

다구찌 기법을 이용한 모바일폰의 음향 특성 향상 설계

Application of Taguchi Method to Robust Design of Acoustic Performance in Mobile Phones

황 건 용* · 이 흥 주† · 황 상 문** · 권 중 학** · 김 광 석**

Gun-Yong Hwang, Hong-Joo Lee, Sang-Moon Hwang, Joong-Hak Kwon
and Kwang-Seok Kim

(2005년 11월 10일 접수 ; 2006년 9월 14일 심사완료)

Key Words : Micro-speaker(마이크로스피커), Coupling(연성), Finite Element Method(FEM-유한요소법), Acoustic Characteristics(음향특성), SPL(음압레벨), Taguchi Method(다구찌 기법)

ABSTRACT

With the growth in electronics and the remarkable advance in wireless communication technology, mobile devices, such as mobile phones and PDAs are incessantly improved in their diverse functional performance. Lighter weight and smaller size has been gradually accomplished by recent circuit integration technology resulting in rapid growth in the number of mobile phone subscribers. Driven by customer demand, recent mobile devices are fully capable of realizing a variety of dazzling multimedia effects powered by electro-acoustic parts that have become one of the generic components. However, This paper also presents an oval micro-speaker, that is expected to show an excellent performance within limited space of mobile phone, and its performance design has been suggested as well. Finally, a statistical approach to achieve high characteristic and performance is suggested by Taguchi method to identify a certain relationship between a mobile phone and a micro-speaker.

1. 서 론

전기 전자 기술의 발달로 인한 휴대전화, WAP 폰, PDA, 웹 패드 등과 같은 이동통신 단말기의 성능은 지속적인 향상을 가져오고 있다. 특히 회로 집적 기술의 발달은 이동통신 단말기의 소형화, 고성능화, 다기능화를 가져왔고, 이는 사용자층의 저변 확대를 더욱 가속화시키고 있다. 그러나 대부분 부품들은 회로 집적 기술과 생산 기술의 향상으로 마

이크로스피커 자체의 성능의 향상은 이루어 졌다. 그러나 Fig. 1과 같이 실제로 성능이 향상된 마이크로 스피커를 개발하였더라도 양산되고 있는 여러 형태의 단말기에 장착시 음향 특성이 다르게 나타난다.

현재 상용화된 단말기의 음향 성능의 척도로 음향의 크기와 품질에 가장 영향을 주는 고음압화와 광대역화를 들 수 있으며 개발자의 개발 배경에 따라 목표치는 달라질 수 있다. 일반적으로 마이크로스피커의 1차 공진주파수는 약 800 Hz에서 1100 Hz 사이에서 나타나는데, 음압 값을 높일 수 있으면 고음압화가 이 영역을 더욱 낮출 수 있으면 광대역화가 가능하다고 할 수 있다.

이에 이 논문에서는 FEM(ansys mechanical, E-mag. 사용)을 이용해서 전자기계, 기계 진동계,

† 책임저자; 정회원, 부산대학교 기계설계공학과
E-mail : honz75@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-3204, Fax : (051)582-3104

* 영산대학교 제품개발연구소

** 부산대학교 기계설계공학과

음향계 및 이들의 연성 해석을 통해 마이크로스피커의 성능 향상을 위한 이론적 해석 및 설계를 수행하였으며, 통계적 실험계획법(experiments design)의 한 분야인 다구찌(Taguchi) 기법을 사용하여 마이크로스피커가 단말기에 장착시 음향 특성에 가장 영향을 미치는 요인들을 분석하여 단말기 음향 특성 향상을 위한 방법을 제시하고자 한다.

2. 마이크로스피커의 설계

2.1 마이크로스피커의 연성 특성 해석 방법

실제 다이나믹 마이크로스피커는 보이스코일과 영구자석으로 대표되는 전자기적 부분과 다이어프램의 기계적 부분으로 구성되어 있다. 또한 이 두 부분은 서로 연성되어 있고 이 연성특성을 정확하게 분석해야 실제 시스템의 해석이 가능하다.

이러한 연성특성을 파악하여 최종적인 시스템의 특성을 구현하고 이를 실험과 비교하여 그 정당성을 검증하였다.

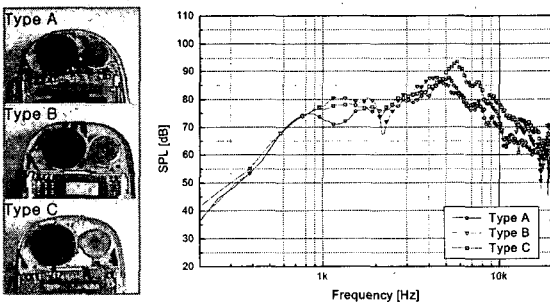


Fig. 1 Acoustic performance of micro-speakers in various phone-cases

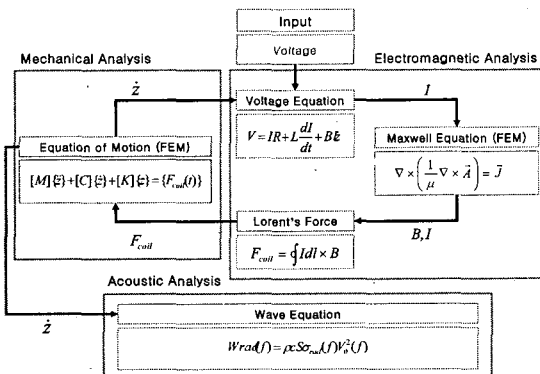


Fig. 2 Flowchart of a decoupling procedure

식 (1)은 전자기계에서 보이스코일에 걸리는 힘으로, B, L, I 는 자속밀도, 보이스코일의 길이, 보이스코일에 흐르는 전류를 나타낸다. 식 (2)는 다이어프램의 기계적 운동 방정식으로 M, C, K 는 질량, 감쇠, 강성을 나타낸다. 식(3)은 전압 방정식으로 V, R, λ 는 각각 인가 전압, 코일의 저항, 자속 쇄교량(flux linkage)을 나타낸다. 또한, $d\lambda/dI, d\lambda/dx$ 는 각각 인덕턴스(inductance), 스피던스(speedance)를 나타낸다.

$$F_{coil} = \oint IdL \times B \quad (1)$$

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F_{coil}(t)\} \quad (2)$$

$$V = IR + \frac{d\lambda}{dt} \frac{dI}{dt} + \frac{d\lambda}{dx} \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

식 (1)의 보이스코일에 작용하는 힘은 식 (2)의 기계 진동 시스템의 가진력을 결정하게 되는데 이는 식 (3)에서 결정된 코일에 흐르는 전류에 의해 결정된다. 단, 이 전류를 결정하는 전압방정식 식 (3)을 살펴보면 기계방정식 식 (2)의 해인 다이어프램의 속도(\dot{z})에 의해 역기전력이 결정되고 이에 의해 코일에 흐르는 전류가 결정되게 된다. 따라서 위 3개의 식이 서로 연성되어 있으며 이는 당연히 고려되어 져야 한다.

다시 말해, 역기전력의 변화는 전압방정식에 의해 구해지는 전류의 변화를 야기시키며, 전류의 변화로 인해 코일에 작용하는 힘이 변화하게 된다. 코일에 작용하는 힘이 변하게 되면 코일의 속도 또한 변하게 된다. 그러면, 또다시 역기전력에 영향을 미치게 되므로 이러한 반복과정을 통해 수렴하는 코일에 흐르는 전류를 최종해로 취하고 이에 의해 결정된 코일에 걸리는 힘을 가진력으로 최종적인 다이어프램의 진동특성을 분석한다. 이를 순서대로 나타내면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

자유 음향 영역에서 음향과의 전달은 선형 파동 방정식으로 나타내면, 식 (4)로 표현할 수 있다^(1,2).

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (4)$$

여기에서, c 와 p 는 공기 중의 음속과 음압(acoustic sound pressure)을 나타낸다. 진동판을

원형판으로 가정하면 음향파워는 FEM을 통해 도출된 진동판 요소의 속도를 이용해 식 (5)과 같이 계산될 수 있다. 식 (5)는 기계계에서 도출된 각 요소들의 주파수에 대한 속도를 가지고 음향파워를 계산한 수식이다.

$$W_{rad}(f) = \rho_0 c S_{rad} \sigma_{rad}(f) V_0^2(f) \quad [W] \quad (5)$$

여기에서, f , ρ_0 , S_{rad} 와 σ_{rad} 는 각각 고유주파수, 공기 밀도, 다이어프램에 의한 소리방사 표면적과 방사효율을 나타내며, 각 요소들의 주파수에 대한 속도 값이 V_0^2 이다. 그러나 식 (5)만으로는 기계계와 음향계의 연성관계가 설명되지 않는다. 다시 말하면 전자계에서 구해진 전자기력을 보이스 코일과 진동판으로 구성된 기계시스템에서 가진력으로 두고 각 주파수별 조화해석을 수행하였으며 해석결과 각 요소들의 속도 값을 식 (5)에 대입하여 음향파워를 구하였다. 실제로 진동시스템에서 강성과 감쇠는 음향계의 구성에 의해 영향을 받는다. 이를 시뮬레이션으로 구현하기에 어려움이 있어 실험을 통하여 검증하였다.

진동판의 각 요소들에 의한 음원을 단일 점음원이라고 가정하면 음향 임피던스는 다음과 같다.

$$Z(f) = \rho_0 c \frac{k^2 a^2}{1 + k^2 a^2} \quad (6)$$

따라서 방사효율은 식 (7)과 같다.

$$\sigma_{rad}(f) = \frac{Z(f)}{\rho_0 c} = \frac{k^2 a^2}{1 + k^2 a^2} \quad (7)$$

여기에서, 파수(wave number) k 는 $k = 2\pi f/c$, a 는 다이어프램 반경이다. 소리는 흔히 압력의 변화로 설명된다. 그 단위는 파스칼 Pa를 쓰게 되는데 많은 응용분야에서는 음압레벨(SPL: sound pressure level)을 대수적인 비율인 dB단위로 표시된다. 만약, 다이어프램의 다른 소리원이 없고 표면 근처에 방사 소리도 없다면, 변위 10 cm에 대한 음압레벨(SPL)은 식 (8)로 표현된다⁽¹⁾.

$$SPL = 10 \log_{10} \left(\frac{W_{rad}}{10^{-12}} \right) - 12 \quad [dB] \quad (8)$$

음압특성을 야기하는 다이어프램의 진동특성은 각

각의 응답점의 속도들이 유기적으로 연관된다. 따라서 각각의 노드의 모든 속도를 다이어프램 전체의 속도로 나타내어지는데 면적 속도의 개념이 필요하다. 이는 한 요소를 구성하는 4개의 노드점을 이용, 이를 평균하여 해당 요소의 속도라고 가정하고 이를 면적에 대해 적분하는 것이다. 이로써 각각의 노드의 속도는 합리적으로 음압특성에 연관된다. 기계 진동계에서 다이어프램의 형상에 따른 진동특성 분석을 통해 설계한 마이크로스피커의 음향계 실험결과와 FEM 음향계 해석결과가 일치함을 검증하였다.

Fig. 3는 최종 설계안인 마이크로스피커의 음향계 실험값과 FEM 해석값을 비교한 것이다. 저주파영역

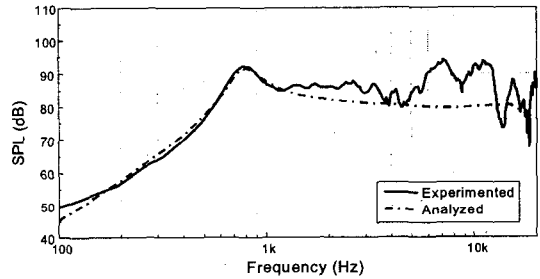


Fig. 3 SPL comparison between simulated model and experimental model

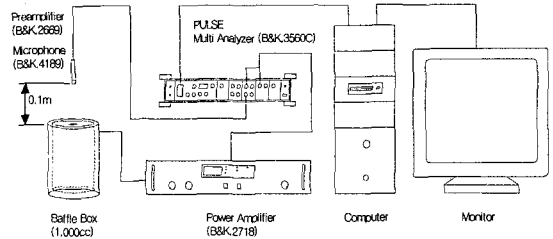


Fig. 4 Experimental setup for microspeaker SPL

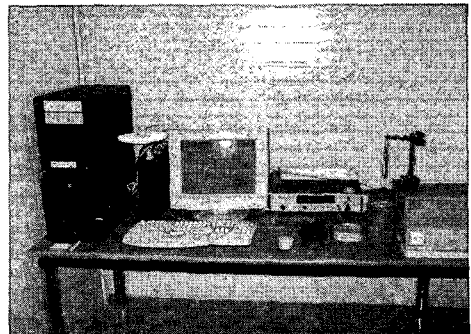


Fig. 5 Photograph of experimental setup

에서는 비교적 일치하지만 고주파영역에서는 유한요소 해석의 한계를 볼 수가 있었다. 이 논문에서는 마이크로스피커의 크기가 기존의 스피커에 비해 상대적으로 매우 작으므로 주위는 완전 baffle되어 있고, 음원이 하나의 점이라는 가정하에서 해석 하였다. 그러나, 실제로는 직경이 15 mm 정도 되며 그 안의 내부 구조가 음향 특성에 영향을 미칠 수 있다. 다이어프램이 진동함에 따라 공기가 유동하게 되며, 이것을 돕기 위해 프레임이나 요크에는 통기구가 뚫려 있다. 이러한 통기구의 크기나 위치, 개수 등은 공기의 유동에 밀접한 관련이 있으며, acoustic impedance, acoustic stiffness 등에 영향을 주어 해석치와의 차이를 발생하게 된다.

실제 덕트에서 보면 공기의 유동에 의해서 정재파와 같은 현상이 일어나며, 그로 인해 또 다른 공진 현상이 생기게 된다. 특히, 고주파일수록 파장이 짧아 더 많은 점에서 공진이 발생한다. 마이크로스피커에서도 마찬가지로 이와 같은 현상으로 저주파에서는 별 영향이 없으나, 고주파에서는 큰 영향을 미쳐 실험치와 해석치와의 차이가 발생하며, 특히 실험치의 경우 고주파에서 크게 떨어지는 현상을 가지게 된다.

Fig. 4은 마이크로스피커의 음압을 측정하는 장비의 구성도를 보여주며, Fig. 5는 마이크로스피커의 음압을 측정하는 실험장비 시스템의 사진이다.

측정 장비는 audio analyzer 전용 장비인 B&K Pulse System(3560C)를 사용하였으며, Pulse System에서 가청 영역의 white noise 신호를 재생하여 이 신호를 Power Amp.에서 증폭한다. 증폭된 신호는 1000cc baffle box내에 장착된 마이크로스피커로 재생되며 그 때 재생된 음을 10 cm 떨어진 microphone으로 입력을 받아서 Pulse System에서 FFT 분석하여 SPL 그래프가 monitor로 보여진다. 일반적으로 마이크로스피커의 경우 0.1 W 혹은 0.3 W 기준으로 측정하며, 음압레벨은 1 kHz 부근의 음압 평균값을 사용한다.

3. 모바일폰의 음향특성 향상을 위한 설계 방법

3.1 다구찌 실험계획

다구찌(Genechi Taguchi)는 실무 경험을 바탕으

로한 새로운 개념의 품질관리기법과 실험계획을 주창하였다. 이러한 실험계획은 산업 현장에서의 적용이 쉽기 때문에 점점 확대되고 있는 추세이다. 대표적인 새로운 개념으로는 다음과 같은 점들을 들 수 있다^(3,4).

- 제품설계와 공정설계의 중요성 강조
- 손실개념의 도입
- 잡음요인(noise factor)의 인식
- 직교배열표를 이용한 부분요인 실시법
- 성능 통계량으로서 신호 대 잡음비(SN비) 사용

$$SN비 = \frac{\text{신호의 힘}}{\text{잡음의 힘}} = \frac{\text{평균 } \mu \text{의 제곱의 추정치}}{\text{분산 } \sigma^2 \text{의 추정치}}$$

다구찌의 실험계획에서 취급되는 설계요인은 크게 산포(또는 동시에 평균)에 영향을 주는 제어요인((dispersion) control factor)과 평균치를 조정하여 목표치에 근접할 수 있는 신호요인(signal factor 혹은 평균조정요인)으로 나눌 수 있는데 제어요인은 SN비에 유의한 영향을 주는 요인이고 신호요인 Y에만 영향을 주는 요인으로 분류된다.

이러한 SN비는 손실함수로부터 유도되는데 특성치의 성격에 따라 망대(larger is better)특성, 망소(smaller is better)특성, 망목(nominal is best)특성 3가지가 널리 이용된다. 망대특성은 특성치가 크면 클수록 좋은 경우를 나타내며, 망소특성은 특성치가 크면 작으면 작을수록 좋은 경우를 나타내고, 망목특성이란 특성치가 목표치에 가까울수록 좋은 경우를 나타낸다.

3.2 고음압화를 위한 실험 및 분석(1 kHz에서)

현재의 상용화되고 있는 마이크로스피커는 1차 공진주파수가 약 800 Hz에서 1.1 kHz에서 형성되고 있으며, 음압레벨은 800 Hz, 1 kHz, 1.2 kHz, 1.5 kHz의 음압 평균값을 사용한다. 실제로 스피커 개발자들은 phon이라는 라우드니스 레벨 단위를 사용하는데, 1 kHz가 아닌 다른 주파수에서 1 kHz와 동일한 음압을 얻기 위해서 내보낸 음압레벨을 말한다. 이런 이유로 보통 1 kHz에서의 음압레벨을 음압 크기의 성능 평가의 기준으로 통용한다. 따라서 이 실험은 단말기에 마이크로스피커를 결합했을 때 고음압화를 위해 1 kHz에서 음압레벨을 최대화하기 위한 방법을 제시하는 문제로 계량 정특성 망대 문제

라고 할 수 있다.

계량 정특성 망대 문제는 산포를 잡는 문제로 특성치가 클수록 좋은 경우이다. 이 실험에서 개선을 위한 정도를 나타내는 측정치로 위에서 언급한 SN비를 제시하는데, 각 인자에서 SN비가 큰 수준을 선택하여 최적의 조건을 결정하게 된다.

SN비는 높을수록 좋다. 제품의 특성에 따라서 SN비에 대한 정의는 다르지만, 평균이 같은 두 집단에서 분산이 작을수록 SN비는 높았다. 망대특성인 경우의 SN비 공식은 식 (8)과 같다.

$$SN = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (9)$$

여기에서, n 은 직교배열표상의 실험번호를, y 는 각 실험에서의 특성치를 나타낸다.

(1) 테마선정(단계 1)

이 실험의 목적은 마이크로스피커가 단말기 set에 장착시 주어진 조건에 따라 여러 실험 조건과 비교를 통하여 1kHz에서 최대의 음압 레벨을 낼 수 있는 최적의 조건을 도출하기 위함이다. 제시되어진 최적 조건은 단말기 목합 설계시 설계 표준 자료로 활용되어질 수 있다.

단말기와 마이크로스피커의 연계특성을 규명하여 최적 조건을 도출하기 위해서는 많은 제약조건들이 있을 수 있는데, 이 실험에서는 최적 조건에 영향을 줄 수 있는 10개의 제어인자들과 1가지의 환경요소인 잡음인자를 설정하였고, 그 중에서 가장 영향력이 클 것으로 예상되는 7개의 제어인자들과 1개의 잡음인자를 최종 실험에 사용하였다.

(2) 문제분석 및 주요 관련인자 분석(단계 2)

실험에 의한 SPL 곡선에 영향을 줄 수 있는 인자들을 선정하여 제어인자와 잡음인자로 분류하였다. 단말기의 형상을 기초로 자체 외주 제작한 실험용 목업(mockup)의 형상, 체적, 공명공간의 크기 등을 주요 제어인자로 선정하였으며, 잡음인자로 실험시의 주변 소음 정도를 선정하였다. Fig. 6은 실험을 위해 기제작하거나 조건에 맞게 선별한 시료들을 보여주고 있다.

(3) 각 인자들의 수준 분류(단계 3)

이 실험에서 적용되는 $L_{36}(2^2 \times 3^5)$ 혼합 직교배열표를 사용하기 위해서 각 제어인자의 수준별 시방을 지정하여 1수준, 2수준, 3수준으로 분류하였고 최종 7개의 제어인자를 선정하였다. Table 1은 인자들의 구성을 나타내고 있다.

(4) 실험배치 선정(단계 4)

제어인자가 2수준 2개, 3수준 5개이므로 내측 배열의 직교배열표는 $L_{36}(2^2 \times 3^5)$ 을 사용하였다. 외측 배열의 잡음인자는 40 dB와 65 dB로 2수준으로 나누었고, 이들을 각각 다음 단계에서 30분 간격으로 2회 반복실험(R1,R2) 하였다.

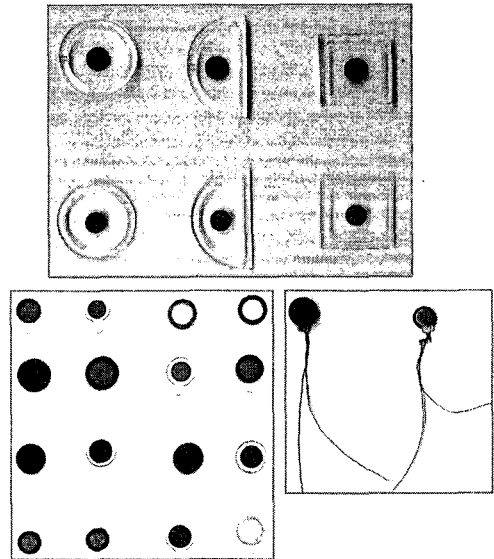


Fig. 6 Mockup and sample for the experimental

Table 1 Factors for experimental layout

Factor	Sym.	Content	Level 1	Level 2	Level 3
Control	A	Mock-up sealing	Full	Half	
	B	Poron type	A	B	
	C	Mock-up shape	Cylinder	Semi-cylinder	Hexahedron
	D	Mock-up volume	10cc	5cc	3cc
	E	Poron (thickness)	0.5 mm	0.2 mm	Not
	F	Size of sound hole	98 mm ²	63 mm ²	35 mm ²
	G	Screen (type)	A	B	Not
Noise	N	Surrounding	40 dB	65 dB	

(5) 실험실시(단계 5)

모든 실험을 현실적인 문제에 맞추어 랜덤한 순서로 실험하여 Table 2과 같은 최종 직교배열표를 작성하였다. 특성치(y_i)는 실험 결과 그려지는 음압레벨 그래프에서 1 kHz일 때의 음압레벨을 선정하였다.

(6) 최적 조건 도출 및 분석(단계 6)

앞 선 실험 실시한 결과를 바탕으로 통계 분석용 프로그램인 MINITAB R13을 이용하여 분석을 실시하였다. 분석을 통해서 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다.

SN비가 큰 수준들을 선택하면, 최적 조건은 A2, B1, C3, D2, E1, F2, G3이다. 그러나, 실제적으로 A, B인자는 어떤 수준을 선택해도 최적 조건에 거의 영향을 미치지 못하며, E, F, D순으로 최적 조건에 가장 크게 영향을 미친다고 할 수 있다. 즉, E, F, D인자들만 잘 조합해서 수준을 결정하더라도 거의 최적 조건과 비슷한 결과의 해를 도출할 수 있다. 이 결과를 이용하여 음압레벨을 향상시킬 수 있는 설계의 표준화를 제시할 수 있다. 이를 통해 Table 3에의 각 수준별 SN비 추정값과 최적 조건에서 추정값 비

Table 2 Orthogonal array layout of $L_{36}(2^2 \times 3^5)$ type.

Exp. No.	Inner array							Outer array			
	A	B	C	D	E	F	G	N1		N2	
								R1	R2	R1	R2
1	1	1	1	1	1	1	1	85.155	85.1776	84.8102	84.9613
2	1	1	2	2	2	2	2	86.4528	86.3384	86.0785	86.2967
3	1	1	3	3	3	3	3	71.5856	72.0901	72.0854	72.3914
4	1	1	1	1	1	1	2	84.9254	84.6351	84.6233	84.7001
5	1	1	2	2	2	2	3	86.2863	86.2104	86.2809	86.2276
6	1	1	3	3	3	3	1	73.3321	72.9888	72.3855	72.583
7	1	1	1	1	2	3	1	79.7942	79.7696	79.6533	79.5771
8	1	1	2	2	3	1	2	85.8358	85.7286	85.5674	85.6151
9	1	1	3	3	1	2	3	88.9699	88.5631	87.6836	87.4334
10	1	2	1	1	3	2	1	85.5983	85.4794	85.7103	85.4964
11	1	2	2	2	1	3	2	84.533	84.31	84.1925	84.0509
12	1	2	3	3	2	1	3	90.0092	89.9033	89.8133	89.9833
13	1	2	1	2	3	1	3	79.415	79.3126	79.1877	79.1573
14	1	2	2	3	1	2	1	87.1711	87.1289	87.1609	87.103
15	1	2	3	1	2	3	2	81.0004	81.1189	81.0947	81.1428
16	1	2	1	2	3	2	1	79.8704	80.1034	80.3212	79.9605
17	1	2	2	3	1	3	2	85.9408	85.6801	85.6151	85.566
18	1	2	3	1	2	1	3	84.8836	85.1915	84.9771	84.9655
19	2	1	1	2	1	3	3	90.1663	89.9804	89.7561	89.8229
20	2	1	2	3	2	1	1	81.4155	81.2254	80.8778	81.3498
21	2	1	3	1	3	2	2	87.0254	87.1156	87.0048	86.9065
22	2	1	1	2	2	3	3	89.9966	89.6733	89.5849	91.2433
23	2	1	2	3	3	1	1	74.6183	74.7712	74.3436	74.4124
24	2	1	3	1	1	2	2	87.4817	87.2692	87.246	87.1757
25	2	1	1	3	2	1	2	86.1964	84.0362	83.8218	84.0275
26	2	1	2	1	3	2	3	88.3593	88.422	88.4109	88.4297
27	2	1	3	2	1	3	1	87.0364	87.1628	87.1628	86.7388
28	2	2	1	3	2	2	2	83.761	83.6725	83.3996	83.5142
29	2	2	2	1	3	3	3	76.06	75.9777	75.9671	75.8974
30	2	2	3	2	1	1	1	90.1472	88.4234	85.4628	88.9578
31	2	2	1	3	3	3	2	63.8162	63.3154	62.8639	63.6214
32	2	2	2	1	1	1	3	86.9341	87.021	86.7994	86.8059
33	2	2	3	2	2	2	1	91.8014	91.6655	91.5595	91.6725
34	2	2	1	3	1	2	3	84.5152	84.3353	84.2555	84.3105
35	2	2	2	1	2	3	1	81.187	80.9971	81.2845	81.1242
36	2	2	3	2	3	1	2	78.7703	78.6587	78.4341	78.5296

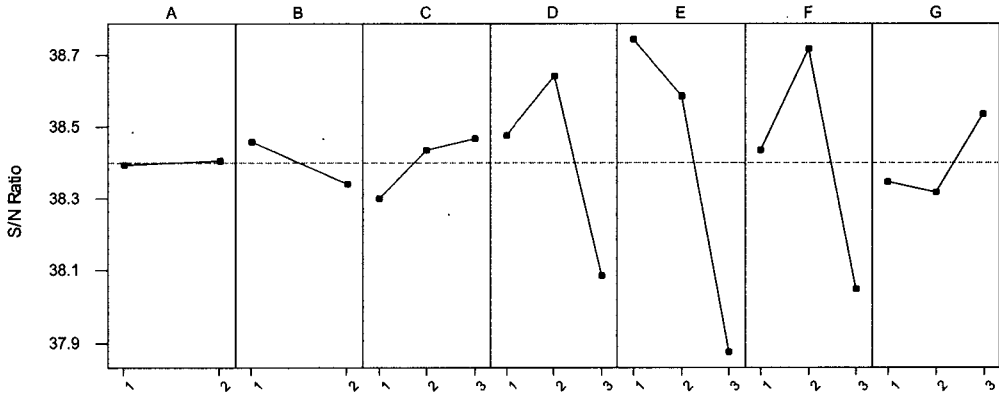


Fig. 7 Graph of analysis result (analysis for maximizing SPL at 1 kHz)

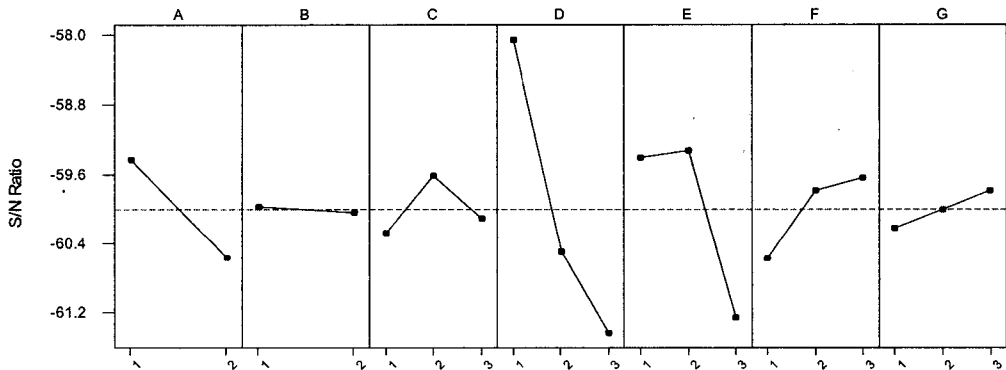


Fig. 8 Graph of analysis result (analysis for minimizing 1st resonance frequency)

Table 3 Comparison of S/N ratio estimate (analysis for maximum SPL at 1 kHz)

	Level 1	Level 2	Level 3 or 2	Optimal
SN ratio	38.7511	39.0418	37.3579	39.5686

교를 할 수 있다. 최적 조건일 때가 1수준으로 구성된 조건보다 SN비로 $39.5686 - 38.7511 = 0.8175$ 만큼 개선되었다. 이를 금액으로 환산하면 $10^{0.08175} = 1.207$ 배 만큼 손실금액이 감소되었다. 즉, 최적 조건으로 단말기에 마이크로스피커를 결합시 1수준으로만 장착했을 때보다 음압레벨 관점에서 1.207 배의 효과를 볼 수 있다.

(7) 재현 실험 및 표준화(단계 7)

이제까지의 과정으로 얻은 최적 조건으로 다시 4회 실험하였더니 SN비가 최적 조건과 거의 동일했다. 따라서 제시된 최적 조건은 타당하다고 할 수 있다. 이 결과를 정리하면 단말기에 마이크로스피커

Table 4 Level of SPL optimization(in dark shell)

Factor	Sym.	Content	Level 1	Level 2	Level 3
Control	A	Mock-up sealing	Full	Half	Not
	B	Poron type	A	B	Not
	C	Mock-up shape	Cylinder	Semi-cylinder	Hexahedron
	D	Mock-up volume	10cc	5cc	3cc
	E	Poron thickness	0.5 mm	0.2 mm	Not
	F	Size of sound hole	98 mm ²	63 mm ²	35 mm ²
	G	Screen type	A	B	Not

Table 5 Comparison of S/N ratio estimate (analysis for minimizing 1st resonance frequency)

	Level 1	Level 2	Level 3 or 2	Optimal
SN ratio	-57.9248	-59.8262	62.8476	-55.8181

를 결합시 1 kHz에서의 음압레벨을 최대화하기 위한 방법으로 Tabel 4와 같이 표준화할 수 있었다.

3.3 광대역화를 위한 실험 및 분석

단말기와 마이크로스피커가 결합시 광대역화를 위해 1차 고유 주파수를 저하시키기 위한 방법을 도출하기 위한 문제로 이 경우는 계량 정특성 망소 문제라고 할 수 있다. 망소 특성인 경우의 SN비 공식은 식 (10)과 같다. Fig. 8과 Table 5는 앞 선 3.2절의 7 단계의 실험과 동일하게 하여 도출된 실험결과이다.

$$SN = -10 \log_{10} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \quad (10)$$

SN비가 큰 수준들을 선택하면, 최적 조건은 A1, B1, C2, D1, E2, F3, G3이다. 그러나, 실제적으로 B, G인자는 어떤 수준을 선택해도 최적 조건에 거의 영향을 미치지 못하며, D, A, E, F순으로 최적 조건에 가장 크게 영향을 미친다고 할 수 있다. 그리고, 최적 조건일 때가 1수준으로 구성된 조건보다 SN비로 $(-55.8181) - (-57.9248) = 2.1067$ 만큼 개선되었다. 이를 금액으로 환산하면 $10^{0.21067} = 1.6243$ 배 만큼 손실금액이 감소되었다. 즉, 최적 조건으로 단말기에 마이크로스피커를 결합시 1수준으로 장착했을 때보다 1차 고유주파수 관점에서 1.624배의 효과를 볼 수 있다.

4. 결 론

근래의 정보 통신 사회의 도래와 이에 부응하는 주변 산업의 성장은 기존에 사용되던 거의 대부분의 제품들의 소형화를 요구하고 있으며, 특히 이동통신 단말기에 사용되는 마이크로스피커는 소형화의 필요가 크게 대두되고 있으나, 이를 위한 기초적인 연구 조차 진행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이 문에서는 기존의 라우드스피커와는 구조 및 소재면에서 상이한 마이크로스피커에 대한 전자기계, 진동계 및 음향계의 연성 해석을 통하여 설계방안을 제시하였다. 또한 실제로 특성이 좋은 마이크로스피커를 개발하였다더라도 양산되고 있는 단말기에 장착시 원하는 특성이 나오지 않을 수 있으므로 통계적 실험

계획법(experiments design)의 한 분야인 다구찌(Taguchi) 기법을 사용하여 마이크로스피커가 단말기에 장착시 음향 특성에 가장 영향을 미치는 요인들을 분석하여 단말기 음향 특성 향상을 위한 방법을 제시하였다. 그 결과 여러 실험 조건과 비교를 통하여 1 kHz에서 최대의 음압레벨을 낼 수 있는 최적 조건과 1차 고유주파수를 저하를 위한 최적 조건을 도출할 수 있었다. 제시되어진 최적 조건은 단말기 목합 설계시 설계 표준 자료로 활용되어질 수 있다.

후 기

이 연구는 2004년도 산학협동재단 학술연구비에 의한 과제의 일부로 연구되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Kinsler, L. E., 1982 "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Son, USA.
- (2) Hwang, G. Y., Lee, H. J., Hwang, S. M., Kang, B. S. and Jeung, S. K., 2003, "Performance Comparison between Inner and Outer Permanent Magnet Type Micro-speakers used for Mobile Phones", Journal of Applied Physics, Vol. 93, No. 10, pp. 8519~8521.
- (3) Link, A. N. and Tassey, G., 1993, "Propulsion System Design Optimization Using the Taguchi Method", IEEE Trans. on Engineering Management, Vol. 40, No. 3, pp. 315~322.
- (4) Lee, B. C. and Kim, J. D., 2004, "Experimental Analysis Using Taguchi Method on the Resonator in the Rotary Compressor for Air Conditioner", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 3~9.