

❖ 터널 환기 및 방재 기술위원회

KTA-Annual Technical Report

**우사 및 축사를 대상으로 한 근접발파시
허용기준치 및 피해보상 한계**

2016. 12.



사단
법인 **한국터널지하공간학회**
Korean Tunnelling and Underground Space Association

■ 목 차 ■

1. 개 요.....	1
2. 민가 및 축사를 대상으로 한 발파시행시의 허용 진동치 예.....	1
2.1 환경분쟁 조정시 소음 피해인정기준(2008년 1월 1일부터 적용).....	1
2.2 축사에 대한 엄격한 진동기준 강화조건의 제어발파 적용 현황 예.....	3
3. 민가 및 축사를 대상으로 한 피해보상 한계.....	4
3.1 스트레스가 가축의 생산성 저하에 미치는 요인에 대한 수의학적 고찰.....	4
3.2 Weber Fechner의 법칙.....	5
3.3 중앙환경분쟁 조정위원회의 소음·진동의 수인한도.....	6
3.4 중앙환경분쟁 조정위원회의 소음·진동의 수인한도의 현장적용 사례.....	6
4. 결 론.....	7

1. 개 요

- 국내에서 터널 공사시 적용되는 주요 공법인 NATM의 경우 국내 적용 실적이 매우 풍부하여 관련 기술자가 많이 포진되어 있는 공법이다.
- NATM 공법은 국제적인 공용명칭이 “Drill and Blast”로서 발파공정이 반드시 수행되어야 하는 공법으로, 이로 인하여 많은 민원이 발생하는 공법이다.
- 본 보고서에서는 국내에서 적용되어온 발파 보안물건 중, 발파허용 진동치가 비교적 엄격한 민가 및 축사에 대한 허용진동치 적용 현황과 함께, 국내 설계 및 시공사례를 통하여 축사를 대상으로 한 피해보상 사례를 제시함으로써 현장에서 발생하는 시공자 및 지역주민간의 마찰 최소화에 도움이 되는 방법사례를 소개하고자 한다.

2. 민가 및 축사를 대상으로 한 발파시행시의 허용 진동치 예

- 발파에 의한 환경공해를 최소화하고, 민원발생 및 그에 따른 공사지연을 방지하기 위해 환경부의 중앙 환경분쟁 조정위원회의 조정사례 및 “00~00 철도건설사업 환경영향평가서”에 따라 건물내 거주자의 민원을 고려하여 민가에 대하여 0.2cm/s를 적용하고 축사는 0.02cm/s를 적용
- 여기서 축사 및 우사를 대상으로 0.2cm/sec를 적용하는 것은 매우 엄격한 상황으로서, 57dB(v)를 발파진동의 허용치로 하되, 적정 진동값으로의 변환방법에 따라 많은 차이를 보이고 있음.

[적용 허용 진동치]

구 분	허용 진동치준	비 고
축 사	0.02cm/s	환경분쟁 조정시 소음 피해인정기준(신설) (2008년 1월 1일부터 적용) “원주~강릉 철도건설사업 환경영향평가서”
민 가	0.2cm/s	최근 환경영향평가 협의사례 적용 “00~00 철도건설사업 환경영향평가서”

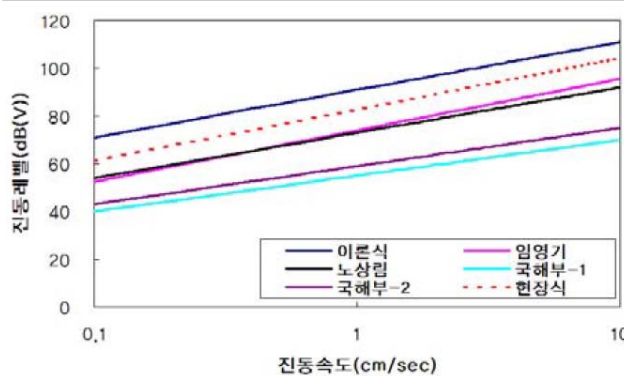
2.1 환경분쟁 조정시 소음 피해인정기준(2008년 1월 1일부터 적용)

- 환경분쟁 조정위원회에서 제시하고 있는 가축 피해수인 한도 변화이력은 다음과 같다.

해당연도	진동기준		소음기준
	dB(V)	cm/s	
1996년 12월	70	—	70
1997년 12월	—	0.02~0.05	60~70
2001년 12월	—	—	60
2007년 10월	57	—	60
2009년 10월	57	—	60

- 진동속도와 진동레벨 상관성 분석을 위하여 제시된 기존 연구사례는 다음과 같으며, 환산식별로 산정된 진동속도 결과차이가 다소 크게 나타남을 알 수 있다.

진동속도와 진동레벨 상관식 제안 기관 및 학자별 분석 결과



- 이론식(Egima) : $\text{dB(V)} = 20\log V + 91$
 - 임영기 식 : $\text{dB(V)} = 21.6\log V + 74$
 - 노상립 식 : $\text{dB(V)} = 19\log V + 73$
 - 국토해양부-1 : $\text{dB(V)} = 15\log V + 55$
 - 국토해양부-2 : $\text{dB(V)} = 16\log V + 59$
 - 현장식 : $\text{dB(V)} = 21.469\log V + 82.804$
- (여기서, V : 진동속도(cm/sec))

구 분		이론식	임영기	노상립	국해부-1	국해부-2
환 산 진 동 속 도	57dB(V)	0.020cm/s	0.163cm/s	0.144cm/s	0.293cm/s	0.172cm/s
	60dB(V)	0.028cm/s	0.225cm/s	0.207cm/s	0.464cm/s	0.274cm/s
	70dB(V)	0.089cm/s	0.653cm/s	0.695cm/s	2.154cm/s	1.155cm/s

- 상기의 결과를 토대로 환경분쟁 조정시의 소음피해인정기준에 대한 주요 사항을 고찰하면 다음과 같다. 환경분쟁 조정위원회에서는 가축피해 기준 진동값을 57dB(v)로 제시하고 있으며, 이에 대한 진동속도 변환은 일본 Egima식을 이용하여 0.02cm/sec로 하여 매우 엄격한

내지 공사비가 과다투입되는 사항으로 제안하고 있다.

○ 소음 기준 신설 및 강화

- 건설공사장(발파)소음 기준 신설 : 80dB(A)
- '09년부터 건설공사장(건설기계 및 발파) 소음기준 강화(예고)
- 건설기계 70→65 dB(A), 발파 80→75 dB(A)

○ 진동(건설공사장 및 교통) 기준 강화

- 연속진동 73→65 dB(V), 충격진동(발파) 86→75 dB(V)

○ 가축피해 기준 강화

- 소음 70→60 dB(A), 진동 57dB(V)(≒0.02 kine) 신설

○ 피해배상액 가산

- 소음·진동·먼지 등이 복합된 경우 : 주된 피해원인 배상액에 10~30% 가산
- 소음(진동)이 수인한도를 초과하고 진동(소음)이 수인한도 -3dB이내인 경우
- 먼지 또는 악취로 행정처분을 받은 경우
- 아침(05~08시), 저녁(18~22시) 시간대 공사 : 최대 30%까지 가산

2.2 측사에 대한 엄격한 진동기준 강화조건의 제어발파 적용 현황 예

- 현장에서 적용된 사례를 대상으로 측사에 대한 엄격한 진동기준인 0.02cm/sec를 적용하는 조건에 따라 구간별 제어발파 연장 적용 사뻐는 다음과 같다.

공 법	측사에 대한 엄격기준 미적용시 제어발파 적용연장(m)	측사에 대한 엄격기준 적용시 제어발파 적용연장(m)
B(일반)	1,218	248
CB1(다단)	1,330	880
CB2(다단+선대구경)	160	140
CB3(다단+선대구경+굴진장축소1.0m)	630	0
CB4(다단+선대구경+굴진장축소2.5~1.0m)	0	1,249
특수(다단+선대구경+굴진장축소0.8m+전자)	0	821
계	3,338	3,338

- 총 3.338km의 연장에 대하여 측사에 대한 엄격한 진동기준인 002cm/sec를 적용, 미적용하는 조건에 대하여 제어 발파 연장에 매우 큰 차이가 발생하며, 이는 공사비 및 공기가 증가되는 직접적인 원인이 된다.

3. 민가 및 축사를 대상으로 한 피해보상 한계

3.1 스트레스가 가축의 생산성 저하에 미치는 요인에 대한 수의학적 고찰

- 가축은 야생에서보다 다소 퇴화는 했지만 본능으로 어떤 소리(소음)나 진동과 같은 자극에 대하여 경계하는 중 본능의 습성을 가지고 있어서 소음과 진동에 대해서는 매우 민감한 반응으로 자신의 생명을 보호하려는 수단 즉, 생(生)과 사(死)의 위협에 대한 정보가 곧 소음과 진동이다. 따라서 가축에게는 위협이나 공포를 느끼게 하는 수준의 소음과 진동이면 스트레스 자극으로 이어진다. 특히 이러한 스트레스는 번식활동과 직접적인 영향을 미치는 것으로 스트레스가 없거나 적은 환경이 되면 동물은 번식활동을 개시하여 발정이 일어나 임신이 하게된다.
- 동물은 축종마다 소리를 감지하는 능력범위는 축종마다 다르다. 많은 동물들은 사람보다 낮은 주파수대의 소리를 들을 수 있으며 고주파 영역은 월등히 높은 감지력을 가지고 있다. 특히 돼지는 소와 같은 반추동물보다 소음에 대한 반응은 민감한 동물로 알려져 있으며 (Noren,1987), 고주파 청취력은 사람의 2.5배 이상 넓은 것으로 조사되었다(Heffner and Heffner, 1992).
- 가임동물에게 어떠한 형태이든 스트레스가 가해지게 되면 내분비장해를 일으켜서 번식관련 호르몬의 분비가 저하되어 발정율, 수태율,산자수, 분만, 포육율이 떨어지고 지속적인 자극일 경우에는 항병력이 떨어져 질병 발생율이 높아진다. 또한 젖분비의 저하로 자축의 이유율이 떨어지며 폐사율도 높아진다는 사실은 자명한 사실이다. 그러나 대부분의 스트레스요인은 축산산업의 관리업무상 부득이 발생하는 소음.진동, 과밀사육, 주사, 보정, 이동, 영양과부족 등에 의해 일어나며 특히 질병에 의한 폐사율이 어느 것보다 높다. 그러나 환경분쟁이 일어나게 되면 농장자체에서 발생된 스트레스요인이나 관리실수 및 질병 등에 의한 생산성 감소나 폐사 등을 외부에서 가해진 소음.진동만이 직접적인 원인이 되어 스트레스로 인한 것이라고 주장 하는 경우가 많다.
- 그러나 이러한 경우 그 주장이 잘못되었다고 단정할 수는 없는 것으로 외부의 자극이 기여한 것으로 생각해야 하며 그기여도가 어느 수준인가를 생각하여야 한다. 따라서 환경분쟁에서 인과관계 여부의 판단이나 피해액 시산과정에서 동물별 생산성에 영향을 미치는 항목(번식력, 산자수, 이유율저하, 성장률저하, 도태율 증가, 폐사, 생산비, 출하가격 등)과 기본 자료에

대해서는 외생변수(外生變數)의 가정치를 적용하여 객관성을 유지하여 야 할 것이다.

- 인과관계 판단에 대하여 수의학적 측면에서 고찰함에 있어서 범적응 증후군(General adaptation syndrome)의 생리적 기전¹⁾과 Weber-Fechner의 법칙²⁾을 응용하여 해석하는 것이 용이하다.
- Weber-Fechner의 법칙은 자극의 질과 양적인 측면에서 가축이 받아들이는 양에 응용되어야 할 것이며, 범적응 증후군의 생리적 기전으로 공사기간 중 인근농가의 가축이 피해를 받을 수 있는 스트레스요인은 여러 가지 이지만 이를 받아들이는 가축은 복합된 자극으로 받아들여져 신체가 반응하는 과정에 대한 고찰에 적용하는 것이 합리적인 것으로 생각한다. 즉, 범적응 증후군의 생리적인 기전에 따라 농가에서 가축이 받을 수 있는 모든 스트레스요인이 복합된 값이 지속되므로 인하여 가축은 경고반응 → 저항기 → 피로기로 이행될 수 있었다고 생각하고, 모든 스트레스요인 중에서 어떠한 요인이 어떻게 가축에게 작용했느냐에 관한것은 Weber-Fechner의 법칙을 응용하여야 한다.

3.2 Weber Fechner의 법칙

- 냄새물질의 농도와 인간의 후각으로 느끼는 감각량 사이에는 Weber-Fechner의 법칙이 존재한다. 이 법칙은 인간의 감각량을 물질농도의 대수에 비례하도록 하는 것으로 물질농도가 10배일지라도 인간의 감각으로는 약 2배 정도밖에 느낄 수 없음을 나타낸다. 반대로 90%의 취기를 제거해도 인간의 감각으로는 겨우 원래 냄새의 반 정도만 제거한 것처럼 느끼게 되는 현상을 Weber Fechner의 법칙이라 한다.
- 소음과 진동이라는 물리량이 구조물을 자극했을 때는 물리량으로 작용하지만 감각기능을 가진 사람을 비롯한 동물에 자극했을 때는 심리량으로 느끼게 된다. 즉, 물리량이 2배로 되어도 사람의 감각은 2배로 느껴지지 않고 오히려 Weber-Fechner의 법칙에 따라 등차급수적으로 즉, 대수척도로 대응하기 때문이다. 그래서 단위에서도 진동량의 단위인 cm/sec, cm/sec² 등과 같은 선형적 척도는 구조물에 대해서는 잘 적용될 수 있으나 동물의 감각은 선형적으로 비례하지 않는 경향이 있으므로 대수척도인 dB(decibel)을 사용하는 것이 원칙이라 생각한다.

3.3 중앙환경분쟁 조정위원회의 소음·진동의 수인한도

- 가축을 둘러싼 환경요인 중 소리요인은 다른 환경적인 요인과 마찬가지로 가축의 생산성에 직·간접적으로 영향을 미치며 간헐적인 소음·진동이나 충격소음은 가축에게 더 큰 영향을 미친다. 가축의 종류에 따라 소음·진동에 대한 감수성이 다르고 같은 수준의 소음·진동이라 할지라도 개체에 따라 감수성이 다르다. 특히 평상시에 소음도가 낮은 곳은 높은 곳에 비교하여 공사가 시작될 때 갑작스런 충격으로 피해가 더 심하게 일어나며 공사가 진행되는 과정에서 가축은 서서히 적응하게 된다.

이러한 관점에서 환경부 중앙환경분쟁조정위원회에서는 『축종별 환경관리 권고 기준안』과는 다소 상반된 안으로 『환경피해 평가방법 및 배상액 산정기준의 합리적 조정방안 연구보고서(2007.10..)』가 제시되었다.

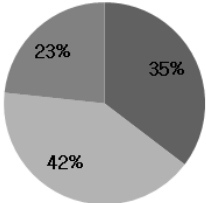
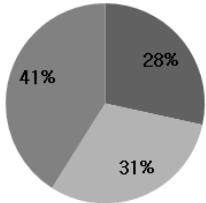
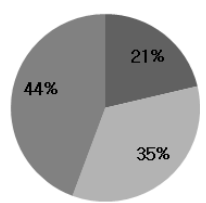
그 후 2009년 10월 환경부 중앙환경분쟁조정위원회에서 『소음·진동으로 인한 가축피해 평가 및 배상액 산정기준의 합리적 조정방안 연구』가 가장 최근의 평가기준에 대한 연구보고서이다. 이 보고서의 안은 기존의 권고안을 더 세밀하게 분류함과 동시에 비합리적인 것은 교정, 삭제, 보완하여 안)으로 제시한 것으로 본 평가자는 기존의 안)보다 더 합리적인 것으로 판단하였기에 이를 본 평가의 지침으로 채택하였으며 한우비육과 한우번식 및 사슴의 진동에 대한 수인한도는 아래와 같다.

구 분		진동크기(cm/sec)별 피해정도(%)			
		0.02~0.05	0.05~0.1	0.1~0.5	0.5~1.0
한 우	폐사	—	5~10	10~20	20이상
	유·사산	5~10	10~30	30~40	40이상
	성장지연	5~10	10~20	20~30	30이상
	수태율저하	5~10	10~30	30~40	40이상
	육질저하	5~10	10~20	20~30	30이상

3.4 중앙환경분쟁 조정위원회의 소음·진동의 수인한도의 현장적용 사례

- 2.2절에서 제시했었던 바와 같이 터널 노선 일대에 축사 및 우사가 다수 존재하는 경우 과도한 제어발파 또는 무진동등의 적용으로 인하여 공사비 및 공기가 증가하게 된다. 따라서 현장에서 시공시 축사에 대한 허용진동치 값을 고려하지 않고 공사를 시행하되, 이에 대한 피해보상을 『소음·진동으로 인한 가축피해 평가 및 배상액 산정기준의 합리적 조정방안 연구』의 결과

를 토대로 산정하여 공사를 시행하게 된다. 이 경우 절감되는 공사비는 축사에 대한 피해액보다 매우 크게되며, 공사기간 단축에도 기여하게 된다. 이러한 접근방법에 의한 현장사례는 다음과 같다.

구 분	현장 보상사례 분석		
	울산~포항 2공구	음성~충주 7공구	호남고철 4-2공구
그래프	 ■ 폐사율 ■ 성장지연 ■ 육질저하	 ■ 유.조.사산 ■ 번실향저하 ■ 성장지연	 ■ 유산 ■ 성장지연 ■ 수태율저하
특징	• 성장지연 42%	• 성장지연 41%	• 성장지연 44%
분석결과	• 허용 발파진동 영향 초과시 성장지연에 대한 보상피해가 가장 많음		

4. 결 론

- Drill and Blast에 의한 터널 시공시에는 발파 소음·진동으로 인한 민원이 대부분의 경우 발생하게 되며, 축사 또는 민가가 분포하는 경우 민원의 심각성이 증가됨과 동시에 공사비·공기 역시 증가하게 된다.
- 축사 및 우사가 대규모로 분포하는 지역을 통과하는 경우 이에 대한 면밀한 검토가 필요하겠으나, 소규모로 분포하는 경우 엄격한 축사 및 우사의 허용진동치 적용은 비효율적인 공사진행의 원인이 될 수 있다.
- 이에 대한 대처방안으로서 축사 및 우사를 대상으로한 발파진동 제어방안 수립도 한 방법이 되겠으나, “우사 및 축사를 대상으로 한 근접발파시 허용 기준치 및 피해보상 한계”분석을 통한 효과적인 공사방법을 결정하는 것도 적절한 방법이 될 수 있다.
- 아울러 제어발파 계획시 결정된 허용진동치에 대한 만족 또는 초과에 대한 사항으로 제어발파 공법을 선정하는 경우, 허용진동치 이내의 조건에서도 폐사, 유·사산, 성장지연, 수태율저하, 육질저하등의 원인제공이 될 수 있음을 사전인지하고 대처방안을 수립하는 것도 시공자와 민원인의 트러블 해소에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.