

양민장 및 가축사육시설 인접지역 암굴착공법 검토에 관한 연구

임대규¹⁾, 신영철^{1)*}, 전양배²⁾

A Study on the Excavation Method Near Fish Farms and Livestock

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

Abstract Construction vibration such as explosive blast, hydraulic breaker, vibratory roller, pile driving noise and so on, injuries in areas around the construction sites. In particular, underwater sound caused by ground vibration is propagation such as structure borne noise. Vibration and underwater sound due to construction activities may cause injury to river, sea or land fish farms near construction sites. The purpose of present study is to measure the sound pressure level and frequency analysis of the underwater noise generated by ground vibration(Blasting, hydraulic crawler drill, hydraulic breaker, vibratory roller). Underwater noise were monitoring by a hydrophone (TC 4013) and recorded, analysis were made using a by software (Prosig).

Key words Construction vibration, Underwater noise, Structure borne noise

초 록 발파, 브레이커, 진동로울러 및 파일 작업과 같은 건설공정이 있을 경우, 건설 작업 인접 지역에서는 피해가 발생할 수 있다. 수중 소음의 경우, 지반진동이 고체 전달음의 형태로 전달된다. 이와 같은 수중소음은 강이나 바다 혹은 육지의 양식장에 피해를 유발할 수 있다. 본 연구는 발파, 천공, 브레이커 및 진동로울러와 같은 작업 공정으로 인하여 발생된 지반진동이 수중소음으로 입사될 때의 소음값 및 주파수를 분석하였다. 수중 소음 측정시에는 수중소음기 (TC 4013)을 활용하였으며, 저장 및 분석은 Prosig 프로그램을 활용하였다.

핵심어 건설진동, 수중소음, 고체전달음

1. 서 론

최근 들어 가축 사육시설 및 어류 양식시설과 인접하여 신설도로 및 기존도로 확장공사 또는 산업단지나 골프장과 같은 대단위 토목공사가 이루어지고 있다.

이와 같은 대단위 토목공사의 경우 투입장비가 다양하며, 장비의 종류도 대형화하고 있는 추세이므로 인접 환경에 미치는 영향이 더욱 증가하고 있다.

또한, 가축사육에 관한 기술 및 양식 기술이 높아짐

에 따라 사육규모도 대규모화되고 있는 실정이다. 이에 따라 피해 발생시 피해액이 매우 증가하며, 이에 따른 공사 지연도 빈번히 발생하고 있다.

특히 공사장 인접 지역에서 여러 축종의 가축을 사육 중이거나 양식장이 위치하고 있을 경우 인접 보안물건에 대한 객관적 평가와 함께 모든 보안물건의 안전성 확보를 위한 굴착공법 검토가 매우 어려운 실정이다.

육상지역에서 사육하는 가축에 대해서는 환경분쟁시 가축 피해 실태, 사례 등에 대하여 류일선(2007)에 의하여 연구 및 조사가 이루어져 있으며, 중앙환경분쟁조정위원회에서도 기준 및 피해 규모에 대하여 비교적 객관적 자료를 제시하고 있다.

수중 생태계에 관하여 현재 수중소음 영향에 대한

¹⁾ (주)대영지오발파엔지니어링

²⁾ 국토교통부

* 교신저자 : shinyc93@nate.com

접수일 : 2013년 6월 5일

심사 완료일 : 2013년 6월 18일

게재 승인일 : 2013년 6월 24일

연구가 많이 이루어지고 있으며, 배종우(2009)는 수변공사시 충격성 소음에 의한 어류의 영향에 대하여 SEL로 평가하여 제시하였고, 박진영(2009)은 지반진동이 수중으로 입사시 수중 소음을 수치화하는 상관식을 도출하였다. 또한 황두진(2009) 등은 양식장 인접지역에서 공사시 양식장에 전달되는 수중소음에 대한 연구를 수행하여 수중소음의 평가 및 수중소음영역별 어류의 피해규모를 폐사, 성장지연, 산란을 저하, 부하를 저하 등으로 구분하여 제시하였고, 배경수중소음 대비 +20dB/μPa 적용시 어류 피해를 최소화할 수 있다고 제시하였다.

2. 계측 내용 및 소음관련 기초 이론

2.1 현장 계측 내용

과업 구간은 골프장 공사 현장으로 토사 및 암반의 제거와 같은 절토 공정과 부분적인 성토 공정이 있을 것으로 예상된다.

토목 공사시 발생하는 지반진동 및 대기소음, 수중소음에 대한 전달경로 및 영향은 Fig. 1과 같으며, 공사 현장에서 발생하는 대부분의 수중소음은 지반진동이 고체전달음의 형태로 전달되어 수중으로 방사하게 된다.

현장에서 발생하는 지반진동, 대기소음 수중소음을 계측하는 계측장비는 Table 1과 같다.

2.2 수중 소음 및 대기소음의 구분

대기 및 수중소음의 경우, 센서에 미치는 압력을 토대로 기준값(Refernce Level)을 이용하여 데시벨 값으로 환산한다. 다만 측정방식 및 보호 대상에 따라 보정치가 있으며, 이를 토대로 dB(A), dB(B), dB(C)

등으로 표기할 수 있다.

소음의 크기를 나타내는 데시벨은 기준음의 세기에 대한 매질(대기, 수중)내 소음 전파에 따른 음의 세기 변화량과의 비에 상용대수를 취하고 10배한 것을 의미하며, 이는 식 (1)과 같다.

$$dB = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{P^2/\rho c}{P_0^2/\rho c}\right) = 20\log\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (1)$$

데시벨 값의 환산 과정 중 P_0 는 기준값을 의미하며, 대기의 경우 $P_0=20\mu Pa$, 수중의 경우 $P_0=1\mu Pa$ 을 적용하여 산출한다.

이와 같이 기준값이 대기과 수중이 상이한 이유는 고유음향피턴스(ρc)가 대기는 약 $413(Pa\cdot s/m)$ 이며 수중은 $15\times 10^5(Pa\cdot s/m)$ 로 서로 상이한데서 기인한다.

3. 현장 현황 및 실험 수행 내용

3.1 현장 현황

실험 수행지역은 골프장 건설 현장으로서, 과업 구

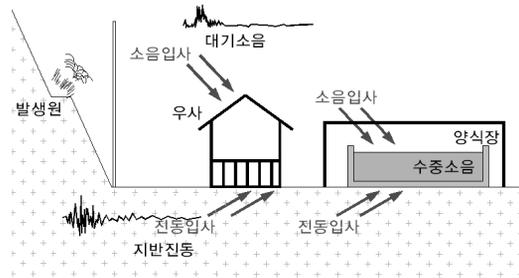


Fig. 1. A propagation of noise and vibration.

Table 1. Kinds of measuring equipment

Blast	Vibration velocity	Ground vibration level meter	Sound level meter	Hydrophone
				
DS 계열	VM-1220E	SC-15C	TC-4013	

간 부지 경계와 인접하여 한우축사, 양계장, 양만장 및 민가가 위치하고 있다.

실험 대상 지역의 구성 암반은 고생대 쥐라기에 생성된 반상 흑운모 화강암으로 구성되어 있으며, 공사 부지경계와 180m~200m 이격된 지역에 양만장이 위

치고 있으며, 80m 내외 지역에 한우 농장이 위치하고 있다.

3.2 실험 수행 내용

현장 내에서 실험할 작업 공정은 암반 굴착을 위한 크롤러드릴을 이용한 천공작업, 발파작업, 브레이커 등이다. 현장 및 보안물건에서 지반진동, 대기소음, 수중소음 등을 계측한 주요 공정은 Table 2와 같으며, 실험시 계측장비는 현장으로 이동하여 계측을 수행하였다.

장비 운전시 암반 강도는 연암이상의 강도특성을 가지며, 장비별 최대 출력 상태로 운전하여 소음 및 진동을 계측하였다.

3.3 시험발파 적용 패턴

시험발파 적용 패턴은 사전 환경 검토를 토대로 선정하였으며, 시험발파 적용 구간은 환경 변화에 민감

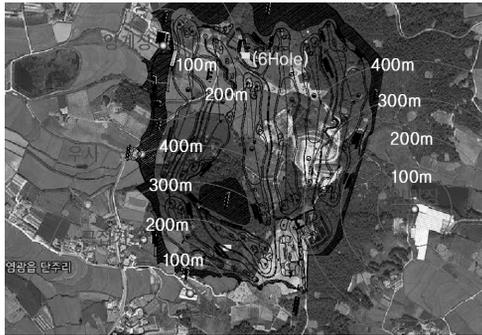


Fig. 2. General view of the surroundings.

Table 2. Test Item

Vibratory roller	Hydraulic breaker	Crawler drill	Test Blasting
			
Dynapac (CA511)	Hyundai (300LC)	SD-700N	미진동~중규모

Table 3. Specifications of blasting field

구 분	천공장(m)	공당 장약량(kg)	지발당 공수(공)	지발당 장약량(kg)	발파횟수	발파지역
소규모진동	2.700	1.200	1	1.200	1회	6-Hole
중규모진동	2.700	1.200	2	2.400	1회	6-Hole
중규모진동	2.700	1.200	3	3.600	1회	6-Hole
미진동	1.300	0.120	1	0.120	3회	3-Hole
정밀진동	2.000	0.250	1	0.250	3회	3-Hole
정밀진동	2.000	0.375	1	0.375	4회	3-Hole
소규모진동	2.700	1.000	1	1.000	1회	6-Hole
중규모진동	2.700	1.000	2	2.000	1회	6-Hole
중규모진동	2.700	1.000	3	3.000	1회	6-Hole
소규모진동	2.700	0.750	1	1.500	1회	6-Hole
소규모진동	2.700	0.750	2	1.500	1회	6-Hole
중규모진동	2.700	0.750	3	2.250	1회	6-Hole
중규모진동	2.700	1.800	1	1.800	1회	6-Hole



Fig. 3. Schematic diagram of equipment composition for measurement.

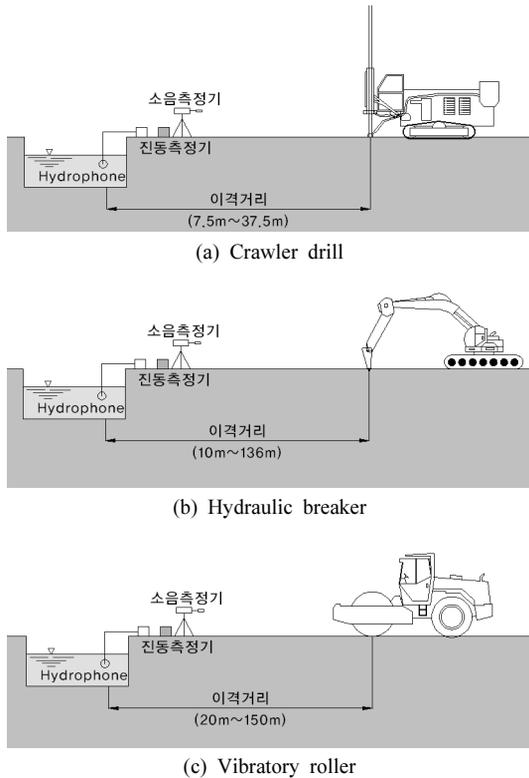


Fig. 4. Test and measuring schematic.

한 양만장 및 축사와 원거리로 이격된 지역에서 실시하였다.

시험발파 적용 패턴은 Table 3과 같다. 시험발파시 미진동굴착공법은 미진동파쇄기를 활용하여 발파를 실시하였으며, 정밀진동제어발파~중규모진동제어발파는 에멀전 폭약을 이용하여 발파를 실시하였다.

또한 시험발파지역은 굴착고의 제한으로 인하여 지발당 발파공수를 조절하여 장약량별 지발당 장약량을 구현하였으며, 각 발파공법별 진동 및 소음을 계측하였다.

3.4 수중소음 계측 System 개요도

수중 소음 계측 장비는 TC-4013이며, 증폭기와 DATA Logger를 통해 측정값을 저장하였다. 측정시 Sampling rate는 1,000Hz로 설정하여 수중소음을 획득하였다. Fig. 3은 계측 System에 대한 개요도이다.

3.5 수중소음 및 진동 계측 내용

수중 환경계측

수중 환경은 발파 및 장비 운전시 전달되는 수중소음 계측을 위하여 Hydrophone을 이용하여 계측을 실시하였다.

계측 위치는 양만장내 수조에서 배경 환경과 3-Hole에서 발파작업시 수중소음을 계측하였다.

또한 6-Hole에서 시험발파 수행시에는 수중 소음 계측지점을 이동하여 발파 근접 지점에서 수중소음을 계측하였다.

지반진동, 대기소음 계측

시험발파시 지반진동 및 대기소음 계측은 발생원과 일정 거리 이격시켜 계측을 실시하였으며, 장비 운전시 소음 및 진동의 계측은 수중소음 계측 위치와 동일하게 하여 소음 및 진동을 병행하여 계측을 실시하였다. 실험 내용 및 계측 모식도는 Fig. 4와 같다.

4. 현장 실험 결과

4.1 토공 장비 운전시 소음, 진동 계측 내용

현장 내 시험시공시 계측된 DATA 및 계측 파형은 Fig. 5와 같다.

Fig. 6은 지반진동속도, 진동레벨 및 소음레벨의 이격거리별 감소 경향을 나타내고 있다.

4.2 수중소음 계측 DATA 주파수 분석

수중 생물의 경우, 주파수 대역별 가청주파수 영역에 따라 민감하게 반응하므로 계측 결과를 토대로 FFT분석을 실시하였다(Fig. 7).

FFT분석은 현장에서 측정된 DATA를 토대로 이격거리별 탁월주파수 대역을 검토하였다.

FFT분석 결과 크롤러드릴의 경우 근거리에서는 80Hz를 중심으로 30Hz~40Hz 간격으로 주파수 대역

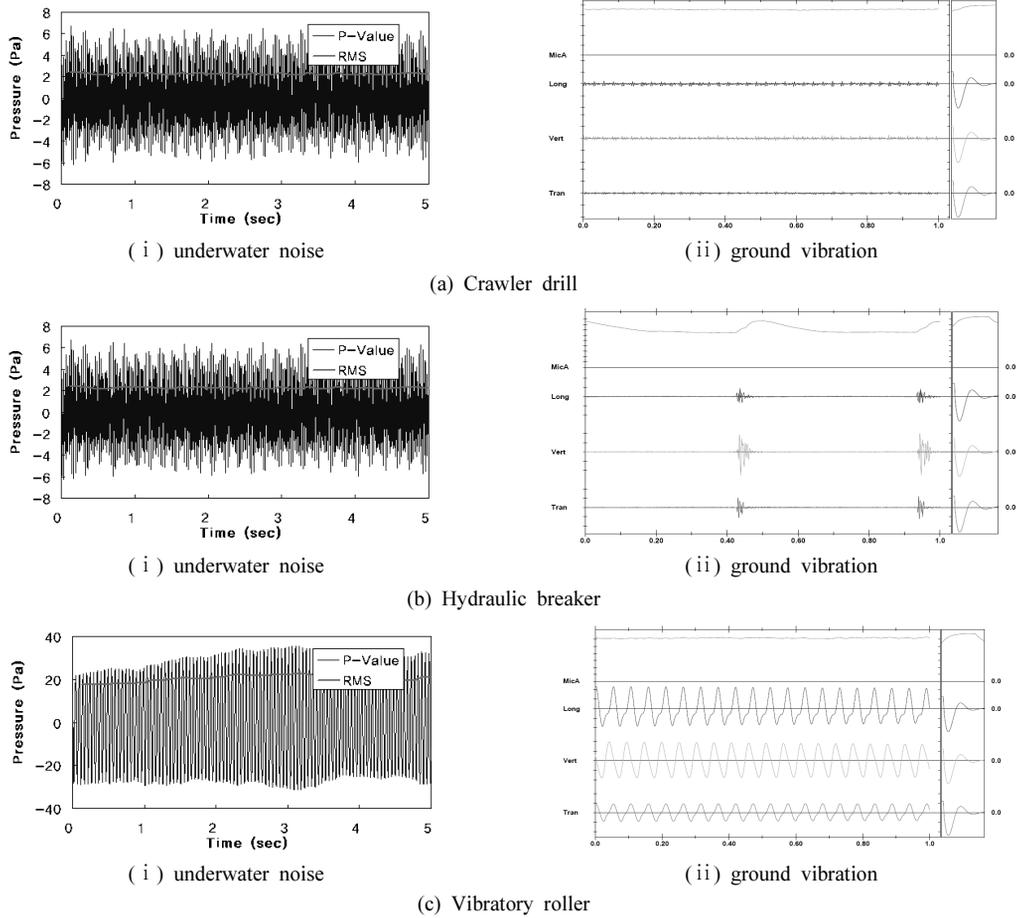


Fig. 5. Waveform of underwater noise and ground vibration.

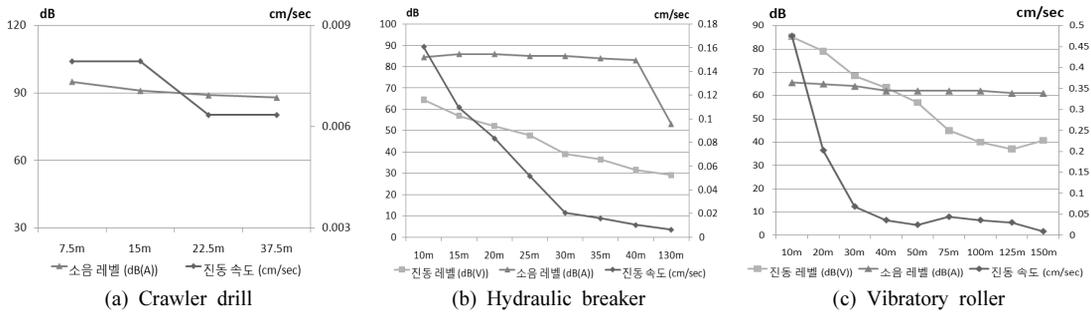


Fig. 6. Relationship between distance and underwater noise, particle velocity.

이 나타났으며, 이와 같은 현상은 37.5m 이격된 지역에서도 유사한 패턴으로 나타나고 있다.

브레이커의 경우 근거리에서는 고주파수 대역의 탁월 주파수 대역(70~120Hz)을 보여주고 있으며, 거리

가 멀어짐에 따라 10Hz내외의 주파수가 나타나며, 부분적으로 70Hz로 나타났다.

진동롤러의 경우 전반적으로 저주파수 대역인 20Hz에서 탁월 주파수 영역이 나타나고 있다.

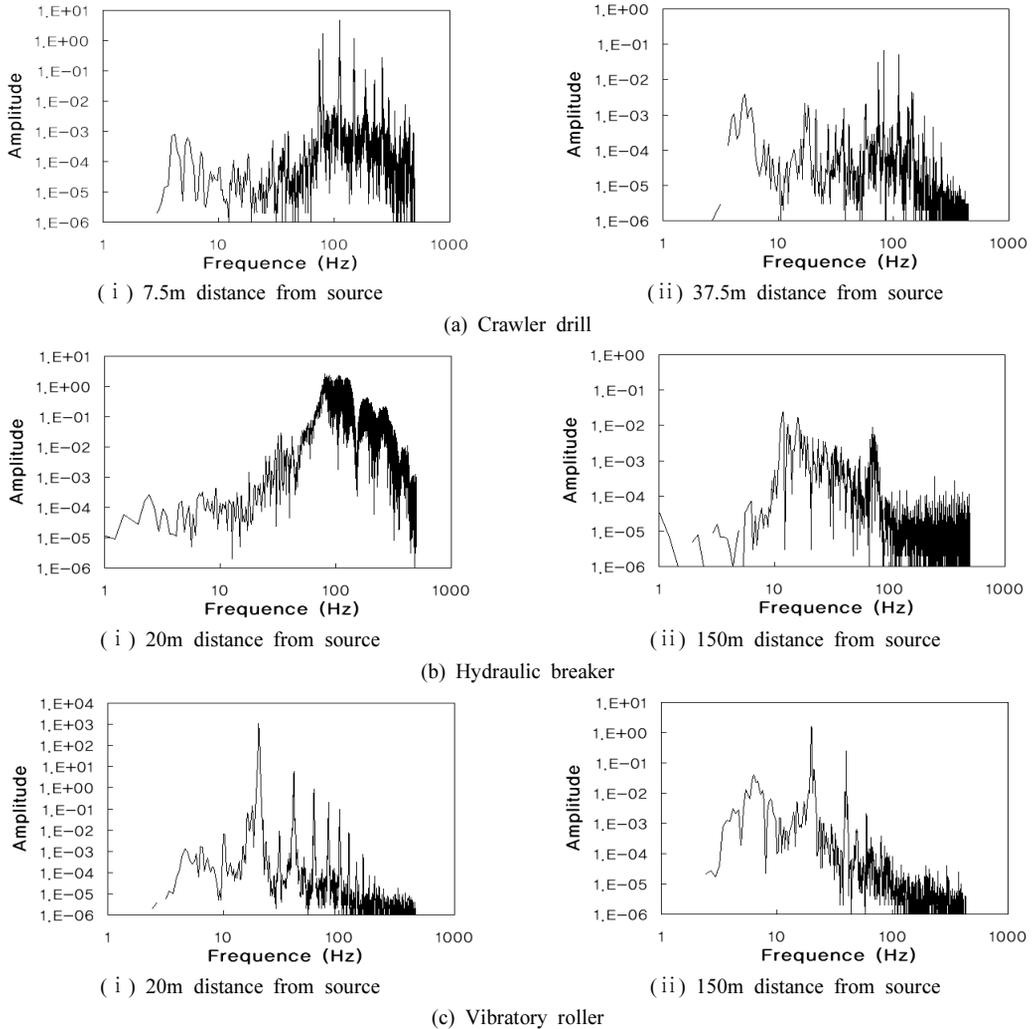


Fig. 7. FFT analysis of underwater noise.

전반적으로 크롤러 드릴이나 브레이커의 경우, 70Hz이상의 영역에서 탁월주파수를 보여주고 있으며, 진동롤러의 경우, 20Hz내외의 저주파수 대역에서 탁월 주파수 대역을 보여주고 있다.

4.3 발파작업시 소음, 진동 계측 내용

발파작업시 지반진동, 대기소음, 수중소음의 계측을 병행하여 계측을 실시하였다.

시험발파시 투입 계측기는 진동속도기 10대, 진동 레벨기 3대, 소음레벨기 3대, 수중소음레벨기 2대를 투입하여 계측 활동을 수행하였다.

수중소음기는 양만장내 계측 후 현장내로 이동하여 계측을 수행하였다.

시험발파시 계측된 진동 계측값 및 수중소음을 토대로 회귀분석을 수행하고 이 분석결과를 토대로 발파 환경 영향을 검토하는데 활용하도록 하였다.

시험발파시 계측된 진동레벨, 소음레벨, 수중소음(압력) 그래프는 Fig. 8에서 나타내고 있다.

4.4 지반 진동 및 수중압력 감쇠식 검토

현장 실험식을 토대로 이격거리별 지반진동 및 수중소음(압력) 감쇠식을 산출하였다.

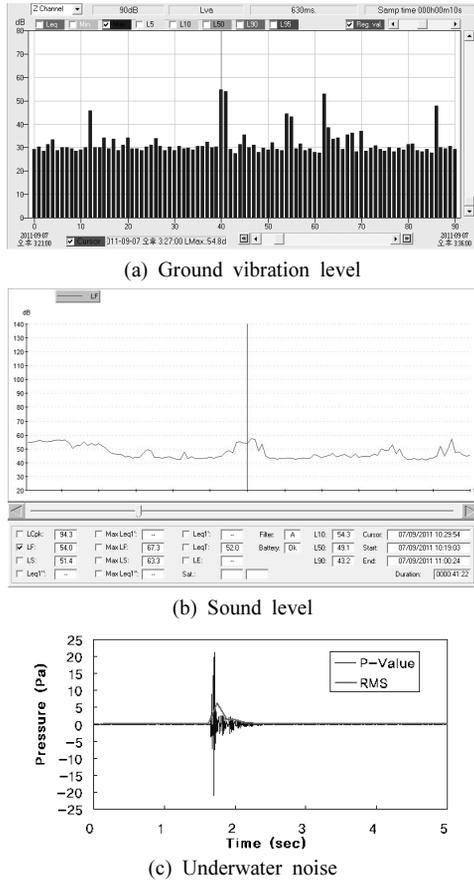


Fig. 8. Result of measurement(blast).

수중압력 감쇠식은 토목장비를 운전하였을 경우와 발파작업을 수행하였을 경우로 구분하였으며, 발파작업시에는 지반진동속도도 같이 분석을 수행하였다.

토목장비 운전시 수중압력 감쇠식

토목 장비 운전시 이격거리에 따른 수중소음 감쇠식은 브레이커와 진동 로울러를 토대로 이격거리별 수중압력 감쇠식을 산출하여 아래와 같은 상관성 Graph는 Fig. 9와 같다.

위와 같은 상관성을 토대로 이격거리별 수중 압력 감쇠식을 아래와 같이 산출하였다.

브레이커 : $P(\text{Pa})=348.26 \times D^{-1.4818}$ (2)

크롤러드릴 : $P(\text{Pa})=16.702 \times D^{-1.0162}$ (3)

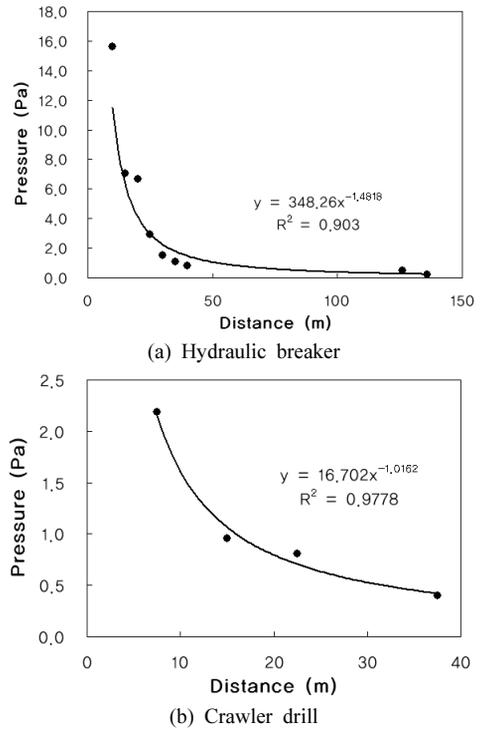


Fig. 9. Relationship between distance and underwater noise (pressure).

Table 4. The result of regression analysis

구 분	$K_{95\%}$	n
발파진동	161	-1.52
수중압력	319,287.68	-1.96

발파 진동 및 수중압력 감쇠식

단순 회귀분석을 이용하여 발파작업시 지반진동 및 수중압력 감쇠식을 산출하였다.

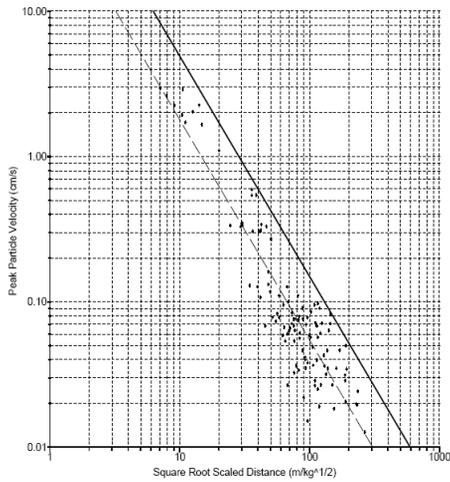
단순 회귀분석 결과를 토대로 발파진동 및 수중압력 회귀분석을 Table 4와 같이 지승근으로 산출하였다.

5. 굴착환경 영향권 검토

5.1 회귀분석식에 의한 발파 영향권 검토

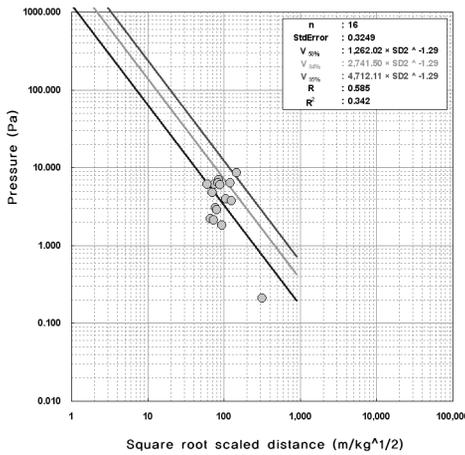
현장 실험식을 토대로 발파진동 영향권 및 수중소음 영향권을 산정하여 구간별 적정 발파공법을 검토하였다.

검토시 민가의 경우 0.30cm/sec, 축사의 경우 0.10cm/sec,



(a) Particle velocity

50%, 84%, 95% Regression Analysis Lines (SRSD)
 (Source : Charles H. Dowding Formula, Construction Vibration pp.50-55)



(b) Pressure in underwater condition

Fig. 10. Regression analysis of velocity and underwater noise (pressure).

양만장의 경우, 배경소음+15dB/μPa로 설정하였다.

양만장의 경우 배경소음+15dB/μPa를 설정한 사유는 기존 연구 결과에 의하면 배경소음 +20dB/μPa를 적용하여도 어류에 대하여 일정 부분 피해율이 발생하였으므로 안전성을 고려하여 관리기준을 적용하였다.

발파공법 적용 영역을 검토한 결과, 양만장 근접지역에 암반노출이 가장 많으며, 적용 공법은 미진동 굴착공법으로 적용되어 있다(Fig. 11).

국토해양부 지침상 미진동 굴착공법은 미진동파쇄기를 이용하거나 혼합화약류등을 사용하는 공법과 기

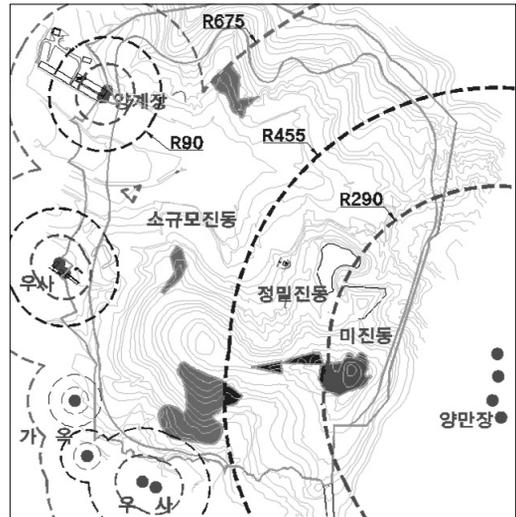


Fig. 11. The blasting pattern of study area.

계식 공법으로 적용되어 있다.

따라서 본 과업 구간에서는 안전성을 고려하여 기계식 공법을 제안하였다.

5.2 장비 운영에 따른 소음 Simulation

양만장 인접 지역에는 민가가 근접하여 있으며, 암반 굴착을 위하여 브레이커 및 크롤러 드릴 천공 작업을 수행하여야 한다. 크롤러 드릴 천공 작업은 할암공법 적용을 대비하여 검토를 수행하였다.

이에 따라 현장에서 실측한 DATA를 토대로 역해석을 수행하여 소음원값을 도출하였고, 암반 굴착작업시 소음영향을 분석하기 위하여 3-D Simulation을 수행하였다. 또한 현장 내 설치된 휀스를 고려하여 소음 전달 경향을 검토하였으며, 해석 결과 관리기준을 준수하는 것으로 검토되었다(Table 5).

6. 결론

본 연구에서는 양식장 및 민가, 가축사육시설이 인접한 지역에서 토목 작업시 발생하는 진동 및 소음이 고체 전달음의 형태로 인접 수중에 전달되는 수중소음 및 발파시 발생하는 진동으로 인한 영향을 검토한 것으로서, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 5. Result of 3-D simulation

구 분	브레이커 작업		천공 작업	
소 음 영향권				
소 음 Spectrum	민 가	양만장	민 가	양만장
	52.2 dB(A)	45.2 dB(A)	57.4 dB(A)	51.1 dB(A)

- 1) 현장 내 브레이커, 크롤러드릴, 진동로울러 가동시 수중소음을 측정하였으며, 측정결과 진동로울러 가동시 저주파수대영역의 수중소음이 발생하였다.
- 2) 현장 내 진동 및 소음 유발빈도가 가장 높은 장비인 브레이커 및 크롤러 드릴 장비 가동시 이격거리별 수중소음(압력) 감소 경향을 분석한 결과 아래와 상관식을 도출하였다.

브레이커 : $P(\text{Pa})=348.26 \times D^{-1.4818}$

크롤러드릴 : $P(\text{Pa})=16.702 \times D^{-1.0162}$

- 3) 발파진동 및 수중압력 회귀분석을 실시하여 현장 암반에 적합한 감쇠식을 산출하였으며, 인접 보안 물건별 관리기준을 토대로 발파공법 적용 영역을 검토한 결과, 암반 굴착의 대부분을 차지하는 구간에서는 미진동굴착공법이 적용되었으며, 미진동굴착공법 적용 구간은 안전성을 고려하여 기계식 공법을 적용하였다.

- 4) 또한, 대기소음에 대한 소음 영향권 검토를 위하여 Simulation을 실시하였으며, 검토 결과 인접 보안 물건의 대기소음관리기준도 준수하는 것으로 검토되었다.
- 5) 시험발파시 획득하여 회귀분석한 수중소음 DATA의 수는 매우 제한적이었으므로 본 작업 시공시 수중소음계측을 병행하여 수행할 것을 제안하였다.

참고문헌

1. 박진형, 2009, 지반진동 및 공중소음에 의한 수중소음 변화에 관한 연구, 석사, 서울시립대학교, 대한민국, pp. 6-9.
2. 황두진 외, 2009, 소음·진동으로 인한 육상 양식어류 피해평가 및 배상액 산정기준에 관한 연구 최종보고서, 전남대학교수산과학연구소, pp. 41, 62, 108, 113.
3. 배중우 외, 2009, 수변공사에 의한 충격음의 특성과 어류에 미치는 영향, 한국소음진동학회논문집 Vol. 19, No. 9, pp. 928-934.
4. 류일선, 2007, 환경분쟁(소음,진동,먼지 등)으로 인한 가축피해 평가방법, 대한수의사회지, pp. 552-563.



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: shync93@nate.com



전 양 배
국토교통부

Tel: 044-201-3733
E-mail: junyb@korea.kr