
소음에 의한 가축피해 평가방안에 관한 연구

2001년 12월

연구기관 : 서울대학교 수의과대학

환 경 부
중앙환경분쟁조정위원회

目 次

제1장 서론	5
1.1 연구의 배경 및 목적	5
1.2 연구방법 및 내용	7
제2장 소음원별 물리적 특성, 평가척도, 규제기준 고찰	9
2.1 건설소음	9
2.1.1 건설기계 소음	9
2.1.2 발파소음	17
2.1.3 관련 규제기준 및 평가척도	23
2.2 항공기 소음	26
2.2.1 항공기 소음의 특성	26
2.2.2 관련 규제기준	39
2.2.3 평가척도	41
2.3 평가척도간 상호관계	44
2.3.1 L_{eq} 와 L_N , L_{max}	44
2.3.2 WECPNL과 L_{eq} 의 비교	46
제3장 가축 관련 소음기준 및 피해사례 조사	49
3.1 가축 관련 소음기준	49
3.2 소음이 가축에 미치는 영향	51
3.2.1 소(젖소, 한우)	51
3.2.2 닭	59
3.2.3 돼지	66

3.2.4	기타 가축과 동물	70
3.2.5	문헌자료 검토 결과 및 분석	74
3.3	국내 가축 소음피해 분쟁사례	76
3.3.1	소음·진동 문제로 인한 분쟁현황 및 추이	76
3.3.2	가축피해 분쟁사례 분석	78
3.3.3	가축 피해특성 분석	82
제4장	평가인자에 대한 연구	90
4.1	공학적 평가인자에 대한 연구	90
4.1.1	평가 소음레벨 산정 방법	90
4.1.2	평가인자 적용 방안	103
4.2	수의학적 평가인자에 대한 연구	107
4.2.1	가축화정도, 품종, 연령, 수태여부 등에 따른 소음피해 형태 추정	107
4.2.2	사양관리 정도에 따른 가축피해 정도	108
4.2.3	영양수준과 가축피해 정도	108
4.2.4	사육현장 및 피해물 미보존시 피해규모 추정 방안	117
4.2.5	가축 및 축산물 가격기준 자료 선정방안	117
제5장	피해규모 산정방안	118
5.1	외국의 피해규모 산정사례	118
5.1.1	피해규모 산정방식 및 조사항목	118
5.1.2	피해금액 산정	119
5.2	가축피해 조사내용	122
5.2.1	수의학(축산학)부문	122
5.2.2	공학(소음·진동학)부문	126
5.3	가축 피해액 산정에 대한 조사절차표준	128
5.3.1	피해규모 산정기준	128

5.3.2	측종별 축산관련 지표	130
5.3.3	피해액 산정	144
제6장	결론	149
※	참고문헌	151
※	부록	155
1.	분쟁조정사례	
2.	축산관련 용어정리	
3.	일본의 건설공사장 소음·진동 저감대책	
4.	국내 고소음기계 중 저소음제품에 대한 소음표시 제도	
5.	방음벽의 개요	
6.	건설공사장 소음 저감을 위한 관리기술 사례	
7.	암굴착 공법 및 적용기준 사례	
8.	발파소음·진동의 시공상 저감방안	
9.	저소음 도로포장공법 사례	

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 사회간접자본의 확충으로 인해 각종 건설공사가 시행되고 있으나 여기서 유발되는 소음·진동으로 가축이 피해를 입는 사례가 급증하고 있다. 특히 최근에는 신설 비행장에서의 항공기 이·착륙음, 군부대 등의 중무기 이동 및 사격연습 등으로 유발되는 소음·진동 관련 민원이 매항리 사건 이후 증가하면서 이에 대한 관심도 증폭되고 있다.

과거에는 공공개발, 국가안보 등 공익우선 분위기로 인해 보호받지 못했던 국민의 권리가 최근 시민의식의 고양과 함께 개별 또는 집단민원 형태로 분출되고 있다. 그 한 예로 환경부 중앙환경분쟁조정위원회에서 처리하고 있는 조정 및 재정 사례 중 소음·진동에 의한 피해분쟁사건이 1991년도부터 2000년도까지 전체의 78%(312건) 수준을 점하고 있으며, 이 중 축산물 피해와 관련된 비율은 약 14%(43건)를 차지하고 있어 유사사건의 민사소송 사례가 날로 증가하고 있는 형편이다.¹⁾

이와 같이 소음·진동 유발 당사자와 가축사양가 사이의 분쟁은 날로 증대되고 있으나 인과관계의 성립여부, 피해규모, 피해액산정, 향후조치 등에 대한 명확한 기준과 처리사례가 국내·외를 막론하고 극소수에 불과하여 분쟁의 조정이나 대책수립 등에 많은 어려움이 있는 실정이다. 이는 소음·진동에 의한 피해개념 자체와 범위의 모호성으로 인해 일정한 수치적 개념으로 확정할 수 없는 특징이 있는 데다 발생원 및 피해 대상물 각 영향인자들의 복합적인 상호작용으로 피해양상이 워낙 다양하기 때문이다.

특히 피해 대상물이 가축일 경우에는 발생원의 물리적 특성 외에도 가축화의 진행정도(잔여 야생성), 품종, 연령, 수태여부, 평시 사양관리 형태 등에 따라 외부스트레스에 의한 반응도가 다르고 암소음·암진동과 같은 축사 주변의 환경적 요인에 따라서도 사양가축의 반응도 및 피해수준은 전혀 다른 양상을 나타낸다.

현재 법령에서의 규제기준은 인체중심으로 되어 있어 소음·진동에 훨씬 민감한 가축에 적용시킬 수 없고 소음·진동에 대한 인체 반응은 본능적 탐지능력과 함

1) 환경부 중앙환경분쟁조정위원회, 「환경분쟁조정사례집」, 2000

게 학습에 따른 영향을 받을 수 있기 때문에 가축의 반응특성과는 상이하다. 한 예로 대형중장비의 이동시 인간은 소음·진동을 인식하고 불가피하게 감내해야 하는 대상이라 판단하는 능력이 있으나 동물은 자신에게 닥쳐오는 엄청난 재앙으로 인식할 수도 있다. 즉 인간에게는 사전인식에 의해 위험요인이 아니라는 것을 알고 인내할 수 있으나 인간보다 수십 수백배 예민한 소음·진동 탐지능력을 보유한 동물은 이를 위험신호로 인식하며 이는 강한 스트레스로 작용되어 각종 호르몬의 이상분비와 본능적 도피 등 돌발행태가 표출될 수밖에 없다. 따라서 동일한 소음·진동도에 대해서 그 피해규모는 인간에 비해 심각해지게 마련이다.²⁾

이와 같은 다양한 특성으로 인해 민원을 효율적이고, 객관적으로 처리하기 위한 일률적 기준치를 제정하기는 사실상 불가능해 보인다. 왜냐하면 이를 위해서는 장기적이고 광범위한 조사 연구가 선행되어야 하나 다양한 가축에 대한 이러한 기준 제정 노력이 과연 경제성으로 볼 때 의미가 있는지 의문시되고 세계 어느 나라에서도 가축에 대한 소음·진동 기준을 법으로 정하고 있지 않음을 상기할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 소음 피해 한계치 설정이나 가축피해규모 산정방안에 대한 표준화 작업은 대단히 신중하게 접근할 필요가 있다. 왜냐하면 이러한 가축피해분쟁은 국토가 협소한 우리나라에서만 상당히 국한된 문제로 선진국에서 사례를 찾기가 힘들고 피해에 대한 인과관계 및 피해규모에 대한 판단이 최종적으로 전문가들의 주관적 판정에 의존하다 보니 조사방법, 피해판정 및 피해규모가 조사자에 따라 커다란 차이를 보이고 있는 실정이다. 또한 관련법령 및 시행법규가 미비하다보니 피해분쟁을 심화시키고 해결과정에서 불합리한 결정 등의 부작용이 속출되고 있다. 더구나 소음·진동 피해분쟁건은 과학적이고 객관적인 자료 외에 사회적 요소들이 복합적으로 작용하는 일이 많아 분쟁해결을 더욱 어렵게 하는 것이 현실이다.

따라서 이론적 및 실험적 연구자료가 빈약한 가운데 국내분쟁 발생 현장에서의 사례연구를 토대로 가축피해에 대한 임계수준 및 배상기준 산정, 가축피해 평가방법 및 피해액 산정절차 등에 대한 체계정립 및 표준화 작업은 이러한 문제 해결에 대한 노력의 일환이며 지속적인 통계자료 구축으로 타당성과 객관성을 확보하고 운영과정에서 문제점을 보완해 간다면 국내 가축피해 분쟁에 상당한 기여를 할 수 있을 것으로 본다.

2) 황우석, 「건설공사에 의한 가축피해 및 구제방안」, 월간양돈, 1997, P2

1.2 연구방법 및 내용

가축피해평가 및 기준을 설정하기 위해서는 다양한 요인별 응답특성을 얻을 수 있는 환경 및 입지여건을 완비하고 장기적이고 광범위한 반복연구가 필수적이거나 이는 현실적으로 어려운 상황이고 인체반응조사와는 달리 의사전달이 되지 않는 가축을 상대로 청감반응 조사와 같은 기초적인 연구를 수행할 수도 없다.

따라서 본 과업은 국내·외적으로 이론적 및 실험적 연구자료가 미비한 상황을 감안하여 전술한 바와 같이 국내 분쟁발생 현장에서의 사례연구를 토대로 실시하였고 미비한 부분은 사례계측을 실시하여 보완하였다. 많은 사례자료들을 통계처리함으로써 가축피해에 대한 임계수준 및 배상기준 설정을 시도하고, 평가인자별로 피해수준과의 상관관계를 규명하여 피해규모 산정시 활용하고자 하였다. 가축피해 평가방법 및 가축피해규모 산정에 대한 표준절차를 개발하고 또한 사육현장 및 피해물의 미보존시 피해규모 추정방안을 현재까지의 연구를 바탕으로 수행하였다.

주요 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- 축종별 소음피해 임계수준 도출 및 소음 피해인자 분석을 위한 기초 조사
 - 국내·외 관련자료 및 사례수집
 - 사례계측 조사
- 축종별 임계수준 도출 및 피해요소에 대한 연구
 - 사례에 대한 통계적 수법을 적용하여 축종별 임계수준 도출
 - 소음 피해인자(소음레벨, 노출일수 등)에 따른 피해 기여도 분석
- 소음원별 피해특성 및 평가척도 적용에 관한 연구
 - 소음원에 따른 피해특성 분석
 - 다양한 물리량으로 표현된 평가척도의 적용기법 연구
 - 암소음과 대상소음과의 피해 상관관계 고찰
- 피해규모 산정방안 연구
 - 가축화정도, 품종, 연령, 수태여부 등에 따른 소음피해 형태 추정
 - 사양관리 정도 및 영양수준 등에 따른 가축피해의 검토 방안제시
 - 질병피해 여부에 대한 검토 방법

- . 사유현장 및 피해물 미보존시 피해규모 추정방안
- . 가축 및 축산물 가격기준 자료선정 방안
- . 가축피해액 산정에 대한 표준절차 개발

제2장 소음원별 물리적 특성, 평가척도, 규제기준 고찰

2.1 건설소음

2.1.1 건설기계 소음

가. 건설기계 소음의 일반적 특성

건설공사에서 발생하는 건설기계 소음은 다양한 공종과 그에 따른 투입 건설장비의 변화 등으로 공사특성에 따라 많은 차이가 있다. 소음원으로는 타격작업에 의한 충격음, 건설기계의 엔진음, 작업음, 공기 압축기 및 송풍기의 흡·배기음 등이 있으며, 불규칙하고 지속적이지 않으며 이동성의 특성을 가지고 있는 것이 많다. 또한 이러한 건설기계 소음은 공사현장의 주변상황, 즉 환경(암소음, 풍향, 풍속, 온·습도, 기타), 지형, 장애물(건물, 담, 기타)과 수음측의 거리 등에 따라 영향이 다르고 이동기계의 주행상태(운행속도, 운전부하, 노반상태 등)에 따라서도 크게 영향을 받는 특성을 지니고 있다. 이외에도 건설기계 소음은 통상 소음뿐만 아니라 진동, 먼지, 지반침하 등을 동반하는 경향이 있다.

<표 2.1>은 공종별 건설기계의 Over-All 소음도를 나타낸 국립환경연구원 제공 자료로 현재 건설현장에서 사용되고 있는 건설장비와는 규격 및 제원에서 다소 차이가 있어 보완이 필요한 면이 있으나 장비 소음도의 상호우열을 비교하면 향타기, 브레이크 및 착암기와 같이 작업시 충격음을 유발하는 건설기계가 상대적으로 높은 소음을 배출하고 있음을 알 수 있다.

<표 2.2>는 최근 국내 건설현장에서 측정한 각종 건설기계의 작업소음도를 측정한 사례이다. 일정한 가동조건에서 측정한 결과가 아닌 실제 작업상황에서 특별한 제한없이 5분 이상 측정한 결과이므로 동일한 종류 및 규격의 장비라 할지라도 약간의 차이를 보이고 있으나 <표 2.1>에서와 마찬가지로 향타기, 브레이크 등이 상대적으로 높은 소음수준을 나타내고 있고 덤프트럭의 후미 적재함 충격도 상당한 소음을 유발하고 있음을 알 수 있다. 특히 <표 2.2>는 소음원으로부터의 측정지점이 일정하지 않고 이격거리가 먼 경우에는 지형적 요인 등 추가 감쇠요인이 작용한 경우가 있을 수 있으므로 건설기계 소음도 예측시에는 <표 2.1>의 결과와 상호보

완적으로 활용하여야 할 것이다. <그림 2.1>은 각종 건설기계의 가동 및 작업전경을 나타내고 있다.

<표 2.1> 공종별 건설기계의 Over-All 소음도

공 종	기 계 명		작동 원리	O.A. 소음도(dB(A))				측정 대수 (211대)	비 고	
				7m		15m				
				범위	평균	범위	평균			
지반정지 공사	굴삭기		유압식	73/94	82	66/85	75	41	작업중 High Idle시 작업중 작업중 작업중	
	굴삭기		유압식	72/86	81	65/81	74	11		
	불도우저		유압식	80/90	84	73/84	78	14		
	로우더		유압식	70/94	87	69/84	80	9		
	그레이더		유압식	78/90	83	69/82	77	8		
	다짐 기계	로울러	정압식	74/90	81	67/85	75	17	비 진동식 진동식 휴대용 굴삭기에 장착	
		로울러	원심식	76/85	82	69/81	74	15		
		람마,콤팩터	충격식	78/80	79	-	-	2		
		범면다짐기	충격식	-	90	-	-	1		
기초공사	천공 기계	착암기	공압식	-	96	-	91	1	휴대용 차량에 정착 차량에 정착 사토지반 천공 (3) 암반 천공 사토지반 천공 암반 천공	
		착암기	공압식	88/96	91	84/88	86	5		
		착암기	유압식	93/95	94	81/91	87	5		
		드릴마스터	유공압	88/93	90	84/87	85	4		
		드릴마스터	유공압	94/98	96	87/91	89	(3)		
		어-스오거	전동식	75/81	78	70/77	74	2		
		RCD	전동식	-	88	-	-	1		
	항타 기계	항타기	드롭식	93/95	94	88/90	89	4	con-pile 타입 con-pile 타입 천공후 H-빔 타입 con-pile,일반지 con-pile,연약지 보조강관,연약지 H-빔 항발 강관 타입	
		항타기	디젤식	99/110	103	96/101	99	8		
		항타기	디젤식	106/108	107	100/103	102	3		
		항타기	유압식	101/104	103	92/93	93	2		
		항타기	유압식	89/92	91	83/85	84	2		
		항타기	유압식	96/99	97	90/92	91	4		
		항타항발기	진동식	80/91	85	75/86	80	3		
		드릴마스터	공압식	103/107	105	99/100	100	2		
	콘크리트 공사	콘크리트 프랜트		-	-	82	-	80	1	프랜트 1조 믹서에서 1m위치
		콘크리트 믹서		-	87/95	90	-	-	3	
콘크리트 펌프카		유압식	80/88	84	72/81	78	3			
포장공사	아스팔트프랜트		-	79/92	85	76/86	80	6	프랜트 1조 작업중	
	아스팔트피니셔		-	76/83	80	71/77	74	4		
파괴 및 해체공사	브레이커		유압식	90/103	98	84/97	91	11	작업중 작업중	
	암 쇄 기		유압식	81/84	82	76/80	78	3		
기 타	공기압축기		스큐류식	80/92	84	70/85	76	5	디젤엔진	
	발동발전기		-	82/87	85	74/81	78	7		
	콘크리트 절단기		엔진식	91/95	93	85/86	86	2		
	쇄석기		조크라샤	-	90	-	83	1		
	지게차		유압식	-	91	-	73	1		

자료 : 국립환경연구원, 1992

<표 2.2> 국내 건설현장에서 계측된 각종 건설기계 소음도

공 종	소음원	규 격	가동대수 (대)	이격거리 (m)	소음도 (dB(A))		비 고
					L _{eq}	L _{max}	
토 공 (절·성토)	브레이커 (풍화암 파쇄)	1.0m³	1	15	94.4	97.7	
				30	89.4	92.5	
	브레이커 (땅고르기)	1.0m³	1	15	91.0	97.7	
	브레이커 (채취암 분쇄)	1.0m³	1	50	83.6	93.6	
	진동로울러 (성토부 다짐)	16ton	1	15	76.6	79.8	후진시 경고음없음
				26	71.8	74.6	
	블도우저 (리핑 및 파쇄암 정지)	24ton	1	15	82.8	93.0	
				20	81.9	92.1	
	백호우 (파쇄암 상차)	1.0m³	1	15	76.5	89.2	
				30	74.4	86.0	
기초공사 (항 타)	항타기 (유압식)	DKH10 (램중량: 10ton, 낙하고: 0.6~1m)	1	22	97.0	99.3	
				45.5	91.0	93.1	
				62.6	76.2	78.0	
				65.5	88.1	90.8	
파괴, 해체공사	압쇄기 (빌라 철거)	-	1	27	66.8	77.0	인접건물에 의한 소음 전달경로 차단
				37	61.8	76.0	
				76	65.5	75.3	
				45	73.7	86.4	
				65	69.8	80.2	
	브레이커 (빌라 철거)	1.0m³	1	10	101.4	108.2	
				15	89.3	95.0	
				21	91.8	97.5	
				22	85.2	92.6	
				30	76.6	86.6	
				35	71.7	78.0	
				48	72.4	79.0	
				73	67.6	71.8	

자료 : 한국건설안전기술원(1997년~1999년)



(a) 유압식 항타기



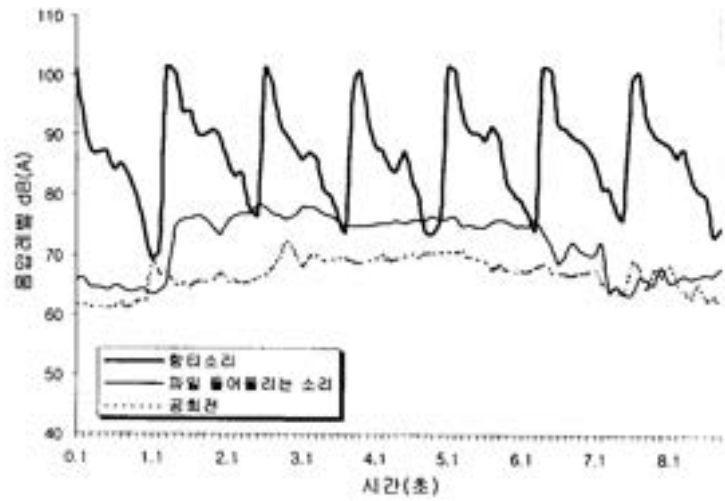
(b) 불도우저



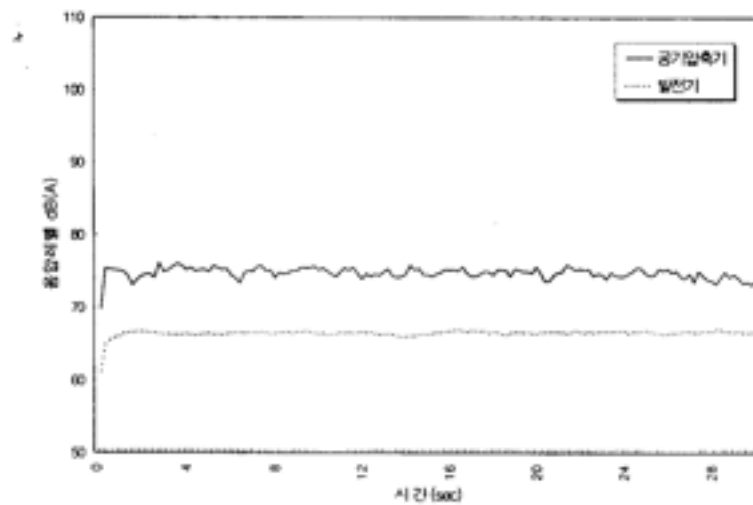
(c) 브레이커

<그림 2.1> 각종 건설기계의 가동 및 작업전경

<그림 2.2>는 시간이력특성이 확연히 다른 대표적 건설기계 음압레벨을 나타낸 것이다. <그림 2.2(a)>는 15m 지점에서 측정한 디젤식 항타기의 음압레벨 변동특성으로 1.0~1.5초 단위로 반복적인 충격소음을 유발하고 있음을 알 수 있다. <그림 2.2(b)>는 공기 압축기와 발전기의 시간에 따른 음압레벨 변동특성으로 레벨 변동이 적고 정상소음의 형태를 취하고 있다.



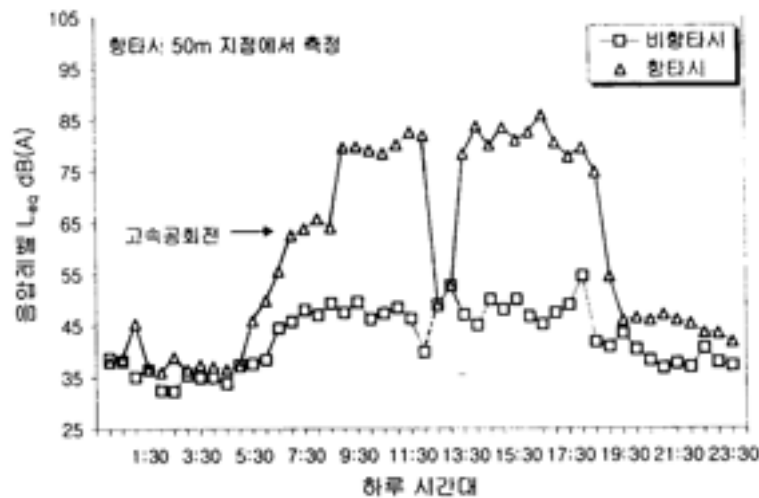
(a) 디젤식 항타기



(b) 공기압축기와 발전기

<그림 2.2> 건설기계별 음압레벨 변동특성

<그림 2.3>은 항타 작업시 24시간 소음레벨의 변화를 나타내었다. 동일 지역에서 항타 작업을 하지 않을 경우와 작업을 했을 경우를 L_{eq} 로 비교해보면 소음레벨이 약 30~40dB(A)정도 차이가 남을 알 수 있다.



<그림 2.3> Leq에 의한 24시간 소음레벨의 비교³⁾

<표 2.3>은 유압식 항타기와 디젤식 항타기의 거리별 소음도를 비교한 것으로 유압식 항타기는 디젤식 항타기에 비해 7m에서 18.6dB(A), 15m에서는 23.9dB(A), 30m에서는 19.2dB(A) 정도로 소음레벨이 저감되고 있음을 보여주고 있다.

<표 2.3> 디젤식 항타기와 유압식 항타기의 거리별 소음도 비교³⁾

구 분	소 음 도 (dB(A))			비 고
	7m	15m	30m	
디 젤 식	100.5	98.8	91.5	
유 압 식	81.9	74.9	72.3	SIP공법

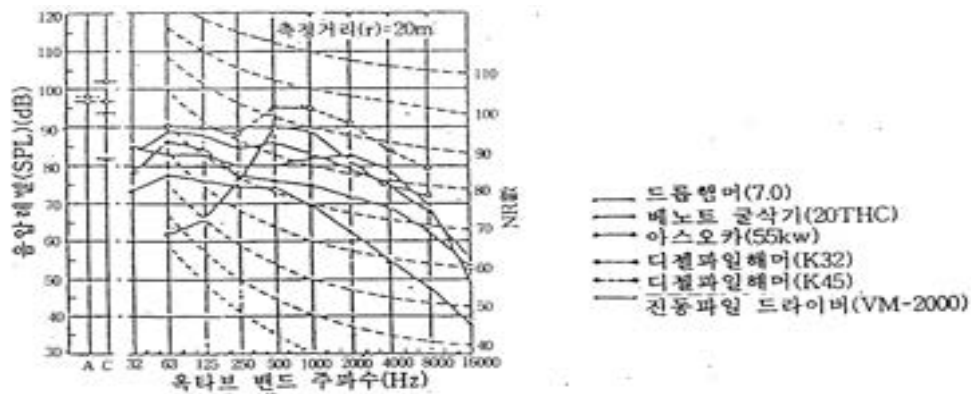
나. 주파수 특성

<그림 2.4>, <그림 2.5>는 주요 건설기계에 대한 소음의 주파수 특성을 나타낸 것이다.⁴⁾ 디젤 파일해머의 소음원은 해머의 충격음, 폭발 배기음 등이고 탁월주파수가 100Hz 대역에 있으며 비교적 고주파음이다. 진동파일 드라이버는 주파수가 32~4000Hz의 비교적 광대역 특성이 있으며, 저주파음역(32~125Hz)은 기진기에 의한 소음이다.

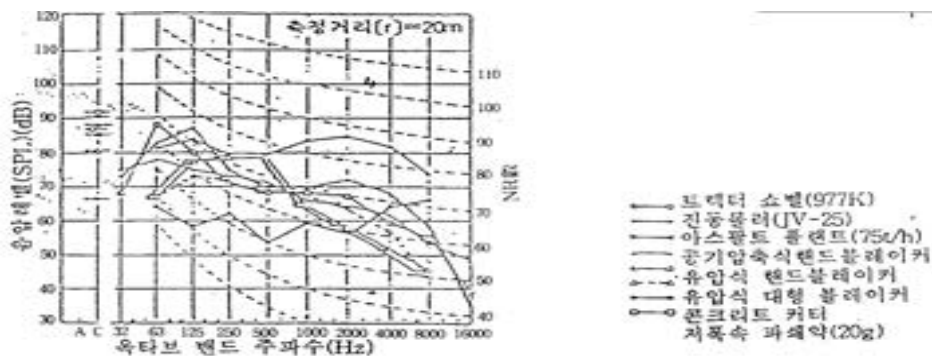
3) 김재수, 「건설공사장에서 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구」, 대한건축학회 논문집, 제 13권 6호 1997. 6

4) 성도건설(주), 건설공사 공해대책

브레이크류 중 공기압축식 핸드 브레이크는 주파수가 63~8000Hz의 광대역 특성이 있으며 음압레벨이 높고 배기분출음(1000~8000Hz) 때문에 매우 불쾌한 소음원이다. 하지만 이에 비해 유압식 핸드 브레이크, 대형 브레이크는 고주파 음역에서 탁월성분의 소음이 없기 때문에 청감특성에서 보다 유리한 주파수 특성을 지니고 있다. 즉, 공기압축식 핸드 브레이크에 비해 상대적으로 불쾌감이 적은 소음원이다.

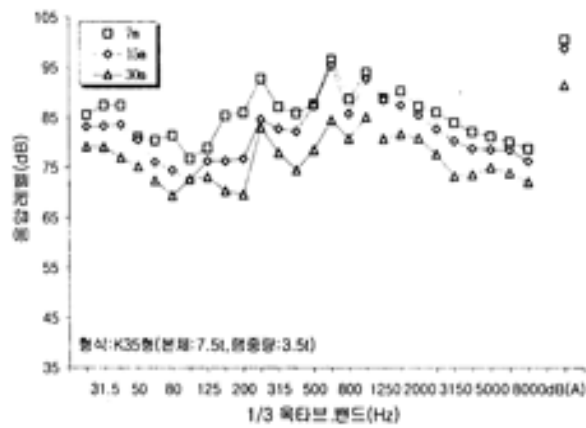


<그림 2.4> 각종 건설기계에 의한 소음의 주파수 특성(1)

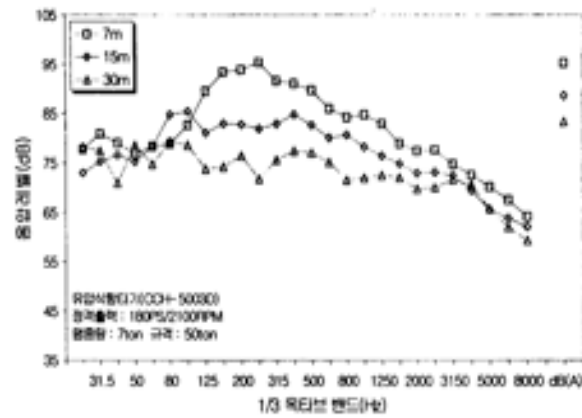


<그림 2.5> 각종 건설기계에 의한 소음의 주파수 특성(2)

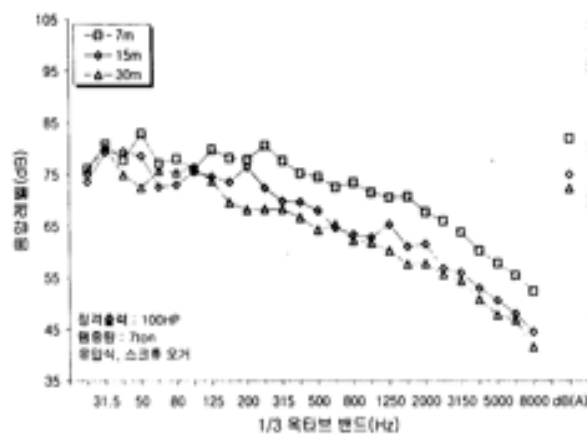
<그림 2.6>은 동일공중(항타)에 투입되는 건설기계라 할지라도 장비사양 및 작동특성에 따라 주파수 특성이 확연히 다를 것을 보여주고 있는데 디젤식이 고주파음역에서 상대적으로 탁월함을 보여주고 있다.



(a) 디젤식



(b) 유압식



(c) SIP

<그림 2.6> 향타공법별 소음의 주파수 특성 비교

2.1.2 발파소음

가. 발파소음의 생성원인 및 일반적 특성

공기 중에서 발생하는 파동이 발파원 근처에서는 충격파의 형태(폭풍압)를 가지며, 발파원으로부터 일정한 거리(임계거리) 이상에서는 음파로 전달된다. 음압이 180dB 이하의 경우를 음파로 정의하며 발파 작업시 초기 발생하는 충격파가 음파로 변화되는 거리까지를 임계거리로 표현한다. 폭약을 TNT로 사용했을 경우에 충격파에서 음파로 이행되는 임계거리와 폭약량과의 관계는 <표 2.4>와 같다.(名和, 1964)

<표 2.4> 충격파로부터 음파로 이행되는 임계거리(TNT 경우)

약 량(kg)	임계거리(m)
1	3.3
10	7.5
100	15.0
1000	33.0

일반적으로 발파 폭풍압은 넓은 범위의 주파수를 가지고 있으며, 0.1~200Hz 범위의 주파수가 중심이 된다. 이 범위 중 20Hz 이상의 발파풍압은 사람이 들을 수 있는 가청영역의 소음이 된다. 20Hz 이하의 저주파는 사람의 가청영역을 벗어나 사람이 들을 수는 없지만, 비교적 먼 거리까지 에너지의 손실없이 전파하는 특성이 있고, 가옥 등 구조물을 진동시켜 이차의 소음을 발생시킨다⁵⁾.

가청영역의 소음과 저주파 파동을 통틀어 발파풍압으로 표현하는데 엄격한 의미에서 가청영역의 소음과 저주파음을 구별하여 기술하기도 한다.

발파작업 과정에서 발파풍압의 생성원인은 다음과 같은 4가지 형태로 구분되어 진다⁶⁾.

- ① 발파지점에서 직접적인 암반의 변위로 인한 공기압력파

5) 한국토지개발공사, 「암발파 설계기법에 관한 연구」, 1993

6) Altas Powder Company, Explosive and Rock Blasting, 1987

(지반충격음 또는 발파면음, Air Pressure Pulse, APP)

② 지반진동에 의해 공기로 전달되는 파

(지반진동음, Rock Pressure Pulse, RPP)

③ 파쇄된 암반의 틈을 통해서 나오는 가스의 분출

(발파가스음, Gas Release Pulse, GRP)

④ 불완전한 전색에 의해 전색물이 분출되면서 나오는 가스의 분출

(발파공음, Stemming Release Pulse, SRP)

일반적인 발파에서 발생하는 저주파음의 대부분은 공기 압력파(APP)에 의한 것이 대부분이다. 소규모 발파나 부적절하게 설계된 발파에서는 ③,④의 영향도 크게 나타나지만, 이것들은 적절한 발파설계에 의해 비교적 손쉽게 제어할 수 있다. <그림 2.7>은 발파작업 순서 및 발파장면을 나타낸 것이다.



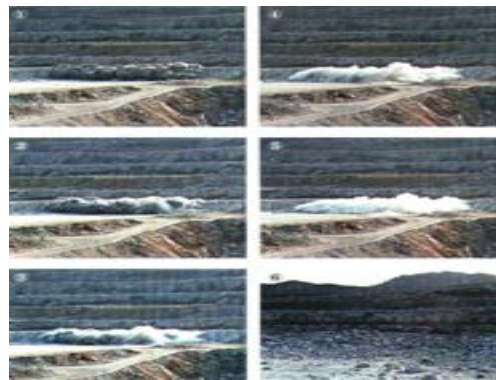
(a) 천공장면(T-4)



(b) 뇌관 및 장약장면



(c) 비산방지용 방호매트 설치전경



(d) 발파장면

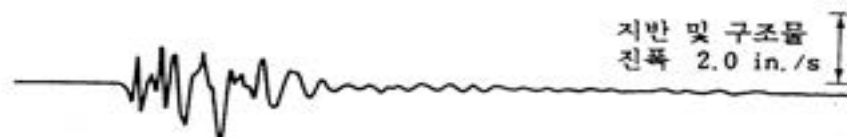
<그림 2.7> 발파작업 순서 및 발파장면

발파설계 요인으로서 발파소음에 영향을 미치는 요소는 화약량, 기폭방식, 전색 정도, 자유면의 형상, 자유면의 절리 발달상태 등을 들 수 있고, 설계 외적인 요인으로는 기후(대기의 온도분포, 풍향, 풍속 등) 및 지형과 숲, 벽, 건물 등에 의한 차폐성 등을 들 수 있다. 특히 온도분포는 발파 소음의 전달경로를 왜곡시켜 파가 집중 또는 분산되도록 하는데 지표보다 높은 고도에서 온도가 상승하는 대기역전의 경우에는 파로가 지표 쪽으로 휘게 되고 소음은 지상에 집중된다.

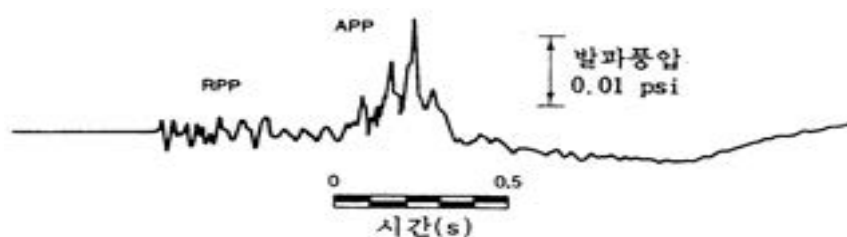
발파유형은 자유면의 수에 따라 지중발파(1자유면 발파)와 벤치(Bench)발파로 나눌 수 있고 공중에 따라서는 크게 노천발파와 터널발파로 구분할 수 있다.

나. 발파소음의 전달특성

<그림 2.8>은 벤치높이가 높은 채탄발파시 발생한 지반진동과 발파음을 시간에 따른 파형으로 나타낸 그림이다⁷⁾⁸⁾. 발파작업시 발생하는 발파소음을 시간적으로 살펴보면 우선 지반진동음이 나타나고 이후 지반 충격음과 발파풍압이 나타남을 알 수 있다.



(a) 지반진동



(b) 발파음

<그림 2.8> 동일발파로 인한 지반진동과 발파음의 시간이력특성

7) Siskind외, 「Noise and Vibrations in Residential Structures from Quarry Production Blasting」, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations, 1976

8) Siskind외, 「Structures Response and Damage Produced by Airblast from Surface Mining」, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations, 1980

발파소음은 발파진동과 달리 지발당 장약량보다는 층리 및 절리, 암반내의 불연속면과 생성균열, 자유면수 등 암반의 물리적 상태와 전색 등의 시공상태가 더 결정적 영향인자로 작용하고, 특히 터널발파 소음은 터널구조 형태상 터널 내부에서 거의 손실없이 터널입구로 분출되는 특징이 있고 어느 정도 지향성(Directivity)을 가지므로 터널입구의 주 방향에서 벗어날 경우 전달되는 발파소음은 주 방향에 비해 상대적으로 낮은 수준을 보인다.⁹⁾

<표 2.5>, <표 2.6>은 경부고속철도 ○-○공구 터널발파 작업시 발파조건과 개활지에서의 이격거리별 발파소음 측정결과를 나타낸 것으로 동일지점에서 2회 이상 측정하여 평균값을 산출한 결과이다.

<표 2.5> 발파 조건

구 분	내 용	비 고
대상 파쇄 암질	편마암	※ 터널연장 : 1,500m ※ 발파지점은 터널입구로부터 약 10m 들어간 지점
사용폭약의 종류	제라틴 다이ना마이트	
발파시간	10시 35분 / 16시 45분	
천공수(공)	152공(75/77)	
천공장(m)	0.9	
최소저항선(m)	0.3~0.7	
공간격(m)	0.3~0.6	
지발당 최대 장약량(kg/공)	1	
사용뇌관	MS(84개), LP(60개)	

자료 : 한국건설안전기술원(1997년)

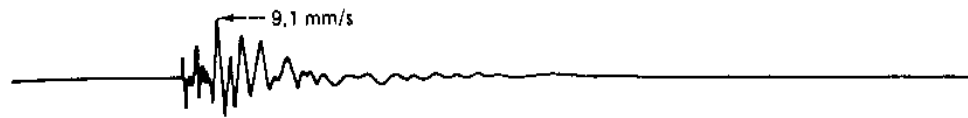
<표 2.6> 발파소음 실측 사례-○○터널

이 격 거 리(m)	평균 소음도 dB(A)	이 격 거 리(m)	평균 소음도 dB(A)
80	108	250	91.8
100	104	310	90.2
120	95.3	350	85.7
150	98.9	380	85.2
200	93.3	400	83.9

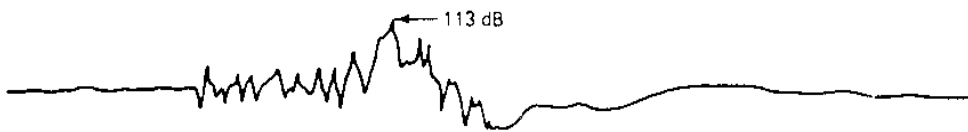
자료 : 한국건설안전기술원(1997년)

9) 한국고속철도공단, 「경부고속철도 서울사업소구간 소음·진동 피해진단」, 1997

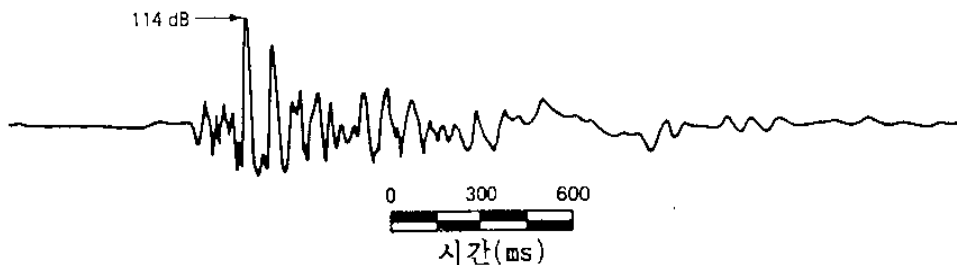
<그림 2.9>는 발파소음을 건물의 내·외부에서 측정한 결과로 건물의 외부보다 내부에서의 소음이 더 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 건물의 진동에 의해 건물 내부에서 생성된 이차적 소음 때문인 것으로 추정된다.



(a) 지반진동



(b) 건물 외부에서의 발파음



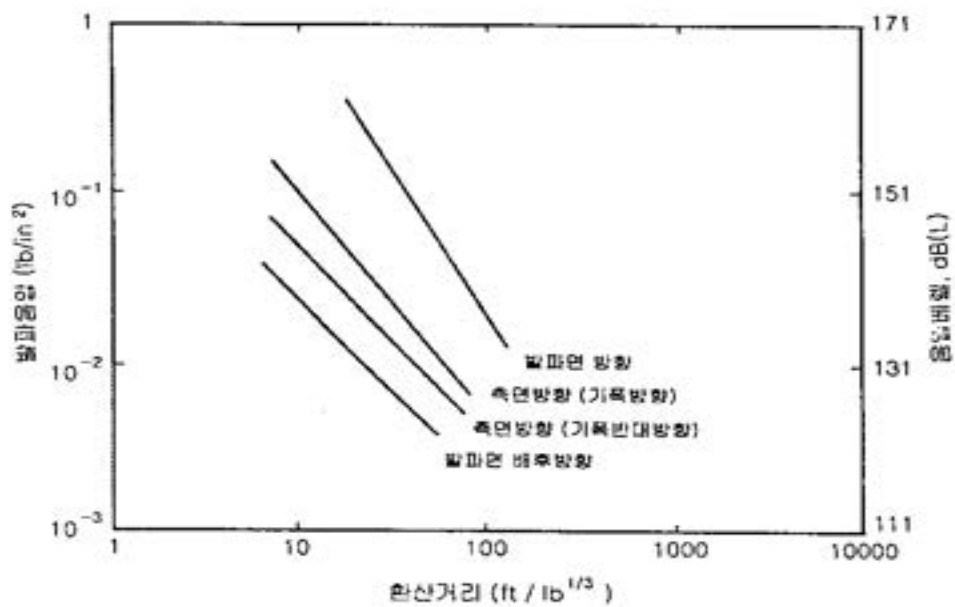
(c) 건물 내부에서의 발파음

<그림 2.9> 건물 내·외부에서의 발파소음

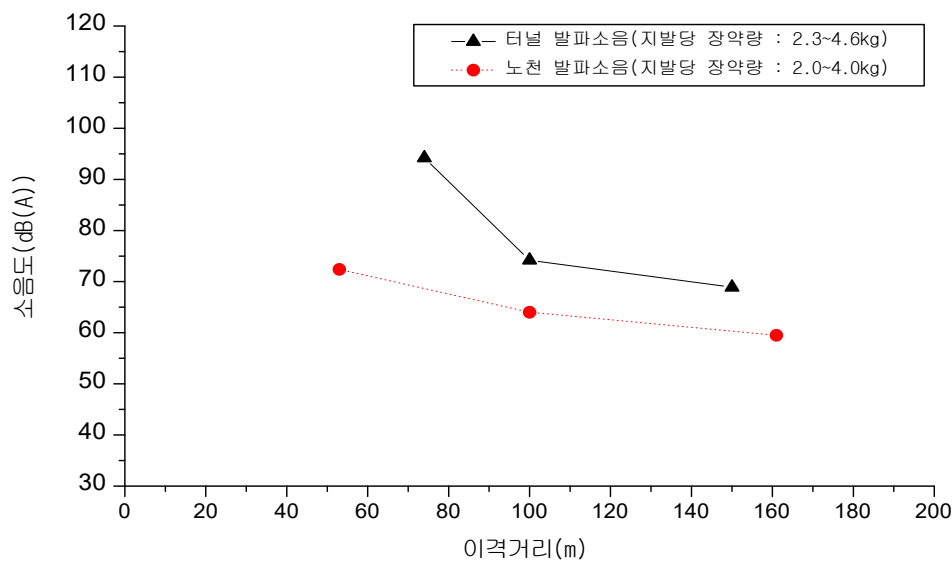
벤치발파의 경우 같은 거리만큼 떨어져 있다 하더라도 측정위치가 벤치면 전방인가 아니면 벤치면 후방인가에 따라서 측정된 발파소음의 크기가 차이를 보이게 되는데, <그림 2.10>은 동일한 벤치발파 현장에서 환산거리에 따른 발파소음을 나타내고 있다. 즉, 같은 환산거리일 경우 발파면 전방에서 측정한 경우가 발파면 배후 방향에서 측정한 경우보다 23 dB(L) 이상 더 큰 발파 소음값을 나타내며, 발파면의 측면에서 측정한 경우는 기폭 방향과 기폭 반대방향에 따라 약간의 차이를 보이나 발파면 전방에서 측정한 값보다는 낮고 발파면 후방에서 측정한 값보다는 높은 값으로 측정되었다.

<그림 2.11>은 동일작업 현장에서의 터널 발파소음과 개착구간 노천발파 소음의 이격거리별 소음도 변화에 대한 상호 비교를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수

있듯이 거의 유사한 수준의 지발당 장약량임에도 불구하고 터널발파 소음이 노천발파 소음보다 훨씬 높은 소음레벨을 나타냄을 알 수 있다.



<그림 2.10> 벤치발파시 측정위치에 따른 발파소음



<그림 2.11> 동일지역의 터널 및 노천발파 소음 계측사례

2.1.3 관련 규제기준 및 평가척도

국내에는 건설소음에 대한 평가나 적용방법에 대하여 특별히 규정된 것은 없다. 다만, 최근에 생활의 질적 향상과 환경문제에 대한 인식의 변화로 보다 쾌적하고 조용한 주거환경에서 생활하고자 하는 욕구가 증대되면서 건설공사에 대한 소음·진동 민원이 증가 추세에 있자 정부에서도 이전의 시·도별 소음·진동 규제의 필요에 따라 “건설”과 “생활” 소음·진동 규제지역으로 나누어 지정 고시하던 것을 「생활소음·진동 규제지역」으로 일원화하였으며, 규제지역도 증가 추세에 있다.

<표 2.7>은 생활소음 규제기준을 나타낸 것으로 건설소음·진동 규제기준은 1997년 3월 7일자로 생활소음·진동 규제기준(소음·진동 규제법 시행규칙 제 29 조)으로 통합 개정되었다.

<표 2.7> 생활소음 규제기준

(단위 : L_{eq} , dB(A))

대 상 지 역	시간별 소음원		조 석 (05:00~08:00, 18:00~22:00)	주 간 (08:00~18:00)	심 야 (22:00~05:00)
	확 성 기				
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교·병원 공공도서관		옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50이하	55이하	45이하
		공장·사업장	50이하	55이하	45이하
		공 사 장	65이하	70이하	55이하
기 타 지 역		옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
		공장·사업장	60이하	65이하	55이하
		공 사 장	70이하	75이하	55이하

- 주) 1. 소음의 측정방법과 평가단위인 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
 2. 대상지역의 구분은 국토이용관리법(도시지역의 경우에는 도시계획법)에 의한다.
 3. 규제기준치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
 4. 옥외에 설치한 확성기의 사용은 1회 2분 이내, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.
 5. 공사장의 소음규제기준은 주간의 경우 1일 최대작업시간이 2시간 이하 일때는 +10dB, 2시간 초과 4시간 이하 일때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.

<표 2.8>는 건설소음과 관련하여 소음·진동 공정시험 방법에 나타난 측정방법 및 평가척도에 대한 주요 내용이다. <표 2.8>에서 알 수 있는 바와 같이 생활(건설) 소음의 평가척도는 등가소음레벨(Equivalent Sound Level, L_{eq})이다. L_{eq} 는 변동하는 소음레벨의 에너지 평균치, 즉 변동음과 같은 에너지를 지닌 정상음 레벨을 의미한다.

<표 2.8> 건설소음 측정방법의 주요내용¹⁰⁾

구 분	생활 소음 (공사장 소음)	발파 소음
① 측정량	등가소음레벨(L_{eq})	최대소음레벨(L_{max})
② 단 위	dB(A)	
③ 측정점	피해가 예상되는 곳(가축, 인체, 건물)의 부지경계선 중 소음도가 높을 것으로 예상되는 지점의 지면위 1.2~1.5m 높이	
④ 청감보정회로 및 동특성	A특성, 빠름(Fast)	
⑤ 측정시간 및 측정지점수	적절한 측정시각에 2지점 이상의 측정지점수를 선정·측정하여 그 중 높은 소음도	낮시간대(06:00~22:00) 및 밤시간대(22:00~06:00)의 각 시간대중 최대 발파소음이 예상되는 시각에 1지점 이상
⑥ 측정자료 분석	소음도는 소수점 첫째자리에서 반올림. 5분 이상 측정하여 자동 연산·기록한 등가소음도를 측정 소음도로 한다. 암소음 보정	소음도는 소수점 첫째자리에서 반올림. 발생시간(수초이내) 동안 측정된 최고치를 측정소음도로 한다. 암소음 보정

즉 2개의 소음에너지가 같을 때, 두 소음의 심리적·생리적 영향도 같다는 등에너지 가설에 입각하고 있다. 이 가설에 따르면 지속시간이 2배로 되는 것과 피크레벨이 3dB 상승하는 것과는 동등한 효과를 가진다. 이 등가소음레벨 L_{eq} 의 산출식은 다음과 같다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_T^0 10^{\frac{L}{10}} dt \quad (2.1)$$

여기서, T는 총 측정시간, L은 단위시간당 A-보정 음압레벨을 의미한다.

또는,

10) 환경부, 「소음·진동 공정시험방법」, 환경부 고시 제2000-31호, 2000. 3월

$$L_{eq} = 10 \log \left(\sum_{i=0}^n f_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right) dB(A) \quad (2.2)$$

여기서, $f_1, f_2, f_3, \dots, f_i$ 는 일정 소음레벨 L_i 의 지속시간률, L_i 는 i 번째 소음의 레벨을 의미한다. 이 척도는 일반적으로 주관량과의 대응이 좋고, 통계레벨과 달리 에너지 평균치이므로 이론적으로 취급하기 쉽고, 단일 지표로 나타낼 수 있는 특성 때문에 미국, 영국, 덴마크 등의 많은 나라에서 환경기준을 정하는데 주로 채택하고 있다.

2.2 항공기 소음

2.2.1 항공기 소음의 특성

항공기의 소음은 크게 나누어 비행 중의 소음과 지상에서의 소음으로 나눌 수 있다. 비행 중의 소음은 이륙 후 지상의 소음레벨이 문제가 되지 않는 일정고도까지 도달하는 사이 그리고 일정고도에서 착륙시까지 항공기에서 발생하는 소음이다. 지상에서의 소음은 이륙시까지 지상에서 발생하는 소음 그리고 항공기의 지상시험시, 즉 항공기의 점검, 정비를 위해 엔진을 기체에 장착한 상태에서 시운전할 때 발생하는 소음이다.

항공기 소음은 음압의 수준이 다른 소음에 비해 아주 크고 배기가스 분출로 인한 소음이기에 후방에서의 소음이 크다. 또한 항공기 소음은 고주파 성분을 갖는 금속성의 음을 갖고 있고 공중에서 발생하기에 소음영향 범위가 넓고 소음차단 시설물의 설치가 쉽지 않다는 특성을 갖고 있다¹¹⁾.

항공기에서 발생하는 주 소음원은 크게 추진장치와 공기역학에 의한 것으로 구분할 수 있으며, 이 중 추진장치인 엔진에서의 가장 주된 소음원은 기계소음과 1차 제트분출 소음이다. 기계소음 중 팬과 압축기 소음은 주로 엔진의 전반부에서 형성·발산되며, 터빈소음은 엔진 후면부에서 발산된다. 제트소음은 기체를 포위하고 있는 공기와 엔진의 주된 몸체로부터 고속력 분출가스와의 혼합에 의해 발생한다¹²⁾.

가. 지상에서의 항공기 소음¹³⁾

항공기의 지상 시운전시 소음은 기종, 운전조건에 따라 다르다. <그림 2.12(a)>는 B-747의 No.4엔진을 전력으로 출력하고, No.1엔진을 90%의 힘으로 출력했을 때 기체중심에서 약 60m 떨어진 각 방향의 위치에서 중심주파수가 500, 1000, 2000 Hz인 옥타브밴드의 음압레벨 측정결과 이다.

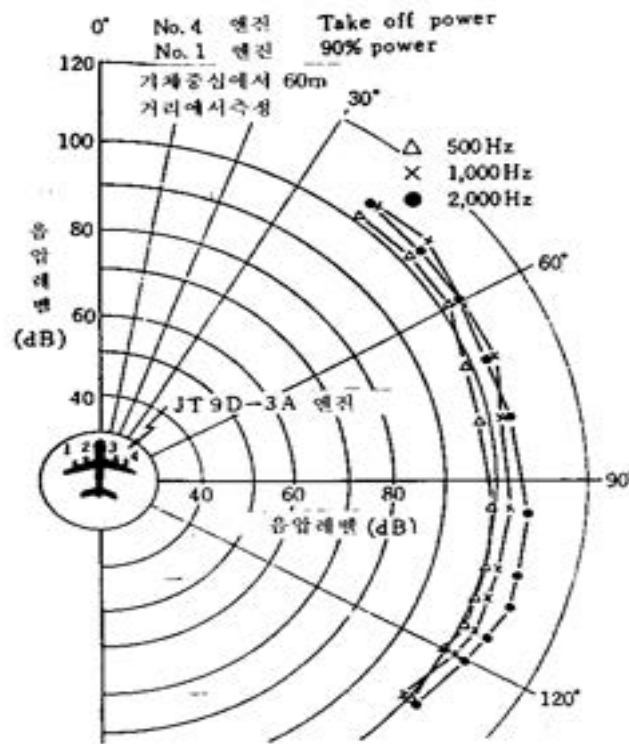
<그림 2.12(b)>는 같은 운전조건일 때 같은 거리에서 120도 방향의 옥타브밴드

11) 교통개발연구원, 「국내공항주변 항공기 소음 방지 대책 연구」, 1992

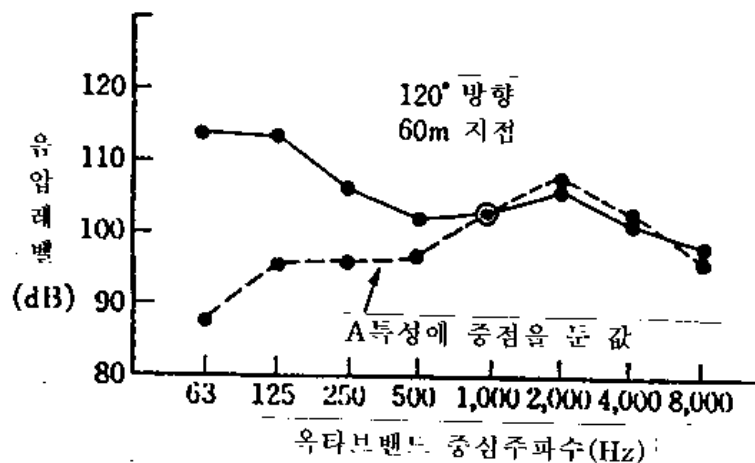
12) 김영우, 「국내 항공기 소음실태와 대책」, 서울대 환경계획학과 석사학위논문, 1999.

13) 桐山良賢, 「보상의 변천과 특수평가사례」, 東京出版社, 1984

스펙트럼을 보여주고 있으며 Over-All 소음레벨은 110dB(A)이고, 탁월주파수 대역은 1000, 2000, 4000Hz라는 것을 알 수 있다. 한 예에서는 기체중심에서 500m 떨어진 120도 방향의 위치에서는 대기나 지면의 흡수 및 거리감쇠 등에 의해 음압은 75dB(A)가 된다고 한다.



(a) 각 방향별 중심주파수가 500, 1000, 2000Hz 일때의 음압레벨



(b) 120도 방향의 옥타브밴드 스펙트럼

<그림 2.12> 지상 시운전시의 소음(B-747)

나. 이 · 착륙에 있어서의 항공기 소음¹⁴⁾

항공기의 엔진에는 제트 엔진과 프로펠러 엔진이 있고, 제트엔진은 다시 터보제트(Turbo Jet)엔진과 터보팬(Turbo Fan)엔진으로 나눌 수 있다.

엔진소음은 항공기 소음의 가장 큰 발생원으로, 항공기 소음의 80%가 엔진소음이며, 팬소음은 주로 고주파 소음이고, 배기소음은 주로 저주파 광대역 소음이다. 항공기가 이륙할 때는 최대 엔진출력을 필요로 하기 때문에 제트 배기소음은 이륙시에 최대가 되지만, 착륙시에는 출력을 줄이기 때문에 제트 배기소음이 감소되고 오히려 금속성의 팬소음이 크다.

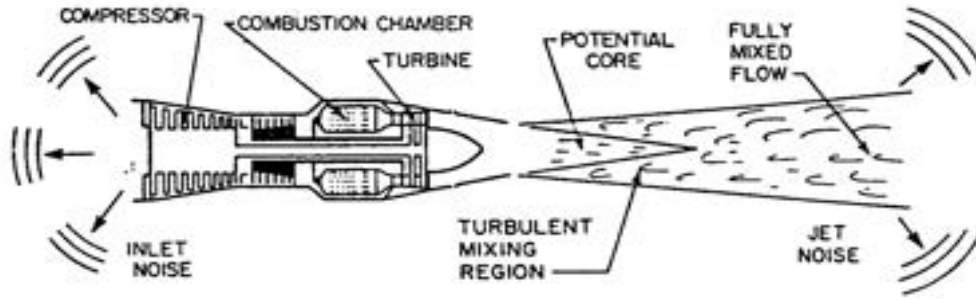
(1) 터보제트 엔진의 소음

급가속, 고출력 발생을 목적으로 하는 터보제트 엔진은 주로 군용기 등에 쓰인다. 터보제트 엔진의 경우 우선 압축기(Compressor)에서 발생하는 소음은 터빈이 고속회전하기 때문에 고주파 성분이 많은 순음성이며, 그 중에서도 엔진에서 배출되는 고온, 고속공기와 외부의 정지공기와 활기류에서 발생하는 제트소음이 주력을 이루고 있다. 제트소음은 중저음 성분이 많은 광대역 소음으로, 발생하는 파워는 분출속도의 8승에 비례한다고 한다.

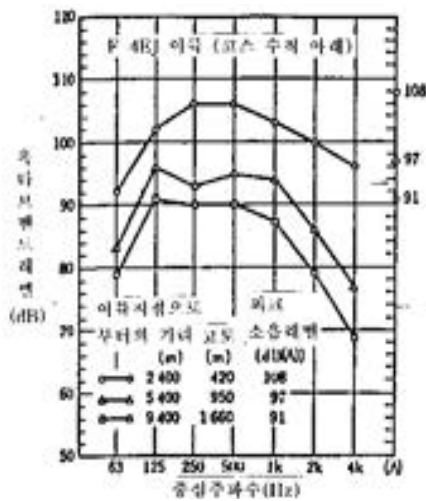
제트전투기는 터보제트 엔진에 애프터버너(After Burner)장치를 장착하여, 폭발연소한 공기의 배출 직전에 연료를 재분사 · 재폭발시켜 추진력을 순간적으로 상승시키려는 장치로 이에 따라 발생소음은 증가한다.(〈그림 2.13〉참조)

터보제트 엔진을 갖고 있는 항공기(F-4EJ, F-104J)의 이 · 착륙시 항공기까지의 거리에 따른 주파수특성 변화와 이 · 착륙시 고도에 따른 각 주파수대의 피크 소음 레벨 변화를 살펴보면 〈그림 2.14〉, 〈그림 2.15〉와 같다.

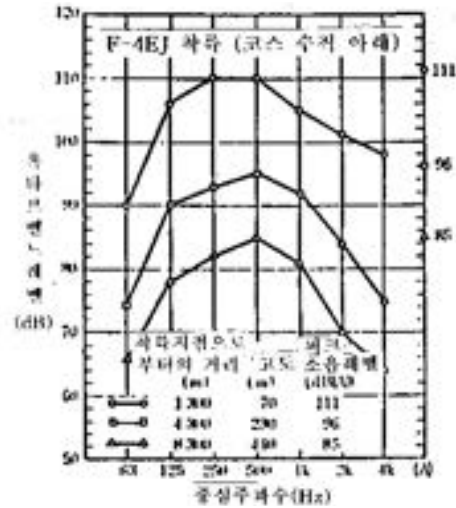
14) 桐山良賢, 「보상의 변천과 특수평가사례」, 東京出版社, 1984



<그림 2.13> 터보제트 엔진 소음발생 메카니즘

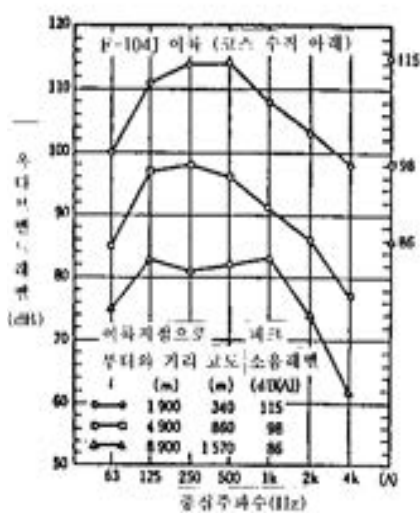


(a) 이륙시

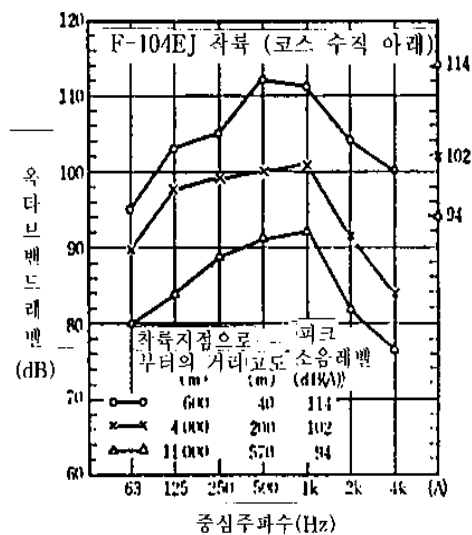


(b) 착륙시

<그림 2.14> 항공기(F-4EJ) 이·착륙시 고도에 따른 소음레벨의 주파수 스펙트럼



(a) 이륙시



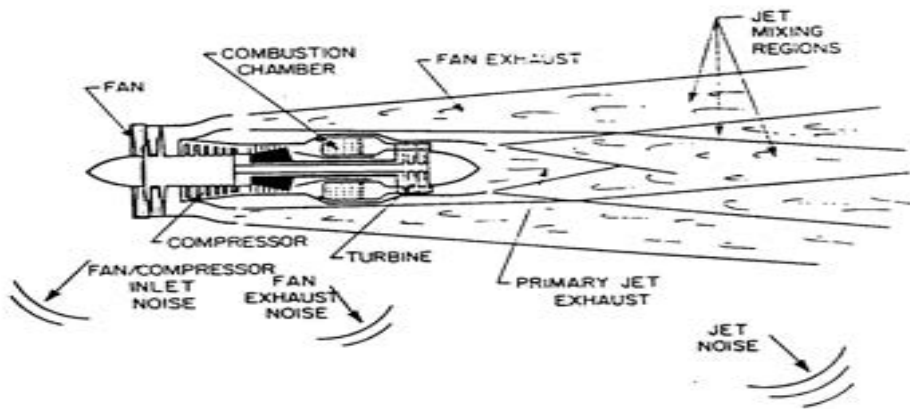
(b) 착륙시

<그림 2.15> 항공기(F-104J) 이·착륙시 고도에 따른 소음레벨의 주파수 스펙트럼

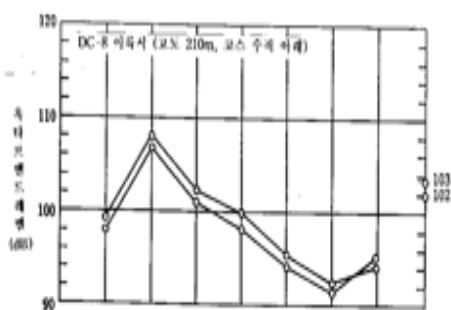
(2) 터보팬 엔진의 소음

터보팬 엔진은 앞부분에 팬을 달고, 터보제트 엔진과 마찬가지로 과정으로 분출되는 주 분류 외에, 팬으로 가속한 증류공기를 연소시키지 않고 우회(Bypass) 분출시켜 양방향의 움직임으로 추진력을 얻으려고 하는 것이다. 터보제트 엔진에 비해 같은 출력을 내는 터보팬 엔진은 우회하는 공기량 만큼 다량의 공기를 빨아들이기 때문에 분류속도가 늦어지고, 분류에 의해 발생하는 제트소음은 줄어들지만, 팬의 회전소음이 새로운 소음원으로 추가된다.(<그림 2.16>참조)

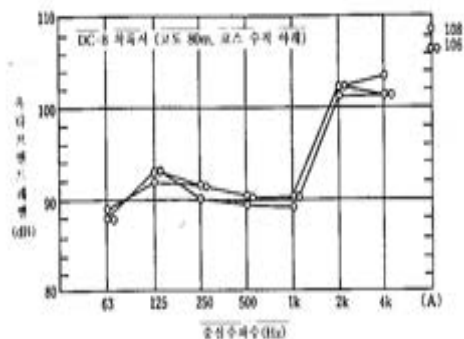
터보팬 엔진을 달고 있는 DC-8, B-747기종의 이·착륙시 각 주파수대역의 피크소음레벨 스펙트럼을 예시하면 <그림 2.17>, <그림 2.18>과 같다. 터보팬 엔진은 민간 여객기나 수송기 같은 급가속이 필요없는 항공기에 사용된다



<그림 2.16> 터보팬 엔진 소음발생 메카니즘

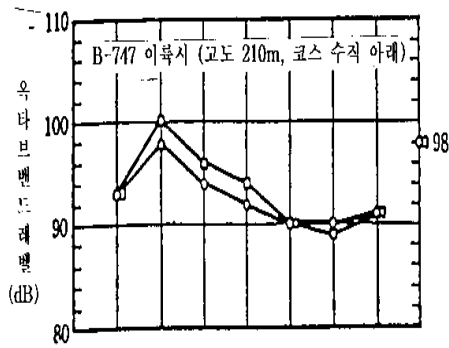


(a) 이륙시

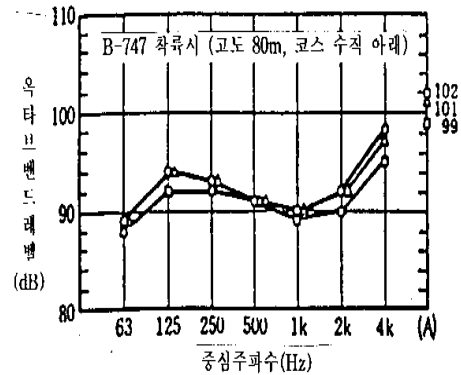


(b) 착륙시

<그림 2.17> DC-8 이착륙시 소음레벨의 주파수 스펙트럼



(a) 이륙시



(b) 착륙시

<그림 2.18> B-747 이착륙시 소음레벨의 주파수 스펙트럼

(3) 프로펠러 항공기 소음

프로펠러 엔진은 중소형 일반 항공기 및 군수송기에 많이 사용되며, 가스터빈이나 피스톤 엔진에 의해서 추진된다. 일반적으로 가스터빈 엔진은 쌍발 항공기에 많이 쓰이고, 피스톤 엔진은 단발이나 쌍발 항공기에 쓰인다.

프로펠러 항공기의 추진계 소음은 주로 프로펠러 회전에 의한 공기 동역학적 소음과 엔진 배기소음으로 구성된다. 프로펠러 소음은 일차적으로 프로펠러 끝단 속도의 함수로 주어지며, 회전속도와 프로펠러 날개수의 정수배 곱으로 주어지는 주파수 성분에서 강한 소음특성을 나타낸다. 대개의 경우 프로펠러 소음은 배기소음보다 더 크며, 피스톤 엔진의 머플러에 의해서 감소시킬 수도 있다.

다. 통과중인 항공기소음 특성¹⁵⁾

(1) 아음속의 비행 (재래식 항공기)

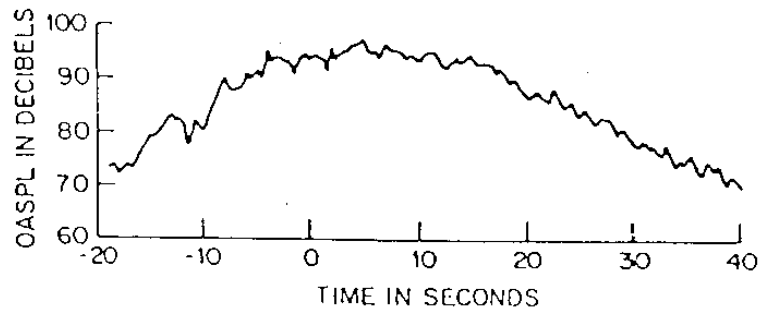
항공기가 지상의 한 점을 통과할 때 관측되는 소음은 전반적인 소음도 뿐만 아니라 주파수 특성도 시간에 따른 항공기 위치에 따라서 변한다. 대체로 항공기가 접근할 때에는 고주파 성분이 지배적이고, 항공기가 머리 위를 지나 멀어질 때는 저주파 성분이 지배적이다. <그림 2.19>과 <그림 2.20>은 항공기 소음의 이러한 변화 특성을 보여주고 있다.

<그림 2.19>는 항공기가 이륙할 때 활주로 출발 지점으로부터 5,500m 떨어진

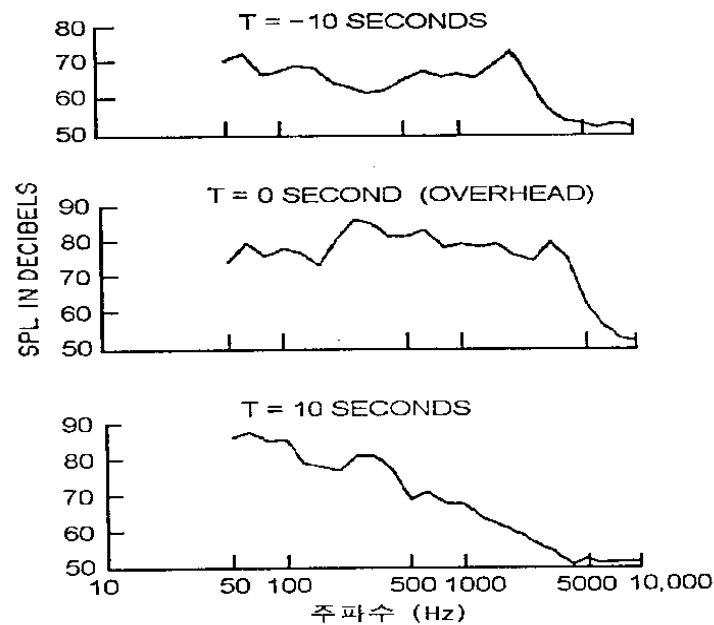
15) 국립환경연구원, 「공항주변 항공기 소음(일반공항을 중심으로)」, 1998

활주로 연장선상 지점에서 실측한 전체 음압도(OASPL: Over-All Sound Pressure Level)의 시간 변화양상을 나타내고 있다. 이 그림에서 $t=0$ 은 항공기가 바로 머리 위에 있을 때를 나타내고, 이때의 항공기 높이는 350m 정도이다. (-t)는 항공기의 접근을 나타내고 (+t)는 멀어져감을 나타낸다.

이 측정에서 배경소음은 70dB(A)정도이고, 배경소음 이상의 항공기 소음 지속 시간은 약 60초이다. 착륙시에는 항공기 고도가 낮고 출력이 상대적으로 작기 때문에 항공기 소음 지속시간이 절반 정도로 줄지만 전반적인 소음도 변화특성은 <그림 2.19>와 비슷하다.



<그림 2.19> 항공기 이륙시 소음의 시간 변화



<그림 2.20> 항공기 이륙시 통과지점에 따른 소음의 주파수 특성변화

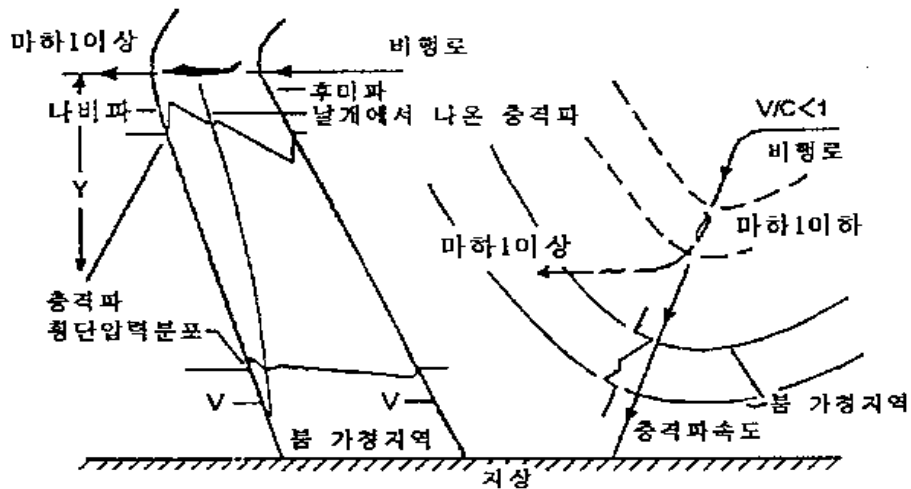
<그림 2.20>은 앞의 측정에서 세 지점에서 측정된 소음의 1/3 옥타브 대역별 주파수 특성을 보여준다. 항공기가 접근할 때($t=-10$)는 엔진 흡입에 의해서 발생되는 2KHz 근방에서 강한 피크 성분을 나타낸다. 항공기가 머리 위를 지나면서($t=0$) 이 성분은 감소되고 500Hz이하의 저주파 성분이 나타난다. 항공기가 멀어지면서($t=+0$) 소음은 앞서 설명한 제트 분사에 의한 저주파 성분에 의해서 지배된다. 저주파 소음은 약간의 감쇠로 대기 중에서 먼 거리를 진행할 수 있기 때문에 항공기가 지나간 후에 오래도록 남는 여음의 원인이 된다. 대개의 경우 항공기 소음은 인위적이거나 자연적인 장애물의 방해없이 대기 중을 자유로이 멀리 진행한다는 측면에서 자동차나 철도 등 지상 교통소음과 구별된다.

(2) 초음속의 비행

초음속 비행시의 소음은 앞서 언급한 추진계에 의한 소음과 더불어 지상 수음자에 의해 감지되는 소닉붐(Sonic Boom)을 포함한다. 이 소닉붐은 0.1초에서 0.2초 정도의 시간 지연에 의한 두번, 세번 또는 그 이상의 압력 맥동파로 구성된다. 이 현상은 어떤 물체가 초음속으로 움직일 때 그 물체의 주위에 발생하는 충격파에 의해 형성된다.

소닉붐은 발생과 전파에 따라 두 종류로 분류할 수 있다. 첫째, 지상의 수음자가 항공기의 초음속 비행시 감지하는 것으로 <그림 2.21>의 (a)와 같이 항공기가 지상의 충격파 형성을 질질 끄는 현상이다. 둘째, 급속 하강과 같이 가속 또는 감속에 의해 발생하는 소닉붐으로 충격파의 속도가 변하고 압력 불연속이 전파될 때 충격파가 항공기를 떠나 지상을 향해 더 큰 비선형 음향파로 이동한다. <그림 2.22>의 (b)는 고공에서 급속 하강시 충격파가 항공기의 최전방 첨단점에서 분리되어 지상으로 이동하는 모습을 보여주고 있다. 크기를 생각하지 않는다면 지상에서 들리는 소음은 두 종류 모두 동일하다.

일단 초음속을 돌파하면 정속 비행의 소닉붐은 마하 숫자와 비례하여 천천히 증가하지만 수음자와의 거리가 가깝게 되거나 고도가 낮아지면 급속히 상승한다.



(a) 정상상태 (b) 비정상상태
(초음속으로 직진 수평비행) (초음속으로 급강하)

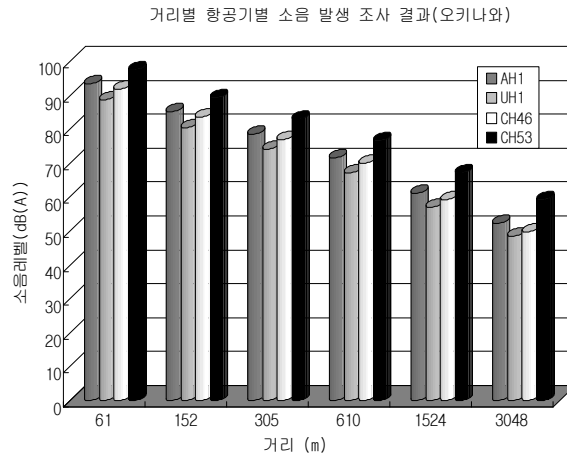
<그림 2.21> 소닉붐(Sonic Boom) 발생과 전파

라. 거리별 항공기 소음도¹⁶⁾

항공기, 특히 제트엔진기가 발생하는 음압은 전방 2m에서 110dB대 정도의 소음을 나타내는 자동차의 경적 소리보다도 더욱 높다. 제트엔진기가 이륙하는 경우 전방 100m 지점은 120~130dB(A)의 음압이며, 제트엔진에서 발생하는 소음은 인근 25m 부근에서 130~140dB(A)로 측정되고 있다.

구체적으로 항공기에 의해 발생하는 물리적 소음은 항공기의 종류, 항공기의 크기, 풍향 등에 의해 달라질 수 있다. 항공기 기종별로 발생하는 소음을 일본의 조사 결과를 토대로 정리하면 <그림 2.22>에서 보는 바와 같다. 우선, AH1 대전차 헬기, UH1 다목적 헬기, 그리고 수송 헬기인 CH46과 CH53이 발생하는 물리적 소음은 CH53 → AH1 → CH46 → UH1의 순으로 나타나고 있다. 거리별로 이들 항공기에 의한 소음도를 보면, 항공기로부터 150m 떨어진 주변 지역은 대체로 80~90dB의 높은 레벨을 유지하고 있다. 또 600m 이상의 주변 지역인 경우에는 70dB 정도로 소음의 강도가 다소 낮아지는 것으로 조사되었다.

16) 강한구, 「군용 항공기 소음 대책과 과제」, 군 환경보전 학술세미나 논문집, 제3회



자료: 普天門飛行場移設對策本部, 『シュワブ沖調査結果報告書』, 1997.11

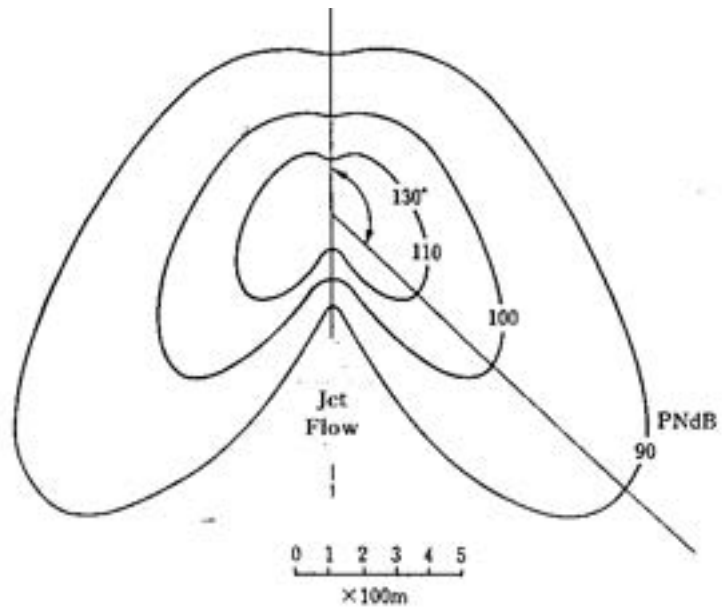
<그림 2.22> 항공기 근접 거리별 소음 정도 (오키나와의 경우)

마. 항공기 소음의 지향 특성¹⁷⁾

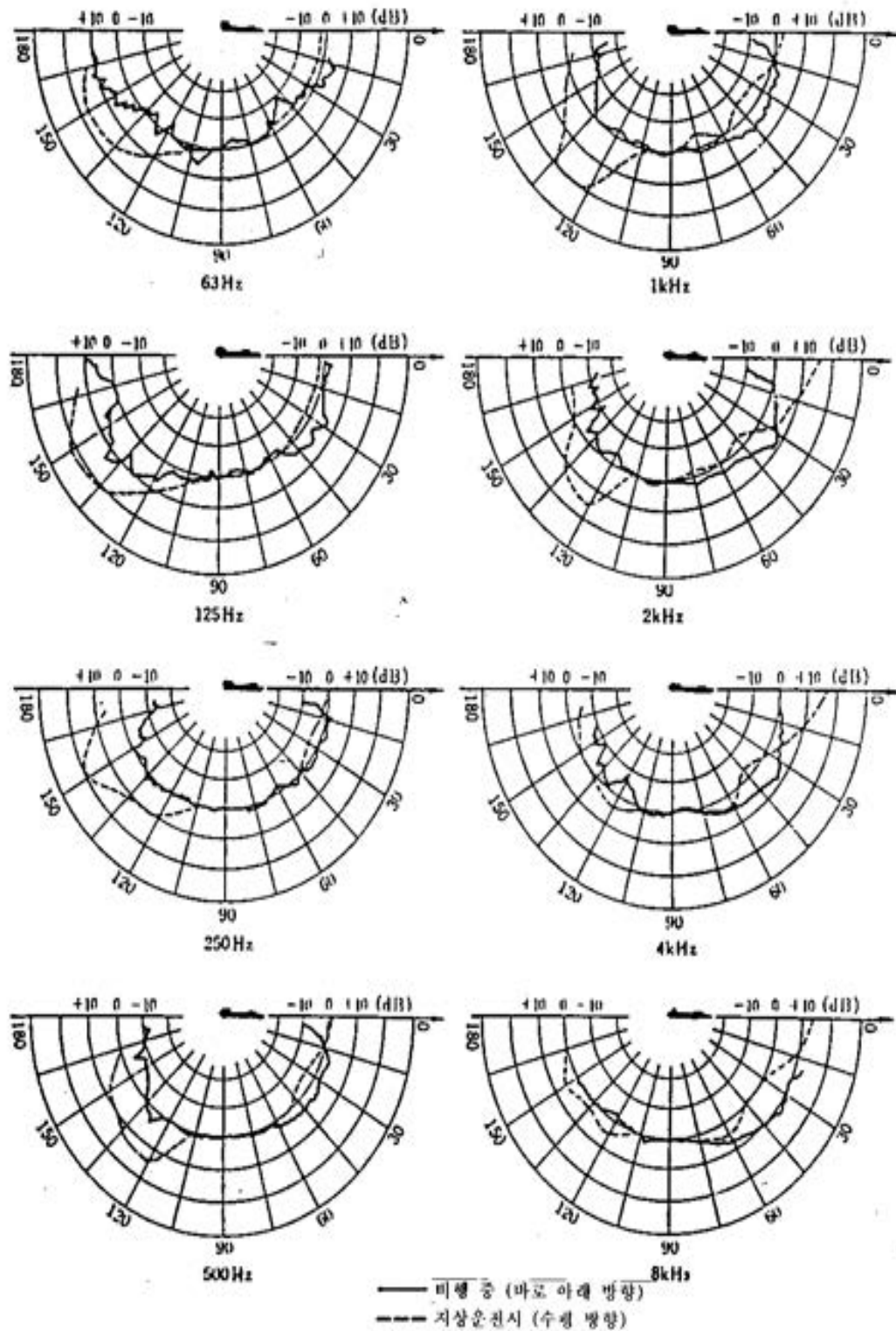
지상운전시 제트소음의 지향성은 제트 배기류에 의해 발생하는 활류의 굴절이나 확산에 의해 <그림 2.23>과 같이 하트형을 보이고, 120~150도 방향으로 강한 지향성이 나타나며, 제트 배기류의 속도가 커질수록 그 지향성이 강해진다. 지상운전시에는 후방에 분사되는 제트소음으로 인해 저중음역에서는 120~150도 방향에 강한 지향성을 보이지만, 높은 음역에서는 엔진 앞부분의 압축기(Compressor)등으로 인해 0~30도 방향에 지향성이 나타난다.

<그림 2.24>에서 보듯이 비행 중의 지향특성은 지상운전시와 경향이 비슷하게 나타나지만, 후방의 지향성은 그 정도 현저하게 나타나지 않는다. 이것은 비행 중 저주파수대역에서는 기체소음이 발생하고, 아울러 제트류 외부의 공기가 항공기의 속도로 인해 우회함으로써 활기류가 억제되는 것이 원인이라 생각된다.

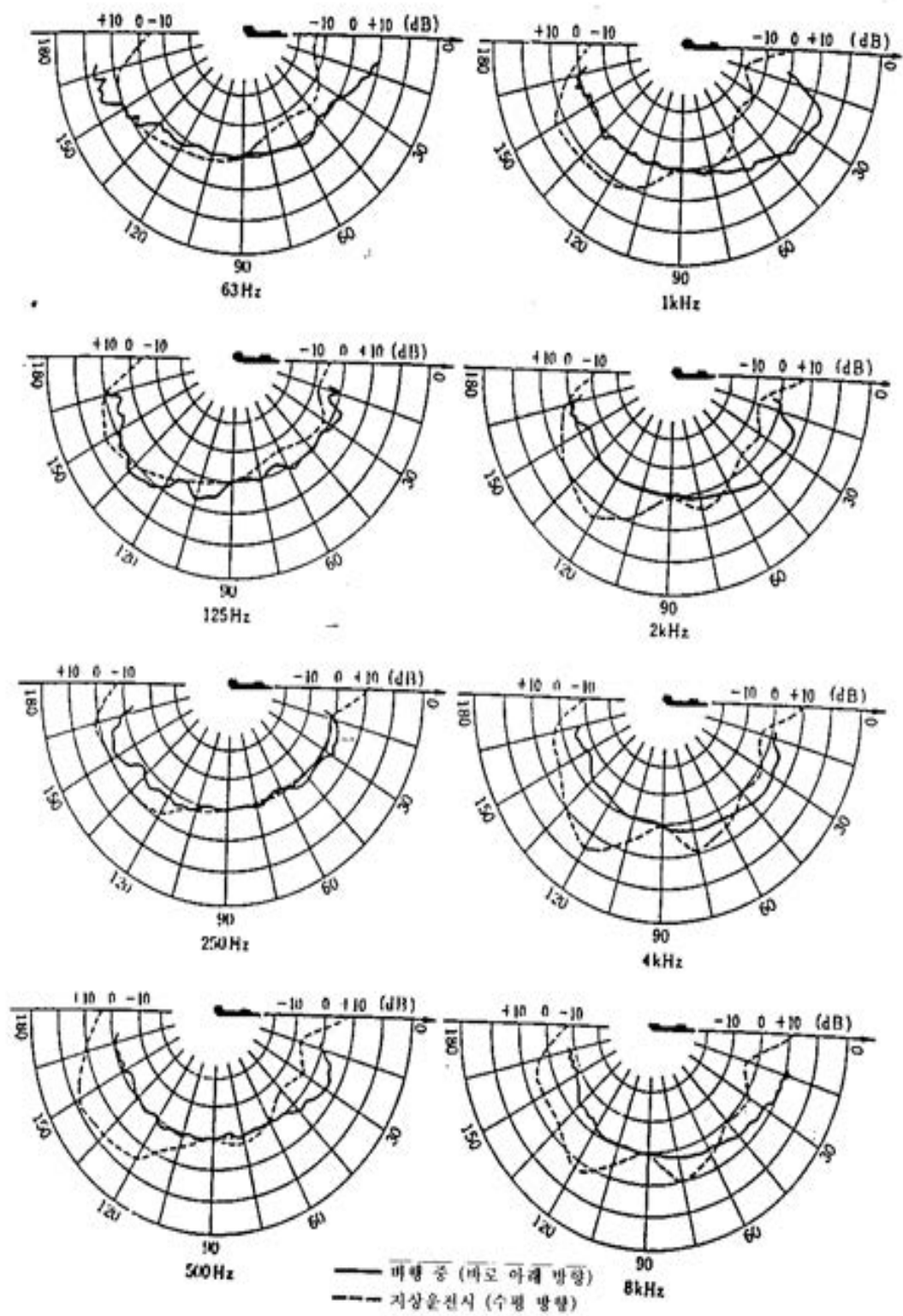
17) 桐山良賢, 「보상의 변천과 특수평가사례」, 東京出版社, 1984



<그림 2.23> 터보팬(Turbo Fan) 엔진의 지상운전시 소음 지향특성



<그림 2.24> F-4EJ의 지상운전시와 비행 중(바로 아래방향)의 지향특성



<그림 2.24> (계 속)

2.2.2 관련 규제기준

가. 국 내

국내 항공기 소음 관련기준은 항공법 시행규칙 제274조에서 시설물 용도제한과 설치제한을 하고 있으며 <표 2.9>, <표 2.10>은 소음·진동 규제법 시행령 제10조의 2에 의하여 항공기 소음의 한도를 <표 2.11>와 같이 규정하고 있다.

<표 2.9> 시설물 용도 제한(항공법 시행규칙 제274조 관련)

구 분	구 역	소음도 (WECPNL)	용도 제한 지역
소음 피해지역	제1종	95이상	1. 완충녹지지역(이·착륙 안전지대) 2. 공항운영에 관련된 시설만이 설치가능
	제2종	90이상~ 95미만	1. 전용공업지역 2. 일반공업지역 3. 자연녹지지역 4. 항공기 소음과 무관한 시설만이 설치가능
소음 피해 예상지역	제3종	80이상~ 90미만	1. 준공업지역 2. 상업지역 3. 시설물 방음시설 의무화 지역

<표 2.10> 시설물 설치 제한(항공법 시행규칙 제274조 관련)

구 분 대상시설	소음 피해지역		소음 피해 예상지역
	제1종	제2종	제3종
	WECPNL 95이상	WECPNL 90~95이상	WECPNL 80~90이상
주거용시설	· 신축 및 증·개축 금지	· 신축 금지 · 방음시설 시공조건 으로 증·개축허가	· 방음시설 시공조건으로 신축 및 개축 허가
교육 및 의료시설	· 신축 및 증·개축 금지	· 신축 금지 · 방음시설 시공조건 으로 증·개축허가	· 방음시설 시공조건으로 신축 및 개축 허가
공공시설	· 신축 및 증·개축 금지	· 신축 금지 · 방음시설 시공조건 으로 증·개축허가	· 방음시설 시공조건으로 신축 및 개축 허가
기타공장, 창고 및 운송 시설	· 공항운영에 관련된 시설물 설치	· 항공기 소음과 무관한 시설물의 신축 및 증· 개축 허가	

<표 2.11> 항공기 소음의 한도(소음·진동 규제법 시행규칙 제10조의 2 관련)

구 분	기 준(WECPNL)	지 역 구 분
공항주변인근지역	90	· 항공법 시행규칙 제271조의 규정에 의한 소음피해지역
기 타 지 역	80	

주) 이 기준은 정기 국제 항공노선이 개설된 공항으로 함

나. 국 외

(1) 일 본

기준은 공항근처에 살고 있는 사람들을 보호하기 위하여 1973년에 마련되었고 지수는 웨클(WECPNL)을 사용하고 있다.

신공항의 경우에 초과되어서는 안될 노출한도는 다음과 같다.

- 주거지 : 70 WECPNL
- 기타 지역 : 75 WECPNL

(2) 독 일

항공기 소음에 관련된 법에서 두 개의 소음 보호지역이 등가소음레벨(Leq)에 의해서 정의되는데 1지역은 $Leq > 75\text{dB(A)}$ 이고, 2지역은 $67 < Leq < 75\text{dB(A)}$ 이다. 또한 이 한도는 낮시간대(06:00~22:00)와 밤시간대(22:00~06:00)동안 가장 소음이 심한 시간에 적용되고 이 두 지역에 요양소와 휴양소를 건축하는 것이 금지된다.

1지역에서는 어떤 주거건축도 허용되지 않고, 기존건물(아파트, 주택, 학교, 병원)의 소유주는 방음(절연)으로 초래된 비용의 보상을 요구할 수 있으며 그 지역에서 주택건설은 방음처리가 되어야 인가된다.

(3) 덴마크

<표 2.12> 항공기 소음지침 한도(L_{DEN}^* , 자유음장치)

지 역	소규모 비행장	공항, 군용비행장
여름주거지, 야영지	45	50
병원*, 학교	45~50	55
주거지*	45~50	55
호텔, 사무실	60	60
농촌(시골)	50	60

주) 낮·저녁·밤 소음도(DEN level)는 최대 운항회수를 나타내고 저녁과 밤의 운항 및 주말의 특별한 활동에 특정한 가중치를 둔 해의 3개월간의 평균에 대해 계산된 등가소음도(L_{eq})에 근거를 두고 있다.

2.2.3 평가척도

우리나라 환경정책 기본법에는 아직 항공기 소음 환경기준이 설정되어 있지 않다. 다만 항공기 소음 측정량으로 웨클(WECPNL)을 정하고 소음·진동 공정시험 방법에 그 측정절차를 명시하고 있을 따름이다. 현재로서 항공기 소음 관련조항을 포함하고 있는 유일한 법은 항공법이다. 법률 제 4435호 1991년 12월 14일자로 개정 시행되고 있는 항공법은 항공에 관한 전반적인 관련업무 및 규정에 대한 기준을 정하고 있다. <표 2.13>은 소음·진동 공정시험 방법에 명시된 항공기 소음 측정 방법에 대한 주요 내용의 요약이다.

WECPNL값은 공항주변 항공기 소음의 평가척도로서 소음레벨이 주파수 특성 보정을 한 값(PNL)에 계속시간과 특이음(순음) 보정을 한 값(EPNL)을 한 대의 항공기 소음 평가량으로 하고, 이 값의 1년 또는 1일간의 등가소음레벨(ECPNL)을 구하여 이 값에 소음 발생시각 및 계절에 대한 보정을 하여 구해진 값이다.

WECPNL값은 대단히 복잡한 계산을 통하여 구해지지만 일본에서는 이를 간단

히 하여 다음 식을 이용하여 구한다. 환경기준에는 연속 7일간의 WECPNL 값의 에너지 평균값을 기준으로 하고 있다¹⁸⁾

$$WECPNL = \overline{L_A} + 10 \log N - 27$$

여기서, L_A : 당일평균 최고소음도(배경소음보다 10dB 이상인 소음 기준)

N : 발생시간 보정을 위한 통과 대수

$$N = N_2 + 3N_3 + 10(N_1 + N_4)$$

N_1 : 24:00~07:00 사이의 통과 대수

N_2 : 07:00~18:00 사이의 통과 대수

N_3 : 19:00~22:00 사이의 통과 대수,

N_4 : 22:00~24:00 사이의 통과 대수

<표 2.13> 항공기 소음 측정방법의 주요내용¹⁹⁾

구 분	내 용
① 측정량	WECPNL
② 단 위	dB(A)
③ 측정점	옥외 측정 원칙, 그 지역의 항공기 소음을 대표할 수 있는 장소나 문제를 일으킬 우려가 있는 장소, 수풀, 수림, 관목 등에 의한 흡음의 영향이 없는 장소, 지면위 1.2~1.5m 높이 측정위치를 정점으로 한 원추형 상부공간내에는 장애물이 없어야 함.
④ 청감보정회로 및 동특성	A특성, 느림(Slow)
⑤ 측정시각 및 측정 지점수	항공기의 비행상황, 풍향 등의 기상조건을 고려하여 연속 7일간 측정
⑥ 측정자료 분석	WECPNL을 구하며, 소수점 첫째자리에서 반올림한다. 헬리포트 주변 등과 같이 암소음보다 10dB(A) 이상 큰 항공기 소음의 지속시간 평균치($\overline{D}$)가 30초 이상일 경우 보정치 $[+10 \log (\overline{D})/20]$ 를 WECPNL에 보정하여야 한다.

현재 ICAO에서 권장하고 있는 항공기 소음 평가량인 WECPNL을 쓰는 나라는 일본과 우리나라뿐이다. 미국은 FAA에 의해서 L_{dn} 을 공식단위로 사용하고 있고, 유럽의 다른 국가들도 다른 단위를 사용하고 있다.

18) 한국도로공사, 「건설 공사장 소음·진동 방지시설 설계기법에 관한 연구(Ⅱ)」, 1996

19) 환경부, 「소음·진동 공정시험방법」, 환경부 고시 제2000-31호, 2000. 3월

WECPNL은 항공기 소음에 노출되는 주민의 반응을 객관적으로 나타낼 수 있어서 공항주변 소음평가에 적절하다는 장점이 있음에도 불구하고 다음과 같은 이유로 이용을 외면 받고 있다. 첫째, dB(A)나 L_{eq} 등 비교적 단순한 개념에 비해 새롭고 복잡하며 일반인이 이해하기가 곤란하다. 둘째, 대부분의 공항이 도로소음 및 각종 생활소음이 혼재하는 주거지에 둘러 싸여 있기 때문에 항공기 소음을 다른 환경소음과 분리하여 취급하는 것은 의미가 없기 때문이다. 예를 들면 공항주변 도로지역 주거지의 환경소음은 항공기 소음과 교통 소음을 동시에 포함한 것인데, 이 경우 두 가지 소음의 평가단위가 다를 때 그 주거지의 전체 소음문제를 평가하기가 어렵다는 것이다²⁰⁾.

국내에 발표되는 연구문헌²¹⁾을 살펴보면, 항공기 소음의 평가척도 WECPNL은 군용기가 함께 운항되고 있는 조건에서는 간략화된 WECPNL의 평가척도가 잘 맞지 않는다는 점, 외국에서는 점차 L_{eq} 로 통합하거나 단일화하려는 움직임이 일고 있다는 점 등을 들고 있다.

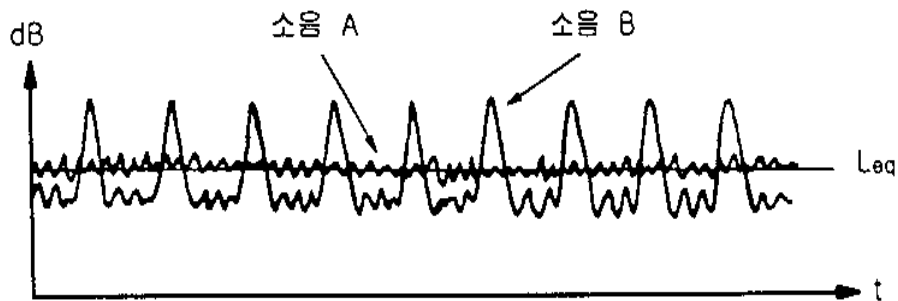
20) 한국공항공단, 「항공기 소음 방음 대책에 관한 연구」, 1992, p.31

21) 김선우외 3명, 「항공기소음 영향평가 척도에 대한 실험적 고찰」, 한국소음·진동공학회, 1997, p.393

2.3 평가척도간 상호관계

2.3.1 L_{eq} 와 L_N , L_{max}

앞 절에서 생활소음 평가척도로서 사용된 등가소음도(L_{eq})는 시간에 따라 변화하는 소음을 하나의 지수로서 나타낼 수 있는 편리한 점이 있고 소음의 변화폭에 관계없이 주어진 시간범위 내의 소음 에너지를 평균한 양이기 때문에 물리적 양으로는 객관적이고 정확한 의미를 갖는다. 그러나 소음에 대한 인체의 심리적 반응의 경우 전체적인 소음 에너지뿐만 아니라 소음의 변화폭에 따라서 다를 수 있고 이는 가축의 경우에도 확대 적용할 수 있으리라 여겨진다.



<그림 2.25> 두 종류 소음의 예

<그림 2.25>에서 소음 A는 시간에 따른 변화폭이 작은 반면에 소음 B는 일정한 간격으로 치는 충격음이 섞여 있어서 시간에 따른 변화폭이 크다. 이 두 소음의 같은 시간폭에 대한 에너지 평균에 의한 L_{eq} 는 동일하다.

그러나 가축 피해진단 경험에 의하면 충격음이 섞여 있는 소음 B가 A에 비해서 더욱 피해가 큰 것이 사실이다. 즉 L_{eq} 는 소음의 객관적인 크기를 나타낼 수 있으나 시간에 따른 변화폭이 큰 경우에는 소음에 의한 가축의 피해를 모두 반영하기에는 미흡하다.

따라서 변동폭이 크지 않은 소음의 경우에는 등가소음도(L_{eq})와 최대소음도(L_{max})가 큰 차이를 보이지 않아 문제가 되지 않으나 충격성 소음같이 변동성이 큰 소음일 경우에는 L_{eq} 와 L_{max} 가 상당한 차이를 나타내므로 L_{max} 를 살펴보는 것

은 반드시 필요하다. 특히 분쟁조정 업무에서와 같이 이미 발생된 소음수준을 예측하는 경우가 많은 경우 이러한 소음원의 특성을 고려하여 평가대상에 적합한 평가척도를 사용하여야 할 것이다.

예를들면 평가대상이 가축이고 소음원이 건설소음일 경우에는 대부분 L_{eq} 외에 L_{max} 예측이 필요한 데 여러가지 공중을 거치는 건설소음의 경우 L_{max} 를 추정하는 것이 쉬운 일은 아니다.

L_{max} 는 확률적 개념으로 볼 때는 거의 발생 가능성이 희박한 경우를 예상해야 되는 어려움을 내포하고 있으므로 변동폭이 큰 소음원에 대한 평가방법은 통계분포지수 $L_N^{22)}$ 을 활용하는 것이 오히려 현실성이 있어 보인다.

흔히 L_5 혹은 L_{10} 을 최고 소음레벨로 가정하는데 큰 무리가 없고, 예측자료에 대한 회귀분석시에도 상위 5% 내지 10% 범위내의 소음수준을 예측하는 것이 용이하므로 최대소음 수준을 예측하여야 할 경우에는 L_5 혹은 L_{10} 을 활용하는 것도 좋은 대안으로 여겨진다.

도로교통 소음의 경우 L_{10} 은 L_{eq} 보다 2~3dB정도 높은 값을 나타내는 것으로 알려져 있으나²³⁾, 건설기계 소음의 경우에는 L_N 과 L_{eq} 사이에 어느 정도 차이를 보이는지 조사된 바 없고 특히 여러 건설기계가 동시에 투입되어 가동되는 실제 건설현장에서 발생하는 합성소음에 대해 L_{eq} 와 L_N 를 비교한 사례는 거의 없었다.

<표 2.14>는 국내 건설현장에서 수집한 건설기계 소음수준을 평가척도별로 나타낸 것이다. 공중에 따른 투입장비의 상이로 예측된 합성소음도가 다르지만 L_5 와 L_{10} 은 약 1~2dB 내외의 차이를 보임을 알 수 있고, L_5 는 L_{eq} 보다 대략 3~6dB 정도 높은 소음도를 나타내었고 L_{max} 와 L_5 는 예상대로 소음원에 따라 차이가 상당히 컸다.

22) L_N (N% 시간율 레벨, N% Sound Level)은 측정시간 중에 그 음압레벨을 넘는 시간의 총합이 N%인 소음레벨을 L_N 로 표현하면, L_N 은 소음레벨의 누적도수 분포로부터 쉽게 얻어진다.

23) 환경부 중앙환경분쟁조정위원회, 「소음으로 인한 피해의 인과관계 검토기준 및 피해액 산정방법에 관한 연구」, 1997

<표 2.14> 건설소음 평가척도 상호비교

공 종	투입장비	이격거리 (m)	L _N (dB(A))					L _{eq}	L _{max}
			L ₅	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	L ₉₅		
바닥 정지 작업	B/H(0.6m ³) : 1대	50	63.3	61.6	58.0	55.7	55.0	59.5	73.1
콘크리트 파쇄 작업	B/H(1.0m ³) : 1대	40	76.7	74.1	68.0	64.1	63.4	71.2	86.0
버럭 상차작업	B/H(0.8m ³)+ D/T(15ton) : 각 1대	80	59.1	56.7	50.7	46.3	45.3	53.6	69.0
아스팔트 깨기 작업	B/K(0.6m ³) : 1대	15	88.3	87.3	82.4	67.7	66.8	83.3	92.5
교량 구조물 철거작업	B/K(1.0m ³) : 1대	45	81.2	80.0	74.2	63.8	63.0	76.3	88.0
토사 바닥 정지 작업	D/Z(SD6P) : 1대	5~10	80.7	80.0	76.2	72.1	70.9	77.1	83.7
아파트 단지 조성 (토공 및 콘크리트 타설 작업)	B/K 1대+ B/H 3대+T4 1대+D/T+레미콘 +컴프레샤+ 기중기	60~160	-	78.9	71.0	67.5	-	74.6	85.1
재건축 아파트 공사 현장 (토공)	B/K(1.0m ³) 1대+B/H(1.0, 0.6m ³) 2대	50~100	78.4	77.3	72.6	66.3	65.3	74.0	83.9

자료 : 한국건설안전기술원

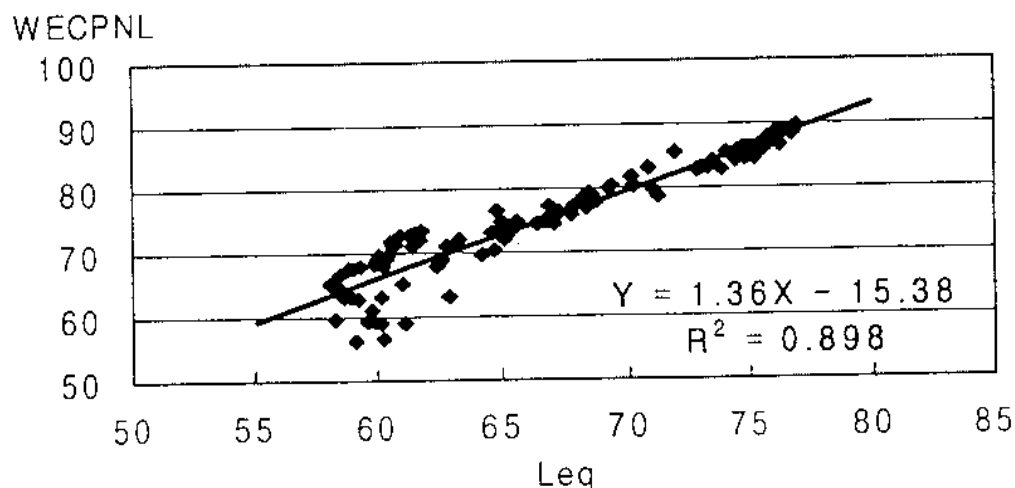
2.3.2 WECPNL과 L_{eq}의 비교

WECPNL(Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)은 영향을 크게 미치는 밤에 운항하는 항공기에 가중치를 부가하는 평가량으로서, 공항주변의 항공기 소음만을 대상으로 평가할 때에는 가장 이상적이지만, 국내공항과 같이 공항주변이 다른 교통소음 및 각종 생활소음과 공존하고 있는 경우에는 소음·진동

공정시험 방법에 의한 소음평가 단위인 L_{eq} dB(A)와 별도로 사용한다는 것은 전문가 이외에는 그 단위의 크기가 어느 정도 인지를 쉽게 인식하기 어려운 면이 있다²⁴⁾.

WECPNL 단위와 L_{eq} 단위에 대한 비교를 시도한 국내 몇몇 실험적 연구사례²⁵⁾를 살펴보면 먼저 강릉공항의 경우에는 WECPNL 단위가 L_{eq} 단위보다 약 10~13dB 정도 높은 것으로 보고되었고, 울산공항 주변 항공소음 평가서(국립환경연구원 대기연구부 소음·진동과, 1998)에서는 WECPNL 단위가 L_{eq} 보다 약 11~15dB 정도 높은 것으로 보고되고 있다.

<그림 2.26>, <그림 2.27>은 광주공항 및 김포국제공항에 대한 WECPNL과 L_{eq} 의 상관성을 살펴본 것이고, <그림 2.28>은 $N_1=150$ 회, $N_2=10$ 회, $N_3=0$ 회로 고정된 상태에서 평균 최고 소음도가 60dB(A)에서 70, 80, 90, 100, 110dB(A)로 변화할 때 WECPNL의 변화양상을 나타낸 것으로 $\bar{L}_{max}$ 와 WECPNL의 관계는 앞에서 언급한 관계식에 의해서 선형적으로 되어 있어 $\bar{L}_{max}$ 의 변화에 따른 WECPNL의 변화량은 일정함을 알 수 있다²⁶⁾. 즉, WECPNL과 비행기의 평균 운행횟수만 알면 최고 소음도를 예측하기는 쉽다.



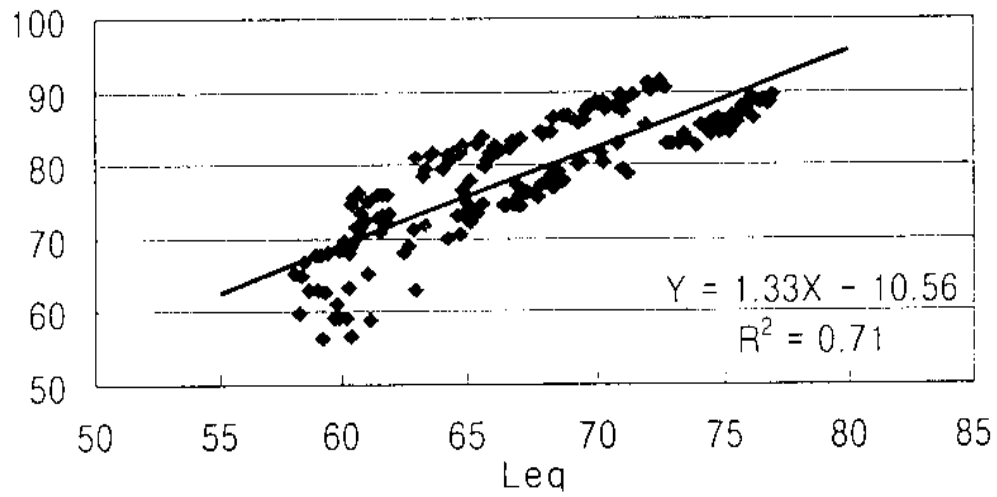
<그림 2.26> 광주공항 L_{eq} 와 WECPNL의 비교

24) 양원선, 「민군 겸용공항과 민간 전용공항의 환경소음 특성에 관한 연구」, 연세대 환경공학과 석사학위논문, 2000

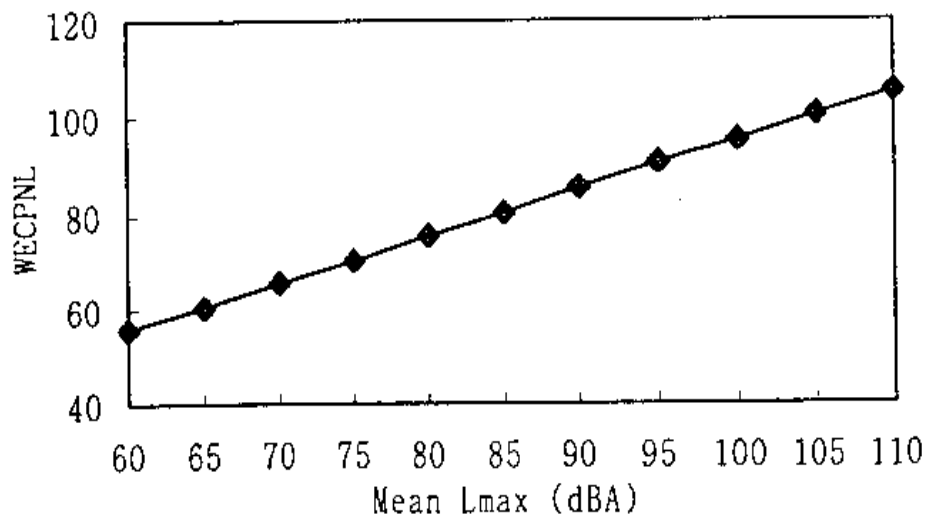
25) 김영우, 「국내 항공기 소음실태와 대책」 서울대 환경계획학과 석사학위논문, 1999

26) 국립환경연구원, 「공항주변 항공기 소음」, 1998

WECPNL



<그림 2.27> 김포국제공항 L_{eq} 와 WECPNL의 비교



<그림 2.28> $\overline{L}_{max}$ 와 WECPNL의 관계

<표 3.3> 산유기 월차별 평균 산유일량 및 유량 비교표 (홀스타인종)

산유기 월차	산유일량						
	H지구(대조지구)			○○비행장 주변조사지구			○○대지
	표본수	평균 산유 일량 (kg)	표본편차	표본수	평균 산유 일량 (kg)	표본편차	표본수
1	3	26.41	±4.27	9	17.37	±3.90	30
2	6	16.29	±3.61	30	16.97	±3.82	54
3	12	14.94	±3.05	42	14.66	±3.33	96
4	21	14.04	±2.52	57	13.36	±2.83	90
5	24	14.12	±3.53	63	12.63	±2.69	69
6	36	12.24	±2.68	63	11.74	±2.94	48
7	36	11.88	±2.13	59	11.11	±3.12	39
8	33	11.26	±1.97	48	9.82	±3.00	26
9	27	9.95	±1.46	33	7.66	±2.97	18
10	12	9.40	±2.21	12	8.84	±2.21	15
10개월 산유량	140.53×30=4215.90			124.16×30=3724.80			1
감소율				$\frac{4215.90 - 3724.80}{4215.90} = 0.1164$ $= 11.64\%$			$\frac{4215.90}{4215.90} = 1$

<표 3.3> 계 속 (저지중)

산유기 월차	산유일량						
	H지구(대조지구)			○○비행장 주변조사지구			○○대지
	표본수	평균 산유 일량 (kg)	표본편차	표본수	평균 산유 일량 (kg)	표본편차	표본수
1	3	21.05	±5.51	-	-	-	9
2	6	13.03	±0.81	3	12.53	±0.17	12
3	9	10.83	±1.05	6	9.55	±1.64	27
4	12	10.07	±1.15	12	8.36	±2.30	33
5	18	8.79	±1.79	15	8.52	±2.19	27
6	18	8.23	±2.39	15	8.02	±2.07	27
7	18	7.67	±1.62	15	7.58	±1.64	15
8	15	7.06	±5.77	9	5.58	±1.17	9
9	6	6.64	±1.84	6	5.08	±0.93	6
10	3	7.04	±0.36	3	3.79	±0.30	3
10개월 산유량	99.41×30=2982.30			69.01×30=2070.30			
감소율	78.36×30=2350.80			$\frac{2350.80 - 2070.30}{2350.80} = 0.1193$ $= 11.93\%$			2982.30

주) ○○비행장 주변조사지구 저지중의 1월차 표본이 빠져있어, 2월차 이후 산유량을 비교했다.

제3장 가축 관련 소음기준 및 피해사례 조사

3.1 가축 관련 소음기준

대부분의 유럽국가들은 소음한도의 사용을 통해서 환경소음으로부터 지역주민을 보호하기 위하여 고안된 국가적 규정이나 권고를 가지고 적용하고 있다. 환경기준이나 각종 소음한도는 각 나라의 정치적, 기술적, 사회적 및 경제적 여건 등을 고려하여 설정, 운용하고 있으며 국가법, 조례 또는 지방자치의 규칙으로 소음한계에 대하여 법적인 틀을 마련하고 있거나 일부 국가들은 권고나 지침만을 가지고 있다.

<표 3.1> 미국 지역별 환경소음 권장치(ANSI S₃, 23-1980)

토지이용의 종류	L _{dn} dB(A)									
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
주거지역, 단일가축 옥외활동 포함	적 합	대체로 적합			부적합					
주거지역, 다가축 일부 옥외활동	적 합	대체로 적합			부적합					
주거지역(다층 건축물), 일부 옥외활동	적 합	대체로 적합			방음 대책시 적합		부적합			
일시적 주거	적 합			대체로 적합		방음 대책시 적합		부적합		
학교, 도서관, 종교시설	적 합	대체로 적합			방음 대책시 적합		부적합			
병원, 진료소, 위생시설	적 합	대체로 적합			방음 대책시 적합		부적합			
음악당	적 합	대체로 적합			부적합					
야외 음악당	대체로 적합				부적합					
스포츠 시설	적 합		대체로 적합			부적합				
근린공원	적 합	대체로 적합				부적합				
운동장, 골프장, 마굿간, 기타	적 합		대체로 적합			부적합				
사무소, 개인업	적 합				대체로 적합		부적합			
상업(소매업), 영화관, 레스토랑	적 합				대체로 적합		부적합			
상업(소매업), 공업	적 합					대체로 적합		부적합		
가축, 동물사육	적 합				대체로 적합		부적합			
농업(가축이외)	적 합						대체로 적합		부적합	
레크레이션지역, 자연생활	적 합		대체로 적합			부적합				

본 연구팀이 조사한 바에 의하면 국·내외를 막론하고 가축에 관련된 소음 규제기준은 별도로 명확하게 정하여진 바가 없다. 이는 방대한 작업에 비하여 경제적으로 실익이 없기 때문으로 판단되는데, 미국의 경우 연방연합표준국에서 권고기준으로 가축 사육지역의 소음수준을 65~75dB(A) 이하로 유지하도록 권고하고 있는 정도이다.(<표 3.1> 참조)

<표 3.1>에서 주목할 부분은 가축/동물 사육지에 대한 환경소음 권장치가 전용 주거지역에 대한 권장치보다 높지는 않으며 가축사육지역 외 농업지역의 경우, 권장치가 가축 사육지역보다 대체로 10dB 정도 높다는 사실이다.

그러나 이러한 권장치가 국내 사육환경에도 적합한가에 대한 여부는 과학적 규명작업이 없는 한 논란의 소지가 있어 보인다. 특히 이러한 권장치가 가축피해에 대한 배상기준으로 적용되기는 어려울 것으로 판단되며 다만 후술하는 국내·외 연구사례나 분쟁사례 등과 더불어 가축피해에 대한 소음 임계수준을 설정하는데 참고적으로 활용될 수 있을 것이다.

3.2 소음이 가축에 미치는 영향

가축을 둘러싼 환경요인 중 소리요인은 다른 환경적 요인과 마찬가지로 가축의 생산능력에 직·간접적인 영향을 미친다. Ackor와 Cunningham(1991)²⁷⁾은 간헐적 소음이 가축의 생산성을 크게 저해시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 가축이 과도한 소음과 진동에 노출되면 심장 박동수와 호흡수의 변화, 부신피질 호르몬의 분비가 많아지고, 말초신경이 축소되어 배란횟수가 줄어들며, 심각한 경우에는 가축이 폐사되거나 조산, 유·사산, 기립부전 및 성장이 지연된다고 알려져 있으며, 행동 반응으로는 경기와 공포스런 행동이 일시적으로 나타나고 짹짹기를 하지 못하거나 보금자리의 이동, 생활형태의 변화 등 여러 가지 반응을 하는 것으로 발표되고 있다.^{28) 29) 30)}

그러나, 소음과 진동이 가축에 어떠한 기능장애를 주는지 명확하게 결론을 내린 연구보고는 아직까지는 찾아보기 힘들다. 소음과 진동이 가축에 미치는 생리적 영향에 대해서는 실험적 방법을 통해서 직접 확인된 것도 있고, 추측에 의한 것도 있지만, 이같은 주장들은 가축들의 소음에 대한 감지도가 그 종류에 따라 다소 차이는 있으나, 한결같이 소음문제가 생산감소 또는 능률저하를 넘어서 장기적으로는 많은 질환의 원인이 될 수 있음을 암시하고 있다.

우리나라의 대표적 축종인 소, 돼지, 닭에 대한 국내·외 연구사례 및 문헌자료를 인용하여 요약해 보면 다음과 같다.

3.2.1 소(젓소, 한우)

가. 일반적 피해특성

소와 양 같은 반추동물은 돼지, 조류, 설치동물(쥐, 다람쥐)에 비해 비교적 소음에 강한 것으로 알려지고 있다. 소는 젓소와 한우로 대별되며 한우는 주로 비육우이다. 비육우의 경우, 소음·진동에 의한 피해로 수태율 저하, 체중증가율 감소, 심

27) Acker, D., & M. Cunningham, 「Animal Science and Industry」, Prentice Hall, 1991

28) 三村耕외, 「家畜管理學」, 養賢堂, 1981, P81-83

29) 석정진외, 「家畜管理學」, 養賢堂, 1982, P39-40

30) 최승윤외, 「축산대백과」, 내외출판사, 1991, P154

하면 임신우의 유·사산 등의 형태로 나타날 수 있으며 젖소는 이외에도 산유량 감소가 주로 민원의 대상이 되고 있다.

James Bond는 소의 경우 항공기 소음이나 공장 소음 같은 지속적인 소음, 즉 시간에 따라 소음레벨의 변동폭이 적은 소음에 대해서는 거의 영향이 없으며, 밭과 소음이나 향타기 소음같이 매우 충격적인 소음에 대해서 유생산성이 약간 감소하고, 번식효율이나 성장률에는 지장이 없었다고 발표하였다.

이와 비슷하게 진동이 수반되지 않은 소음 즉, 항공기 이·착륙 소음과 조정 경기장의 합성소리에 대한 젖소의 유생산율과 수태에 미치는 영향을 평가한 결과를 살펴보면 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 항공기 소음 및 조정 경기장 소음과 젖소 피해와의 관계

구 분	소음레벨 (dB(A))	우유생산량 감소율(%)	수태에 미치는 영향	기 타	비 고
항공기 소음	100~115	18.8	확인불가	-	분쟁목장 장비 소음레벨 : 약 60dB(A)
경기장 소음	90~110	30~50	수태율 저하	체중감소	

자료 : 吉本 正, 젖소와 소리, 마포(麻布)대학 수의학부

표에 나타난 바와 같이 항공기의 소음레벨이 경기장 소음에 비해 상대적으로 높은데도 불구하고 유생산량의 감소율은 경기장 소음의 경우가 약 15% 이상 높게 나타났다. 이 연구결과는 앞서 논술한 James Bond의 결과와 비슷하며, 소의 경우는 항공기 소음 같은 지속적인 소음보다는 매우 충격적이고 순간적으로 발생하는 소음에 더 민감하다는 것을 나타내고 있다.

나. 비행음과 폭격음 환경에 놓인 목장 젖소에 대한 피해사례

(1) 사례 1

연속 1주일간 정밀하게 기록한 결과에 의하면 소음발생은 날과 시간에 따라 상당히 변동이 있지만 대체로 토요일과 일요일, 야간은 적고 그외 요일에는 오전 9~10시와 오후 2~3시에 가장 많이 발생하고 평균 간격은 약 3분이었다. 이 시각 외

에는 약간 불규칙하지만 선회나 통과 등을 감안하면 대략 5~15분 정도 간격으로 발생하는 꼴이며 소음의 세기는 이륙 쪽이 착륙보다 강하고 2대 이상인 경우에는 115 phon³¹⁾ 내외, 1대인 경우는 조건에 따라 변동은 있었지만 보통 100 phon 내외였다.

비행장 주변 목장(피해구)과 대조구의 비교에서 유량감소는 사육관리 요소에 대한 사항을 감안하여 18.82%로 평가되었다.

(2) 사례 2

사격·폭격장 부근의 목장의 경우 소음 발생상황은 오전 10시 전후와 오후 2~3시에 집중되는 경향이 있으며 간격은 1분 이내의 것이 있고 거의 연속적인 것도 적지 않다. 폭음의 세기는 약 110 phon 내·외이며 통과 또는 선회하는 제트기의 소음은 보통 90 phon 이하이다. 폭격 표적 및 통과코스에서 가장 가까운 목장 젖소의 유량 감소율은 2.41%이고 1두당 평균 실유량은 111.7kg이라고 평가되었다.

(3) 사례 3

또 다른 사례에 의하면 70~100 phon 이상의 비행음과 폭격음 환경에 놓인 목장의 젖소에 대한 소음영향에 따른 산유량 감소를 살펴보기 위해 대조지구를 H조 사지구로 하고 OO비행장 주변 조사지구 및 OO대지 사격·폭격장 주변 조사지구의 산유량을 누계하여 비교하였다. <표 3.3>에서 보는 바와 같이 산유일량의 비교 항목에서 보인 것처럼 유기 10개월에 유량의 감소율은 OO비행장 주변 조사지구의 경우, 홀스타인종은 11.64%, 저지종은 11.94%이고, OO대지 사격 폭격장 주변 조사지구에서 홀스타인종은 13.94%, 저지종은 13.86%으로 나타났다.

31) Phon : 사람의 귀는 같은 음압레벨의 소리에도 그 주파수에 따라 다르게 반응한다. 즉 인간의 귀는 2~3kHz 근처에서 가장 민감하게 반응하며, 상대적으로 고주파와 저주파의 영역에서는 덜 민감하게 반응한다. 이와 같은 영향을 고려해 같은 크기의 소리로 들리는 주파수별 음압수준을 측정하여 등감곡선(Loudness Level Contours)을 얻는다. 이 소리의 크기를 나타내는 단위를 폰(Phon)이라 한다. 폰은 귀에 들리는 소리의 크기가 같다고 느껴지는 1kHz의 순음의 음압레벨을 말하는데, 예를 들어 100폰의 소리란 1kHz 순음이 100dB의 음압레벨을 갖는 것과 대응되는 음압레벨을 의미한다.

가로표 삽입

가로표 삽입

다. 제트기 비행음이 젖소의 비유능력에 미치는 영향

제트기 비행소음의 발생회수가 많은 지점과 적은 지점에 소 축사를 세우고 각각 4마리씩의 젖소를 1기 6주간을 사육기간으로 하여 교대로 2회 이동시키고, 유생산량의 변화, 젖소 생태의 변화, 생리 반응으로서 심박수의 변화 및 폭음 발생시 심박간격의 변화 및 혈액 성분, 소분내 케톤의 변화를 검토한 사례이다.

폭음 이외 환경조건의 영향을 최대한 배제하기 위해서 양쪽 축사의 구조는 거의 동일하게 하고, 유사한 환경, 기상조건으로 하였으며, 관리자도 각 군에 고정하여 관리자가 바뀌는데 따른 영향을 배제하고 동일 양식으로 사육관리를 했다.

(1) 폭음지점의 폭음발생 상황

70phon 이상의 소음을 자동기록장치로 24시간 기록했다. 1일 폭음발생 상황은 날과 시간에 따라 불규칙한데 발생회수가 49~163회이고, 소음의 강도는 중앙치가 83~96phon이며, 90%범위의 최고치는 103~112phon이었다.

(2) 유생산량의 차

유량, 유지량의 변화는 분명치 않았다. 사육관리의 경과 중 식체를 한 소가 한 마리 발생했고, 건초 질의 변화, 즉 사료에 의한 영향으로 보이는 산유량의 저하가 제5주째에 나타났기 때문에 소음 하나로 인해서 제반 양에 변화가 있었다고 파악하는 데는 약간 확실성이 결여된 경향이 있다. 하지만 소음 이외의 영향을 거의 배제할 수 있는 주만을 생각하여 6마리의 소를 평균하니 유생산량은 2.93%의 감소가 관찰되었다.

(3) 생태의 변화

5분 간격으로 24시간 동안 젖소의 선 자세·누운 자세·반추·먹이먹기 등의 상태를 관찰했는데 소음과의 관계는 보이지 않고 오히려 계절이나 다른 무언가의 조건에 영향받는 것 같았다.

(4) 심박수의 변동

주1회 2시간 간격으로 5분간 심박수를 24시간 측정했다. 임신한 소 2마리를 제외하고 6마리 전체의 측정예를 측정시점에서 생태별로 나누고 거기서 측정시각별로 분류하고, 측정시의 기온을 고려하면서 소음지점 사육시와 대조지점 사육시와의 변화를 검토했다. 선 자세·휴식, 선 자세·반추, 누운 자세·휴식의 생체구분에서 각각 측정한 심박수는 소음지점 사육시에 약간 증가하는 경향이 보였지만 다른 경우에는 소음과 관련이 있다고 생각되는 변화는 없었다.

(5) 심박간격의 변동

소음에 대한 직접적, 순간적 영향을 알기 위해 소음발생시의 심박간격의 변화를 검토했다. 그 결과 소수였지만 주로 야간의 소음시에 심박간격이 뚜렷이 단축되는 예가 보였다. 이것으로 봐서 어떤 조건하에서는 소음이 젖소를 놀라게 하고 공포감을 준다는 것이 실증되었다.

(6) 혈액성상 및 소변내 케톤의 변화

각 기(期)의 최종일에 적혈구수, 백혈구수, 호산구수, 혈청 단백 및 소변내 케톤을 검토했는데 호산구수가 소음지점 사육시에 감소하는 경향을 보인 외에는 일정한 변화는 인지되지 않았다. 이것은 동물에게 스트레스가 더해졌을 때 호산구수가 감소된다는 많은 설(說)과 일치하고, 소음이 젖소에 대해 스트레스로 작용한다는 생각을 지지하는 결과이다.

(7) 시험소는 2마리가 일과성 발열, 식체를 일으킨점 외에 거의 건강하게 시험 전체 기간을 경과하고, 임신한 소 2마리도 임신경과가 거의 순조로웠으며 시험종료 후 75일 전후에 정상분만했다.

이상 본 시험결과에서 볼 때 소음의 유생산량에 대한 영향은 한정된 조건에서 보면 약간 저하시키는 경향(2.93%)이 보이고, 생체반응에 대해서도 심박간격, 호산구수에 있어서도 적지만 변화가 관찰된다. 그러나 이것은 보편적인 것이 아니기 때문에 모든 젖소에게 그대로 적용하는 것은 위험하다. 또한 사육환경, 개체차이에 따라 영향이 틀리게 나타나는 것이라고 생각할 수도 있다.

라. 착유시의 이상소음 충격

젖의 배출에 대한 뇌하수체후엽 호르몬의 관여를 연구한 Ely and Peterson (1941)의 보고에는 착유시의 이상소음이 젖의 배출을 방해한다는 주목할 만한 사실이 기재되어 있다. 즉 착유기를 장치한 젖소에게 10초마다 2분간 종이 봉지의 파열음을 들려주어 놀라게 하자 젖통에 있던 양 이외의 젖의 배출이 정지되었다. 하지만 이 충격은 중추신경에 직접 작용한 것이 아니라 부신에서 아드레날린의 반사적인 분비로 뇌하수체후엽 호르몬의 분비가 억제된 것이 원인이라고 추론하고 있다. 그 이유로서는 1) 젖샘으로 이어지는 교감신경을 절제한 좌측의 유방도 정상적인 우측과 같이 반응한다는 것 2) 소음으로 놀라게 한 경우와 아드레날린을 주사한 경우가 같은 반응을 일으킨다는 것 3) 어떤 경우에도 뇌하수체후엽 호르몬제를 주사하면 그 영향이 해소되는 것 등을 들고 있다.

이와 같이 소음의 충격이 아드레날린의 급속한 분비를 촉진한다고 하면 그 부차적인 효과로서 Hays and Vandemark (1953)가 지적하는 것과 같은 자궁운동의 억제가 일어나, 경우에 따라서는 수정율의 저하 등이 발생한다고 생각할 수 있지만 젖소에 대해 이와 같은 문제를 다룬 연구 보고를 찾기는 어렵다.

마. 기타 실험사례

그 외 몇몇 국외 실험사례를 살펴보면 다음과 같다.³²⁾ 임신한 소 20두를 개방우사에 매어놓고 헬리콥터를 공중에 정지시켜 긴 소음에 노출시키거나 제트전투기를 통과시켜 짧은 소음을 일으켰을 때의 결과는 심한 스트레스를 가리키는 혈중 부신피질호르몬이 크게 증가하였다. 4두는 조산하였고 매어둔 소는 목을 뻗뻗하게 쭉 폈으나 매이지 않은 소는 겁을 내었는데, 30~120분 후에 정상으로 회복되었다.

<표 3.4>와 <표 3.5>는 각종 소음원이 젖소에게 미치는 부정적 영향을 잘 보여주고 있다.

32) Veterinary Bulletin, 1977~1986

<표 3.4> 다양한 소음원이 젖소에게 미치는 영향

소음 유형 및 음압레벨	결 과	비 고
일반 소음(105dB)	사료소모량, 유생산량, 착유율 감소	Kovalcik and Sottnik, 1971
트랙터 엔진소리(97dB)	포도당 농도, 혈중 백혈구 증가; 헤모글로빈의 감소	Broucek 등, 1983
일반 소음(1kHz, 110dB)	글리세린, 미필수 지방산, 크레아틴 증가; 헤모글로빈, 갑상선호르몬 농도 감소	Broucek 등, 1983

자료 : U.S. Air Force and U.S. Department of the Interior, 1988

<표 3.5> 소음과 진동이 동시에 발생한 경우 젖소에 미치는 영향

· 공사내역 : “山陽” 도로건설공사를 위한 암석파괴 작업 - 소요기간 : 약 100일 - 소음·진동 발생 수준 · 소음레벨 : 58~72dB(A) · 진동레벨 : 52~60dB(V) - 소에 미친 영향 · 우유생산량 : 전년대비 8.1% 감소(사육관리요소 고려하지 않음) · 번식능력 : 교접횟수 1~2회 증가로 인해 분만일 약 40일 연장 · 식욕 : 변화되지 않음 · 기타 특징 : 젖소가 신경질적이며 안정감이 없음
--

자료 : 吉本 正, 젖소와 소리, 마포(麻布)대학 수의학부

3.2.2 닭

가. 일반적 피해특성

일반적으로 닭은 소나 돼지 등 다른 가축보다 소음·진동에 내성이 강한 것으로 알려져 있고 적응력도 강해 육추기부터 단련되면 큰 피해는 없는 것으로 알려져 있다. 또한 양계의 경우도 90dB 이상의 소음에 노출되면 처음 2~3분간은 다소 긴장하거나 놀라는 경향이 있으나, 잠시 후 진정되어 정상적인 상태로 돌아간다.

닭은 성질이 급하고 쉽게 놀라며 적은 상처에도 쉽게 사망하는 예가 많다. 순간적으로 놀라면 심박이 2배로 증가하고 심하면 장파열 등으로 폐사하는 경우가 있다.(예 : 교통사고시 충격에 의한 육계 수송 중 전량 폐사 등) 또한 장기간 소음·진동에 노출되면 혈반란, 연란의 생산, 산란율의 감소현상이 초래되기도 한다.

닭이 무엇인가에 돌연 놀라면 그 닭의 내부에 불안상태가 발생하여 심리적 스트레스가 생긴다. 이러한 돌연 놀람에 의해 심박이 2배로 증가하고 압박이 높아지며, 사료의 식하량이 감소하고 성적행동이 약해진다. 또한 궤양성 장염이 잘 생기고 발육속도도 저하되며 혈장글리코젠이 감소한다. 닭의 자연 폐사율은 1.6%/월을 적용한 사례가 있다.³³⁾

1988년에 James가 Poultry Science에 발표한 연구결과에 의하면 닭은 100dB 이내의 항공기 소음에는 심장 박동수가 약간 변화할 뿐 전반적으로 피해가 없는 것으로 나타났다. 그러나 115dB에서는 알을 거의 품지 못하며, 120dB에서는 부화율이 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 음압레벨이 95dB 이내의 백색잡음을 소음원으로 사용하여 닭의 체중, 식욕, 행동, 백혈구 내의 임파구 변화 등에 대해 평가한 것을 보면 95dB 이내의 소음은 닭에 피해를 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

나. 닭의 성장에 대한 소음의 영향

Stadelman(1958)은 오전 8시부터 오후 8시까지 녹음한 것을 재생하는 방법으로 항공기 소음을 20분에 5분 비율로, 또 3일째마다 야간에 똑같이 30분에 5분 비율로 2730수의 불고기용 병아리(Broiler 병아리)에게 들려주고, 9주 동안 성장을 비교했지만 그에 따른 영향을 볼 수 없었다고 보고하고 있다. 그 결과를 요약하면 <표 3.6>과 같다. 또한 이 연구에서는 사료요구율도 집계되어 있지만, 이것에 대해서도 소음의 영향을 인정하지 않고 있다.

33) 감정평가연구원, 「환경오염 피해보상에 관한 연구」, 1998

<표 3.6> 불고기용 병아리의 9주간의 체중과 소음과의 관계

구 분		소음강도별 체중(g)			
		실험 I *		실험 II *	
음압레벨 (dB)	65	1,181	1,131	1,128	1,144
	80	1,059	1,109	1,132	1,101
	85	1,062	1,136	1,139	1,120
	83	1,125	1,174	1,133	1,087
	102	1,119	1,126	1,135	1,095
	110	1,078	1,108	1,077	1,148
	115	1,098	1,145	1,119	1,115

주) * : 각 실험을 통해서 2730마리의 병아리를 각 구(區) 2실로 구분

일본에서는 오카모토(1963)가 115phon 이내의 세기를 가지도록 녹음 재생한 제트기의 소음을 오전 7시부터 오후 8시까지 3분 내지 10분 간격으로 계속 들려주어 10주된 백색 레그혼 및 뉴 햄프셔 병아리의 성장경과를 관측한 결과도 거의 이에 준하는 것으로, 성장 및 사육요구에 대해서 소음의 영향은 인정되지 않았다.

그 결과를 요약하면 <표 3.7>과 같다.

<표 3.7> 병아리의 증체량(增體量) 및 사료요구비에 대한 소음의 영향

품 종	처리구분*	시험 마리수	10주까지의 증체율(증체량)**(g)	同사료요구율
백색 레그혼	소음실	44	916	3.5
	대조실	42	908	3.5
뉴 햄프셔	소음실	43	1,137	3.1
	대조실	43	1,176	3.1

주) * : 각실 모두 온도 20℃, 습도 60% RH, 조명 14시간

** : 분수분석 결과 처리에 의한 유의차 없음

자료 : 오카모토, 1963

다. 닭의 성 성숙에 대한 소음의 영향

닭의 성 성숙에 대한 소음 영향에 대해서는 1963년 오카모토가 보고한 사례가 있다(<표 3.8>참조). 이것은 병아리의 산란개시일수에 관한 것으로 초생雛(初生雛 : 갓 나온 병아리)부터 계속하여 상기의 소음 처리를 한 것 외에 16주된 것부터 처리를 시작한 것 그리고 16주 될 때까지 처리를 계속하다가 그 이후에 이를 중지한 것 등을 설정하여 처리사항이 없었던 대조구와 비교 검토한 것이다.

표에서 알 수 있듯이 150일된 병아리의 산란개시율 또는 50% 산란개시한 병아리의 경과일일 경우는 구간차이가 거의 없지만, 180일된 병아리의 산란개시율 또는 100% 산란개시한 병아리의 경과일일 경우에는 양 품종에 공통적으로 차이가 보이고, 16주 이후부터 처리를 시작한 구에 다소 산란개시가 늦어지고 있음이 관찰되었다.

이와 같은 경향으로 보았을 때 순응한 병아리의 성 성숙에는 소음이 별다른 영향을 주지 않는 것으로 판단되지만, 순응하지 않은 일부 병아리는 소음의 불쾌자극에 반응하여 다소 연장되는 예가 있음을 시사하고 있다.

<표 3.8> 병아리의 성 성숙에 대한 소음의 영향

품 종	처리구분	처리 구분	150일경과 산란개시(%)	180일경과 산란개시(%)	50%산란개 시 경과일	100%산란개 시 경과일
백색 레그혼	계속처리	17	29.4	100	154	174
	16주부터 처리	9	44.4	88.9	154	197
	16주에 중지	10	40.0	100	155	167
	처리없음(無處理)	20	35.0	100	163	176
뉴 햄프셔	계속처리	20	60.0	100	146	169
	16주부터 처리	9	55.6	77.8	147	191
	16주에 중지	10	60.0	90.0	148	171
	처리없음(無處理)	20	55.0	100	150	169
계	계속처리	37	45.9	100	154	174
	16주부터 처리	18	50.0	83.3	154	197
	16주에 중지	20	50.0	95.0	155	171
	처리없음(無處理)	40	45.0	100	163	176

라. 산란율에 대한 소음의 영향

사카모토(1960)가 항공기지 주변부락에서 제트기 소음에 의한 영향을 다룬 것이 있다. 소음수준은 130phon 이상이고, 회수는 1시간에 수회 내지는 수십 회라고 기술하고 있다. 1주일간의 조사로는 판단하기 미흡한 부분이 있으나, 산란율에 대해서는 <표 3.9>에서 보는 것과 같이 영향이 꽤 있음을 나타내고 있다.

<표 3.9> 제트기 항공기지 주변부락의 양계 마리수 및 산란수의 변천

(사카모토 외, 1969)

구 분	양계 마리수*		
	제트기 취항 전	제트기 취항 초기	제트기 취항 1년반후
1년 답	40	55	53
2년 답	96	115	88
3년 답	68	37	31
계	204	207	172
100마리 1일 산란수*	76	56	40

*양계농가 3곳의 평균으로, 양계 마리수 및 산란수는 조사 당시 1주간 평균이다.

오카모토(1963)는 산란 개시전부터 처리를 계속한 구(區)와 무처리구(無處理區)에 대해서 산란개시후 2개월간의 산란율을 비교한 것과 산란개시 1개월 후에 처리를 한 구, 마찬가지로 처리를 중지한 구와 산란율을 비교한 것에 대해서 기술하였는데 그 결과는 <표 3.10>와 같다.

<표 3.10> 영계의 산란율에 대한 소음처리의 영향 (오카모토 외, 1963)

품 종	처리구분	시험제공 마리수	산란율(평균+표준편차)%	
			1월	2월
백색레그혼	계속처리	15	78.9±13.1	78.0±17.7
	처리없음(無處理)	15	76.4±13.9	82.9±8.6
뉴 햄프셔	계속처리	18	73.5±10.4	68.9±15.6
	처리없음(無處理)	19	68.1±22.5	69.1±23.0
계	계속처리	33	76.0±11.8	73.0±16.9
	처리없음(無處理)	34	71.8±14.5	75.2±18.3

표에서 보듯이 1월에는 처리구 쪽의 산란율이 높았지만 2월에는 반대로 낮아졌다. 이러한 점을 통해 소음의 누적효과로서 산란지속의 감퇴를 시사하고 있다. 단, 분산분석을 통한 검정에서는 이 경향을 인정하려면 20~30%의 오차를 각오해야 한다는 것도 지적하고 있다. 따라서 통계학적으로는 의미가 있다고 말할 수 없지만 경향으로서는 주목 받을 수 있다.

마. 계란의 중량에 대한 소음의 영향

계란의 중량에 대한 소음의 영향에 대해서는 오카모토(1963)의 검토 예가 있으나, 소음의 영향은 인정할 수 없었다. 단 생산란(生産卵)의 총중량에 대해서는 처리를 계속함에 따라 산란율의 경우와 마찬가지로 다소 영향을 받을 가능성이 있을 것으로 생각되었는데, 산란개시 1개월 후에 처리를 시작한 것과 같은 시기에 이제까지 계속한 처리를 중지한 것을 비교하면 다소 영향이 있고, 1개월 후에 시작한 구가 적은 듯한 경향이 보인다고 서술하고 있다.

바. 이상란의 출현비율에 대한 소음의 영향

이상란의 출현비율에 대한 소음 영향에 대해서는 Stiles and Dawson (1961)의 실험사례가 있는데 1시간당 1분간의 비율로 피리 소리를 들려준 경우와 종일밤 라디오를 들려준 경우에 대해서 계란의 상태를 비교하고, 산란율, 계란 중량, 난각 두께, 난백성 상태 등에 유의차(有意差)는 없었지만, <표 3.11>에 보이는 것처럼 처리구는 대조구보다 혈점란(血点卵)의 출현율이 높았다고 보고하고 있다.

<표 3.11> 혈점란의 출현비율에 대한 이상음의 영향

(Stiles and Dawson, 1969)

항 목	높은 피리소리	라디오	낮은 피리소리	대 조
계란 수	506	462	417	468
혈점란(%)	8.45*	9.74**	9.11*	4.70

* 5% 수준, ** 1% 수준으로 대조와의 유의차

사. 수정을 및 부화율에 대한 소음의 영향

수정 및 부화율에 대한 소음의 영향을 살펴보면 Stadelman(1958)은 부화기의 내부에 96dB의 세기로 진동소음(외부에서는 120dB)을 20분간 5분의 비율로 처리했는데 수정란의 부화율에는 전혀 영향이 없었다고 보고하고, 업계에서는 우려할 필요가 없다고 지적했다.

Kosin(1958)은 120dB의 항공기 소음을 녹음 재생하고 오전 8시부터 오후 8시까지 20분에 5분 비율로, 또 3일마다 종일밤 30분에 5분 비율로 6마리의 뉴햄프셔 수탉에게 처리하고, 같은 숫자, 같은 품종의 수탉을 대조(對照)로 하여 사정량(射精量), 정자농도, 정자 이상율 등에 대해 처리의 영향을 비교 검토했지만, 처리구와 대조구 사이에 유의차는 보이지 않았다고 보고하고 있다. 그러나 이들 수탉에서 채취한 정액(평균사정량 1.1~1.2cc)을 0.1cc씩 백색 레그혼 암탉들(수탉 1마리당 10~12마리 정도가 된다)에게 1회 주입하여 수정란의 부화율을 검토한 결과, <표 3.12>에 나타난 것과 같이 처리구의 부화율은 대조구와 비교하여 약간 낮다고 지적했다.

<표 3.12> 수정란의 부화율에 관련하여 수탉에 대한 소음 처리 영향

(Kosin, 1958)

수정시기	처리구분	알이 들어서는 숫자	수정란 부화율(%)
1954. 10. 12	처리없음(無處理)	184	86.1
	소음처리	180	73.8
1955. 1. 26	처리없음(無處理)	199	81.8
	소음처리	210	76.2

아. 기타 실험사례

또 다른 실험에서 암탉에 미치는 소음레벨을 알아보기 위해 화이트 레그혼 산란계에 경음악 수준인 주파수 0.5~1.0kHz, 70dB의 음으로 자극을 시킨 뒤, 주파수를 2~5kHz증가시켰더니 산란율이 떨어졌다. 또한 90dB 강도의 소리에 주파수 0.5~2kHz(특히 2~5kHz)를 들려주었더니 유해한(Harmful) 결과가 나타났다. 여러 산란단계에 있는 산란계의 소음원으로 전기 종소리와 소방서 사이렌을 이용하였다. 83dB의 소음이 계란생산에 영향을 미친 반면에, 반대로 84dB 이상에서는 공포와 소음이 나는 쪽으로 꿈쩍 않고 응시하는 행동의 변화가 있었다. 일반적으로 소음에 스트레스를 받은 암탉은 혈중 비타민 C의 함유량이 낮다고 하지만, 본 실험에서는 불규칙적이었고 어떤 경우는 소음레벨과 역비례하는 경향을 보였다.³⁴⁾

<표 3.13> 각종 소음원이 닭에게 미치는 영향

소 음 종 류	음압레벨 (dB)	영 향	비 고
교통소음	90~110	육추기부터 시작하면 영향없음	
모의 소닉붐	156.3	19일 경과된 병아리 체중 감소	Jehl and Cooper, 1980
일반 소음	100	혈장내 11-hydrocorticosteroid의 증가	Borg 1981
항공기 공중분열의 녹음	115	알품기의 방해	Stadelman 1958
항공기 소음	3일 이상	소음 스트레스로 인해 암탉이 모이와 물을 먹지 못함	Hamm 1967

3.2.3 돼 지

가. 일반적 피해특성

일반적으로 동물체는 외부환경(온도, 습도, 기압, 소리, 진동 등)의 변화 및 내부 환경(실혈(失血), 저혈당, 사료의 양적·질적인 실조 등)의 변화, 기타 과도한 노동,

34) Veterinary Bulletin, 1977~1986

정신과로 등 외부 자극에 대해 자기의 전력을 다해 이러한 이상 상태에 대항하여 생리적 기능에 지장이 없도록 동적 평형을 유지하여 (적응성을 획득) 생활해 간다.

그런데 이들 자극이 너무 강하다던가 혹은 그리 강하지 않더라도 기간이 길어지게 되면 자기가 가지고 있는 생리적 적응상태에 지장을 초래하여 병적 상태가 되는데, 가축 중에서도 특히 돼지는 성돈(成豚)의 출하까지 불과 210여일 밖에 되지 않아 그 발육속도는 극히 큰 동물임에도 불구하고, 섬세한 신경을 가지고 있어서 환경의 변화 또는 외부 자극에 대한 반응이 예민하게 나타나고, 증체(增體) 억제량이 현저하다.

계속적인 소음이나 진동 등 갑작스런 환경변화에 놀라 공포감을 느끼며 신경이 날카로워지고 호흡과 심장박동이 빨라지며 식욕저하, 수태율 및 산자수의 감소 등의 현상이 발생하고, 임신돈은 조산, 유·사산 또는 발육부진의 자돈생산 등과 모돈의 경우 신경 불안으로 압사, 스트레스에 의한 무유증 등이 발생하기도 한다.³⁵⁾ 돼지가 스트레스를 받으면 초기증세로 근육과 꼬리의 경련이 생기며, 중기증상으로는 호흡장애, 피부의 붉은 반점, 체온 상승, 청색증(Cyanosis) 및 산중독 현상이 나타나고, 말기에는 허탈증, 근육 강직, 고열증세 후 쇼크와 같은 상태에서 급사하게 된다.

돼지의 청각은 저주파보다는 고주파에 대한 감도가 더 높은 편이며, 돼지가 들을 수 있는 감도의 한계는 약 9dB로 사람보다 다소 둔감한 편이지만, 사람이 약 20kHz를 들을 수 있는 반면에 돼지는 40kHz 이상의 주파수까지 들을 수 있다.³⁶⁾

나. 돼지의 생산 및 번식 기능에 대한 소음의 영향

미국 농림부에서 발표한 소음이 돼지에 미치는 영향 평가의 연구결과(<표 3.14>)에 의하면 돼지는 120dB 정도의 소음에 심장 박동수가 약간 변화할 뿐 전반적으로 피해가 없는 것으로 나타났다.³⁷⁾ 또한 <표 3.15>는 미국 공군의 Engineering and Services Center와 내무부의 Fish and Wildlife Service에서 수집 보고한 문헌자료인데 여기서도 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.³⁸⁾

35) 三村耕외, 「家畜管理學」, 養賢堂, 1981

36) Kiley, 1972 ; Walser, 1982

37) U.S. Department of Agriculture, 「Technical bulletin」, No.1280, 1963

38) U.S. Air Force and U.S. Department of the Interior, "Effects of Aircraft Noise and Sonic Booms on Domestic Animals and Wildlife: A Literature Synthesis", 1988

<표 3.14> 다양한 소음원이 돼지에 미치는 영향 I

시 험 방 법			영향평가 및 결과
소음신호유형	음압레벨 (dB)	시 험 내 용	
- 정현파 - sweep sine - 비행기 소음 - 돼지 음성	100~135	- Heart rate의 영향 · 소음크기에 따른 효과(100-135dB) · 주파수에 따른 효과 (50-2,000Hz)	→ · 크기에 따라 HR 증가 · 심전도 패턴은 일정 → 400, 1000, 2000Hz에서 HR 약간 증가
	104~120	- Behavior(젓먹이)	→ 놀람-시도(젓)-무관심
	120~130	- 생식작용	→ 지장을 초래하지 않음
	120~135	· 교미 · 분만 - 사료량, 몸무게 - 청력손실 - 부신피질, 갑상선	→ 새끼돼지 몸무게 정상 → 정상 → 체트기 및 프로펠러 비행기 소음에 영향 無 → 변화가 없음

자료 : U.S. Department of Agriculture, technical bulletin No. 1280(1963)

<표 3.15> 다양한 소음원이 돼지에게 미치는 영향 II

소음 유형 및 음압레벨	결 과	비 고
일반 소음(108~120dB)	호르몬계에 영향: 혈장 11-OH- 스테로이드 호르몬과 카테콜아민 증가; 코르티코스테로이드 수준 감소	Borg 1981
일반 소음(93dB)	Aldosteronism (부신으로부터의 aldosterone 과다분비에 의한)	Dufour 1980

자료 : U.S. Air Force and U.S. Department of the Interior, 1988

다. 비육돈과 태아에 대한 소음·진동 영향

일본에서의 연구사례³⁹⁾에 의하면 건설작업으로 발생하는 소음·진동 수준이 소

39) 와다 히로시, 오카야마 대학 농학부

음의 경우 90dB(A), 진동의 경우 65dB(V)에 상응하는 수준일 때 돼지의 발육량에 영향을 미치는 것으로 보고되었고, 저해정도는 「대체로 발육량의 20% 상당 감소」라고 결론짓고 있다.

또한 소음, 진동에 의해서 받는 증체(增體)억제 영향은 호르몬 분비와의 상관관계, 그리고 사료 이용성의 저하 등에 기인하는 발육 억제의 비육 장애는 그 영향 기간에 따라 각각 차이가 보여지는데, 체감률은 반드시 일정불변이 아니고 동물적 순응성이 영향을 준다고 하였다. 즉 동물적 습성에서 보여지는 순응성에 따라 변화하는데, 그 비율은 일반적으로 공사 영향기간이 10일 이하에서 10%, 30일 이하에서 15%, 그 이상에 대해서는 20% 정도임을 제시하였다.

그리고 태아가 받는 영향은 공사 영향일수에 따라 다르게 나타나는데 이것은 이미 말한 순응성에 따라 그렇게 커다란 차이를 보이지는 않는다. 일반적으로는 모돈 1두당 한 배(腹)로 정상 분만하는 출생수는 약 13두인데, 여기서는 약 9두가 생존 육성된 결과 약 20% 정도가 사산, 유산이 되었다고 한다.

라. 기타 실험사례

그외 국외의 몇몇 실험 사례⁴⁰⁾⁴¹⁾를 살펴보면, 비육돈에 환풍기, 펌프, 급수와 난방장치에서 발생하는 0.5~6kHz 주파수대의 80~90dB 음압레벨을 장기간 적용한 결과, 높은 폐사율과 절박도살 외에도 신경흥분, 설사, 호흡 및 순환장애가 나타났으며, 소음에 의한 사료소비량은 16% 증가한데 비해 증체량(평균체중)은 13% 감소하는 역효과를 보였다. 또한 수송 중인 돼지에 미치는 진동과 소음에 관해서 시뮬레이터로 실험한 결과, 진동은 피하려고 하나 소음은 그렇지 않았다. 특히 진동이 빠르거나 실험 전에 많이 먹었을 때는 진동을 더욱 싫어했다.

10두의 방목한(옥외) 모돈과 11두의 개체별 독립우리(옥내)에 있는 암돼지에 군항공기는 500피트, 헬리콥터는 80~100피트 상공을 통과시켰더니, 소음에 적응하여 사고나 유산은 일어나지 않았다. 그러나 혈장내 부신피질호르몬은 증가되었고, 소음반응에는 개체별 차이가 있었다. 자돈에 65dB(A)의 소음이 나는 환풍기 설치 결과, 이유자돈들에게는 역효과가 났으며 10일이 지나도 적응하지 못한 결과를 보였다.

40) 조명래, 「소음공해와 수의사」, 대한수의사회지, 제34권 제11호

41) Veterinary Bulletin, 1977~1986

또한 육성돈(poker) 50두에 발전기 소음(101~105dB)을 매일 정시에 30분씩 21주간 발생시켰을 때, 대조구에 비해 체중은 17%이상 감소했으나 심박수의 증가, 실험 첫 주에는 티록신 분비의 증가, 실험 첫주와 아홉번째주에는 혈청콜레스테롤의 증가가 있었다. 소음에 장기간 노출되었지만 두드러진 역효과는 나타나지 않았다.

3.2.4 기타 가축과 동물

Vaughan 및 von Lirer(1940)는 개의 Pavlov 위(胃)에서 5시간동안 100dB의 소음을 들려 주었을 때 소음에 대한 반응을 관찰하였다. 600Hz의 주파수의 경우 4마리중 1마리에서 위산도의 감소를 관찰하였고, 2,000Hz에서는 2마리에서 위액 분비량과 위산도의 감소를 관찰하였으나, Total Chloride와 pH는 변화가 없었다. 또한 猿田(1956)은 토끼와 개에게 95dB의 Buzzer 소음에 2시간 노출되었을 때 호흡수와 혈압 및 혈청 Cholinesterase의 활동치가 증가하고 위액의 분비량과 위의 수축회수가 30% 감소되었으나, 위액의 산도에는 특별한 변화가 없었다고 보고한 바 있다.

체중이 10~15kg의 국내산 집견 6마리를 2군으로 나누어 위저부(胃低部)를 절개하여 신경지배를 차단한 Heidenhain 위루(胃樓)와 위저부(胃低部)에 위관(Canule)을 삽입한 단순성 위루를 작성하여 수술창(手術創)이 완전히 치유된 후에 항공기소음 100phon에 30분간 폭로후 위의 유리산도(遊離酸度)를 계측 관찰한 바는 <표 3.16>과 같다.

<표 3.16> 섭식과 소음자극간에 위산분비 변동에 관한 비교 관찰

처 치	실험 회수	- 유 리 산 도 (mEq/L) -					
		-30	-15	15	30	60	90분
대조군	2	45	48	73	103	107	76
Heidenhain 위루군	5	26	29	30	29	34	32
단순성위루군	8	36	32	48	41	43	42

* 단, 대조군은 500g의 음식 급여(소음 비폭로), Heidenhain 위루군과 단순성 위루군에는 30분간 100phon의 항공기 소음에 폭로시킴

자료 : Data modified from reference(Kim, 1967)

표에서 보는 바와 같이 소음폭로 후 Heidenhain 위루군(胃癭群)과 단순성 위루군은 실험폭로 전에 비하여 위의 유리산 분비에 유의한 변동이 없었으나, 대조구에 게 500g의 음식을 급여한 후에는 급식 전에 비하여 급식 후 30분에서부터 60분까지 사이에 약 100% 이상 증가를 보여 소음이 위산 분비에 큰 변동을 주는 것으로 볼 수 없었다. 이상의 결과는 Vaughan 및 von Lirer(1940) 그리고 猿田(1956)의 보고와 그 실험동물과 방법에 다소 차이가 있더라도 그 결과가 일치되는 경향을 보이고 있다.

하수체로부터 방류되는 성선(性腺) 자극 호르몬의 양은 체내의 조건에 좌우될 뿐만 아니라 소음 등의 외부환경에 의해서도 영향을 받는다. 일반적으로 스트레스는 성선 자극 호르몬의 분비를 억제하여 성기위축을 일으킨다고 되어 있지만 소음은 성선 자극 호르몬의 분비를 촉진하고, 성선기능은 억제한다는 연구 결과⁴²⁾가 있다.

빛, 소리, 전기충격의 3종류의 스트레스 요인을 동시에 쥐에게 가하여 수태율의 저하(비교 그룹 100%에 대해 85.1~94.5%), 출산율의 저하(비교 그룹 96.7에 대해 74.3~90.6%), 사산율의 상승(비교 그룹 1.9%에 대해 10.3~18.6%), 태어난 새끼의 생존율의 저하(비교 그룹 3.0%에 대해 8.5~15.6%), 기형발생율의 상승(비교 그룹 0.7%에 대해 11.4%)을 확인하였다⁴³⁾. 3종의 스트레스 요인을 따로 작용시켜도 마찬가지로 경향이 확인되고, 그 중에서도 소음의 영향이 가장 강하였다.

소음에 의한 스트레스가 시상하부-부신피질계에 전달되는 경우, 분비가 증가한 부신피질 호르몬이 아주 이상한 특성을 나타내거나, 소음에 의해 혈관수축이 일어나 자궁혈류를 감소시켜⁴⁴⁾ 생식기능에 영향을 미친다고 생각된다.

국내에서는 체중 200g 내외의 흰쥐 24마리를 대상으로 하여 24시간 절식시킨 후 유문부를 관찰하였고, 이중 14마리를 항공기소음(녹음) 100~200phon에 3시간 동안 노출시킨 후 20시간이 지난 후에 개복한 결과 대조구에서는 44.4%의 궤양이

42) I. Tamari, 「Audiogenic Stimulation and Reproductive Function」, B.L. Welch and A.S. Welch(eds.), 「Physiological Effects of Noise」, p.117, Plenum Press(1970)

43) A. Arvay, 「Effect of Noise during Pregnancy upon Foetal Viability and Development」, B.L. Welch and A.S. Welch(eds.), 「Physiological Effects of Noise」, p.91, Plenum Press (1970)

44) W.F. Geber, 「Cardiovascular and Teratogenic Effects of Chronic Intermittent Noise Stress」, B.L. Welch and A.S. Welch(eds.), 「Physiological Effects of Noise」, p.85, Plenum Press(1970)

발생한데 비하여 소음폭로구에서는 보다 심한 병변(病變)이 관찰되었으며, 이 때 채취된 위액의 산도는 대조구에 비하여 낮았고, pepsin의 농도간에는 유의한 차이가 없었다.

임신된 암말 11두(6두 : 32~118일 5두 : 300~321일의 임신기간)가 사육되는 작은 목장(paddock) 상공에 11~12일 간격으로 3일 동안 3회 팬텀기의 상공통과와 30~300피트의 높이에서 20~40분간 헬리콥터를 정지시켜 소음을 일으켰다. 상공 통과시 총 혈장 코티코이드가 크게 상승하고 심박수도 크게 증가하였으나, 에스트로겐과 푸로게스테론의 혈장용량엔 변화를 보이지 않았다. 3일 연속 상공 통과시 심한 스트레스가 나타났으나, 유산이 될 사고나 손상은 없었다.⁴⁵⁾

<표 3.17>은 각종 소음이 기타 가축과 동물들에게 미치는 영향을 요약한 것이다.⁴⁶⁾

<표 3.17> 각종 소음이 기타 가축과 동물들에게 미치는 영향

종		소음 유형 및 음압레벨	결 과	비 고
가 축	염소	체트 소음	유생산량 감소	Sugawara 등 1979
	양	백색소음(100dB)	높은 heart rate와 respiration rate; 사료효율 저하	Ames, Arehart 1972
		백색소음(90dB)	갑상선 활동 저하	Ames 1978
		일반 소음(4kHz, 100dB)	corpora lutea 수 증가	Ames 1978
가금류	일본 메추라기	일반 소음 (100~8,000Hz, 80dB)	부화가 빨라짐	Woolf 외, 1976
실험용 설치 동물	Guinea pig	일반 소음(128dB SPL); 가상 소닉 붐(130dB)	해부학적 청력 손상; 청력 손실	Beagley 1965; Hajeau-Chargois 등 1970
	쥐	모의 소닉 붐	청력 손상; 내이 출혈	Reinis 1976
		간헐적 소음(110dB)	순환하는 호산성 백혈구의 감소; 부신의 활성화	Anthony, Ackerman 1955
		녹음된 지하철 소음 (110dB SPL)	임신간격 증가; 새끼의 저체중; 유산, resorption, 기형 발생율 증가	Busnel, Holin 1978
		일반 소음(106dB)	기형발생에 영향	Ishii, Yokobori 1960

45) 조명래, 「소음공해와 수의사」, 대한수의사회지, 제34권 제11호

46) U.S. Air Force and U.S. Department of the Interior, "Effects of Aircraft Noise and Sonic Booms on Domestic Animals and Wildlife: A Literature Synthesis", 1988

<표 3.17> 계 속

종		소음 유형 및 음압레벨	결 과	비 고
실험용 설치 동물	쥐	일반 소음(105dB SPL)	청력 손실; 내이 구조 손상	Moller 1978; Borg 1979, 1981
		일반 소음(80dB SPL)	혈관 수축	Borg 1978a, b, c
		일반 소음(1kHz, 95dB)	갑상선 활동 억제	Fell 등 1976
		일반 소음(120Hz, 95~105dB)	혈액 중 글루타티온 수준 감소, 부신의 중량과 아스코르브산(비타민 C)의 증가; 전체 부신 콜레스테롤 감소	Jurtshuk 등 1959
		간헐적 소음(95dB)	소변 내 카테콜아민 분비 증가; 혈장 내 자유 지방산 증가; 부신 중량 증가; 성장 억제	Hrubes, Benes 1965
		전자 벨(95~100dB)	난소 확장; 지속적인 발정; 여포성 혈종	Zondek, Isacher 1964
실험용 토끼	집토끼	백색 소음(107~112 dB)	부신 중량 증가; 비장, 가슴샘 중량 감소	Nayfield, Besch 1981
		전자 벨(95~100 dB)	난소 확장; 지속적인 발정; 여포성 혈종	Zondek, Isacher 1964
육식 동물	집 고양이	시끄러운 실험실	청각역의 변화; 내이의 유모세포의 손실 또는 손상	Liberman, Beil 1979
		일반 소음(100~1,000Hz)	청각역의 변화	Miller 등 1963
	집 개	갑작스러운 큰 소음	혈장 코르티코스테로이드 농도의 증가	Stephens 1980
	사육 밍크	모의 소닉 붐 (167~294 mN/m ²)	잠시 놀란 반응	Travis 등 1974
	이리/ 회색곰	낮은 고도의 고정익 항공기와 헬리콥터	놀란 반응; 달림	Klein 1973
기타 포유류	붉은털 원숭이	일반 소음(Leq(24): 85 dB)	혈압 증가	Peterson 등 1981
실험용 조류	카나리아	백색 소음(95~100dB SPL)	청력손실(20~60dB)	Marler 외, 1973

3.2.5 문헌자료 검토 결과 및 분석

본 절은 건설소음, 항공기 소음, 폭격음 등이 가축에 미치는 영향에 대한 연구자료 및 실험사례를 살펴보았으나 연구결과가 반드시 일치하지 않았다. 이는 실험의 규모, 실험의 환경, 사료의 질과 양, 관리상태 및 개체가 다른이상 당연한 것으로 생각된다. 또한 대부분의 연구사례가 피해구와 대조구를 설정한 뒤 상호비교한 것인데 조사대상 농가 가축의 유전적 능력을 일치시키고 사육관리 등의 생산조건을 동일하게 하는 일과 같이 각종 가변적 요소에 대한 조건을 동일시하기 어려운 현장에서의 시험·연구결과는 더욱 그러하다.

그럼에도 불구하고 몇 가지 뚜렷한 특징을 발견할 수 있는데, 먼저 소음원의 특성과 가축의 상태에 따라 다소의 차이는 있을 수 있으나 항공기 소음 등과 같이 음압레벨의 변동폭이 적은 소음보다는 음압레벨의 변동폭이 큰 충격성 소음에 대부분의 가축이 민감하게 반응하였고 동일한 세기의 소음이라도 주파수 특성이 다를 경우에는 피해 정도가 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이를 축종별로 살펴보면 다음과 같다.

먼저 젖소의 경우 100~115dB(A)의 항공기 소음에 18.8%의 우유생산량이 감소하였으나, 90~110dB(A)의 경기장 소음에는 30~50%의 우유생산량이 감소하였다는 사례가 있었다. 소음레벨은 상대적으로 낮지만 충격적이고 순간적으로 발생하는 소음이 피해규모가 더 클 수 있음을 보여주는 사례이다. 헬리콥터를 공중에 정지시켜 임신한 소를 긴 소음에 노출시키거나 제트 전투기를 통과시켜 짧은 소음을 일으킨 결과 혈중 부신피질 호르몬이 크게 증가하고 4두는 조산하였지만, 임신하지 않은 소는 곧 정상으로 회복한 사례에서는 세기와 빈도가 같은 동일한 소음원일 경우라도 가축의 상태에 따라 반응이 확연히 다를 수 있음을 확인할 수 있었다.

닭의 경우에도 비슷한 결과를 보임을 알 수 있는데 육계의 경우 음압레벨이 95dB 수준에서도 별다른 피해를 입지 않는 것으로 나타났으나, 산란계의 경우에는 70dB 수준에서도 산란율이 떨어지는 현상을 보였다. 또한 동일한 음압레벨일지라도 0.5~1.0Hz 범위의 음보다는 2~5kHz의 음에서 산란율이 더 떨어지는 것으로 나타난 사례에서는 음의 주파수특성도 피해에 직접적인 관계가 있음을 살펴볼 수 있었다.

돼지의 경우 음압레벨이 120~130dB 수준인 항공기 소음에 대해서는 전반적으

로 피해가 없는 것으로 나타나지만 그 보다 음압레벨이 낮은 건설소음이나 기계소음에는 발육량 감소나 체중감소의 피해가 있는 것으로 조사되어 마찬가지로 소음원의 특성과 노출기간에 따라 반응이 다를 수 있었다. 또한 여러 실험사례에서 소음수준에 대한 반응도를 살펴보면 대체로 비육돈보다는 새끼돼지가 더 민감하게 반응하는 것으로 나타나 전술한 축종에서와 같이 가축의 종류와 상태에 따라 피해임계수준에 차이가 있을 수 있고 따라서 피해양태 및 규모도 다를 수 있음을 추정할 수 있었다.

3.3 국내 가축 소음피해 분쟁사례

3.3.1 소음·진동 문제로 인한 분쟁현황 및 추이

우리나라에서는 소음·진동으로 인한 피해의 현황이 체계적으로 조사된 바 없으므로 중앙환경분쟁조정위원회의 소음·진동 피해분쟁조정 신청현황과 각 시·도의 소음·진동피해 민원현황 등을 통하여 우리나라에서 문제가 되고 있는 소음·진동피해에 대한 현황을 개략적으로 추정할 수 밖에 없다.

<표 3.18> 중앙환경분쟁조정위원회 조정신청현황 (오염원인별)

(단위 : 건수)

구 분	계	소음·진동	대 기	수 질	해 양	비 고
계	401(100%)	312(78%)	47(12%)	33(8%)	9(2%)	
2000	70(100%)	59(84%)	6(9%)	5(7%)	-	
'99	82(100%)	71(87%)	6(7%)	5(6%)	-	
'98	61(100%)	55(90%)	4(19%)	2(3%)	-	
'97	47(100%)	36(77%)	9(14%)	2(4%)	-	
'96	50(100%)	41(82%)	7(13%)	2(4%)	-	
'95	30(100%)	18(60%)	4(13%)	7(23%)	1(4%)	
'94	15(100%)	10(67%)	2(13%)	3(20%)	-	
'93	43(100%)	21(49%)	9(21%)	5(12%)	8(18%)	
'91~'92	5(100%)	1(20%)	1(20%)	3(60%)	-	

자료 : 환경부 중앙환경분쟁조정위원회, 환경분쟁조정사례집(2000년)

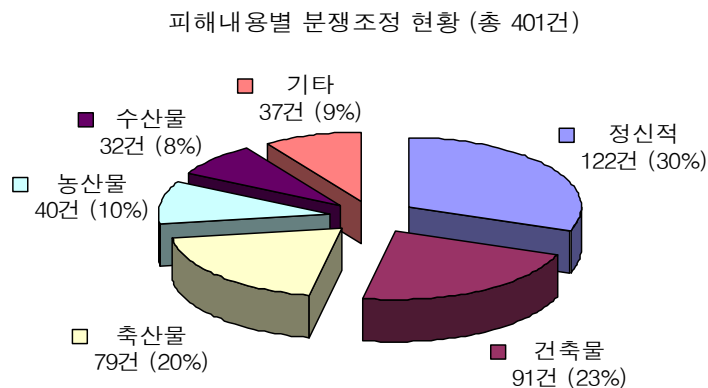
1991년부터 2000년까지 중앙환경분쟁조정위원회에 조정 신청된 환경분야의 분쟁현황을 살펴보면, <표 3.18>에 나타난 바와 같이 총 401건 중 소음·진동분야가 312건으로 그 구성비율이 78%에 이르고 있다. 1993년 이전까지는 소음·진동분야의 구성비율이 50% 이하였으나 점차 그 비중이 증가하여 1998년에는 90%에 달하고 있어 환경분쟁 원인의 대부분이 소음·진동임을 알 수 있다. 아울러 이러한 추

세는 앞으로도 당분간 지속될 것으로 예상된다.

소음·진동 분쟁조정 신청건수 중 피해내용별 추이를 살펴보면, 건축물 및 정신적 피해가 총 건수의 중 53%로 과반수 이상임을 알 수 있고, 가축피해는 그 비율이 20%에 달하고 있다.(<그림 3.1> 참조)

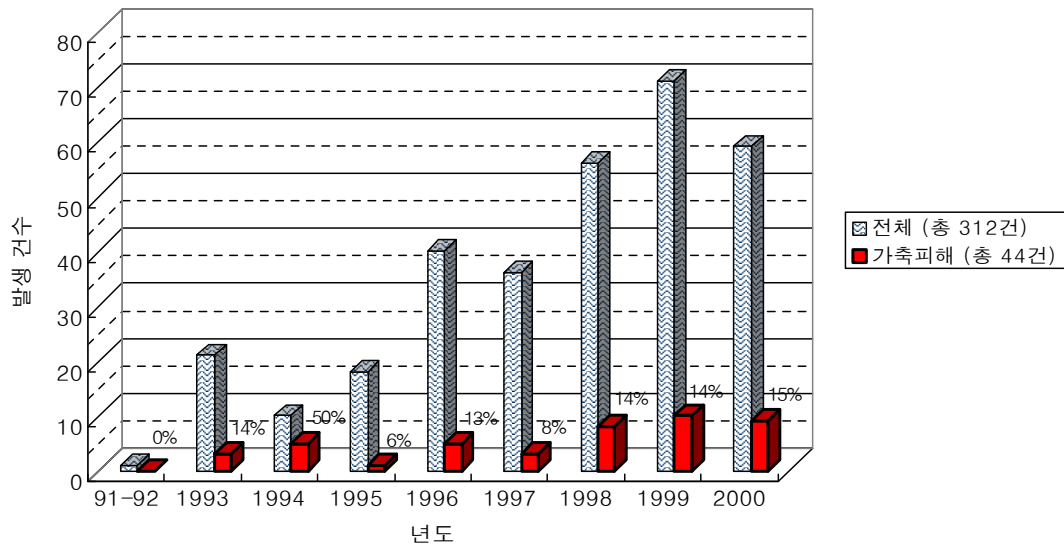
소음·진동에 대한 이러한 피해 건수들은 당사자간에 합의가 된 경우 및 민사소송으로 해결된 경우를 제외한 것이므로 우리나라의 전체적 소음·진동피해의 양상을 대표한다고 볼 수는 없다. 따라서 실제로는 피해건수가 훨씬 더 많을 것이고, 피해 내용도 다양할 것으로 추정된다.⁴⁷⁾

<그림 3.2>는 가축피해에 대한 연도별 발생건수를 나타낸 것으로 최근 2~3년간에 있어서 가축피해의 분쟁사례가 상대적으로 급증하고 있음에 주목할 필요가 있다.



<그림 3.1> 피해 내용별 발생건수

47) 백용진, 「건설공사관련 소음·진동 민원의 현실태와 대책」, 대한 건축학회지, 1998

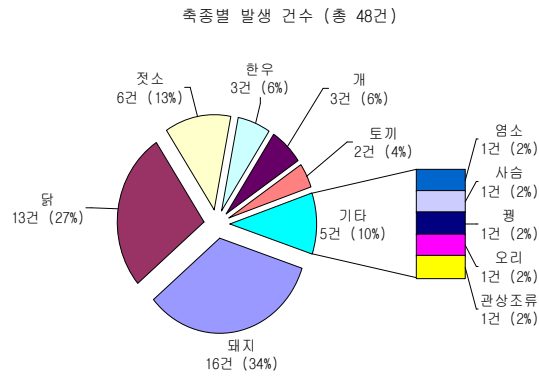


<그림 3.2> 소음진동에 의한 가축피해에 대한 연도별 발생건수

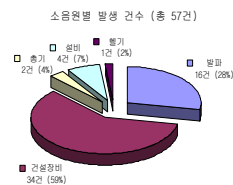
3.3.2 가축피해 분쟁사례 분석

먼저 <그림 3.3>은 <그림 3.2>의 1993년부터 2000년까지 가축피해 분쟁 사례 (총 44건)를 축종별로 재분류하여 살펴본 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 돼지가 16건(34%)으로 가장 많고, 닭이 13건으로 27% 수준이며, 젓소와 한우가 9건으로 20%를 차지해 우리나라 대표적인 축종이라 할 수 있는 돼지, 닭, 젓소(한우)가 전체 발생건수의 80%를 차지함을 알 수 있다. 단, 여기서 발생건수가 48건으로 4건이 증가한 것은 동일한 분쟁사례에서 피해 축종이 2종류일 경우는 발생건수를 2건으로 처리하였기 때문이다.

<그림 3.4>는 가축피해 분쟁 사례를 소음원별 발생건수로 재분류하여 살펴본 것이다. 여기서도 분류된 발생건수가 57건으로 분쟁사례보다 많은 것은 <그림 3.3>에서와 같이 동일한 분쟁사례에서의 소음원이 두 가지 종류일 경우 발생건수를 2건으로 처리하였기 때문이다. 발과를 포함한 건설관련 소음원에 의한 발생건수가 50건으로 전체의 87%를 차지해 대부분으로 나타났고, 총기 및 항공기 관련 소음원에 대한 발생건수는 최근에 새롭게 나타나는 분쟁 현상으로 추후 분쟁건수가 증가할 것으로 예상된다.

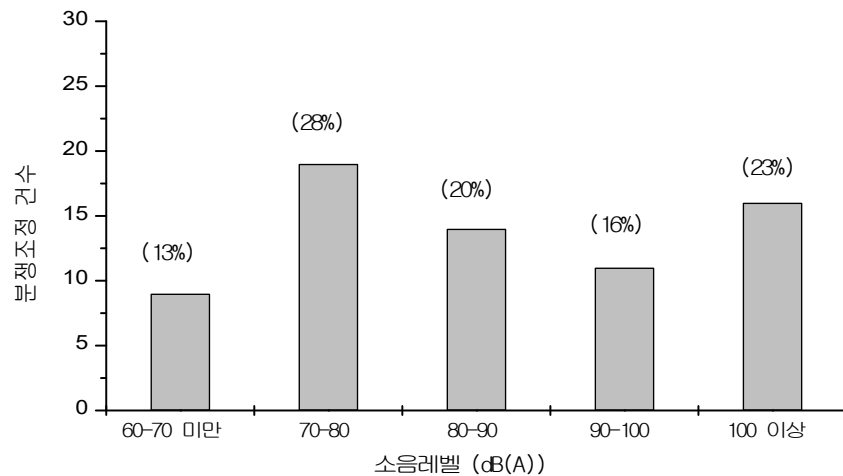


<그림 3.3> 축종별 분쟁조정 건수



<그림 3.4> 소음원별 가축피해 분쟁조정 건수

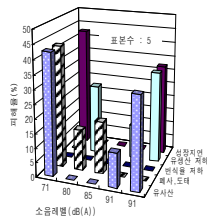
<그림 3.5>는 가축피해 분쟁조정사례를 소음레벨별 분쟁조정 분포로 살펴본 것이다. 소음레벨이 70dB(A) 이상인 경우가 전체 사례의 87%를 차지하며 60dB(A) 이상~70dB(A) 미만 사이는 약 13%로 분쟁사례 건수 자체가 희박하고 60dB(A) 미만에서는 축종에 상관없이 피해사례가 없었다.



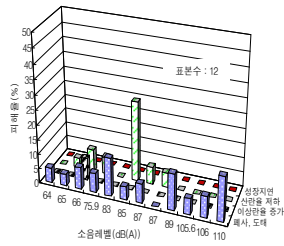
<그림 3.5> 평가 소음레벨별 분쟁조정 건수

<그림 3.6>은 가축피해 분쟁조정사례에서의 피해유형별 소음레벨 대 피해율 분포를 나타낸 것이다. 자료는 분쟁조정사례 중 해당 축종의 사육두수와 피해두수가 동시에 언급된 자료를 사용하였으며 피해율은 ‘피해두수/사육두수×100’으로 구했다. 그러나 사육두수의 경우 피해기간 중의 평균 사육두수를, 피해두수는 총 피해두수를 언급하는 자료가 대부분이라서 피해율 100%가 넘는 자료가 많았다. 이로 인해 통계분석을 위한 정확한 피해율 자료의 표본수를 확보할 수가 없었다.

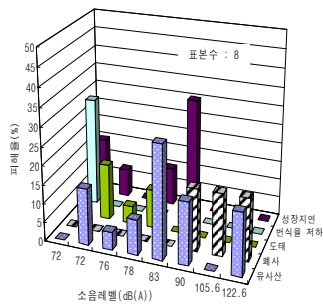
따라서 소음레벨과 피해율의 관계는 피해율을 확인할 수 있는 자료를 이용하여 축종별, 피해유형별로 경향만을 살펴보았다. <그림 3.6>을 보면 돼지와 닭의 경우 몇몇 사례를 제외하면 소음레벨이 증가할수록 피해율도 증가하는 경향을 엿볼 수 있으나, 소의 경우는 뚜렷한 경향이 보이지 않는다.



(a) 소 (한우, 젖소)



(b) 닭



(c) 돼 지

<그림 3.6> 분쟁조정사례에서의 각 피해유형별 소음레벨 대 피해율 분포

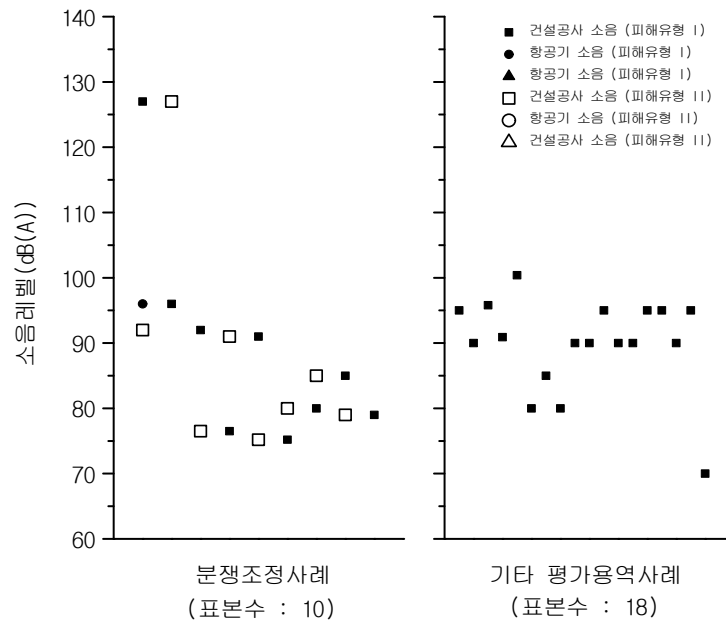
3.3.3 가축 피해특성 분석

본 절에서는 가축의 소음피해 유형에 대한 일반적 경향을 살펴보기 위해 여러 면에서 통계적 분석에 대한 시도를 실시하였다. 이는 가축의 소음피해에 대한 연구에서 가축이 인간과 마찬가지로 개체차가 있어 반응도 각각 다르기 때문에 대량 관찰에 의한 통계학적 방법 이외에 연구방법은 없을 것이라 생각하였기 때문이다. 하지만 최근 가축피해에 대한 조정 신청건수의 급증에도 불구하고 다른 피해유형에 비해 여전히 건수가 적고 국외에서 발표된 사례도 통계적 처리를 위한 데이터로써 활용하기엔 건수나 내용면에서 미흡한 면이 없지 않았다. 일단 표본수가 부족하고 축종별 피해율, 적용기준의 다양성 혹은 모호성 등으로 인해 통계적으로 유의한 자료를 획득하기는 상당히 어려웠다.

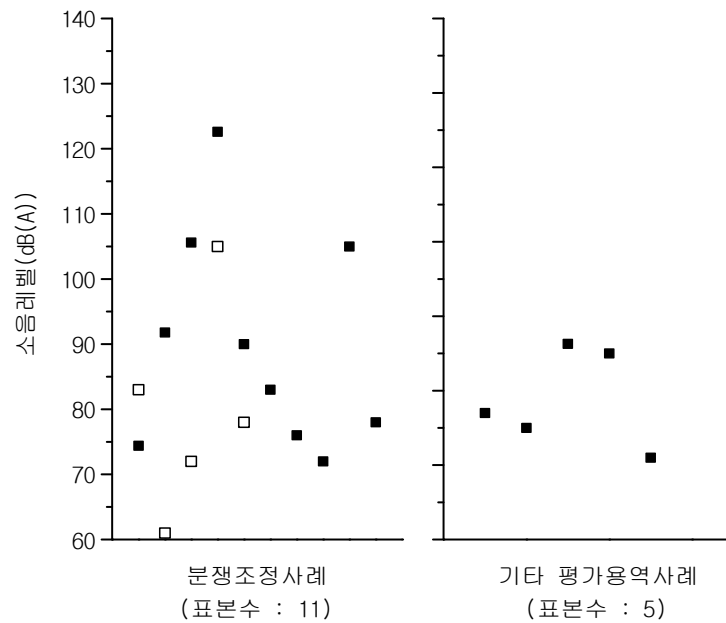
따라서 본 절에서 언급하는 통계적 처리에 따른 결과는 추후 지속적인 보완 연구가 필요할 수도 있을 것이다. 그런 의미에서 본 연구팀은 보다 많은 피해사례를 제시하기 위해 노력하였고 미진하지만 이러한 통계적 처리에 대한 시도가 이 분야에 대한 국내 연구의 시발점이 될 수 있을 것으로 확신한다.

<그림 3.7>은 국내의 소음에 의한 가축피해 사례를 축종별로 최대 평가소음수준에 따라 나누어 본 것이다. 여기서 소음원은 건설소음, 항공기소음, 기타 소음으로 분류하였고, 채워진 기호는 폐사 혹은 유·사산과 같은 피해유형 I을 의미하며 채워지지 않은 기호는 유량감소, 성장지연, 증체량 감소와 같은 피해유형 II를 의미한다. 또한 동일한 사례에서 피해유형 I, II가 동시에 발생한 경우는 각각 해당 기호로 표시하였다.

눈에 띄는 몇 가지 특징을 살펴보면 사례의 대부분이 건설 소음에 의한 피해와 피해유형 I을 나타내었고 60~70dB(A) 범위의 수준에서도 일부 피해사례가 있는 것으로 발표되거나 피해를 인정한 사례가 간혹 있으나, 대부분은 70dB(A) 이상의 수준에서 피해가 인정된 것을 알 수 있다. 60~70dB(A) 소음레벨 범위의 피해사례도 자세히 살펴보면 우선 피해사례가 각각 1건인 소와 돼지의 경우, 소음원이 밭과 소음 외 진동이 수반된 경우임을 알 수 있고, 닭의 경우에는 소음원이 충격과 충격성이 있는 건설소음으로 되어 있으나 소음원에 대한 구체적 정보가 미흡하고, 특히 충격소음에 의해 피해를 받은 양계장은 암소음도가 상당히 낮은 지역에 위치한 특징을 가진 것으로 나타났다.

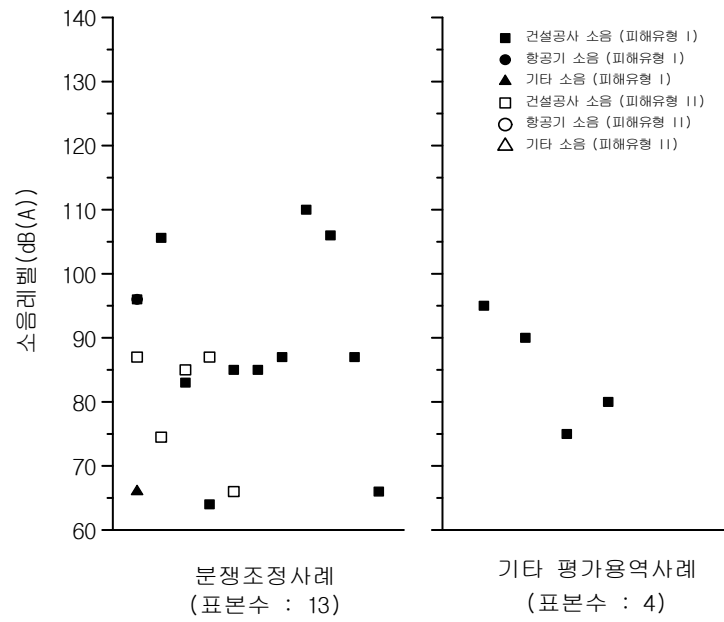


(a) 소 (한우, 젖소)

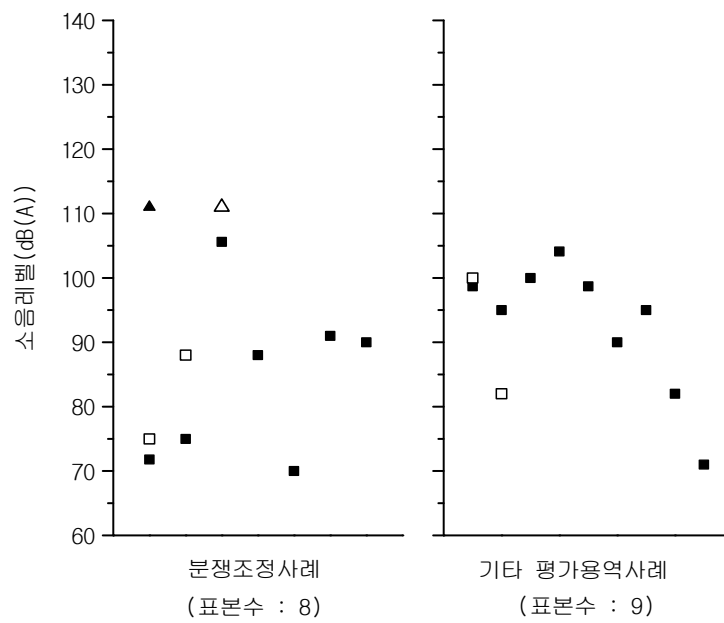


(b) 돼 지

<그림 3.7> 각종 소음원에 의해 발생하는 피해유형 I, II의 분포



(c) 닭



(d) 기 타

<그림 3.7> 계 속

따라서 이를 통해 보면 국내의 경우 대체적인 가축 피해사례는 70dB(A) 이상의 소음수준에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 가축피해 분쟁조정업무에서 예측되는 소음수준이 70dB(A)이하임에도 불구하고 가축피해 사실을 주장할 경우에는 소음원 외 기타 영향인자에 대한 면밀한 검토가 필요하고 수의학적 진단에 따른 신중한 평가가 이루어져야 할 것이다.

<표 3.19>는 3.3.2절의 전체 가축피해 사례에 대한 평가요소별 상관분석⁴⁸⁾ (Correlation Analysis)을 통계해석 전용 프로그램인 SPSSWIN 10을 이용하여 실시하여 상관계수⁴⁹⁾를 얻은 결과이다. 단, 평가요소는 계량화가 가능한 피해적용율, 평가소음도, 암소음도, 피해일수로 한정하였다.

여기서 피해적용율은 각종 소음원의 발생수준이 일정수준을 초과하여 축종에 대한 피해인과관계가 성립한 경우인데, 피해유형 I·II 중 하나만 발생한 경우이거나 동시 발생한 경우를 모두 포함하고 전문가가 피해기여도로 적용한 비율을 의미한다. 평가소음도는 각종 소음원에 의한 대상 축종의 피해가 발생된 것으로 인정된 소음레벨을, 암소음도는 대상소음이 없는 경우의 배경소음을, 피해일수는 일정수준 이상의 소음에 노출되어 피해가 일어난 기간을 의미한다. 분석에 사용된 표본은 국내 분쟁사례와 기타 평가용역사례에서 피해적용율, 평가소음도, 암소음도, 피해일수 등의 요소가 모두 기재되어 있거나 유추할 수 있는 자료 중 정규분포성향을 나타낸 신뢰성있는 표본만을 사용하였다.

<표 3.19>에서 피해적용율과 다른 평가요소들과의 상관계수를 보면, 평가소음레벨과의 상관계수가 0.586, 암소음도와의 상관계수가 -0.324, 피해일수와의 상관계수가 0.072로 나타나, 피해적용율과 평가소음레벨이 가장 밀접한 관련성을 보였고 피해일수는 피해적용율과 상당히 낮은 상관성을 보였는데 이는 지금까지 국내 가축 피해사례의 대부분이 피해유형 I에 집중된 경향 때문으로 추정된다. 또한 암소음도와 피해적용율은 부(-)의 상관관계를 나타내 암소음도가 높을수록 피해의 수준을 낮게 적용했음을 보여준다.

48) 상관분석은 두 변수의 관계를 나타내는 수학적 관계보다는 두 변수가 관련된 정도와 방향을 요약하는 수치를 구하는 데 사용된다.

49) 두 확률변수 사이의 직선관계 정도를 나타내는 하나의 척도로 상관계수가 있다. 상관계수는, 산점도상의 2변량 관측치들이 두 변수 간의 선형관계를 나타내는 직선의 주변에 어느 정도 집중되어 있는지를 나타낸다는 점에서 선형집중도(Degree of Linear Concentration)라는 의미를 지니며, -1과 +1 사이의 값을 갖게 된다.

<표 3.19> 평가요소의 상관분석 결과⁵⁰⁾

Pearson Correlation				
A	B	C	D	
218 (5-19169)	.000	.051	.930	
N	41	41	41	41
B	Pearson Correlation	.280**	1.000	-.114
218 (5-19169)	.000	.001	.541	
N	41	41	41	41
C	Pearson Correlation	-.354*	-.389**	1.000
218 (5-19169)	.051	.001	.051	
N	41	41	41	41
D	Pearson Correlation	.015	-.114	.331*
218 (5-19169)	.930	.541	.051	
N	41	41	41	41

*

주) A : 피해적용율, B : 평가소음도, C : 암소음도, D : 피해일수

N : 표본수

이와 같은 전체 축종의 피해사례의 상관분석의 결과에서 가장 밀접한 관련성을 보인 피해적용율과 소음레벨과의 관계를, 축종별로 세분화하여 다시 상관분석을 수행하면 유의수준⁵¹⁾ $p < 0.1$ 에서 소는 0.842, 돼지는 0.893, 닭은 0.541 등의 상관계수를 얻을 수 있어 만족할 만한 상관성을 확인하였다.

50) 두 변수 X와 Y를 각각 모평균이 μ_x, μ_y , 모분산이 σ_x^2, σ_y^2 , 그리고 모상관계수가 r 인 이변량 정규분포를 갖는 모집단으로부터의 확률변수들이라 하면, X와 Y 간의 모상관계수는 다음과 같이 정의한다. 이는 곧 Pearson의 단순상관계수이기도 하다.

$$r_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sqrt{\sigma_X^2} \sqrt{\sigma_Y^2}}, \quad -1 \leq r \leq 1$$

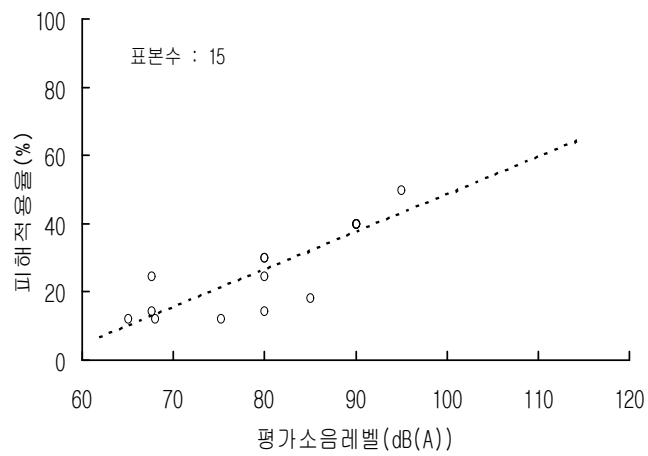
여기서 σ_{XY} 는 X와 Y의 공분산(Covariance)이며,

$$\sigma_{XY} = E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]$$

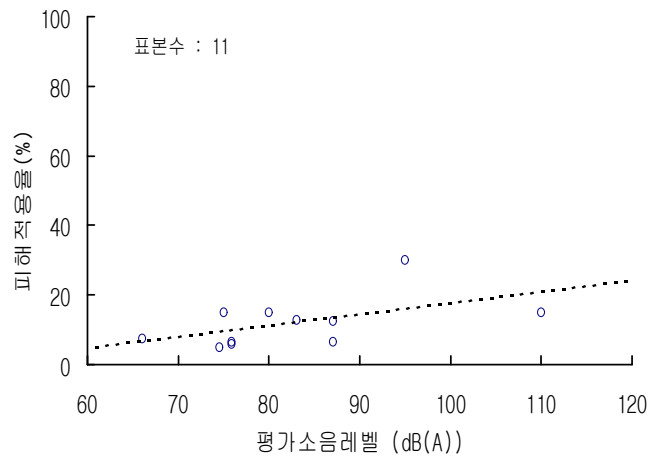
으로 정의된다.

이때, $r = 1$ 인 경우는 완전한 양의 상관관계를 $r = -1$ 인 경우는 완전한 음의 상관관계를 $r = 0$ 인 경우는 상관관계가 없음(무상관)을 나타낸다.

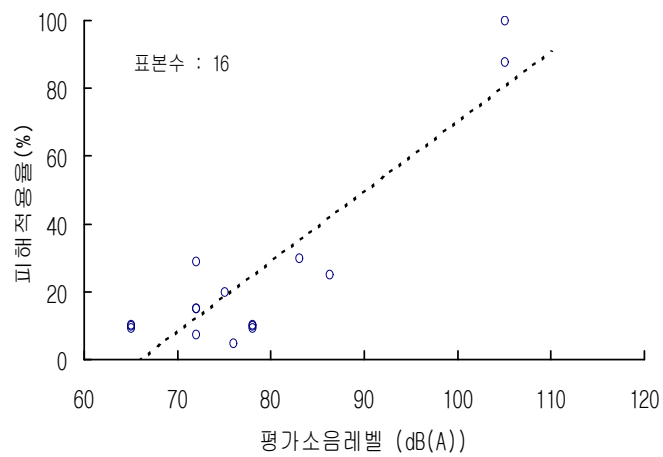
51) 유의수준이란 제I종 오류(모집단의 특성에 대한 주장 또는 명제가 옳은 것인지 그 진위를 검정하기 위하여 설정한 대상가설을 의미하는 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각하는 오류)를 범하는 최대 확률을 말한다.



(a) 소 (한우, 젃소)



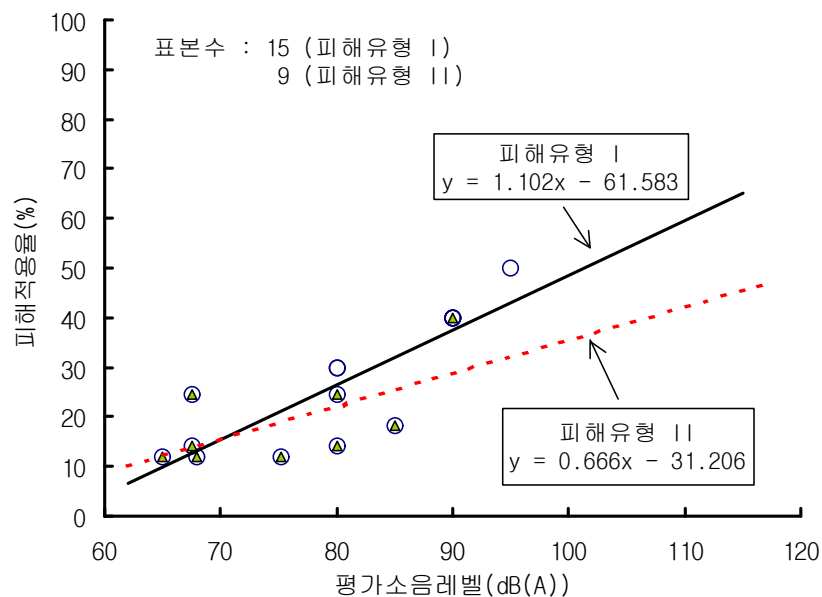
(b) 닭



(c) 돼지

<그림 3.8> 축종별 피해적용율과 평가소음레벨의 관계

<그림 3.8>은 동일 자료 중에서 축종별로 분리된 표본을 이용하여 회귀분석⁵²⁾을 수행한 결과이다. 그림의 수식은 피해유형에 상관없이 피해평가 소음레벨에 대한 전반적인 가축의 피해적용율의 추이를 나타낸다. 회귀방정식에서 소가 1.10, 돼지가 2.071, 닭이 0.33의 기울기를 나타내어 돼지가 소음에 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났고, 그 다음은 소, 닭의 순서이나 이것이 축종간 차이에서 오는 결과인지, 개별 가축의 상태에 따른 영향인지 현재로서는 불명확하고 추후 보완 연구가 필요할 것으로 판단된다.



(○ : 피해유형 I , ▲ : 피해유형 II)

<그림 3.9> 피해유형에 따른 피해적용율과 평가소음레벨의 관계(소의 예)

<그림 3.9>는 <그림 3.8(a)>의 소의 경우에 대한 자료를 피해유형 I(폐사, 유·사산 등)과 피해유형 II(유량감소, 성장지연 등)로 구분하여 회귀분석을 수행한 결과 다음과 같은 회귀식을 얻었다.

$$\text{피해유형 I} \quad y = 1.102x - 61.583 \quad (3.1)$$

$$\text{피해유형 II} \quad y = 0.668x - 31.206 \quad (3.2)$$

52) 회귀분석은 변수들간의 상호관련성을 분석하는데 있어서 독립변수와 종속변수의 관련성을 나타내는 수학적 방정식을 설정하고 이 방정식을 이용하여 독립변수의 값의 변화에 따른 종속변수의 값의 변화를 예측하기 위한 분석법이다.

회귀식의 유의성의 검정과 회귀식의 기울기를 의미하는 회귀계수의 검정을 위해 각각 F-검정과 t-검정⁵³⁾을 실시하여 유의수준 $p < 0.1$ 에서 신뢰성이 인정되었고, 회귀식의 설명력을 의미하는 결정계수⁵⁴⁾ R^2 은 피해유형 I이 0.709, 피해유형 II이 0.420을 얻었다.

하지만 정규분포 성향이 있는 신뢰성 있는 표본의 수가 부족하여 돼지나 닭의 경우에는 유의성 있는 회귀분석 결과를 도출하기 어려웠고, 상기 소의 경우에도 피해유형 I의 경우는 높은 설명력을 보이나 피해유형 II의 경우는 낮은 설명력을 나타내어 지속적인 표본 사례를 확보하여 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하여야 할 것이다. 다만 여기서는 피해유형 I이 일정수준 이상에서 소음수준 변화에 따른 피해정도가 피해유형 II보다 월등할 수 있는 점을 확인할 수 있었다.

53) F-검정, t-검정 : 설명된 변동과 설명 안된 변동의 측정을 이용해서 귀무가설 $H_0 : \beta(\text{기울기})=0$ 을 검정하는 방법인 F-검정은 회귀모형 전체의 유의성 검정을 위해서 실시한다. t-검정은 F-검정과 결과가 같은 데, 개별 회귀계수의 유의성을 검정하기 위해 실시한다.

54) 결정계수(Coefficient of determination, R^2) : 독립변수 또는 예측변수에 의해 설명되는 의미에 대한 종속변수의 변량의 부분을 측정. 계수는 0에서 1까지의 범위에 있다. 만약 회귀모형이 적절하게 응용되고 추정된 경우, 연구자가 더 높은 R^2 값을 가졌다면, 종속변수의 예측도 더 좋아진다고 가정할 수 있다.

