

## 어군 Echo의 특성추출에 의한 어종식별에 관한 연구

강명희

SonarData Pty Ltd  
([kang@sonardata.com](mailto:kang@sonardata.com))

### 서론

현재까지 어종식별에 이용되어진 방법으로는 크게 4가지로 나눌수 있다. 1) 주파수특성법: 광대역 혹은 복수주파수에 의한 어군의 음향산란의 주파수특성의 차이를 이용하는 방법(Madureira *et al.*, 1993; Simmonds *et al.*, 1996), 2) 분포특징법: 어군형태와 분포특성에 근거한 방법 (LeFeuvre *et al.*, 2000), 3) 신호특징법: 어군에코의 포락선등의 신호의 특징에 근거한 방법(Rose and Leggett, 1988; Scalabrin *et al.*, 1996) , 4) 음향결과법: SV, TS, 에코트레스해석에 의한 유영속도 등 과학어탐에 의해서 얻어진 정보를 이용한 방법이 있다 (Richards *et al.*, 1991). 지금까지의 방법은 식별추정정도는 높지만, 해역 및 시기를 제한하여서, 넓은 시공간 범위에 적용할 수 있는 방법은 아직 없다. 음향에 의한 어종식별을 행하기 위해서 절대적인 방법은 없지만, 개별정보추출의 방법을 고도화하는 것(질을 높이는 것), 고정도의 정보의 양과 종류를 늘이는 것이 어종추정 의 고도화에 연결될 것으로 사료된다.

본 연구에 있어서 생물종의 식별을 위해 널리 이용되고 있지만, 아직까지 충분한 검토가 되지 않은 체적산란주파수차를 이용한 방법 (체적산란주파수법,  $\Delta MVBS$ 법, dB차법)을 고도화하여 보다 실용성을 높이므로, 식별정보의 질을 향상시킨다. 그리고, 고도화된 $\Delta MVBS$ 법과 어군의 형태와 분포심도의 특징을 이용한 분포 특징법을 이용하여, 연령별 어군식별을 시도한다. 마지막으로 어군의 분포를 가정 한 어군에코의 포락선을 시뮬레이션하여, 시뮬레이션결과와 실제 것과 비교하여 어군의 내부구조를 조사하는 포락선해석법을 개발한다.

### I. 체적산란주파수차법( $\Delta MVBS$ 법)에 의한 생물종의 식별

#### 음향조사

1997년 4월 15일~25일, 북해도 북태평양에서 常磐(Jhoban)연안에 있어서, 일본 수산청 동북구 수산연구소 조사선 “若鷹丸(Wakataka-maru)”를 이용하여 음향조사를 실시했다. 에코그램에서 크릴(*Euphasia pacifica*)로 판단되는 에코가 나타난 3지점에서 중층트롤을 행하여 약 2, 3, 10kg 크릴을 어획했다. 크릴표본의 평균체장은 19m였다. 사용한 과학어탐은 Kaijo사의 KFC-2000으로, 주파수는

38kHz와 120kHz를 사용했다. 적분주기는 0.1nmi, 적분층폭은 1m의 작은 셀에서의 2주파수의 평균체적산란강도 데이터를 수집하였다.

### 탐지범위

ΔMVBS법은 생물의 산란주파수특성을 이용한다. 그러나 과학어탐에서 얻어지는 에코는 생물의 산란주파수특성 뿐만 아니라, 송수파계, 선박 등의 잡음, 음파전반에 관한 주파수특성을 포함하고 있다. 대상생물의 산란주파수차만을 순수하게 비교하기 위해서는 생물이외의 주파수특성을 제외할 필요가 있다. 복수주파수에 공통의 탐지범위를 구하여 생물의 주파수특성만을 비교할 필요가 있다. 탐지범위를 구하기 위해서 SN비를 이용할 수 있으며(Furusawa *et al.*, 1999), 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_N = \frac{4\pi^3 \rho \eta W \exp \left\{ -2 \left( \frac{\pi a f \theta}{c} \right)^2 \right\} a^4 f^{5.8} 10^{-0.2\alpha r} T_S}{c^3 r^4 N_{P_0}^2 \Delta f} \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 해수밀도,  $\eta$ 는 전기음압효율계수,  $W$ 는 전기출력,  $a$ 는 송수파기 반경,  $f$ 는 주파수,  $\theta$ 는 지향성주축으로부터 측정된 각도,  $\alpha$ 은 흡수계수,  $r$ 은 송수파기부터 대상산란체까지 거리,  $T_S$ 는 단체어 뿐만 아니라 어군의 산란반사 강도이고,  $c$ 는 음속,  $N_{P_0}$ 은 1Hz의 잡음스펙트럼레벨,  $\Delta f$ 는 수신계의 대역폭이다. 본 연구에서는 SN비를 10dB로 하여,  $r$ 과  $\theta$ 를 한쌍으로 해서 탐지범위의 윤곽을 구한다. 식(1)에 대한 상세한 내용은 Kang (2002)을 참조할 수 있다.

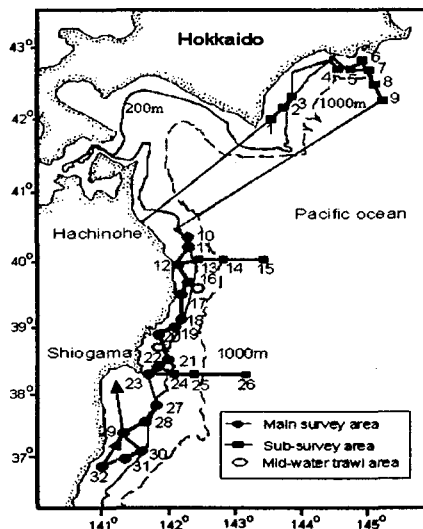


Figure 1. Survey transect lines with mid-water trawl locations (open hexagon) from off the Pacific coast of Hokkaido to off the coast of Jhoban surveyed by RV “Wakatakamaru”, 15-25 April 1997. The numbers correspond to survey stations.

### 2주파수의 평균체적산란강도의 차 (ΔMVBS)

2주파에 있어서 공통의 탐지범위 내에서 평균체적산란강도(MVBS, 평균 $S_v$ )를 구하여, 2주파수의 평균체적산란강도의 차( $\Delta$ MVBS)를 구할 수 있다.

$$\langle S_v \rangle = \langle n \rangle \langle T_s(f) \rangle \quad (2)$$

$\langle S_v \rangle$ 은 에코적분의 결과인 평균 $S_v$ 의 선형 치이다. 여기서  $\langle n \rangle$ 과  $\langle T_s(f) \rangle$ 은 적분셀 내의 평균미수, 평균 $T_s$ 를 의미한다. 2주파수에서 $S_v$ 의 비를 취하면, 공통의  $\langle n \rangle$ 은 없어지고, 주파수에 의존하는 $T_s$ 비만 남는다. 비는 대수표시로 차가 되어서, 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta \text{MVBS} = \text{MVBS} (120\text{kHz}) - \text{MVBS} (38 \text{ kHz}) \quad (3)$$

$$= \text{TS}(120\text{kHz}) - \text{TS} (38 \text{ kHz}) \quad (4)$$

### 생물종의 식별

해양에 다양한 생물이 분포하기 때문에 어군의 크기, 즉 산란체의 반사강도, TS를 추정하기가 어렵다. 따라서, TS의 범위를  $-50 \sim -20\text{dB}$ 로 크게 해서 2주파수의 공통탐지범위를 구했다. 본 조사선과 어탐의 파라미터(Kang *et al.*, 2002 참조), 위의 TS를 사용하여 구한 38와 120kHz의 탐지범위는 Figure 2와 같다. 일반적으로 TS가 작을수록, 두주파수의 탐지범위는 작게 되고, 주파수간의 차도 작게 된다. 최저TS치,  $-80\text{dB}$ 의 경우, 두주파수가 150m 수심까지 공통 탐지 범위임을 알 수 있으며, 이 범위에서 해양생물의 음파산란 주파수특성만이 정확하게 비교할 수 있다.

조사정점 6, 19, 30에 있어서 수온의 프로파일은 Figure 3과 같다.

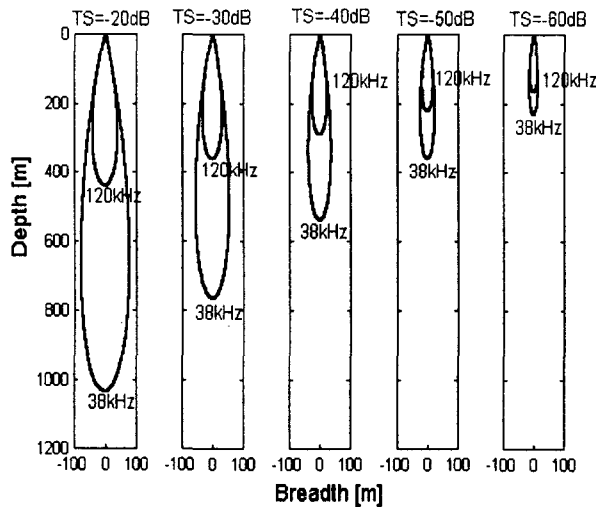


Figure 2. Detection ranges of quantitative echo sounder, Kaijo KFC-2000, for varying TS values between  $-60$  and  $-20$  dB at 38 and 120kHz.

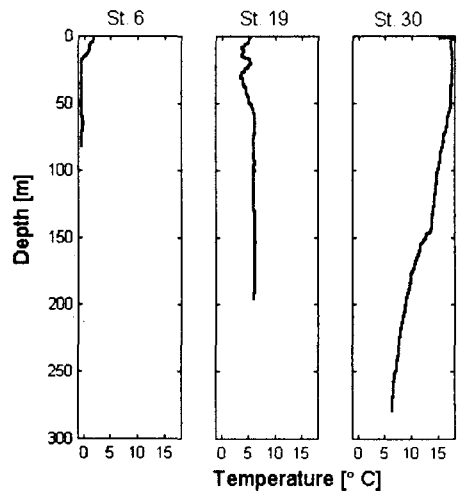


Figure 3. Profiles of the water temperature at survey stations 6, 19, and 30.

조사정점 10~13에서 작은 적분셀에서 구해진 38과 20kHz의 MVBS에코그램과  $\Delta$ MVBS에코그램은 Figure 4와 같다. Figure 4(c)에서의 흰 점선은 2주파수의 공통

탐지 범위인 150m를 나타낸 것으로, 탐지범위 내에서 해양생물의 산란 주파수 특성만의  $\Delta MVBS$ 를 이용할 수 있다.

Figure 5는 4조사정점의  $\Delta MVBS$ 에코그램이다. Figure 5(a)에서 문자 W가 있는 부근에  $-1 \sim 4\text{dB}$ 의  $\Delta MVBS$ 를 가지는 에코가 해저에 가깝게 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 1996년 조사정점과 가까운 연안, 三陸(Sanriku)에서 어획된 명태체장 17cm와 해양생물 광대역 산란특성 (Furusawa, 1991)을 사용하여 계산한 38과 120kHz의 TS차는  $-2\text{dB}$ 였다. 이 값은 본 연구에서 얻어진  $\Delta MVBS$ 와 유사하다. 또한 이 조사정점의 수온은 약  $0^\circ\text{C}$ 였다(Figure 3). 명태는 수온  $-1 \sim 10^\circ\text{C}$ 의 해저에 가깝게 분포한다고 알려져 있다(安部他, 1999). 이상의 주파수특성, 수온, 분포심도에 의해서 이 에코는 명태임을 알 수 있다. Figure 5(b)에서 문자E의  $\Delta MVBS$ 는 10dB이상의 높은 에코로 해저부근과 중층에 많이 관찰되며, 광범위하게 분리되어 분포하고 있다. 트롤표본의 평균체장 19mm의 크릴로 계산한 2주파수의 TS차는 15dB였다. 이 해역에서 수온은  $8^\circ\text{C}$ 였다. 크릴은 일본 북쪽해역에 있어서 일반적으로  $2.5 \sim 11^\circ\text{C}$ 의 수온, 특히  $6 \sim 9^\circ\text{C}$ 의 중층에서 분포한다고 알려져 있다(Nicol and Endo, 1998). 위의 정보에 의해 이 에코는 크릴의 가능성이 높다.

## II. 명태어군에코의 연령별특징

생물종식별을 위한 최적 적분셀의 크기를 검토하여 고도화시킨  $\Delta MVBS$ 법에 적용하고, 이 방법과 분포특성법을 병행하여 명태어중에 대한 연령별 식별을 시도한다.

### 명태음향조사와 트롤조사

음향조사는 일본수산청이 해양수산자원개발센터에 위탁하여 2000년 6월 16일~7월 12일, 북해도 태평양연안에서 행했다. 조사선은 일본해양(주) 소속의 第三開洋丸(Daisankaiyo-maru), 과학어탐은 EK500 (Simrad사, 38와 120kHz)를 사용했다.

Figure 6과 같이, 조사정선수는 襟裳岬(Erimo)의 동쪽해역에 19, 서쪽해역에 10이며, 정선사이의 약 8마일 간격이며, 선속은 8kt였다. 33회 비교적 많은 트롤조업을 행했기 때문에, 음향해석결과의 대응관계를 살피는데 유리하다. 트롤조업에 의한 표본은 육상에서 이석으로 연령사정을 행하여 각 트롤정점에 있어서 정확한 연령별 명태 비율을 얻었다.

### 연령별 출현율

Figure 7 은 각 트롤 정점에 있어서 명태어군의 연령별 출현율(총표본중에서 연령별 마리수의 비율)를 표시했다. 0세어군은 거의 이 연령만으로 구성되어 있고, 1세어군은 53%~99%의 비율, 2세어군부터는 연령이 높을수록 다른 연령어군과 혼재하여 분포하는 것을 알 수 있다. 2세와 5세어군은 각각 50% 이상 점하는 트롤정점에 대해서만 데이터를 이용했다.

### 탐지범위

이전 연구에서는 복수주파수에 의한 공통탐지범위를 구하기 위해 사용된 잡음스펙트럼레벨  $N_2^2$ 은 실험식에 의해서 이용되었다. 그러나 이번에는 Takao and Furusawa (1995)의 방법을 사용해서 본 조사선과 어탐에 대해서, 주파수별에 잡음을

계측하여 잡음레벨을 정밀하게 구했다. 에코적분기에 의한 잡음측정을 행해 식(5)에 대입해서 그 값을 얻었다.

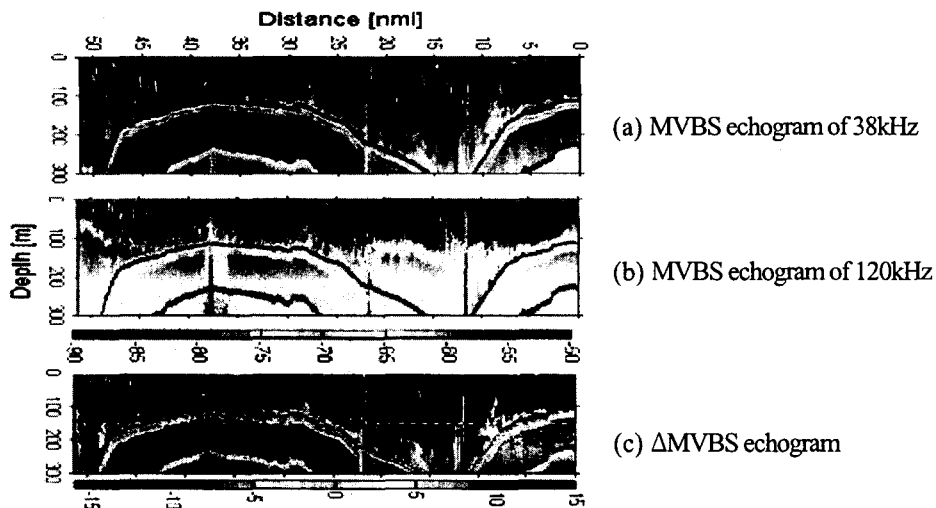


Figure 4. Echograms of the mean volume backscattering strength (MVBS) at 38kHz (a) and 120kHz (b) and of the  $\Delta$ MVBS (c) at survey stations between 10 and 13. The color scales are inserted both for the values of the MVBS and of the  $\Delta$ MVBS. In the echogram of  $\Delta$ MVBS, the redder colors represent stronger scattering at 120kHz, and the bluer colors indicate stronger scattering at 38kHz. The white dotted line in the  $\Delta$ MVBS echogram (c) shows the common detection depth of 150m.

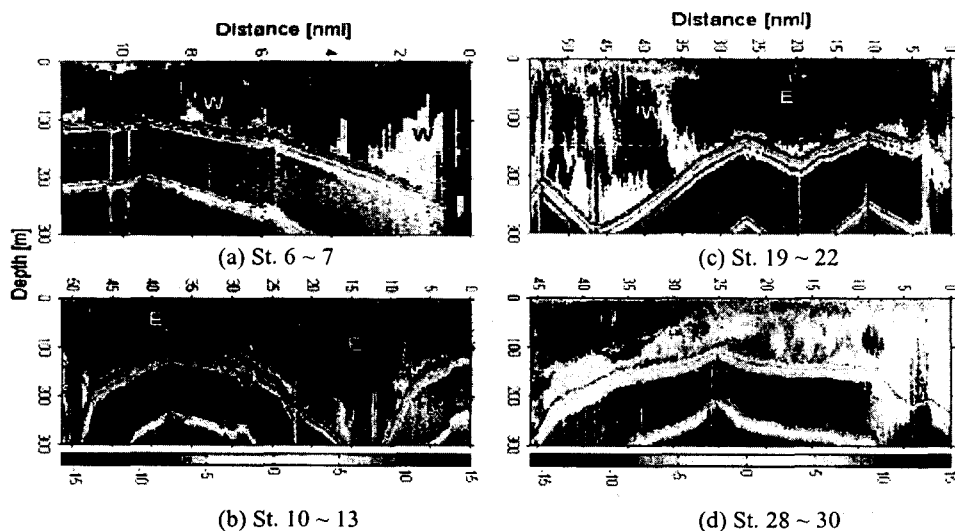


Figure 5.  $\Delta$ MVBS echograms in four areas. White dotted lines show the detection depth of 150m. The echos with an uppercase letter W are attributed to walleye pollock, E to krill. Note that horizontal scales are different for each echogram.

$$N_P^2 = \frac{P_0^2 D_I c \tau \Psi}{2 \Delta f r^2 \exp(4 \alpha r) g} \langle S_V \rangle_N \quad (5)$$

여기서  $P_0$ 는 송파음압,  $D_I$ 는 지향성이득,  $c$ 은 음속,  $\tau$ 은 펄스폭,  $\Psi$ 은 등가지향각,  $\Delta f$ 는 수신계의 대역폭,  $r$ 은 렌지,  $\alpha$ 은 흡수계수,  $g$ 은 적분기에 의한 계수,  $\langle S_V \rangle_N$ 은 잡음 평균  $SV$ 이다.  $TS$ 가  $-50dB$ 으로 가장 작은 경우 (0세의 단체어를 가정)의 38와 120kHz에서 최소 공통 탐지범위를 130m로 구했으며, 이 탐지범위에서만 어군의 크기, 즉,  $TS$ 에 상관없이 산란의 주파수특성을 비교할 수 있다.

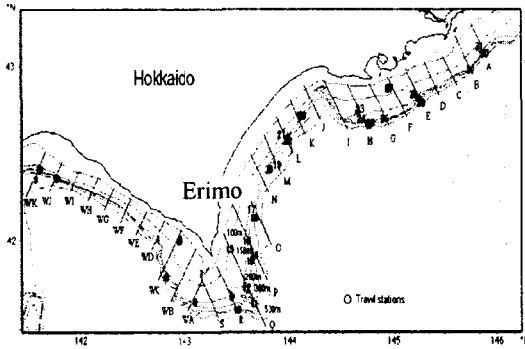


Figure 6. Survey transects with trawling stations off the Pacific of Hokkaido, surveyed by RV “#3 Kaiyo-maru”, from 16 June to 12 July 2000. Numbers in circles are trawling stations. Red circles with bold number show the place of distribution of 0 year walleye pollock, orange of 1 year old, yellow of 2 year old, and blue of 5 year old. Isobath lines of 50, 100, 150, 200, 300, and 500m are also shown.

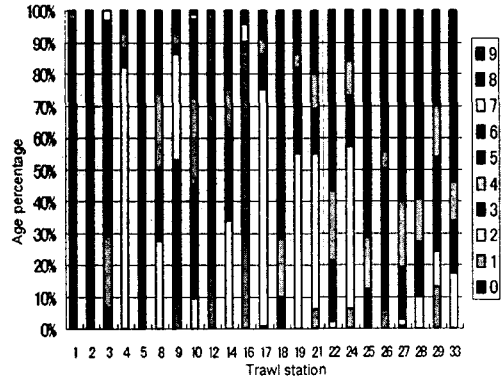


Figure 7. The age percentage of walleye pollock caught at each trawling station. Legend displays the age of walleye pollock as different colors. Data were used where the number of sample is over 100. Number at abscissa are corresponded to those of trawl stations in Fig. 4.1

### 식별을 위한 적절한 셀의 크기

Figure 8은 조사장점 1에서의 0세로 확인된 어군을 대상으로 적분주기(핑수)를 변경하여,  $\Delta MVBS$ 특징을 나타낸다. 1핑은 약 5.2m의 거리에 상당한다. 1핑수의 경우 적분주기가 너무 작아서 충분한 평균이 되지 않아, 어군 내에 변동이 심함을 알 수 있다. 30핑수 이상의 경우는 타종과의 관계와 어군형태가 명확하지 않으므로, 6~20핑수가 적절함을 알 수 있다. 명태어군의 연령식별을 위해 20핑수, 약 120m를 적절한 적분주기로 보고, 이를 사용한다.

### 연령별 어군형태 및 분포의 특징

트롤에 의해서 확인된 연령별 명태어군에코를 Echoview를 이용하여 그 어군의 평균높이, 길이, 중심심도, 해저수심, 해저까지의 거리를 구하여 명태어군의 연령별 형태 및 분포심도의 특징을 조사했다. 그 분포특징의 공통점을 Figure 9에 나타낸다. 0세어군은 타 연령어군과 비교해서 크기가 작으며 연안역에 분포하기 때문에

구별하기 쉽다. 1세어군은 평균높이가 낮고 길이가 매우 길며 분포수심이 깊은 것이 특징이다. 2세와 5세어군은 거의 비슷한 평균높이, 중심심도, 길이를 가지기 때문에 구별하기 어렵다. 그러나 2세어군보다 5세어군이 주야에 의한 평균높이의 변동이 크고, 밤에 해저에 낮게 분포함을 알수 있다.

### 연령별 어군의 $\Delta$ MVBS특징

Figure 10은 연령별 어군의  $\Delta$ MVBS에코그램이다. 0세어군은  $-3 \sim 2$ dB의 좁은  $\Delta$ MVBS범위를 가지며, 주파수차는 거의 볼 수 없다. 1세어군은  $\Delta$ MVBS범위가  $-1 \sim 5$ dB이지만, 대부분이 노란색의  $3 \sim 5$ dB  $\Delta$ MVBS와 밝은 초록색의 주파수차가 거의 없는  $0$ dB에 가까운  $\Delta$ MVBS를 조금 볼 수 있다. 2세어군은 전체적으로  $-3 \sim 8$ dB의 범위를 가지고, 어군 상부에는  $-3$ dB의 녹색 반점이 많고, 해저 가까운 곳에 약  $6$ dB의 주황색 반점을 볼 수 있다. 5세어군은  $0 \sim 10$ dB의  $\Delta$ MVBS를 나타내고 어군중심에서 상부쪽으로  $120$ kHz에 강한 약  $6 \sim 10$ dB의 주황색반점이 많이 관찰된다.

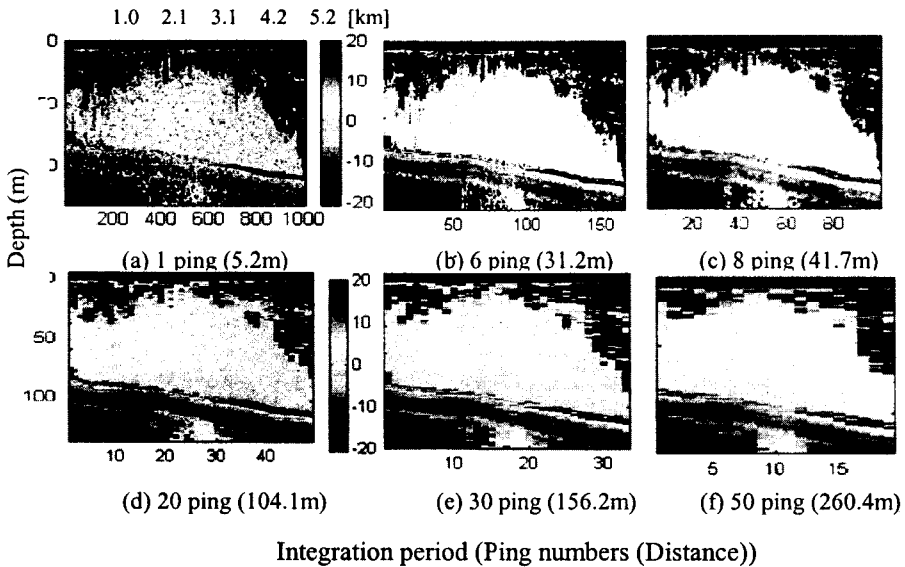


Figure 8.  $\Delta$ MVBS change depending on integration period in order to obtain proper integration period. Data are from 0 year old at station 1.

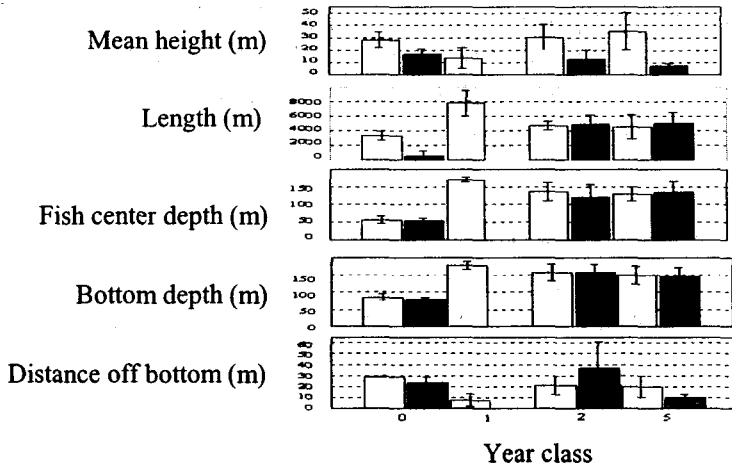


Figure 9. The mean height, length, fish center depth, bottom depth, distance off bottom of walleye pollock school by year class. White bars show fish school descriptors in day, and dark gray bars in night. The letter I show standard deviations.

### III. 어군에코의 포락선해석

어군분포형이 어군에코에 반영하기 때문에(Rose and Leggett, 1988; Scalabrin *et al.*, 1996), 그 에코의 포락선은 어종식별과 어군행동에 관한 유용한 정보를 포함한다고 사료된다. 실제의 어군분포에 가까운 에코를 시뮬레이션하여, 그 결과인 스택트럼을 실제에코의 스택트럼과 비교하여 어종식별을 위한 어군분포특징을 추출하고자 한다.

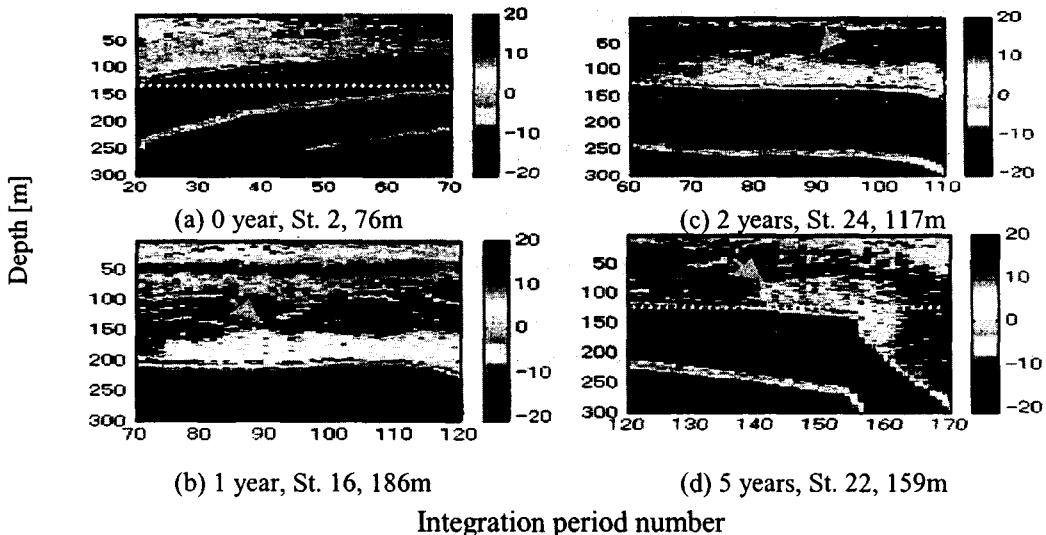


Figure 10.  $\Delta$ MVBS echogram for each age of walleye pollock. Age of walleye pollock, number of trawling station, and depth of trawling are shown under figures. Color scale corresponds to the  $\Delta$ MVBS in dB. The pink arrows point the target school. One integration period is corresponded to approximately 120m. The detection range of 130m of water depth should be considered in reading echograms.



### 어군에코포락선의 시뮬레이션

본 시뮬레이션에서 캐리어를 포함한 단체어코를 발생시켜, 그것을 심도방향으로 합성하여 어군에코파형을 얻는다. 에코처리는 과학어탐에 있어서 20log<sub>r</sub> TVG와 군체에코계수처리를 한 수신에코진폭으로 식(6)과 같이 계산할 수 있다(Furusawa, 1991).

$$E = \left( \frac{c\tau}{2} \Psi \right)^{-\frac{1}{2}} r^{-1} D^2(\theta) \sqrt{T_s} \quad (6)$$

c는 음속, τ는 펄스폭, r은 물고기와 송수파기까지의거리, Ψ은 등가지향각, D(θ)은 지향성 함수, TS는 아래의 식으로 계산된다. TS<sub>cm</sub>는 -66dB를 이용한다.

$$TS = 20\log L + TS_{cm} \quad (7)$$

38kHz 캐리아주파수를 가지는 최대치 1의 에코파형을 만들고, 760kHz의 샘플주파수를 발생시켜 단체어코의 요소라고 한다. 단체어 에코는 식 (6)에 구한 에코진폭과 이 요소를 곱하여 얻는다. 어군에코는 각각의 단체어에코의 심도에 대응하는 시간으로 환산해서 단체어코를 캐리아별로 더하는 것으로 얻는다. 에코포락선은 RMS (root mean square)처리를 행하여 얻는다.

자연상태에 있어서 어군중에 단체어는 이웃해 있는 물고기와의 어떤 거리를 유지하면서 유명하고 있다고 알려져 있다 (Feuillade *et al.*, 1996). 따라서 어군 분포는 이웃하는 물고기와의 거리에 의해서 결정될수있다. Figure 12는 이웃하는 물고기와의 거리(d<sub>x</sub>, d<sub>y</sub>, d<sub>z</sub>)에서 단체어의 위치를 각각 결정하여, 어군을 분포시키는 방법을 표시한다. 어군전체의 크기를 정하여서 각각의 방향에 대해서 d를 결정하여 이웃하는 물고기와의 거리를 변화시키므로 어군의 내부구조를 가정할 수 있다.

### 어군에코의 포락선해석

Figure 13은 12평을 이용한 경우로 실제 어군(0세 명태어군)과 시뮬레이션의 포락선, 스펙트로그램을 나타낸다. 시뮬레이션은 실제보다 전체적으로 레벨이 낮지만, 그 패턴은 비슷하며, 150Hz 이후로 청색이 관찰된다.

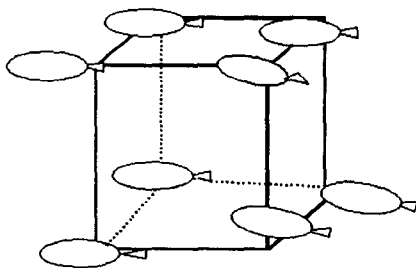


Figure 12. A basic fish school unit. A unit is a rectangular parallelepiped with a fish at each corner. The density of school is determined by the distance d between closest neighbors placed at the corners. Each fish is shifted from its original positions by random way.

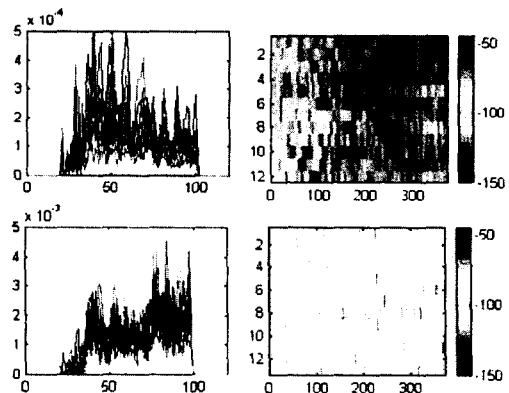


Figure 13. Envelopes and spectrograms obtained from multiple pings of real 0 year walleye pollock (b and d) and from simulation (a and c).

Reference (아래의 일부는 논문제목이 없음)

- Abe Koki, Iida Kohji, and Mukai Tohru. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 65(2): 252~259. 1999. Diurnal Changes of Area Backscattering Coefficient during the Acoustic Surveys of Walleye Pollock. (in Japanese).
- Feuillade C., Nero R. W., and Love R. H. *J. Acoust. Soc. Am.*, 99(1): 19~208. 1996. A low-frequency acoustic scattering model for small schools of fish.
- Furusawa M. *J. Acoust. Soc. Am.*, 90(1):26~36. 1991. Designing quantitative echo sounders.
- Furusawa M., Asami T., and Hamada E. The 3<sup>rd</sup> JSPS International Seminar Sustainable Fishing Technology in Asia towards the 21<sup>st</sup> Century, 207~213. 1999. Detection range of echo sounders.
- Kang M., Furusawa M., and Miyashita K. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 794~80. 2002. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton.
- LeFeuvre P., Rose G. A., Gosine R., Hale R., Pearson W., and Khan R. *Fisheries Research*, 47: 137~147. 2000. Acoustic species identification in the Northwest Atlantic using digital image processing.
- Madureira L. S. P., Everson I., and Murphy E. J. *J. Plankton Research*, 15: 787~802. 1993. Interpretation of acoustic data at two frequencies to discriminate between Antarctic Krill (*Euphausia superba* Dana) and other scatterers.
- Nicol S. and Endo Y. *FAO Fish. Tech. Pap.*, No. 367: 1~100. 1997. Krill fisheries of the world.
- Reid D., Scalabrin C., Petitgas P., Masse J., Auckland R., Carrera P. and Georgakarakor S. *Fisheries Research*, 47: 125~136. 2000.
- Richards. L. J. Kieser R. Mulligan T. J., and Candy J. R. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*. 48: 1264~1272. 1991.
- Rose G. A. and Leggett W. C. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*. 45: 597~604. 1988. Hydroacoustic signal classification of fish schools by species.
- Scalabrin C., Diner N., Weill A., Hillion A., and Mouchot M-C. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 181~188. 1996.
- Simmonds E. J., Armstrong F., and Copland P. J. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 189~195. 1996.
- Takao Y. and Furusawa M. *Fisheries Science*, 61: 637~640. 1995.