

수중소음 관리 기준 설정을 위한 소고

임대규^{1)*}, 신영철¹⁾, 전양배²⁾

A Study on the Establishment of Management Criteria for Underwater Noise

Dae-Kyu Lim, Young-Cheol Shin and Yang-Bae Jun

Abstract There are many dispute with a construction due to such environment problem as vibration and noise. Generally, we have a standard for acceptance level in land. But we have not a sufficient standard for acceptance level or guide line in underwater sound. In other countries, a acceptance level or guide line in underwater sound has been suggested. Especially the management criterion of underwater noise for fish has been suggested using the measurement data (peak pressure, rms, energy and SEL) by a hydrophone. In Korea, there is no management criterion of underwater noise for fish. This study suggested the management criteria of underwater noise for fish based on the measured data by a hydrophone.

Key words Underwater noise, Hydrophone, Peak noise level, rms, SEL, Threshold of hearing

초 록 각종 토목공사가 수행됨에 유발되는 소음 및 진동에 관한 민원사례가 증가하고 있다. 일반적으로 육상부 보안물건에 대한 관리기준과 피해 발생시 분쟁을 해결하는 객관적 기준자료는 다수 확보된 상태이다. 그러나 수중 소음에 관한 객관적 자료나 기준은 부족한 상태이다. 수중 생태의 환경 검토는 국외의 경우 수중소음계를 이용한 수중소음계측 방식 및 계측 결과값에 대한 항목(최대소음레벨, 실효치, 노출소음레벨)별 관리기준을 제시하고 있으며, 청각역치 연구 결과를 토대로 관리기준을 제시하고 있다. 그러나 국내에서는 수중생태에 관한 연구자료 및 피해정도를 판단할 수 있는 관리기준의 설정이 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구는 수중 소음 측정장비를 활용한 합리적인 수중소음 관리기준 설정을 위한 방향을 모색하고자 한다.

핵심어 수중소음, 수중소음계, 최대소음레벨, 실효치, 노출소음레벨, 청각역치

1. 서 론

각종 건설공사 현장에서 암반을 제거하는 효율적인 방법으로 화약류를 이용하는 발파공법이 널리 사용되고 있는 현실에서 이로 인한 역기능인 발파공해 즉 소음, 진동, 비산 및 분진 등으로 인한 사회적 갈등이 날로 증가하고 있는 추세이다.

발파작업으로 인해 영향을 받는 대상물이 육상에 존재하고 있는 경우(인체, 건물, 가축등)에는 각각의 보안물건 대상별로 다양한 관리기준이 제시되어 있고, 이에 대한 많은 연구 자료와 피해의 원인과 그 정도를 규명·검증할 수 있는 다양한 과학적인 기법이 개발되어 있으므로 해서 분쟁에 대한 객관적인 대처가 비교적 용이하다고 볼 수 있다.

그러나 수중발파 또는 바다, 강, 호수 등에 접하여 있는 지역에서의 육상발파 및 양식장과 근접한 육상발파 등으로 인해 발생되는 수중소음을 원인으로 추정되는 수중 생명체의 영향에 대해서는 이를 평가할 수 있는 관리기준의 부재 및 연구사례도 부족한 실정에서 수중소음 배출자인 공사 주체와 피해를 주장하

¹⁾ (주)대영지오발파엔지니어링

²⁾ 국토해양부 익산지방국토관리청

* 교신저자 : limblast00@naver.com

접수일 : 2010년 12월 15일

심사 완료일 : 2010년 12월 23일

게재 승인일 : 2010년 12월 26일

는 양식장 관리주체와의 마찰이 끊임없이 발생하고 있는 실정이다.

이러한 배경에서 본 소고에서는 수중소음의 발생 메커니즘과 물리학적 특성을 고찰하고 국내·외 관련 규정을 조사하여 수중소음에 의한 수중 생명체의 피해 관련성을 분석하고 합리적인 수중소음 관리기준 및 평가 방법과 정량화된 계측 방법을 제시하고자 한다.

2. 수중소음 특성

일반적으로 소음이라 함은 듣는 사람에 따라서 다소 차이는 있으나 듣기 싫은 소리를 총칭하는 것으로 정의된다. 음향용어를 규정한 일본의 JIS 8106에서는 소음이란 “바람직하지 않는 소리, 예를 들면 음성, 음악 등의 청취를 방해하거나 생활에 방해 또는 고통을 주거나 하는 등의 소리”라고 정의하고 있다.

육상에서 측정할 수 있는 공중소음(대기소음)은 배출자와 소음으로 인해 영향을 받을 수 있는 이해 당사자 모두가 인지 가능한 것에 비해 수중소음은 액체(물) 내부에서 발생되는 특수성으로 인하여 인간이 인지할 수 없는 특수성을 지니고 있다.

물론 인간이 물속에 입수한 상태에서는 일정수준

이상의 수중소음을 감지할 수는 있으나 이를 바탕으로 수중 생명체의 영향을 추정할 수는 없기 때문에 전용 측정기(Hydro phone)를 사용하여 수중소음의 크기를 수치적으로 파악하여야 한다.

2.1 수중소음 발생 메커니즘

수중소음과 공중소음 양자는 충격에 의해 생성된 에너지가 매질을 통해 전파되면서 전달거리의 원근에 따라 에너지가 손실(거리감쇠)된다는 원리는 동일하지만 전달매체가 액체와 기체라는 점과 소음의 크기를 표현하는 기준값(reference level, re)이 수중소음은 1μPa인 것에 비해 공중소음은 20μPa로 차이가 있다.

수중소음의 발생 메커니즘 및 전달 과정은 충격 에너지 발생 위치와 매질의 상태, 수중 소음에 의한 영향을 받는 보안물건의 위치에 따라 아래 그림 Fig. 1에서 제시한 바와 같이 4가지 유형으로 분류할 수 있다.

위 그림에서와 같이 충격 에너지 발생원과 전파경로 상의 매질이 각기 상이한 경우 수중 생명체에 전달되는 수중소음의 크기는 큰 폭으로 변화될 수밖에 없기 때문에 수중소음을 직접 측정하지 아니한 상태에서 과거 자료를 바탕으로 피해 영향거리를 추정하는 것은 무의미하다.

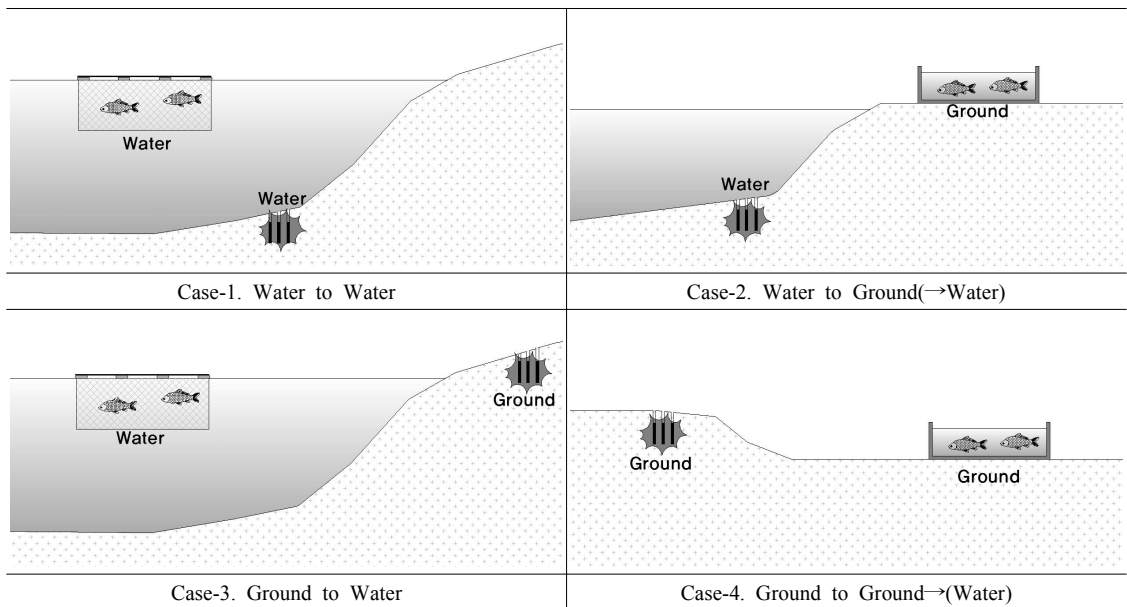


Fig. 1. A propagation case of underwater noise.

2.2 수중소음 전파 메커니즘

수중소음을 전용 측정기인 Hydrophone을 사용하지 않고 육상 소음계인 Micro phone으로 공중소음을 측정하고 측정된 육상 소음 값에 획일적으로 26dB를 가산하여 수중소음을 환산하였던 사례가 국내·외에서 다수 존재하였다.

이러한 방법을 사용하게 된 원인은 Hydrophone 장비 획득의 어려움과 더불어 외국 관련문헌의 번역 오류에 기인한 것으로 사료된다. 즉 공중 소음값에 26dB를 가산하면 수중 소음값이 된다는 산출 배경은 아래와 같다.

공중소음과 수중소음의 음압레벨(SPL ; Sound Pressure Level)을 각각 산출하면,

$$SPL_{Air} (dB) = 20\log\left(\frac{P}{P_{ref.Air}}\right)$$

$$= 20\log\left(\frac{P}{20\mu Pa}\right) = 20\log(P) - 26$$

$$SPL_{Water} (dB) = 20\log\left(\frac{P}{P_{ref.Water}}\right)$$

$$= 20\log\left(\frac{P}{1\mu Pa}\right) = 20\log(P)$$

$$SPL_{water} = SPL_{air} + 26 (dB)$$

여기서, SPL (Sound Pressure Level) : 음압레벨

P : 측정음압 (Pa)

$P_{ref.Air}$: 대기 중 기준음압 (20 μ Pa)

$P_{ref.Water}$: 수중 기준음압 (1 μ Pa)

Table 1에서 공기와 물의 임피던스(acoustic impedance)비는 약 3632이 되어 +36dB 만큼 차이가 추가로 발생하게 된다(Simmonds et al., 2004). 이와 같이 공중소음과 수중소음의 차이는 26dB이 아닌 62dB이 된다(기준레벨에 의한 차이분 26dB + 임피던스에 의한 차이분 36dB = 총 차이발생분 62dB).

그러나 이와 같은 해석은 어디까지나 물리량에 대한 단순 비교에 의한 것이지 실제와는 매우 다른 결과를 나타내며, 그 이유는 지반진동 및 공중소음에 의한 수중소음 변화에 관한 연구(박진형, 2009)에서 제시

Table 1. Acoustic impedance of air and water

매질의 종류	밀도, ρ (kg/m ³)	속도, c(m/s)	특성 임피던스, ρc (Pa · s/m)
공기(20℃)	1.20	344	413
물	1000	1450	15×105

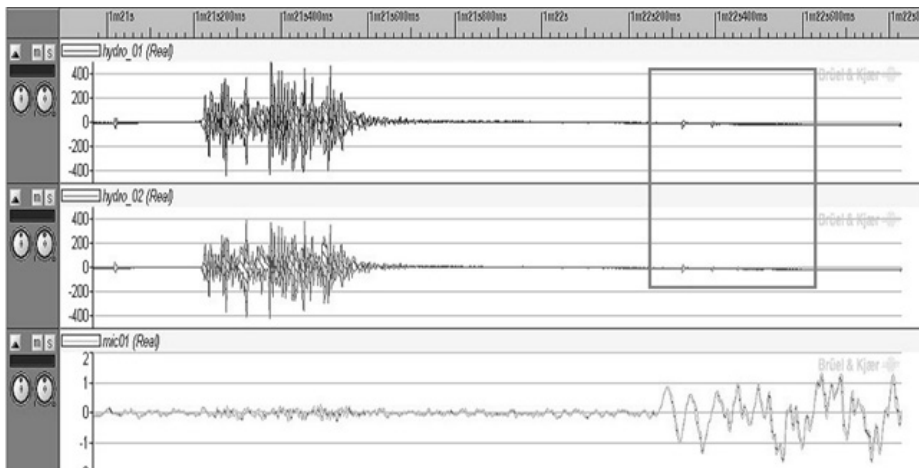


Fig. 2. An example of the monitoring approach to noise measurement(in water and air).

한 바와 같이 공중소음이 물로 입사하는 에너지 비율은 0.11%에 불과하기 때문이다. 따라서 수중소음의 주된 발생 원인은 지반진동에 의한 고체전달음에서 기인한다는 것은 Fig. 2와 같이 실험을 통하여 확인된 바 있다.

즉 발파지점으로부터 약 600m 이격된 해상 선박에 Hydro phone 2대와 Micro phone 1대를 설치하고 소음을 실측한 결과 수중소음과 공중소음은 계측된 시각의 차이가 뚜렷하게 나타났으며 수중소음 그래프(hydro_01, hydro_02)에 표시된 박스에서와 같이 공중소음이 선박에 도달된 시점에는 미세한 수중소음이 측정된 것으로부터 공중소음은 수중소음에 기여하는 정도가 매우 미미함을 확인할 수 있다. 따라서 수중소음을 평가함에 있어 공중소음 측정값을 바탕으로 일정 수준의 수치를 가산하는 방법은 합리성이 결여된 것임을 알 수 있다.

3. 관리기준 제정의 필요성

육상소음 및 진동의 경우에는 그 영향을 받는 대상물의 종류가 제한적인 측면이 있어 각각에 대한 구체적인 관리기준을 적용할 수 있음에 비해 수중소음의 영향을 받는 대상물은 수십 내지 수천 종류가 존재하기 때문에 각각에 대한 관리기준을 제정한다는 것은 현실적으로 불가능한 측면이 있다.

육상의 경우 주요 대상물은 건축물, 구조물, 문화재, 정밀 기기류와 가축(포유류, 조류 등), 인체 등으로 제한할 수 있고 오랜 연구와 실험을 통해 영향을 미치는 수준에 대한 기준이 제시되어 있으나 수중에 서식하고 있는 생명체의 경우에는 대상 종(포유류, 어류, 갑각류, 양서류 등)이 다양함은 물론 크기 또한 매우 다양(수십 톤~수 그램)하다.

특히 어류의 경우는 부레의 발달 또는 퇴화된 상태에 따라 수중소음에 반응하는 정도가 상이하고 동종 어류인 경우라도 어체의 크기에 따라 영향이 상이한

것으로 알려져 있다.

수중 생명체에 대한 수중소음 관리기준을 제정함에 있어 소유권이 불분명한 대상에 대해서는 논의를 제외하고 소유권이 확실하고 갯벌 조건에서 인위적인 관리행위를 하고 있는 것에 국한하여 관리기준을 제정할 필요성이 최근 대두되고 있어 일부 기관에서 연구 용역을 실시하였으나 아직 공식적으로 공표되지는 않은 것으로 파악되고 있다.

3.1 수중소음 관리 기준

외국에서는 오래전부터 수중 생명체에 대한 수중소음 관리기준을 제정 또는 권장하고 있으며 주된 대상은 고래, 돌고래, 물개류, 거북이 등과 같이 자연 상태의 멸종 위기에 속한 포유류가 대다수를 차지하고 있어, 양식 어종에 대해 관심이 집중된 국내와는 사뭇 다른 양상을 보이고 있다.

외국의 관리기준은 수중 생명체에 직접적인 피해(폐사, 회복 불능어 등)를 야기하는 수준에 대한 것이 주류를 이루고 있으며, 표현 단위는 수중의 절대적 압력값(psi, kPa, kg/cm² 등)이나, 수중 소음레벨인 dB(re : 1μPa)을 사용하는 특징이 있는 반면 국내에서는 수중 생명체가 외부 충격에 대해 유영속도가 증가한다든지 급격하게 방향을 바꾸는 등의 반응을 보이는 수준에 대해 고려를 하면서 표현 단위로는 dB(re : 1μPa)을 주로 적용하고 있다.

문헌 조사를 통해 파악된 수중 생명체에 대한 수중소음 관리 기준을 조사한 결과는 다음과 같다.

외국 관리기준

미국 FHWA(Federal Highway Administration)의 8개 공공기관과 2008. 6. 11. 워싱턴 및 벤쿠버에서 파일 항타 작업으로 인한 물고기의 피해에 대한 관리기준을 합의한 자료는 Table 2와 Table 3에서 제시하였다.

미국 Oregon주 LNG 터미널 및 pipeline 프로젝트에서는 아래와 같이 제시하였다.

Table 2. Interim criteria for injury level of fish(FHWA)

Interim Criteria for Injury	Agreement in Principle
Peak	206dB (for all size of fish)
Cumulative SEL	187dB - for fish size of two grams or greater. 183dB - for fish size of less than two grams.

Ward는 인체를 대상으로 최대안전수준(maximum safe level)과 폭로시간(exposure duration)과의 관계를 제시하였다(Ward, 1997). 공중소음(0dB, re : 20μPa)인 경우에 인체의 청력 손실에 관한 것이다(Table 4 참조).

Ward의 연구 결과가 의미하는 주요 내용은 폭로시간이 짧으면 최대안전수준은 높아지고 폭로시간이 길어지면 최대안전수준은 급격히 낮아진다는 것으로 이는 발파작업과 같이 충격성 소음의 지속시간이 극히 짧은 경우에는 수중 생명체에 대한 수중소음 관리기준 역시 변화(증가)할 수 있음을 시사한다(Ward, 1997).

Ward는 수중동물(marine animals)에 대해서도 유사한 연구를 통하여 안전수준과 폭로시간과의 관계를 제시하였다. 이는 수중소음 (0dB, re : 1μPa)인 경우에 수중동물의 청력 손실에 관한 것이다(Table 5 참조).

외국 수중소음 관리기준의 주요 특징으로는 최대치

(peak)와 rms, 노출소음레벨(SEL)등 소음평가 항목을 다양화하고 있다는 것과 대상 생명체의 피해수준(Injury threshold)과 괴롭힘을 인지하는 수준(harassment)등을 명시하고 있는 바, 그 동안 국내에서 많은 논쟁이 되고 있는 어류의 스트레스 개시수준에 대하여 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

국내 관리기준

국내에서 수중소음으로 인한 양식어류에 대한 피해 분쟁의 첫 사례는 명확한 자료가 없어 알 수는 없으나 기록상에는 1993년 경기도 평택시 신대리에 위치하는 육상 가물치 양어장에서 덤프트럭의 통행소음 및 진동레벨을 실측하였던 자료가 가장 오래된 것으로 파악되었으며, 측정 결과는 아래 표 Table 6과 같다.

국내에서 소음·진동으로 인한 어업피해 분쟁 사례를 조사하였으며 이는 ‘어업의 손실액 조사기관에서

Table 3. Noise Threshold Levels for Marine Mammals and Fish (in pile driving)

Species	Injury Threshold	Harassment
Pinnipeds	190dB rms	180dB rms
Cetaceans	180dB rms	160dB rms
Fish (2 grams or greater)	206dB peak, 187dB SEL(cumulative)	150dB rms
Fish (less than 2 grams)	206dB peak, 183dB SEL(cumulative)	150dB rms

* Pinnipeds ; 바다 표범류, Cetaceans ; 고래류, rms ; root mean square, SEL ; sound exposure level

Table 4. Relation with maximum safe level and exposure duration time for a man

Maximum Safe Level	Exposure duration
144dB (20μPa))	1sec
126dB (20μPa))	1minute (60sec)
112dB (20μPa))	20minutes (1,200sec)
100dB (20μPa))	8hours (28,800sec)

Table 5. Relation with maximum safe level and exposure duration time for a marine animal

Maximum Safe Level	Exposure duration
204dB (1μPa)	1sec
186dB (1μPa)	1minute (60sec)
172dB (1μPa)	20minutes (1,200sec)
160dB (1μPa)	8hours (28,800sec)

Table 6. Measurement practices airborne noise, underwater noise and displacement at truck passage

소음원으로부터의 거리(m)	공중소음 (dB, re : 0.0002μbar)	수중소음 (dB, re : 1μPa)	진동변위 (μm)	비 고
5	101.0	152.0	9.50	만재 덤프트럭 통행시 발생하였던 소음의 평균치
15	-	138.0	-	
50	80.0	130.0	3.00	
100	64.0	120.0	-	
150	60.0	124.0	0.20	

수행한 피해·영향 보고서’, ‘법원의 판결문’ 및 ‘환경 분쟁조정위원회 재정자료’ 3개의 공공기관에서 작성된 기록을 바탕으로 Table 7과 같이 정리·요약하였다(임대규 외, 2009; 임대규 외, 2010; 전양배, 2007; 한경호 외, 2009; 환경부, 2008).

사례들에 대한 경향을 살펴보면 공사로 인한 수중생명체의 피해 여부를 판단하는데 수중소음을 실측하여 적용하기 시작한 경우는 사례 No-7, No-8, No-12 등 3건에 불과하고 특히 No-7의 경우는 환경분쟁 사건에서 최초로 수중소음을 실측하였다고 알려져 있다

(2008. 12. 2. 실측). No-7 및 No-11 사건에서 전문가 의견(환경분쟁 조정 위원회) 또는 원고측 주장으로 인용되었던 어류에 영향을 미치는 소음·진동 기준은 Table 8과 같다.

Table 8은 우리나라 환경부 환경분쟁 조정 위원회에서 작성한 보고서에 수록된 내용을 기초하여 작성된 것으로 추정된다(황두진 외, 2009). 본 보고서에 수록된 주요 내용은 다음과 같다. 청각능력을 인지하여 스트레스를 받기 시작하는 레벨을 피해 인정기준으로 한다. 양식어류의 경우 평상시 배경소음과의 수

Table 7. A precedent or report for underwater noise

No	사례명	대상	피해인정 판단기준	수중소음 실측 여부
1	서해안고속도로 공사로 인한 OO수산의 피해 보고서	뱀장어	소음 50dB(A), 진동 55dB(V)초과, 평시보다 20~25dB 증가	No
2	서해안고속도로 OO양만장 어업피해 조사보고서	뱀장어, 메기, 빠가	소음·진동의 순 증가를 20~25dB 이상으로 판단	No
3	OO천변저류 생태 호수공원 조성에 따른 인근 양만장 피해영향조사 보고서	뱀장어	소음 및 진동으로 인한 수중소음레벨이 자연소음레벨보다 12.0dB 이상	No
4	OO읍 하수도 민간투자사업으로 인한 뱀장어 양식장에 대한 어업피해 영향조사	뱀장어	소음 및 진동으로 인한 수중소음레벨이 자연소음레벨보다 12.0dB 이상	No
5	OO-OO간 도로 확·포장 공사에 따른 양만장 소음·진동 피해조사 감정보고서	뱀장어	예상 수중소음도 94~114dB	No (추정)
6	OO군 OO면 해안도로 개설사업으로 인한 참계양식장(OO수산) 어업피해 영향 감정서	참계	공중소음이 가축피해인정기준 70dB보다도 10dB높고, 미국의 연방연한표준국에서 가축 사육지역의 권장치인 65~70dB보다 높음	No
7	전남 OO시 도로공사장 소음·진동으로 인한 뱀장어 피해 분쟁사건 (중앙환경분쟁조정위원회 재정)	뱀장어	수중소음 기준치 : 140dB/μPa 평상시와의 차 : 15~20dB/μPa	Yes (145dB/μPa)
8	전남 OO군 상수도 공사장 소음진동 양어장 피해 (중앙환경분쟁조정위원회 재정)	뱀장어, 메기, 미꾸라지	배경수중소음 : 95dB/μPa 대상수중소음 : 126dB/μPa 평상시와의 차 : 20~30dB	Yes (126dB/μPa)
9	충북 OO~OO간 도로공사 (중앙환경분쟁조정위원회 재정)	내수면 어업량 감소	수중소음이 160~200dB/μPa로 예측되어 피해 인정	No (추정)
10	OO호 교량공사에 의한 양식장 피해 (중앙환경분쟁조정위원회 재정)	향어	공중소음은 60~70dB미만으로 어류의 피해임계수준 이하로 불인정, 수질오염 인정	No
11	전남 OO우회도로 OO양만장 피해소송	뱀장어	원고측 주장 : 수중소음 예측치 149~151dB/μPa로 기준치 140dB/μPa 초과 및 평상시와의 차 15~20dB/μPa 초과 법원 판결 : 이유없음(기각)	No (타 현장 실측자료 인용)
12	OO아쿠아리움 공사금지가처분 사건	수족관 전시어류	감정결과 : 터널발파시 예측 수중소음은 135.9~139.6dB/μPa 의견 제시 법원판결 : 이유없음(기각)	Yes (129.2~139.6dB/μPa)

Table 8. Criteria for injury level in nursery(Airborne noise, Vibration, Underwater condition) (National environmental dispute resolution commission, 2009)

항 목	공중소음 (dB(A))	진동 (dB(V))	수중소음 (dB/μPa)	비 고
기준치	50~60이하	55~60이하	140	
평상시와의 차	15~20	15~20	15~20	

Table 9. Criteria for injury level in nursery(Underwater condition) (National environmental dispute resolution commission, 2009)

양식어류 피해현황	평가방법	피해인정기준	비 고
폐사, 성장지연, 산란을 저하, 부화율저하	L _{Amax}	- 수중소음 : 140dB/μPa - 배경소음과의 차 : 20dB/μPa	

※ 양식장 환경, 수중소음의 특성, 배경소음 등에 대한 신중한 검토를 거쳐 피해 발생 여부를 평가하여야 함.

중소음 레벨 차에 의한 영향을 추가로 고려하여야 한다. 양식어류에 대한 피해 유형에 따른 적용 수중 소음도는 최고소음도(L_{Amax})를 채택하여 적용하는 것이 타당하다(Table 9 참조).

3.2 기 제안된 관리기준 문제점 및 개선 사항

외국의 관리기준은 보호 대상 생명체 즉 바다 표범류, 고래류 등과 같은 포유류에 대해서는 많은 연구 자료를 바탕으로 비교적 상세하게 기준을 설정하고 있으나 어류에 대해서는 종류에 관계없이 체중 2그램을 기준하여 2가지 관리수준을 제시하고 있다.

그러나 국내에서는 수중소음에 의한 분쟁의 주된 대상은 육상 양식어종으로 이러한 배경에서 환경분쟁조정위원회에서 작성한 보고서(황두진 외, 2009)에서는 뱀장어, 메기, 미꾸라지, 가물치, 붕어, 송어 및 잉어 등 민물 어종에 국한하여 평상시와의 소음 레벨 차에 의한 어종별 피해 발생 예측율을 제시하고 있는 실정이다. 외국에서는 수중소음을 평가할 때 Peak, rms, SEL을 적용하며 각각에 대해 기준값을 차등하여 제시하고 있는데 반해 국내에서는 L_{Amax}에 의한 평가 방법만을 제안하고 있다.

최근에는 수중소음측정을 통해 피해 인과관계를 평가하고 있는 추세이나 일부 사건에서는 수중소음과 상관성이 극히 희박한 공중소음 및 진동레벨의 기준치와 증가치를 언급한 기준이 제시되기도 한다. 기존에 제안된 관리기준의 주요 문제점 및 개선사항은 아래와 같다.

공중소음, 진동레벨, 수중소음 적용에 따른 사항

Table 8에서는 공중소음과 진동레벨, 수중소음 등 3가지 항목에 대해 기준치와 평상시와의 차이 수준을 제시하고 있으나 이는 공중소음이 액체인 매질로 투과하는 비율은 약 0.11%에 불과하다는 이론과 실측자료(Fig. 2)를 고려할 때 타당성이 결여된다고 판단된다. 수중소음은 양식장 수조 기초 또는 수중에 접하여 있는 지반에 전달된 진동 수준에 따라 발생하는 바진동레벨(dB(V))을 평가 항목으로 고려한 것은 일면 타당한 것으로 볼 수 있으나 국내에 널리 보급된 진동 속도 측정기(kine, cm/sec)에 의한 평가가 합리적으로 판단된다. 공중소음, 진동레벨 및 수중소음 등 3가지 평가항목에 대한 세부적인 적용 기준이 제시되고 있지 않다. 즉 3가지 항목 중 모두 초과하면 피해 인과관계로 볼 수 있는 것인지 3가지 중 단 1가지라도 초과하면 피해로 인정한다는 것인지에 대해 혼란이 가중되고 있는 실정이다. 육상 양식장은 Fig. 3과 같이 양식어류에 대한 생명유지장치(수차가동, 보충수 낙하유입, 압축공기 방사 등)가 중단 없이 작동되고 있는 상태에서 대부분의 양식장에서는 공중소음이 Table 8에서 제시된 50~60dB(A)를 초과하고 있다.

따라서 수중소음 평가에 있어 Hydrophone에 의한 수중에서의 계측은 수행하지 않고 공중소음의 크기로부터 수중소음을 환산(예측)하는 행위는 배척되어야 하며 양식장 어류 피해를 판단하는 기준에 공중소음에 대한 것은 배제되어야 할 것으로 판단된다.

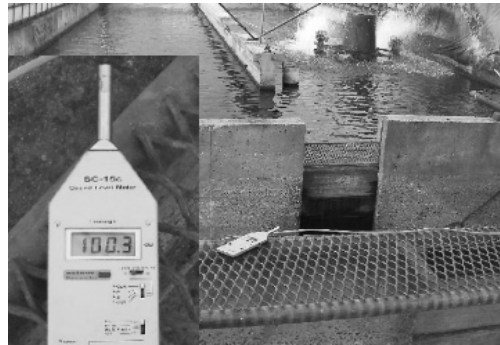
평상시와의 수중소음 차이가 20dB/μPa을 초과하면 피해 인정을 한다는 사항

양식장 수조의 형태는 원형, 사각형, 타원형 등이 있으며 그 크기는 작은 것은 100m²에서 큰 것은 400 m²에 달한다. 이와 같은 양식장 수조에는 다수의 수차가 가동되고 보충수가 유입되고 있다. 동일한 수조에

서 보충수가 낙하·유입되는 지점을 기준으로 거리를 달리하여 수중소음을 측정할 자료에 따르면 Fig. 4와 같이 약 20dB/μPa 내외의 평상시 소음 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 수조내의 물고기는 어종에 따라 보충수가 유입되는 지점에 오히려 가까이 근접하여 있는 경우도 관찰되기도 한다. 이와 같은 배경

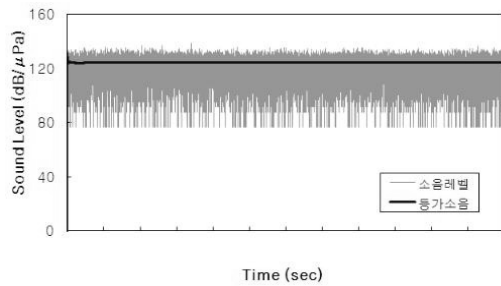
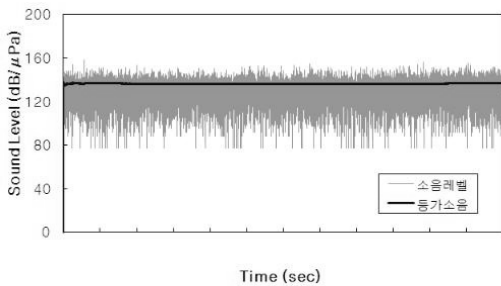


보충수 낙하



수차 가동 (100.3 dB(A))

Fig. 3. Airborne noise in nursery(Normal condition).



샘플 주기	측정 시간	최대 측정값		Leq (dB/μPa)	샘플 주기	측정 시간	최대 측정값		Leq (dB/μPa)
		압력 (pa)	Peak (dB/μPa)				압력 (pa)	Peak (dB/μPa)	
100 Hz	5 분	83.06	158.4	136.8	100 Hz	5 분	8.75	138.8	124.5
OO수산 C수조 공급용수 인접부					OO수산 C수조 중앙부				

Fig. 4. A typical sound level-time history in the nursery.

에서 어종에 관계없이 평상시와의 수중소음 차이가 20dB μ Pa 이상이면 피해를 인정한다는 주장은 설득력이 저하될 수밖에 없다고 사료된다.

대상 수중소음이 L_{Amax} 기준 140dB μ Pa을 초과하면 피해를 인정한다는 사항

수중소음에 폭로되는 주 대상물은 인간이 아니라 수중 생명체이므로 청감보정을 거친 A 특성을 적용한 L_{Amax} 로 평가하는 것은 부적절하며 국내의 일부 학자들은 L_{max} 에 의한 평가를 제안하고 있다. 그러나 외국에서는 Peak(Peak level, L_{peak})치로 평가하는 것을 주로 제안하고 있고, 경우에 따라 rms를 적용하기도 한다. peak와 rms의 관계는 이론적인 sin, cos 파형에서는 peak치를 1.414로 나누어 주면 되지만 충격성 파형인 경우에는 실제 그 보다 더 큰 격차를 보이는 것으로 알려져 있다(Fig. 5 참조).

여기서 peak, L_{max} , L_{Amax} , rms에 관해 그 의미를 아래 Table 10에 요약하였다.

우리나라 환경부 환경분쟁조정위원회에서 작성한

보고서(황두진 외, 2009)에 수록된 수중소음의 평가 방법으로 제시된 L_{Amax} 는 인체를 대상으로 청감보정 회로(A-특성)를 거친 소음레벨로서 수중의 물고기를 대상으로 적용함에는 부적절한 것으로 판단된다. 수중소음에 적용 가능한 방법으로는 청감보정회로를 거치지 않은 $L_{max}(rms)$ 를 사용하거나 peak(no rms)를 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

수중 생명체에 대한 관리기준을 확일적으로 적용하는 사항

통상 물고기라고 부르는 어류는 물에서 사는 아가미가 있는 척추동물을 지칭한다. 지구상에는 약 2만 9천 종의 어류가 존재한다. 어류는 우선 척추 동물문에 속하지만 하나의 분류군으로 보기보다는 다음의 3개 강으로 편의상 구분한다.

- 먹장어나 칠성장어와 같이 턱이 없는 무악어 (약 75종)강
- 상어나 가오리와 같은 연골어(약 800종)강
- 그 외 단단한 뼈로 된 경골어강

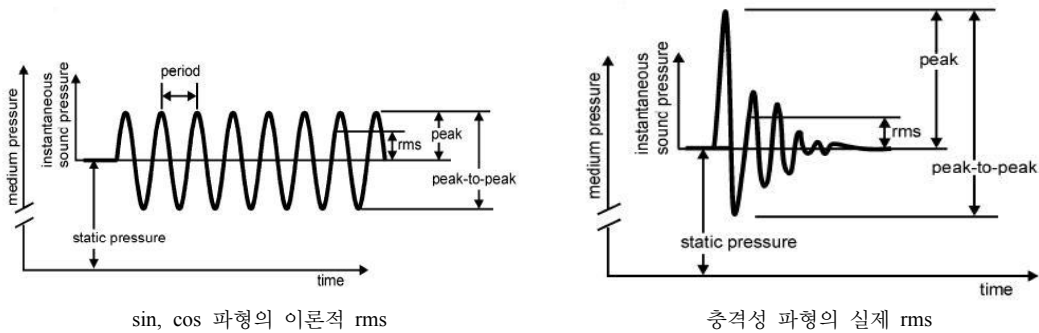


Fig. 5. A schematic diagram measured by a hydrophone(period, peak, rms).

Table 10. Common airborne or underwater condition noise descriptors

용어	의미	비고
peak	L_{peak} 라고도 표기하며 sound pressure wave 중에서 진폭의 최고수치를 의미 청감보정을 고치지 않은 평탄특성의 음에서 최고값	소음의 수치적 크기는 peak \gg L_{max} \gg L_{Amax} 순서임
L_{max}	청감보정을 거치지 않은 평탄특성의 음을 rms 처리를 하였을 때 최고값	
L_{Amax}	청감보정(A특성)을 거친 음을 rms 처리를 하였을 때 최고값으로 인체를 대상으로 할 때 적용	
rms	root mean square(실효치) 평균출력치의 개념으로 Cos 이나 sin함수로 표현되는 파형이면 최대값에 (루트1/2)을 곱한 값	대기 중 소음계는 rms 상태로 출력
SEL	Sound Exposure Level(노출소음레벨, 음향노출수준) 수학적으로 소음에 노출된 시간 동안의 소음 에너지의 합	인체의 청력손실 등을 평가할 때 사용

국내 육상 양식업계의 주를 이루고 있는 어류 즉 “뱀장어, 메기, 미꾸라지, 가물치, 붕어, 송어 및 잉어” 등에 대해서도 각각의 생태적 특성을 무시하고 획일적인 수중소음 기준을 적용한다는 것 역시 향후 분쟁 발생에 대해 혼란이 가중될 것으로 판단된다. 이와 같은 배경에서 수중 생명체의 청각특성에 대한 고려가 수반되어야 할 것이다. 왜냐하면 우리나라 환경부의 환경 분쟁 조정 위원회에서 작성한 보고서에서는 어류의 수중소음 수인한도는 “청각능력을 인지하여 스트레스를 받기 시작하는 레벨을 피해 인정기준으로 한다.” 고 기술되어 있기 때문이다. 생명체가 소음을

인지하기 시작하는 최저 한계수준을 “청각역치(청각 문턱치 또는 threshold of hearing)”라고 하며 수중 생명체는 어종에 따라 청각역치가 매우 상이하며 동일 어종일지라도 소음의 주파수 대역에 따라 Fig. 6과 같이 청각역치가 다르다.

즉 청각역치는 비골표류(부레가 없거나 퇴화된 어류)가 높으며 상대적으로 골표류(부레와 내이가 연결된 어류)가 낮은 것으로 알려져 있다.

영국의 한 연구소에서 작성한 보고서(Nedwell et al., 2004)에 수록된 다양한 수중 생명체의 청각역치 중에서 Fig. 7과 같이 매우 의미 있는 비교 대상이 존재한다.

즉 망둥어는 최소 청각역치는 100Hz 대역에서 약 105dB/μPa이고 800~900Hz 대역에서는 약 140~150dB/μPa이고 메기는 1000Hz 대역에서 90dB/μPa로 가장 낮고 약 50Hz 대역에서는 125dB/μPa 수준으로 높은 것을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 우리나라 환경부 환경분쟁조정위원회 보고서에서 제시한 육상 양식 어류에 대한 수중소음 관리기준(Lamax 140dB/μPa)의 문제점을 대변하고 있다고 볼 수 있다. 양식장의 평상시 수중소음의 주파수 대역을 미리 파악하고 대상소음(발파, 브레이킹, 항타 등)의 주파수 대역과 비교하여 해당 양식어류의 청각역치를 고려한 수중소음의 영향을 검토하여야 할 것이다.

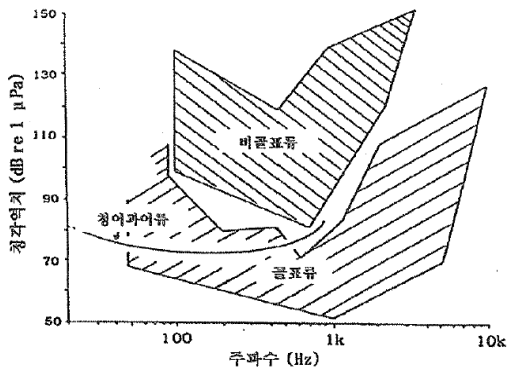
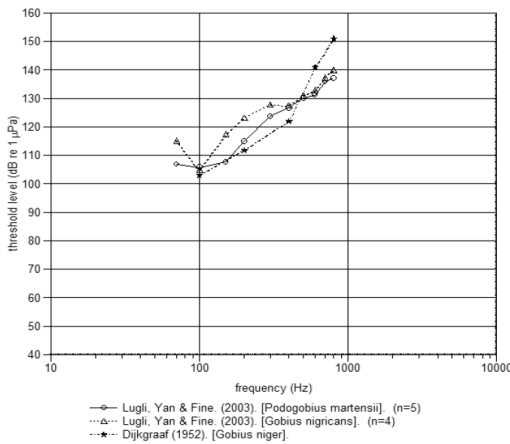


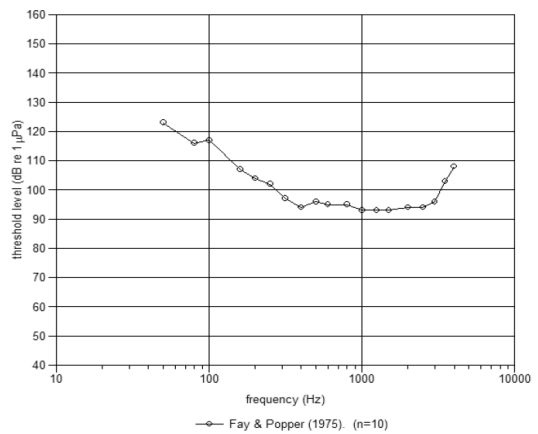
Fig. 6. Audiograms for a fish.



[Fig. ref. Goby02B]

Audiogram for goby.

어종 ; Goby



[Fig. ref. Catfish_G_01]

Audiogram for catfish.

어종 ; Catfish

Fig. 7. Audiograms for a coby and a catfish.

대상소음의 지속시간을 고려하여 관리기준을 적용하는 사항

수중소음 평가에 있어 평상시와의 차이를 논하는 경우가 많다. 그리고 국내 관리기준은 평상시 수준보다 20dB/μPa 이상 증가하면 피해의 인과관계가 있다고 주장하고 있다.

하루를 기준할 때 터널발파의 경우 현장에 따라 다르겠지만 2~3회 정도 발파가 수행된다면 진동지속시간은 최대 약 10 내지 20초 정도일 것이다. 이는 1일 86,400초의 0.01~0.02%에 해당되며 결국 공사기간 중 주변 양식장에 충격성 소음을 발생한 비율도 동일할 것이다. 앞서 소개한 Ward의 제안(Table 6)에 따르면 최대 안전 수준은 폭로시간에 따라 수중소음 관리기준을 차등하여 적용하고 있다. 즉 지속시간이 1분 미만인 경우에는 186dB/μPa, 8시간 미만인 경우에는 160dB/μPa를 제안하고 있는 상황을 고려할 때 발파작업과 같은 단발성 소음에서는 관리기준을 차등하여 적용하는 것이 합리rd의 사료된다. 이와 같은 배경에서 수중 생명체를 대상으로 하는 수중소음에 대한 적절한 평가 방법으로 외국에서 많이 적용하고 있는 SEL(Sound Exposure Level ; 노출소음레벨) 개념의 반영이 타당할 것으로 판단된다.

음압레벨(SPL ; Sound Pressure Level)과 노출소음레벨(SEL)과의 상호관계는 다음과 같은 경향을 지닌다.

$$SEL = SPL + 10 \log_{10}(T)$$

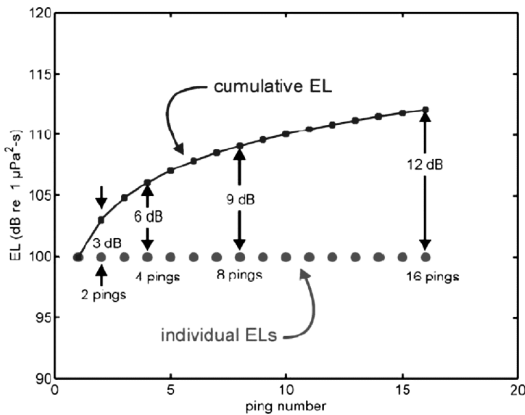


Fig. 8. A illustrates the summation of individual ELS(SEL) and cumulative EL.

만약 소음노출시간이 1초(sec)라면 $\log_{10}(1) = 0$ 이 되어 결국 SPL과 SEL은 동일하게 된다(차원은 SPL이 dB/μPa 인 것에 비해 SEL은 dB/μPa²·s 이다).

그러나 SPL 값은 동일하고 소음노출시간이 변화한다면 SEL은 아래와 같이 변화한다.

- $10\log_{10}(10) = 10$, 노출시간이 10배 증가하면 SEL은 10dB 증가
- $10\log_{10}(0.1) = -10$, 노출시간이 10배 감소하면 SEL은 10dB 감소
- $10\log_{10}(2) \approx 3$, 노출시간이 2배 증가하면 SEL은 약 3dB 증가
- $10\log_{10}(1/2) \approx -3$, 노출시간이 반으로 감소하면 SEL은 약 3dB 감소

(SEL 계산 시 기준이 되는 노출시간은 1초)

이와 같이 SEL(EL 이라고도 표기함)값은 노출시간 또는 충격 횟수(ping)의 변화에 따라 그 값이 변화되며 1초(또는 1회)보다 많은 노출시간(횟수)인 조건에서는 누적노출소음레벨(Cumulative SEL)이 증가된다(Fig. 8 참조).

배경소음 및 대상소음 측정방법에 관한 사항

통상 육상 양식장은 생명유지 장치(수차가동, 보충수 및 압축산소 공급 등)가 중단 없이 가동되고 있는 조건에서 관리행위(먹이 급이, 관리자 통제, 사료 배합기 작동 등)가 수반된다. 보충수를 낙하·유입시키는 경우에도 양수기 모터(교류전류, AC)의 출력 변화에 의해 수시로 토출량과 유입량이 변화되는 것으로 조사되었다. 이러한 현실은 양식장 배경소음은 수시로 변동하고 있음을 의미하는 것으로 배경소음은 일정한 범위(최소치~최대치)를 지닐 수밖에 없다. 그러나 국내 어류 피해와 관련된 소송에서의 감정서에 나타난 수중소음 측정 실태를 살펴보면, 배경소음은 5~10분 정도 1회 정도 측정하고 대상소음은 발파 시행 전 약 10초 전부터 발파 종료 후 10초 정도까지 측정하는 것으로 파악되었다.

배경소음 측정에 있어 짧은 시간동안 단지 1~2회 정도 측정하고 이를 해당 양식장의 배경소음으로 취급하는 것 보다는 양식장의 관리 행위를 유형별로 조사한 후 해당 행위(사료 급이, 수차 작동 대수, 보충수 유입량, 관리자 출입, 사료 배합기 작동 등) 각각에 대한 수중소음을 측정함은 물론 각 행위별 소음의 주파

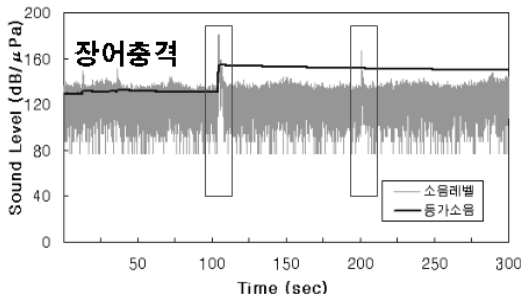
수 대역을 분석하는 것이 향후 분쟁에 대비하는 적극적 대책이 될 것으로 판단된다. 대상소음 측정 시 생명 유지 장치의 작동을 잠시 중단한 후 계측을 실시하고 있는 것으로 추정되는 사례가 일부 있는 것으로 유추되고 있는 바 이와 같은 경우는 배경소음과 대상소음의 차이가 필연적으로 발생할 수밖에 없다. 따라서 계측 행위 전 과정에 대한 동영상 촬영을 실시하여 공정성과 객관성을 확보하는 것이 합리적으로 판단된다. 수중소음 계측센서를 양식장 수조에 투입하면 어느 정도 시간이 경과한 이후부터 물고기가 센서를 접촉하는 현상이 종종 발생하는 것으로 조사되었다. 따라서 아래 그림과 같은 적절한 조치(Fig. 9)를 취하여 이를 방지하여야 한다.

국도OO호선 OO지구 위험도로 개수공사 현장에서 측정된 평상시 수중소음(시험발파 1일 전 측정)과 대상소음을 비교하면 오히려 평상시 소음이 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 양식장의 평상시 수중소음이 큰 폭으로 변동하고 있다는 것을 반증한다

(Fig. 10 참조).

배경 및 대상 수중소음 측정에 있어 시간대를 달리 하여 각각 측정한 것을 비교하는 것도 의미가 있었지만 발파 전, 발파 중, 발파 후 등으로 구분하여 전·후를 배경소음으로 하여 발파 시의 소음과 비교한다면 보다 객관적인 소음 증가량을 평가할 수 있으리라 판단된다(Fig. 11 참조).

발파 실시 1일 전에 측정한 최대 배경 소음은 129 dB/μPa이었으나 발파 시에는 최대 127dB/μPa로 오히려 대상소음이 낮은 결과를 나타내었으며 발파 시는 배경소음이 123(전) 및 125dB/μPa로 나타나 순 증가량은 4dB/μPa에 불과한 것을 확인하였다. 이러한 실측 자료로부터 수중소음을 측정·평가함에 있어 측정자 개개인의 지식과 경험에 의해 결과 값이 상이하게 나타날 수 있기 때문에 분쟁이 발생할 경우 혼란이 가중될 개연성이 높다. 따라서 “소음·진동 환경오염공정시험기준”과 같은 국가차원의 규칙을 만들 필요성이 대두된다.

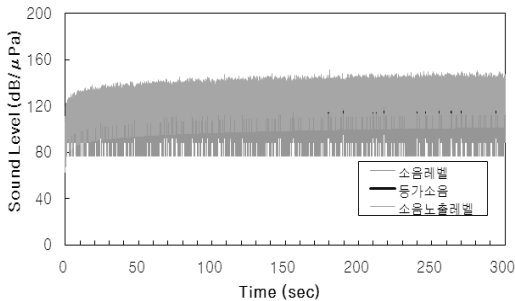


물고기가 센서를 접촉한 경우



Hydro phone 접촉 방지 장치

Fig. 9. A protection equipments for hydrophone.



평상 시 수중소음 (300초간 측정)

Sampling Rate (SPS)		100Hz
측정시간		5분 (300초)
최대 측정값	압 력	2.81Pa
	peak	129dB/μPa
	SEL	152dB/μPa
등가소음도(Leq)		115dB/μPa
측정 결과		

Fig. 10. Background noise in underwater condition (operating in life support system).

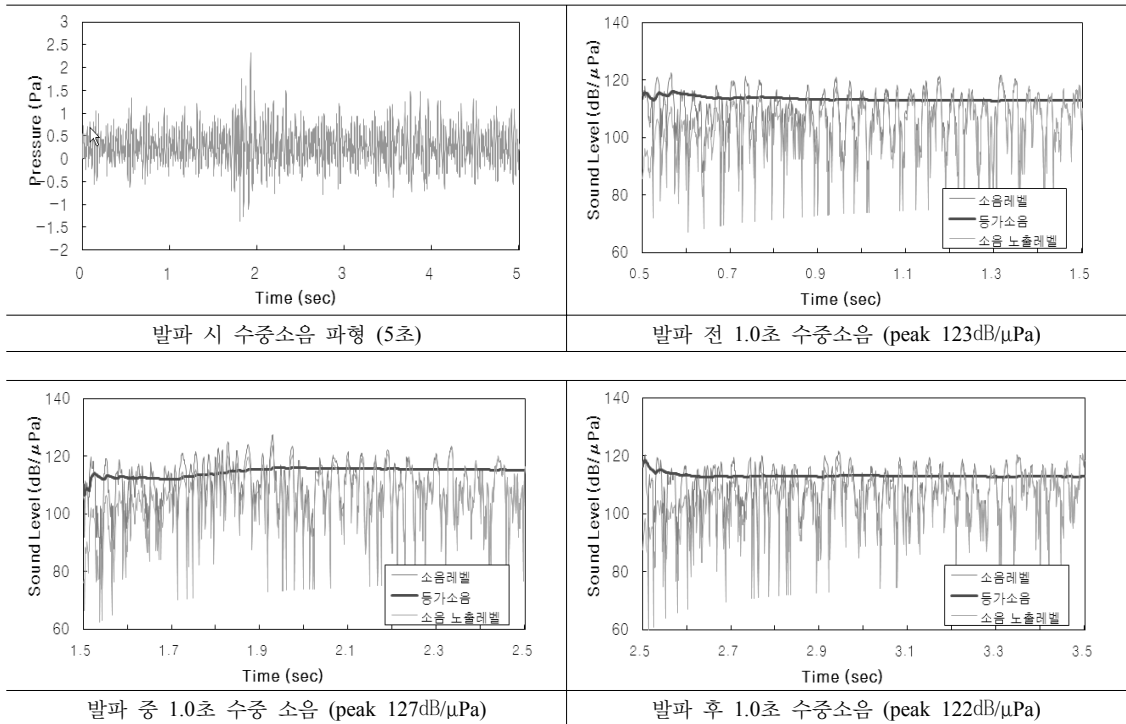


Fig. 11. A typical sound level-time history during blasting.

4. 결론

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 수중소음의 발생 원인과 세기는 충격원에 의해 지반을 따라 전파되어 온 지반진동의 세기에 의해 지배를 받는다. 이때 대기를 따라 전파되어 온 공중소음이 수중소음에 기여하는 것은 무시할 수 있을 만큼 기여도가 매우 낮다.
- 2) 수중소음계(Hydro phone)에 의한 직접 측정이 아닌 대기중소음계(Micro phone)의 측정값을 토대로 일정 값을 더하여 수중소음으로 환산·유추하는 방법은 배제되어야 한다.
- 3) 국내 기준에서는 수중소음 평가방법으로 L_{Amax} 를 제시하고 있으나 국외에서 적용되고 있는 단위인 peak, L_{max} , SEL 등의 평가 방법이 더 합리적인 것으로 조사되었으며 향후 소음·진동 전문가, 어류 생태학자 등과의 논의를 거쳐 통일된 기준을 조속히 마련하여야 할 것이다.
- 4) 수중생명체의 다양한 종 특성을 모두 반영할 수는 없겠으나 대표적인 어종에 대해서는 청각역치를 연구하여 현재 획일적인 관리기준을 개선하여야 하겠으며, 배경 소음과 대상소음간의 상관성, 대상소음의 노출 시간등과 같은 외부 환경 요건에 따른 적정 관리기준의 제시가 필요하며, 더 나아가 어종별, 사육 환경 및 단계별, 대상소음 종류 및 노출시간에 따른 체계적이며, 차등적인 관리기준 설정이 필요할 것으로 사료된다.
- 5) 이에 따라, 현재 우리나라 국가기관에서 육상 양식 어류를 대상으로 피해 평가 및 배상액 산정기준에 대해 연구하고 관리기준을 제시하였으나 어종 및 사육환경을 고려하지 않은 상태에서 관리기준에 대한 획일적인 적용을 하였으며, 배경소음과 대상소음간의 측정 및 평가 방식이 상이한 점(배경소음은 등가소음 측정, 대상소음은 최대소음 측정)등으로 인하여 현장 조사 및 평가에 있어 상당한 오류가 있으므로 실무적 측면에서는 오히려 혼란을 가중시킬 수 있는 개연성이 높은 것으로 판단되었다.

- 6) 수중소음을 측정·평가함에 있어 아직 통일된 기준이 마련되지 않은 관계로 많은 혼란이 발생되고 있는 현실을 고려하여 국가적 차원에서 관련 기준의 제정을 위한 연구가 진행되어야 하겠다.

참고문헌

1. 박진형, 2009, 지반진동 및 공중소음에 의한 수중소음 변화에 관한 연구, 석사, 서울시립대학교, 대한민국, pp. 6-9.
2. 임대규, 신영철, 이재성, 2009, 세지우회도로 시험발파 결과보고서, (주)대영지오발파엔지니어링, pp. 47.
3. 임대규, 신영철, 이재성, 조원열, 2010, 국도 77호선 완도 강독지구 위험도로 개수공사 발파 전 소음진동 조사 보고서, (주)대영지오발파엔지니어링, pp. 36-37.
4. 전양배, 2007, 수중발파에 대한 양식어류 및 구조물의 영향성 평가 연구 박사, 전남대학교, 대한민국, pp. 28-30, 67-69.
5. 한경호 외, 2009, 전남 나주시 세지 우회도로 건설공사로 인한 뱀장어 양식장(순흥양만장) 어업피해 영향 조사 보고서, 전남대학교 수산해양대학, pp. 35-51.
6. 환경부, 2008, 소음·진동 환경오염공정시험기준, 환경부, pp. 149-150.
7. 황두진, 이정식, 김은호, 김정수, 서범석, 박정순, 한진아, 김혜진, 함진식, 김경민, 박세창, 김지형, 2009, 소음·진동으로 인한 육상 양식어류 피해평가 및 배상액 산정기준에 관한 연구 최종보고서, 전남대학교수산과학연구소, pp. 41, 62, 108, 113.
8. Simmonds, M., S. Dolman and L. Weilgart. 2004, Oceans of noise, A WDCS Science report, UK, pp. 19-21.
9. Ward, W.D. 1997, Effects of high intensity sound, Pp,1497-1507 in Encyclopedia of Acoustics, M.J Crocker, ed. New York: J. Wiley and Sons, Inc, pp. 2, 4.
10. Nedwell, J.R., B. Edwards and A.W.H. Turnpenny, J. Gordon. 2004, Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information, Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, pp. 53, 87.



임 대 규

(주)대영지오발파엔지니어링 대표

Tel : 033)762-8560

E-mail : limblast00@naver.com



신 영 철

(주)대영지오발파엔지니어링 차장

Tel : 033)762-8560

E-mail : shinyc93@nate.com



전 양 배

국토해양부 익산지방국토관리청

Tel : 063)850-9220

E-mail : junyb@korea.kr