

Split beam 魚群探知機에 의한 魚類의 遊泳行動 調查研究 — 遊泳速度的 測定 —

이 대 재 · 신 형 일
부경대학교
(1999년 6월 1일 접수)

Fish Tracking with a Split Beam Echo Sounder — Measurements of Swimming Speeds —

Dae-Jae LEE and Hyeong-II SHIN

Pukyong National University

(Received June 1, 1999)

Abstract

The investigation to evaluate the possible effects of fish behaviour on acoustic target strength was carried out during the 1997 and 1998 hydroacoustic-demersal trawl surveys in the southern waters of Korea.

The swimming speed and the target strength of individual, acoustically resolved fishes swimming through the sound beam were measured using the split-beam tracking method on board *R/V Kaya*.

The results obtained can be summarized as follows :

1. The alongship and athwartship angles between -3 dB points of a hull mounted 38 kHz split beam transducer used in these surveys was 6.76° and 6.74° respectively, and the equal-energy contour obtained from the measured beam pattern showed approximately the circular pattern.

2. The swimming speed measured off the south coast of Sorido in 23 January 1997 ranged 0.10 to 0.80 m/s with the average swimming speed of 0.36 m/s, and the target strength ranged -64.8 to -31.7 dB with the average target strength of -52.7 dB. The most dominant species sampled in this survey area were Japanese scaled sardine, *Sardinella zunasi* and Konoshiro gizzard shad, *Konosirus punctatus*, respectively.

3. The swimming speed measured off the east coast of Kojedo in 24 March 1997 ranged 0.10 to 1.10 m/s with the average swimming speed of 0.40 m/s, and the target strength ranged -64.8 to -51.5 dB with the average target strength of -59.2 dB. The most dominant species sampled in this survey area were Swordtip squid, *Photololigo edulis*, Konoshiro gizzard shad and Japanese flying squid, *Todarodes pacificus*, respectively and the swimming activity of

* 본 연구는 부경대학교 해양식량자원개발특성화사업 연구과제지원에 의해 시행되었음.

these species seems to be controlled at speeds between 0.20 and 0.60 *m/s*.

4. The swimming speed measured the south coast of Kojedo in 25 March 1997 ranged 0.10 to 1.40 *m/s* with the average swimming speed of 0.51 *m/s*, and the target strength ranged -64.3 to -47.7 *dB* with the average target strength of -55.1 *dB*. The most dominant species sampled in this survey area were Swordtip squid, Blotchy sillago, *Sillago maculata* and Japanese scaled sardine, respectively and the swimming activity of these species seems to be controlled at speeds between 0.20 and 0.70 *m/s*.

5. The swimming speed measured during morning twilight in the southeastern water of Cheju Island in 11 July 1998 ranged 0.20 to 1.0 *m/s* with the average swimming speed of 0.53 *m/s*, and the target strength ranged -65.0 to -47.0 *dB* with the average target strength of -57.1 *dB*. The most dominant species sampled in this survey area were Swordtip squid, Black scraper, *Thamnaconus modestus* and Japanese flying squid, respectively and the tilt angle ranged -28° to $+2^\circ$ with the average tilt angle of -8.1° showing the downward migration.

緒 論

최근 어류의 유영 행동에 관한 연구는 각종 어업의 어획 기술을 향상시키기 위해서 뿐만 아니라 종묘 육성, 방류 효과의 판정, 해양 목장의 설계와 같은 새로운 생산 시스템의 구축 및 개발과 관련해서도 관심의 대상이 되고 있다.

향후의 각종 어업에 대한 어획 기술의 발전 방향을 예견해 볼 때, 어족 생물의 행동 특성 등에 대한 보다 많은 정량적인 정보를 수집 및 분석하여, 어종이나 어체의 체장 등을 선별하여 어획할 수 있는 소위 生態系 調和型 生産技術의 구축과 그것에의 전환을 위한 연구가 절실히 요구되어지고 있다.

지금까지 어류의 행동에 관한 연구는 주로 수조 실험이나 조업 현장에서의 수중관찰을 통해 이루어져 왔고, 이들의 정보는 어구의 설계와 개량, 어법의 개발 및 개선 등에 큰 역할을 해왔다.

그러나, 근년에 들어서는 각종 어법에 대한 어획성능이 비약적으로 향상됨에 따라 세계 각국은 어족자원의 관리를 목적으로 한 선택어법기술을 확립하기 위해 많은 노력을 기울이고 있고, 또한, 그 일환으로 어획과정에 있어서의 어류의 유영 행동특성을 규명하기 위한 연구가 세계 각국의 연구자들에 의해 활발하게 수행되고 있다.

현용 어구의 어획과정에서 대상 어류의 유영 행동이 어획성과에 미치는 영향은 대상 어종, 어류

의 성장단계 및 어장의 해양환경 등에 따라 큰 변화를 나타내기 때문에 이들에 대한 조사는 현장의 자연상태하에서 수행되는 것이 가장 이상적이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 주변수역에 서식하는 주요 어종에 대한 유영행동특성을 조사하기 위한 연구의 일환으로 split beam 어군탐지기를 이용하여 현장에서 어류의 유영행동을 조사, 분석함과 동시에 어체의 반사강도와 어류의 遊泳速度의 관계 및 어류의 유영자세 등에 대해서도 검토, 고찰하였다.

材料 및 方法

1. 實驗裝置 및 調查海域

조사해역에서 魚族生物에 의한 超音波散亂信號를 수록 및 해석하기 위한 계측시스템은 計量魚探 시스템(SIMRAD, EK500), 칼라 디스플레이(SIMRAD, CF140), 칼라 프린터(HP, deskjet 850C), 마이크로 컴퓨터(HP, Vectra VL) 등에 의해 구성하였다.

本 調査에서 사용한 計量魚群探知機의 作動周波數는 38 *kHz*이고, 현장에서는 조사선의 추진기 회전을 정지시킨 상태로 표류하면서 魚族生物에 의한 초음파산란신호를 연속적으로 수록하였는데, 이들의 echogram 자료는 어체의 反射強度情報와 함께 하드디스크에 수록함과 동시에 칼라 프

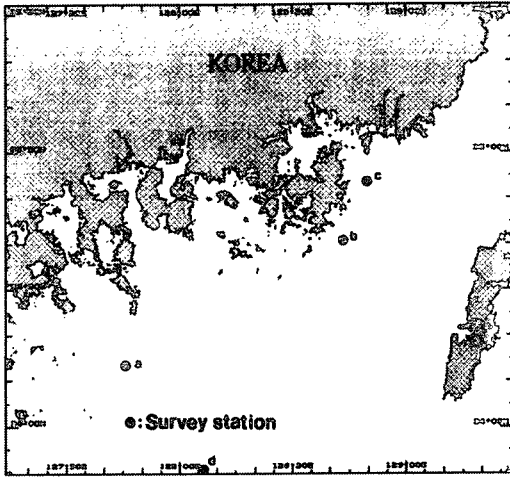


Fig. 1. Fish tracking stations occupied in the southern waters of Korea during the 1997 and 1998 surveys.

런터에 출력하였다.

후일 실험실에서는 echo 처리 시스템(SIMRAD, EP500)을 이용하여 이와같이 현장에서 수록한 각종의 자료를 분석, 고찰하였는데, 특히, 본 연구에서는 조사해역에서 탐지한 어체의 평균반사강도와 遊泳速度, 또한 어류의 유영자세 등에 주목하여 분석을 행하였다.

한편, 본 연구에서는 어체의 遊泳速度의 측정과 병행하여 조사해역에서 탐지한 魚族生物의 어종을 식별하기 위해 저층트롤조업을 실시하였는데, 트롤조사는 1997년 1월과 3월, 또한 1998년 7월에 부경대학교 실습선 가야호(G/T 2,136, stern trawler)를 이용하여 실시하였다.

트롤 및 음향학적 조사의 정점은 Fig. 1과 같고, 그림에서 정점 a는 1997년 1월 23일, 정점 b와 c는 1997년 3월 24일~25일, 정점 d는 1998년 7월 11일에 각각 조사를 행한 관측점이다.

현장에서 魚體의 반사강도 및 遊泳速度의 측정시에 필요한 計量魚群探知機의 送受波器에 대한 指向性 利得패턴은 조사 당시 조류 및 바람에 영향이 비교적 적었던 비진도 부근 해역에 조사선을 정박시키고, 직경이 60 mm(38 kHz용)인 銅球(copper sphere)를 音束(sound beam)내에 현수시키고, 그것을 수평적으로 이동시키면서 音速 단면에 있어서의 교정구의 echo 신호를 측정하여 구하

였다.

2. 魚類의 遊泳速度 測定

만일, 魚體가 split beam transducer의 指向角 내에서 音束軸(sound beam axis)에 대하여 角度 θ_L 만큼 벗어난 방향에 위치하고 있는 경우, 正橫方向 分割 振動子의 각각에 수신되는 魚體에 의한 echo 信號의 距離차는 水中音速을 C , 時間差를 ΔT 라 할 때, $C \cdot \Delta T$ 이다. 여기서, 送信信號의 周波數(f)에 대한 水中波長을 $\lambda(C = \lambda f)$, 各속도를 ω 라 하면, 正橫方向 分割 振動子에 수신된 echo 信號의 電氣的인 位相差 $\Delta\theta_e$ 는

$$\Delta\theta_e = \frac{2\pi \cdot C \cdot \Delta T}{\lambda} \quad (1)$$

에 의해 구할 수 있고, 또한, $C \cdot \Delta T = \frac{C \cdot \Delta\theta_e}{\omega}$ 이 성립한다.

한편, 音束軸에 대한 어체의 方向角 θ_L 은 正橫方向 分割 振動子間의 中心距離를 d 라 할 때,

$$C \cdot \Delta T = d \cdot \sin\theta_L \text{이고,}$$

$$\begin{aligned} \theta_L &= \sin^{-1}\left(\frac{C \cdot \Delta T}{d}\right) \\ &= \sin^{-1}\left(\frac{\Delta\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

이 성립한다. 여기서, 만일 $\left(\frac{\Delta\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d}\right)$ 의 값이 미소하다면

$$\theta_L \approx \frac{\Delta\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d} = \frac{\lambda}{2\pi d} \cdot \Delta\theta_e \quad (3)$$

이 된다. 즉, 正橫方向 方向에 있어서의 音束軸에 대한 魚體의 方向角 θ_L 은 正橫方向 分割 振動子의 각각에 수신되는 echo 信號의 電氣的인 位相差 $\Delta\theta_e$ 를 측정함으로써 구할 수 있다.

한편, 船首尾方向 分割 振動子에 의한 echo 信號의 機械的인 位相差는 正橫方向 分割 振動子의 경우와 같은 방법에 의해 구할 수 있는데, 이렇게 하여 측정된 船首尾方向과 正橫方向의 分割 振動子群에 대한 魚體의 方向角을 각각 θ_1, θ_2 라 하면, 音束軸에 대한 魚體의 合成的인 方向角(位置角) θ 는

$$\theta = \sin^{-1}[\sqrt{\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2}] \quad (4)$$

에 의해 구할 수 있다.

따라서, 任意時間 t_i 에 있어서 음축에 대한 어체의 위치角을 θ_i , 送受波器 중심에서 어체까지의 거리를 r_i , 船首尾方向과 正橫方向의 分割 振動子群에 대한 魚體의 方向角을 각각 θ_{i1}, θ_{i2} 라 할 때, split beam transducer의 指向角內에 있어서의 魚體의 空間位置座標(x_i, y_i, z_i)는 $x_i = r_i \sin \theta_{i1}$, $y_i = r_i \sin \theta_{i2}$, $z_i = r_i \sin \theta_i$ 이 되고, 또한, 任意時間 $t_j (t_j > t_i)$ 에 대한 空間位置座標를 각각 x_j, y_j, z_j 라 하면, split beam transducer의 指向角內에서의 魚類의 遊泳速度 $v(m/s)$ 는

$$v = \frac{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}}{(t_j - t_i)} \quad (5)$$

에 의해 구할 수 있다.

3. 魚體의 反射強度 測定

split beam transducer의 音束軸에 대한 魚體의 位置角이 θ 일 때, 魚體의 反射강도 (target strength, TS)와 計量魚探 시스템의 40 Log(R) TVG 增幅器에 의해 出力되는 echo level(EL)과의 사이에는

$$TS = EL - (SL + VR + SG) - B_\theta \quad (6)$$

이 성립하고, 여기서, SL 은 送波器의 送波感度, VR 은 受波器의 受波感度, SG 는 計量魚探 시스템의 受信利得, B_θ 는 $B_\theta = 10 \log(b^2(\theta))$ 이며, 또한, $b(\theta)$ 는 split beam transducer의 平均 指向性 합수이다. 따라서, split beam transducer의 音束軸에 대한 어체의 位置角 θ 를 측정하고, 그 位置角에 대한 指向性 利得을 보정하면, 魚體의 反射강도 TS 를 구할 수 있다.

結果 및 考察

1. 計量魚探시스템의 指向性 利得

본 연구에서는 計量魚探시스템에 의해 탐지한 개체에 대하여 이들 어체의 音束軸에 대한 位置角을 각각 측정하고, 이들 方向角에 대한 指向性

利得을 측정 및 보정하여 어체의 反射강도와 遊泳速度를 구하였는데, 이를 위해 현장에서 측정된 38 kHz의 주파수에 대한 split beam transducer의 指向性 利得 패턴은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 (A)는 split beam transducer의 船首尾 方向에 대한 指向性 利得패턴이고, (B)는 正橫方向에 대한 指向性 利得패턴이다. 이들 그림에서 종축은 指向性 利得(B_θ, dB)이고, (A)의 횡축은 送受波器의 船首尾 方向에 대한 指向角, 또한 (B)의 횡축은 正橫方向에 대한 指向角이다. Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구에서 사용한 計量魚探시스템의 split beam transducer에 대한 船首尾 및 正橫方向에 대한 指向角은 각각 6.76° 및 6.74° 로서 거의 같았고, 이것에 의해 split beam transducer의 音束 斷面에 대한 等에너지曲線 (equal energy contour)은 완전한 원형이라 판단된다.

2. 魚類의 遊泳速度와 反射強度

魚類의 遊泳速度에 대한 조사는 1997년 1월과 3월 및 1998년 7월에 각각 우리나라 남해안 해역을 대상으로 실시하였다. 현장에서 어류의 遊泳速度 및 反射강도를 측정하기 위해 조사선을 정선시킨 상태에서 약 15 분간에 걸쳐 연속적으로 수록한 echogram의 일례는 Fig. 3과 같다. 한편, 이와 같이 현장에서 수록한 echogram상에 나타나는 각각의 개체에 대한 echo trace를 정량적으로 분석하여 遊泳速度 및 대상 어류의 反射강도를 측정된 결과는 Fig. 4~Fig. 7과 같다.

본 연구에서는 현장에서 수록한 echogram을 대상으로 개체가 분포하는 수심구간 및 항주구간을 설정한 후, 그 범위내에 존재하는 개체의 echo 신호를 분석하였는데, 그림에서 우측의 작은 사각형속에 있는 echo trace가 그 중의 한 마리 어체에 대한 반사기록이다. 이들의 개체에 대해서는 그림의 하단에 나타낸 바와 같이 송신펄스의 발사번호, 소재수심, 反射강도, 음축에 대한 어체의 船首尾 및 正橫方向의 위치각과 遊泳速度 등을 측정하였는데, 이 정보를 토대로 split beam transducer의 音束內에서 시간의 경과에 따른 어체의 소재위치 변화를 모든 어체에 대하여 조사한

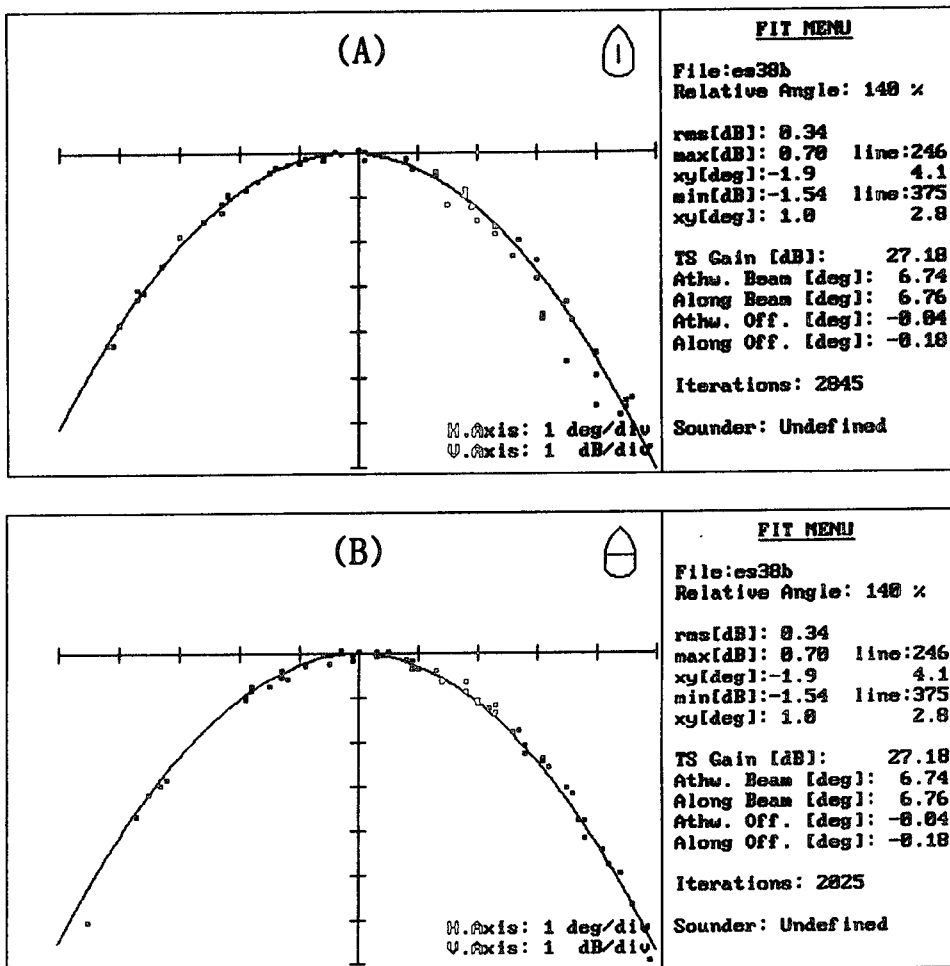


Fig. 2. Measured two-way directivity patterns of the 38 kHz hull mounted transducer on "KAYA".
 (A) Alongship direction (B) Athwarship direction

결과는 우측 하단의 궤적과 같다. 본 연구에서는 이들의 시간의 경과에 따른 공간위치의 변화를 정량적으로 분석하여 어류의 遊泳速度를 산출하였고, 동시에 어체의 음속에 대한 위치각을 측정하여 해당어류의 반사강도를 구하였다.

한편, 본 연구에서는 Fig. 3의 echogram상에 나타난 개체어의 어종을 식별하기 위하여 조사대상 해역에서 트롤조업을 실시하였는데, 트롤조업에 의한 어획물의 생물학적 조성은 Table 1과 같다.

Table 1에서 a~d는 각각 Fig. 1의 a~d의 트롤 정점에 어획된 어획생물에 대한 어종조성 결과이다.

Fig. 4는 1997년 1월 23일에 소리도 인근해역에서 計量魚探시스템에 의해 탐지한 총 211 마리의 개체어에 대한 echo 신호를 분석하여 산출한 어체의 遊泳速度와 반사강도에 대한 결과이다. 이 해역에 있어서의 수심은 약 39 m였고, 표층과 저층에 대한 수온은 각각 13.3 °C, 10.6 °C였다. 그림에서 (A)는 어체의 遊泳速度에 대한 頻度分布圖이고, (B)는 어체의 반사강도를 나타낸 결과이다. Fig. 4에서 計量魚探에 의해 탐지한 개체어의 遊泳速度는 0.1~0.8 m/s의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.36 m/s였다. 한편, 이들 개체어에 대한 초음파 반사강도는 -31.7~-64.8 dB 범위로

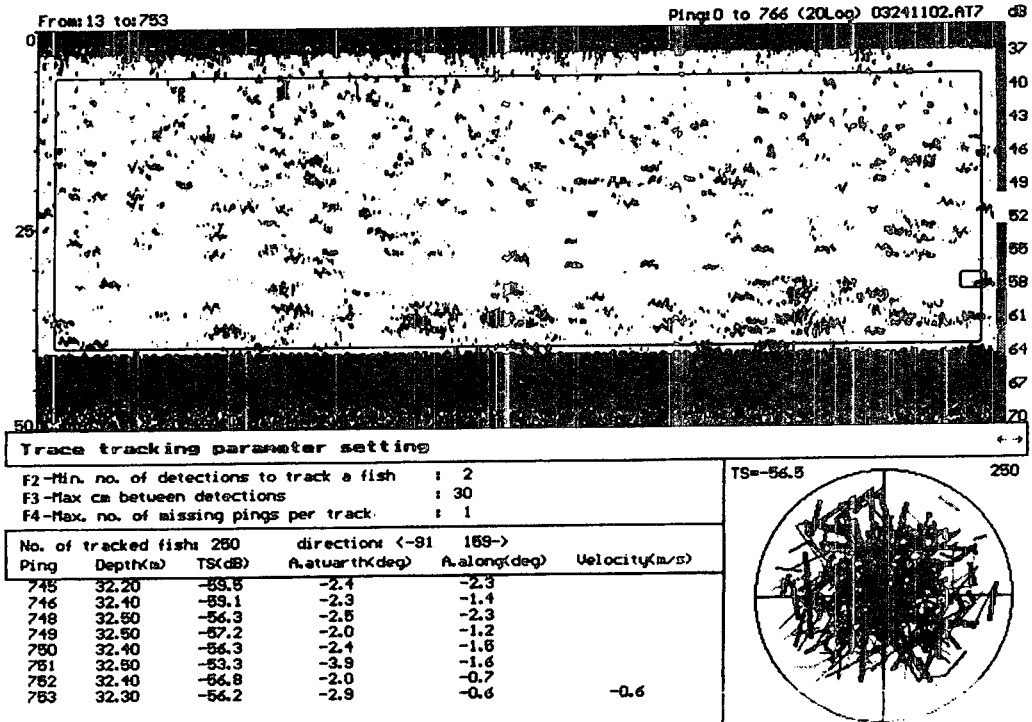


Fig. 3. The fish tracking results derived from the echogram obtained in 24 March 1997 using the EP 500 echo processing system.

서, 그 평균반사강도는 -52.7 dB 이었다. 이 조사 해역에서 실시한 트롤 조업에 의한 어획물의 어종 조성을 보면, 밴댕이가 총어획량의 47.2 %, 전어가 43.9 %, 병어가 3.4 %, 아귀가 2.6 %, 꼼치가 1.5 %, 그 외에 고등어, 넙치, 삼치 등이 어획되었는데, 주된 漁獲魚種은 밴댕이와 전어였다.

Fig. 4의 어체 반사강도에 대한 頻度分布圖에서 -62 dB 부근에 한 개의 분포 중심이 존재하고, 또한 -42 dB 부근에도 다른 하나의 분포 중심이 서로 분리되어 나타나고 있는데, 이것을 트롤조업에 의한 어획물의 어종 조성과 상호 연관시켜 고찰해 볼 때, -62 dB 부근의 분포 모드는 주로 밴댕이, 전어, 병어 등과 같은 소형 어류에 의한 반사강도의 모드이고, 또한 -42 dB 부근에 나타나는 분포 모드는 주로 꼼치와 고등어 등과 같은 어류에 기인하는 반사강도의 모드라고 추정된다.

그러나, 이들 어류의 어종별에 대한 遊泳速度는 서로 분명하게 구분되어 나타나지 않았는데, 이것은 이들 어류가 桴束내에서 서로 분산되어 매우

완만하게 유영하고 있었기 때문이라 판단된다.

Fig. 5는 1997년 3월 24일에 거제도 인근해역에서 計量魚探시스템에 의해 탐지한 총 232 마리의 개체에 대한 echo 신호를 분석하여 구한 어체의 遊泳速度와 반사강도에 대한 결과이다. 이 해역에 있어서의 수심은 약 60 m 였고, 표층과 저층에 대한 수온은 각각 $13.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $11.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다. 그림에서 (A)는 어체의 遊泳速度에 의한 頻度 分布圖이고, (B)는 어체의 반사강도를 나타낸 결과이다.

Fig. 5에서 계량어탐에 의해 탐지한 개체어들의 遊泳速度는 $0.1\sim 1.1\text{ m/s}$ 의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.40 m/s 였다. 한편, 이들 개체에 대한 초음파 반사강도는 $-64.8\sim -51.5\text{ dB}$ 범위로서, 그 평균반사강도는 -59.2 dB 이었다. 이 조사 해역에서 실시한 트롤 조업에 의한 어획물의 어종 조성을 보면, 창꼴두기가 총어획량의 53.2 %, 전어가 10.7 %, 살오징어가 10.2 %, 민태가 2.4 %, 병어가 1.3 %, 고등어가 0.3 %, 그 외에 가자미, 삼치, 달강어 등이 어획되었는데, 주된 어획

Table 1. The composition of dominant species collected in demersal trawl stations of the southern waters of Korea during the 1997 and 1998 surveys

Scientific name < Korean name >	Trawl Station			
	a	b	c	d
<i>Lophiomus setigerus</i> <아귀 >	17.05	8.01	7.88	5.35
<i>Todarodes pacificus</i> <살오징어 >	—	8.64	6.67	19.14
<i>Scomberomorus niphonius</i> <삼치 >	0.45	0.42	11.40	—
<i>Eopsetta grigorjewi</i> <물가자미 >	0.13	0.28	0.35	—
<i>Branchiostegus japonicus</i> <옥돔 >	—	—	—	2.97
<i>Johnius belengerii</i> <민태 >	0.12	2.01	8.45	—
<i>Lepidotrigla microptera</i> <달강어 >	—	0.27	0.53	—
<i>Paralichthys olivaceus</i> <넙치 >	2.30	—	7.68	—
<i>Scomber japonicus</i> <고등어 >	5.21	0.27	1.58	0.26
<i>Pampus argenteus</i> <병어 >	22.68	1.08	2.14	—
<i>Thamnaconus modesutus</i> <말쥐치 >	0.05	—	—	31.24
<i>Liparis tanakai</i> <꼼치 >	10.25	—	—	—
<i>Lepidotrigla microptera</i> <달강어 >	—	—	—	1.78
<i>Photololigo edulis</i> <창꼴뚜기 >	—	44.90	8.32	34.35
<i>Heterodontus japonicus</i> <팽이상어 >	—	—	—	1.16
<i>Sardinella zunasi</i> <밴댕이 >	315.45	0.15	2.69	—
<i>Platycephalus indicus</i> <양태 >	—	0.34	4.76	—
<i>Conosirus punctatus</i> <전어 >	293.88	8.99	1.14	—
<i>Hippoglossoides pinetorum</i> <용가자미 >	0.10	1.05	1.53	—
<i>Hemitripterus villosus</i> <삼세기 >	0.17	0.15	—	—
<i>Glyptocephalus stelleri</i> <기름가자미 >	0.95	0.13	—	—
<i>Zoarcis gilli</i> <등가시치 >	0.13	0.74	0.15	—
<i>Zeus faber</i> <달고기 >	—	—	2.35	0.13
<i>Trichiurus lepturus</i> <갈치 >	—	0.38	0.41	—
<i>Doederleinia berycoides</i> <눈불대 >	—	0.23	1.68	12.55
<i>Sephyraena pinguis</i> <꼬치고기 >	—	—	1.39	0.87
<i>Lateolabrax japonicus</i> <농어 >	—	—	2.70	—
<i>Pagrus major</i> <참돔 >	—	—	—	16.77
<i>Kareius bicoloratus</i> <돌가자미 >	—	0.98	1.06	—
<i>Pleuronectes yokohamae</i> <문치가자미 >	—	2.00	35.45	—
<i>Portunus trituberculatus</i> <꽃게 >	—	1.30	1.40	—
<i>Urolophus aurantiacus</i> <흰가오리 >	—	—	36.77	—
<i>Hexagrammos otakii</i> <쥐노래미 >	—	0.45	1.37	—
<i>Sillago maculata</i> <별보리멸 >	0.54	1.59	3.33	—
others	0.15	—	15.63	2.50
Total Catch(kg)	668.61	84.36	168.48	129.07

어종은 창꼴뚜기와 전어 및 살오징어였다.

Fig. 5의 어체 반사강도에 대한 頻度分布度를 살펴볼 때, -62 dB 부근에 한 개의 분포 모드가 존재하고, 또한, -58 dB 부근에도 다른 하나의 분포 모드가 서로 분리되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 결과를 트롤조업에 의한 어획물의 어종 구성과 서로 연관시켜 볼 때, -62 dB 부근에 나타나는 분포 모드는 주로 창꼴뚜기 및 전어와 같은 소형의 연체류 및 어류에 의한 반사강도이

고, 또한 -58~50 dB 범위의 분포 모드는 주로 살오징어 등과 같은 어족생물에 의한 반사강도에 의한 것이라고 판단된다.

한편, Fig. 5에서 이들 魚族生物에 대한 遊泳速度에 있어서는 0.8~1.1 m/s의 빠른 속도로 움직이는 어류의 행동패턴이 관찰되었는데, 이것은 소수의 민태, 고등어 등과 같이 유영력이 강한 어류의 돌발적인 유영행동에 기인한 것이라 판단되고, 그 밖의 창꼴뚜기, 전어 및 살오징어 등과 같은

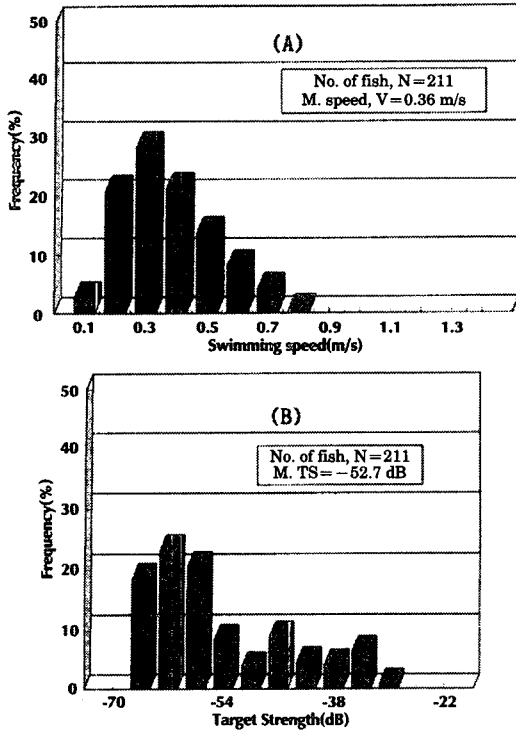


Fig. 4. The swimming speed(A) and target strength (B) measured by tracking of acoustically resolved fishes off the south coast of Sorido in 23 January 1997.

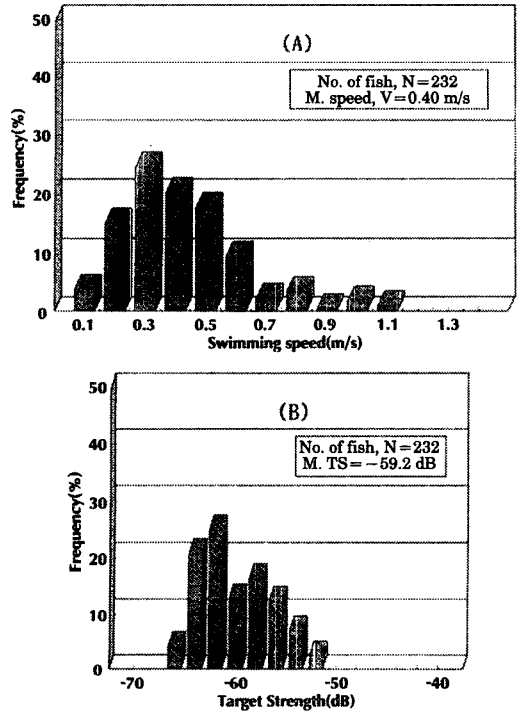


Fig. 5. The swimming speed(A) and target strength (B) measured by tracking of acoustically resolved fishes off the south coast of Kojedo in 24 March 1997.

魚族生物에 의한 遊泳速度는 0.1~0.7 m/s의 범위라고 추정된다.

Fig. 6는 1997년 3월 25일에 거제도 인근 해역에서 計量魚探시스템에 의해 탐지한 총 141 마리의 개체에 대한 echo 신호를 분석하여 구한 어체의 遊泳速度와 반사강도에 대한 결과이다. 이 해역에 있어서의 수심은 약 61 m였고, 표층 및 저층에 대한 수온은 각각 13.4 °C, 12.2 °C였다. 그림에서 (A)는 어체의 遊泳速度에 의한 頻度分布圖이고, (B)는 어체의 반사강도를 나타낸 결과이다.

Fig. 6에서 計量魚探에 의해 탐지한 개체의 遊泳速度는 0.1~1.4 m/s의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.53 m/s였다. 한편, 이들 개체에 대한 초음파 반사강도는 -64.3~-47.7 dB 범위로서, 그 평균반사강도는 -55.1 dB이었다. 이 조사 해역에서 트롤 조업에 의한 어획물의 어종 조성을 보면, 문치가자미 및 흰가오리가 총어획량의

42.9 %, 삼치가 6.8 %, 민태가 5.0 %, 창꼴뚜기가 4.9 %, 살오징어가 4.0 %, 양태가 2.8 %, 별보리멸이 2.0 %, 그 외에도, 농어, 밴댕이, 병어 등이 어획되었는데, 특히, 이 해역에 있어서는 다량의 소형 불가사리가 어획되었다. 이들 불가사리는 해저 부근에 매우 광범하고 농밀하게 분포하고 있는 것이 탐지되었고, 트롤그물에 의해 어획된 불가사리의 어획중량은 측정하지 않았다.

Fig. 6의 어체에 대한 반사강도의 頻度分布圖을 볼 때, 그 값은 -56 dB을 중심으로 집중분포하고 있는 특성을 나타내고 있는데, 이 반사강도의 분포특성과 트롤 어획물의 어종 조성을 서로 연관시켜 볼 때, -50 dB 전후의 비교적 높은 반사강도의 값은 주로 삼치, 민태, 양태, 농어, 살오징어 등과 같은 어족생물에 의한 결과라 추정되고, 또한, -58 dB 부근에 집중되어 있는 분포 모드는 주로 창꼴뚜기, 별보리멸, 밴댕이 등과 같은 소형 어류

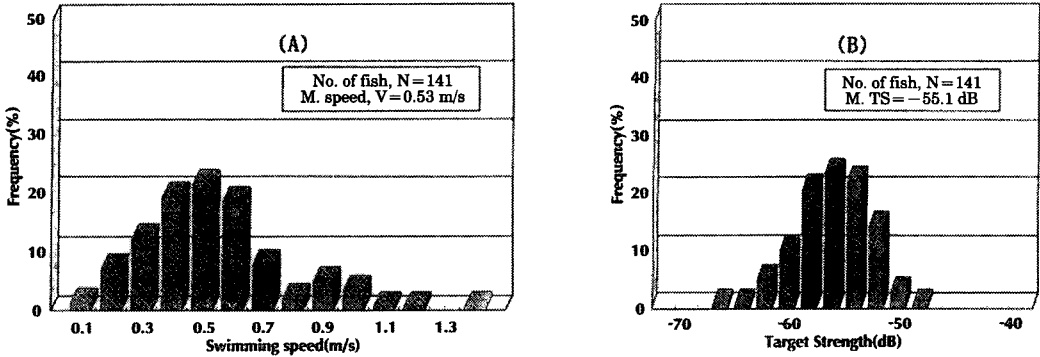


Fig. 6. The swimming speed(A) and target strength (B) measured by tracking of acoustically resolved fishes off the south coast of Kojedo in 25 March 1997.

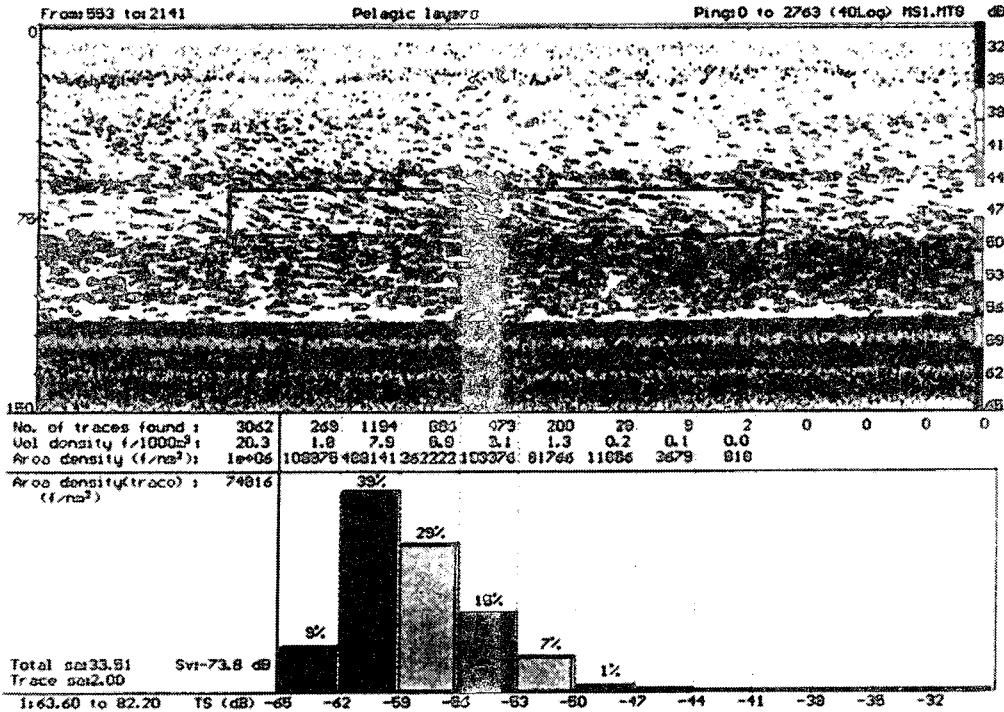


Fig. 7. The fish tracking results derived from the echogram obtained in 11 July 1998 using the EP 500 echo processing system.

에 의한 반사강도라 판단된다.

Fig. 6에서 이들 魚族生物에 대한 遊泳速度의 분포 패턴을 볼 때, 그 값이 0.5 m/s를 중심으로 강하게 집중하는 분포 모드와 0.8~1.2 m/s의 빠른 遊泳力을 나타내는 어류의 행동패턴을 나타내는 모드가 함께 관찰되었는데, 여기서, 0.9 m/s 전후

의 遊泳速度는 주로 삼치, 민태, 양태, 농어 등과 같이 어류의 순간적인 유명행동에 의해 나타난 결과라 판단되고, 그 밖의 창꼴뚜기, 별보리멸, 밴댕이 등과 같은 魚族生物에 의한 遊泳速度는 0.1~0.7 m/s의 범위라고 추정된다.

한편, Fig. 7은 1998년 7월 11일 제주도 동남 해

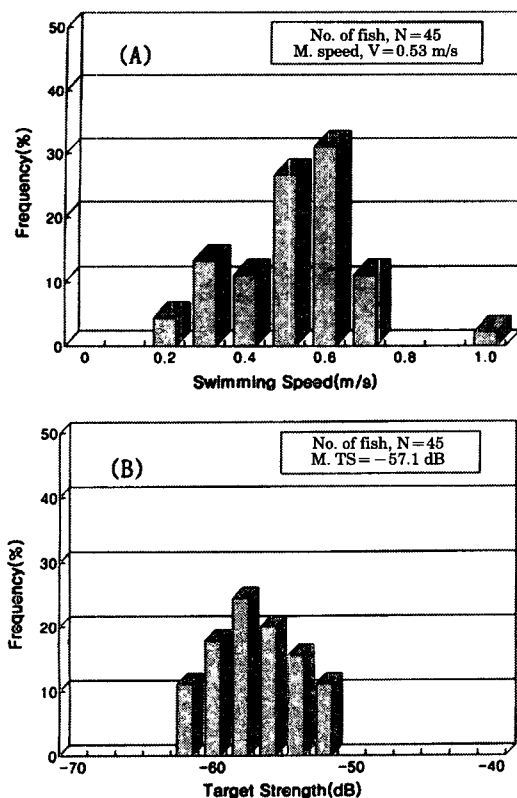


Fig. 8. The swimming speed(A) and target strength (B) measured by tracking of acoustically resolved fishes in the southern waters of Korea in 11 July 1998.

역(33° 50' .3N, 128° 06' .7E)에서 일출(05 : 24) 직후인 06 : 20~07 : 06의 시간대에 조사선이 표류하고 있는 상태에서 측정된 echogram인 데, 이 echogram의 하부에 나타난 頻度分布圖은 수심 63.6~82.2 m 구간에 설정한 수심층에서 탐지한 총 45 마리 어체의 echo 신호를 분석하여 구한 초음파 반사강도이다. 조사 당시 수심 약 60 m에는 수온약층이 형성되어 있었고, 일출직전까지 수온약층 상층부에서 군집하여 유영하던 어류는 일출과 더불어 수온약층을 통과하여 鉛直下向移動하는 행동습성을 나타내었는데, 1998년도의 조사에서는 특히, 일출과 더불어 해저를 향해 연직이동하는 개체어의 반사강도 뿐만 아니라 遊泳速度 및 tilt angle 등에 대해서도 조사, 분석하였는데, 그 결과는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

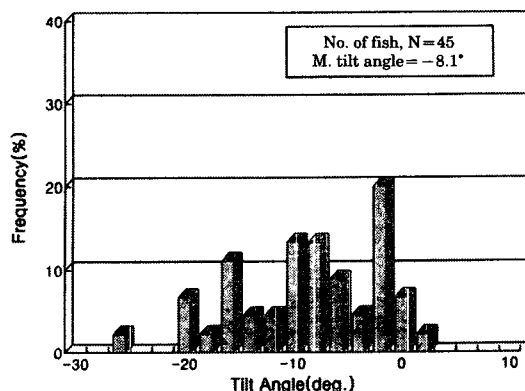


Fig. 9. A histogram of tilt angle estimated by tracking of acoustically resolved fishes in the southern waters of Korea in 11 July 1998.

Fig. 8에서 (A)는 어체의 遊泳速度에 의한 頻度分布圖이고, (B)는 어체의 반사강도를 나타낸 결과인 데, Fig. 8에서 計量魚探에 의해 탐지한 개체어의 遊泳速度는 0.2~1.0 m/s의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.53 m/s였고, 또한, 이들 어류에 대한 초음파 반사강도는 -65.0~-47.0 dB 범위로서, 그 평균반사강도는 -57.1 dB이었다.

한편, Fig. 9는 어체의 tilt angle을 나타낸 결과인 데, 조사 당시 이 해역에 대한 수심은 약 115 m였고, 표층 및 저층에 대한 수온은 각각 26.3 °C, 16.5 °C였다. Fig. 7에서 일출과 더불어 수온약층을 통과하여 해저를 향해 연직회유이동하는 어류의 tilt angle은 -28°~+2° 범위로서, 그 평균 tilt angle은 -8.1°였다. 이 조사 해역에서 트롤 조업에 의한 어획물의 어종 조성을 보면, 창끝뚜기가 26.6 %, 말쥐치가 24.2 %, 살오징어가 14.8 %, 참돔이 13.0 %, 눈볼대가 9.7 %, 그 외에도, 아귀, 옥돔 등이 어획되었다.

要 約

우리나라 주변수역에 서식하는 주요 어종에 대한 유영행동특성을 조사하기 위한 연구의 일환으로 split beam 어군탐지기를 이용하여 현장에서 어류의 유영행동패턴을 조사, 분석함과 동시에 어체의 반사강도와 어류의 遊泳速度의 관계 등에 대

해서도 분석, 고찰한 결과에 대하여 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 사용한 計量魚探시스템의 split beam transducer에 대한 船首尾 방향 및 正橫方向에 대한 지향각의 측정치는 각각 6.76° 및 6.74° 로서, 音束 斷面에 있어서의 等에너지曲線(equal energy contour)은 원형이었다.

2. 1997년 1월 23일에 소리도 인근 해역에서 탐지한 총 211 마리의 개체에 대한 遊泳速度는 $0.10\sim 0.80\text{ m/s}$ 의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.36 m/s 이었고, 이들 어체에 대한 초음파 반사강도는 $-64.8\sim -31.7\text{ dB}$ 범위로서, 그 평균반사강도는 -52.7 dB 이었다. 이 조사 해역에서의 주된 漁獲魚種은 밴댕이, 전어 등이었다.

3. 1997년 3월 24일에 거제도 인근 해역에서 탐지한 총 232 마리의 개체에 대한 遊泳速度는 $0.10\sim 1.10\text{ m/s}$ 의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.40 m/s 이었고, 이들 어체에 대한 반사강도는 $-64.8\sim -51.5\text{ dB}$ 범위로서, 그 평균반사강도는 -59.2 dB 이었다. 이 조사 해역에서의 주된 어획어종은 창꼴뚜기, 전어 및 살오징어 등이었고, 이들 어종의 遊泳速度는 $0.10\sim 0.70\text{ m/s}$ 라고 추정된다.

4. 1997년 3월 25일에 거제도 인근 해역에서 탐지한 총 141 마리의 개체에 대한 遊泳速度는 $0.1\sim 1.4\text{ m/s}$ 의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.53 m/s 이었고, 이들 어체에 대한 초음파 반사강도는 $-64.3\sim -47.7\text{ dB}$ 범위로서, 그 평균반사강도는 -55.1 dB 이었다. 이 반사강도의 頻度分布에서 창꼴뚜기, 별보리멸, 밴댕이 등의 어족생물에 대한 遊泳速度는 $0.10\sim 0.70\text{ m/s}$ 라고 추정된다.

5. 1998년 7월 11일에 제주도 도암해역에서 탐지한 총 45 마리의 개체에 대한 遊泳速度는 $0.20\sim 1.0\text{ m/s}$ 의 범위로서, 그 평균적인 遊泳速度는 0.53 m/s 였고, 이들 下向移動 魚類의 tilt angle은 $-28^\circ\sim +2^\circ$ 범위로서, 그 평균 tilt angle은 -8.1° 였다. 또한, 이들 어류에 대한 초음파 반사강도는 $-65.0\sim -47.0\text{ dB}$ 범위로서, 그 평균반사강도는 -57.1 dB 이었는데, 그 주요 구성생물은 창꼴뚜기, 말쥐치, 살오징어 등이었다.

參考文獻

1. MacLennan D. N. and E. J. Simmonds (1992) : Fisheries Acoustics, Chapman & Hall, 164~200.
2. 李吳在 · 金鎮乾 · 申炳浩 (1998) : 韓國 南海岸의 潛在漁業資源 調查研究, 漁業生物資源의 音響學的 調查, 韓國漁業技術學會誌 34(3), 259~273.
3. 李吳在 (1992) : 魚群探知機에 의한 魚群의 分布와 生態計測에 관한 研究, 漁業技術 28(4), 337~346.
4. 有元貴文 · 難波憲二 (1996) : 魚의 行動生理學と 漁法, 水産學シリーズ 108, 恒星社厚生閣, 東京, 50 - 73.
5. I. Huse and E. Ona (1996) : Tilt angle distribution and swimming speed of overwintering Norwegian spawning herring, ICES J. Mar. Sci., 53, 863~873.
6. R. J. Vent, I. E. Davies, R. W. Townsen and J. C. Brown (1976) : Fish school target strength and doppler measurements, Naval Undersea Center, NUC TP 521, 21p.
7. P. He and C. S. Wardle (1986) : Tilting behaviour of the Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, at low swimming speeds, J. Fish Biol. 29, 223~232.
8. P. W. Webb (1993) : Is tilting behavior at low swimming speeds unique to negatively buoyant fish?, Observations on steelhead trout, *Oncorhynchus mykiss*, and bluegill, *Lepomis macrochirus*, J. Fish. Biol. 43, 687~694.
9. R. J. Kloser, A. Williams and J. A. Koslow (1997) : Problems with acoustic target strength measurements of a deepwater fish, orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Collett), ICES J. Mar. Sci. 54, 60~71.
10. 添田秀男 (1990) : 텔레메트리による水生動物의 行動解析. 水産學シリーズ 80, 恒星社厚生閣, 東京, 9~18.