

超音波標識에 의한 單體魚의 行動 追跡*

辛 亨 鎰

釜山水產大學

(1989년 4월 30일 접수)

Tracking of an Individual Fish by Use of the Ultrasonic Tag

Hyeong-Il SHIN

National Fisheries University of Pusan

(Received April 30, 1989)

This paper described on the tracking of an individual fish at the fishing ground of set net by use of a small ultrasonic fish tag. The apparatuses used were composed with a tag, three receivers and two time-interval counter oscilloscopes.

A pulsed ultrasonic transmitter tag fitted to back of a dorsal fin of a yellowtail specimen, *Seriola quinqueradidta* TEMMINCK et SCHLEGEL is tracked by measuring differences in the time of arrival of the acoustic pulses at an arrangement of three receivers in the freedding tank. The successive positions of the fish were calculated from the differences in the received times of the signals.

A fish carrying the tag was tracked in the fishing ground of set net by use of the hydrophone and Loran-C. The results of the tests showed that this method gave good positional information to track the movements of an individual fish in the fishing ground of set net.

緒 論

沿岸漁場의 漁況을 파악함에 있어서 지금까지는 주로 水溫, 鹽分, 水深 등의 漁場環境要素 등을 관측하여 간접적으로 漁場의 形成과 資源量을 파악하여 왔으나, 이러한 간접적인 방법으로는 沿岸에 내유한 魚群의 漁場내에서의 行動特性이나 漁場形成의 持續時間등을 파악하기 어려울 뿐만 아니라 操業과 經營의 원활화가 어렵다.

이러한 점들을 해결하기 위하여 최근에는 魚群探知機와 超音波反射標識를 이용한 직접적인 관측방법에 대한 研究가 활발히 進行되고 있다.

魚群探知機를 이용한 研究는 1950年代부터 많은 研究를 수행해 왔으나 魚探의 기록만으로는

魚群을 정확하게 관찰하기 어려워 魚體에 超音波反射標識를 붙여 魚群을 추적하는 研究가 행해지게 되었다.

이에 대한 研究로는 Kuroki(1971)의 transponder에 의한 魚體의 位置와 주변 水溫측정, Miura(1976-77) 등의 魚體位置觀測用 telemeter, Konagaya(1982)의 魚體位置決定의 遠隔制御體系, Hawkin(1976-86) 등의 Scotland Dee江을 洄游하는 북대서양 연어의 洄游經路를 tag를 이용하여 추적한 바 있다.

이러한 魚群의 行動에 대한 세계적인 研究 추세에도 불구하고, 韓國에서는 아직 이에 대한 研究가 아주 미흡한 상태이며, 그나마 주로 實驗水槽내에서 관찰한 것이 대부분으로 Yeom(1981)

* 이 논문은 1988년도 재단법인 동원학술 연구재단의 학술 연구비 지원에 의하여 연구(출판)되었음.

超音波標識에 의한 單體魚의 行動 追跡

의 농어 및 볼락의 色網絲에 대한 선택반응, Yang(1986)의 色光에 대한 魚類의 反應, Kim(1982)등의 魚類의 食餌音에 대한 超音波反應, Lee(1983)등의 수중코오너 리플렉터의 超音波反射特性, Shin(1986)의 魚探에 의한 定置網내에서의 魚群의 行動과 魚群量推定에 대한 研究가 있으나 超音波標識에 대한 研究는 아직 없다.

本 研究는 韓國沿岸漁場에서 魚群의 行動特性을 正確하게 파악할 수 있는 基礎資料를 제공하기 위하여 超音波標識를 제작하여 그 標識의 性能과 團體魚의 行動을 追跡하여 分析, 檢討하였다.

裝置 및 方法

1. 供試魚用 超音波標識의 構成

가. 40KHz用 超音波標識

團體魚의 行動追跡을 위해 제작한 40KHz用 超音波標識의 內部構造와 外形은 Fig.1과 같이 직경 1.6cm, 길이 6cm, 空氣中の 重量이 22g이었고, 送信振動子는 ceramic sensor(Kamaden, PT40-16A)를 사용하였으며, 送信回路는 Fig.2와 같다.

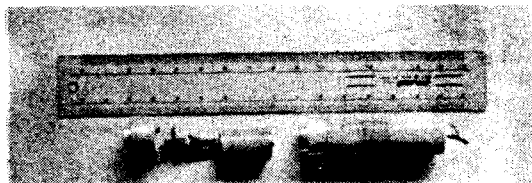


Fig.1. Assembly of an ultrasonic 40KHz tag. The subassembly to the left of the transducer includes IC, resistor, and capacitor. The assembled unit is ready for the attachment at the fish.

Fig.2에서 펄스폭과 주기는 schmidt trigger의 hysteresis特性을 이용한 發振回路로서 결정되도록 하였으며, 일반적으로는 2개 이상의 inverter素子를 필요로하나 소형화시키기 위해 1素子만을 사용하였다. 또한, 펄스 폭 τ 와 주기 T는 schmidt trigger IC(74HC 14)의 threshold電壓의 高低레벨과 時定數 $C_1 \cdot R_1$ 및 $C_1 \cdot R_2$ 에 의하

여 각각 $\tau = 0.69C_1 \cdot R_1$, $T = 0.69C_1 \cdot R_2$ 가 되도록 결정하였으며, 그 결과 펄스 폭과 주기는 각각 1.6ms, 3.6sec였다.

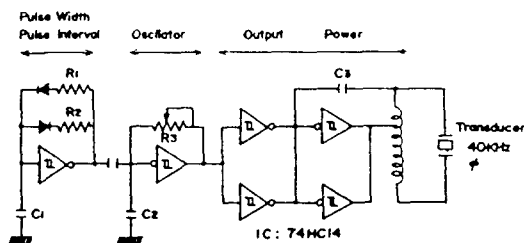


Fig.2. Circuit diagram of an ultrasonic tag.

送信周波數는 可變抵抗으로 送信振動子의 共振周波數와 맞도록 조정할 수 있게 구성하였으며, 出力回路는 inverter 4개를 사용하여 driver능력을 증과 동시에 發振回路로 부터의 出力電壓이 倍電壓이 1次 trans에 가해지도록 하였고, 出力trans는 內徑 10mm프라스틱 튜브에 들어갈 수 있는 크기로 하여 最大電壓이 送信振動子에 가해지도록 구성하였다. trans의 1,2次側 코일의 감은 수는 각각 40회, 120회였으며 2차 코일에 유기되는 電壓은 35Vp-p였다.

電源은 직경 8mm, 높이 5mm인 1.5V lithium 밧데리 4개를 직렬로 연결하여 電壓 6V가 되도록 하였다.

나. 50KHz用 超音波標識

제작한 40KHz用 標識와의 性能比較를 위해 사용한 VEMCO社의 50KHz用 超音波標識의 外形은 Fig.3과 같고, 內徑 16mm, 길이 12cm인 원통형 에폭시튜브에 水晶 發振回路와 6V酸化銀電池를 내장시킨것으로 펄스 폭과 주기는 각각 20ms, 1sec였으며, 空氣中の 重量은 50g이었다.

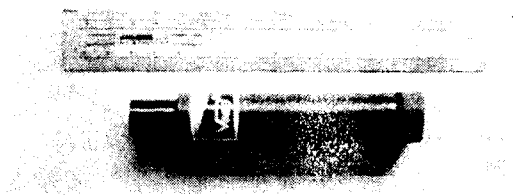


Fig.3. The 50KHz tag is produced by the VEMCO.

2. 實驗方法

가. 超音波標識의 指向特性과 有效範圍

超音波標識의 指向特性은 實驗水槽(L3×W3×D2m)에 超音波標識와 hydrophone을 수면으로부터 水中 1m에, 1m거리에서 서로 마주보게 배치하여 超音波標識를 360° 회전시켜 전방향의 音壓을 水中音壓計(Oki, SW-1007)로서 측정하여 最大音壓에 대한 相對比로서 나타내었다.

有效範圍는 超音波標識를 定置網漁場의 蓄養槽 부근에 고정시켜두고 hydrophone과 水中音壓計를 소형선에 탑재하여 거리를 변화시키면서 그때의 音壓을 측정하였으며, 거리는 Loran-C로서 소형선의 위치를 측정하여 거리로 환산하여 구하였다.

나. 實驗水槽내에서의 供試魚의 位置測定

原理와 行動追跡

實驗水槽내에서의 單體魚의 行動追跡은 Fig. 4와 같이 50KHz受信振動子(R₀, R₁, R₂, R₃) 4개를 각각 1m의 水中에 고정하여 單體魚에 부착한 超音波標識에서 發射된 送信波를 受信하여 Pre-AMP로 증폭한 다음 R₀振動子의 信號는 2현상 oscilloscope 2개의 trigger 信號로 하였으며, No.1 OSC에서는 R₂와 R₁, No.2 OSC에서는 R₂와 R₃의 受信時間差를 測定하여 雙曲線位置測定方式에 의하여 單體魚의 位置를 측정하였다.

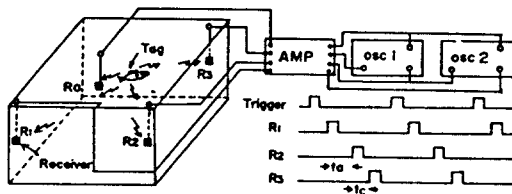


Fig.4. Arrangement of a tag and four receivers in water tank, and measurement block diagram for the time differences between receivers.

位置測定 理論値는 Konagaya (1987) 등이 제안한 理論式을 근거로 계산하였으며 그 개략적인 原理는 다음과 같다.

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 R₁, R₂, R₃ 3개의 受信振動子가 만드는 三角形 ABC의 B를 原點으로

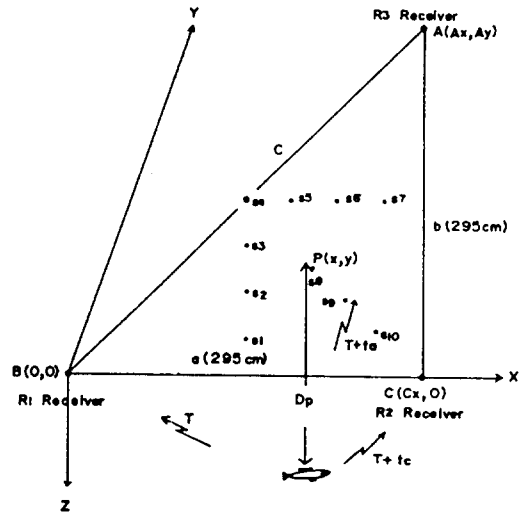


Fig.5. Determination of the position of fish. A, B, C and P are positions of receivers and the fish respectively.

하고 底邊 BC를 X軸에 두고, 單體魚의 XY座標上의 위치를 P(x,y), 水深을 Dp, 水中音速을 V, A, B 및 C까지의 超音波信號의 도달 時間差를 각각 T, T+ta, T+tc라 하면

$$T^2 V^2 - Dp^2 = x^2 + y^2 \quad (1)$$

$$(T + ta)^2 V^2 - Dp^2 = (Ax - x)^2 + (Ay - y)^2 \quad (2)$$

$$(T + tc)^2 V^2 - Dp^2 = (Cx - x)^2 + y^2 \quad (3)$$

(1), (2), (3)式으로부터 T를 소거하여 정리하면

$$\alpha x^2 + \beta y^2 + \gamma x + \eta = 0 \quad (4)$$

$$\epsilon x + \zeta y + \eta = 0 \quad (5)$$

이 되고 (4)式과 (5)式的 連立方程式을 풀면 單體魚의 위치를 측정할 수 있다.

다. 蓄養槽내에서의 定置網漁場 부근에서의 行動追跡

L5×B5×D5m인 蓄養槽내에 體長 38cm, 重量 0.8kg인 방어의 등지느러미 뒷편에 50KHz用 超音波標識를 부착하여 蓄養槽內에서의 行動을 관찰한 다음 定置網漁場 부근에 放流하여 방어의 行動을 추적하였다.

放流당시의 供試魚는 蓄養槽 관찰에서의 같은 크기의 방어에 超音波標識를 부착하고 여기에 나일론 18합사 20m의 줄을 φ10cm×L15cm인 합성수지 뜬에 연결하여 放流하였다.

超音波標識에 의한 單體魚의 行動追跡

行動追跡은 Fig.6와 같이 소형선에 hydrophine을 0.5m의 水中에 고정설치하여 單體魚로 부터 發사된 超音波信號를 水中音壓計에 입력하고 Pre-AMP와 Main-AMP로 증폭시켜 speaker를 통하여 청취하면서 追跡하였으며, 그 位置는 Loran-C(MICROLOGIC, ML-8000)로 구하였다.

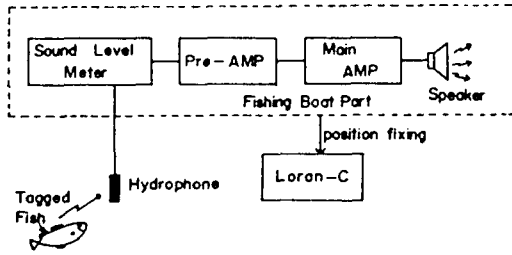


Fig.6. Tracking systems of the tagged fish.

結果 및 考察

1. 超音波標識의 指向特性과 有效範圍

Fig.7은 방어에 부착한 超音波標識의 指向特性을 나타낸것으로 40KHz, 50KHz用 標識 모두 無指向特性을 나타내었으며, 50KHz用 標識는 振動面쪽이 반대쪽보다 다소 강한 指向特性을 보였으나 40KHz用 標識는 거의 같은 特性을 나타내었다.

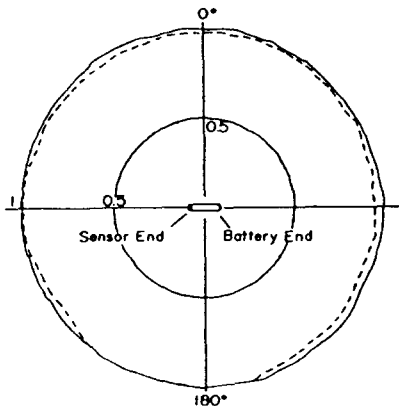


Fig.7. Side views acoustic signal radiation pattern of an ultrasonic tag.

— ; 40KHz ultrasonic tag
 ; 50KHz ultrasonic tag

Fig.8에서 50KHz用 標識는 40KHz用 標識보다 音壓레벨이 10dB높게 나타났으며, 두 標識 모두 10m에 0.6dB정도 감소하는 경향을 나타내었다. 水中音壓計의 測定範圍의 제한때문에 150m이상의 距離에서는 音壓측정은 곤란하였으나 40dB증폭시켜 50KHz用은 500m, 40KHz用은 200m 範圍까지 측정가능하였다.

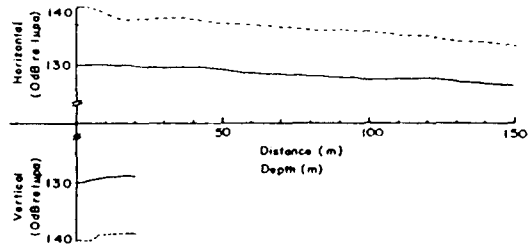


Fig.8. The vertical and the horizontal sound level in accordance with distance and depth for the ultrasonic tag.

— ; 40KHz ultrasonic tag
 ; 50KHz ultrasonic tag

2. 蓄養槽내에서의 單體魚의 行動追跡

50KHz 超音波標識를 Fig.5와 같이 實驗水槽 (L3×B3×D2m)의 10개의 고정점(S₁~S₁₀)에 놓고, 受信振動子 R₁, R₂, R₂와 R₃간의 時間差를 측정하여 (5)式과 (6)式으로 구한 計算位置와 實測位置를 비교한 결과는 Table 1과 같다. Table 1에서와 같이 計算位置와 實測位置는 거의 일치하였으므로 蓄養槽내에서의 單體魚의 行動追跡은 受信振動子間的 時間差를 측정하여 雙曲線航法方

Table 1. Comparison between the actual and the calculated position in accordance with the stations

Station	Actual position		Calculated position	
	Xa(m)	Ya(m)	Xc(m)	Yc(m)
S1	1.50	0.30	1.50	0.29
S2	1.50	0.70	1.50	0.68
S3	1.50	1.10	1.50	1.08
S4	1.50	1.50	1.50	1.50
S5	1.90	1.50	1.92	1.50
S6	2.30	1.50	2.33	1.50
S7	2.70	1.50	2.74	1.50
S8	1.78	0.94	1.76	0.92
S9	2.34	0.64	2.32	0.66
S10	2.62	0.36	2.60	0.37

式으로 單體魚의 位置를 구하여도 좋을 수 있었다.

Fig. 9는 蓄養槽(L5×B5×D5m)에 體長 38 cm, 體重 0.8kg인 방어 *seriola quinqueradiata* TEMMINCK et SCHLEGEL의 등지느러미 뒷쪽에 50KHz用 超音波標識을 Fig. 10와 같이 부착하고, 受信振動子間의 時間差를 측정하여 방어의 行動을 追跡한 결과이다.

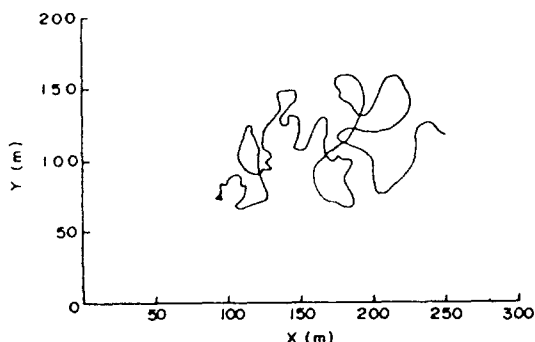


Fig. 9. Movements of the tagged fish in breeding tank.

▲ ; starting point which plant with tagged fish

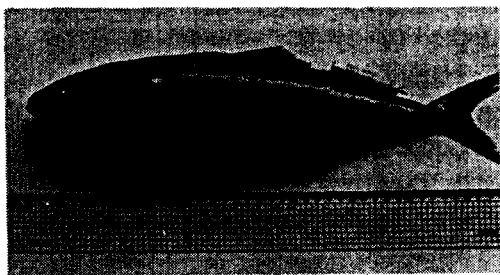


Fig. 10. Yellowtail fitted with 40KHz ultrasonic tag.

Fig. 9에서 방어는 주로 蓄養槽의 중심 부근에서 1~2m 水中에서 불규칙적인 行動을 취하고 있음을 알 수 있었으며, 放流 직후에는 빠른 速度로 상하로 움직였으나 시간이 경과함에 따라 차츰 느린 速度로 수평방향으로 行動함을 알 수 있었다. 이와같은 원인은 放流 직후에는 標識의 부착으로 방어가 놀라게 되고, 標識의 무게 때문에 魚體가 평형상태를 유지하기가 어려웠던 때문이라 생각된다.

이와같은 결과는 定置網내에서의 單體魚의 行動特性을 규명하는데 유용하리라 생각된다.

3. 定置網漁場 부근에서의 單體魚의 行動追跡

Fig. 11은 1988년 12월 3일(1차 追跡)과 1989년 4월 15일(2차 追跡)에 定置網漁場에서 Fig. 12와 같이 방어 *Seriola quinqueradiata* TEMMINCK et SCHLEGEL의 등지느러미 뒷쪽에 40KHz用 超音波標識을 부착하여, 1차 追跡時는 定置網으로부터 북동쪽으로 약 1Km정도 떨어진 外海에서, 2차 追跡時는 定置網으로부터 서쪽으로 약 1Km 떨어진 海岸 가까이에서 放流하여 그 行動을 追跡한 결과이다.

측정당시의 해상은 아주 잔잔하였고 停潮時로 水溫은 각각 14°C, 18°C였다. Fig. 11에서 1, 2차 모두 放流初期 約 2~3分間은 10m길이로 향하

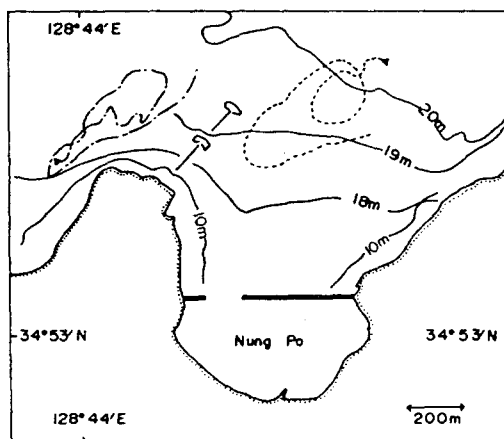


Fig. 11. Tracking area and route for the tagged fish in the fishing ground of set net.

— — — ; Tracking route observed in 1988

- - - - - ; Tracking route observed in 1989

▲ ; Starting points which plant with the tagged fish

⊔ ; Set net

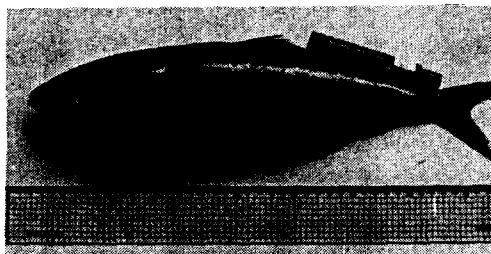


Fig. 12. Yellowtail fitted with 50KHz ultrasonic tag.

고, 5분 이후부터는 5~8m깊이에서 다소 느린 속도로 遊泳하였으며, 全測定時間 동안의 遊泳速度는 0.5~1.5Kts정도였다. 또한 移動經路는 1.2次 모두 遊泳初期에는 S字形으로 이동하다 크게 좌선회를 하면서 外海쪽으로 나아가는 경향을 나타내었다.

本 實驗에서는 實驗의 諸條件의 制約으로 環境要因에 따른 移動經路, 遊泳速度, 遊泳層 등을 분석할 수 없었으나 定置網漁場에서의 單體魚의 行動追跡에 유용한 방법임을 확인할 수 있었다.

要 約

韓國沿岸漁場에서 魚群의 行動特性을 정확하게 파악할 수 있는 基礎資料를 제공하고자 超音波標識을 製作하여 그 標識의 性能과 蓄養槽내에서의 定置網漁場내에서의 單體魚(供試魚:방어)의 行動特性을 分析, 檢討한 結果, 製作한 40KHz 超音波標識과 VEMCO社의 50KHz 超音波標識는 無指向特性으로 각각 200m, 500m거리에서 追跡이 가능하였다.

蓄養槽內에서는 放流初期에는 불규칙적인 行動을 하였으나 시간이 경과함에 따라 안정된 速度로 行動함으로서 定置網내에서의 行動特性을 관측하는데 유용할 것으로 기대된다.

定置網漁場에서 放流하여 追跡한 結果, 漁場내에서의 移動經路, 遊泳速度 등을 정확하게 측정할 수 있어 魚群의 魚道를 정확하게 파악할 수 있음을 확인할 수 있었다.

謝 辭

本 研究를 遂行함에 있어 超音波標識 製作과 實驗에 많은 노력을 하여준 釜山水產大學 李昊在 教授, 黃斗漆君, 崔漢叫君과, 群山水產專門大學 李元羽 教授와 材料購入에 협조하여준 東京水產大學 申鉉玉君에게 진심으로 感謝하며, 現場實驗場所를 제공하여주신 菱浦水產公司 裴正燮 社長님과 職員一同에게 진심으로 感謝드리는 바입니다.

文 獻

1. Henderson, H.F., Hasleer, A.D. and G.G.

- Chipman(1966): An Ultrasonic Transmitter for Use in Studies of Movements of Fishes. Lab. of Limnology, University of Wisconsin, 350-356.
2. Kuroki, T., Kawasaki, K., Sakamoto, W. and H.Watanabe(1971): A New Telemetric Apparatus of Detect Fish Location and Its Surrounding Water Temperature. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. Vol.37(10), 964-972.
3. Luke, D.MeG. and D.G.Pincock(1973): Pressure-sensing Ultrasonic Transmitter for Tracking Aquatic Animals. J.Fish.Res. Board Can. Vol.30(9), 1402-1404.
4. Hawkins,A.D., MacIennan,D.N., Urguhart,G. G. and C.Robb(1974): Tracking Cod Gadus Morhua L. in a Scottish Sea Loch. J. Fish. Biol.6, 225-236.
5. Urik,R.T. (1975): Principles of Underwater Sound for Engineers. McGraw Hall Book Co., Nea York, 93-177.
6. Kelly,S.(1975):Experimental Oceanography. Howard W. Sams & Co., Inc., Indiana, 79-90.
7. Roberts,J.L. (1975): An Advanced Acoustic Position Reference System. Offshore Technology Conference 6200, 265-276.
8. Pincock,D.g. and D.McG.Luke(1976): Systems for Telemetry from Free-swimming Fish. Underwater Telemetry Laboratory, University of New Brunswick, 175-186.
9. Hamada,E. (1976): Study on the Ultrasonic Corner Reflector for Fish Finder, J.Tokyo Univ. Fish. Vol.63(1), 57-65.
10. Miura,T., and S.Nishiyama (1976): The Telemetric Trial Apparatus for Fish Location. Bull. Soc. Sci. Fish. Vol.42(10), 1077-1082.
11. Miura,T., Nakamura,H. and S.Nishitama (1977): Graphic Data Processing Systems for a Position Finding Telemetrics Apparatus. Bull. Japan Soc. Sci. Fish. Vol.42(10), 1157-1161.
12. Geyer,E.M., Foltz,T.m. and R.S. Warren (1978): Acoustic Beacon-aided Navigation in the Deep Ocean. EEEE 1978 Position Location Navigation Symp, 225-230.

13. Green,P. (1978): Position Fixing Using Underwater Acoustic Beacons. The Hydrographic Journal Vol.(11), 21-29.
14. Henry,T.D. (1978): Acoustic Transponder Navigation. IEEE 1978 Position Location Navigation Symp. 237-244.
15. Makita,M. Yoshida,K. and N.Bada (1979): An Application Radio Wave Telemetry System for the Study of Far Seals Behavior on the Breeding Islanda. Bull. For Seas Fish. Res. Lab. Vol.17, 214.
16. Hawkins,A.D., Urguhart, G.G. and W.M. Shearer (1979): The Coastal Movements of Returning Atrantic Salmon, Salmo Salar(L.). Scottish Fish. Res. Report 15, 1-14.
17. Mimoto,K. (1980): Analytical Studies on the Fish Behavior with Acoustic Devices-I. Bull. Seikai Res. Fish. Lab. Vol.55, 45-51.
18. Smith,G.W., Hawkins,A.D. and G.G.Urguhart (1981): Orientation and Energetic Efficiency in the Offshore Movements of Returning Atlantic Salmon Salmo salar(L.). Scottish Fisheries Res. Report 21, 1-22.
19. Ross,L.G., Warrs,W. and A.H.Young (1981): An Ultrasonic Biotelemetry System for the Continuous Monitoring for Til-Beat Rate from free-swimming Fish. J. Fish. Biol. Vol. 18, 479-490.
20. Youm,M.K. (1981): Selective Response of the Ses Bass and the Gray Rock Cod to the colosed twines. Bull. Korean Fish.Tech.Soc. 17(1), 1-6.
21. Yong,Y.R. (1981): Response of Filefish to the Colored Lights. Bull.Korean Fish.Tech.Soc. 17(1), 7-12.
22. Kim,D.S. and G.D. Yoon (1982): The Spectrum of Feeding Sound and the response of Seabass, Filefish and Swellfish. Bull. Korean Fish. Tech.Soc. 18(2), 71-76.
23. Konagaya,T. (1982): A New Telemetric Method of Determining the Position of Swimming Fish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48(11), 1545-1550.
24. Ciani,J.B., Asec,M. and H.D.Palmar (1982): Acoustic Techniques for Offshore Positioning. ASCE, Vol.108(SU1), 34-45.
25. Lee,D.J. and H.I.Shin (1983): Ultrasonic Reflection Characteristics of the Underwater Corner Reflector. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 19(1), 25-32.
26. Holland,K., Brill,R., Ferguson,S., Chang,R. and R.Yost (1985): A Small Vessel Technique for Tracking Pelagic Fish. Marine Fish. Review, Vol.47(4), 26-32.
27. Hawkins,A.D. and G.W.Smith (1986): Radio-tracking Observations on Atlantic Salmon Asending the Aberdeen Shire Dee. Scottish Fish. Res. Report 36, 1-22.
28. Shin,H.I. (1986): Schooling Behavior and Estimation of Volume of the Fish School in Set Net by Fish Finder. Bull.Korean Fish. Soc.22(1), 11-18.
29. Konagaya,T. and Q.H.Cai (1987): Estimation for the Behavior Silver carp and Bighead. Ecological Studies on Water Quality Control and Desirable Fish Production of East Lake Report 2, 33-48.
30. Shin,H.O. and H.I.Shin (1987): Telemetry of the Underwater Noise. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 23(1), 11-17.