

양식 가물치 (*Channa argus*)의 행동에 미치는 파일작업 소음의 영향에 관한 연구

신 현 옥

부산수산대학교 해양산업개발연구소

Effect of the Piling Work Noise on the Behavior of Snakehead (*Channa argus*) in the Aquafarm

Hyeon Ok SHIN

Research Center for Ocean Industrial Development

National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

This paper describes the relationship between the behavior of the snakehead (*Channa argus*) of 44cm long and the environmental noise levels due to the piling work. The experiment is conducted in the aquafarm located near Asan lake, Pyongtaek in 1993.

The fish trajectory is obtained by a biotelemetry system in which a pulsed ultrasonic pinger attached onto the dorsal is tracked three dimensionally, and the noise and the vibration levels both in air and in water are measured. The results of this study are as follows:

1) The noise levels in water and in air and the vibration level measured at a distance of 90m from the noise source, increased by 36.5dB (re 1 μ Pa), 23dB (re 0.0002 μ bar) and 5.9 μ m respectively compared to the levels before piling.

2) The highest variation of the swimming speed was observed right after the piling works and the width of variation decreased with the elapsed time. The average speeds of the fish before and during the works were measured as 0.8 times and 1.1 times of the body length, respectively.

3) It is found that the fish escapes into the mud of the aquafarm when a heavy shock wave occurred. Consequently, the heavy shock by the piling works could produce a considerably unfavorable effect to the fish.

Key words : behavior of snakehead, swimming speed of fish, piling work noise, ultrasonic pinger, biotelemetry

서 론

육상에서 특정 시설물을 설치하기 위하여 공사를 할 때 공사장을 출입하는 차량에 의한 교통소음, 파 일이나 발파 등의 작업에 기인한 소음 및 진동이 작업장 주변의 양어장에 서식하는 어류의 행동에 영향을 주어 성장율을 저하시키고, 소음이나 진동이 심한 경우에는 어류를 다량 치사케하는 것으로 알려져 있다. 주변소음 혹은 생물 소음을 측정 한 보고 (Ha and Yoon, 1983; Shin and Shin, 1987)는 다수 있으나

공사장의 소음이나 진동이 어류의 행동에 어떤 영향을 미치는지에 대한 보고는 거의 없었다.

공사장에서 발생하는 소음원은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 주로 파일작업에 따른 소음과 진동이 시험어의 유영행동에 미치는 영향에 대하여 논하고, 타 소음원에 관해서는 고찰에서 언급하였다.

재료 및 방법

1. 실험 양어의 환경

실험은 1993년 9월 12일 경기도 평택시 신대리의 아산호 부근에 위치한 육상 양어장에서 실시하였다 (Fig. 1). Fig. 1에서 검은 사각형으로 나타낸 A, B는 각각 송전철탑을 설치하기 위하여 파일작업과 발파작업을 행한 곳이다. 검은 원으로 나타낸 a는 실험 양어장으로서 파일작업시의 소음과 진동 및 시험어의 유영행동을 측정할 곳이고, b는 트럭의 통행으로 인한 소음과 진동을, c~f는 발파작업시의 소음과 진동을 측정할 장소이다. 양어장과 인접한 아산호의 제방을 따라 5개의 송전철탑 기초공사가 이루어지고 제방 우측에는 130여개의 양어장이 밀집되어 있다.

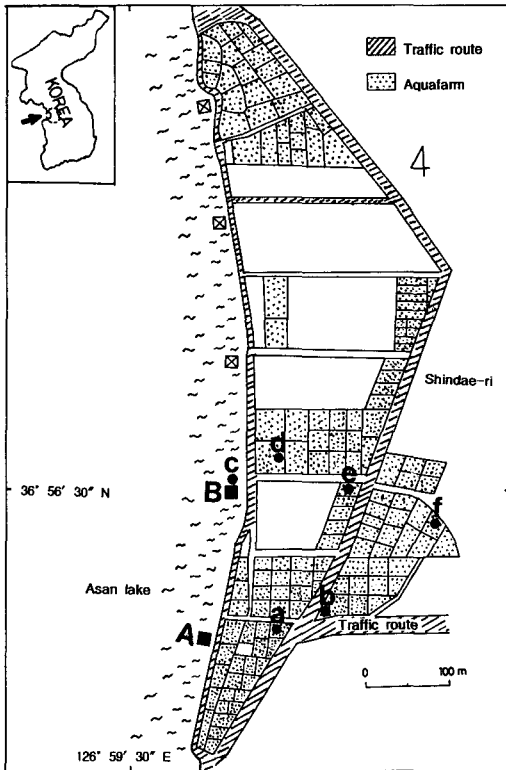


Fig. 1. Location of observations.
 ■ A: area of piling work
 ■ B: area of setting off the dynamites
 ● a: test aquafarm
 ● b: observation points of traffic noise and vibration
 ● c~f: observation points of noise and vibration during setting off the dynamites

실험 양어장 (19×25×1.5m)은 논을 개조하여 만든 것으로 양어장내에는 체장 약 20cm인 가물치를 3,000마리 정도 기르고 있었고, 그 부근에 있는 양어장에서도 동일 어종을 사육하고 있었다. 양어장 둑은 흙으로 만들어져 있고, 양어장내의 둑 가까이에는 수초가 무성하였으며, 양어장내의 물은 매우 탁한 편이었다. 가물치의 행동을 조사하는 동안은 공사 시행자인 한국전력공사의 협조를 구하여 파일작업만을 계속하게 하고, 작업장 주변 400m이내의 트럭통행은 제한하였다. 가물치는 인기척에도 놀라는 성질이 있으므로 실험 양어장 주변에는 사람의 통행도 제한하였다. 파일작업장과 양어장의 거리는 약 90m이었다. 파일작업은 1개공 마다 디젤 햄머를 이용하여 길이 10m의 파일을 박은 후 다시 길이 10m의 파일을 용접 연결하여 박는 작업을 계속하며, 파일의 끝이 암반층을 어느 정도 뚫고 들어갈 때 까지 파일박기를 계속하였다.

주변 공사로 인한 수중 소음 레벨과 가물치의 유영행동을 비교 분석하기 위하여 양어장내에 수중청음기를 넣고, 양어장 둑에 설치한 수중 음압계 및 녹음기로 수중 소음 레벨을 측정하면서 녹음할 수 있도록 하였다. 가물치의 유영행동은 가물치에 부착시킨 초음파 펄서, 양어장의 4 모서리에 설치한 지향성 수파기 4개, 펄서의 신호를 증폭하는 4채널 수신기 및 펄서의 위치계산, 표시, 데이터 저장 등에 사용하는 퍼스널 컴퓨터로 구성된 바이오텔레메트리 (biotelemetry) 시스템으로 측정하였다.

2. 소음 및 진동 측정 장치

수중 소음 레벨은 공사전인 1993년 8월 16일과 파일작업을 개시한 1993년 9월 12일에 수중음압계 (OKI, SW-1007) 및 수중청음기 (OKI, ST-1001)를 이용하여 실험 양식장에서 5분 동안 측정된 평균치를 직독하였고, 소음 데이터는 스펙트럼 분석을 위하여 소형 녹음기에 기록하였다. 수중음압계에서 사용한 필터는 10Hz의 HPF (High Pass Filter)와 10kHz의 LPF (Low Pass Filter)이었다.

공사에 따른 지표의 진동은 휴대용 진동/음압계 (IRD Mechanalysis, Model 308M)를 이용하여 현장에서 직독하여 측정하였다. 진동은 지표면에 설치한 표면이 매끄럽고 평탄한 석편 위에 진동센서를 고정시

Table 1. Specifications of equipments used in the noise level and the vibration measurement

Equipments	Specifications
Hydrophone (OKI, ST-1001)	Frequency range: 10Hz to 50kHz (± 5dB) Receiving sensitivity: -180dB (0dB=1V/μPa, pre-amp gain included)
Underwater sound level meter (OKI, SW-1007)	Gain range: 80dB (10dB×7+1dB×10) Frequency range: 7Hz to 90kHz (± 3dB)
Vibration sound level meter (IRD Mechanalysis, 308M)	As vibration meter Frequency range: 12 to 1000Hz with vibration pickup sensor Maximum sensitivity Peak-to-peak displacement: 0.03μm Peak velocity: 0.03mm/sec Amplitude range Peak-to-peak displacement: 0 to 3000μm Peak velocity: 0 to 3000mm/sec As sound level meter Frequency range: 20 to 10kHz (± 3dB) with microphone Amplitude range: 45 to 140dB (re 0.0002μbar)

켜 측정하였고, 공중 소음은 소음원을 향한 마이크로 폰을 관측자의 허리 부위에 고정시켜 측정하였다. 소음 및 진동 측정 장치의 제원은 Table 1과 같다.

3. 시험어의 유영행동 측정 장치

바이오텔레메트리 기법은 생물체의 행동을 감시하기 위한 목적으로 많이 활용되고 있고, 트랜스폰더 (transponder) 혹은 핑거 (pinger) 등의 초음파 송신기를 감시 대상체에 부착시켜 그 대상체의 위치를 추적한다. 어류를 추적대상으로 하는 경우에는 트랜스폰더 (Mitson and Storeton-West, 1971; Arnold and Metcalfe, 1989) 보다 장치가 간단하여 비교적 소형인 초음파 핑거를 많이 이용한다. 제한된 수역이 아닌 경우에는 청음방식 (Ichihara et al., 1972; Gray and Haynes, 1979)으로, 제한된 수역인 경우에는 장기선

(LBL, Long Base Line) 방식 (Hwkins et al., 1974; Konagaya, 1982; Konagaya and Cai, 1988; Shin, 1992; shin et al., 1994a, 1994b, 1994c)으로 초음파 핑거의 위치를 추적하는 경우가 많다.

시험어는 육상 양어장에서 사육되고 양어장의 크기도 제한되어 있으므로, 초음파 핑거를 부착한 어류의 행동을 LBL 방식으로 추적한다. 시험어의 위치를 추적하기 위해서 초음파 핑거와 수신부, 그리고 핑거의 신호를 처리하여 그 위치를 표시하는 퍼스널 컴퓨터로 추적 장치를 구성하였다.

1) 초음파 핑거

실험에 사용한 심도형 핑거의 제원은 Table 2와 같다.

사용한 핑거의 초음파 펄스 주기는 핑거의 심도에 따라 0m에서 950msec, 200m에서 3,190msec로 변하며,

Table 2. Characteristics of pinger used

Type	Frequency (kHz)	SL (dB/1μpa at 1m)	PW (msec)	Range (m)	Size (mm)	Weight in water(g)	Life(days at 1Hz)	OSC. mode
Depth pinger	52.5	160	20	1000	φ20×L100	2.4	7	RC

* SL: source level; PW: pulse width.

핑거의 심도 $z(m)$ 와 펄스 주기 $T(msec)$ 사이에는 다음의 관계가 있다 (Shin et al., 1994a).

$$z = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4 \quad (1)$$

단, $a_0 = -6.046882E+02$, $a_1 = 1.116411E+00$, $a_2 = -6.675300E-04$, $a_3 = 1.906780E-07$, $a_4 = -2.079662E-11$ 이다.

2) 바이오텔레메트리 시스템의 구성 및 배치
실험에 사용한 바이오텔레메트리 시스템은 자체 제작한 것으로 그 구성의 개략도를 나타내면 Fig. 2와 같다.

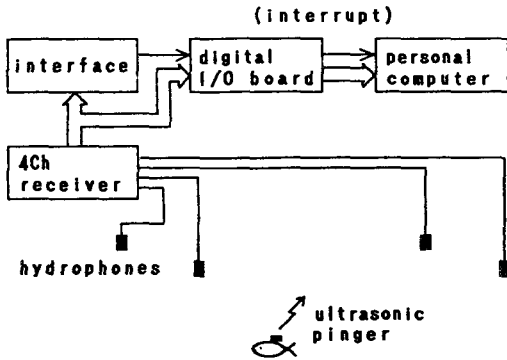


Fig. 2. Schematic diagram of biotelemetry system.

시험어에 부착시킨 초음파 핑거로부터의 펄스 신호를 사각형 양어장의 4 모서리에 배치한 지향성 수파기로 수파하여 4채널 수신기에 입력시키면, 수신기에서는 미약한 펄스 신호를 신호처리에 충분한 레벨로 전압증폭(최대 115dB)시킨 후 검파한다. 수신기의 수신 대역폭은 1500Hz (-3dB)이다. 검파된 신호는 파형정형회로를 거쳐 ON/OFF의 타이밍 신호로 변환되고, 인터페이스 보드와 디지털 I/O 보드에 공급된다. 4개의 수파기중 어느 수파기에서 핑거의 신호를 먼저 수신하면 OR gate로 구성된 인터페이스 보드에서 인터럽트 신호를 발생시켜 I/O 보드를 통하여 퍼스널 컴퓨터에 신호처리를 요구한다. 퍼스널 컴퓨터에서는 가장 먼저 수신된 수파기의 타이밍을 기준으로 하여 나머지 수파기에서 동일 신호가 수신되기 까지의 시간의 차이 즉 수신시간차를 측정하여 핑

(ping) 마다의 핑거의 위치를 계산하여 그 위치를 컴퓨터 화면에 표시하고, 데이터를 하드 디스크에 저장한다.

바이오텔레메트리에서 수파기는 무지향성이 바람직하나 실험 당시에는 무지향성 수파기를 구비하지 못한 관계로 지향각이 $40^\circ(-3dB)$ 인 지향성 수파기를 사용하였으며, 수파기의 수파면이 양어장의 중앙을 향하도록 수면하 50cm에 설치하였다. 수신 거리가 짧기 때문에 시험어가 주엽(main lobe)의 지향각을 벗어나는 경우가 있더라도 부엽(side lobe)을 이용하여 수신할 수 있었다.

3) 핑거의 위치 계산

핑거의 위치를 3차원으로 계산하기 위해서는 압력 센서를 사용하는 것이 위치의 정확도를 높일 수 있고, 이 경우에는 3개의 수파기로 핑거의 3차원 위치를 구할 수 있다. 이 실험에서 수파기를 4개로 한 것은 지향성에 따른 사각 지대(shadow zone)를 줄이는 효과와 더불어 계산 위치의 정확도를 높이기 위함이다.

핑거의 3차원 위치 계산은 수신거리차 (=수신시간차×수중 음속)를 이용하는 쌍곡선위치결정법으로 하였으며, Shin et al. (1990)의 입체 위치계산 알고리즘을 사용하였다.

4) 시험어 및 핑거 부착

시험어는 채란을 위하여 현장의 산란장에서 사육하고 있던 체장 44cm, 체중 1.3kg인 가물치(Snakehead, *Channa argus*)이다. 가물치는 잡식성이며, 주변의 소음이나 진동에 민감하게 반응하여 수면 위로 뛰어 올랐다가 바닥의 진흙탕 속으로 숨는 행동을 보였으며, 몸은 가늘고 길며, 등쪽은 검은 색을 띤 창갈색으로 되어 있고, 배쪽은 황백색에 가까웠다.

초음파 핑거는 가물치의 등지느러미 뒷부분 근육질에 낚시와 면사를 이용하여 부착시키고, 부착 즉시 실험 양어장내에 방류하였다. 가물치의 유영행동은 방류후 약 12시간 경과한 시점 부터 추적하였다.

결 과

1. 소음 및 진동 측정 결과

Table 3은 1993년 8월 16일 송전 철단건설을 위한

Table 3. Measured underwater noise levels without piling work

No. of aquafarm	Noise in water (dB re 1μPa)	No. of aquafarm	Noise in water (dB re 1μPa)	No. of aquafarm	Noise in water (dB re 1μPa)	No. of aquafarm	Noise in water (dB re 1μPa)
1	110.0	14	109.0	28	107.0	57	97.0
2	111.0	15	105.5	29	102.0	58	112.5
3	108.0	16	111.0	30	112.0	59	113.0
4	114.0	17	109.0	31	95.0	60	100.0
5	115.0	18	107.0	32	107.0	61	103.5
6	120.5	19	108.0	33	102.0	62	110.0
7	109.5	20	109.0	34	102.5	63	108.0
8	104.0	21	110.0	35	112.0	65	116.5
9	113.0	22	110.0	36	109.0	66	104.5
10	104.0	23	117.0	37	110.0	67	99.0
11	105.5	24	109.0	49	99.0	68	117.0
12	104.5	25	107.0	50	101.0	69	106.0
13	109.0	27	110.0	56	113.0	70	120.0
Mean	106.6						

기초공사를 중지한 상태에서 실험 양어장을 포함하여 그것과 인접하여 있는 타 양어장에서 측정된 수중 소음레벨을 나타낸 것이다. 측정당시 주변을 통행하는 차량은 없었으며, 맑은 날씨 속에서 측정된 양어장 전체의 평균치는 106.6dB (re 1μPa)이었다. 이 때의 평균 공중소음 레벨은 61.3dB (re 0.0002μbar), 평균 진동변위는 0.2μm 이내로 측정되었다.

Table 4. Measured underwater noise level and vibration level in aquafarm(No. 19) during piling works

Distance(m) from source of noise	Noise in water (dB re 1μPa)	vibration (μm)
90	130.0	0.5
	126.0	0.7
	145.0	2.0
	147.0	22.0
	146.0	—
	153.0	10.0
	150.0	4.0
	148.0	3.6

Table 4는 파일작업시 실험 양어장에서 측정된 소음 및 진동을 나타낸 것이다. 수중 소음 레벨의 최

대값은 20m 파일이 암반층을 뚫고 들어갈 무렵으로 153dB, 최소값은 10m 파일이 아산호의 니질 바닥을 관통할 때로 126dB, 평균치는 143.1dB이었으며, 표준편차는 9.7이었다. 진동변위는 최대 0.3μm, 최소 0.1 μm, 평균 6.1μm로 나타났으며, 표준편차는 7.7이었다. 이 때의 공중 소음 레벨의 평균은 84.3dB, 진동속도는 평균 0.18mm/sec이었다. 파일공사로 인하여 수중 소음 레벨은 36.5dB, 공중 소음은 23dB, 진동변위는

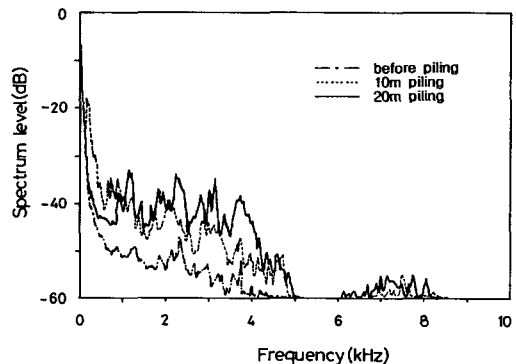


Fig. 3. Power spectrum levels of underwater noise in aquafarm before and during piling works. The solid line and the dotted line show the spectra during 20m long and 10 m long piling, respectively, and the third spectrum of the lowest level is that before piling work.

5.9 μ m로 각각 증가하였다. 이 Table에서 공란은 측정하지 않았음을 나타낸다.

파일작업 기간중에 측정된 수중 소음의 스펙트럼을 나타내면 Fig. 3과 같다. 1점 채선, 점선 및 실선으로 나타낸 것은 각각 파일작업전, 10m 파일작업시 및 20m 파일작업시의 수중 소음 스펙트럼 레벨을 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 파일작업전에 측정된 수중 소음은 2.4 kHz 및 3.7kHz 부근에서 피크가 나타났으나, 10m 파일작업시의 스펙트럼은 0.8kHz, 2.1kHz, 2.8kHz 및 3.7 kHz 부근에서 피크를 보이고 전반적인 수중 소음 레벨이 파일작업전에 비하여 10~30dB 증가한 경향을 나타내었다. 20m 파일작업시의 스펙트럼은 피크가 나타나는 주파수대가 10m 파일작업시 보다 0.3kHz 정

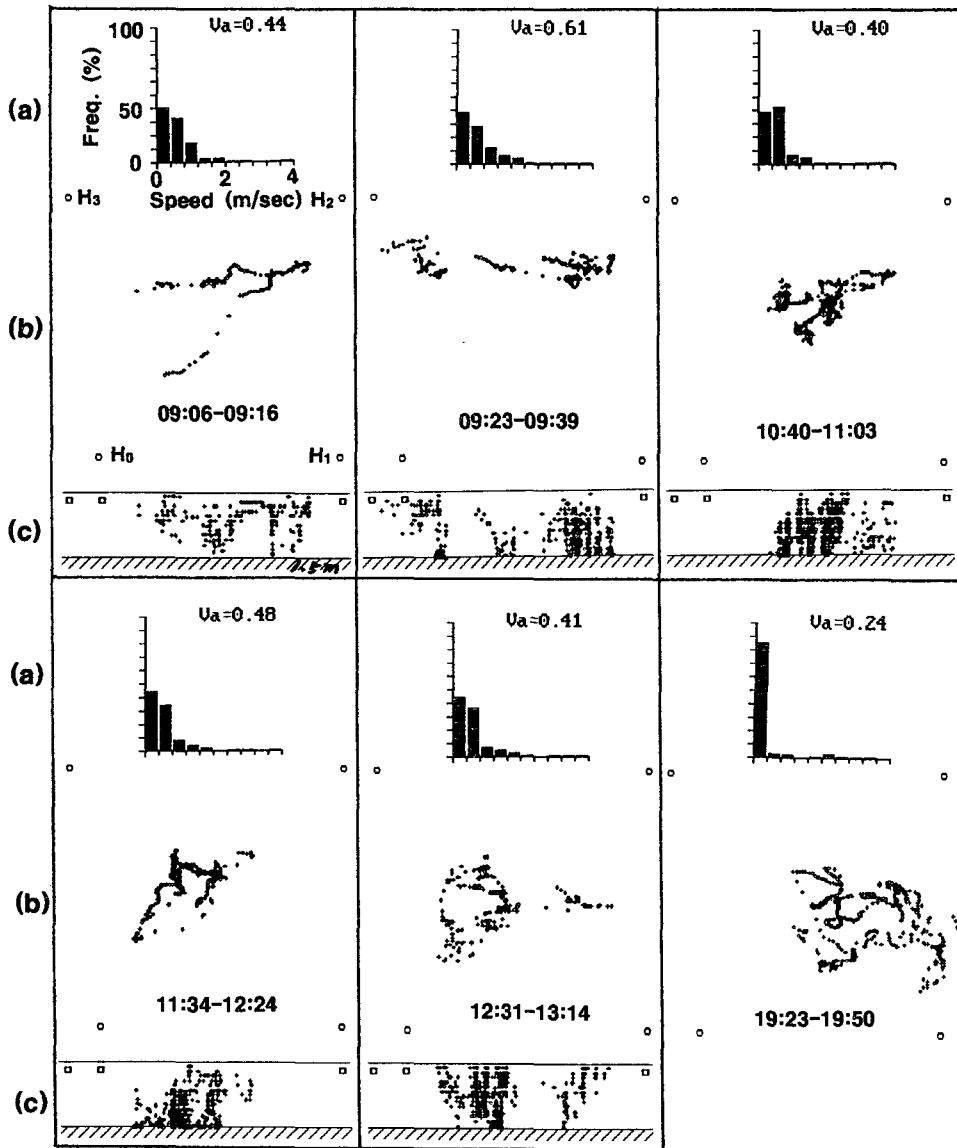


Fig. 4. Behavior of the snakehead by the time which is related to the frequency of the piling work. (a) swimming speed, (b) distribution of horizontal behavior, (c) distribution of vertical behavior.

도 높아지면서 7dB 정도 레벨이 증가하였다.

2. 유영행동 측정 결과

Fig. 4는 파일작업전, 파일작업중, 파일작업후의 가물치의 유영속도 분포, 평면 유영행동, 수직 유영행동을 나타낸 것이다. 파일작업 개시전인 09:06~09:16에는 평균 유영속도가 0.44m/sec이었고 유영행동은 평면적으로는 대체로 1구간, 2구간, 3구간 쪽에 분포하면서 수직적으로는 수면 가까이, 중간층 및 양어장 바닥으로 고르게 분포하는 경향을 보였다. 파일작업 개시 직후 부터 길이 20m 파일 1개에 대한 작업이 진행된 09:23~09:39에는 평균 유영속도가 0.61m/sec이었고, 평면적으로는 공사장으로 부터 먼 쪽 즉 1구간과 2구간으로 이동하였으며, 수직적으로는 양어장의 2구간 바닥 쪽으로 도피하였다가 다시 우측으로 이동하여 1구간 쪽에서 양어장의 중간층과 바닥사이를 격렬하게 상하운동하는 유영행동을 나타내었다. 이것으로 부터 가물치는 소음 및 진동의 초기변화에 상당히 민감하게 반응함을 알 수 있다. 이후 다른 파일을 박기 위하여 준비하는 동안 (10:40~11:03)에는 평균 유영속도가 0.40m/sec로 감소하면서 양어장 중앙부에 머물러 상하운동하는 경향을 보였고, 다시

파일을 박는 굉음과 진동이 있는 동안 (11:34~12:24)에는 가물치의 행동 상태 및 범위는 파일 준비중인 때와 비슷한 경향을 보이고 있으나 평균 유영속도는 0.48m/sec로 다시 증가하였다. 그 후 파일작업을 중지한 시점 (12:31~13:14)에서는 평균 유영속도가 0.41m/sec로 다시 감소하였고, 일몰후인 19:23~19:50에는 비교적 넓은 범위에 걸쳐 평균 유영속도 0.24m/sec로 양어장내를 천천히 유영하는 것으로 나타났다.

이것으로 부터 가물치는 소음이나 진동에 의한 초기 자극에 민감하게 반응하였고, 초기 자극시 유영속도의 변화 폭이 가장 컸으며, 자극이 계속되면 유영속도의 변동 폭은 감소하였다. 또한 가물치는 야간보다 주간에 활동량이 많고, 심한 자극을 계속 받으면 도피처를 찾기 위한 상하운동이 많음을 알 수 있었다.

파일작업중의 평균 유영속도는 0.50m/sec, 파일작업이 없을 때의 평균 유영속도는 0.36m/sec이었으며, 파일작업중의 가물치의 평균 속도가 파일작업이 없을 때에 비하여 약 1.4배 빠른 것으로 나타났다.

Fig. 5는 경과시간에 따른 유영속도의 변동을 파일작업전과 파일작업중으로 나누어 비교한 것이다. Fig. 5의 (a)는 파일작업전의 유영속도 변동이고, (b)는

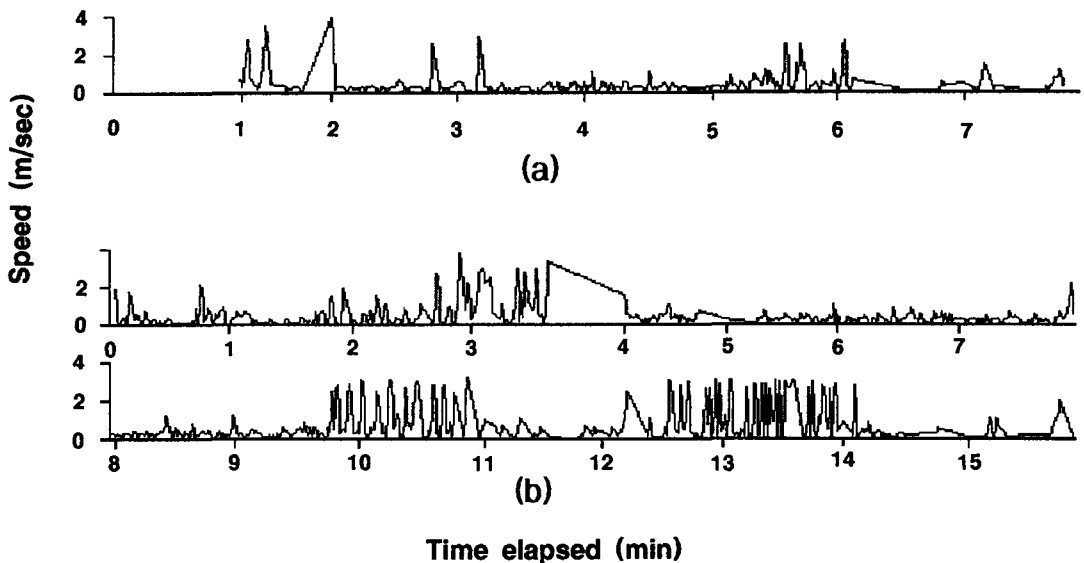


Fig. 5. Variation of swimming speed (a) before and (b) during piling works with elapsed time.

파일 작업 개시 직후의 유영속도의 변동이다.

Fig. 5의 (b)에서 길이 10m 파일이 박히기까지는 3~4분 정도 소요되었고, 진동이 심하지 않은 편이었다. 공사장인 아산호 제방 쪽에서는 암반층은 지하 15~17m에 존재하므로 길이 10m짜리 파일 1개를 용접으로 연결하는 약 5분간은 유영속도의 변동이 파일 작업전인 Fig. 5의 (a)와 유사하게 작았고, 파일이 암반층에 접근하여 암반층을 어느 정도 뚫고 들어갈 때까지 작업하는 동안은 유영속도의 변동이 상당히 컸다. 이 그림으로 판단하면 파일작업중에 발생하는 소음과 진동이 가물치의 행동과 생태에 심각한 영향을 끼칠 것으로 사료된다.

고 찰

Fig. 4에서 일몰 후인 19:23~19:50에 핑거의 압력센서에 이상이 생겨 시험어의 상하운동을 측정할 수 없었고, 실험후에 핑거를 회수하여 본 결과 핑거의 케이스와 압력센서 사이가 진흙으로 막혀 있었다. 이것으로 부터 시험어는 소음이나 진동에 의한 자극을

심하게 받으면 양어장 바닥의 진흙 속으로 도피하는 경우도 있음을 알 수 있다. 시험어의 유영행동을 측정함에 있어 위치 측정 오차 및 거리차 그리고 공사장에서 발생한 소음 중 공사 트럭의 교통과 발파에 의한 소음과 진동에 대하여 언급하면 다음과 같다.

1. 위치 측정 오차 및 거리차

핑거의 위치 측정 오차를 추정하기 위하여 시뮬레이션을 행하였고, 그 결과를 Fig. 6에 나타낸다. 이 그림의 마스터 (master) 수파기는 H_0 이다. 먼저 GDOP (Geometric Dilution Of Precision)를 계산하고, 측정한 거리차의 표준편차는 약 5cm이었으므로 그 값을 곱하여 작도하였다. 2쌍의 수파기를 연결한 선 즉 기선 (base line)상의 거리차의 측정 분해능은 2.5cm이었다.

Fig. 6의 (a)는 양어장 바닥 평면상의 위치 측정 오차를, Fig. 6의 (b)는 좌표 원점을 포함하는 수직면내의 위치 측정 오차를 나타내고 있다. 양어장내의 위치 측정 오차는 0.1m 이내였다.

초음파 핑거로 부터의 펄스 신호를 수신하여 수신 채널별로 수신거리차를 계산한 결과의 일례를 나타내면 Fig. 7과 같다. 거리차가 0인 것은 수파기 좌표의

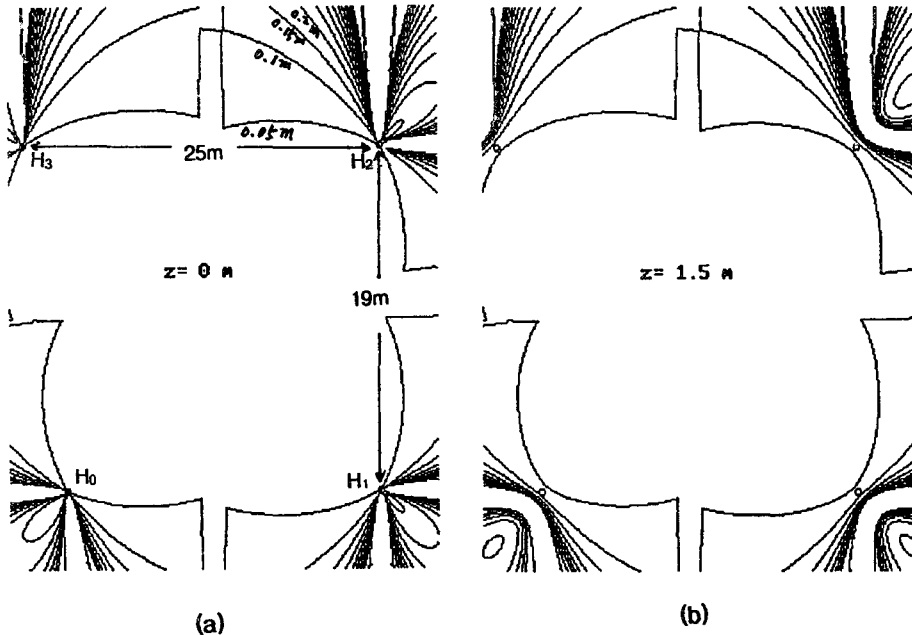


Fig. 6. Distribution of positioning error in test aquafarm by hyperbolic method.

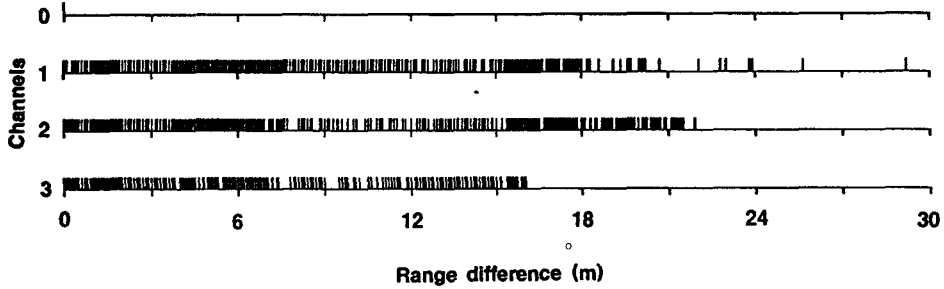


Fig. 7. An example of plotted range difference of each channel using the pulse signal of pinger.

원점 즉 양어장 중앙을 나타낸다. 핑거의 위치 계산에서는 가장 먼저 수신된 채널의 수파기가 주국 (여기서는 0번 채널)으로 되도록 하였으므로 주국을 기준으로 한 각 중국간의 수신거리차 Δr_i 는 다음 식으로 구하였다.

$$\Delta r_i = r_i - r_0 \quad (i=1, 2, 3) \quad (2)$$

단, r_i 는 핑거와 i 번 수파기간의 거리 (m)이다.

2. 트럭 통행 및 발파작업에 따른 소음과 진동

현장에서는 Fig. 1에서 사선으로 나타낸 통행로를 따라 송전철탑 공사를 위하여 돌과 흙을 실어 나르는 대형 덤프트럭의 통행이 빈번하였고, 이러한 트럭의 통행에 따른 소음과 진동을 거리별로 측정된 결과를 나타내면 Table 5와 같다. 같은 거리에서 측정하더라도 트럭의 속도, 적재상태, 노면상태 등에 따라 달라진다. 평탄한 곳에서 관측점 5m 전방을 만재한 트럭이 통과할 때 측정된 수중 소음 레벨은 느린속도일 때 148dB(re 1 μ Pa), 통상속도에서 154dB(re 1 μ Pa), 공차상태에서는 146dB(re 1 μ Pa)로 차이가 있었으나 여기서는 만재한 트럭을 대상으로 하였고 그 평균 값을 취하였다. 소음원까지의 거리는 소음원이 목표지점을 통과할 때의 위치를 지도상에 표시하여 계산하였다.

Table 5에서, 소음원으로 부터의 거리가 100m 이상 일 때에는 트럭의 통행으로 인한 소음과 진동이 자연상태와 비슷한 값을 나타내었고, 거리 50m 이하에서는 자연상태에 비하여 뚜렷하게 증가함을 알 수 있었다. 이 Table에서 공란은 측정하지 않았음을 나타낸다.

한편, 송전철탑 공사는 기초작업의 일환으로 파일 공법을 사용하는 곳과 콘크리트 우물통공법을 사용하

Table 5. Measured traffic noise level and vibration level by the distance

Distance (m) from source of noise	Noise in water (dB re 1 μ Pa)	Noise in air (dB re 0.0002 μ bar)	vibration (μ m)
5	152.0	101.0	9.5
15	138.0	-	-
50	130.0	80.0	3.0
100	120.0	64.0	-
150	124.0	60.0	0.2

는 곳이 있었다. 파일공법은 15m 이상을 파내려가야 암반층이 나오는 곳에서 사용하고 있었으며, 우물통공법은 비교적 암반층이 지하 얕은 곳에 존재할 때 사용하고 있었다. 후자는 대형 콘크리트 우물통을 만들어 중력으로 호수 바닥의 펄 속을 뚫고 들어가도록 시행하는 것으로 우물통의 침하 깊이가 증가함에 따라 토사 및 물에 의한 압력이 증가하여 어느 정도 이상에서는 암반층에 도달하지 못하였음에도 불구하고 더 이상 들어가지 않는 경우가 많았다. 이 때 소량의 다이너마이트를 사용하여 우물통 속에 넣고 일정 간격으로 폭발시키면 큰 진동이 발생하고 이 진동으로 말미암아 거대한 우물통이 대략 10~20cm 정도씩 침하하여 암반층에 도달하게 된다.

이러한 발파작업은 인근 육상 양어장에서 사육하는 양식어에 영향을 주어 대량 폐사 내지는 성장을 둔화시키는 경우가 많다. 본 연구에서는 시공업체의 협조를 구하여 거리별로 발파에 따른 소음과 진동을 측정하였고, 그 결과를 나타내면 Table 6과 같다. 발파작업은 수중에서 이루어지므로 발파지점으로 부터 140m 이상 떨어진 곳에서는 발파로 인한 공중 소음은

청각으로 거의 감지할 수 없거나 매우 약하였다. 그래서 공중 소음 레벨은 한 지점에서만 측정하였다. 이에 반하여 수중 소음 레벨과 진동변위는 거리 238m 지점에서도 자연상태의 평균치에 비하여 각각 42.4dB, 1.6 μ m로 증가하였고, 거리 10m 지점에서는 각각 약 69.9dB, 79.8 μ m로 증가하였다.

Table 6. Measured underwater noise level and vibration level by the distance during setting off the dynamites or the dynamites set off

Distance (m) from source of noise	Noise in water (dB re 1 μ Pa)	Noise in air (dB re 0.0002 μ bar)	vibration (μ m)
10	176.5	-	80.0
71	167.5	84.5	10.5
142	151.0	-	3.8
238	149.0	-	1.8

육상 소음원으로 부터 지중으로 전파되는 에너지는 구면확산하고, 소음원으로 부터 거리 r(m) 떨어진 곳에서 측정된 육상 양어장내의 수중 소음 레벨을 MNL (dB re 1 μ Pa)이라 하면, 소음원의 음원음압 레벨 SL (dB re 1 μ Pa at 1m)은 다음 식으로 부터 구할 수 있다.

$$SL = MNL + TL \quad (3)$$

단, TL은 에너지 전달손실 (dB)로서 $TL = 20 \log r + \alpha r$ 로 부터 계산할 수 있다. α 는 에너지의 흡수감쇠손실 (dB/km)을 나타낸다.

소음 레벨이 어느 정도일 때 어류의 생태에 얼마만큼 큰 영향을 미치는지 정량적으로 구하기 위해서는 신호대잡음비와 어류의 생태에 미치는 영향을 정량화하고 체계화하는 것이 선행되어야 할 것이다. 신호대잡음비 SNR은

$$SNR = SL - TL - NL \quad (4)$$

로 부터 구할 수 있다. 단, NL은 자연소음 레벨 (dB re 1 μ Pa)이다.

소음이 생물체에 미치는 영향을 정량화하기 위해서

는 외부 자극에 따른 어류의 심전도 변화 (Priede, 1983), 사료의 식이상태 등을 측정하는 것도 유익한 수단이 될 것이다.

요 약

공사 소음이 공사장 주변의 양식 가물치 (체장 44 cm)의 유영행동에 어떠한 영향을 미치는지 조사하기 위하여 1993년 9월 12일 경기도 평택시 신대리의 아산호 부근에 위치한 육상 양어장에서 파일작업전과 파일작업중의 소음 레벨과 진동을 측정하고, 바이오 텔레메트리 기법을 사용하여 유영행동을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 파일작업중 소음원으로 부터 약 90m의 거리에서 측정된 수중 소음 레벨, 공중 소음 레벨 및 진동 변위는 파일 작업전에 비하여 각각 36.5dB(re 1 μ Pa), 23dB(re 0.0002 μ bar) 및 5.9 μ m로 증가하였다.

2) 유영속도의 변화 폭은 자극을 가한 초기에 크고, 자극이 계속되면 그 변동 폭은 감소하는 경향을 보였다. 활동량은 야간 보다 주간이 많고, 심한 자극을 받으면 상하운동을 많이 하며 양어장 바닥의 진흙 속으로 도피하는 경우도 있음을 알 수 있었다.

3) 파일작업중의 평균 유영속도는 0.50m/sec (체장대비 1.1배), 파일작업이 없을 때의 평균 유영속도는 0.36m/sec (체장대비 0.8배)이었으며, 파일작업중의 가물치의 평균 속도가 파일작업이 없을 때에 비하여 약 1.4배 빠른 것으로 나타났다. 이러한 소음이나 진동으로 인한 자극은 가물치의 생태에 상당한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

사 사

이 연구의 일부는 부산수산대학교 해양산업개발연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었다. 실험어장의 제공과 실험에 적극 협력하여 주신 경기도 평택시 신대리의 가물치 양식업 관계자 여러분과 한국전력공사의 관계자에게 감사사를 표한다.

참 고 문 헌

- Arnold, G. P. and J. D. Metcalfe. 1989. Acoustic telemetry: progress and potential in understanding fish behaviour. Proc. I.O.A., 11(3), 96~103.
- Gray, R. H. and J. M. Haynes. 1979. Spawning migration of adult chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) carrying external and internal transmitters. J. Fish. Res. Board Can., 36, 1060~1064.
- Hawkins, A. D., D.N. MacLennon, G. G. Urquhart and C. Robb. 1974. Tracking cod *Gadus morhua* L. in a Scottish sea loch. J. Fish Biol., 6, 225~236.
- Ha, K. Y. and G. D. Yoon. 1983. The underwater ambient noise at Young-il Bay. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 16(3), 197~201.
- Ichihara, T., M. Sooma, M. Yoshida and K. Suzuki. 1972. An ultrasonic device in biotelemetry and its application to tracking a yellowtail. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., 7, 27~38.
- Konagaya, T. 1982. New telemetric method of determining the positions of the the swimming fish. Nippon Suisan Gakkaishi, 48, 1545~1550.
- Konagaya, T. and Q. Cai. 1989. Telemetric determination of the swimming activities of silver and bighead carp. East Lake, 39~61.
- Mitson, R. B. and T. J. Storeton-West. 1971. A transponding acoustic fish tag. Radio Electron. Eng. 41, 483~489.
- Priede, I. G. 1983. Heart rate telemetry from fish in the natural environment. Comp. Biochem. Physiol., 76A(3), 515~524.
- Shin, H. O. and H. I. Shin. 1987. Telemetry of underwater noise. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 23(1), 11~17 (in Korean).
- Shin, H. O., E. Hamada, S. Hiroshi and Y. Koike. 1990. Guidance of ROV using multiple pingers of a single frequency. J. Japan Inst. Navi., 83, 7~11 (in Japanese).
- Shin, H. O. 1992. Ultrasonic tracking of movements of Striped Jack (*Caranx delicatissimus*) in the Nunoura Bay, Japan. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 28(4), 347~359 (in Korean).
- Shin, H.I., D. J. Lee., H.O. Shin., W. W. Lee and J. Y. Ahn. 1994a. Development of the underwater telemetry system to monitor the behavior of fish (I)-Hardware and software-. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 30(4), 263~272 (in Korean).
- Shin, H. I., D. J. Lee., H. O. Shin., W. W. Lee and J. Y. Ahn. 1994b. Development of the underwater telemetry system to monitor the behavior of fish (II)-Behavior of the fish in the aquafarm-. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 30(4), 273~282 (in Korean).
- Shin, H. I., D. J. Lee., H. O. Shin., W. W. Lee and J. Y. Ahn. 1994c. Development of the underwater telemetry system to monitor the behavior of fish (III)-Behavior of the striped mullet (*Mugil cephalus*) in set net-. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 30(4), 283~291 (in Korean).

1995년 6월 3일 접수

1995년 7월 8일 수리