

해수면 어장에서의 소음·진동영향분석 연구

이 용 희* · 김 봉 익**

A Study on the Influence Analysis of noise and shaking
in Fishing Area of the Surface of Sea

Y. H. Lee · B. I. Kim

Key Words : 소음진동(noise and shaking), 건설공사(construction works), 어종(fishing species), 어장(fishing area), 수면(direct water surface), 수중(undersea), 음원(source of sound), 피해보상(compensation of injury)

Abstract

This study is on the purpose that the influence caused by noise and shaking through construction works shall be ranged to the fishing species of fishing area of the surface of sea. This study have been performed through analysis of physical effect by the value of noise and shaking test. The resulted purpose of this study has been carried out regarding whether influence factor of the fishing species and others are related or not as per the noise and shaking.

For the purpose of the survey of noise and shaking, observances have been performed regarding the direct water surface of fishing area are as well as undersea. As for this result, the influence area for the injury at the fishing area caused by the noise and shaking have been stretched out to the distance of 10km from the source of sound.

In this conclusion, this study is regarded as the reference basis of the compensation of injury for the species of fish and others in fishing area.

* 정회원, 양산대학 토목과 교수

** 경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 교수

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

본 연구는 건설 소음·진동이 해수면 어장의 어종에 미치는 영향유무와 생물에 미치는 영향을 규명코자 한다. 이를 위하여 소음·진동 영향조사를 실시하여 건설 소음·진동이 연안역 어장의 어류에 미치는 물리적 영향권 분석과 생물 피해 유무를 판단하기 위한 학문적 이론을 정립하기 위한 근거를 마련코자 하는데 본 연구의 목적이 있다. 본 연구를 위한 조사대상은 경상남도 고성군 안정공단 내 부두축조공사의 파일 항타작업으로 인하여 건설 소음·진동으로 민원이 발생되고 있는 지역을 모델로 하여 측정조사 하였다. 본 연구는 해수 어장 내의 건설공사로 발생한 소음·진동값을 계측하고, 이들 결과값을 이용하여 어중에 미치는 피해 영향유무, 피해 범위와 정도, 그리고 그 구역을 결정하는데 필요한 근거 자료로 활용코자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구대상은 Fig.1에 표시된 바와 같이 경남 고성군 해상 일원에 위치한 안정공단조성 및 항만 시설 건설공사로 인한 파일 항타작업 등으로 인하여 소음·진동이 발생되고 있으며, 본 현장에서 해상으로부터 약 5km 떨어진 어의도 앞 해수면 일원에까지 공사소음이 외형적으로 전달되고 있으므로 이 해역 일대에 어업활동 중인 어장의 어업생산량이 소음·진동으로 인하여 상당한 감소 등 어업관련 피해발생이 예상되는 현상이다. 따라서 건설공사의 소음·진동발생으로 인하여 해양생태계에 미치는 원인규명을 위하여 소음·진동을 측정 조사분석하고, 이의 분석결과를 이용하여 어장의 생물에 미치는 영향유무를 판단하기 위한 연구자료를 제시코자 한다. 본 연구를 위하여 조사 대상일정은 공사기간을 감안 2000년 6월부터 11월까지의 파일항타작업에 의한 해상 소음·진동계측을 총 12차례에 걸쳐

현장조사 및 측정을 실시하였으며, 이들 결과치를 토대로 하여 조사분석 연구하였다.

1.2.1 음압 영향조사

가) 공사지점(음원)으로부터의 부근해역에 대한 음압 분포측정

나) 공사지점(음원)으로부터의 부근해역에 대한 음파전달 특성실험 분석조사

다) 공사장 암석제거 및 파일 항타 작업에 의한 해수면 어류가 충격음에 대한 물리적, 생물학적 영향조사

1.2.2 진동 영향조사

가) 해수면 어장에서의 공사장 파일 항타작업 및 암석작업에 의한 진동 측정

나) 해수면 어장에서의 공사장 파일 항타작업 및 암석제거 작업으로 인한 진동파 특성실험

다) 부근 해역 어장에 대한 진동 영향조사 등 조사대상의 공사관련 소음과 진동에 관한 제반 음압 및 진동파를 측정하고, 그 영향조사를 분석하여 공사장 부근해역 어장의 각종 어류에 미치는 영향조사를 검토, 분석하여 어업 피해액, 피해량, 피해율 등의 추정을 위한 피해 근거자료를 제공한다.

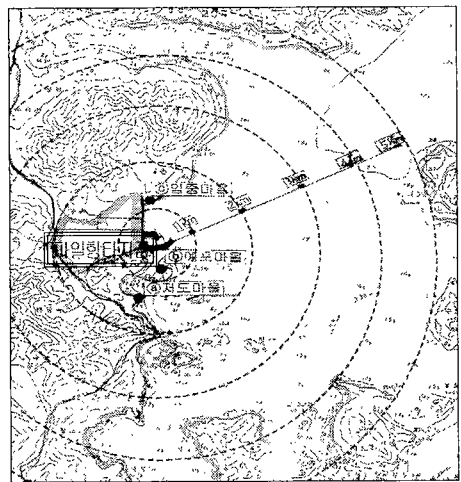


Fig. 1 Position drawing of observance for noise and shaking

2. 어장의 소음·진동 발생특성 및 영향

2.1 소음의 발생 특성

해양생태계의 어종에 대하여는 아직까지 소음·진동에 대한 문헌이 거의 없는 상태이다. 그러나 내수면 어종에 대한 사례는 있으나 어종 마다 상당한 차이를 보이고 있으며, 일반적으로 내수 및 해수면 어류들은 소음·진동에 대하여 대부분 놀라기를 잘하는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 그러므로 내수면 어류는 소음진동에 대한 스트레스 등으로 어류가 폐사하는 경우가 많이 나타나므로 이에 대한 민원이 야기되는 사례가 많이 보고되고 있으나, 해수 어종에 대한 소음의 피해에 대하여는 보고된 자료가 거의 없는 상태이다. 그러나 내수 및 해수에 대한 어류의 생태는 일반적으로 소음에 약한 것으로 알려져 있고, 어류의 청각은 예민하여 부정기적인 소음이나 진동에 대하여 취약한 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

일반적으로 건설장비의 소음 중 말뚝의 항타 장비는 몹시 큰 소음을 말하며, 도달거리도 크다.

소음은 환경보전법 제14조에 의거하여 규제되고 있다. 동 시행규칙 제15조에서는 소음에 대하여 대상 소음도를 다음에 의하여 보정하고, 보정된 소음도가 50dB(A) 이하가 되도록 규정하고 있다.³⁾

2.2 진동발생 특성

암석절취 및 파일항타 등에 의한 지반진동도 일반적인 진동측정의 경우와 같이, 진동을 측정하려는 지반에 적당한 방법으로 진동계를 고정해서 측정한다. 그러나 진동의 피해 대상이 해수면 내에 있는 어류에 대하여는 진동계측 사례가 없는 실정이며, 최근에 외국에서 개발된 해수면 진동·소음측정장비의 개발로 해수면 내에서의 진동측정이 가능하게 되었다.

단, 일반진동인 경우에는 진동계의 출력을 계기에 의해 직접 읽을 수 있도록 제작된 지시형 진동

계가 사용될 때가 많지만, 암석절취 및 항타 등의 작업에 의한 지반진동인 경우에는 일반적으로 다측점 동시측정을 할 때가 많고, 또한 단순한 진폭의 크기뿐만 아니라, 그 파형이나 진동수 등도 아울러 측정할 경우가 많으므로, 보통 진동계와 기록장치를 병용하는 기록식 진동계를 이용해서 측정하고 있다.^{5),10)}

한편 본 현장은 해양생물인 어류에 대한 진동을 측정하는 수중 진동계가 필요하며, 어류 또한 진동에 대하여 상당히 예민한 것으로 되어 있어 이에 대한 사례도 거의 없는 실정이다.

측정 장비 또한 우리 나라에서는 생산되지 않고 있으며, 세계적으로도 최근에 개발되어 국내 반입이 거의 없는 상태로 이에 대한 자료가 전무한 실정이다. 따라서 본 현장은 해수면 내의 어장에 대한 진동에 대하여 정확도를 높이기 위하여 외국에서 최근에 개발된 연근해 해수면 내의 150feet(약 45m)의 깊이까지 측정이 가능한 소음·진동계를 도입하여 실험대상 현장에서 직접 관측을 실시하였으며, 측정장비는 연근해 어장의 해수면 내에서 직접 소음·진동측정이 가능한 V551 BlastMate II /477 모델이다. 이 기종은 Computer 기술을 이용한 소음·진동기로서 측정자료가 자동 저장되어 그래프도 출력이 가능하며, 3차원 진동 즉, L-Axis, T-Axis, V-Axis의 측정 및 음압을 동시에 측정이 가능한 장비이다.^{11),12)}

2.3 소음·진동이 어류에 미치는 영향

인간이 행동에 의해서 야기되는 소음·진동은 구조물, 동물이나 어패류, 조류 등에게 악영향을 미쳐, 짝짓기나 보금자리 이동, 생활형태의 변화 등 여러 가지 반응을 하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

특히, 건설공사장이나 육상, 항공기 등 교통수단에 의한 소음·진동이 미치는 영향은 점차 농장경영주 등에게 불이익을 가져오게 하여, 환경분쟁 조정을 통한 보상문제로 대두되어 오고 있는 경향이 다. 이러한 분야는 아직까지 전세계적으로 규명이

어렵기 때문에 자료의 조사도 여의치 않고 있다.⁸⁾

본 연구를 위하여 관련분야의 문헌을 조사하였으나, 수집된 결과는 아직도 극히 제한된 실정이다.

본 항에서는 해양생태계의 소음·진동에 대한 영향이 조사되어진 해수면 어류 등에 미치는 영향을 일반적 문헌을 통한 자료를 제시코자 한다.

진동은 입지조건과 공사조건에 관계가 있지만 특히 지층의 지반상태 및 지반의 불연속면 상태 즉, 암반의 상태가 더욱 중요한 영향을 미친다.

소음에 노출된 포유동물은 스트레스의 자극을 받아 부신피질을 호르몬이 증가된다는 것은 익히 알려져 있다. 따라서, 가축이나 각종 동물에게 소음 피해를 주지 않으려면 사람의 주거환경기준과 유사한 적용기준을 적용시켜야 하며, 환경소음의 기준은 일반적으로 45~60dB(0.005~0.028Kine)을 제시하고 있다.[8] 여기서 특이할 사항은 해수면 어장의 어류에 대한 소음기준 기준이 설정되어 있지 않을 뿐만 아니라 해수면 어장의 어류에 대한 자료도 전무한 실정이므로 적용기준의 판단이 상당히 어렵다는 점에 유의할 필요가 있다. 따라서 이에 대한 자료는 내수면 어류의 생태학적인 문헌을 참고로 조사 분석코자 한다.

어류에 대한 영향에 대하여는 자료가 그다지 없으나 일반적으로 수중에 살고 있는 어류도 높은 소음에 노출될 경우, 피해를 받는 것으로 알려져 있다. 물고기의 경우, 음향은 수중에서 의사소통에 사용되는 필수적인 도구이기 때문에 대부분의 어류들은 청각기관이 발달되어 있다. 강한 소음, 약 180여dB의 소음에 노출된 금붕어 등은 청각기관에 있는 다발이 완전히 파괴되며, 그 결과 뇌 안의 중추신경에 전달되는 음향신호가 존재하지 않게 된다.

따라서, 물고기는 중요한 감각기능이 마비되어 제 역할을 하지 못하게 된다. 한 예로 250~500Hz의 주파수 대역을 가진 180~200dB 소음 에너지에 2시간 노출된 물고기의 경우, 소음노출 후 2시간 안에 실험대상의 1/3이 죽게 되었다는 문헌도 있다. 나머지 물고기들도 소음에 노출된 뒤에 균형을 찾지 못한 것을 보아 소리에 민감한 특성을 가지고

있음을 유추할 수 있다.^{8),9)}

한편, 어류는 각기 종류에 따라서 청각기능 및 성질에 따라서 소음·진동에 다른 양상을 보이고 있으며, 현재 알려져 있기는 2,000여종의 뼈 있는 물고기에서 내이를 가지고 있다고 되어 있으므로 대부분 물고기는 정도의 차이는 있으나, 소음에 영향을 받는다고 추측되고 있다. 다만, 뼈 있는 물고기의 경우 60dB보다 낮은 소음원에 노출될 경우에는 손상이 없는 것으로 보아, 인체를 비롯한 대부분 동물에 대하여 60dB(0.028Kine)의 환경기준이 적용되어야 한다고 주장하는 연구보고가 지배적이다.^{1),8)}

3. 소음·진동의 환경기준 및 규제기준

3.1 소음·진동 환경기준

소음은 감각공해로서 주관적인 요소도 많지만 강한 소리가 더욱 생활에 끼치는 악영향이 크므로 소리의 강도 표시가 필요하다 소리의 크기는 음압의 크기로 나타내어야 하겠으나 사람이 들을 수 있는 최소 가청음압은 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ 이며, 200 N/m^2 에 이르면 귀에 통증을 일으키게 된다. 이렇게 가청범위가 넓기 때문에 직접 음압으로 표시하는 데에는 불편이 따르며 또 그 음의 크기가 실제로 수천 만 배 크기로 느껴지는 것이 아니므로 다음 공식과 같이 대수를 이용하여 음압레벨로 표시한다.⁴⁾

$$\begin{aligned} \text{음압레벨 } L &= 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \\ &= 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, P=대상음압의 실효치(N/m²), P₀=기준음압의 실효치(2×N/m²)

따라서 대상음압의 실효치가 기준음압의 실효치의 1배, 10배, 100배, 1000배, 10000배가 되면 음압레벨은 0dB, 20dB, 40dB, 60dB, 80dB로 되며 역으로

생각하면 80dB인 소음의 음압을 90% 차단하면 60dB이 되는 것을 알 수 있어 소음저감이 얼마나 어려운지를 알 수 있다.

환경문제는 급속한 산업사회의 원치 않는 부산물로서 이를 해결하기 위한 각국의 정부정책이 법제화되어 시행되고 있으며, 환경기준은 환경행정의 목표로서 초기에는 사람의 건강보호를 위한 최소한도로 설정되었으나 점차 사람이 더불어 살아갈 생태계의 보전과 나아가서는 삶의 질 향상을 위하여 그 목표가 상향조정되고 있다. 우리 나라는 환경정책기본법 제10조와 동법시행령 제2조에 환경기준을 규정하고 있으며 대기환경기준, 소음환경기준 및 수질환경기준이 있다.

사람의 생활에 가장 적합한 이상적인 환경기준 (Environmental criteria)을 기초로 하여 각국은 실정에 맞는 환경행정 목표인 환경기준 (Environmental Standards)을 설정한다. 소음분야에서는 ISO가 주거환경, 작업능률 기타 사회활동에 가장 적합한 소음기준을 제시하고 있는데 각국은 이 기준치를 근거로 자국실정에 맞는 소음 환경기준을 설정하였으며 우리 나라도 ISO기준을 근거로 설정하였다. ISO는 주택에 대한 실외소음기준치로 35~35dB(A) 범위를 권고하고 있으며, 우리 나라의 소음환경기준치는 Table. 1과 같다.³⁾

Table 1 Criteria of noise environment

(Leq dB)

지역구분	적용대상지역	기준	
		낮(06:00-22:00)	밤(22:00-06:00)
일반지역	전용주거지역	50	40
	일반주거지역	55	45
	상업지역	65	55
	공업지역	70	65
도로변지역	주거지역	65	55
	상업지역	70	60
	공업지역	75	70

소음환경기준은 소음배출원의 규제로 지켜지며 소음 배출원은 규제는 소음·진동규제법에 의한 배출원별 소음·진동규제기준의 준수를 통하여 이루어진다. 우리 나라의 소음·진동규제법에서는 소음·진동 발생원을 공장소음·진동, 건설소음·진동, 교통소음·진동, 생활소음·진동의 4개 분야로 나누어 각각 규제기준을 정하여 관리하고 있다.

SPL은 음압레벨을 나타내는 것으로 음의 세기레벨과 음압레벨은 실제로 같은 것으로 정의된다. 기준음의 세기 $I_0=10^{-12}(W/m^2)$ 를 취하고 있다. 이 세기는 대체로 귀의 감각으로 1000Hz 부근의 최소가청치와 거의 비슷한 것이다. 소리의 세기가 $10^{-12}(W/m^2)$ 일때 음압실효치는 $I = \rho CV^2 = P^2 / \rho C$ 에서 $P = (\rho CI)^{1/2} = (400 \times 10^{-12})^{1/2} = 2 \times 10^{-5} (Pa)$ 로 되는데 이 값을 음압의 기준치로 한다. 또 $I \propto P^2$ 을 dB로 변환하면 $20 \log(P/P_0)$ 의 관계를 얻는데 이를 음압레벨 또는 $SPL = 20 \log(P/P_0) = 10 \log(I/I_0)$ 로 된다.⁹⁾

해수면 어장에서서의 소음·진동의 영향 및 전달과정에 대한 상관관계를 살펴보면, 대기온도 15 °C에서 음이 공기 중에서 전달되는 속도가 약 340m/sec가 되지만 바닷속에서는 약 1,500m/sec, 철 속에서는 5,000m/sec로 증가한다.

주간에는 들리지 않던 소리가 야간에 잘 들리는 이유는 주변이 조용한 탓도 있지만 지표면의 온도 변화에 의해서 음이 굴절되는 현상에 기인한다.

한편 진동속도를 dB로 변환하는 식은 아래 식을 사용한다.

$$dB = 20 \log V + 91 \quad (2)$$

여기서, $V = cm/sec$

이 식은 8Hz이상의 연속되는 조화진동을 근거로 하며 평균 예상치에 지나지 않으며 발파와 같은 충격성진동과는 다소 문제가 있는 것으로 판단된다.

소음진동규제기준에 따라 주간에 1일 2시간 이하의 발파작업을 할 때 기준치 75dB(v)을 만약 위의 식으로 규제기준을 따지면 0.158cm/sec로 아주

엄격한 기준이 된다.²⁾

그러나 해양의 어류에 대하여는 아직 확실한 근거가 제시되어 있지 않을 뿐만 아니라 관련 근거도 명시되어 있지 않으나 일반적으로 모든 어류는 내이를 가지고 있고 놀라기를 잘하는 동물로 알려져 있으므로 진동 및 소음에 아주 예민한 것으로 알려져 있다.⁸⁾

3.2 건설소음·진동 규제기준

소음·진동규제법에는 건설소음규제방법으로 건설소음·진동규제기준의 적용과 특정공사의 신고의무가 있다. 주민의 정온한 생활환경의 조성을 위하여 건설소음·진동규제지역으로 지정된 지역에서는 공사시간 중 Table 2의 건설소음·진동규제기준을 준수해야 한다.⁷⁾

Table 2 Control criteria of construction noise (LeqdB(A))

대 상 지 역	시간별		
	조 석 (05:00 -08:00 (18:00 -22:00)	주 간 (08:00 -18:00)	심 야 (22:00 -05:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동휴양지구, 자연환경보전지역, 학교병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50m이내 지역	65이하	70이하	55이하
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구의외의 지구, 미도시지역	70이하	75이하	55이하

- 비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 2. 공사장소음의 규제기준은 주간의 경우 소음발생 시간(작업시간)이 1일2시간 미만일 때에는 +10dB, 2시간이상 4시간이하일 때는 +5dB를 보정한다.

국내의 경우 소음진동규제법에 의하면 생활소음 기준의 경우 45~80dB(A)로 설정하고 있고, 공사장의 경우 55~75dB(A)로 되어 있다. 현재 환경부

의 적용기준은 소음진동규제법에 준용하고 있다.

3.3 외국의 규제기준

발파로 인한 구조물의 피해는 대상구조물에 따라 나라에 따라 다양하며 여러 실험결과와 보고 및 기준을 소개하면 스웨덴 Langefors는 7cm/sec이하에서는 건물에 피해가 없다고 보고하였으며, 캐나다의 Edwards와 Northwood는 5cm/sec를 허용한 제로 제시했고 미광무국은 5cm/sec를 제시하였다.

또한 Esteves는 지반조건이 좋지 못한 경우 0.25cm/sec, 내진구조물의 경우 6cm/sec를 허용진동치로 보고하였다. Siskind는 진동속도에 대한 주파수의 영향을 고려하여 주파수 40Hz이상은 5cm/sec로 적용할 수 있으나 40Hz이하는 1.2cm/sec로 허용치를 낮추어 적용할 것을 보고하였다. 또한 독일에서는 1986년에 기존의 안전기준을 완화하면서 주파수별로 세분하여 허용진동치를 재설정 하였다.⁹⁾

Table 3 Control criteria of shaking from German (1986 Revision)

구분 지역	진동기준 (cm/sec)		
	주진동파수		
	10Hz<	10~50Hz	50~100Hz
민감지역	0.3	0.3~0.8	0.8~2.0
주택지역	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
농업지역	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0

Table 4 Control criteria for construction work from shaking control law from Japan. (Shaking control law, Performing rule article 11)

국제기준	건설작업내용
75dB (0.158kine)	1.항타기, 항발기 또는 항타항발기를 사용하는 작업 2.강구를 사용하여 건물들을 파괴하는 작업 3.포장판 파쇄기를 사용하는 작업 4.브레이커를 사용하는 작업

Table 5 Assesment criteria of international standard organization (ISO,2631/2, 1989)

구 분	연속진동	충격(순간)진동 (1일 3회이하)
	진동레벨 (진동속도)	진동레벨(진동속도)
주간 주 택	60~66dB (0.028~0.056kine)	83.5~93dB (0.422~1.25kine)

4. 소음·진동의 측정 및 영향분석

4.1 음압 및 진동측정 계측 시스템

본 현장의 소음 및 진동계측을 위하여 소음·진동을 동시에 측정이 가능한 장비인 V5.51 Blast-Mate II/477모형을 사용하였다. 지금까지는 해상에서 측정이 가능한 수심 내에서의 진동에 대한 측정이 어려운 형편이었으나 본 측정기기의 출현에 의하여 해수면 내에서의 진동측정이 가능하게 되었다.

따라서 Computer 기술을 이용한 소음·진동기로써 해수면 내의 진동 측정자료가 자동 저장되어 그 그래프로도 출력이 가능하며, 3차원 진동 즉, L-Axis, T-Axis, V-Axis의 측정 및 음압을 동시에 측정이 가능하게 되어 공사로 인한 해수면 어장 내에서 보다 정확한 측정값의 산정이 가능하게 되었다. 한편 정확도를 기하고 이들 측정값을 객관적으로 검증하기 위하여 수중 및 수면에서 계측치를 동시에 비교 분석하였으며, 어류에 직접적인 영향을 주는 소음의 측정값에 대한 정확도를 높이기 위하여 소음 전용측정장비 MODEL인 SIP95S Class.1 DIGITAL SOUND LEVEL METER를 추가로 사용 측정하여 측정치의 정확도를 높이기 위하여 검산 장비로 사용하였으며, 측정시간은 낮 시간대를 이용하여 측정을 실시하였다.

4.2 항타작업에 의한 음압 및 진동계측 결과

Table 6 Noise and shaking balance value by pile driving

측정위치	소음·진동원으로부터의 거리						비 고
	측정 결과	측정 일자	1Km 이내	2Km	3Km	4Km	
진 동 측 정 결 과 치	6.23	0.638	1.54	1.61	1.21	1.14	수면측정
	6.28	1.19	1.13	1.37	2.17	0.038	"
	8.01	0.039	0.154	0.148	0.524	1.120	"
	8.07	0.011	0.022	0.921	0.867	0.862	"
	8.07	0.862	1.150	0.645	0.554	0.040	"
	8.08	4.740	3.790				"
	평균	1.24	1.29	0.93	1.06	0.64	
	9.19	0.070	0.480				수중측정
	9.29	0.048	0.059				"
	10.04	0.059					"
	10.16	0.046					"
	10.26			0.141	0.052	0.052	"
	11.03			0.042	0.038	0.038	"
	11.09					0.180	"
평균	0.05	0.26	0.09	0.04	0.09		
전체 평균	0.65	0.78	0.51	0.55	0.37		
소 음 측 정 결 과 치	6.23	79.0	77.2	75.6	74.4	74.2	유압햄머
	6.28	74.0	76.4	68.2	68.6	69.2	스팀햄머
	8.01	60.8	70.6	63.2	64.8	67.2	스팀햄머
	8.07	91.0	67.4	70.4	67.0	69.2	유압햄머
	8.07	69.2	72.6	71.8	68.6	68.8	스팀햄머
	8.08	85.0	88.4				스팀햄머
	9.19	81.6	74.8				유압햄머
	9.29	82.6	93.6				유압햄머
	10.04	84.4					스팀햄머
	10.16	75.0					스팀햄머
	10.26			91.2	90.4		스팀햄머
11.03			69.7	69.0	79.8	스팀햄머	
11.09					81.2	스팀햄머	
평균	78.3	77.6	72.9	71.8	72.8		

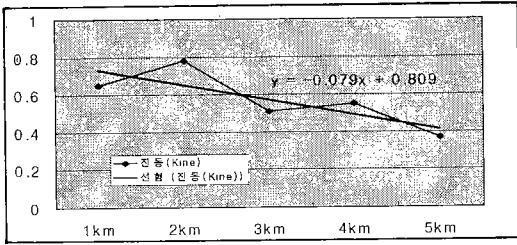


Fig. 2 Variational diagram of shaking survey by pile driving

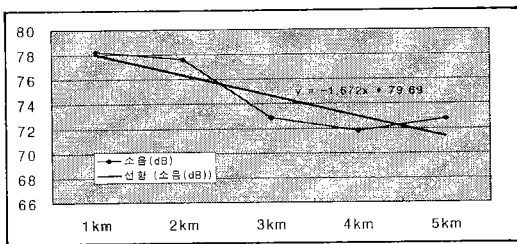


Fig. 3 Variational diagram of noise survey by pile driving

4.3 측정결과 어류피해 영향조사 검토

4.3.1 진동측정 결과분석

해수면 어장 내 파일항타 지점을 원점으로 설정하여 반경 1Km, 2Km, 3Km, 4Km, 5Km 까지 5개소의 위치를 선정하여 진동계측을 실시한 결과는 위 표와 같으며, 이들 관측값은 각각 수중 진동레벨치와 해수면상의 측정값으로 이원화하여 측정하였다. 먼저 수중 진동레벨치는 위의 표 및 그래프에 나타난 바와 같이 거리별로 0.05Kine, 0.26Kine, 0.09Kine, 0.04Kine, 0.09Kine으로 거리와는 상관관계가 크게 나타나지 않은 결과로 나타났으며, 어장내 해수면상에서의 측정 결과치는 1.24Kine, 1.29Kine, 0.93Kine, 1.06Kine, 0.64Kine으로 거리가 멀수록 점차 진동치가 줄어드는 현상으로 나타났다.

육상의 변화 값보다 변화율이 적게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 육상에서는 지면 조도계수가 높아 거리에 따라 현저하게 줄어드는 경향이 있으

나 水中에서는 직선파로 원거리까지 전달되는 특성이 있으므로 음파에 대한 감쇠현상이 거의 없는 것으로 나타났다.

그러나 위의 그래프에 나타난 수중 진동측정레벨의 변동치는 0.04~0.26Kine으로 거리에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 내이를 가진 해수면 어장의 어류의 피해 영향범위를 45~60dB로 감안하여 환산 진동치 범위인 0.005~0.028Kine과 비교하면 해수면 어장의 어류는 이러한 진동치를 초과하고 있으므로 항타로 인한 진동변화치를 충분히 감지하는 결과로 볼 수 있다.

한편 갑판상에서 실측한 수면의 진동 결과치는 0.64~1.29Kine으로 소음 발생원으로부터 5Km 이상까지 해수면 어장의 어류들이 충분히 진동치를 감지할 수 있는 결과로 나타났다.

이러한 측정값의 결과로 어류에 미치는 피해영향에 대하여는 바다 어장의 어류들에 대한 피해보고 사례는 거의 없는 실정이므로 내수면 어장의 피해 사례를 참고해 보면 일반적으로 인체에 미치는 영향 값인 60dB을 기준으로 하여 환산한 진동치 0.028Kine을 적용한 사례가 있다.

중앙환경분쟁조정위원회의 분쟁조정사례를 보면 진동에 의한 피해는 인과관계 검토기준이 없어 관련 문헌자료에 의하면 기축 및 양어중인 어류 등의 갇혀 사는 생물은 소음·진동에 놀라 경기(驚氣)를 일으키고 도망가지도 못하게 갇혀 있기 때문에 더욱 공포와 스트레스를 받는다는 보고가 있다.

내수면 양식장의 어류들에 대하여는 진동소음에 대하여 상당한 스트레스를 받는 것으로 나타났지만 해수면 어장의 어류들은 스트레스보다는 어장 밖으로 회유하는 현상으로 보는 것이 타당할 것으로 사료된다.

그러나 앞 절에서 논한 바와 같이 우리 나라의 진동규제기준은 설정되어 있지 않으며, 연구자료에 의하면 진동규제 기준은 일반적으로 공사로 인한 인과관계 피해는 0.2Kine 정도로 보고 있다.⁶⁾

일반적으로 우리 나라의 진동·소음기준은 대부분 일본의 진동규제치 및 ISO 평가기준을 원용하

고 있다. 일본의 규제기준은 0.158 Kine(75dB)이며, ISO 평가기준에 의하면 연속진동일 경우 0.028~0.156Kine(60~65dB)을 기준으로 하고 있다. 이러한 값들은 어류에 대한 영향과는 별 무관한 것임을 주지하여야 할 것이다.

4.3.2 소음측정 결과분석

공사로 인한 해수면 어장의 소음에 대하여 보다 정확도를 높이기 위하여 기능이 다른 두 종류의 계측기를 이용하여 음압 측정을 실시하였다. 음압측정은 해수면 상에서의 파일 항타로 인한 소음측정을 실시하였으며, 정확도를 높이기 위하여 주민 대표 및 공사관계자의 임회 하에 실시하였으며, 보다 정확하게 비교분석하고 신뢰도를 높이기 위하여 같은 장소에서 각각 두 기종의 장비를 투입하여 검측을 실시하였다.

소음의 측정결과는 해수면 갑판상에서 실시하였으며, 항타지점인 소음원으로부터 1Km, 2Km, 3Km, 4Km, 5Km 지점을 반경으로 하여 5개소의 위치를 선정하여 소음 및 진동계측을 동시에 실시하였으며, 거리별 소음측정결과 평균치는 위의 표에 나타난 바와 같이 각각 78.3dB, 77.6dB, 72.9dB, 71.8dB, 72.8dB로서 다소 큰 수치를 보이고 있다. 먼저 거리별 평균값의 변화추이는 거리가 멀어질수록 낮아지는 경향을 나타내고 있으며, 육상의 변화 값보다 변화가 적게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 육상에서는 지면 조도계수가 높아 거리에 따라 현저하게 줄어드는 경향이 있으나 수중에서는 직선파로 원거리까지 전달되는 특성이 있으므로 음파에 대한 감쇠현상이 거의 없는 것으로 나타났다.

문헌상의 피해사례를 검토해 보면 국립환경연구원에서는 국내에서 사용되고 있는 건설기계 중에서 소음이 문제가 되는 대표적인 대상기계의 소음도를 공중별로 분류하여 측정된 결과는 가장 소음도가 높은 기계는 항타기, 브레카 및 착암기를 들 수 있다.

이와 같이 높은 소음을 배출하고 있는 항타기는

일반공사인 경우 129~135dB(A)의 상당한 소음도를 나타내고 있으며, 이와 같은 소음이 계속될 시는 내수면 어류에 대하여는 치명적인 피해가 예상되며, 어류의 폐사에 절대적인 원인이 되어 지속적인 공사가 불가능하다는 내수면 어류의 피해 보고서⁹⁾도 있음을 주지하여야 한다.

건설공사 현장에서 공사장 소음·진동 관련 피해를 주장하는 이유도 수면, 공부 등 생활의 불편을 호소하는 민원은 물론 경제적인 피해를 주장하며, 배상을 요구하는 분쟁이 많이 발생하는데 그 중에는 건물의 균열피해와 가축의 유·사산, 양식 어류의 폐사, 양봉피해 등 피해양상이 다양하다.

소음에 의한 피해는 인과관계 검토기준이 없어 관련 문헌자료에 의하면 가축 및 양어종인 어류 등의 갇혀 사는 생물은 소음·진동에 놀라 경기(驚氣)를 일으키고 도망가지도 못하게 갇혀 있기 때문에 더욱 공포와 스트레스를 받는다는 전문가들의 의견을 따라 피해 인과관계를 인정한 사례도 있음을 주지하여야 한다.⁸⁾

본 현장의 측정값은 앞서 분석 검토된 진동영향과 마찬가지로 소음에 대한 측정값의 결과로 어류에 미치는 피해영향을 분석해 보면 바다 어장의 어류들에 대한 피해보고 사례는 거의 없는 실정므로 내수면 어장의 피해 사례를 참고해 보면 일반적으로 인체에 미치는 영향값인 60dB을 기준으로 하여 적용한 사례에 비추어 볼 때 소음원으로부터 10Km 까지도 영향이 있는 것으로 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구결과 해수면 어장에서의 파일항타 작업 등으로 인하여 발생한 소음·진동측정 결과치를 근거로 하여 인근 해역 어장의 어류 등에 피해 영향 유무를 판단하기 위하여 소음·진동 측정 등 제반사항과 연계하여 어장에 대한 피해 영향조사 결과를 평가분석하고, 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

5.1 진동에 관한 영향

해수면 어장 내 파일항타 지점을 원점으로부터 반경 1Km, 2Km, 3Km, 4Km, 5Km로 하여 5개소의 위치를 선정하여 진동계측을 실시한 결과는 앞절에 분석검토한 바와 같이 각각 수중 진동레벨값과, 어장해수면 감관상의 측정값으로 이원화하여 측정하였다. 먼저 수중 진동레벨값은 거리별로 0.05Kine, 0.26Kine, 0.09Kine, 0.04Kine, 0.09Kine으로 거리와는 상관관계가 크게 나타나지 않았으며, 해수면 어장의 감관상에서 측정한 결과 Table. 6에서와 같이 1.24Kine, 1.29Kine, 0.93Kine, 1.06Kine, 0.64Kine으로 거리가 멀수록 점차 진동치가 줄어드는 결과로 나타났다.

이들 결과치를 회귀분석한 결과 다음과 같은 식으로 나타났다.

$$Y = -0.709X + 0.809$$

여기서, Y=진동치(Kine), X=거리(Km)

위의 식에서 나타난 바와 같이 진동치의 한계를 고려해 보면 5Km 이상까지 진동의 영향범위 내에 있는 것으로 나타났으나 이는 해류의 이동, 파도, 주위의 어선이동 등에 의한 진동영향이 중복되어 있음을 감안해야 한다. 아무튼 본 측정 결과값으로 볼 때 5Km 이상까지 영향이 미치는 것으로 볼 수 있으므로 이에 대한 대책이 요구된다.

본 측정 결과치를 분석한 결과 진동치의 결과값은 평탄한 해수면을 통과하므로 직선파로 전달되어 거리에 따른 감쇠현상이 현저히 줄어들었으며, 거리에 큰 영향이 없는 것으로 나타났으나 진동측정값의 범위가 0.04~0.26Kine으로서 일반적으로 내이(內耳)를 가진 해수면 어장의 어류의 피해 영향범위를 45~60dB로 환산 진동치 범위인 0.005~0.028Kine과 비교하면 해수면 어장의 어류는 이러한 진동치를 초과하고 있으므로 항타로 인한 진동 변화치를 충분히 감지하는 결과로 영향이 있는 것으로 나타났다.

내수면 양식장의 어류들에 대하여는 진동·소음

에 대하여 스트레스를 받는 것으로 나타났지만, 해수면 어류들은 스트레스보다는 어장 밖으로 회유하는 현상으로 보는 것이 타당할 것으로 사료된다.

5.2 어류의 소음에 대한 영향

해수면 어장내 파일 항타 지점을 원점으로 하여 거의 비례하여 거리별 소음 평균치는 각각 78.3dB, 77.6dB, 72.9dB, 71.8dB, 72.8dB로서 다소 큰 수치를 보이고 있다. 먼저 거리별 평균값의 변화추이는 거리가 멀어질수록 낮아지는 경향을 나타내고 있다.

육상의 변화 값보다 변화율이 적게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 육상에서는 지면 조도계수가 높아 거리에 따라 현저하게 줄어드는 경향이 있으나 水中에서는 직선파로 원거리까지 전달되는 특성이 있으므로 음파에 대한 감쇠현상이 거의 없는 것으로 나타났다.

소음측정 결과치는 다음과 같이 나타났다.

$$Y = -1.672X + 79.69$$

여기서, Y=소음값(dB), X=거리(Km)

위 식에서 나타난 바와 같이 소음의 한계를 고려해 보면 10Km 까지 영향이 있는 것으로 나타났으나 이는 해류의 이동, 파도, 주위의 어선이동 소리 등에 의한 영향이 중복되어 있음을 감안해야 한다.

이상과 같이 해수면 어장의 공사로 인한 소음진동 피해 영향분석 연구결과를 종합해 보면 바다 어장의 어류들에 대한 피해보고 사례는 거의 없는 실정이므로 내수면 어장의 피해사례와 마찬가지로 인체에 미치는 영향값인 60dB을 기준으로 할 때 피해 확산범위가 소음원으로부터 반경 10Km 정도 까지 영향이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 해상에서의 소음진동 측정결과를 토대로 어장에 미치는 피해확산 범위를 분석하였으나, 이들 측정값이 음파의 전달특성에 따른 감쇠, 다경로, 흡수, 산란 등에 대해서는 계속 연구 중에 있음을 첨언하는 바이다.

참고문헌

- 1) 環境 오염피해 紛爭調整事例, 日刊建設, 1994. 3.22.
- 2) 梁亨植, 發破振動學, 歐美書館, 1995.8.
- 3) 環境부 소음진동과, 건설공사와 관련된 소음·진동기준 해설. 1996.12.
- 4) 유신코퍼레이션환경부, 발파소음에 대하여, 1997.
- 5) 박동철, 건설소음 특성 및 저감방안, 1997
- 6) 발파진동소음에 관한 기준, (주)진산지오시스 템스, 1997.
- 7) 한국지반공학회, 진동 및 내진설계, 구미서관, 1제8권, 1997.
- 8) 環境부 중앙환경분쟁조정위원회, 소음으로 인한 피해의 인과관계 검토기준 및 피해액 산정 방법에 관한 연구, 1997.12.
- 9) 東亞大學校 제6회 산학관 공동세미나, 발파소음 진동제어기술과 민원처리사례. 1998.
- 10) 진동소음 측정, SHINPOONG CO,LTD., 1998.
- 11) HONGLIM TRADING LTD., 진동소음측정기 해설, 1999.6.
- 12) CHARLES H. DOWDING, Northwestern University, Blast Vibration Monitoring and Control, 1994.