

## 다중어체에 대한 표적산란 강도 측정

## (Measurements of Target Strength of Multi-fish)

\* 김 성 부(Kim, Sung Boo)  
 \*\* 전 병 두(Juen, Byung Doo)  
 \*\*\* 장 지 원(Jang, Jee Won)

## ABSTRACT

It was examined experimentally that the assumption which total back scattering cross section of a shoal of fish is equivalent to the random phase sum of individual back scattering cross section.

Measurements were made at the fish-length to wavelength ( $\frac{L}{\lambda}$ ) of the 23 on two and three mullets. The values of total back scattering cross section varied between in phase and out phase sum depending on the direction, but the average values on scattering angles deviated  $-1.7\text{dB}$ ,  $+1\text{dB}$  in comparison with the values by random phase sum of individual fish respectively. The maximum deviation was revealed at in phase sum, and the density of fish could be estimated by  $n^2$  instead of the true density of fish of  $n$ .

In addition, the experimental results were irrelevant to the variation of the distance between fishes, so the total back scattering cross section only depends on the number of fish within the beam width of fish finding sonar regardless of both the beam width of sonar and the distribution of a shoal of fish.

## 요 약

어군의 밀도를 음파로 추정할 때 어군의 총후방 산란 단면적이 어류개체의 후방 산란 단면적을 random phase로 합한 것과 같다는 가정에 대하여 실험적 검증을 시도하였다.

어체의 길이 대 음파의 파장비( $L/\lambda$ )가 23일 때 두마리와 세마리의 송어에 대하여 실시한 실험에서 전 산란각에 대한 평균이 random phase로 합할 때보다  $-1.7\text{dB}$ 와  $+1\text{dB}$ 씩 편차를 보였다. 그러나 전체적으로는 in phase와 out phase sum 사이에서 변화함을 보였고, 최대오차는 in phase로 합해질 때로서 실제의 어군밀도  $n$ 에 비해 최고  $n^2$ 에 이르기까지 추정 가능함을 실험결과는 보여주고 있다.

더욱이 이러한 결과는 어체간의 간격변화에는 거의 무관하였으므로 소나의 빔폭이나 어군의 분포에 상관없이 빔폭 사이에 있는 어군의 마리수에만 총후방 산란 단면적이 관계된다는 결론을 얻을 수 있었다.

1. 서론

음파가 수중에서 그 전달특성이 우수하여 수중통신, 자원탐사 등에 널리 이용되고 있음은 주지의 사실이다.

어획에 이용되고 있는 어군탐지기도 그 일례인데, 효과적인 어획을 위해 주파수를 선택한다든가 혹은 정량적인 어군의 밀도추정을 위하여 Target strength(TS)에 관한 연구가 1970년대부터 본격화되고 있다.

주로 개별어체에 대하여 어체의 크기별, 주파수 변화에 대하여 연구된 이들 보고서에는 Mc Cartney and Stubbs<sup>1)</sup>, Nakken and Olsen<sup>2)</sup> 그리고 Love<sup>3)</sup> 등에 의해 어체의 길이 대 음파의 파장비(L/λ)에 관한 관측자료를 실험식화한 내용들이 포함되어 있는 것 외에도 Mc Carthey and Stubbs의 보고 내용에는 4~20kHz 주파수 범위 내에서는 어류의 부레가 주요 후방 산란 단면적(back scattering cross section)이 됨을 지적하고 있다. 또한 Dahl and Mathisen<sup>4)</sup>에 의하면 420 kHz와 같은 고주파 영역에선 어체의 TS값이 120 kHz에서보다 약 5dB정도 높으며, 이는 어체의 비늘, 지느러미 줄기, 그리고 등뼈 등이 새로운 산란원이 되기 때문이라고 보고하고 있다.

한편 어군의 정량적 밀도 추정에 관한 연구는 Peterson et al<sup>5)</sup>과 Clay and Medwin<sup>6)</sup> 등이 다중어체에 의한 총 후방산란 단면적( $\sigma_{bs}$ )이 개별어체의 산란 단면적( $\sigma_{i,bs}$ )을 random phase로 합한

것과 같다는 가정하에서 (1)식과 같이 두고 통제적으로 처리하여 산출하고 있다.

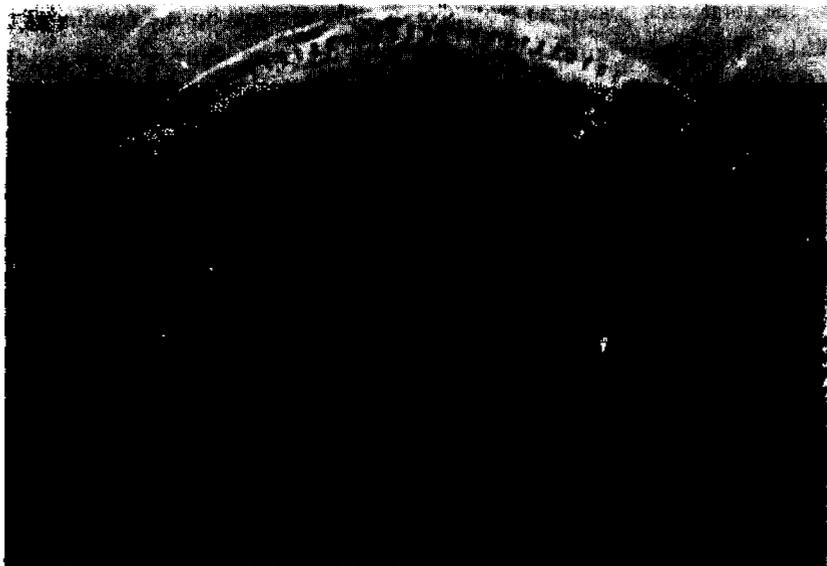
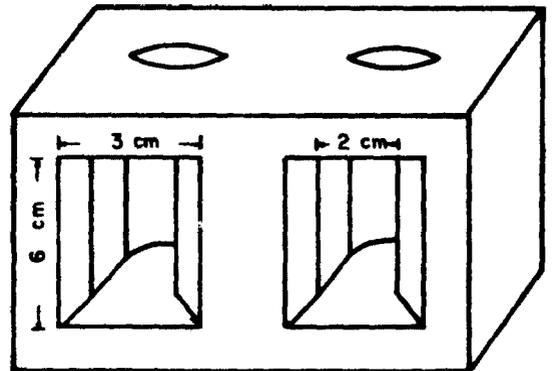
$$\sigma_{bs} = \sum_{i=1}^n \sigma_{i,bs} \dots\dots\dots (1)$$

그러나 대부분의 TS에 관한 실험자료는 수조 내에서 단일 어체에 관한 것일뿐 다중어체에 관한 연구보고가 없어 어군의 정량적 밀도 추정에 미치는 오차의 한계를 규명할 수가 없었다.

본 논문에서는 어군의 군집 상태가 후방산란 단면적에 미치는 영향을 고찰함으로써 보편적인 것으로 받아들여지고 있는 고주파에서의 random phase sum의 실상을 규명하려 한다.

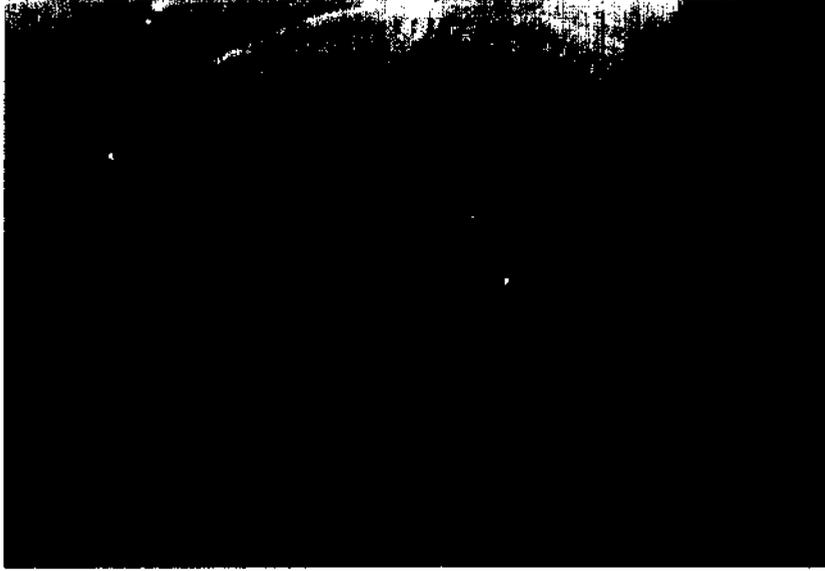
2. 실험방법

길이가 5m, 폭이 4m, 그리고 깊이가 4.7m 인 콘크리트 벽으로 된 수조내에서 실험이 수행되



었는데, projector와 Hydrophone의 방향성이 omni인 관계로 잔향(reverberation)이 증가되어 후방산란된 신호음이 약한 경우 잔향에 묻혀 버렸

다. 잔향을 줄이기 위한 방편으로 스킨로폴로서 제작된 안테나를 이용하여 지향성을 줌으로써 잔향의 준위(level)를 줄였다.



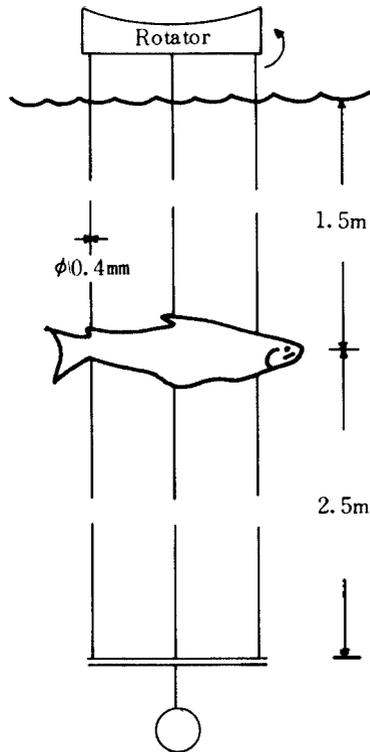
(그림 1) 안테나의 구조와 송수파기의 Beam pattern 송신 빔 폭은 약 35°, 수신 빔 폭은 약 40°이다.

실험에 사용된 어종은 송어로 길이가 약 34cm, 머리부분의 폭이 약 5cm되며, 수조 외부에 설치된 통에 넣어 보호하고 있다가 실험할 때는 마취시켰다. 마취된 송어를(그림 2)와 같은 고정장치에 수심 1.5m 그리고 송수파기와의 거리를 3m 간격으로 유지시켜 후방산란된 신호음을 level recorder에 기록했다. 이때 사용된 주파수는 100kHz에, 그리고 펄스폭은 0.3m/sec로 고정된 상태였으며, TS값의 산출은 아래식과 같이 기준구(직경이 57.2mm인 쇠구)를 이용해서 구했다.

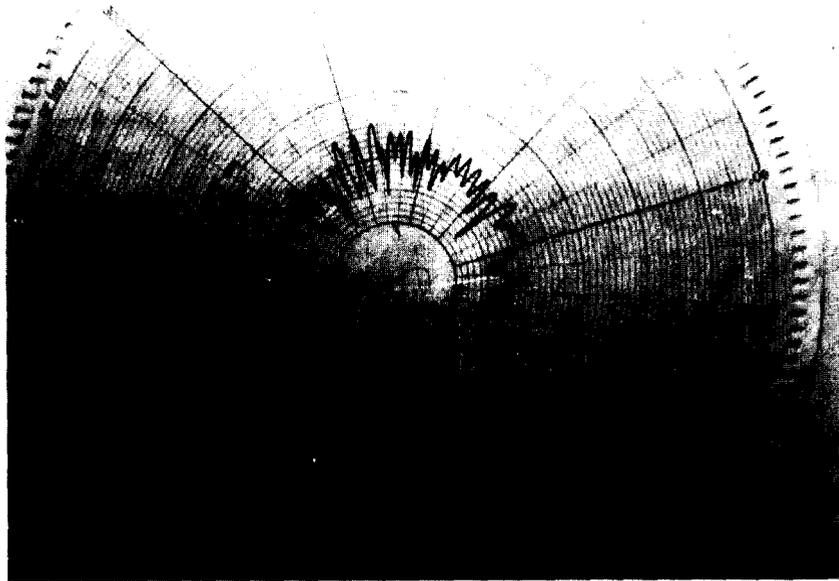
$$TS_{fish} = 20 \log(V_{fish}/V_{ref}) + TS_{ref} \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서  $TS_{fish}$  : 어체의 TS
- $TS_{ref}$  : 기준구의 TS
- $V_{fish}$  : 어체로부터 수신된 전압
- $V_{ref}$  : 기준구로부터 수신된 전압

어체의 TS를 관측하기 전에 고정장치로부터의 후방산란에 의한 간섭효과를 알아보기 위하여 고정장치만의 TS를 관측했는데 그 결과는(그림 3)과 같다.



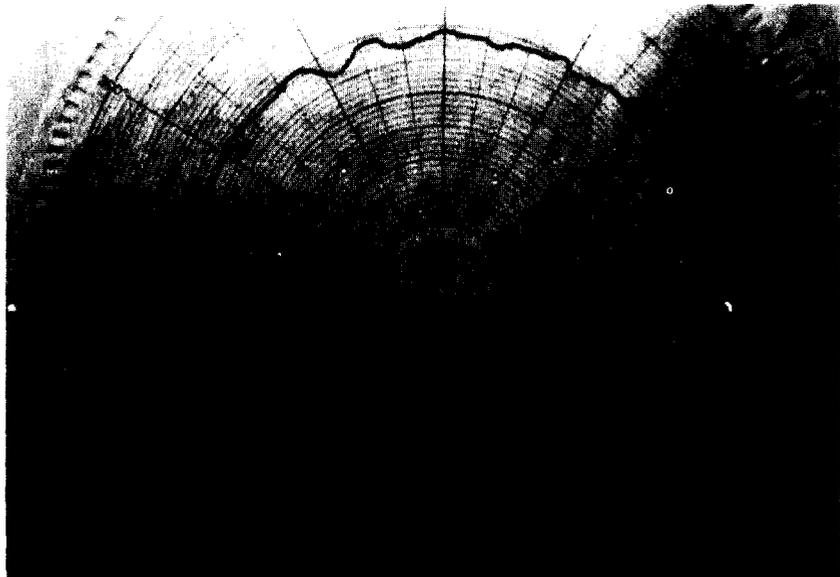
(그림 2) 어체 고정장치 및 회전장치



(그림 3) 어체 고정장치의 Target strength. 화살표시(→)는  $-35\text{dB}$ 를 가르킨다.

세가닥의 줄이 동시에 송수파기와 마주 대하게 되는 위치에서는(어체를 매달았을 때는 어체의 side aspect가 된다.) 평균  $-54\text{dB}$ 의 값을 가지며, 세가닥이 겹쳐질 때에는 이보다 더 낮은 평균  $-60\text{dB}$  정도로 나타나고 있어 거의 Noise와 구별하기 힘들 정도였다. 따라서 고정장치로부터의 간섭효과는 거의 무시할 수 있을 것으로 보

이는데 이의 객관적 증명과 함께 기준구에서 반사되는 신호음의 수신전압  $V_{ref}$ 를 관측하기 위하여 기준구를 어체의 위치에 고정시켜 관측하였다.  $1\text{m}$  전방에서 기준구의 평면파에 대한 Target strength는 이본치가  $-36.9\text{dB}$ 인데 비해 실업시의 평균값은  $-36\text{dB}$ ( $10^\circ$  간격으로 36개자료 값 평균)로 나타나 고정장치로부터의 간섭효과



(그림 4) 기준구(직경  $57.2\text{mm}$ )의  $T.S_{ref}$  화살표시(→)는  $-35\text{dB}$ 를 가르킨다.

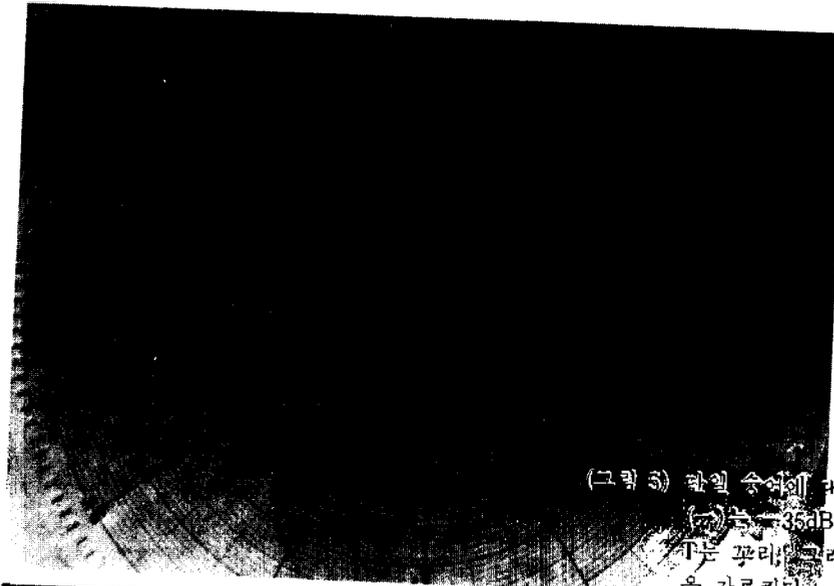
를 무시할 수 있음이 명백해졌다.  $TS_{fish}$ 의 보정을 위하여  $TS_{ref}$ 가  $-36.9\text{dB}$ 가 되도록 level recorder의 전압 scale을 조정했다.

어군에 대한 후방산란 단면적의 변화를 고찰하기 위하여 같은 크기의 송어를 두마리와 세마리를 차례로 매달아 관측했는데, 송어의 배치는 머리와 꼬리부분의 방향이 나란히 송수파기를 향하도록 두었으며, 어체가 회전하여 측면이 될 때는 서로 겹쳐져 한마리의 측면만 보이도록 두었다.

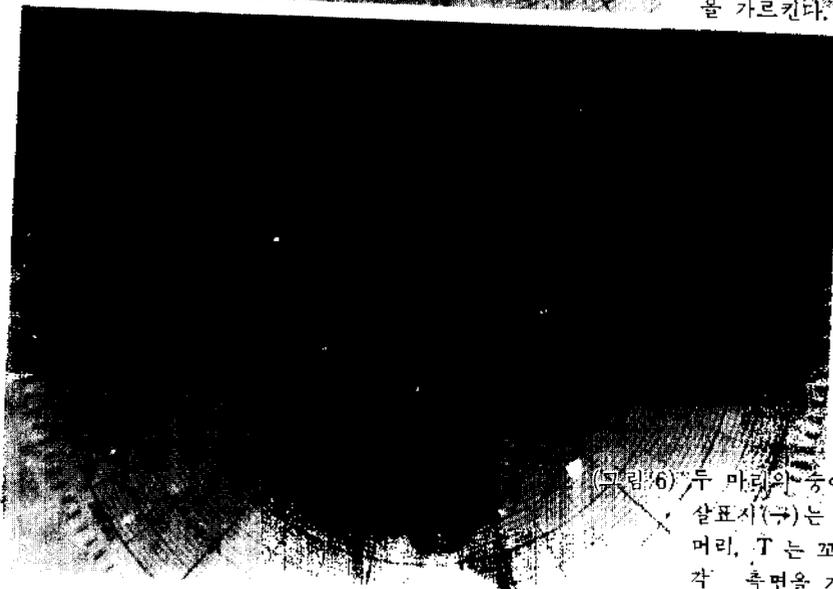
### 3. 결 과

단일어체 ( $L/\lambda=23$ , 여기서  $L$ : 송어의 길이 (34cm),  $\lambda$ : 음파의 파장)에 대한 실험 결과는 (그림 5) 측면에서의 평균값이  $-36\text{dB}$ (최대값에서  $10^\circ$  범위의 값을 평균), 머리 부분에서는  $-48\text{dB}$ , 그리고 꼬리에서  $-51\text{dB}$ 로 나타나 앞서 보고되어졌던 연구결과들의 범주 내에서 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.

두마리의 송어를 8cm 간격으로 나란히 두고 관측했을 때 측면에서의 최대치는 약  $-30\text{dB}$ 로



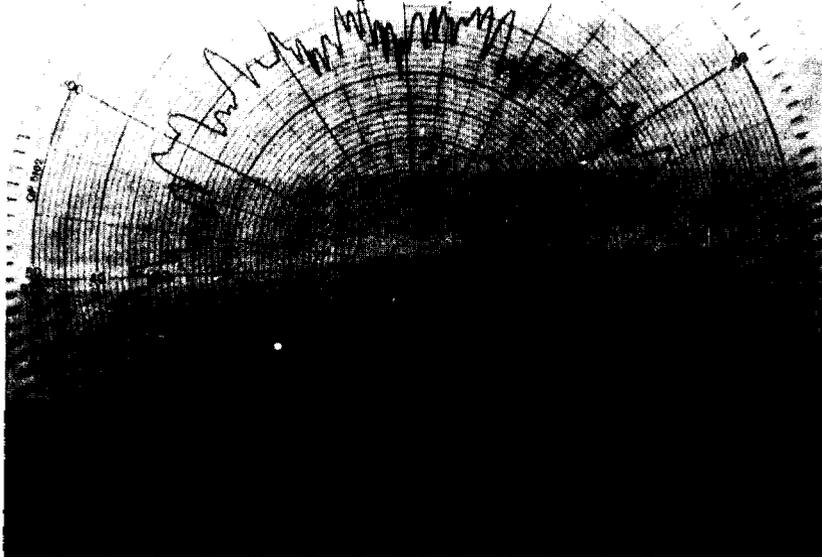
(그림 5) 단일 송어에 대한 T.S. 패턴. 화살표시 (→)는  $-35\text{dB}$ 를 가르키며, H는 머리, T는 꼬리, 그리고 R과 L은 각각 측면을 가르킨다.



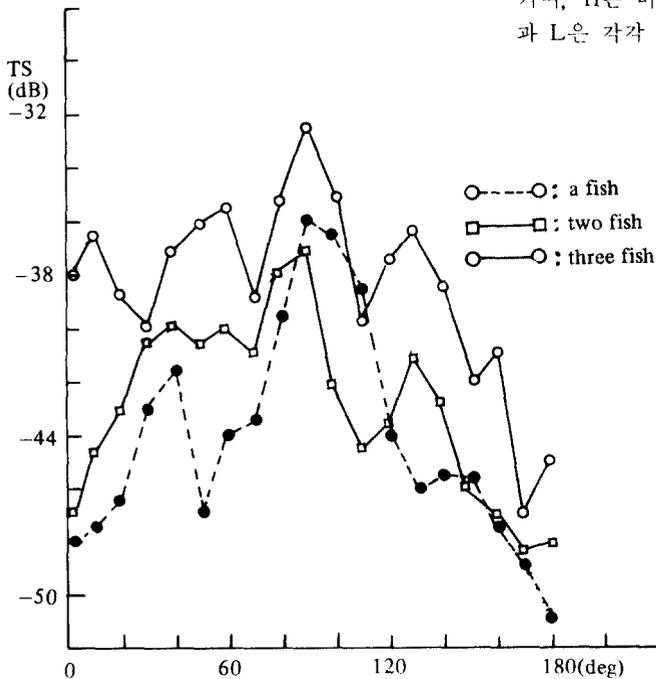
(그림 6) 두 마리의 송어에 대한 T.S. 패턴. 화살표시(→)는  $-35\text{dB}$ 를 가르키며, H는 머리, T는 꼬리, 그리고 R과 L은 각각 측면을 가르킨다.

단일일 때와 동일한데 비해 머리와 꼬리부분을 비롯한 전 방향에서 다소 증가하고 있다. (그림 6). 이 자료들을 각 방향에서 10° 간격으로 평균을 취하면 측면에서는 -37dB로 1dB 감소된 반면 머리 부위에서는 약 -47dB, 그리고 꼬리부위에서 -48dB로 1dB와 3dB씩 증가하고 있다.

새마리를 역시 같은 간격으로 두고 관측했을 때도 측면에서의 최대값은 약 -30dB로 나타났으며, 이것은 회절에 의한 후방산란 에너지가 미약한 때문으로 풀이된다. 각 방향에서의 값은 단일일 때와 두마리일 때에 비해 전체적으로 현저하게 증가하고 있다. (그림 7)



(그림 7) 새 마리 송어(8cm 간격)에 대한 T.S. 패턴. 화살표시(→)는 -35dB를 가르키며, H는 머리, T는 꼬리, 그리고 R과 L은 각각 측면을 가르킨다.



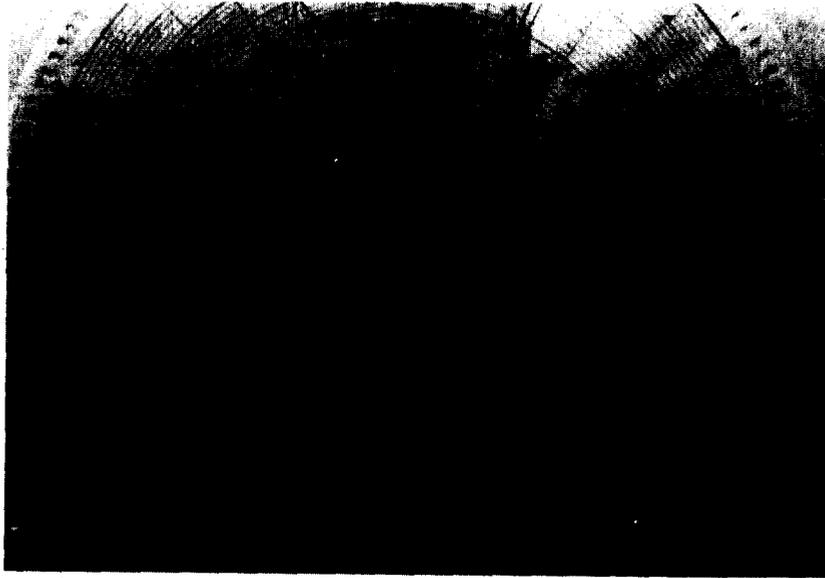
(그림 8) 어체수 증가에 따르는 T.S. 값의 변화(10° 이내의 값을 평균 취했다)

이들의 평균값은 측면에서 최대치 주변 방향에서의 TS값 증가로  $-32\text{dB}$ , 머리부위에 서는  $-38\text{dB}$ 로 단일에 비해  $10\text{dB}$ 가 증가되었고 꼬리부위에서는  $-45\text{dB}$ 로  $6\text{dB}$  증가하고 있다. 이들 각각의 실험자료들을  $10^\circ$ 간격으로 평균을 취해 전 방향에 대한 값을 (그림 8)에 나타내었다.

마리수가 증가함에 따라 임의의 산란각에서의

후방산란 단면적 변화는 (1)식에서와 같이 일률적으로 random phase로 합해지는 것이 아니라 in phase나 out phase sum 사이에서 변화함을 보여주고 있으며, 최대변화는 in phase일 때 나타나고 있다.

일반적으로 in phase sum일 때의 총후방 산란 단면적은 (3)식과 같이 주어지는데,



(그림 9) 5cm 간격으로 두었을 때의 T.S. 화살 표시( $\rightarrow$ )는  $-35\text{dB}$ 를 가르킨다.



(그림10) 6.5cm 간격으로 두었을 때의 T.S. 화살표시( $\rightarrow$ )는  $-35\text{dB}$ 를 가르킨다.

$$(\sigma_{\text{bs}})_{\text{IP}} = \left[ \sum_{i=1}^N (\sigma_{i\text{bs}})^{1/2} \right]^2 \dots\dots\dots (3)$$

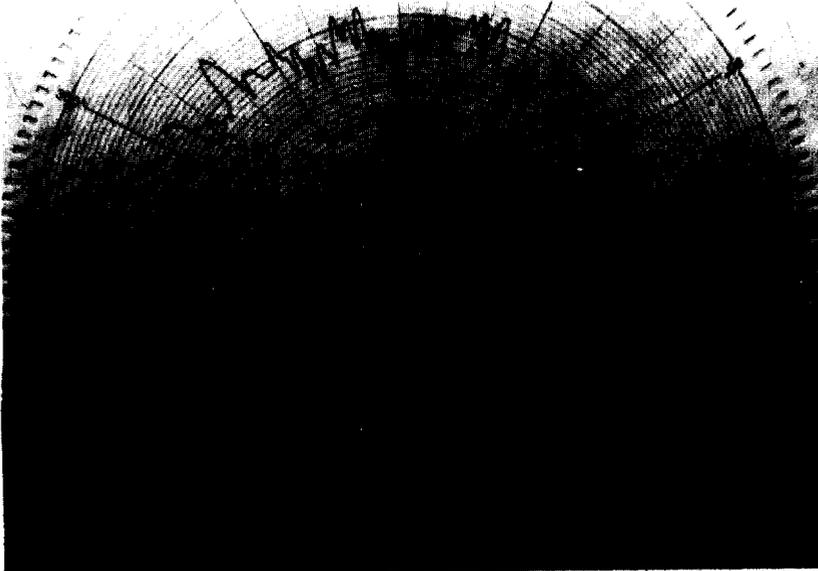
여기서  $(\sigma_{\text{bs}})_{\text{IP}}$  : in phase sum된 후방 산란 단면적.

$(\sigma_{i\text{bs}})$  : 단일어체의 후방 산란 단면적.

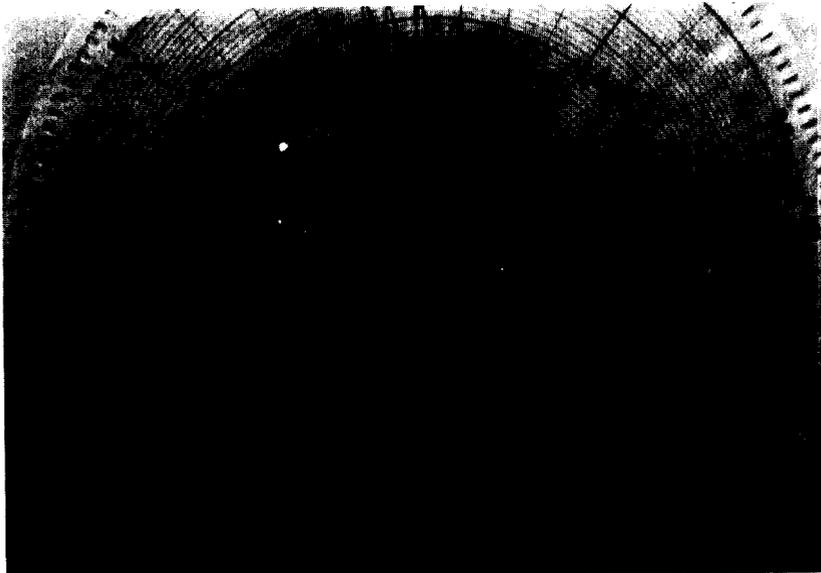
2 마리일 때 6dB, 그리고 3 마리일 때는 9.5

dB만큼 단일에 비해 더 증가하므로 어군의 이동 방향이 모두 나란하다고 가정할 때 산란각에 따라서는 실제 어군 밀도에 비해 random phase sum에 의한 추정 밀도가 최고 2배쯤만큼 많아질 수도 있게 된다.

그러나 전방향에 대한 평균은 2마리일 때 1.3 dB, 그리고 3마리일 때 5.8dB로 나타나 random



(그림12) 10cm 간격으로 두었을 때의 T. S. 화살표시(→)는 -35dB를 가르킨다.

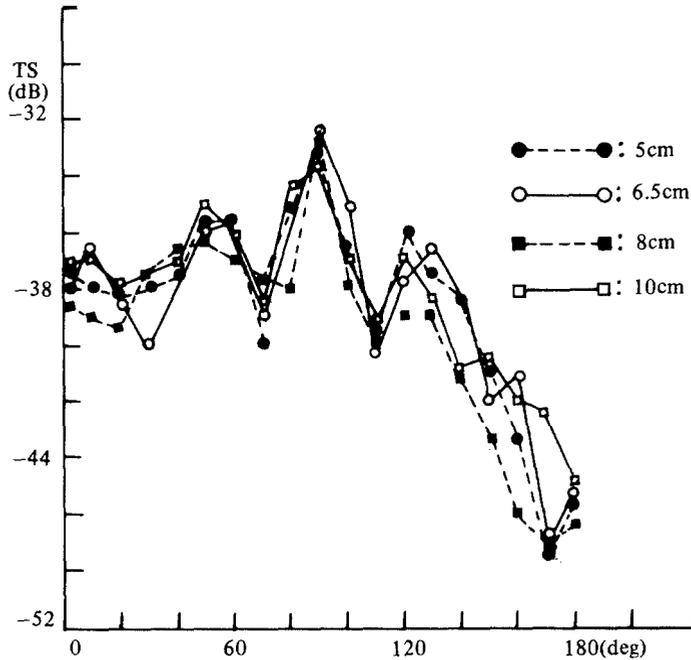


(그림11) 8cm 간격으로 두었을 때의 T. S. 화살표시(→)는 -35dB를 가르킨다.

phase sum에 의한 3dB와 4.8dB에 비해 각기 -1.7dB와 +1dB의 편차를 보이고 있다.

한편 어체수 증가에 따르는 TS값의 변화가 어체간의 간격 변화에 어떤 영향을 미치는지 관찰해 보기 위하여 3마리의 중어를 5cm, 6.5cm, 8cm, 10cm 간격으로 각각 가변시켜 차례대로 실험했다. (그림 9, 10, 11, 12)

전체적인 TS패턴이 대체로 유사한 형태를 갖는데 이들 자료를 역시 10°간격으로 평균을 취해 그래프를 그려보면(그림 13)과 같다. 머리부위의 평균값이 -37.5dB, 측면에서는 -33dB, 그리고 꼬리부위는 -45dB로 어체간의 간격변화가 어체수의 증가에 비해 월등히 적은 변화를 보임을 알 수 있다.



(그림13) 어체수 간격 변화에 대한 T.S.

#### 4. 결 론

어체의 길이 대 음파의 파장비 ( $L/\lambda$ )가 23일때 어체수의 증가에 따르는 후방산란 단면적의 증가는 산란각에 따라 in phase와 out phase sum사이에서 변화함을 보였다. 이들의 평균은 random phase sum에서 2마리일 때 -1.7dB, 3마리일 때 +1dB의 편차를 보임으로써 어군의 밀도 추정시 Clay and Medwin, 그리고 Peterson et al 등이 가정한 random phase sum에 의한 총후방산란 단면적의 산출이 타당한 것으로 보인다. 그러나 추정 밀도의 최대 오차범위는 in phase sum일 때로서 실제의 밀도  $n$ 에 비해  $n^2$ 의 값을 가질 수 있음을 실험결과는 보여주고 있다.

한편 어체간의 간격변화에 의한 TS값의 변화

는 마리수 증가에 의한 변화에 비해 무시할 수 있을 정도로 적은 변화를 보였다. 따라서 소나의 빔폭 (beam width) 변화와 동일한 빔폭 내에서의 어군의 분포상태에는 상관없이 빔폭 내에 있는 어군의 마리수가 TS값에 미치는 가장 큰 요인이 된다.

#### 參 考 文 獻

1. B.S. McCartney and A.R. Stubbs, "Measurements of the acoustic target strengths of fish in dorsal aspect, including swim bladder resonance" J. Sound Vib. 15(3), 1971.

2. O. NaBBen and K. Olsen, "Target strength measurements of fish" *Rapp. p.-v. Reun., Cons. int. Explor. Mer.* 170, 52-69, 1977.
3. R.H. Love, "Target strength of individual fish at any aspect" *J. Acoust. Soc. Am.* 62, 1397-1403, 1977.
4. P.H. Dahl and O.A. Mathisen "Measurement of fish Target strength and associated directivity at high frequencies" *J. Acoust. Soc. Am.* 73(4), 1983.
5. M.L. Peterson, C.S. Clay, and S.B. Brandt "Acoustic estimates of fish density and scattering function" *J. Acoust. Soc. Am.* 60, 618-622, 1976.
6. C.S. Clay and H. Medwin, *Acoustical oceanography: principles and Applications* (Wiley, New York, 1977).