬 경우 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있음을 김기영 외(1993b)는 밝힌 바 있다.

### 스트리머 특성분석

고해상도 반사파 탐사자료 수신에 적합한 스트리머는 수평 해상도(horizontal resolution)를 높이기 위해 수신채널간격이 충분히 작아야 하며, 고주파 신호를 효과적으로 감지할 수 있어야 한다. 온누리호에 설치되어 있는 다중채널 지진파 수신장치로는 96채널 스트리머와 12채널 스트리머가 있으며, 전자는 수 km 깊이의 깊은 지질구조 구멍에 적합하도록 제작된 것이고 후자는 수백 m 깊이에 적합하게 고안된 것이다.

온누리호의 96채널 스트리머와 12채널 스트리머의 채널당 길이는 각각 25m와 6.25m이다. 따라서 발파간격을 채널간격과 동일하게 공심점(Common Depth Point) 자료를 획득할 경우, 수평해상도는 각각 12.5m와 3.125m가 되어 12채널 스트리머

이용시 96채널 스트리머에 비하여 4배 높은 수평해상도를 얻을 수 있다.

스트리머의 주파수별 감응도는 지진파의 진행방향과 수신배열 구성요소인 수중수신기의 특성 및 기하학적 배열 등에 따라 다르게 된다. 96채널 스트리머는 길이 25m의 각 수신채널별로 240V/MPa 감응도의 수중수신기(AMG사 제작 HC202 hydrophone) 24개가 0.957m의 등간격으로 일직선으로 배열되어 있다 (유해수 외, 1994). 한편 12채널 스트리머는 채널당 동종의 수중수신기 8개가 약 0.74m의 등간격으로 배열되어 있다. 반사파의 진행방향이 거의 수직인 점을 감안할 때, 96채널 스트리머는 12채널 스트리머에 비하여 수중수신기 감응범위내에서는 신호의 주파수 대역에 상관없이 채널당 3배 높은 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio)를 얻을 수 있는 장점이 있다.

한편 수신기 배열반응  $R_{array}$ 은

$$R_{array} = \frac{\sin(n\pi D/\lambda_a)}{n \sin(\pi D/\lambda_a)} \quad (5)$$

의 식으로 표시될 수 있는데(민경덕 외, 1987), 이때  $n$ 은 채널당 수신기 숫자,  $D$ 는 수신기 간격,  $\lambda_a$ 는 겉보기 파장을 각각 뜻한다. 겉보기 파장  $\lambda_a$ 는

$$\lambda_a = \frac{V_w}{f \cos \alpha} \quad (6)$$

의 식으로 표시되며, 이때  $f$ 는 주파수,  $V_w$ 는 수중 음파전달속도,  $\alpha$ 는 파선과 지표면(혹은 수면)이 이루는 각도를 각각 뜻한다. 수평방향으로 진행하는 직접도달파 및

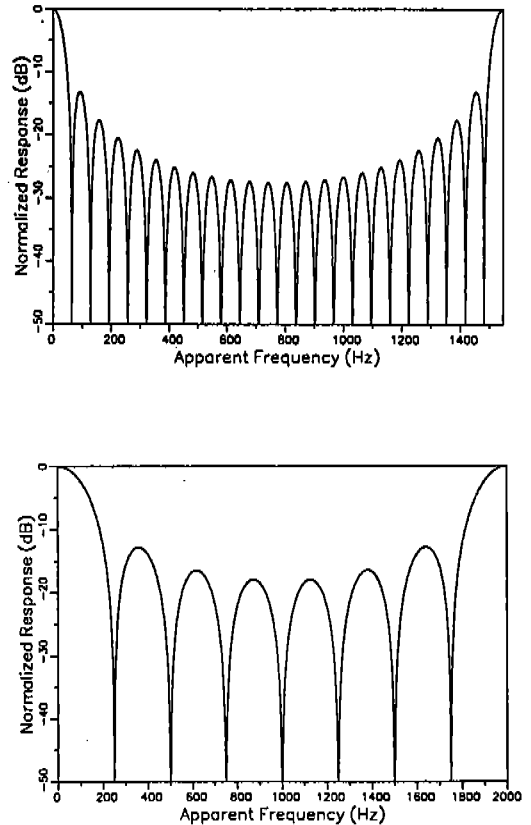


Fig.8 Array response curves for (a) the 96-channel and (b) 12w6@channel streamers on the R/V Onnuri. Number of hydrophones per channel and hydrophone spacing for the 96-channel streamer are 24 and 0.957m, respectively. For the 12-channel streamer, the number of hydrophones per channel and the hydrophone spacing are 8 and 0.74m, respectively.

스크류 잡음 등의 경우는 겉보기 파장과 참 파장이 일치되며, Fig.8의 수신배열 반응곡선(receiver-array response curve)에 도시된 바와 같이 주파수(혹은 파장)에



따라 그 배열반응이 다르게 나타난다. 96 채널 스트리머 경우는 Fig.8(a)에서와 같이 첫번째 노치가 60Hz 부근에 나타나며, 이는 수중 음파전달속도가 1480m/s일 경우, 걸보기 파장 25m 정도의 일관성 잡음(coherent noise)을 효과적으로 감쇠시킴을 알 수 있다. 반면에 12채널 스트리머 경우는 Fig.8(b)에서와 같이 첫번째 노치가 250Hz 부근에 나타나며, 이는 걸보기 파장이 6m 정도의 단파장 잡음의 감쇠에 효과적임을 지시한다.

이상의 결과를 요약하면, 고해상도 지진파탐사에 적합한 12채널 스트리머는 96채널 스트리머에 비하여, 4배 높은 수평해상도를 얻을 수 있는 반면에 S/N 비가 3배 감소하는 단점이 있다. 또한 12채널 스트리머의 경우, 파원으로부터 수신채널까지의 길이가 짧아 moveout이 매우 작은 특징이 있으며, 이로 인하여 NMO 보정(normal moveout correction)시 야기되는 이완(stretch)이 작게 되어 고주파 신호를 효과적으로 얻을 수 있다. 그러나 이는 자료처리과정중에서 속도분석 및 moveout 차이를 이용한 다중반사파 제거(김기영과 정귀금, 1991) 등을 효과적으로 실행하기 어려운 문제점도 예상된다.

### 기타 획득변수 분석

기록시간은 대상심도 및 그 깊이까지의 평균속도 등에 따라 결정된다. 최대 대상심도를 1km까지 하고, 이 깊이까지의 평균속도 2,000m/s를 가정할 경우, 기록시

간은 1s 이상이 되어야 한다.

또한 200Hz까지의 신호를 기록하기 위해서는 샘플간격이 2.5ms보다 작아야 한다. 실질적으로 aliasing 방지용 아날로그 필터의 모서리 주파수가 Nyquist 주파수의 절반 정도인 경우를 가정할 때, 샘플간격은 1.25ms 보다 작아야 한다. 한편 자료처리를 소프트웨어가 일반적으로 1ms 이상의 샘플간격을 허용하는 경우가 많은 점을 감안할 때, 샘플간격은 1ms이 이상적이다.

발파간격은 스트리머와 함께 수평해상도를 결정짓는 중요한 변수이며, 사용하는 파원의 압력과 부피, 콤프레샤 용량, 스트리머의 채널간격, 또한 기록시간 및 샘플간격과 유기적으로 밀접한 관계를 갖는다. 또한 기록계의 기록속도 역시 고려하여야 할 제한요소중의 하나이다. 운누리호에 부착되어 있는 장비중 고해상도 지진파 탐사시 바람직한 것은 용량이 13.8MPa(2000PSI) 기준 12m<sup>3</sup>/min인 콤프레샤 2대와 2.46ℓ의 전 두개로 구성되어 있는 cluster, 채널간격 6.25m의 12채널 스트리머이다. 이와 함께 주요 획득변수로는 전의 작동압력 13.8MPa(2000 PSI), 기록시간 1s, 샘플간격 1ms, 조사선속도 4-6knot로 할 경우, 발파간격은 3.125m나 혹은 6.25m가 적당할 것이다.

### 문제점 및 토의사항

발파심도 5m를 가정한 전산모형을 발파심도 1-5m 사이의 원거리장 파형을 구

하기 위해 사용할 경우 발생하는 오차는 매우 작아 무시할 수 있다. 수신호 진폭 및 기포진폭 등에 영향을 주는 압력  $P_d(t)$ 는 전 내부압력  $P_{in}(t)$ 와 전 외부압력  $P_{out}(t)$ 의 차이, 즉

$$P_d(t) = P_{in}(t) - P_{out}(t) \quad (6)$$

의 식으로 표시될 수 있다(Parkes and Hatton, 1986). 여기서  $P_{in}(t)$ 는 최대치가 138기압(13.8MPa)이고,  $P_{out}(t)$ 는 약 1.0-1.5 기압으로 발파심도에 따라 일정하다. 근거리장 파형이 심도 5m를 대상으로 계산된 것이므로  $P_{out}(t)$ 는 약 1.5 기압이 되며, 오차가 최대가 되는 발파심도 0m(즉 해수면 발파)의 경우도  $P_{out}(t)$ 는 약 1기압으로  $P_d(t)$ 의 변화율은 0.36% 정도로 극히 미약하다. 따라서 발파심도 5m를 가정하여 계산된 근거리장 파형의 전산모형을 이용하여 발파심도 5m까지의 원거리장 파형을 계산하여도 이로 인한 오차는 극히 미약하여 무시될 수 있다.

## 결 론

대상심도 1km 이내의 비교적 천부 해저지질구조 구명을 위한 고해상도 반사파 탐사에 적합한 자료획득 변수를 결정하기 위하여 온누리호의 탐사장비를 대상으로 한 전산모형시험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원거리장 파형을 시간 및 주파수영역에서 분석한 결과, 분석대상으로 삼은 전산모형중, 내용적 2.46ℓ의 슬리브진

2개로 구성된 cluster를 2m 정도의 깊이에서 발파할 경우에 수신호 진폭, 수신호대 기포의 진폭비, 기포주기 등이 가장 크고, 200-300Hz까지의 진폭스펙트럼이 비교적 평탄한 이상적인 원거리장 파형이 발생된다.

2. 온누리호에 있는 스트리머중, 12채널 스트리머는 96채널 스트리머에 비하여, 수직으로 입사하는 지진파의 S/N비가 3배 작은 반면에 4배 높은 수평해상도를 얻을 수 있다. 또한 상대적으로 작은 moveout으로 인한 높은 수직해상도도 얻을 수 있어 고해상도 반사파 탐사에 더욱 효과적이다.
3. 대상심도, 주파수범위, 건부피, 스트리머 채널수, 콤프레샤 용량 등 제반 요소를 고려할 때, 기록시간 1s, 샘플간격 1ms, 발파간격 3.125m 혹은 6.25m가 적당한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 1993년도 과학기술처 특정연구사업(PN00226)의 한국해양연구소 위탁연구과제 연구인 '고해상도 다중채널 해양 반사파자료 획득기술 개발을 위한 기초연구' 결과의 일부로, 위 기관의 연구비 지원에 감사드립니다. 아울러 이 연구에 사용된 근거리장 파형자료를 제공하여 수신미국 HGS(Halliburton Geophysical Service)사와 여러모로 이 연구에 도움을 주신 한국해양연구소 김한준 박사께 진심으로 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김기영, 정귀금, 1991, 무브아웃 차이를 이용한 다중반사파 제거법에 관한 고찰, 지질학회지, v. 27, n. 6, p. 604-613.
- 김기영, 유해수, 주형태, 김예동, 1993a, 해저면 반사파를 이용한 슬리브건의 원거리장 파형분석 연구(I) - 독립 발파의 경우를 중심으로 -, 한국자원공학회지, v. 30, n. 4, p. 327-340.
- 김기영, 유해수, 주형태, 김한준, 1993b, 해저면 반사파를 이용한 슬리브건의 원거리장 파형분석 연구(II) - 여러 개의 슬리브건을 동시에 발파한 경우 -, 한국자원공학회지, v. 30, n. 5, p. 430-438.
- 민경덕, 서정희, 권병두, 1987, 응용지구물리학, 우성문화사, 571p.
- 유해수, 양승진, 김기영, 1994, 96채널 아날로그 스트리머 잡음특성 연구, 한국자원공학회지, v. 31, n. 5, 게재예정.
- Butler, D.K., Llopis, J.L., Dobecki, T.L., Wilt, M.J., Corwin, R.F., and Olhoeft, G. 1990, Comprehensive geophysics investigation of an existing dam foundation, The Leading Edge, v. 9, n. 9, p.44-53.
- Cotton, W.R. and Monk, D.J., 1990, Modeling airgun signatures for statistical evaluation of airgun array performance, presented at the 60th annual intl. mtg. of SEG, San Francisco, California, U.S.A.
- Johnston, R.C., Reed, D.H., and Desler, J.F., 1988, Marine seismic energy source standards(special report), Geophysics, v. 53, p. 566-575.
- Jongerieus, P. and Helbig, K., 1988, On-shore high-resolution seismic profiling applied to sedimentology, Geophysics, v. 53, p. 1276-1283.
- Nooteboom, J.J., 1978, Signature and amplitude of linear airgun arrays, Geophysical Prospecting, v. 26, p. 194-201.
- Pakes, G. and Hatton, L., 1986, The marine seismic source, D. Reidel Pub. Co., Dordrecht.
- Steeple, D.W., Knapp, R.W., and McElwee, C.D., 1986, Seismic reflection investigations of sinkholes beneath interstate highway 70 in Kansas, Geophysics, v. 51, p. 295-301.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R. E., and Keys. D.A., 1976, Applied Geophysics, Cambridge University Press, London.
- Verma, R.K., 1986, Offshore Seismic Exploration, Gulf Pub. Co., Houston.

---

김기영 :

강원대학교 지구물리학과

강원도 춘천시 효자2동 192-1

(우)200-701

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과

TEL : (0361)50-8584

FAX : (0361)56-4043

주형태, 홍종국, 유해수 :

한국해양연구소 해양지구물리연구그룹

경기도 안산시 사동 1270 (우)425-170

한국해양연구소 해양지구물리연구그룹

TEL : (0345)400-6278

FAX : (0345)408-5833