

# 自動車 警笛騒音 改善 方案

鄭一鍊\*, 吳壽太\*, 姜大峻\*, 徐忠烈\*, 李載仁\*

## ( Reduction of Noise from the Motor Vehicle Horn )

( I. R. CHUNG, S. T. OH, D. J. KANG, C. Y. SEO, J. I. LEE )

### I. 서론

본 연구에서는 경음기 본래의 사용 목적인 안전운행을 저해하지 않으면서 사용할 수 있는 보다 혐오감이 덜한 음질의 경적음을 도출하고자 국내에서 생산, 유통되고 있는 경음기의 현황 파악 및 종류별 경적음의 특성을 분석하고, 이들의 단음과 복합음을 녹음·재생하면서 상호간에 대한 주관적 반응을 설문조사하여 경음기 1개 장착시 단음 피크치의 음역별 음질과 2개 장착시의 복합음 음질개선을 위한 적정 주파수범위를 도출하고자 하였다. 그리고 자동차 생산공장에 출장하여 차량에 장착된 경음기의 경적음 특성을 분석하여, 그 음량의 크기와 dB(A) 및 dB(C)의 차이와 국내·외 자동차의 경적음에 대한 관리 및 규제 기준을 수집·분석하여, 소음진동규제법과 한국공업규격에 서로 다르게 규정하고 있는 평가단위를 통일하고자 하였다.

### II. 연구내용 및 방법

#### 1. 단품 경음기의 경적음 특성 분석

국내에서 생산, 유통되고 있는 3식(전기식, 전자식, 공기식) 25종 31개에 대하여, 무음무향실 내의 1.2m 높이에 설치하고, 경음기로부터 2m 떨어진 동일 높이에 Microphone을 설치한 후 경적음을 올리고, 직접 Narrow Band Spectrum Analyzer로 분석함과 아울러 Tape Recorder로 녹음하여 Digital Frequency Analyzer로 그 특성(주파수별 음압레벨 분포)을 분석하였다.

#### 2. 자동차에 장착된 경음기의 경적음 특성 분석<sup>1)</sup>

6개 자동차회사의 48종(132대)의 자동차를 대상으로 경음기의 종류별 경적음을 차량전방 2m 및 10m 떨어진 1.2m 높이에 Microphone을 설치, Tape Recorder로 녹음한후 Digital Frequency Analyzer 및 Narrow Band Spectrum Analyzer를 이용하여 분석하였다.

\* 국립환경연구원 대기연구부

#### 3. 경적음의 감각적 평가

단품 경음기의 경적음 종류별로 주관적 감각특성을 설문조사하여 평가하고자 무음무향실 내에서 경음기 종류별로 경적음의 음압레벨을 거의 같은 수준으로 유지시켜 Tape recorder에 녹음한 후, 두 종류의 경적음을 설문대상자가 듣고 상호 비교하여 더 나은 음질의 경적음을 고를 수 있도록 일반 녹음기로 편집, 설문 대상자에게 2회씩 반복하여 들려주었다.

### III. 연구결과 및 고찰

#### 1. 경음기의 경적음 관련 법규

국내·외의 경음기 관련 법규(4, 5, 6, 7, 8, 9)를 정리하면 표 1 및 2와 같다.

표 1. 국내 경음기 관련 법규의 소음기준 비교

구 분	한국공업규격	소음진동규제법
○ 측정위치	경음기로부터 전방 2m	차량으로부터 전방 2m
○ 소 음 도	평 형 : 90-125dB(A)	115dB(C) 이하
○ 기 준 치	나선형 : 95-115dB(A)	※ 자동차관리법
○ 기 본 주 파 수	평 형 : 290-520Hz 나선형 : 310-580Hz	차량전방으로부터 2m : 90-115dB(C)

표 2. 외국의 경음기 소음기준 비교

구 분	미 국 (SAE-J377)	ECE (REG. 28. 01)	일 본 자동차관리법
○ 측정위치	차량 전방 50ft	경음기 정면 2m	차량 전방 2m
○ 기 준 치	82-102(A)	105-118dB(A)	90-115dB(C)
○ 비 고	2m 위치에서는 ≈100-120dB(A)	1800-3550Hz에서 >105dB(A)	

2. 경음기의 종류 및 생산 현황

국내에서 생산, 유통되고 있는 자동차용 경음기의 종류와 그 용도는 표 3과 같다.

표 3. 경음기의 종류 및 용도

종 류		용 도	비 고
작동원리	형 태		
전기식	평형 나선형	버스, 승용차, 2륜차 등	경음기를 2개 장착할 경우 기본음이 낮은 것은 Low, 높은 것은 High로 표현함
공기식	나팔형	대형차량, 기차, 선박 등	
전자식	평형 나선형	승용차 등	

3. 경적음의 물리적 특성

가. 단품 경음기의 경적음 특성

단품 경음기의 음향특성에 관한 출고제원과 실측결과는 표 4와 같다.

표 4. 실험용 단품 경음기의 제원 및 경적음 실측치

경음기의 종류	규격	출고시 제원		무향실내 실측치	
		기본 주파수(Hz)	소음도 dB(A)	기본 주파수(Hz)	소음도 dB(A)
전기식 평형	∅65	350±20	90~115	336	95
	~∅100	~440±20			
전기식 나선형	∅100	420±20	100~110	416	100
	~∅110	~500±20			
전자식 나선형				320	82
				~496	~107
공기식 나팔형	∅94.5(최대공기압 : 8.5kg/cm <sup>2</sup> )		110~120	525	116

표 4에서 경음기의 출고시 제원을 살펴보면, 평형 경음기의 기본주파수는 350±20Hz ~ 430±20Hz 이고, 소음도는 최저 90~115dB(A) 이며, 나선형 경음기의 기본주파수는 420±25Hz ~ 500±20Hz 이고, 소음도는 100~113dB(A) 이다.

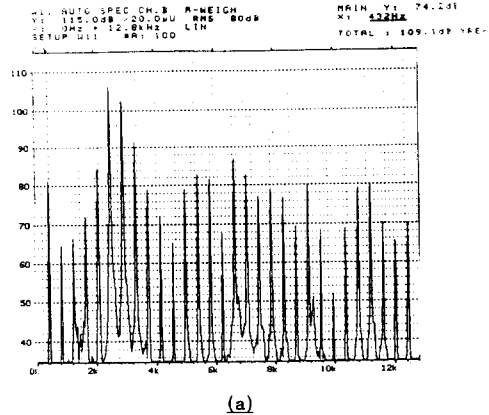
무음무향실 내에서 실측한 결과를 보면 평형의 경우는 기본주파수가 336~512Hz 이고, 소음도는 95~112dB(A) 이다. 나선형의 경우 전기식은 기본주파수가 416~512Hz이고, 소음도는 100~104dB(A) 이며, 전자식은 기본주파수가 320~416Hz이고, 소음도는 82~107dB(A) 이다. 공기식 나팔형 경음기는 기본주파수가 525Hz 이고, 소음도는 116dB(A)로서 평형이나 나선형에 비해 10~15dB(A) 높게 나타났다.

나. 단품 경음기의 경적음 스펙트럼

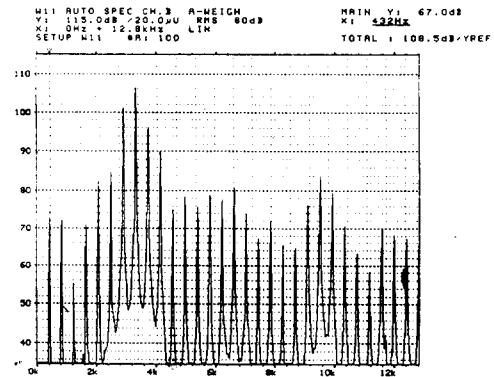
단품 경음기의 경적음 주파수 특성을 종류별로 살펴보면 다음과 같다.

(1) 전기식 평형 경음기

대부분 평형 경음기의 기본주파수는 350~420Hz 이며, 피크음은 6~9차인 2,300~3,500Hz에서 나타났다. 그 중 평형 경음기의 전형적인 경적음 주파수 특성은 그림 1의 (a) 및 (b)와 같다.



(a)



(b)

그림 1. 전기식 평형 경음기의 경적음 주파수 특성.

그림 1의 (a)와 (b)를 비교해 보면 기본주파수는 432Hz로 서로 같지만 피크음은 2,592Hz와 3,456Hz로 다르게 나타난다. 피크음은 사람의 귀가 3,500~4,000Hz 부근의 주파수에서 가장 민감하여 상대적으로 시끄럽게 느낀다는 점을 고려해 볼 때 그림 1의 (b)는 그림 1의 (a)의 경우보다 더욱 시끄럽게 느껴질 것으로 추정된다.

(2) 전기식 나선형 경음기

전기식 나선형 경음기의 경적음 주파수 특성은 두드러진 피크치가 없고, 기본주파수를 400~500Hz로 하고 있으며, 피크음은 대부분 3차 이내인 1,000~1,500Hz의 저음역에서 나타나고

있다. 그림 2는 전기식 나선형 경음기의 일반적인 경적음 특성을 보인 것이다.

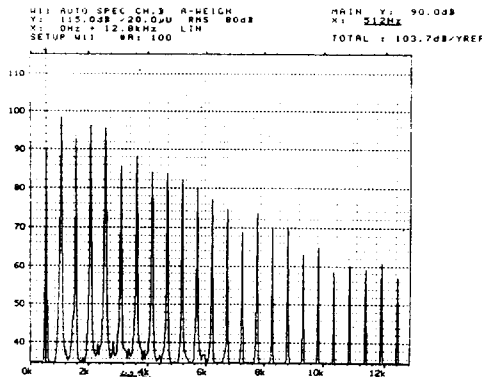


그림 2. 전기식 나선형 경음기의 주파수 특성.

그림 2의 경우를 보면 기본주파수가 512Hz이고 피크음은 2차인 1024Hz에서 나타나고 있다. 음압레벨이 평형 경음기와 같지 않더라도 저음역에서 피크음을 보이는 바, 평형보다 연한 음질일 것으로 추정된다.

### (3) 공기식 나팔형 경음기

공기식 나팔형 경음기의 경적음 주파수 특성은 나선형과 거의 유사하나, 규정 공기압보다 낮은 5kg/cm<sup>2</sup>에서도 음압레벨이 전기식에 비해 4~20dB 높게 나타났으며 이는 상대적으로 혐오감이 클 것으로 판단된다.

### 다. 자동차에 장착된 경음기의 경적음 특성

조사대상 48개 차종 132대의 경음기 장착 현황은 표 5와 같다.

표 5. 경음기 종류별 장착현황

경음기의 종류	전기식 평형		전기식 나선형		공기식 나팔형	조사대상
	1개	2개 (H, L)	1개	2개 (H, L)		
자동차 종류별 경음기 장착현황	27	14	3	1	3	48종 132대

#### (1) 경음기가 1개 장착된 경우

경음기가 1개 장착된 경우의 경적음 특성은 표 6과 같다.

표 6에서와 같이 평형의 경우 피크음은 1,963~3,838Hz에서 나타나고 소음도는 2m 거리에서 92~106dB(A)이다. 나선형의 경우 피크음은 463~950Hz에서 나타나고 소음도는 92~98dB(A)

표 6. 경음기가 1개 장착된 경우의 경적음 특성

경음기의 종류	기본 주파수(Hz)	소음도 dB(A)		피크음의 주파수(Hz)
		2m	10m	
전기식 평형	350 ~450	92 ~106	78 ~95	1963 ~3838
전기식 나선형	463 ~475	92 ~98	84 ~90	463 ~950
공기식 나팔형	400 ~413	97 ~110	86 ~97	400 ~1238

이다. 또한 나팔형의 경우 피크음은 100~1238Hz에서 나타나고 소음도는 97~110dB(A)로 평형보다는 4~5dB(A), 나선형보다는 5~12dB(A) 높게 나타났다.

단품 경음기를 자동차에 장착한 경우 경적음이 차체 등에 의해 부분적으로 차폐되어 10dB 정도 낮게 나타났다.

#### (2) 경음기가 2개(H, L) 장착된 경우

경음기가 High와 Low 2개 장착된 경우의 경적음 특성은 표 7과 같다.

표 7. 경음기가 2개(H, L) 장착된 경우의 경적음 특성

경음기의 종류	기본 주파수(Hz)		소음도 dBA	피크음의 주파수(Hz)	
	H	L		H	L
전기식 평형	375 ~450	325 ~388	95 ~109	2,375 ~4,138	2,275 ~3,363
전기식 나선형	500 ~513	388 ~400	95 ~97	500 ~1,025	1,175 ~1,213

표 7에서와 같이 평형 경음기는 Low의 피크음이 2,275~3,363Hz에서 나타났으며, High는 2,375~4,138Hz에서 나타났다. 나선형 경음기는 Low의 피크음이 1,175~1,213Hz에서 나타났으며, High는 500~1,025Hz에서 나타났다.

경음기를 2개 장착할 경우 High와 Low의 주파수 비율을 적절하게 조합하면 한개만 올렸을 때 보다 음량은 증가되나 음질이 보다 나은 복합음을 얻을 수 있다. 이때 감각에 영향을 주는 두 피크음 사이의 주파수 비율은 음향학적인 관점에서 4:5 또는 5:6으로 구성하는 것이 화음이 잘 되는 것으로 알려져 있다. 경음기를 2개 장착할 경우 피크음의 주파수비율이 어떤 비율로 구성되는가에 따라 경적음의 음질이 결정된다고 볼 수 있다.

라. 청감특성 비교

우리나라의 경적음 관련 측정방법에 정한 평가단위를 살펴보면 소음진동규제법과 자동차관리법에는 dB(C), 한국공업규격에는 dB(A)로 설정되어 있다.

경적음을 대역분석 한 후, A 및 C특성 청감보정회로의 상대 응답을 보정하여 산정한 dB(A)와 dB(C)의 크기를 비교해 보면, 나선형 경음기와 같이 1,000~1,500Hz에서 피크음을 보이는 경우는  $\pm 1$ dB 정도의 차이가 나타나지만, 평형 경음기와 같이 대부분 2,500~3,500 Hz 부근에서 피크음을 보이는 경우는  $\pm 2$ dB의 차를 나타낸다.

따라서 경적음을 A특성 혹은 C특성으로 측정할 경우 상호간의 편차범위가  $\pm 2$ dB 이내일 것으로 판단되는 바 현행 소음진동규제법상의 경적소음 평가단위인 dB(C)를 KS R 5034, III장 1절에 기술한 미국, ECE 등의 규정에 정한 dB(A)로 통일시켜도 무방할 것으로 판단된다.

4. 감각적 특성

경적음의 종류별로 주관적 감각특성을 평가하고자 20대에서 50대 사이의 남녀 531명을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

가. 설문용 경적음의 조합

설문조사를 실시하기 위해 사용된 각 경적음의 주파수 특성은 그림 3, 4, 5, 6과 같다.

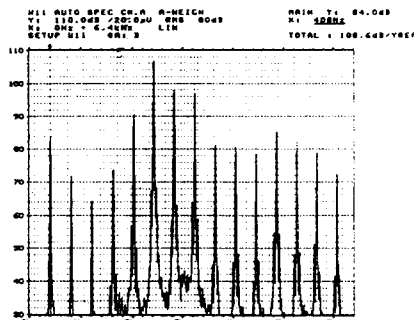
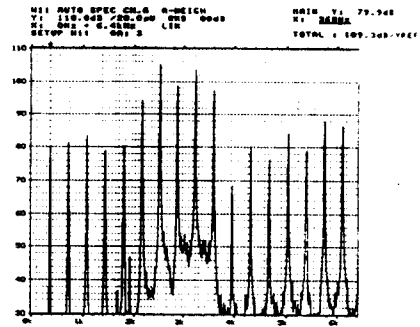


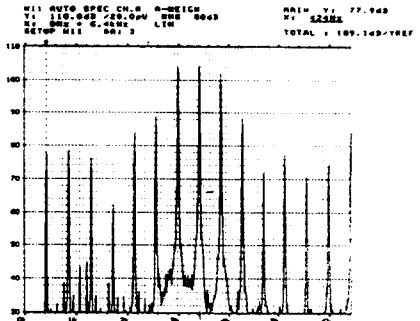
그림 3. 평형 중 개량형 경음기의 경적음 특성.

그림 3을 보면 기본주파수는 408Hz이고, 피크음은 6차인 2,420Hz에서 나타나며 음압레벨은 108.6dB 이다.

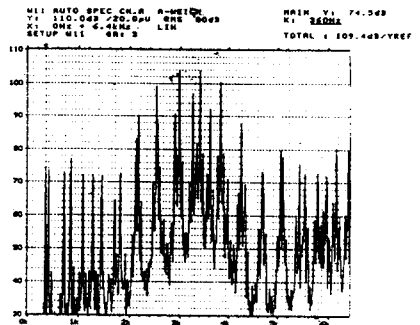
그림 4의 (a)의 경우는 기본주파수가 360Hz이고, 피크음은 2,450Hz에서 나타나며 음압레벨은 109.3dB 이다. (b)의 경우는 기본주파수가 424Hz이고, 피크음은 3,200Hz에서 나타나며 음압레벨은 109.1dB 이다. (c)는 (a)와 (b) 두 음을 동시에 올린 복합음의 특성을 보인 것으로 피크음의 주파수 비는 5:5.7 (3,000Hz:3,400 Hz)이며, 음압레벨은 109.4dB 이다.



(a) 평형 Low의 단음



(b) 평형 High의 단음

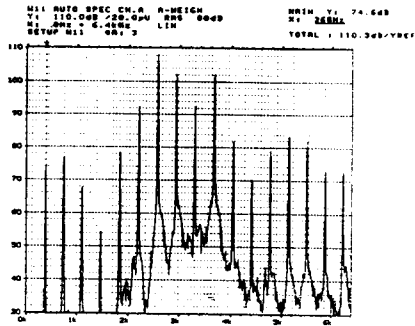


(c) (a)와 (b)의 복합음

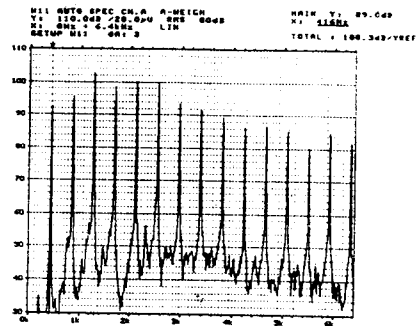
그림 4. 전기식 평형 경음기의 경적음 특성(1).

그림 5의 (a)의 경우는 기본주파수가 368Hz이고, 피크음은 2,480Hz에서 나타나며 음압레벨은 110.3dB 이다. (b)의 경우는 기본주파수가 432Hz이고, 피크음은 3,420Hz에서 나타나며 음압레벨은 109.4dB 이다. (c)는 (a)와 (b) 두 음을 동시에 올린 복합음의 특성을 보인 것으로 피크음의 주파수 비는 5:5.9 (2,480Hz:3,420Hz)이며, 음압레벨은 110.2dB(A) 이다.

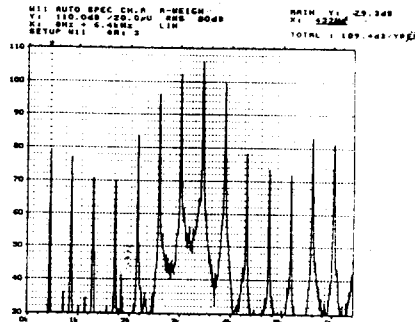
그림 6의 (a)의 경우는 기본주파수가 416Hz이고, 피크음은 1,240Hz에서 나타나며 음압레벨은 108.3dB 이다. (b)의 경우는 기본주파수가 520Hz이고, 피크음은 1,020Hz에서 나타나며 음압



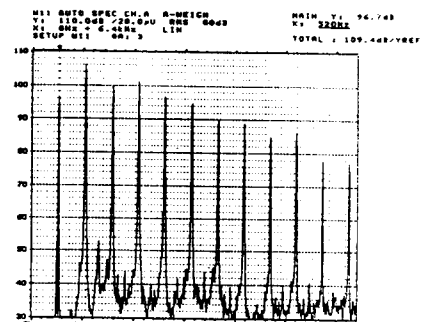
(a) 평형 Low의 단음



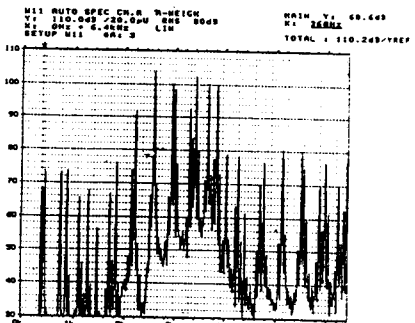
(a) 나선형 Low의 단음



(b) 평형 High의 단음

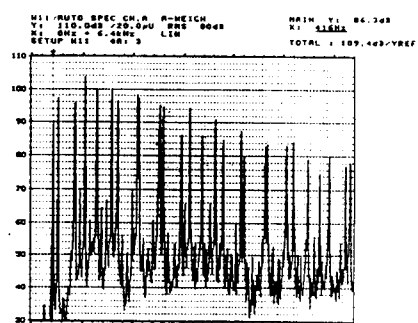


(b) 나선형 High의 단음



(c) (a)와 (b)의 복합음

그림 5. 전기식 평형 경음기의 경적음 특성(2).



(c) (a)와 (b)의 복합음

그림 6. 전기식 나선형 경음기의 주파수 특성

그림 6의 (a)의 경우는 기본주파수가 416Hz이고, 피크음은 1,240Hz에서 나타나며 음압레벨은 108.3dB이다. (b)의 경우는 기본주파수가 520Hz이고, 피크음은 1,020Hz에서 나타나며 음압레벨은 109.4dB이다. (c)는 (a)와 (b) 두 음을 동시에 올린 복합음의 특성을 보인 것으로 피크음의 주파수 비는 4:4.9 (1,020Hz:1,240Hz)이며 음압레벨은 109.4dB이다.

참고로 설문조사시 단음끼리 비교토록 한 개량형(그림 3), 평형[그림 4, (b)], 나선형[그림 6, (a)]의 경적음 피치치 부근 5개 음을 동청감곡선(equal loudness contours)을 이용하여 A특성으로 환산한 결과는 각각 110.5dB(A), 112.4dB(A), 106.4

dB(A)이었다. 따라서 음향이론적으로 나선형, 개량형, 평형 순으로 음질이 좋음음을 의미한다.

라. 설문조사 결과

각 경적음에 대한 설문조사 결과는 표 8과 같다.

표 8의 설문조사 결과를 살펴보면(내용중 괄호는 피크음을 보인 치수임),

(가) 평형(3,200Hz)과 개량형(2,400Hz)을 비교해 본 결과, 저음역에서 피크음이 나타나는 개량형이 78%로 평형 22% 보다 좋은 반응을 보인다.(설문 1)

표 8. 설문조사 결과

설문 문항	경적음 조합	설문대상자 응답수(명)				응답율 (%)
		20대	30대	40대 ~	계	
1	평형[그림 4-(b)]	76	32	10	118	22
	평형[그림 3]	219	139	55	413	78
2	평형[그림 4-(B)]	127	78	25	230	43
	나선형[그림 6-(a)]	168	93	40	301	57
3	평형[그림 3]	152	82	32	266	50
	나선형[그림 6-(a)]	143	89	33	265	50
4	평형[그림 4-(b)]	158	102	36	296	56
	평형[그림 4-(c)]	137	69	29	235	44
5	평형[그림 5-(b)]	130	63	32	225	42
	평형[그림 5-(c)]	165	108	33	306	58
6	나선형[그림 6-(a)]	100	61	9	170	32
	나선형[그림 6-(c)]	195	110	56	361	68
7	나선형[그림 6-(c)]	229	115	47	391	74
	평형[그림 5-(c)]	66	56	18	140	26
8	평형 [ 불협화음 ]	55	22	23	100	19
	평형 [ 협화음 ]	240	149	42	431	81

(나) 평형(3, 200Hz)과 나선형(1, 240Hz)을 비교해 본 결과 나선형이 57%로 평형 43% 보다 좋은 반응을 보인다. (설문 2)

(다) 평형 개량형(2, 400Hz)과 나선형(1, 240Hz)을 비교해 본 결과 50%:50%로 같은 수준이다. (설문 3)

위의 세가지 문항의 결과를 비교해 보면 개량형, 나선형, 평형 순으로 음질이 좋다고 응답함을 알 수 있다. 이론적으로는 저음역에서 피크음이 나타나는 나선형(그림 7)이 개량형(그림 6) 보다 좋아야 함에도 불구하고, 위와 같이 응답한 것은 전자가 저음역의 피크음들의 크기가 유사하여 둔탁한 음입에 반해, 후자는 상대적으로 고음역에서 피크음이 나타나지만 순음성으로 경쾌한 감을 주기 때문이라 생각한다. 이를 바탕으로 유추하건데, 좋은 음질은 저음역에서 피크음이 발생하되 순음성(피크음에 비해 주변 배음이 5dB 이상 낮은 경우)이 유지되어야 할 것으로 판단된다.

(라) 평형 경음기의 단음과 그 단음들 중 피크음 주파수 비가 화음비에 가장 가까웠던 5:5.7(설문 4)인 것과 5:5.9(설문 5)인 단음 2개를 조합한 복합음과를 비교해 본 결과 단음쪽이 각 58%, 56%로 복합음보다 좋다고 응답함을 보아 화음이 잘 되지 않으면 단음보다 오히려 혐오감을 줄을 알 수 있다. 한편, 나선형의 경우는 평형과 달리 복합음(피크음 주파수 비 4:4.9)이 단음에 비해 좋다고 한 응답율이 2배에 이르고 있다. (설문 6)

(마) 나선형 복합음(피크음 주파수 비 4:4.9)이 평형 복합음(피크음 주파수 비 5:5.9)에 비해 좋다고 한 응답율은 3배 이상에 이르고 있다. (설문 7)

이는 두 복합음의 피크음 주파수 비가 화음비와 완전히 일치하지는 않았지만 장3도 화음비인 4:5에 가까운 쪽이 단3도 화음비인 5:6에 가까운 것보다 상대적으로 우수함을 보여준다.

(바) 평형 경적음 중에서 비교적 화음이 되는 복합음(피크음 주파수 비 5:5.9)과 화음이 전혀 되지 않는 복합음에 대한 결과를 비교해 보면, 화음이 되는 쪽이 그렇지 않은 쪽보다 4배 이상 음질이 좋다고 응답하였다. (설문 8)

이상을 종합해 볼 때 혐오감이 덜한, 즉 음질이 상대적으로 좋은 경적음은 가능한 한 저음역에서 피크음이 나타나야 하고, 그 피크음은 주변의 배음보다 5dB 정도 큰 순음성이어야 한다. 그리고 경음기를 2개 장착할 경우는 피크음의 주파수 비가 장3도 화음비인 4:5쪽에 가까울수록 우수하고, 또한 화음비인 4:5나 5:6의 비에 가까운 복합음이 그렇지 않은 것보다 우수함을 엿볼 수 있다.

#### IV. 결 론

도심지 및 주택가 등에서 상습적으로 사용되고 있어 소음공해를 유발하는 경적음 중에서 보다 혐오감이 덜한 부드러운 음질을 찾고자 단품 경음기 및 자동차에 장착된 경음기의 경적음 특성을 분석하고, 폭로시험에 의한 주관적 감각특성을 설문조사하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 경음기 중 평형의 음향특성은 기본음을 약 350~420Hz로 하여, 차수 6~9차인 2,300~3,500Hz의 고음역에서 피크음이 나타나고, 나선형의 경우는 기본음을 약 400~500Hz로 하여 차수 3차 이내인 1,000~1,500Hz의 저음역에서 피크음이 나타났다.

- 경음기를 High와 Low 2개 장착할 경우는 두 경적음의 피크음 주파수비율이 4:5 또는 5:6으로 되어야 화음이 되어 음질이 개선될 수 있다. 이 때 피크음의 음압레벨은 서로 유사하고 피크음은 주변의 음압레벨보다 5dB 이상 큰 순음에 가까울수록 음질 개선효과가 클 것으로 기대된다.

- 단품 경음기의 경적음 종류별로 주관적 감각특성을 설문조사하여 평가해 본 결과

- 3,000Hz 내외에서 피크음이 나타나는 평형에 비해 2,400Hz 이하의 저음역에서 피크음이 나타나는 나선형과 평형 중의 개량형의 음질이 좋다고 한 응답율이 약 3배 정도 높았다.

- High 단음과 High와 Low 두개의 복합음을 들려주었을 때, 평형의 경우는 단음이 복합음(피크음의 비 5:5.7, 5:5.9)보다 좋다고 한 응답율이 7% 높았으며, 나선형의 경우는 복합음(피크음의 비 4:4.9)이 단음보다 좋다고 한 응답율이 약 2배 정도

높았다.

- High와 Low 두개의 복합음에 대한 경우는 나선형(피크음의 비 4:4.9)이 평형(피크음의 비 5:5.9)보다 음질이 좋다고 한 응답율이 약 3배 정도 높았다.

o 경적음을 A 및 C특성 청감보정회로로 산정한 결과 그 상호간의 편차범위가  $\pm 2\text{dB}$  이내로 나타나 평가단위의 차이에 따른 음량의 차는 거의 없는 것으로 판단되었다.

#### 참고문헌

1. 정일록, 소음진동 이론과 실무, 동화출판사, pp. 195-201.
2. 모종운, 차항병, 1993, 자동차용 셀형경음기의 개발, 소음진동공학회지, Vol. 2, No.2, pp. 92-95
3. 백병동, 대학음악 이론, 현대음악출판사.
4. 자동차용 경보기 한국공업규격, 사단법인 한국공업표준협회.
5. 田中 中晴, 村上 孝行, 方正剛, 坂本 一朗, 1991, 日本·EC의 自動車警告器音量測定法による測定値間の相關について, 運輸省, 交通安全公害研究所.
6. 自動車用ホーン - JIS D 5701, 日本規格協會.
7. International Standard ISO 512.
8. Performance of Vehicle Traffic Horns - SAE J377 FEB87.
9. Audible Warning Devices - ECE REG.28.01.
10. 1974, Horn Loudspeaker Design, Wireless World.
11. Noboru Kyoung, Shinichi Sakai, Shigeru Morita, 1982, Acoustic Radiation of a Horn Loudspeaker by the Finite Element Method - Acoustic Characteristics of a Horn Loudspeaker with an Elastic Diaphragm, J. Audio Eng. Soc., Vol.30, No.12.
12. Shinichi Sakai, Yukio Kagawa, Tatsuo Yamabuchi, 1984, Acoustic Field in an Enclosure and 1st Effect on Sound-Pressure Responses of a Loudspeaker, J. Audio Eng. Soc., Vol.32, No. 4.