



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

인위적인 수중 소음원에 따른
금붕어의 행동반응특성



2008년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

음 향 진 동 공 학 과

안 수 용

공 학 석 사 학 위 논 문

인위적인 수중 소음원에 따른
금붕어의 행동반응특성

지도교수 윤 종 락

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2008 년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

음 향 진 동 공 학 과

안 수 용

안수용의 공학석사 학위논문을 인준함

2008년 8월 29일



주 심 공학박사 하 강 렬 (인)

위 원 공학박사 신 형 일 (인)

위 원 공학박사 윤 종 락 (인)

Abstract

I. 서론	1
II. 어류의 음 반응과 청감특성	2
2-1 어류의 음 반응과 청각구조	2
2-2 어류의 청감역치	6
III. 연속음과 충격음에 대한 음 반응 실험장치	8
3-1 연속음에 대한 음 반응 실험 장치	10
3-2 충격음에 대한 음 반응 실험 장치	14
IV. 실험 및 결과	23
4-1 실험 구성	23
4-2 연속 순음에 대한 금붕어의 군집 및 도피특성	25
4-3 충격음에 대한 금붕어의 행동반응특성	28
V. 결론	31
참고문헌	33

Behavioral response of Goldfish on Anthropogenic Underwater Sound

Su Yong An

Department of Interdisciplinary Program of Acoustics and Vibration
Engineering, Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The past several years have seen a significant increase in questions and interest related to the effects of anthropogenic sounds on marine animals. The majority of anthropogenic sounds are SONAR, air-gun, pile-driving, underwater blast, ship noise and ect..

Anthropogenic underwater noise can be divided by continuous and impulsive sound. The former is relatively low sound pressure and long duration time. While, the latter relatively is high sound pressure and short duration time. The latter is critical such as being fatal of the fishes, an air bladder explosion and an auditory cell damage.

In order to analyze the anthropogenic sound effects on goldfish, sound field of pure tone in water tank is specially controlles using standing wave and impulsive sound is generated using electric energy discharge.

It is found that the goldfish gathers in low pressure sound field for pure tone experiment.

The goldfish behavior on impulsive sound shows that it's movement is slow as increase of impulsive sound repetition.

I. 서론

연안 산업 시설의 개발과 해양산업의 발전으로 수중의 배경잡음이 인위적인 수중소음원에 의해 증가되고 있다. 인위적인 수중소음원에 의해 해양생물은 개체수의 변화 및 치사, 도피 및 군집, 어획량 감소 등을 유발시킨다. 대표적인 수중소음원에는 해양자원 탐사, 군사목적의 장비사용, 산업시설 개발에 의해 발생하는 소나, 수중폭발음, 항타 소음, air gun, 선박소음 등이 있다. 배경소음에 비해 상대적으로 큰 수중소음원이 발생할 경우 전파과정을 거치면서 거리별, 주파수 별로 서로 다른 감쇄를 가지며, 해양배경소음과 합쳐져 해양생물의 청각기관에 수신된다.

인위적인 수중소음은 연속음과 충격음으로 구분된다. 연속음은 음압이 낮고 지속시간이 긴 특성을 나타내며, 어류의 도피 및 군집 반응을 유발시킨다. 충격음은 음압이 높고 지속시간이 짧은 특성을 나타내며, 군집이나 도피반응은 물론 최대 음압에 따라 어류의 치사나 부레파열, 청각세포 손상을 유발시킨다.

인위적인 수중소음원이 해양생물에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 해양 생물의 소음수신, 감각 및 행동반응의 각 요소와 노출되는 음의 종류 및 최대 음압의 크기와 총에너지의 크기 및 지속시간에 따른 분석이 요구된다.

본 논문에서는 수중 소음원의 종류에 따른 금붕어의 행동특성을 관찰하기 위해 정재파의 음압분포 특성에 따른 금붕어의 행동반응 특성과 충격음의 지속시간에 따른 금붕어의 행동반응 특성을 연구 하였다.

II. 어류의 음 반응과 청감특성

2-1 어류의 음 반응과 청각구조

인위적인 수중소음원이 발생하여 해양생물의 행동반응에 이르는 과정은 그림 1에서 나타내고 있다. 배경소음에 비해 상대적으로 큰 수중소음원이 발생할 경우 전파과정을 거치면서 거리별, 주파수 별로 서로 다른 감쇄를 가지며, 해양배경소음과 합쳐져 해양생물의 청각기관에 수신된다. 이러한 수중소음원에 의해 배경소음보다 수중에서 발생하는 인위적인 소음의 크기가 높게 되면 인간과 마찬가지로 해양 생물은 청감의 손상, 개체수의 변화, 생리적 영향, 먹이활동 교란, 도피반응을 보이게 된다. 수중소음원에 대한 각 어류의 음 반응은 개체마다 다르므로, 특정의 개체에 대한 반응을 다른 개체에 적용하기도 어렵다.



그림 1. 인위적인 소음원에 대한 어류의 반응 과정

Figure 1. Behavior of fishes for anthropogenic underwater sound

수중소음이 해양생물에 미치는 범위를 결정하는 지배방정식은 식 (2-1)로 정의된다.

$$SL - TL = NL + RT$$

(2-1)

여기서 SL(Source Level : 음원준위)은 수중음원의 음원준위로 음원으로 부터 1m 떨어진 거리에서 측정되는 음압준위($dB/\mu Pa$ at 1m)이다. TL(Transmission Loss : 전달손실)은 음원으로부터 대상 어류까지 전달하는 동안 손실되는 양으로 확산손실과 흡수손실로 구성되며 거리 및 해양환경에 의해 좌우된다. RT(Response Threshold : 반응역치)는 어류가 반응하는 음압준위에서 배경소음 준위를 뺀 값이다. NL(Noise Level : 배경소음)은 어류가 평상시에 적응하고 있는 해양 배경소음으로 평상시의 해상상태, 인위적인 수중소음원의 평균적인 특성을 나타낸다.

인위적인 수중소음원이 해양생물에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 해양생물이 서식하고 있는 환경의 수중 배경소음과 수중음원, 전파, 해양배경소음, 생물체의 소음수신, 감각 및 행동반응의 각 요소가 결합된 식 (2-1)이 피해영향 지배방정식이 평가되어야 한다[1][2].

어류는 크게 경골어류와 저서어로 구분된다. 경골어류와 저서어가 청각기관을 이용하여 음을 인식하는 과정은 그림 2와 같다. 경골어류는 측선에 연결된 섬모를 이용하여 수심의 변동, 적의 위치 감지 등에 이용하기도 하지만 인간의 청각 기관과 유사한 부레, 소골, 내이 등의 고유의 기관을 이용하여 음을 인식하며, 부레는 어류 고유의 독특한 기관으로 가장

기본적인 기능은 외압과 내압을 조절하며 음향에너지를 감지한다. 또한 부레에는 ‘Weberian ossicle’ 이라는 소골이 연결되어 부레에서 감지된 음향에너지를 진동에너지로 변환하여 내이의 미로(labyrinth)로 전달하여 인식한다. 이것은 포유류의 귀의 청각기능과 유사하다.

부레가 발달하지 않고 바다 생활을 하는 저서어의 경우는 섬모를 이용하여 음을 인식 한다. 이들 섬모는 대부분의 어류에서 측선의 형태로 집중되어 있고 어류의 몸체에 길게 늘어져있으며, 감각기관으로서 평형감각운동 역할을 제공한다. 인간의 달팽이관과 비교하면 측선은 주위의 입자운동(진동)의 주파수를 분별하는 기능을 갖는다. 그림 3은 경골어류의 귀의 구조와 측선의 형태 및 구조이다[2][3].

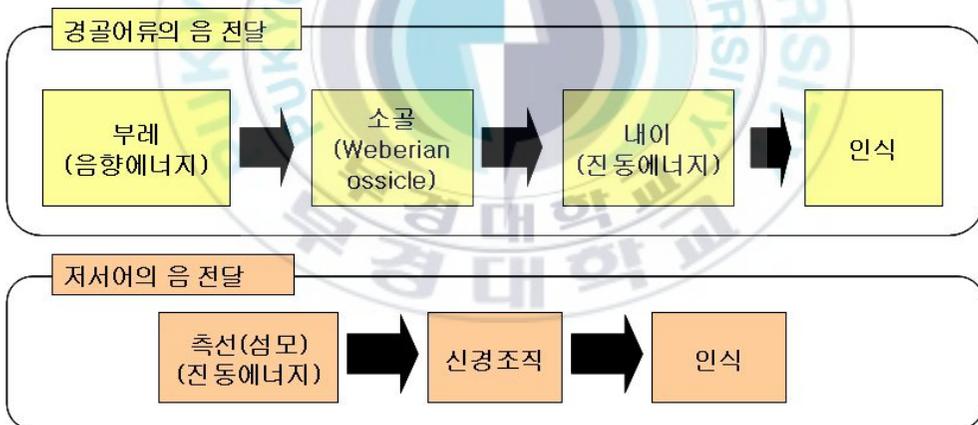
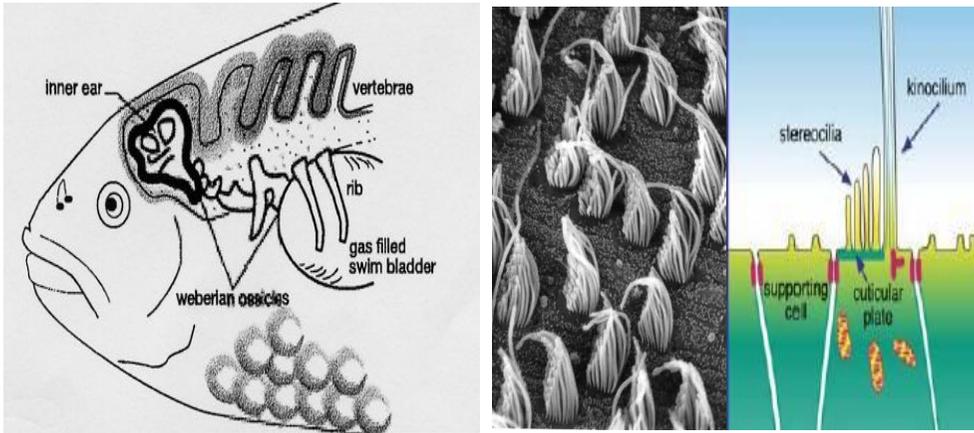


그림 2. 어류의 음 인식 기관 및 음 인식 과정

Figure 2. Sound cognition organs and cognition processing of fishes



(a) 경골어류의 청각구조 (b) 측선의 형태 및 구조
 (a) Hearing structure of fishes (b) sensory hair cell of fishes

그림 3. 경골어류의 귀의 구조와 측선의 형태 및 구조

Figure 3. Hearing structure and sensory hair cell of fishes

2-2 어류의 청감역치

어류에 대한 행동 반응을 규명하기 위해서는 해당 어류의 청감 및 반응특성이 주어져야한다. 어류의 청감역치는 Auditory Brainstem Response(ABR) 방식으로 참조 전극은 눈과 머리사이, 청감역치분석 전극은 아가미와 등지느러미 사이에 연결하며, 뇌관과 직접 연결하여 SigGen, BioSig 등의 생리학적 분석 장치를 이용하여 어류의 청감 역치를 분석한다.

그림 4는 어류의 청감특성이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 100Hz~2000Hz 범위에서 대부분의 어류의 음 반응은 아주 높은 감도를 보인다. 표 1에서 연어의 경우 음압이 90dB~130dB/uPa일 때 30Hz~400Hz에서 반응을 하며, 대구의 경우는 음압이 75dB~110dB/uPa일 때 30Hz~500Hz의 주파수에서 반응을 한다. 청어의 경우는 음압이 120dB~170dB/uPa일 때 200Hz~100kHz의 넓은 주파수대역에서 반응을 한다. 전갱이의 경우는 145dB/uPa일 때 구집반응을 125dB/uPa일 때 유집반응을 나타내며, 반응 주파수는 150Hz로 알려져있다. 본 연구에 이용된 금붕어는 비교적 낮은 음압인 60dB~120dB/uPa일때 50Hz~3kHz의 주파수에서 반응을 나타낸다. 그림 4에서와 같이 어종에 따라 반응 주파수와 반응 음압이 다른 것을 알 수 있다[4].

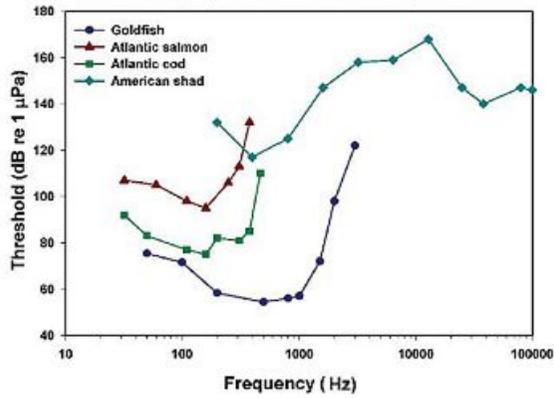


그림 4. 어종에 따른 청감 역치[4]

Figure 4. Hearing capabilities threshold in several fish species

표 1. 어종에 따른 청감[4]

Table. 1. Hearing capabilities of fishes

어종	음압 (dB /1uPa)	반응주파수
연어	90~130	30Hz~400Hz
대구	75~110	30Hz~500Hz
청어	120~170	200Hz~100KHz
금붕어	60~120	50Hz~3KHz
전갱이	구집반응 : 145	150Hz
	유집반응 : 125	

Ⅲ. 연속음과 충격음에 대한 음 반응 실험장치

인위적인 수중소음원은 연속음과 충격음으로 나눌 수 있다. 그림 5에서 보는바와 같이 연속음의 경우 충격음에 비해 상대적으로 음압이 낮고 지속시간이 긴 특성을 나타내며, 일반적으로 어류의 도피 및 군집 반응을 유발시킨다. 충격음은 음압이 높고 지속시간이 짧은 특성을 나타내고, 어류의 치사나 부레파열, 청각세포 손상을 유발시킨다.

표 2는 수중소음의 종류에 따른 어류의 반응 특성에 대한 기존의 연구결과로 충격파의 음압이 연속순음보다 크더라도 지속시간이 짧은 경우에는 반응이 나타나지 않으며, 연속순음의 경우 충격음보다 음압이 낮더라도 지속적으로 장기간 음에 노출 되면 어류의 반응이 유발된다. 어류가 항타소음 등 수중충격음에 노출된 경우 노출된 후의 어류의 즉사, 일정시간 경과후의 치사 등과 충격음의 크기와 지속시간과의 관계에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다[4][5].



그림 5. 연속음과 충격음에 대한 어류의 반응

Figure 5. Fish response on continuous and impulsive sound

표 2. 수중소음의 종류에 따른 어류의 반응특성[4]

Table. 2. Behavior characteristic of fishes on underwater sound

수중소음의 종류	반응특성	어종	수중소음 준위 (dB/1uPa)
36" 수중 파일항타 충격소음	어류치사, 부레파열	연어, 청어	최대음압 224
수중 파일항타 충격 소음	먹이생물교란에 의해 유집현상	연어	최대음압 186~206
8", 12"목재 및 철 재 수중 파일항타 1 톤 햄머, 3m낙하	반응실험결과 영향 임계치로 판정	연어치어	최대음압 약 209
20" 수중 파일항타 3톤 햄머, 3m낙하	반응실험결과 영향 임계치 이상 판정	연어치어	최대음압 212dB
폭발 충격과	치어 치사	연어, 연어치어	최대음압 205
초저주파에 대한 구집반응	구집 반응	유럽산 silver eel	166 at 11.8Hz
연속순음 150Hz	구집 및 유집반응 소음도	전갱이	구집반응 약145 유집반응 약125
air gun 충격과	청각세포손상	도미	최대음압 203

3-1 연속음에 대한 음 반응 실험 장치

연속음에 대한 음 반응 실험을 하기 위해서는 어류의 행동을 방해하지 않으면서 음의 세기의 공간적인 분포가 다른 음장을 형성할 필요가 있다. 본 연구에서는 원통형 수조내에 정재파를 발생시켜 공간적으로 음의 세기가 다르게 되도록 하였다.

정재파에서 전혀 진동하지 않는 위치를 마디라 하고 최대 진폭으로 진동하는 위치를 배라 한다. 그리고 양쪽이 닫힌 관의 길이가 L 이라고 할 때 그림 3-2과 같이 n 개의 반파장이 포함된 정재파가 생겼다면, 줄의 길이 L 과 파장 λ_n 그리고 진동수 f_n 사이에는 식(3-1)이 성립한다.

$$L = \frac{\lambda}{2} \quad \lambda = 2L \quad f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L} \quad (3-1)$$

$$L = n \frac{\lambda_n}{2} \quad \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad \rightarrow \quad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} = n f_1$$

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

양쪽이 닫힌 관에서 만들어낼 수 있는 소리의 진동수들 중에서 가장 작은 f_1 을 기본진동수라 하며, 기본 진동수의 n 배로 주어지는 f_n 을 줄의 n 번째 조화진동수라 한다. 그림 6은 양쪽이 닫힌 관에서의 정재파의 모습이다.

양쪽이 닫힌 관에서 생기는 정재파는 양쪽 끝에서 마디를 이루지만 그림 7에서 보는 것과 같이 한쪽만 닫힌 관에서는 관이 열린 쪽은 배가 되는 정재파가 형성된다. 따라서 이런 관에 생길 수 있는 가장 긴 파장의 정재파는 그림 7에서 보는 바와 같이 1/4파장과 같아서 식(3-2)가 성립한다.

$$L = \frac{\lambda}{4} \quad \lambda = 4L \rightarrow f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L} \quad (3-2)$$

$$L = (2n+1) \frac{\lambda_{2n+1}}{4} \quad \lambda_{2n+1} = \frac{4L}{2n+1}$$

$$\rightarrow f_{2n+1} = \frac{v}{\lambda_{2n+1}} = (2n+1) \frac{v}{4L} = (2n+1)f_1$$

$n = 1, 2, 3 \dots$

이처럼 한쪽은 닫혀있고 다른 한쪽은 열린 관에서 발생하는 소리의 진동수는 식(3-2)에서 얻은 진동수가 f_1 인 소리와 또한 f_1 의 홀수배로 이루어진 진동수가 $f_{2n+1} = (2n+1)f_1$ 인 소리를 만들어 내는 것을 알 수 있다. 이때 관에서 낼 수 있는 소리의 진동수들 중에서 가장 작은 f_1 을 이 줄의 기본진동수라 하며 기본진동수의 홀수배로 주어지는 f_{2n+1} 을 줄의 $2n+1$ 번째 조화진동수라 한다[6].

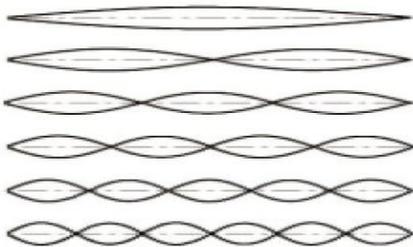


그림 6. 양쪽이 닫힌 관에서의 정재파
Figure 6. Standing wave
(closed, closed)

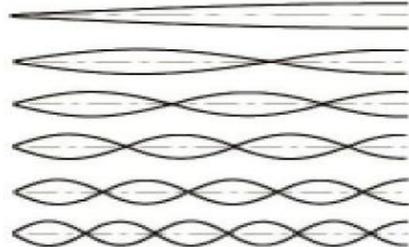


그림 7. 한쪽이 닫힌 관에서의 정재파
Figure 7. standing wave
(closed , open)

원통 수조 내에 187.5Hz의 정재파를 발생시켰을 경우 음압분포특성은 그림 8과 같이 음압이 상대적으로 높은 2곳의 고지점과 상대적으로 음압이 낮은 3곳의 저지점이 나타났다. 원통 수조내의 정재파의 형성이 식 (3-2)을 정확히 만족하지 못하는 것은 원통의 직경, 재질과 실험에 이용한 수중스피커의 특성에 의한 것으로 판단되지만, 음압 고지점과 저지점의 차이가 약 40dB되는 음장을 형성 할 수 있었다.

그림 9는 음압 최대치 지점에 측정된 187.5Hz의 스펙트럼이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 187.5Hz에서 최대 100dB/uPa이며, 이는 금붕어의 청감역치보다 약 40dB 높은 준위이다. 형성된 원통수조내의 음장에 금붕어를 노출시켜 그 반응을 시험하였다.

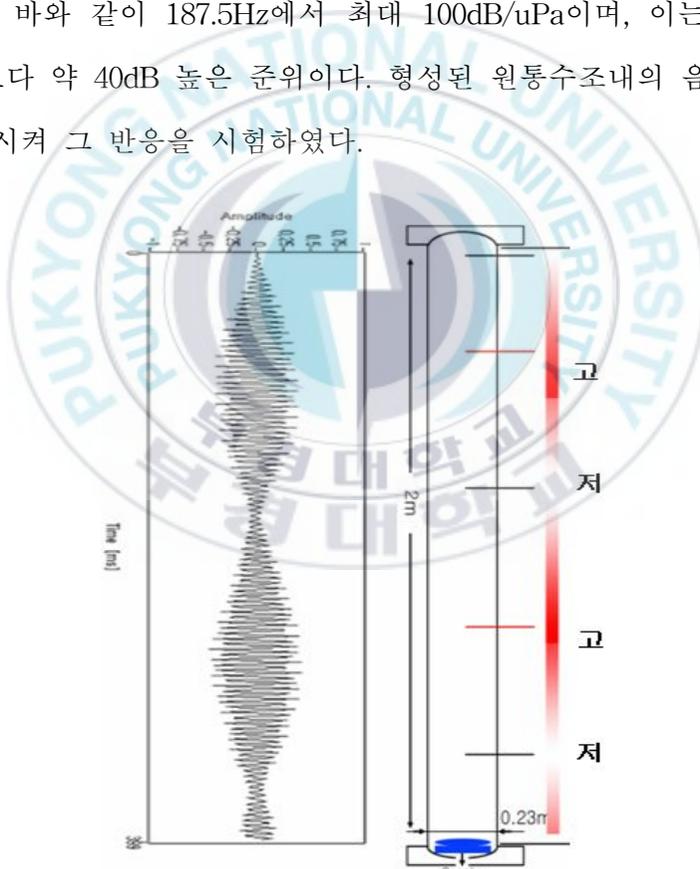


그림 8. 원통 수조내의 음압분포특성

Figure 8. Sound pressure characteristic in cylindrical water tank

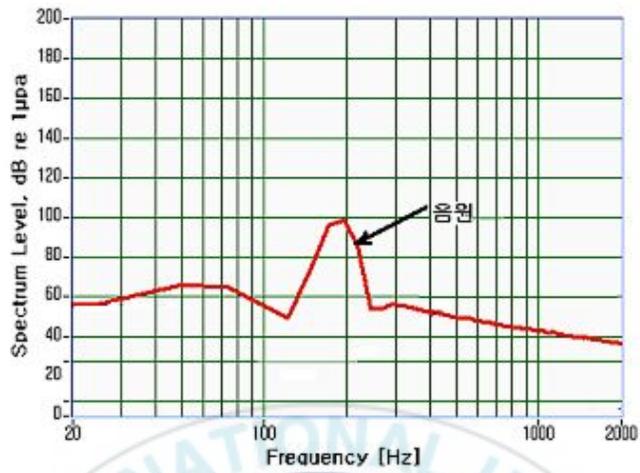


그림 9. 원통수조내 음압 최대치 지점의 스펙트럼

Figure 9. Spectrum at position of maximum sound pressure in cylindrical water tank.

3-2 충격음에 대한 음 반응 실험 장치

수중에서 발생하는 인위적인 충격소음원 중 파일 항타, 수중발파, 쇄암 봉작업등에 의한 충격음은 두 개의 물체가 부딪혀서 에너지의 급격한 방출에 의해 발생한다. 파일 항타는 파일항타기의 햄머가 파일을 타격하는 경우, 충격음은 공기 중으로 전파하고, 펄스형태의 과도적인 응력파는 파일의 길이 방향으로 아래쪽으로 전파되며, 파일의 길이 방향으로 전파된 펄스는 해저의 지반과 결합되어 지반으로 전파해 간다[7][8][9]. 그림 10은 건설 현장에서 실측한 35" 파일 항타의 소음의 시간과형이며, 그림 11은 파일 항타 소음 및 배경소음 스펙트럼이다.

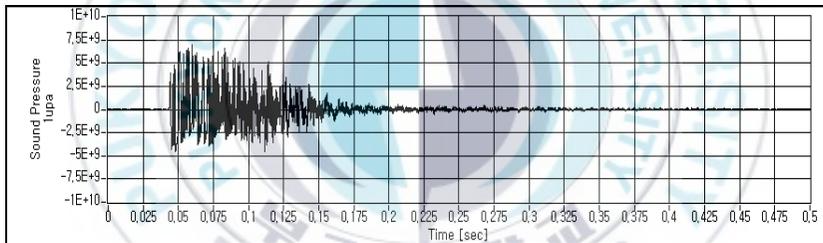


그림 10. 35" 파일항타의 시간과형
Figure 10. Waveform of pile-driving noise(35 inch)

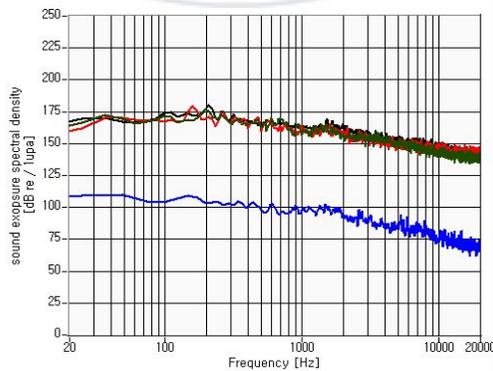


그림 11. 35" 파일항타 소음과 배경소음 스펙트럼
Figure 11. Spectrum of pile-driving noise and ambient noise

쇄암봉 향타 소음 역시 파일 향타와 같이 2개의 물체가 부딪힐 때 발생하는 소음이다. 수면 위에서 자유 낙하하는 쇄암봉이 해저 암반과 충돌할 때 충격음이 발생한다. 쇄암봉이 해저암반과 충돌할 때 펄스형태의 과도적인 충격파는 주위의 수중과 지반으로 음을 전파시킨다. 지반으로 전파해 가는 파는 수중으로 전파해 가는 파를 발생시키며 파일에서 직접 발생한 충격파와 간섭을 일으키기도 한다. 그림12는 동해 연안에서 실측한 45톤의 쇄암봉 작업의 시간과형이며, 그림 13은 쇄암봉 작업 소음 및 배경 소음 스펙트럼이다.

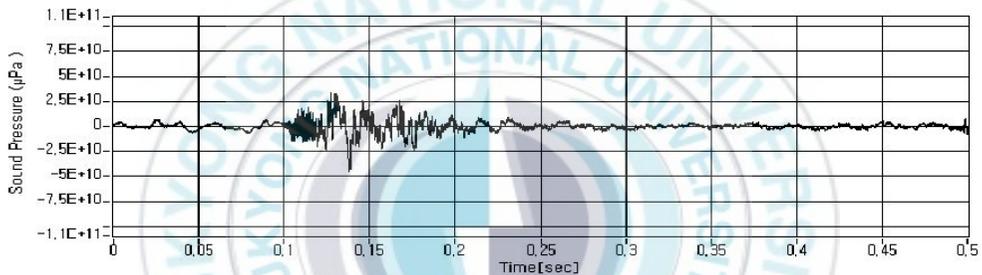


그림 12. 45톤 쇄암봉 작업 시간과형

Figure 12. Waveform of 45ton stone breaking hammer

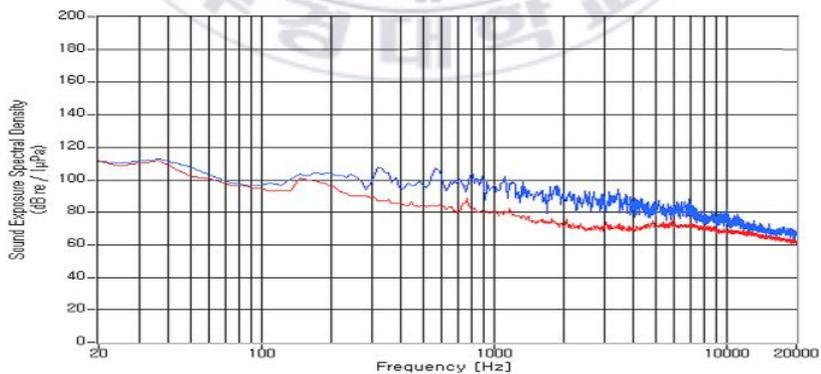


그림 13. 45톤 쇄암봉 작업 소음과 배경소음 스펙트럼

Figure 13. Spectrum of 45ton stone breaking hammer noise and ambient noise

충격음은 파일 항타 와 쇄암봉 작업뿐만 아니라 수중 발파 시 에도 발생한다. 발파에 의해 발생하는 응력파는 지반 속을 전파해 가고 해저 경계면에서 수중으로 충격파(지반-물 충격파로 정의됨)로 전파해 간다 그림 14는 남해 연안에서 준설공사를 위한 수중발파 시에 실측한 시간파형이며, 그림 15는 스펙트럼이다.

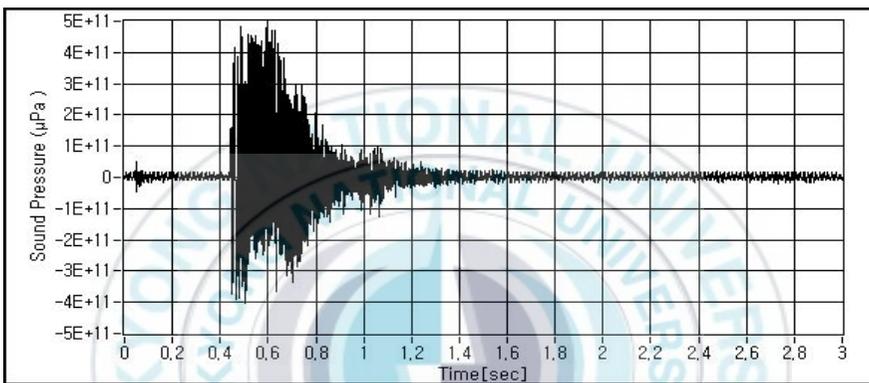


그림 14. 수중발파 시의 시간파형

Figure 14. Waveform of underwater blasting

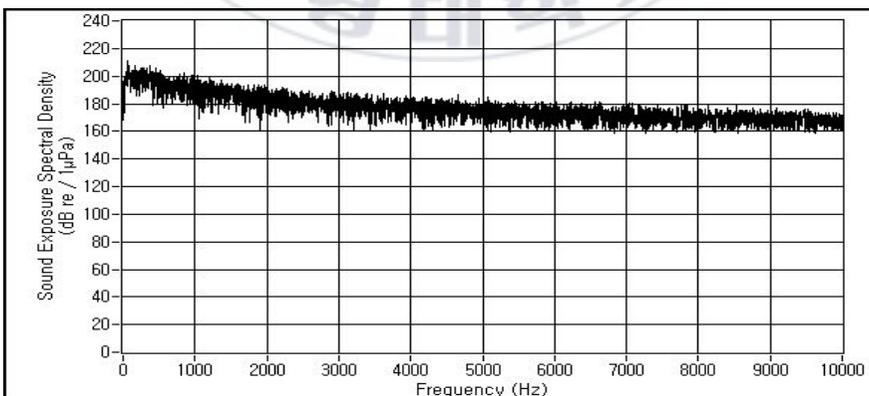


그림 15. 수중발파 시의 스펙트럼

Figure 15. Spectrum of underwater blasting

파일항타와 쇄암봉 작업, 수중발과 등의 인위적인 충격음이 어류에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 어류가 노출되는 음의 종류, 크기 및 지속 시간에 따른 분석이 필요하다. 충격음의 유효치(rms) 크기는 식(3-3)을 적용하여 구할 수 있으며, 그림 16은 충격음의 RMS(Root Mean Square)이다[7][8][9].

$$P_s(\text{impulse}) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2 dt} \quad (3-3)$$

여기서, T는 에너지의 90%를 점유하는 시간으로 식(3-4)로 정의된다.

$$\int_0^T P^2 dt = 0.9 \int_0^\infty P^2 dt \quad (3-4)$$

충격음의 크기를 표현하는 또 다른 방법은 소음의 총에너지로 소음이 매질을 전파하는 중에 행하는 일의 양이다. 이는 충격음이 어류와 같은 해양생물에 미치는 영향을 평가하는데 아주 중요하며 시간에 따라 얼마나 빠르게 에너지가 축적되는지를 나타낸다. 소음의 총 에너지는 식(3-5)를 적용하여 구할 수 있다.

$$E = \frac{1}{\rho c} \int_0^\infty p^2(t) dt \quad (3-5)$$

그러나 식(3-5)는 시간에 따라 변화하지 않는 음에 대해서는 분석이 용이하지만 크기가 시간에 따라 변화하는 경우는 정의된 시간창이 필요하다. 변화하는 음에 대해서는 등가소음도 L_{eq} 가 인간에게 적용되는 것과 마찬가지로 노출소음준위(Sound Exposure Level : SEL)가 단일 충격파와 같은 과도신호의 에너지 척도로 사용된다. SEL은 1초간의 준위로 정규화되어 있으므로 다양한 음의 영향도를 평가하는데 사용되며 식(3-6)을 적용하여 구할 수 있으며, 그림 17은 충격음의 SEL이다[10][11][12].

$$SEL = 10\log\left(\int_0^t p^2 dt\right) (dB \text{ re } 1\mu Pa^2/s) \quad (3-6)$$

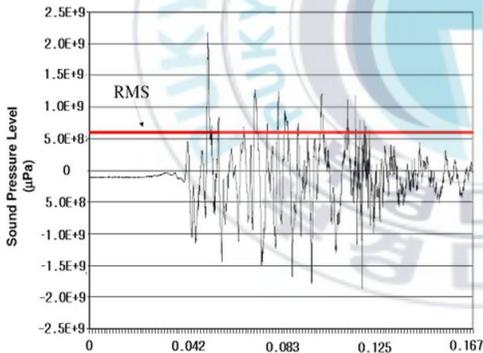


그림 16. 충격음의 RMS

Figure 16. RMS of impulsive sound

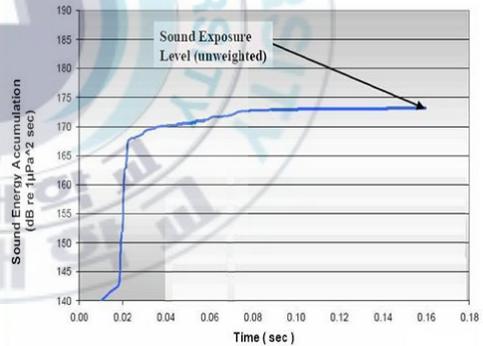


그림 17. 충격음의 SEL

Figure 17. SEL of impulsive sound

이상과 같은 다양한 충격음에 대한 금붕어의 반응 실험을 하기위해서 본 연구에서는 충격음 발생장치를 제작하여 실험을 수행하였다. 충격음 발생 장치의 회로도도 그림 18이다. 최대 충전전압은 2100V이고, 2500V 4uF 커패시터 6개를 이용하여 충전하며, 황동재질의 전극을 이용하여 최대 음압 198dB/1uPa의 출력특성을 나타낸다. 그림 19는 충격음 발생장치와 전극의 사진이다.

충전 전압과 커패시터의 선택에 따라 충격음의 크기, 지속시간의 조절이 가능하며, 그림 20은 충전전압 2000V, 커패시터 용량을 24uF으로 하였을 때, 충격음발생장치의 출력특성이다. 그림 20(a)는 시간파형을 나타내고, 그림 20(b)는 스펙트럼을 나타낸다. 충격음의 지속시간은 0.175초이고, 충격음발생장치의 SEL은 174dB/1uPa이며, 그림 21과 같다.

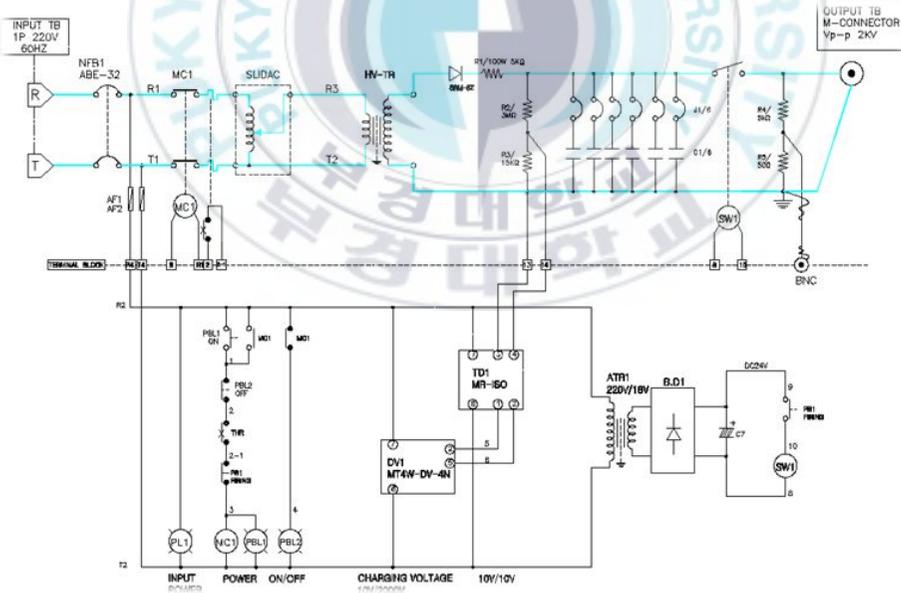
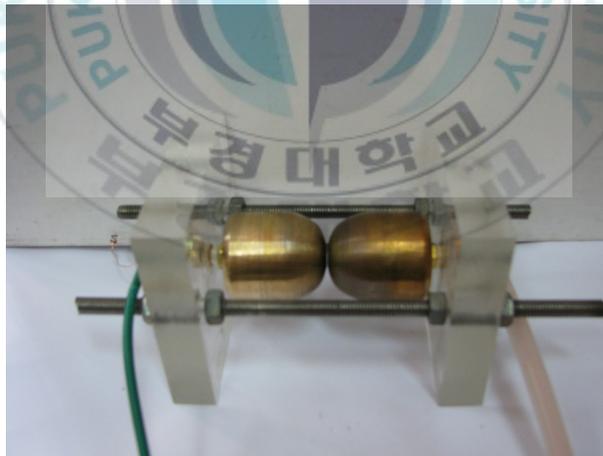


그림 18. 충격음 발생장치 회로도

Figure 18. Circuit diagram of impulsive sound device

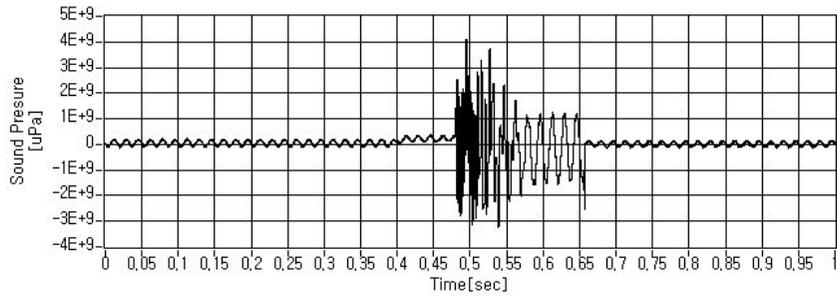


(a) 충격음 발생장치 사진
 (a) Device of impulsive sound



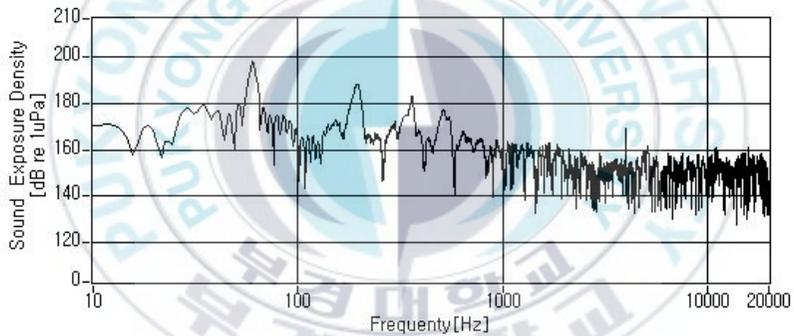
(b) 충격음 발생장치 전극
 (b) Electrode of impulsive sound device

그림 19 충격음 발생장치 및 전극
 Figure 19. Device of impulsive sound and electrode



(a) 시간과형

(a) Waveform of impulsive sound



(b) 스펙트럼

(b) Spectrum

그림 20. 충격음발생장치 출력특성

Figure 20. Output characteristic of impulsive sound

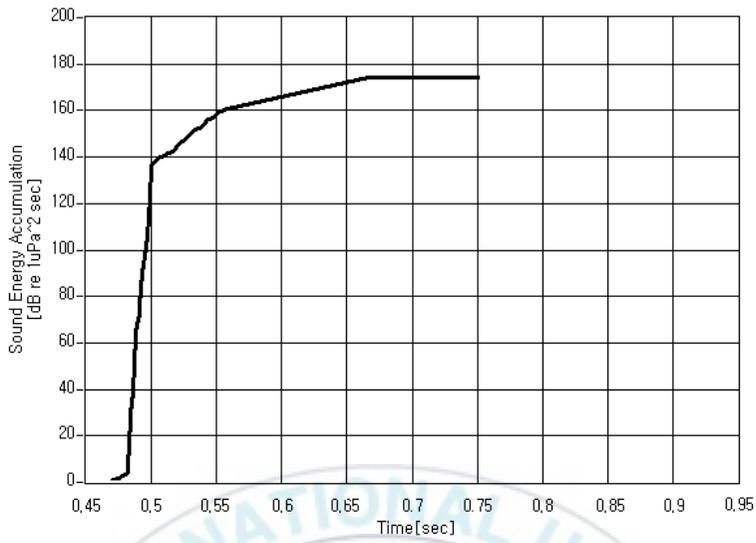


그림 21. 충격음발생장치의 SEL

Figure 21. SEL of impulsive sound device



IV. 실험 및 결과

4-1 실험 구성

본 연구에서는 연속순음에 대한 금붕어의 반응을 관찰하기 위해 III장에서 제안한 정재파와 충격음 발생장치를 이용하였다. 각 실험의 구성 요소는 표 3과 같으며, 각 실험의 구성은 그림 22와 같다.

정재파 실험에서의 구성은 길이 2m, 직경 0.23m인 아크릴 재질의 수조를 이용하였으며, 수중스피커는 FOSTEX사의 Model US300을 사용하였다. 실험 어종은 금붕어이며, 개체 수는 20마리이다.

금붕어는 주파수가 50Hz~3kHz, 음압 약 55dB/uPa이상에서 반응특성을 보이며, 실험에서 이용한 주파수 187Hz에서 약 60dB/uPa의 음압에서 반응하기 때문에 최소 60dB/uPa이상의 소음원이 발생되도록 하였다.

충격음 실험에서의 구성은 길이 1m, 직경 0.23m인 아크릴 재질의 수조를 이용하였으며, 충격음 발생장치를 이용하였다. 실험 어종은 금붕어이며, 개체 수는 10마리이다.

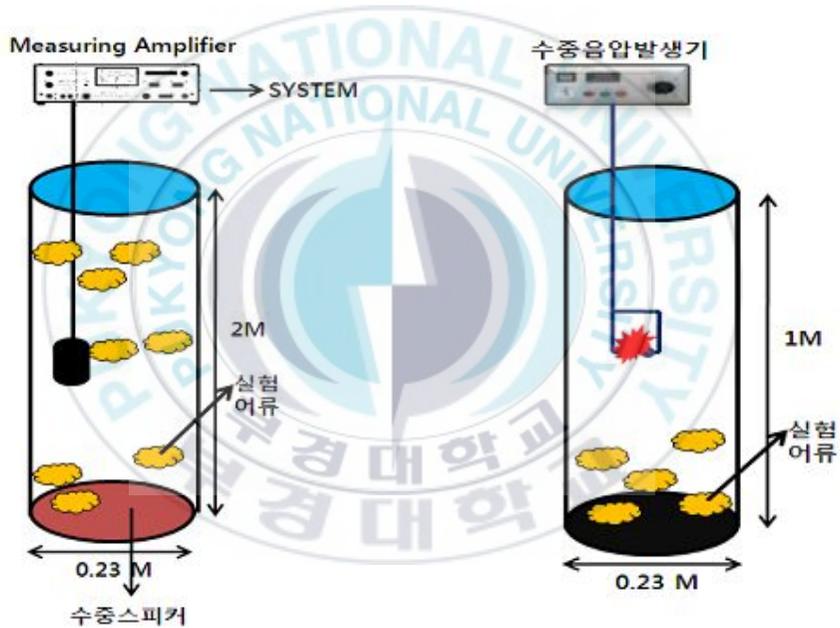
실험에서 사용한 어류역시 정재파를 이용한 어류의 군집 및 도피특성 관찰실험에서와 마찬가지로 금붕어를 이용하였다. 충격음은 발생주기를 5초와 50초로 달리하여 금붕어의 반응 특성을 관찰하였으며, 충격음 노출 후 1분 간격으로 촬영하여 얻은 60장의 사진으로 어류의 행동 범위를 표시하였다.

실험에 이용된 금붕어는 20°C의 일정온도에서 산소발생기를 구동시킨 배경소음인 약 80dB/1uPa에 30일간 적응시켰으며, 먹이 공급은 2일에 한번 하였다.

표 3. 금붕어 반응 실험 구성 요소

Table. 3. Parameters for goldfish response on underwater sound

	정재파실험	충격음실험
원통수조 재질	아크릴	
원통수조 직경	0.23m	
원통수조 길이	2m	1m
수중스피커	Fostex model US300	충격음발생장치
실험 어종	금붕어	
개체 수	20마리	10마리



(a) 정재파 실험장치의 구성
(a) Setup for standing wave

(b) 충격음 실험장치의 구성
(b) Setup for impulsive sound

그림 22. 실험 장치구성

Figure 22. Experimental setup

4-2 연속 순음에 대한 금붕어의 군집 및 도피특성

금붕어의 군집과 도피의 확인은 187.5Hz의 정재파발생 시와 중지 시를 구분하여 10분씩 1분 간격으로 10회 촬영하여 얻은 총100장의 사진에서 어류의 위치를 점으로 표시하였다. 그림 21은 정재파의 음압의 변화에 따른 실험 사진이다. 그림 23에서 보는바와 같이 최고 지점의 음압이 80dB/1uPa에서 100dB/1uPa까지 10dB/1uPa씩 증가할 경우 최고 지점의 음압이 높아질수록 금붕어가 음압의 최저 지점으로 군집하는 특성을 좀더 명확하게 보이는 것을 확인 할 수 있다.

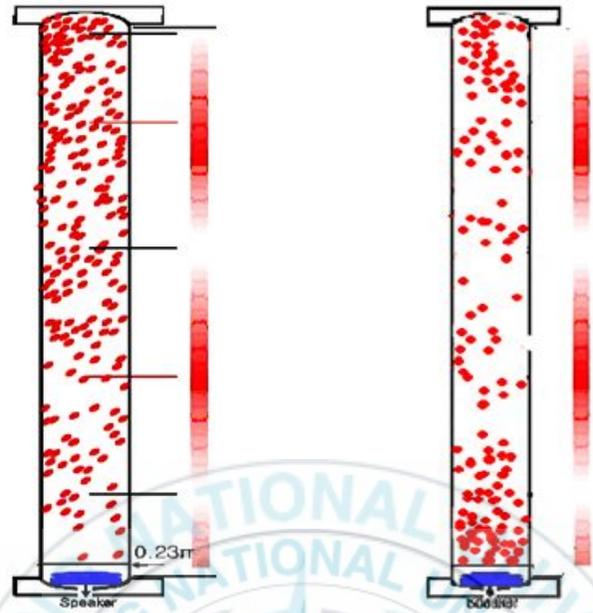


(a) 최고지점 음압 80dB (b) 최고지점 음압 90dB (c) 최고지점 음압 100dB
(a) maximum pressure (80dB) (b) maximum pressure (90dB) (c) maximum pressure (100dB)

그림 23. 최대 음압의 변화에 따른 반응실험 사진

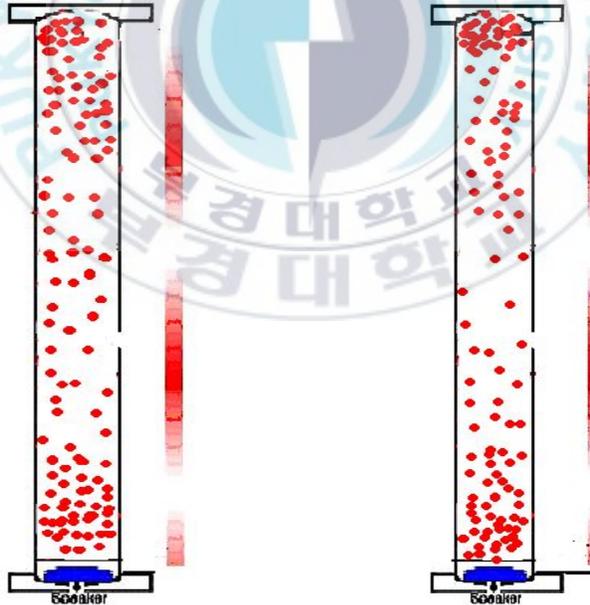
Figure 23. Photographs of goldfish response for maximum sound pressure by change standing wave sound pressure

그림 24는 최대 음압의 변화 따른 금붕어의 분포 특성을 나타내고 있다. 평상시에는 금붕어가 원통 수조내에 균일하게 분포하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 정재파의 최고지점 음압이 80dB/1uPa, 90dB/1uPa, 100dB/1uPa로 변화 될 때 정재파의 최고지점의 음압이 높을수록 음압의 최저지점으로 균집되는 특성을 명확하게 관찰 할 수 있었다. 원통내의 음압이 최저가 되는 원통의 수면과 원통 상측의 70cm 지점에 집중 분포하였다. 그러나 하측의 60cm 지점에는 음압은 최저가 되는 지점이지만 상측 70cm 지점보다 상대적으로 최고지점과의 음압차이가 작아서 금붕어들의 분포는 많지 않았다. 이와 같이 음압 최저점과 최대점의 금붕어의 분포가 명확하지 못한 것은 아크릴 재질의 음향임피던스, 원통의 크기와 파장의 상대적인 크기, 수중스피커의 진동면 조건 등이 원통수조내에 완전한 정재파를 형성하기 위한 이상적인 조건을 만족하지 않았고, 또한 음압의 크기가 연속적으로 변하는 이유로 판단된다.



(a) 정재파 발생 전
(a) Before occurrence

(b) 최대지점 음압 80dB
(b) maximum pressure (80dB)



(c) 최대지점 음압 90dB

(d) 최대지점 음압 100dB

(c) maximum pressure (90dB)

(d) maximum pressure (100dB)

그림 24. 정재파의 최고지점의 음압의 변화에 따른 어류의 분포 특성

Figure 24. Distribution characteristic of fishes for sound pressure of standing wave

4-3 충격음에 대한 금붕어의 행동반응특성

충격음에 대한 금붕어의 실험은 3-2장에서 기술한 충격음의 평가방법 중 충격음의 지속시간과 SEL의 변화에 따른 금붕어의 행동반응 특성을 관찰하였다. 그림 25는 충격음의 발생주기가 5초인 경우 노출 5분경, 노출 10분경, 노출 30분경, 노출 50분경의 실험 사진이며, 그림 26은 충격음의 발생주기가 50초인 경우의 사진이다.

충격음의 발생 주기가 5초인 경우 금붕어는 충격음 노출시작 5분경부터 행동이 둔화되고 10분경부터는 실험 수조 바닥에서 움직임이 없었다. 충격음 노출시작 35분경부터는 충격음의 발생과 무관하게 행동하는 특성을 관찰할 수 있었는데, 이는 충격음에 과다 노출되어 청감조직의 손상으로 나타나는 현상으로 예상된다. 반면 충격음의 발생 주기가 50초인 경우 금붕어들이 실험 초기 충격음이 발생하는 순간 도피 현상을 보였으나, 행동이 특별히 둔화되는 것은 관찰할 수 없었으며, 노출시작 50분경부터는 소음원의 발생과 무관하게 행동하는 특성을 보였다.

● 금붕어의 위치



(a)충격음노출전 (b)노출5분경 (c)노출10분경 (d)노출30분경 (e)노출50분경
(a)Before exposure (b) After 5 minute (c) After 10 minute (d) After 30 minute (e) After 50 minute

그림 25. 충격음의 발생주기가 5초인 경우 실험 사진

Figure 25. Photographs of goldfish response for impulsive sound (5 sec)

● 금붕어의 위치



(a)충격음노출전 (b)노출5분경 (c)노출10분경 (d)노출30분경 (e)노출50분경
(a)Before (b) After 5 minute (c) After 10 minute (d) After 30 minute (e) After 50 minute

그림 26. 충격음의 발생주기가 50초인 경우 실험 사진

Figure 26. Photographs of goldfish response for impulsive sound(50sec)

또한 충격음에 노출된 금붕어를 격리 시켜 관찰 하였을 경우 일정시간이 경과한 후 움직임은 회복되었으나, 동일한 실험을 반복했을 경우 충격음에 대한 반응이 둔감한 것으로 관찰되어 충격음이 어류의 청감조직에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

그림 27은 충격음 노출된 경과 시간에 따른 금붕어의 분포 특성을 나타내고 있다.

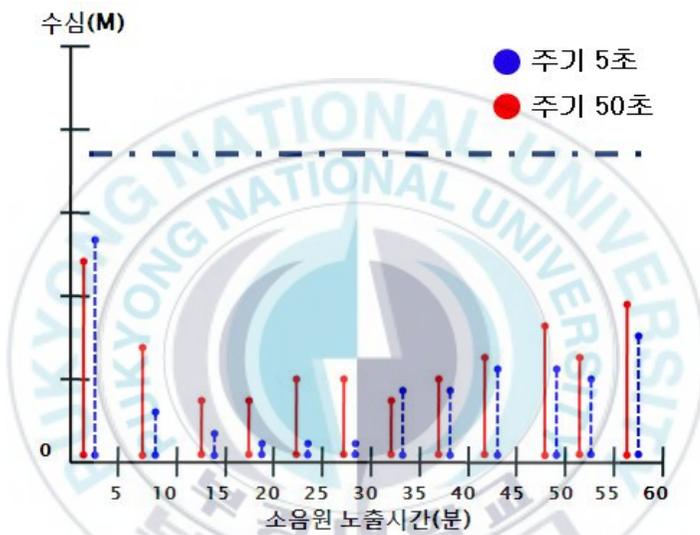


그림 27. 충격음 노출된 경과 시간에 따른 금붕어의 분포 특성

Figure 27. Distribution characteristic to dose time by impulsive sound

V. 결론

본 연구에서는 정재파를 이용한 금붕어의 군집 및 도피특성 관찰 실험과 충격음의 발생주기에 따른 금붕어의 행동특성 실험을 수행 하였다.

정재파를 이용한 어류의 군집 및 도피특성 실험에서 187.5Hz 정재파의 최고지점의 음압이 상대적으로 낮은 지점으로 금붕어의 도피 및 군집하는 행동 특성을 보였으며, 최고지점의 음압을 80dB/1uPa, 90dB/1uPa 100dB/1uPa로 변화 시켰을 경우 원통내의 음압이 최저가 되는 원통의 수면과 원통 상측의 70cm 지점에 집중 분포 하였으며, 최고지점의 음압이 높을수록 어류의 군집 및 도피 현상이 명확하게 관찰되었다.

충격음의 지속시간에 따른 금붕어의 행동특성 관찰실험에서는 충격음 발생장치를 이용하여 금붕어의 행동을 관찰하였다. 충격음의 발생주기를 5초와 50초로 나누어 실험한 결과 충격음의 발생주기가 5초인 경우 약 5분 동안 노출되었을 때 행동이 둔화되었으며, 약 10분 동안 노출되었을 때 금붕어는 실험 수조 바닥에서 움직임이 없었다. 충격음에 노출된 지 약 35분부터는 금붕어가 충격음의 발생과 무관하게 행동하는 특성을 확인 하였다. 충격음의 발생주기가 50초인 경우 실험 초기에 금붕어들이 충격음이 발생하는 순간 도피 현상을 보였으나, 행동이 특별히 둔화되는 것은 관찰 할 수 없었으며, 노출시작 50분경부터는 소음원의 발생과 무관하게 행동하는 특성을 보였다.

본 연구 결과로부터 금붕어가 원통 수조에서 연속음이 발생할 경우 소음의 크기가 상대적으로 낮은 지역으로 도피 및 군집하는 특성을 관찰 할 수 있었으며, 파일 향타와 유사한 충격음이 짧은 주기로 반복적으로

발생할 경우 비교적 긴 주기로 발생될 때 보다 금붕어는 청감 조직 손상이 빨리 일어 날 것으로 예상되고, 충격음의 최대 음압과 지속시간에 따라 금붕어의 피해 영향은 다를 것으로 예상된다.



참고문헌

- [1] 윤종락, 이성욱, 안수용, 박지현, 배종우, 안명석 “수중소음이 어류에 미치는 영향”, 한국소음진동공학회 추계학술발표대회, pp739-746, 2006
- [2] 배종우, 박지현, 류경백, 안수용, 이성욱, 윤종락 “수중소음원에 대한 어류의 행동반응특성”, 한국음향학회 춘계학술 발표대회, pp15-18, 2007
- [3] 배종우, 박지현, 류경백, 안수용, 윤종락 “충격음의 발생주기에 따른 어류의 반응특성”, 한국음향학회 추계학술 발표대회, pp256-259 2008
- [4] M.C. Hastings et al, "Effects of Sound on Fish," California DOT Contract NO.43A0139, 2005
- [5] Jim Laughlin "Effect of Pile Driving on Fish and Wildlife", Washington state Dept of Transportation
- [6] Lawrence E. Kinsler "Fundamentals of Acoustics", Wiley publishing, 1999,
- [7] Arthur. N. Popper et al. "Effects of Exposure to Seismic Airgun use on Hearing of Three Fish Species" J. Acoust. Soc. Am., 117(6), pp3958-3971, 2005.
- [8] Robert. D. McCauley et al., "High Intensity Anthropogenic Sound Damages Fish Ears", J. Acoust. Soc. Am., 113(1), pp638-642, 2003.
- [9] Arthur N. Popper "Effects of Anthropogenic Sounds on Fishes", fisheries, vol 28, pp242-247, 2003
- [10] John Hildebrand " Source of Anthropogenic Sound in the Marine

Environment". Scripps Institution of Oceanography University of California, CA92093-2005

[11] Michael E. Smith, Andrew S. Dane, Arthur N. Popper, "Noise-Induced Stress Response and Hearing Loss in Goldfish", The Journal of Experimental Biology, pp538-543, 2004.

[12] Michael E. Smith, Allison B. Coffin, Diane L. Miller, Arthur N. Popper, "Anatomical and Functional Recovery of the Goldfish Ear Following Noise exposure", The Journal of Experimental Biology, pp484-490, 2006

