

불발 음원에 따라 탄성과탐사 성능에 미치는 영향

유해수, 박찬홍, 최동림, 한상준

한국해양연구소 지질연구부

Effect of Different Misfired Gun on Seismic Survey Quality

(Hai Soo Yoo, Chan Hong Park, Dong Lim Choi, Sang Joon Han)

Korea Ocean Research & Development Institute, Marine Geology & Geophysics division

E-mail: hsyoo@sari.kori.ac.kr

요약

불발 음원에 따른 음원 배열의 빔 패턴 변화와 탐사탐사자료에서 원거리장 파형 변화를 분석하였다. 원거리장 파형의 주신호 진폭은 전체 건 부피의 약 40%에 해당하는 음원들이 불발을 일으킨 경우, 탐사성능이 33% 정도 떨어지는 것으로 확인되었다. 같은 간격의 음원들이 불발 시에는 배열형태와 관계없이 길이 및 폭배열의 빔 폭이 동일하게 나타난다. 불발 음원의 부피가 증가됨에 따라 상대적으로 음파 에너지가 작아 지지만 빔 폭이 40° - 34°로 좁아지는 경향을 나타낸다. 따라서 탄성과 탐사에서 필요로 하는 좁은 파형이 생성됨으로써 전 부 지층탐사에 적합한 것으로 확인되었다.

1. 서론

다중채널 탄성과 자료획득은 막대한 경비가 소요됨으로 현장 조사에서 문제가 발생 시에는 신속하게 처리해야 한다. 탐사를 지연시킬 수 있는 상황을 빈번하게 일으키는 탄성과 음원은 직접적으로 탐사성능에 큰 영향을 주게된다. 따라서 탄성과 음원특성을 나타내는 원거리장 파형 (far-field signature)과 빔 패턴은 사전 탐사성능을 확인하려는 목적과 이러한 상황 판단의 기초 자료가 된다.

연구선 온누리호에 장착된 에어진은 16개 에어건으로 구성 [fig. 1] 되며 그 중 내용적이 11.31 ℓ 이며 8 개 건으로 구성되어 있는 좌현 준배열상의 건들을 이용하여 1993년 1월 남극 Drake 해협(Fig. 2)에서 원거리장 파형 (Far-field signature)에 대한 연구를 실시하였다. 에어건들을 동시에 발파하거나 어떤 건을 불발 시켰을 때 해저면에서 반사되어 오는 반사파를 이용하여 획득한 원거리장 파형을 시간 및 주파수 영역에서 분석하였으며, 같은 조건의 가상환경에서 빔 패턴 변화를 확인하였다.

일반적으로 동시에 발파된 건들 사이의 간섭 현상은 매우 복잡한 문제로서 Ziolkowski^[1], Giles and

Johnston^[2], Nooteboom^[3] 등이 연구를 시도하였으며, Lugg^[4]는 크기가 120 (in³)인 두 개의 건 간격이 12.2 m 인 경우 일어나는 간섭 현상을 보였다. 간섭에는 크게 선형 간섭 (linear interaction)과 비선형 간섭 (non-linear interaction)으로 구분할 수 있다 (Parkes and Hatton)^[5]. 간섭 형태는 건 간격이 가장 중요한 인자 중의 하나이며, 건 부피, 건 내부 압력, 건 주변의 수압 등에도 영향을 받는다. 특히 비선형 간섭은 건 사이의 거리가 매우 가까워 각 건에서 발생된 기포가 하나의 기포를 형성하는 합체(coalescence) 간섭 형태이다.

본 연구는 탄성과 음원 배열 중 어떠한 음원이 불발일 때 탐사자료에 미치는 영향을 사전에 정확히 파악하고 예측함으로써 문제 발생 시 신속하게 대처하여 탐사성능을 높이고자 한다.

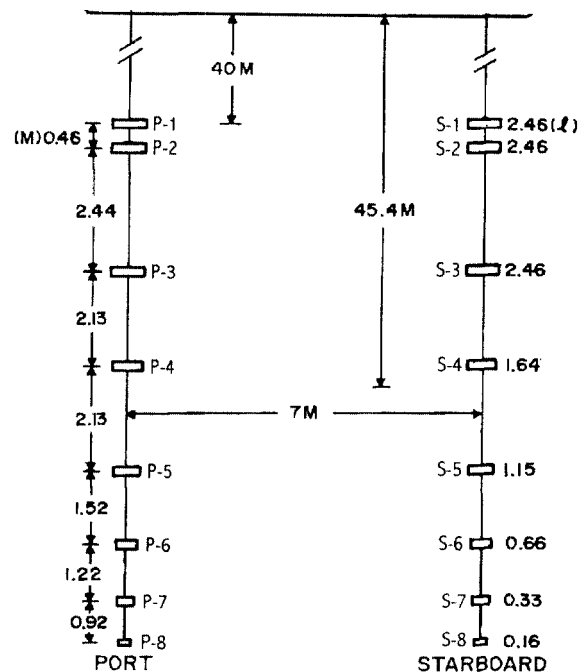


Fig. 1. Configuration of the source array on the research vessel Onnuri. The array is composed of two identical sub-arrays each of which has eight sleeve-guns.

II. 이론 및 자료 획득

1. 배열 이론

구형 대칭으로 전달되는 음파는 Mikavica^[6]의 배열 이론식을 응용하여 표현할 수 있는데, 직경과와 $2H\cos\theta/c$ 로 시간 지연되는 해수면 반사파의 합성파는 총 빔 패턴 함수로 표현할 수 있다^[7]. 총 빔 패턴 $A_{tot}(\theta, \varphi)$ 는

$$A_{tot}(\theta, \varphi) = A_d(\theta, \varphi) + A_r(\theta, \varphi) \\ = [F_\theta(\theta, \varphi) + F_\theta(\pi - \theta, \varphi)e^{-jk_z 2H\cos\theta/c}] \theta_0 \quad (1) \\ + [F_\varphi(\theta, \varphi) - F_\varphi(\pi - \theta, \varphi)e^{-jk_z 2H\cos\theta/c}] \varphi_0$$

이다. 여기서 H 는 깊이이며 c 는 수중 음파 속도이다.

2. 시험자료 획득

시험자료는 온누리호 탄성파 탐사장비를 이용하여 1993년 1월 남극 Drake 해협 (Fig. 2)에서 획득하였으며 획득변수는 Table 1에 요약하였다.

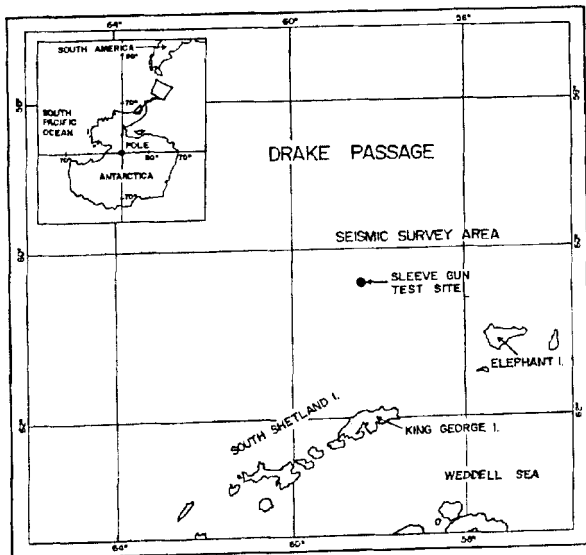


Fig. 2. Location map of the test site for far-field signature analysis in the Antarctic water.

Table 1. Acquisition parameters employed for the far-field signature tests.

Description	Antarctic survey
Record Length	10 s
Sampling Interval	2 ms
Energy Source	11.31 l sleeve-gun
Source Depth	6.5 m
Streamer Length	2400 m
Number of Groups	96
Group Interval	25 m

Fig. 3은 일정 이득 (constant gain)만을 적용한 8개 음원의 공발집모음 (common shot gather) 자료로 기록시간 5~6.5 초 사이의 자료만을 도시하였다

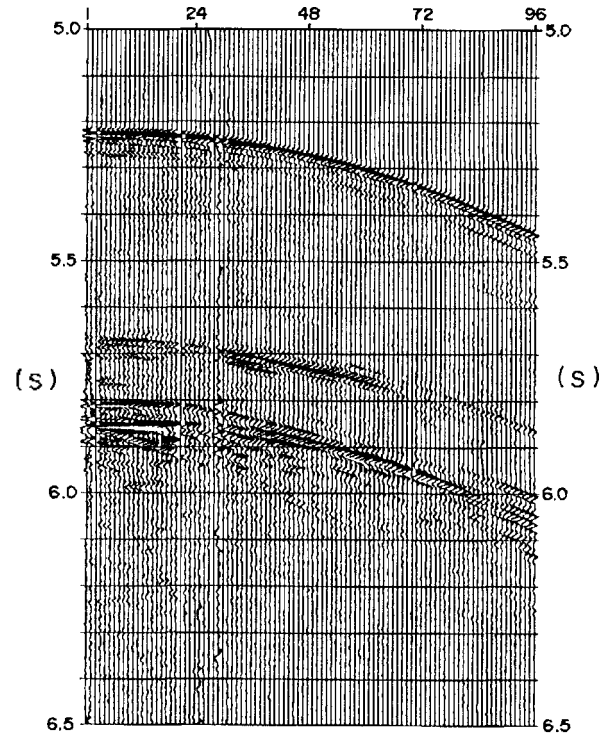


Fig. 3. Common shot gather with a constant gain applied.

3. 자료 분석

획득한 탄성파 탐사자료는 제작된 단면도에서 해저면 반사파 도달 이후 400 ms 까지의 자료만을 취하였다. Fig. 4는 (a) 준 배열 상의 모든 음원들이 동시에 성공적으로 발파된 경우와, 불발된 건이 (b)P-8, (c)P-7, (d)P-6, (e)P-5, (f)P-4, (g)P-3, (h)P-4.5, (i)P-3.4.6인 경우, 그리고 (j)P-1,2 음원 두 개로 구성되어 있는 송이배열이 불발된 경우에 기록된 자료를 차례로 보여 준다. 전반적으로 수신호 진폭 P_d 는 불발된 건 부피와 비례하여 감소하는 경향을 보인다(유해수)^[7]. 원거리장 파형 특성을 Table 2에 정량적으로 요약하였으며 불발 건의 수신호 진폭 P_{nd} , 등음 음원 부피 별로 구하였다.

Fig. 5는 불발된 건의 부피 V_{nd} 와 불발건의 수신호 진폭 P_{nd} 을 준배열 전체 부피 V_1 와 전체 수신호 진폭 P_1 로 각각 나누어 구한 백분율을 대수값으로 나타낸 것으로, 가로축 및 세로축은 각각 V_{nd}/V_1 와 P_{nd}/P_1 의 백분율 값을 나타낸다. V_{nd} 와 P_{nd} 의 상용 대수값 사이의 관계를 최소 차승법을 이용하여 구한 최적 일차함수는

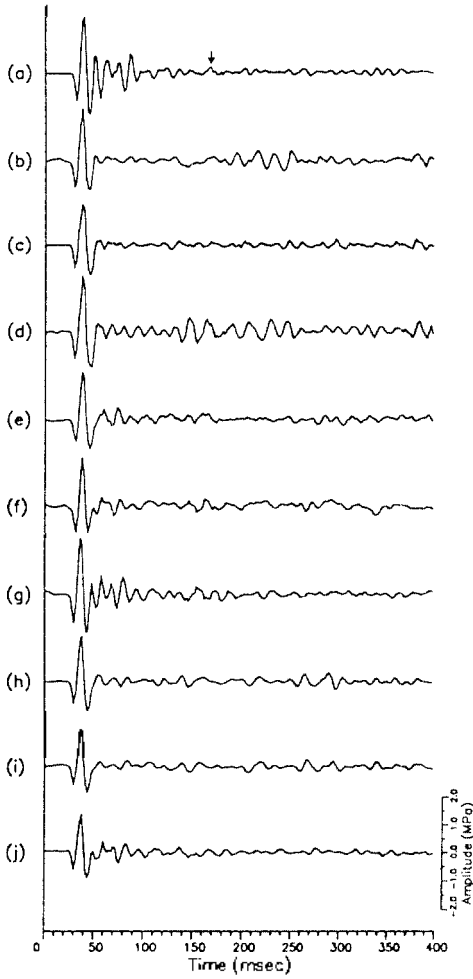


Fig. 4. Three-fold vertical stacks of the far-field signatures.

$$P_{ma} = 0.43 V_{mf} + 54.3 \quad (2)$$

로서 그림에 실선으로 표시하였으며 "X" 표시는 주변값과 현저한 차이가 있어 계산에서 제외시켰다. 잠선으로 표시된 것은 각 각에 대한 불발 건의 범폭 변화를 나타내는데 불발 건의 부피가 클수록 범폭이 좁아지는 것을 확인할 수 있다. 특히 불발 건이 P-3,4,6 인 경우는 건사이 간격이 상대적으로 넓어 범폭이 넓게 나타나 제외시켰으며 "▲" 표시는 배열길이 다른 경우로 범폭에 많은 영향을 주기 때문에 역시 제외시켰다. Fig. 5 및 Table 2으로부터 온누리호에 설치되어 있는 준배열의 경우, 전체 건 부피의 43 %에 해당하는 음원들이 불발을 일으킨 경우에도 주신호 진폭 손실이 34 % 이하임을 알 수 있다. 주파수 영역에서의 분석결과를 일부 건이 불발된 경우에 뚜렷한 차이를 보이지 않아 문제가 심각하지 않을 것으로 생각된다.

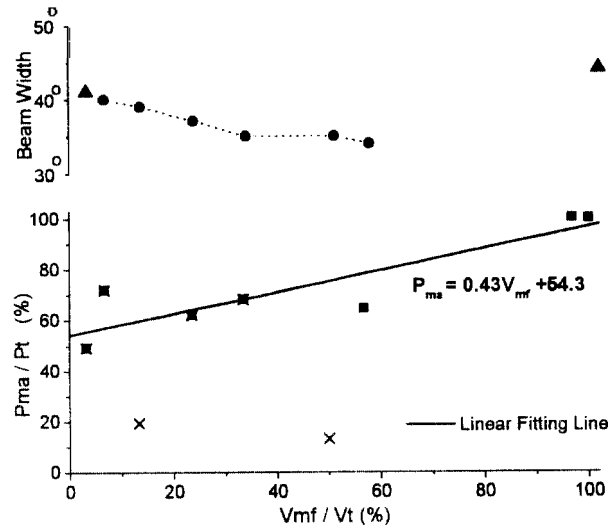


Fig. 5. Variation in misfire amplitude and beam width with gun volume.

III. 배열 특성 분석

길이 및 폭배열의 빔 패턴은 Fig. 6에서와 같이 0 ~ 10 dB까지 나타냈으며 적면이 용이하도록 θ (0-180°), ϕ (0 - 270°) 부분만 도시하였다.

Table 2. Descriptive parameters for the far-field signatures and the beam patterns of the subarray with or without misfires.

G_{mf} Long array	V_{mf}/V_t (%)	P_{ma} kPa -m	$P_{m\phi}/P_t$ (%)	P_a kPa -m	$P_{a\phi}/P_t$ (%)	Beamwidth (h)	Array length (m)
0	0	0	100	3430	100	37°	10.8
P-8	1.4	573	16.7	2857	83	41°	9.9
P-7	2.9	840	24.5	2590	76	40°	10.8
P-6	5.8	236	6.6	3204	93	39°	10.8
P-5	10.2	725	21.1	2705	79	37°	10.8
P-4	14.5	796	23.2	2634	77	35°	10.8
P-3	21.7	154	4.5	3276	95	35°	10.8
P-4.5	21.6	756	22	2674	78	34°	10.8
P-3,4,6	42.0	1167	34	2263	66	81°	10.8
P-1,2	43.4	1162	33.9	2268	66	44°	7.9

길이배열에서 불발 건에 대한 영향을 도시하기 위하여 건의 부피가 큰 순서대로 송이배열 (a)P-1,2와 (b)P-3,4,6, (c)P-4,5, (d)P-3, (e)P-4, (f)P-5, (g)P-6, (h)P-7, (i)P-8 인 경우와 불발된 건이 없

8 개 건이 모두 폭발되었을 때의 빔 패턴을 (j)에 차례로 도시하였다. 마찬가지로 건 간격이 길이배열에서 사용된 간격과 같은 거리에 있는 폭배열의 건을 적용하여 본 결과 길이배열과 동일한 빔 폭을 나타낸다. 한편 Table 2에서 보는 바와 같이 배열 길이가 짧아질 경우 상대적으로 빔폭이 넓어지며 같은 배열길이에서는 불발건의 부피가 클수록 빔폭이 $40^{\circ} - 34^{\circ}$ 으로 좁아진다.

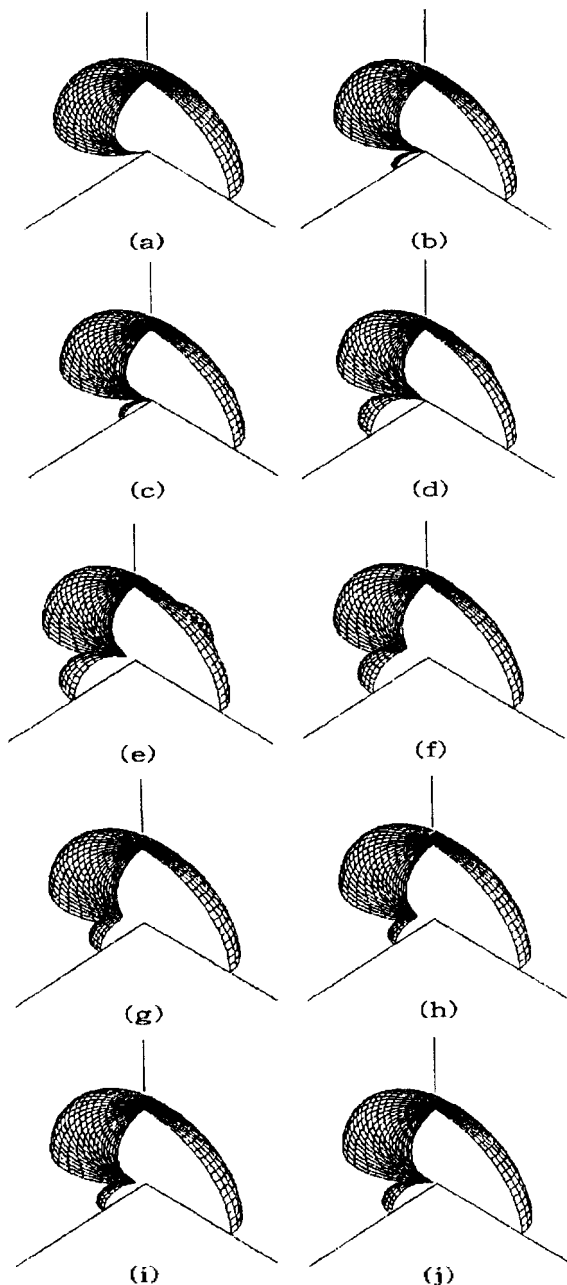


Fig. 6. Three-dimensional radiation pattern for the long array with a misfired gun.

IV. 결론

원거리장 파형의 주신호 진폭은 전체 건 부피의 약 43 %에 해당하는 건들이 불발을 일으킬 경우, 탐사성능이 34 % 정도 떨어지는 것으로 확인되었다. 한편 같은 조건의 환경에서 컴퓨터 모의과정과 배열 이론에 의해 구한 불발 건의 빔 폭 변화는 길이 및 폭배열에서 동일하게 나타나 배열형태와는 무관하다. 불발 건의 부피가 증가됨에 따라 빔 폭 변화는 $40^{\circ} - 34^{\circ}$ 로 좁아지는 경향을 나타낸다. 따라서 불발 건의 부피가 클수록 에너지 크기가 작아지는 반면에 빔 폭이 좁아져 탐사와 탐사에서 필요로 하는 양호한 파형이 얻어지므로써 큰 에너지가 요구되지 않는 천부 지층탐사에 적합하다.

참고문헌

1. Ziolkowski, A. M, 1970, A method for calculating the output waveform from an airgun : Geophys. J. R. Astr. Soc., 21, 137~161.
2. Giles, B.F., and Johnston, R.C., 1973, System approach to airgun array design : Geophysical Prospecting, 21, 77~101.
3. Nooteboom, J.J., 1978, Signature and amplitude of linear airgun arrays : Geophysical Prospecting, 26, 194~201.
4. Lugg, R., 1979, Marine seismic sources, in developments in geophysical exploration methods : Ed. A.A. Fitch, Appl. Sci. Publ.
5. Parkes, G.E., and Hatton, I., 1986, The marine seismic source : D. Reidel Publishing Co.
6. Mikavica, M., and Nestic, A., "CAD for linear and planar antenna arrays of various radiating elements," Artech house, INC., pp. 160, 1992.
7. 유해수, "다중채널 번사파탐사를 위한 회로 장비 특성분석 및 야외변수 최적화 연구," 한양대학교 박사학위논문, pp. 188, 1995.