

# 수중발파의 영향평가를 위한 Flow-Chart

## Flow-Chart for Influence Estimation of Underwater Blasting

박 선 준\*

박 연 수\*\*

Park, Sun-Joon

Park, Yeon-Soo

### Abstract

In this study, ground vibration values and damping coefficient produced by underwater blasting were measured and analyzed. Equations of vibration,  $V = K(SD)^{-0.536}$ , were presented from quantitative experiment results. The K Values are classified with 1.507, 2.005 and 2.939 respectively at 50%, 90% and 95% reliability. Also, hydrospace noise in aquafarm and noise in atmosphere as well as ground vibrations were measured, and maximum values of these results were 86.8dB(A), 147.8dB(A), 0.244cm/s, respectively. Equations of hydrospace noise,  $SL=293.2SD^{-0.164}$ , was presented from quantitative experiment results. Also, the flow-chart for influence estimation and underwater blast design was presented from these results. The results of the study may be applied for the evaluation of the influence on aquafarm as a basic data before having main underwater blasting at construction sites.

### 요 지

본 연구에서는 수중발파로 인해 발생하는 지반의 진동과 수중소음, 진동의 감쇠정도를 계측 및 분석하였다. 실험과 신뢰성이론으로 부터 진동추정식을  $V = K(SD)^{-0.536}$ 으로 제시하였으며, 발파상수 K값은 신뢰도 50%, 90%, 99.9%에 따라 1.507, 2.005, 2.939로 각각 얻어졌다. 수중발파로 인한 육상의 소규모 저수지(양식어장)의 수중소음추정식은 실측된 수중소음 자료를 이용하여  $SL=293.2SD^{-0.164}$ 로 제시하였으며, 수중에서는 최대 86.8dB(A), 대기중에서는 최대 147.8dB(A)의 소음이 계측되었다. 이러한 연구결과들을 고려하여 수중발파 설계 및 영향성 평가가 가능한 흐름도를 제시하였다. 수중발파에 대한 영향평가 연구는 이제 시작하는 단계로써 지속적이고 다양한 경우에 대한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

**Keywords :** Equation of vibration, Hydrospace noise, Reliability index, Underwater blasting

**핵심 용어 :** 진동추정식, 수중소음, 신뢰성지수, 수중발파

\* 정희원, 동신대학교 토목공학과 조교수

\*\* 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수

E-mail : parksj@dsu.ac.kr 061-330-3136

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2009년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

수중발파(underwater blasting)는 파쇄 대상암석의 일부 혹은 전부가 수중에 있는 경우로써 천공이나 장약 및 배선작업 등이 모두 수중에서 이루어지고, 발파로 인한 진동 및 음압의 전달 메카니즘이 육상발파와는 다르다. 수중발파는 육상발파에 비해 보다 많은 발파변수를 포함하고 있으며, 이러한 변수들의 역할을 차원해석과 확률해석을 통해 정량화하는 데는 한계가 있다.<sup>(8)-(11)</sup> 본 연구에서는 실제 시공 중인 ○○대교 교각 기초공사의 수중발파로 인한 진동치의 크기와 감쇠정도를 계측 및 분석하고, 그 결과로부터 신뢰성지수를 이용하여 사용자가 요구하는 신뢰수준을 만족할 수 있는 지반 진동추정식들을 제시하고자 한다. 또한 수중발파로 인해 발생하는 지반진동과 육상에 존재하는 소규모의 저수지(양식어장)내에서의 수중소음을 추정하여 보안물건에 대한 영향평가가 가능한 Flow-chart를 제안하고자 한다.

## 2. 진동기준과 신뢰성지수

### 2.1 물리적 손상 및 생물학적 손상 영향 평가를 위한 진동기준

근접구조물(주택 및 시설물)의 물리적 피해기준은 발파진동 속도를 기준으로 하고 있다(Table 1 참

고).<sup>(1)(2)</sup> 어류 및 가축의 진동에 대한 피해 사례는 많이 발생하였지만 병리학적인 인과관계가 분명히 밝혀진 것이 없고, 문헌 보고 사례에 따라 인과관계가 있었을 것으로 추정된 사례가 대부분이다.<sup>(3)-(6)</sup> 특히 어류의 피해에 대한 진동·소음 관련연구 수준은 건물이나 가축의 피해규명 연구에 비해 상대적으로 미흡한 실정이다. 환경부의 중앙 환경 분쟁 조정위원회에서 일반적으로 적용하고 있는 가축별 진동·소음의 허용기준은 Table 2와 같다.<sup>(1)</sup>

### 2.2 신뢰성지수에 의한 한계상태 정의

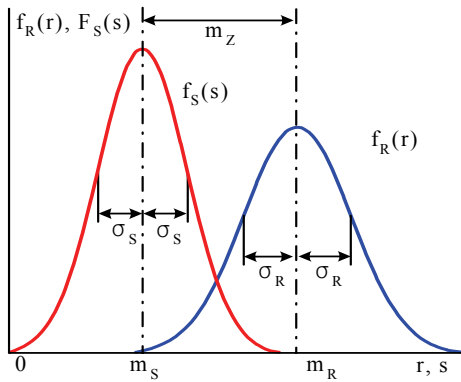
최근에는 구조물 설계를 위해 사용되는 기존의 허용응력 설계 개념이나 공칭안전율 설계 개념보다 한 단계 더 발전된 설계개념으로 신뢰성이론을 사용한 새로운 설계기준이 사용되고 있다. 이는 신뢰성지수(reliability index ;  $\beta$ )를 구조물 혹은 구조물의 모든 시스템에 대해 일정한 값으로 선택함으로써 강도와 하중의 가변성에 상관없이 요구되는 신뢰도(reliability ; Pr) 혹은 파괴확률을 갖도록 하는 것이다.<sup>(7)</sup> 이는 설계 시 포함될 수 있는 기존의 불확실량들을 통계적인 추정에 기초한 확률모형 즉, 신뢰성 이론에 의해 신뢰도 또는 신뢰성 지수( $\beta$ )를 척도로 하여 해석하기 위함이다. 신뢰성 지수( $\beta$ )는 Fig. 1과 같이 정의된다.<sup>(12)</sup> 발파에 있어서도 지반진동을 하중의 개념으로 진동기준을 저항의 개념으로 고려할 수 있다.

Table 1 물리적 피해기준

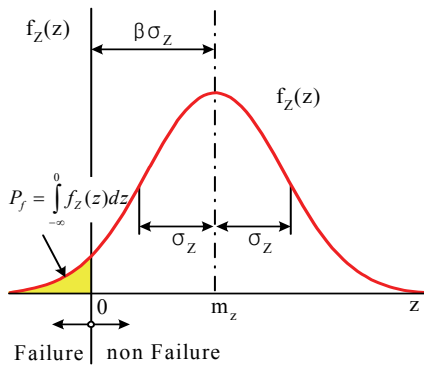
Class		I	II	III	IV	Reference
vibration criteria (cm/s, kine)	10-35Hz	0.2	0.5	1.0	1.0 - 4.0	Physical damage standard
	> 35Hz	0.3	0.8	1.5	5.0	
Type of structures	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Class I : Cultural assert &amp; computer equipment surrounding</li> <li>· Class II : House &amp; Apartment(with small crack)</li> <li>· Class III : House &amp; Apartment(without crack)</li> <li>· Class IV : SRC Building, RC Structure</li> </ul>					

Table 2 생물학적 피해기준(중앙 환경분쟁 조정위원회)

가축의 종류	허용 진동 기준		허용 소음 기준 dB(A)	비 고
	dB(V)	cm/s		
소, 돼지, 개	70 이하	0.09	70	단, 주파수 8Hz ≤ f ≤ 90Hz



(a) s와 r의 분포



(b) z의 분포

Fig. 1 신뢰성지수( $\beta$ )

본 연구에서는 신뢰성지수( $\beta$ )를 3, 1.28, 0을 사용하여 3가지로 제시하였다. 각각의 신뢰성지수( $\beta$ )에 대한 진동치와 진동식은 안전성 상태( $\beta=3$ ), 사용한계 상태( $\beta=1.28$ ), 극한한계 상태( $\beta=0$ )에 해당함을 의미한다. 각각의 상태에 대한 정의는 다음과 같다.

- 안전성상태 : 강도설계법에서는 설계하중을 초과하는 하중이 구조물에 재하 될 확률을 0.1%(신뢰도 99.9%)를 목표로 하고 있다. 발파로 인한 지반진동을 구조물에 작용하는 하중의 개념으로 본다면 신뢰성지수( $\beta$ ) 3을 사용하여 제시한 진동식에 기준 하여 발파를 실시할 경우 진동규준치를 초과하는 확률이 0.1%에 해당한다. 즉 발생되는 모든 지반 진동치를 포함하는 진동추정식이라 할 수 있다.

- 사용한계상태 : 한계상태 설계법(BS8110)에서는

설계 시에 포함되는 변동 요인들을 적절히 고려하기 위한 개념에서 강도의 시험치가 특성강도에 미치지 못할 확률 5%, 특성하중보다 큰 하중이 작용할 확률 5%를 각각 사용하고 있다. 본 연구에서는 위의 두 가지 변동요인을 규합하여 불확실량 10%를 목표로 규정한 상태를 사용한계 상태로 정의하고 이에 해당하는 신뢰성 지수( $\beta$ )를 선택하였다. 이러한 구조설계시의 사용한계상태 개념을 도입하여 사용한계상태의 신뢰성 지수( $\beta$ )를 1.28로 제시하였으며 여기에 해당하는 신뢰도는 90%를 갖게 된다.

- 극한한계상태 : 진동추정치 2회 중 1회가 진동 추정식에 의한 진동치를 초과하는 신뢰도 50%의 확률을 갖는 상태를 의미한다. 따라서 단순히 진동추정치들을 회귀 분석하여 얻은 기존의 대부분의 진동 추정식이 신뢰성 지수( $\beta$ )가 0인 경우에 해당한다.

### 3. 수중천공 발파실험

#### 3.1 수중발파 주변상황 및 발파설계

○○대교의 5개 교각 중 교각 기초공사를 위해 수중발파가 필요한 교각은 P2에서부터 P5까지 이다 (Fig. 2). 수중발파로 인해 가장 큰 피해 발생이 우려되었던 가물치 양식을 위한 여장은 논을 개조하여 만든 것으로 양식어장 둑은 흙으로 만들어져 있었으며, 양식어장 내의 물은 상당히 탁한 상태로 어류의 유영 상태를 직접 확인 할 수는 없었다. 조성된 양식어장과 수중발파 위치(P2)와의 최단거리는 142m, 주택과 최단거리는 200m 내외이며 수중발파는 5개월 동안 비연속적으로 총 24회 실시되었다. 교각의 기초 암반 정지를 위한 수중발파 위치와 양식어장, 주택 등과의 이격 및 주변상황과 모식도는 Fig. 2와 같다.

교각 2, 교각 4, 교각 5번의 기초암반 암층은 유문 암질암으로 지표하 심도 0.5-3.0m 하부로부터 분포하고 색조는 암회색, 청회색으로 암 생태는 보통강함, 보통풍화의 상태로 조사되었으며, 코아회수율(T.C.R)은 30~70%, 암질지수(R.Q.D)는 0-22%로 분석되었다. 또한 교각 3번의 기초암반 암층은 응회암질암, 유문암질암으로 지표하 심도 1.5-6.5m 하부로부터

분포하고 색조는 황갈색, 회색, 암회색으로 암 상태는 강함~보통강함, 약간풍화~보통풍화 상태를 보였으며 코아회수율(T.C.R)은 80-97%, 암질지수(R.Q.D)는 37-70%로 나타났다.

수중천공발파를 위해 Mega-mite( $\phi 50$ )가 사용되었으며 지발당 장약량은 30N을 기본으로 10N~40N 까지 변화시켜 가면서 MS 20ms와 LP 100ms, 200ms, 500ms의 Delay time을 갖도록 설계하였다. 천공은 바지선을 이용한 수상천공방법을 사용하였다. 수심은 교각 2번부터 5번 까지 각각 14.2m, 17.8m, 24.1m, 23.2m로 실측되었다.

### 3.2 지반 진동 및 수중소음 계측

수중발파가 진행되는 동안 발생하는 지반의 진동, 대기 중 소음, 양식어장내의 수중소음을 측정하기 위하여 일반적인 발파현장에서 널리 사용되는 Blastmate III 혹은 II(InstanTel Co. CANADA)를 최대 5대까지 사용하였다. 본 연구에서 사용된 Blastmate Series

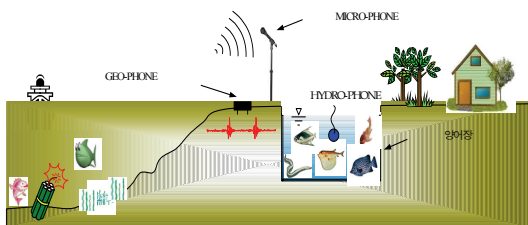
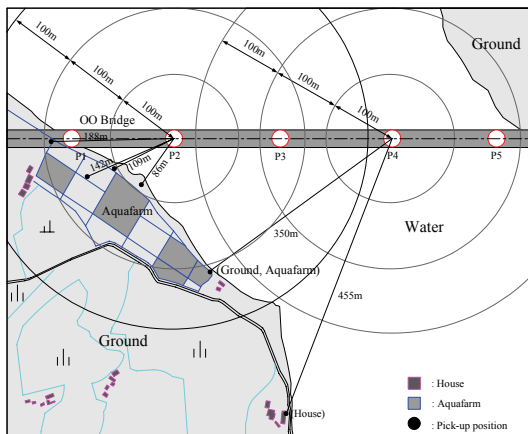


Fig. 2 수중발파현장 주변상황도 및 모식도



Fig. 3 Geo-Phone과 Micro-Phone이 연결된 Blastmate III

계측기는 일반적인 발파공사 현장에서 널리 사용되고 있으며 계측결과에 대한 신뢰도는 이미 검증된 장비로써 3방향의 지반진동과 소음을 탁월진동수 100Hz의 범위 내에서 동시에 측정할 수 있는 성능을 가지고 있다.

계측기 중 1대에는 혐기식 Hydro-Phone 센서를 연결하여 수심 1-1.5m인 양식어장의 수중에 설치해 발파로 인한 수중소음을 직접 측정할 수 있도록 하였으며, 나머지 계측기에는 Geo-Phone과 Micro-Phone을 연결하여 지반진동과 대기 중 소음을 측정하였다 (Fig. 3). 계측지점은 양식어장과 가옥의 위치, 진동 pick-up이 원활한 최적의 위치를 선정하였으며 각각의 이격거리는 광파측량기를 통하여 직접 실측하였다. 발파원 직상부 수면에서부터 계측지점까지의 수평거리는 발파원의 위치에 따라 86m(교각 P2)에서부터 최고 455m(교각 P4)에 이른다.

### 3.3 계측결과

수중발파가 실시된 발파원(교각위치) 별로 구분한 계측결과를 Table 3에 정리하였다. 수중발파 공사가 진행되기 시작한 초기에는 수중발파에 대한 계측 경험 부족과 기상조건의 영향에 따라 신뢰할 만한 계측결과를 매회 모든 계측기에서 얻기는 어려웠다. 본 연구에서는 진동영향을 분석하고 진동추정식을 산정하기 위하여 38개의 data가 사용되었다. 진동치는 발파원 계측지점 사이의 이격거리를 지발당 장약량으로 나뉘서 계산한 환산거리(Scaled Distance)에 대응되도록 하였다. 환산거리는 사승근(square root)과 삼승근

(cube root)으로 구분하여 근거리와 원거리에서 추정되는 진동치를 보다 안전하게 평가 할 수 있도록 하였다.

교각 P2에서 발파가 이루어지는 경우 최대 지반진동속도는 0.244cm/s까지 얻어졌으며, 대기 중 소음은 73.8dB(A), 수중소음은 145dB(A)까지 나타났다. 특히 위에서 언급한 수중소음의 경우 발파직전 평상 시에 측정된 값은 126.3dB(A)로써 수중발파로 인

해 18.7dB(A)이 증가하는 것으로 분석되었다.

교각 P3의 지발당 장약량은 30N/delay로써 환산 거리에 따라 최저 0.095cm/s에서부터 최대 0.154 cm/s의 지반 진동이 얻어졌다. 대기 중의 소음은 교각 P2보다 상대적인 거리는 멀지만 장약량이 3배에 이르러 소음치는 최대 79.6dB(A)까지 측정되었으며, 수중소음은 144dB(A)로 1회 측정되었다.

Table 3 측정결과

Source (TCR/RQD)	Dis.(m)	Weight(N)/delay	SD(m/N1/2)	SD(m/N1/3)	Vibration (cm/s)	Noise, dB(A)	Hydrospace noise dB(A)
P2 Soft rock (92/22)	86	10	27.196	39.918	0.244	-	-
	130	10	41.110	60.341	0.201	-	-
	109	10	34.469	50.593	0.187	-	-
	188	10	59.451	87.262	0.175	62.1	-
	142	10	44.904	65.911	0.123	73.8	134
	180	10	56.921	83.549	0.153	72.8	145
	160	10	50.596	74.265	0.170	-	-
	180	10	56.921	83.549	0.146	-	-
P3 Hard rock (80/37)	170	10	53.759	78.907	0.130	-	-
	249	30	45.461	80.136	0.106	75.1	144
	218	30	39.801	70.159	0.154	79.6	-
	282	30	51.486	90.756	0.095	73.0	-
	353	30	64.449	113.606	0.139	70.1	-
	254	30	46.374	81.745	0.095	69.1	-
P4 Soft rock (73/3)	287	30	52.399	92.365	0.129	-	-
	358	30	65.362	115.215	0.109	70.6	-
	350	20	78.262	128.941	0.075	67.4	129
	350	30	63.901	112.640	0.146	65.2	131
	455	30	83.071	146.433	0.137	69.4	-
	350	30	63.901	112.640	0.102	68.0	136
	455	30	83.071	146.433	0.076	78.1	-
	455	30	83.071	146.433	0.105	69.9	129
P5 Soft rock (30/0)	455	30	83.071	146.433	0.097	76.2	-
	350	30	63.901	112.640	0.152	72.8	132
	455	30	83.071	146.433	0.142	79.6	-
	350	30	63.901	112.640	0.080	71.4	130
	455	30	83.071	146.433	0.159	81.3	-
	327	40	51.703	95.615	0.145	78.7	148
	327	30	59.702	105.238	0.132	70.6	143
	413	30	75.403	132.916	0.129	79.8	-
	413	30	75.403	132.916	0.131	-	-
	327	30	75.403	132.916	-	-	144
	413	10	130.602	191.698	0.070	-	-
	413	30	75.403	132.916	0.131	79.6	126
413	10	130.602	191.698	0.083	-	-	
413	10	130.602	191.698	0.079	-	-	
413	40	65.301	120.762	0.124	86.8	130	
413	40	65.301	120.762	0.133	-	-	

교각 P4에서 수중발파가 실시되는 경우 지반진동속도는 0.075cm/s에서 0.152cm/s까지 얻어졌으며, 소음은 최대 79.6dB(A), 수중소음은 136dB(A)까지 측정되었다. 교각 P4의 경우 최대 이격거리는 455m까지 측정되었지만 지반진동은 0.142cm/s로 나타났다. 발파원이 교각 P5인 경우에는 소음은 최대 86.8dB(A), 수중소음은 148dB(A)까지 측정되었으며 이때의 지발당 장약량은 40N/delay로써 발파설계된 경우 중 최대 장약량이었다.

전체적으로 소음은 최소 62.1dB(A)에서부터 최대 86.8dB(A)까지 계속되었는데 지반 진동치에 비해 환산거리에 따른 상관성이 부족한 것으로 분석되었다. 특히 수중발파의 경우 소음을 전달시키는 매질로써 수심이 큰 변수로 작용하고 있는 것이 육상발파와 가장 큰 차이점이지만 수심을 변수로 고려하지 않은 상태에서 소음치를 분석한데서 오는 편차라 판단된다. 향후에는 수중발파로 인한 대기 중의 소음치를 추정하기 위해서는 수심을 발파변수로 포함하는 방법에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결과분석 및 영향평가 Flow-chart

##### 4.1 지반진동 추정식

Fig. 4와 Fig. 5에는 신뢰성이론을 사용하여 분석한 진동치와 진동추정식이 제시되어 있다. 또한 Table 4에는 신뢰성이론을 사용한 진동추정식을 정리하였다. 상관계수(r)와 감쇠지수(n)는 회귀분석 과정

에서 얻어지는 값들로써 삼승근의 경우에는 -0.66과 -0.536을 각각 얻었으며 자승근의 경우에는 -0.65와 -0.560을 각각 얻었다. 상관계수가 상대적으로 낮은 이유는 일반적인 발파와는 다르게 수심과 같은 변수를 가지고 있는 수중발파의 특수성을 고려하지 못했기 때문이라 판단된다.

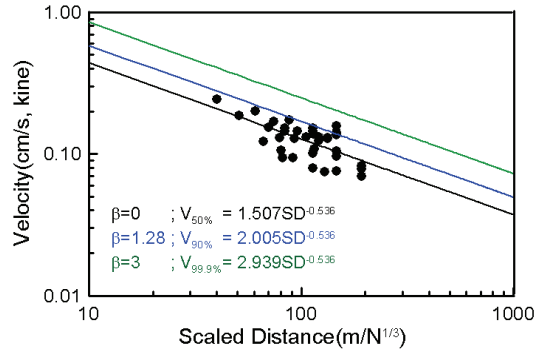


Fig. 4 신뢰성이론을 사용한 삼승근 진동추정식

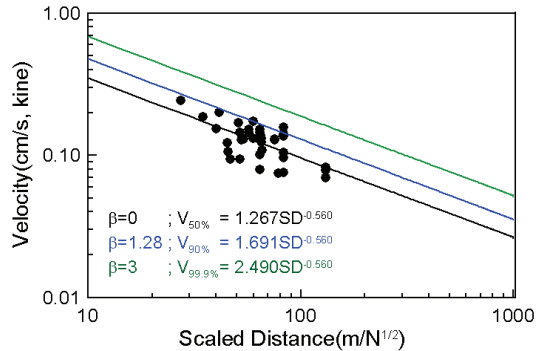


Fig. 5 신뢰성이론을 사용한 자승근 진동추정식

Table 4 신뢰성이론을 사용한 지반진동 추정식

Scaling	Reliability index, $\beta$	Equations of vibration velocity	State	Cor. coeff. (r)	Basic form : $V = K(SD)^n$
Cube-root	0	$V_{50\%} = 1.507(D/W^{1/3})^{-0.536}$	Safety	-0.66	$V$ : Peak vector sum, cm/s(=kine) $SD$ : Scaled Distance( $D/W^{1/3}$ or $D/W^{1/2}$ ) $D$ : Distance, m $W$ : weight per delay, N $n$ : damping coefficient
	1.28	$V_{90\%} = 2.005(D/W^{1/3})^{-0.536}$	Serviceability		
	3	$V_{99.9\%} = 2.939(D/W^{1/3})^{-0.536}$	Ultimate		
Square-root	0	$V_{50\%} = 1.267(D/W^{1/2})^{-0.560}$	Safety	-0.65	
	1.28	$V_{90\%} = 1.691(D/W^{1/2})^{-0.560}$	Serviceability		
	3	$V_{99.9\%} = 2.490(D/W^{1/2})^{-0.560}$	Ultimate		

## 4.2 수중소음 추정식

수중발파로 인한 육상 양식어장 내의 수중소음을 예측한 14개의 data를 삼승근 및 자승근 환산거리와 관계하여 회귀분석한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 SL은 수중소음레벨 dB(A), SD는 환산거리 ( $D/W^{1/3}$ ,  $D/W^{1/2}$ )를 각각 의미한다. 상관계수(r)의 값은 -0.658과 -0.680으로 각각 얻어졌다. Fig. 6에서 두 직선식은 환산거리 4.5를 기준으로 4.5이하에서는 제곱근 식이, 4.5이상에서는 삼승근 식이 보다 큰 수중소음레벨을 추정할 수 있도록 하고 있다. 그러나 이러한 경향은 단지 산술적인 의미일 뿐이며 환산거리 4.5는 실제적으로 지발당 장약량이 10N이라면 이격거리가 10m-14m에 해당하고 이때의 수중소음 추정치는 200dB(A)를 훨씬 초과하게 되므로 수중소음 추정식으로써의 실질적인 의미는 없을 것으로 판단된다.

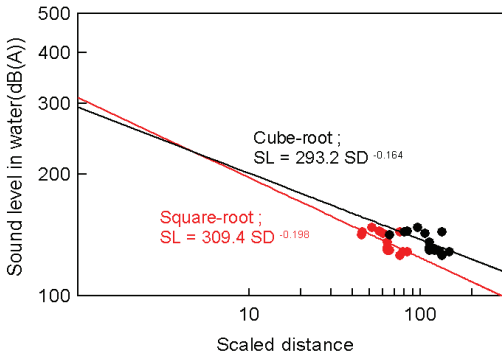


Fig. 6 수중소음 추정식의 비교

## 4.3 허용장약량 산정식

Table 4에 제시한 지반진동추정식과 Fig. 6의 수중소음추정식을 근거로 허용기준을 만족할 수 있는 허용장약량 산출식을 Table 5에 나타내었다. 허용장약량 산출식은 발파현장에 따라 주어진 진동기준과 발파원과 보안물건 사이의 이격거리가 주어지면 진동허용기준을 만족하는 지발당 허용장약량을 간단히 산정할 수 있도록 한 것이다. 또한 허용장약량 산정식의 신뢰도는 앞서 여러 식들에서 제시한 K값을 선택함으로써 확보할 수 있다.

위에서 제시된 식들이 직접 적용될 수 있는 수중발파 환경은 제한적일 것이나 본격적인 수중발파 이전에 인공 양식어장의 진동영향을 검토하는 기초적인 자료로서는 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 체계적인 자료축적을 통한 지속적인 보완이 필요할 것이다.

## 4.4 수중발파 영향평가 흐름도

수중발파의 계획에서부터 예비설계, 본 설계, 계측, 영향성 평가등과 같은 일련의 과정을 체계적으로 정리하여 수중발파 설계 및 영향성 평가를 위한 흐름도를 Fig. 7에 제안하였다. 제안된 흐름도를 사용함으로써 수중발파 공사 관리와 주변 환경의 영향성 검토 및 평가를 체계적인 절차를 가지고 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5 허용장약량 산정식

Scaling	Equations of allowable charge weight	
	Ground vibration	Hydrospace noise
Cube-root	$W_a = \left(\frac{V_c}{K}\right)^{5.60} \cdot D^3$	$W_a = \left(\frac{SL_c}{293.2}\right)^{18.29} \cdot D^3$
Square-root	$W_a = \left(\frac{V_c}{K}\right)^{3.73} \cdot D^2$	$W_a = \left(\frac{SL_c}{309.4}\right)^{10.10} \cdot D^2$

Reference :

$W_a$  : allowable weight per delay, N

$V_c$  : vibration criteria, cm/s

$K$  : blast coefficients

$D$  : distance, m

$SL_c$  : sound level criteria in water, dB(A)

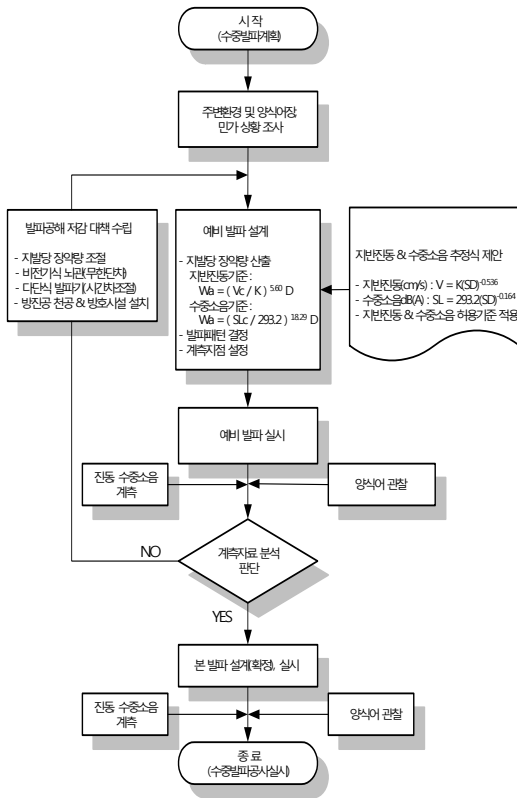


Fig. 7. 수중 발파 영향평가 흐름도

## 5. 결론

실험을 통하여 얻어진 정량적인 계측 결과를 이용하여 신뢰성이론에 의한 지반 진동추정식을  $V = K(SD)^{-0.536}$ 으로 제시하였다. K값은 신뢰도 50%, 90%, 99.9%에 따라 1.507, 2.005, 2.939로 각각 얻어졌다. 엔지니어는 발파현장의 환경을 고려하여 K값을 적절히 선택함으로써 효율적인 수중발파가 가능할 것으로 판단된다. 또한 수중발파로 인한 육상의 소규모 저수지(양식어장)의 수중소음추정식은 실측된 수중소음 자료를 이용하여  $SL = 293.2SD^{-0.164}$ 로 제시하였다. 연구대상이 되었던 공사현장 주변에는 육상 양식어장이 넓게 분포되어 있어 그 위치에 따라 수중소음, 지반진동 등에 대해 양식어류(가물치)가 받는 스트레스의 정도는 달라지겠으나 수중발파공사가 지속되

는 5개월 동안 가물치는 수 십 차례에 걸쳐 126dB(A) - 148dB(A)의 수중소음, 최대 86.8dB(A)의 대기중 소음, 0.070cm/s - 0.244cm/s의 지반진동에 노출되었으나 회복불능 어류는 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 이러한 연구 결과들을 고려하여 수중발파 설계 및 영향성 평가가 가능한 흐름도를 제시하였다. 수중발파에 대한 영향평가 연구는 이제 시작하는 단계로써 지속적이고 다양한 경우에 대한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 동신대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

1. 건설교통부, "발파소음·진동허용기준검토(안)", 건설교통부 감사관실, 2002.
2. 한국소음진동공학회, "소음·진동 편람", 한국소음진동공학회, 1995.
3. 신현옥, "양식가물치의 행동에 미치는 파일작업 소음의 영향에 관한 연구", 한국수산학회지, 제28권 제4호, 1995, pp. 492-502.
4. 신현옥, "양식양어의 행동에 미치는 발파작업 소음의 영향에 관한 연구", 한국수산학회지, 제33권 4호, 2000, pp. 348-355.
5. 안명석, 김종대, 황소중, "발파진동과 소음이 가축에 미치는 영향에 관한 사례연구", 한국소음진동공학회지, 제11권 제1호, 2001, pp. 104-110.
6. 박연수 외, 수중발파 현장에서의 진동추정식에 관한 실험적 연구, 한국소음진동공학회 논문집, 제16권 제7호, 2006.
7. 박정식, 윤영선, "현대통계학", 다산출판사, 1997.
8. 總合安全工學研究所, 水中發破, 山海堂, 1985.
9. 山田申志, "發破による音と振動", 山海堂, 1995.
10. 清水信行, "パソコンによる 振動解析", 共立出版株式會社, 1989.
11. Dowding, C. H., Construction Vibrations, Prentice Hall, 1996.
12. S.S., Rao, "Reliability Based Design", McGraw-Hill Inc. 1992.

(접수일자 : 2008년 2월 4일)  
(심사완료일자 : 2008년 8월 31일)