

양식 향어의 행동에 미치는 발파작업 소음의 영향에 관한 연구

신 현 옥
부경대학교 해양생산관리학과

Effect of Dynamite Explosion Work Noise on Behavior of Israeli Carp, *Cyprinus carpio* in the Cage of Aquaculture

Hyeon Ok SHIN

Dept. of Marine Production Management, Pukyong National University, Pusan, 608-737, Korea

This paper described the relationship between the behavior of the Israeli carp, *Cyprinus carpio* and the environmental noise level due to the dynamite explosion work. The experiment was conducted in the cage (L10×W4×D4 m) of aquaculture located at Chungjoo Lake, Chechon, in 1997. The fish trajectory was obtained by the telemetry system in which a pulsed ultrasonic pinger (50 kHz, φ16×L70 mm) attached to the fish was tracked three dimensionally, and the underwater noise levels were measured. The results of the study were as follows: 1. The underwater noise levels in the normal blasting measured at a distance of 400 m from the source of noise increased by 40 dB (re 1 μPa) compared to the levels before explosion. The dominant frequency and the increased power spectrum level of the underwater noise by the explosion work were 75 to 100 Hz and 22.9 to 35.3 dB, respectively. 2. The underwater noise levels in the test blasting measured at a distance of 350 m from the source of noise increased by average 49.5 dB (re 1 μPa) compared to the levels before explosion. 3. The swimming area of the fish was reduced with the time after explosion, and after more than one hour the fish represented the similar swimming area and behavior to the status of right before explosion. 4. The swimming depth layer of the fish was most of the case at the sea surface less than 1.0 m except during explosion or right after of it. But the fish swam downward when an external stimulus like the explosion noise was given to the fish. 5. The average swimming speeds of the fish before, during and after the works were about 1.2 times, 1.9 times and 1.0 times of the body length, respectively, and the speed of the fish with explosion was faster 1.6 times than the speed without of that. Consequently, the explosion noise levels measured by this study were sufficiently high to affect the fish, and the heavy shock by the explosion works could produce a considerable unfavorable effects to the fish.

Key words: Explosion work, Underwater noise, Behavior of Israeli carp, Telemetry, Cage of aquaculture

서 론

육상에서 측정할 수 있는 공중 소음이나 진동의 피해에 대해서는 사람들에게 어느 정도 인식되어 있지만 땅위에서나 물 속에서의 작업으로 인한 수중 생물의 피해에 대해서는 사회에서 제대로 인식하지 못하고 있는 것이 현실이다. 일반적으로 발파가 이루어지는 동안의 시간은 수초 이내로 극히 짧은 편이지만 발파 작업으로 인하여 순간적으로 발생하는 충격파는 수중에서 서식하는 어류에게 심각한 영향을 끼치는 경우를 주위에서 종종 볼 수 있다. 우리 나라에서는 강이나 바다를 가로질러 다리를 놓기 위한 공사도 자주 있고, 호수 또는 해안 가까이 경관이 좋은 곳에 건물을 짓는 경우도 많은 편이다. 이러한 작업에는 대체로 다이너마이트에 의한 발파작업이나 파일작업 등이 수반된다. 강이나 호수 주변에는 육상양어장이 있는 경우가 많고, 해안과 가까운 바다에는 해상 가두리 양식장이 많이 분포하고 있다. 시공업체에서는 주로 육상에서 측정할 수 있는 진동이나 공중 소음이 법규에서 허용하는 기준치를 초과하지 않기 위하여 신경쓸 뿐 수중 소음에 대하여는 법규자체가 마련되어 있지 않음으로 해서 제대로 대처하고 있지 못한 것이 현실이다. 이로 인하여 공사를 시공하는 업체나 발주처와 어민간의 분쟁이 발생하는 경우가 많이 있다.

작업 소음이 어류에 미치는 영향에 관한 연구로는 공기포 (air-

gun)를 사용한 지층탐사 작업 소음이 대구의 행동 및 어획에 미치는 영향에 관한 Lokkeborg and Soldal (1993)의 연구, 파일 작업 소음이 가물치의 행동에 미치는 영향에 관한 Shin (1995)의 연구 등이 있다.

본 연구에서는 지반이 돌로 이루어진 야산에서 발파 작업이 이루어질 때 작업장 부근의 내수면 가두리에서 양식하는 어류의 행동에 미치는 영향에 대하여 연구 조사한 결과를 보고하고자 한다.

장치 및 방법

1. 실험 현장의 환경

이 연구에서 언급하는 2건의 발파작업은 연속하여 이루어진 것이 아니고 2년여의 간격을 두고 실시한 것이기 때문에, 이를 구분하기 위하여 1997년 5월 2일 실시된 지반공사기간 중에 시행된 발파를 '일반 발파'라 하고, 지반공사를 끝내고 건물도 거의 완성한 시점에서 소음레벨을 확인할 목적으로 1999년 12월 22일에 실시한 발파를 '시험 발파'라고 하기로 한다.

1) 일반 발파

1997년 5월 2일 수행한 실험은 충북 제천시 청풍면 교리의 충주호내에 위치한 내수면 가두리에서 인근 작업장에서 발파할 때 발생하는 수중소음이 어류의 행동에 미치는 영향을 조사하기 위

하여 실시하였다. 측정 당시 날씨는 맑고 바람은 약했으며, 수면은 잔잔하였다. 발파지점과 소음 측정점까지의 거리는 휴대용 GPS 수신기 (EAGLE, AccuNav Sport)를 사용하여 측정하였다.

2) 시험 발파

1999년 12월 22일 실시한 실험은 1997년 5월 2일 국민복지연금타운 건설과 관련하여 이루어진 발파작업으로 인하여 발생하였던 수중소음 레벨이 어느 정도였는지를 확인할 목적으로 충북 제천시 관할 법원의 요청에 의해 행하였다. 발파는 1997년 5월 2일 발파가 있었던 곳으로부터 200~300 m 떨어진 발에서 이루어졌다. 충주호에 접한 발의 일부는 단단한 암석인 편마암 (Gneiss)으로 되어 있었고, 나머지는 대부분 흙으로 덮여 있었고, 지표의 흙을 2~3 m 파내려 가면 변성암(Metamorphic rock)이 드러났다. 발파지점에서 소음을 측정할 곳까지의 거리는 광파거리측정기를 사용하여 측정하였고, 측정할 지점에는 닻을 매단 스티로폼 뜰을 설치하여 멀리서도 육안으로 쉽게 알 수 있도록 하였다.

2. 천공작업 및 화약량

1) 일반 발파

이 발파에 사용하였던 천공도면, 장약 단면도, 화약량 등은 시험 발파에서 사용하였던 것과 비슷하였다.

2) 시험 발파

천공작업은 서로 10 m 정도 떨어진 2곳에서 이루어졌다. 단단한 암반이 지상으로 드러난 지역은 지표에서 천공하였고, 지표가 흙으로 덮여있는 부분은 포크레인 등으로 2~3 m 두께의 흙을 걷어내어 변성암이 나타났을 때 천공하였다. 이 가운데에서 천공한 곳이 거의 충주호와 접해있으면서 지표가 수면보다 4~7 m 높은 곳에 위치한 곳은 지반이 편마암으로 덮여있었고, 이곳을 지반 A라고 나타내었다. 다른 한 곳은 지표면의 높이가 지반 A로 표기한 곳보다 조금 더 높았고, 호수로부터도 더 멀리 떨어진 곳에 위치하였으며, 지반 A와 비교하면 상당히 경도가 떨어지는 변성암으로 이루어진 곳을 지반 B로 표기하였다.

Fig. 1은 천공도면 및 장약 단면도를 나타낸 것이다.

Fig. 1에서 발파에 사용한 화약은 (주)한화의 Himite 5500으로 장약의 지름은 50 mm이었으며, (주)한화의 HIDETO 지발 (MS 시리즈) 전기뇌관을 사용하였다.

일반 발파에서 사용한 총 화약량을 정확하게는 알 수 없으나 1996년 12월 28일~1997년 4월 16일까지는 사용한 화약량이 평균 200 kg, 뇌관 35개, 천공수 35공 (단, 구경 75 mm, 천공간격 1.2 m, 천공장 6 m)으로 발파하였다고 법원 서류에 기재되어 있으므로, 이것과 비슷한 양의 화약과 천공방법을 사용하여 발파가 이루어졌을 것으로 추정된다.

발파에 사용한 총 화약량은 국민연금복지타운의 지반공사에서 사용하였던 양과 동일하게 하였으나, 발파당 화약량은 발파지점으로부터 200~300 m 거리에 있는 국민연금복지타운의 건물과 30~50 m 거리에 있는 도로에 미칠 수 있는 영향을 감소시키기 위하여 줄였다. 발파에 사용한 천공 제원은 Table 1과 같다.

3. 소음의 측정 및 분석

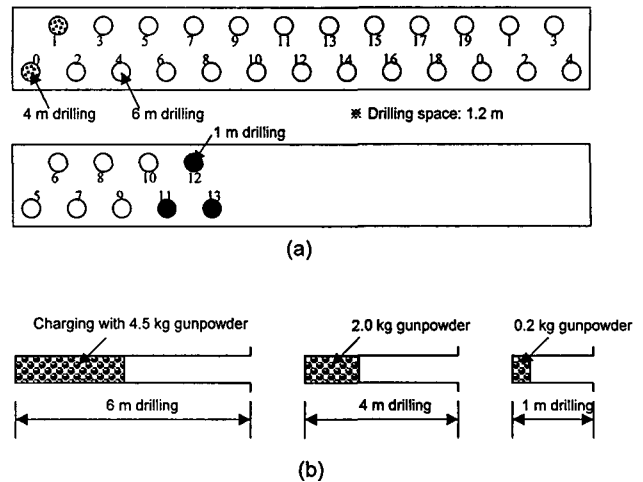


Fig. 1. Drilling drawings (a) and crosssection of drilled hole charging with gunpowder (b) used in the test blasting.

Table 1. Specifications of drilling used in the test blasting on December 22, 1999

Serial No.	Drilling length (m)	Number of drillings (ea)	Drilling space (m)	Gunpowder per hole (kg)	Gunpowder per blasting (kg)
1	6	12	1.2	6.0	72.0
2	1	3	1.2	0.2	49.6
3	4	2	1.2	2.0	
4	6	13	1.2	6.0	78.0
5	6	19	1.2	4.5	85.5
6	6	10	1.2	6.0	60.0

1) 일반 발파

발파작업에 따른 수중 소음 레벨은 수중 음압계 (OKI, SW-1007) 및 수중 청음기 (OKI, ST-1001)를 사용하여 현장에서 직독하였고, 소음 데이터는 스펙트럼 분석을 위하여 녹음기 (SONY, TC-D5M)에 기록하였다. 수중 음압계에서 사용한 필터는 10 Hz의 HPF와 10 kHz의 LPF였다. 수중소음은 정숙한 상태에서 가두리 양식장 직원의 입회하에 측정하였으며, 수중청음기의 심도는 2 m로 하였다.

수중 소음의 스펙트럼은 FFT 분석기 (A&D, 3125)로 분석하였고, 분석의 신뢰도를 높이기 위하여 사용한 데이터 평균 회수는 10 회로 하였다.

소음의 측정 및 분석에 사용한 장치의 제원은 Table 2와 같다.

2) 시험 발파

시험 발파에 따른 수중 소음 레벨은 수중 음압계 (OKI, SW-1020) 및 수중 청음기 (OKI, ST-1020)를 사용하여 측정하였고, 필터의 설정, 소음 데이터의 측정 및 분석 방법 등은 일반 발파에서 사용한 방법과 거의 같다. 소음 관측에 사용한 선박은 소형 FRP선이었으며, 닻으로 고정되어 있는 측정점의 뜰 줄에 매달았다. 수중소음은 선내 엔진을 정지시키고 정숙한 상태에서 건설현장 직원 및 가두리 양식장 직원 등의 입회하에 측정하였고, 수중

Table 2. Specifications of underwater noise measuring equipment used

Equipments	Specifications
Hydrophone (OKI, ST-1001)	Frequency range: 10 Hz to 50 kHz (± 5 dB) Receiving sensitivity: -180 dB (0 dB=1 V/μPa, Pre-amp gain included)
Underwater sound level meter (OKI, SW-1007)	Frequency range: 7 Hz to 90 kHz (± 3 dB) Measuring range: 100 to 180 dB
Hydrophone (OKI, ST-1020)	Frequency range: 10 Hz to 100 kHz (± 3 dB) Receiving sensitivity: -180 dB (0 dB=1 V/μPa, Pre-amp gain included)
Underwater sound level meter (OKI, SW-1020)	Frequency range: 10 Hz to 100 kHz (± 3 dB) Measuring range: 100 to 180 dB
Tape recorder (SONY, TC-D5M)	Frequency range: 10 Hz to 16.5 kHz (± 3 dB) Gain range: 20 dB
FFT-analyzer (AND, AD-3525)	Frequency range: 1 Hz to 100 kHz Input sensitivity: -120 dB Input range: 30 dB to -60 dB Resolution: 1/25, 1/50, ..., 1/3200 of frequency range A/D conversion: 14 bits

청음기의 심도는 2 m로 하였다.

4. 시험어의 유영행동 측정

시험어의 유영행동은 일반 발파에서만 측정하였고, 시험 발파 때에는 허가기간 만료로 가두리 양식장이 철거된 상태였기 때문에 유영행동은 측정하지 않았다.

바이오텔레메트리 기법은 생물체의 행동을 자연에 가까운 상태에서 감시하기 위한 목적으로 많이 사용되고 있고, 초음파 핑거나 트랜스폰더와 같은 초음파 송신기를 감시대상체에 부착시켜 그 대상체의 위치를 추적한다. 어류의 추적에는 트랜스폰더 (Arnold and Metcalfe, 1989; Mitson and Storeton-West, 1971)보다 소형화에 유리한 핑거가 많이 사용된다. 그리고, 제한된 수역이 아닌 경우에는 청음 방식 (Gray and Haynes, 1979; Ichihara et al., 1972)으로, 제한된 수역에서 핑거를 추적할 때에는 위치의 정확도가 아주 높은 LBL (long base line) 방식 (Hawkins et al., 1974; Konagaya, 1982; Shin, 1992)을 많이 쓴다. 시험어는 가두리내에서 유영하기 때문에 본 연구에서는 시험어의 위치를 LBL 방식으로 추적하였다. 시험어의 위치를 추적하기 위한 시스템은 초음파 핑거, 초음파 수신부, 신호처리부, 그리고 핑거의 위치를 계산하여 화면에 표시하는 노트북 컴퓨터로 구성하였다.

1) 초음파 핑거 (ultrasonic pinger)

실험에 사용한 심도형 핑거 (Vemco, V16P-3L)의 제원은 Table 3과 같다. 초음파 핑거는 free-run 타입으로 전원을 넣으면 정해진 시간 간격으로 초음파 펄스 신호를 송신하는 장치이다. 핑거를 사용하는 시스템에서는 일반적으로 핑거가 언제 펄스 신호를 내는지는 알 수 없지만, 핑거로부터의 신호가 각각의 수파기에 수신되기까지의 시간차 즉, 수신시간차는 알 수 있다.

Table 3. Specifications of pinger used

Type	Freq. (kHz)	SL (dB re 1 μPa at 1 m)	PW (msec)	Max. Depth (m)	Size (mm)	Weight water (g)	Life (days)
Depth pinger	50.0	146	10	68	φ 16×L62	17	6

SL: Source level, PW: Pulse width

사용한 핑거의 초음파 펄스 주기는 핑거의 심도에 따라 선형적으로 변하며, 펄스 주기 T (sec)와 핑거의 심도 z (m) 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$z = \frac{92.723}{T} - 97.852 \quad (1)$$

여기서, 97.852는 핑거에 사용한 압력센서의 인터셉트 값이다.

2) 바이오텔레메트리 시스템의 구성 및 배치

실험에 사용한 바이오텔레메트리 시스템은 자체 제작한 것으로 그 구성의 개략도를 나타내면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2의 수파기에서 핑거의 신호를 수신하면 이를 전기적인 신호로 바꾸어 초음파 수신기로 보내며, 여기서는 미약한 전기신호를 증폭, 검파, 파형정형하여 만든 timing 신호를 만들어 싱글보드 컴퓨터로 보내는 한편, 3개의 수파기를 통하여 초음파 펄스 신호를 수신할 때마다 싱글보드 컴퓨터에 대하여 신호처리를 요구하는 인터럽트 신호를 보낸다. 싱글보드 컴퓨터에서는 인터럽트 신호가 있을 때마다 timing 신호로부터 수신시간차를 계산하며, 계산 결과를 RS-232C 신호로 출력한다. 노트북 컴퓨터에서는 이 신호를 입력하여 시험어의 위치를 계산하고, 컴퓨터 화면에 나타내며, 데이터를 하드디스크에 저장한다.

한편, 수파기는 핑거가 유효거리내에 있는 동안에는 어디서든지 수파할 수 있도록 무지향성으로 하였으며, 수파기는 직사각형 가두리 (L10×W4×H4 m)의 모서리 3곳에서 수면하 1m층에 내려

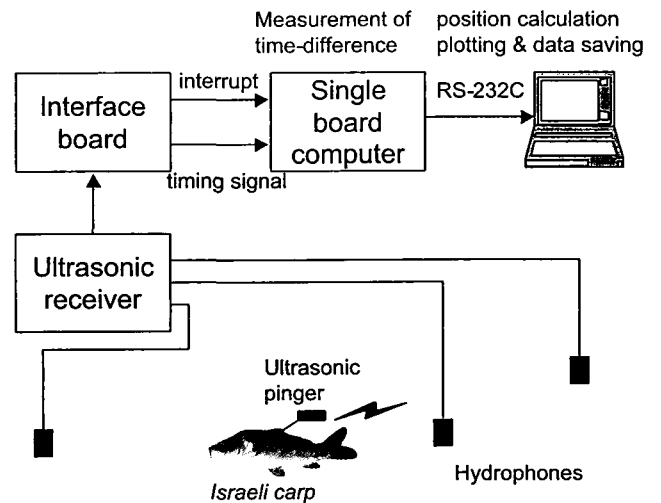


Fig. 2. Schematic diagram of the biotelemetry system used to monitor the behavior of fish.

배치하였다.

3) 핑거의 위치 계산

핑거의 위치를 계산함에 있어 압력센서를 내장하고 있는 핑거를 사용하면 3개의 수파기만으로도 높은 정확도의 3차원 위치를 구할 수 있다.

핑거의 3차원 위치는 3개의 수파기에서 얻어지는 2개의 수신시간차와 핑거의 심도를 이용하여 Shin et al. (1990)의 쌍곡선위치 결정법 알고리즘으로 구하였다.

4) 시험어 및 핑거의 부착

현장에서 실험에 사용한 시험어는 실험 수역의 가두리에서 양식하고 있던 체장 약 28 cm인 향어, *Cyprinus carpio*이었다 (Fig. 3). 조사대상 가두리 양식장에서 키우고 있던 시험어를 먹이로 유인하여 쪽대로 잡아 올린 다음, 압력센서를 내장한 초음파 핑거를 시험어에 부착시켜 1997년 5월 2일 10시 30분경 동일한 가두리내에 방류하였다. 시험어에 대한 핑거의 부착은 낚시와 면사를 이용하여 시험어의 아래턱에 거는 방법으로 실시하였다.



Fig. 3. Photograph of a Israeli carp, *Cyprinus carpio* used in experiment.

결과 및 고찰

1. 소 음

1) 일반 발파

Table 4는 1997년 5월 2일 제천시 청풍면 교리에 소재하는 가두리 양식장 인근에서 관광숙박시설 및 관광휴게시설인 국민연금복지타운을 건립하기 위한 지반 확충 공사의 일환으로 다이너마이트를 발파하였을 때의 수중소음을 측정된 것이다. 발파가 없을 때에 가두리 안에서 측정된 수중소음은 평균 103.0 dB로 나타났다. 1차 발파 때에는 어느 정도의 음압이 발생할지 예측할 수 없어 수중음압계의 감쇠기 레인지를 130 dB에 두어 120~140 dB의 음압을 측정할 수 있도록 하였으나, 발파음이 들린 13시 56분경의 수중 음압은 140 dB을 초과하였다. 이 때, 공중 폭발음은 뚜렷이 들렸고, 발파공을 중심으로 흙먼지가 하늘 높이 솟구치는 것을 육안으로 목격할 수 있었다. 2차 발파는 10분 정도 지난 14시 6분경에 이루어졌고, 수중음압계의 감쇠기 레인지를 150 dB에 두고 측정하였을 때 발파로 인한 수중소음 레벨은 143.0 dB로 나타났다.

Table 4. Measured underwater noise levels in the blasting, Choongjoo Lake on May 2, 1997

Distance (m) from source of noise	Underwater noise levels (dB re 1 μ Pa)	
	Before explosion	During explosion
400	102.5	>140.0
	104.0	143.0

2차 발파 때의 공중 폭발음은 1차보다 약했고, 흙먼지의 솟아오름도 그다지 볼 수 없었다.

발파로 인한 수중소음 레벨의 순증가량은 40.0 dB이었다.

Fig. 4는 발파작업이 없을 때와 발파작업 중의 수중소음의 파워스펙트럼을 상대적인 값으로 나타낸 것이다. 그림에서 실선으로 나타낸 것은 발파 전의 수중소음에 대한 스펙트럼이고, 실선 위에 삼각형과 원으로 표시된 것은 각각 1차 발파와 2차 발파에 대한 수중소음의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 발파작업 소음의 탁월주파수와 그 때의 수중소음의 파워스펙트럼 레벨의 증가량을 살펴보면, 탁월주파수는 75~100 Hz이었고 증가량은 22.9~35.3 dB이었다.

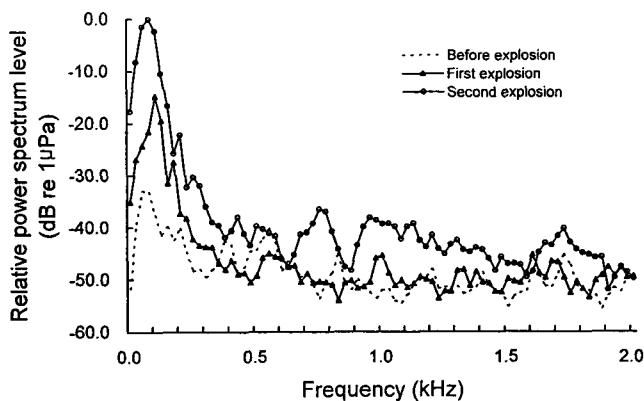


Fig. 4. Comparison between relative power spectrum levels of the underwater noise without and within the dynamite explosion work.

2) 시험 발파

시험 발파에 따른 수중소음 레벨은 발파가 이루어졌던 곳으로부터 350 m 떨어진 충주호에서 측정하였고, 그 결과는 Table 5와 같다.

Table 5에서 1차 발파는 1999년 12월 22일 12시 18분경에 이루어졌고, 이때의 수중소음 레벨은 143.0 dB을 초과하였다. 수중소음계의 측정 레인지를 140 dB에 둔 상태에서 지시바늘이 빠른 속도로 측정 상한치를 넘은 것으로 보아 이 때의 수중소음 레벨은 148.0~153.0 dB로 추정된다. 2차 발파는 1차 발파 후 약 2분 뒤인 12시 20분 1차 발파가 있었던 곳으로부터 10 m 정도 떨어져 있는 곳에서 행하여졌으며, 수중소음계의 측정 레인지를 150 dB에 둔 상태에서 측정된 수중소음 레벨은 151.0 dB이었다. 3차 발파는 12시 23분에 있었고, 측정 레인지를 150 dB에 둔 상태에서 측정된 값은

Table 5. Measured underwater noise levels in the test blasting, Choongjoo Lake on December 22, 1999

Distance (m) from source of noise	Serial No.	Underwater noise level (dB re 1 ϕ Pa)		Remark
		Before blasting	Blasting	
350	1	95.0~98.0	>143.0 (148.0~153.0)	Ground A
	2	95.0~98.0	151.0	Ground B
	3	95.0~98.0	>153.0 (154.0~156.0)	Ground A
	4	95.0~98.0	140.0	Ground B
	5	95.0~98.0	>143.0 (144.0~146.0)	Ground A
Mean		96.5	>146.0 (148.3)	

Notice: The values in the () of noise level denote estimated one.

153.0 dB을 초과한 것으로 나타났다. 지시바늘이 측정 레인지를 초과하는 속도는 1차 발파에 비하여 훨씬 약하여 이 때의 수중소음 레벨은 154.0~155.0 dB로 추정된다. 4차 발파는 12시 25분에 있었고, 측정 레인지를 160에 둔 상태에서 측정한 수중소음 레벨은 140.0 dB이었다. 5차 발파는 12시 35분에 이루어졌고, 측정 레인지를 140 dB에 둔 상태에서 측정한 수중소음 레벨은 143.0 dB를 초과하였다. 지시바늘의 초과 정도를 고려하면 이 때의 수중소음 레벨은 144.0~146.0 dB로 추정된다.

이 시험 발파에서 사용한 발파당 화약량은 1997년 5월 2일의 일반 발파에서 사용한 화약량보다 적었음에도 불구하고 발파작업으로 인한 수중소음은 발파가 없을 때에 비하여 43.5~56.5 dB 증가하였으며, 평균적으로 49.5 dB (추정치를 고려하면 51.8 dB)의 순증가를 나타내었다.

2. 유영행동

발파작업에 따른 소음 등 강한 외부 자극이 주어졌을 때의 시험어의 수중 행동은 초음파 핑거를 사용한 바이오텔레메트리 기법으로 측정하였다.

발파를 전후한 80분간의 데이터를 10분 간격으로 분석한 시험어의 유영속도 분포, 평면 유영행동, 수직 유영행동은 Fig. 5와 같다. 평면도에서의 H0~H2 및 측면도의 H0~H1은 각각 수파기를 나타내며, 점선으로 둘러싼 사각형은 가두리 그물을 표현하고 있다. 그리고, 유영행동을 설명하는 데 편리를 도모하기 위하여 평면도에서는 가로10×세로4 m인 가두리를 가로5×세로2 m 크기의 직사각형으로 4등분하여, H2쪽의 직사각형을 1구간, H1의 대각쪽을 2구간, H0쪽을 3구간, H1쪽을 4구간으로 구분하기로 한다. 또한, 측면도에서는 시험어의 유영 심도 z (m)를 3개의 층으로 나누어 z<0.5인 곳을 표층, 0.5<=z<1.5를 중층, z>=1.5를 저층으로 구분하기로 한다. 평면도에서 발파 현장은 대체로 가두리 중앙에서 300° 방향에 위치하고 있었다.

Fig. 5에서, 발파작업을 시작하기 전인 13:30~13:40의 평균 유영속도는 0.34 m/sec이었다. 유영행동을 보면, 평면적으로는 대

체로 1구간, 3구간, 4구간에 98.0%가 분포하였고, 이 가운데에 49.8%가 4구간에 머물렀으며, 수직적으로는 94.7%가 표층에 머물렀다. 13:40~13:50의 평균 유영속도는 13:30~13:40과 거의 같은 0.34 m/sec를 보였다. 유영행동도 평면적으로는 13:30~13:40과 대체로 비슷하였으나 13:30~13:40보다는 2구간과 3구간에 분포하는 비율이 약간 증가하였으며, 수직적으로는 표층에 분포하는 비율이 더욱 높아졌다.

13:50~14:00에는 1차 발파가 있었던 시간대이며, 평균 유영속도는 이전 시간대보다 약간 증가한 0.35 m/sec를 나타내었다. 유영행동을 보면, 평면적으로는 대체로 1구간, 3구간, 4구간에 93.3%가 분포하였고, 이 가운데에 38.7%가 4구간에 머물렀으며, 수직적으로는 상하운동이 활발하였고 89.6%가 표층에 머물렀다. 2차 발파가 있었던 14:00~14:10에는 평균 유영속도가 0.46 m/sec로 가장 빠르게 나타났다. 유영행동을 보면, 평면적으로는 4개의 구간에 걸쳐 유영하는 모양을 보였으며, 수직적으로는 중층에 머무르는 비율이 12.8%로 이전 시간대보다 증가하였다.

발파 이후의 시간대인 14:10~14:20에는 평균 유영속도가 0.30 m/sec로 2차 발파 때보다 급격히 감소하였고, 유영행동도 평면적으로는 발파 지점에서 멀어지는 쪽으로 이동하여 체류하였고, 유영범위도 좁아졌으며, 수직적으로는 표층에서 중층으로 이동한 비율이 증가하였다. 14:20 이후에는 평균 유영속도가 점차 감소하는 경향을 보였고, 유영행동은 평면적으로는 1구간과 4구간에 주로 분포하다가 시간이 지남에 따라 조금씩 유영범위가 넓어지는 경향을 보였으며, 수직적으로는 시간 경과와 더불어 유영심도가 상승하는 경향이 있었고, 발파 후 30여분이 경과한 시점부터는 거의 수면가까이에서 유영하는 행동이 많아졌다.

Fig. 6은 경과시간에 따른 유영속도를 나타낸 것이다.

Fig. 6에서, 1차 발파 때인 13:56 이후의 2~3분간의 유영속도를 보면 그 전에 비하여 약간 증가한 듯하나 뚜렷하게 구분되지는 않았다. 그러나, 2차 발파 시점인 14:04부터 2~3분간의 유영속도를 보면 그 변화 폭이 다른 시간대에 비하여 큼을 알 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6의 데이터를 2분 간격으로 평균한 유영속도를 나타낸 것이다. 이 그림의 가로축에서 경과시간 0은 우리나라 시간으로 13:30을 나타낸다. 1차 발파는 경과시간 26분에 있었고, 2차 발파는 경과시간 34분에 있었다.

Fig. 7에서, 발파를 전후한 시험어의 유영 속도를 살펴보면 1차 발파시에는 유영 속도가 0.44 m/sec이었으나 2차 때에는 0.60 m/sec로 유영 속도에 급격한 변동이 나타났으며, 이것은 스펙트럼 레벨의 변동과도 잘 부합됨을 보였다. 발파시의 평균 유영 속도는 0.52 m/sec (체장 대비 1.9배), 발파 작업이 없을 때의 평균 유영 속도는 0.32 m/sec (체장 대비 1.1배)이었으며, 발파시의 시험어의 평균 유영 속도는 발파 작업이 없을 때에 비하여 약 1.6배 빠르게 나타났다.

Fig. 8은 Fig. 5의 수직적인 유영행동을 표층, 중층, 저층 구간으로 나누어 구간별 발생빈도를 나타낸 것이다. 이 그림의 가로축은 13:30부터 경과된 시간을 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 경과시간 2분~26분에 시험어가 표층, 중층, 저층에 나타나는 빈도는 각각 평균 12.4%, 78.6%, 9.0%이었고, 경과시간

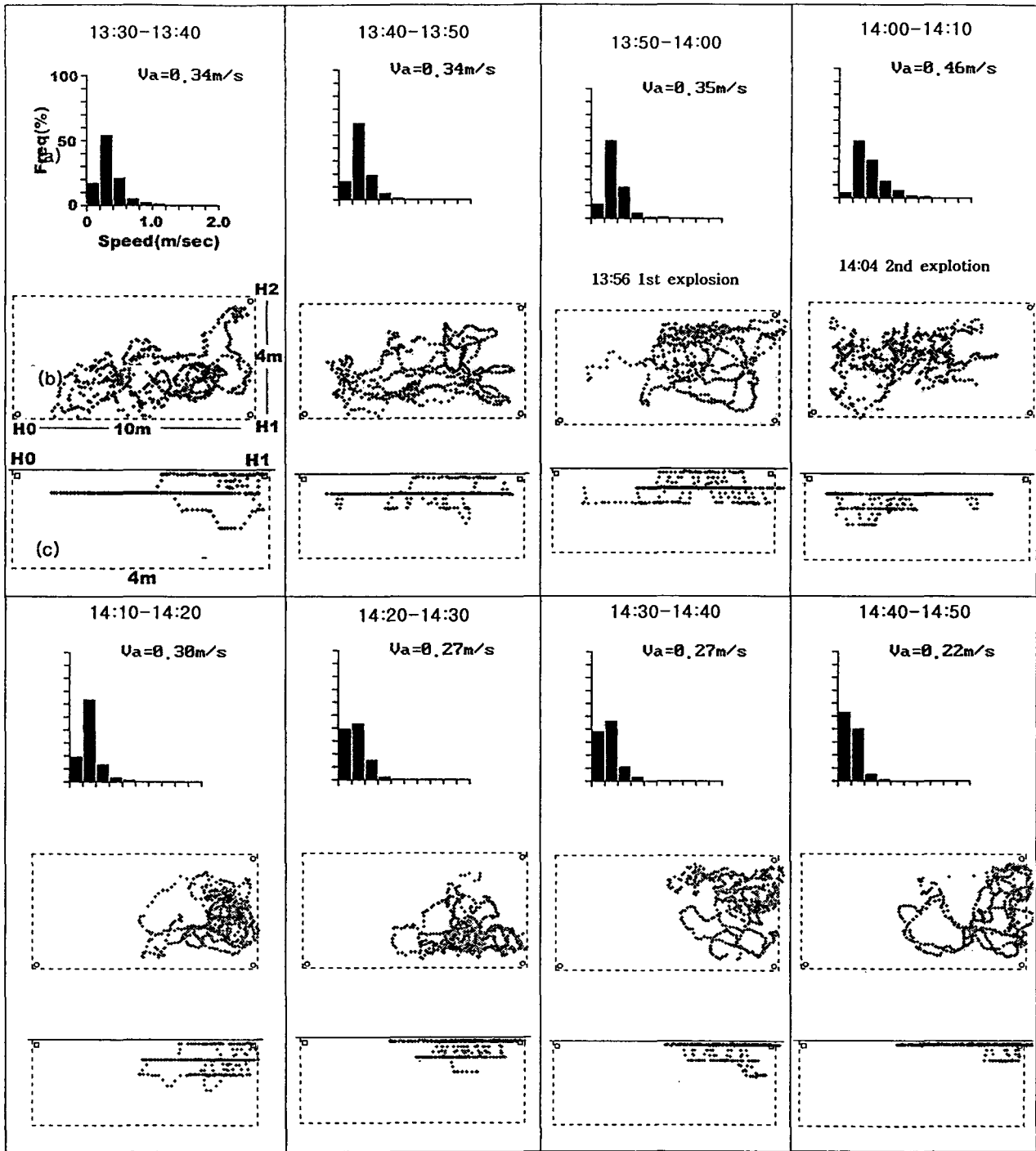


Fig. 5. Behavior of the Israeli carp by the time which is related to the frequency of the explosion work. (a) swimming speed, (b) distribution of horizontal behavior, (c) distribution of vertical behavior.

26분~46분에는 각각 2.2%, 76.1%, 21.7%로 나타났으며, 경과시간 46분~80분에는 각각 76.3%, 21.8%, 1.8%로 나타났다. 이 수치로부터 알 수 있듯이 측정 초기에는 주로 중층이나 표층에 머물렀던 시험어가 1차 발파 및 2차 발파가 있었던 경과시간 26분과 34분 이후 46분경까지는 다른 시간대에 비하여 저층으로 도피해있는

행동이 많이 나타났으며, 그 이후부터는 표층으로 부상하여 행동하는 경우가 많은 것으로 나타났다.

따라서, 시험어에 초음파 핑거를 부착시켜 수중에서의 유영속도나 행동 등을 측정하고 분석하여 본 결과, 이 연구에서 측정된 발파작업 소음은 가두리 양식장에서 사육하고 있던 시험어에 대하여

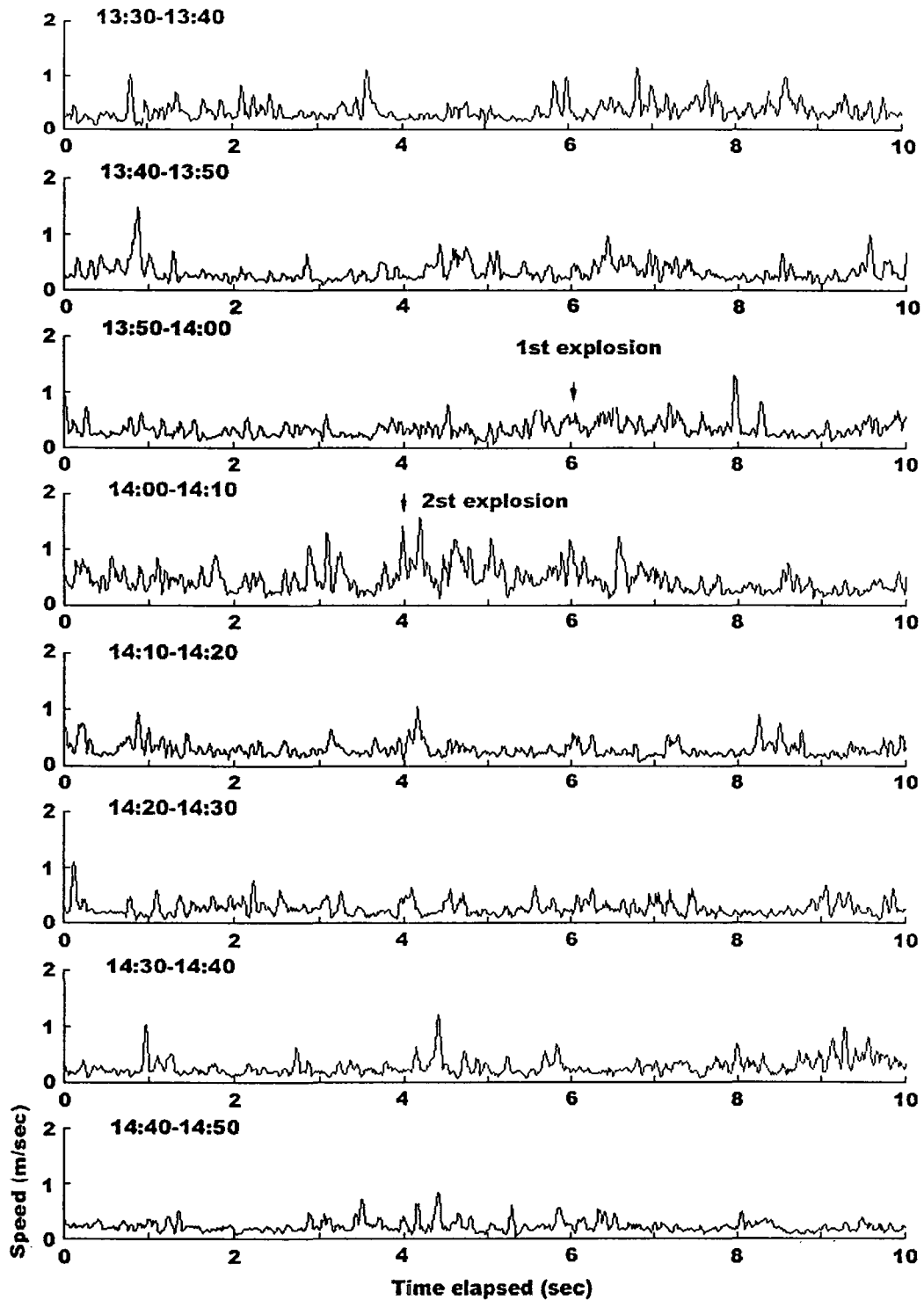


Fig. 6. Swimming speeds of the fish by the time.

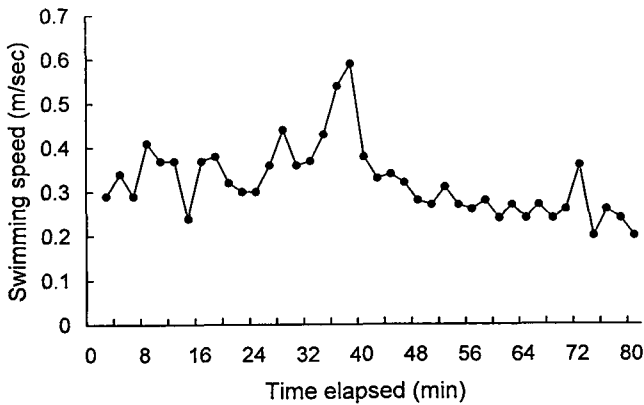


Fig. 7. Two minutes averaging speeds of the fish by the time elapsed.

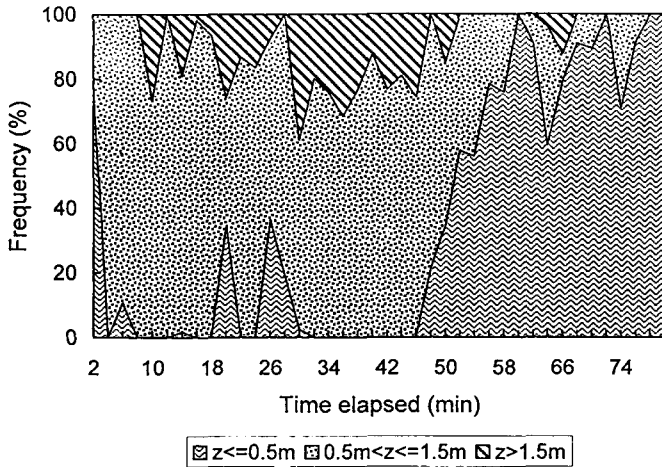


Fig. 8. Frequency of swimming depth layer appeared of the fish by the vertical division.

생태적으로 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

발파작업으로 인한 소음 레벨과 시험어의 행동과의 관계를 구명하기 위하여 1997년 충북 제천시에 있는 충주호의 가두리 양식장에서, 발파에 따른 수중소음 레벨을 측정하고, 그 때의 시험어(향어, 체장 28 cm)의 행동을 바이오텔레메트리 기법으로 3차원으로 추적한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소음원으로부터 400 m 거리에서 측정한 발파 중의 수중소음 레벨은 발파 전에 비하여 40 dB (re 1 μ Pa) 증가하였다. 발파작업 소음의 탁월주파수는 75~100 Hz이었고 파워 스펙트럼 레벨의 증가량은 22.9~35.3 dB이었다.
2. 소음원으로부터 350 m 거리에서 측정한 시험 발파에 의한 수중소음 레벨은 발파가 없을 때에 비하여 평균 49.5 dB 증가하였다.
3. 발파 후부터 1시간까지는 유영 범위가 발파 전에 비하여 감소하였으며, 그 이후에는 유영 범위나 행동이 발파 직전과 비슷한 상태를 나타내었다.

4. 발파 전에는 주로 중층이나 표층에 머물렀던 시험어가 1차 발파 및 2차 발파가 있었던 경과시간 26분과 34분 이후 46분경까지는 다른 시간대에 비하여 저층으로 도피해 있는 행동이 많이 나타났으며, 그 이후부터는 표층으로 부상하여 유영하는 경우가 많은 것으로 나타났다.

5. 발파전, 발파 중, 발파 후의 시험어의 평균 유영 속도는 각각 0.33 m/sec (체장의 1.2배), 0.52 m/sec (체장의 1.9배), 0.29 m/sec (체장의 1.0배)이었고, 발파 중의 유영속도는 발파작업이 없을 때에 비하여 약 1.6배 빠르게 나타났다. 따라서, 이 연구에서 측정된 발파작업 소음은 가두리 양식장에서 사육하고 있던 시험어에 대하여 생태적으로 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

실험어장의 제공과 시험 발파에 적극 협조하여 주신 정홍택사장과님과 추운 날씨에 시험발파 일정에 맞추기 위하여 친공작업에 애 쓰셨던 관계자, 발파작업을 승인해 준 청주지방법원 제천시지원장 이하 직원 여러분, 그리고 초기의 현장 측정에서 수고하였던 부경대학교 박태건 군에게 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

Arnold, G.P. and J.D. Metcalfe. 1989. Acoustic telemetry: progress and potential 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. MacLennan, G.G. Urquhart and C. Robb. 1974. Tracking cod *Gadus morhua* L. in a Scottish sea loch. J. Fish Biol., 6, 225~236.

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 position of the swimming fish. Nippon Suisan Gakkaishi, 48, 1545~1550.

Lokkeborg, S. and A.V. Soldal. 1993. The influence of seismic exploration with airguns on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates. ICES mar. Sci. Symp., 196, 62~67.

Mitson, R.B. and T.J. Storeton-West. 1971. A transponding acoustic fish tag. Radio Electron. Eng., 41, 483~489.

Shin, H.O. 1995. Effect of the piling work noise on the behavior of snakehead (*Channa argus*) in the aquafarm. J. Korean Fish. Soc., 28, 492~502 (in Korean).

Shin, H.O. 1992. Ultrasonic tracking of movements of striped jack (*Caranx delicatissimus*) in the Nunoura Bay, Japan. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 28, 347~359 (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).

2000년 5월 22일 접수
2000년 7월 24일 수리