

휴대폰용 일체형 음향 및 진동 발생장치 개발을 위한 연구

Study on the Development of Integrated Vibration and Sound Generator

신 태 명[†] · 안 진 철^{*}

Tae-Myung Shin and Jin-Chul Ahn

(2003년 8월 14일 접수 : 2003년 10월 27일 심사완료)

Key Words : Cellular Phone(휴대폰), Vibration Motor(진동모터), Law of Similarity(상사법칙), Resonance Frequency(공진 주파수), Magnetic Flux Density(자속밀도), Integrated Generator(일체형 발생장치)

ABSTRACT

The received signal of a mobile phone is normally sensed through two independent means which are the sound generation of a speaker and vibration generation of a vibration motor. As an improvement scheme to meet the consumer's demand on weight reduction and miniaturization of a mobile phone, the design and development of an integrated vibration and sound generating device are performed in this research. To this purpose, the optimal shapes of the voice coil, the permanent magnet and the vibration plate are designed, and the excitation force applied to the vibration system of the new device is estimated and verified through theoretical analyses, computer simulation, and experiments using an expanded model. In addition, vibration performance comparison of the device with the existing vibration motor is performed, and from the overall process, therefore, the method and procedure for the vibration performance analysis of the integrated vibration and sound generating device are established.

1. 서론

국내 이동통신의 효시는 1961년 8월에 제공된 공중용 이동전화 서비스로서 그 당시 최초의 가입자는 80여명에 불과하였으나 1990년대 이후 개인 휴대통신의 수요가 급증하면서 최근 국내에 보급된 휴대전화는 약 2천 6백만 대에 이르는 것으로 보고되고 있다. 이러한 휴대폰 시장의 급격한 성장은 휴대폰이 가지는 휴대의 편리성과 시간, 공간상의 제약이 적다는 장점 때문이라 할 수 있다.⁽¹⁾

휴대폰 단말기, CDMA 단말기 등 각종 이동통신 단말기의 수요가 꾸준히 증가하면서 이동통신 단말기

의 개발 및 성능개선 또한 활발히 이루어지고 있다. 현재 이동통신 단말기의 개선 방향은 소형화와 고급화라는 두 가지 방향으로 나뉘어지고 있다. 부품의 크기를 줄이고 불필요하거나 일체화가 가능한 부품은 그 수를 줄이는 방법으로 단말기를 소형화하고 있으며, 사용자의 욕구를 충족시키기 위하여 다양한 사용 기능을 추가하고 음향을 고급화하는 등의 연구가 진행되고 있다.

휴대폰에 걸려온 통화 또는 메시지의 착신 신호를 감지하는 방법으로는 촉각을 이용하는 진동발생장치와 청각을 이용하는 음향발생장치가 있다. 지금까지는 이 두 가지 장치가 서로 독립적인 부품으로 공급되어 사용되어 왔다.

진동발생장치는 편심질량의 회전을 이용한 진동모터를 주로 사용하는데 그 형태에 따라 실린더형과 코인형으로 구분하여 사용되어 오다가⁽²⁾ 최근들어 이동

[†] 책임저자, 정회원, 충주대학교 기계설계학과
E-mail : tmsin@mail.chungju.ac.kr

Tel : (043)841-5377, Fax : (043)841-5370

^{*} 정회원, 피에조에스티(주)

통신 단말기의 소형화와 경량화 추세에 따라 대부분 공간활용도가 높은 코인형이 주종을 이루고 있다.

음향발생장치에는 벨소리를 내기 위한 부저(buzzer), 어느 범위 이내의 적은 음량을 내는 소형 스피커, 그리고 주로 통화음을 내기 위한 목적의 리시버 등이 있다. 최근 음향장치의 고급화 요구로 고음질의 스피커 개발과 소프트웨어적인 제어 기술에 바탕을 두고 시스템화 하여 다중화음, 입체음향, 자연음 등을 낼 수 있도록 연구가 진행되는 추세이다.

그런데, 한편으로 이렇게 서로 독립적인 부품으로 공급되는 두 장치를 하나가 되도록 하면 소형화를 위한 공간효율이 높아지기 때문에 진동장치와 음향장치를 일체화하려는 개발 연구가 최근 진행되어 왔다.

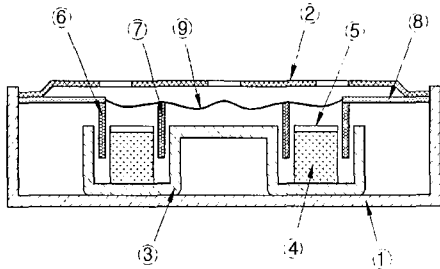
여기서 일체화에 적합한 변경은 음향장치보다는 진동장치가 더 효율적일 것이라는 판단으로 주로 진동장치 설계에 초점을 맞춰 논의하기로 한다.

따라서, 본 논문에서는 최근까지의 연구를 토대로 기존의 진동발생장치의, 매커니즘을 진동모터로부터 공진형 진동판으로 변경하는 개념설계를 시도하였으며 실제 진동 성능이 실용화에 충분한지를 정량적으로 예측하기 위한 해석과 시험을 실시하여 그 결과를 분석하기로 한다.

2. 일체형 음향 및 진동 발생장치 개념

2.1 일체형 장치의 개념

일체형 음향 및 진동 발생장치는 여러 가지 구조로



- | | |
|---------------|---------------------|
| 1 : Case | 6 : Vibration coil |
| 2 : Cover | 7 : Sound coil |
| 3 : Yoke | 8 : Vibration plate |
| 4 : Magnet | 9 : Sound plate |
| 5 : Top plate | |

Fig. 1 Conceptual diagram of integrated vibration and sound generating device

고안할 수 있으나 그 기본적 개념은 다음 몇 가지로 압축할 수 있다.

먼저 코일의 개수에 따라 코일이 하나 또는 두 개인 장치로 나눌 수 있으며, 진동을 발생시키는 대상에 따라서는 요크와 자로를 형성하는 마그네트를 진동판에 부착시켜 함께 진동시키는 방법과 코일이 부착된 진동판을 진동시키는 방법이 있을 수 있다.

위의 Fig. 1은 앞에서 설명한 몇 가지 개념 중에서 진동발생용 코일과 음향발생용 코일을 따로 설치하고 진동판 자체로만 진동하도록 되어있는 장치의 개념도이다.

2.2 기존 개념상의 기술적 특징

최근까지 특허 등을 통하여 제안되고 있는 일체형 개념의 실용화시 예상되는 문제점은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 진동발생장치의 진폭이 체감에 충분한가? : 음향발생용 코일과 진동발생용 코일을 공히 코일 하나로서 사용하는 경우에는 장치의 소형화가 가능하나 두 가지 주파수 특성에 다같이 맞추어야 하기 때문에 진동특성이 원하는 수준보다 낮을 수 있다.

(2) 장치의 두께는 적절한가? : 음향발생용 보이스 코일과 진동발생용 보이스 코일을 따로 설치하는 설계의 경우에는 두 보이스 코일이 마그네트 상부 혹은 하부 중 어느 한 쪽에 위치하더라도 코일과 코일 지지대를 설치하기 위하여 최소 공간이 필요하므로 장치의 두께가 과도하게 증가할 수 있다.

위에서 언급한 개념의 단점을 보완하기 위하여서는 공극에서의 자속밀도를 증가시켜 가진력을 크게 하고 진동판의 동적 특성을 파악하여 감쇠를 최소화하며 진폭을 극대화시키거나 장치의 크기를 최소화시킬 수 있는 구조설계 및 형상설계가 적절히 이루어져야 할 것이다.

3. 일체형 발생장치의 개선 설계

3.1 기존 휴대폰의 진동특성

일체형 음향 및 진동 발생장치를 설계하기 위하여 우선 현재 사용 중인 휴대폰 단말기로서 코인형 진동모터의 진동특성을 파악해 보았다. 회전하는 코인형 진동모터를 사용하면서 최근 그 사용빈도가 높은 세 가지 휴대폰 단말기에 대해서 FFT분석기로 그 진동

모드에서 발생하는 가속도 신호를 측정 한 결과 Fig. 2와 같이 전반적으로 가진 주파수의 특성이 대체로 160 Hz~220 Hz 범위의 주파수대로 나타난다.

이는 대체로 60~250 Hz의 범위에서 인체가 느끼는 체감진동의 민감도가 비교적 크게 나타난다는 연구결과⁽³⁾를 토대로 각 휴대폰 진동발생장치 설계시 고려된 것으로 사료된다. 따라서 앞에서 살펴본 휴대폰의 진동특성 분석의 결과를 토대로 하여 일체형 장치의 설계시에도 상기한 주파수 범위에 장치의 고유진동수가 위치하도록 하여 공진에 의한 체감진동 효과를 최대화하도록 하였다.

3.2 일체형 발생장치의 제안설계

감도가 높은 충분한 크기의 체감진동을 발생시키기 위해서는 진동발생용 보이스 코일과 마그네트 사이에 있는 공극에서의 자속밀도를 최대한 크게 하고 코일의 길이를 길게 하여야 하며 적정 주파수 범위의 공진에너지가 크면서 잘 전달될 수 있도록 구조적으로 안정한 진동판의 형상을 설계하여야 한다. 이러한 점

들을 고려하여 설계된 일체형 음향 및 진동 발생장치의 구조를 아래 Fig. 3에 표시하였다.

위의 일체형 발생장치 개념설계에서 음향발생 원리는 기존과 큰 차이가 없으므로 진동발생 원리를 설명하면 케이스의 내부에 진동발생용 보이스 코일 두 개를 상·하로 벽면에 고정 설치하고 자로를 형성하는 마그네트의 상하 중심이 두 코일 사이에 있는 분리링의 중심에 위치하도록 설치하여 상부의 코일과 하부 코일에 180°의 위상차로 전류를 입력하면 요크와 영구자석이 운동하는 원리이다. 그 특징은 코일을 매입형으로 설치하므로 설치공간에 대한 제약을 적게 받아 코일의 길이를 길게 할 수 있으며 상하부 두개의 코일을 설치함으로써 가진력이 최대한 크게 작용할 수 있도록 한다. 특히, 진동판은 인체가 느끼는 체감진동 민감도가 가장 좋은 범위에서 수직방향의 1차 고유진동수를 갖도록 하면서 동시에 필요한 강도가 유지되도록 설계하였다. Fig. 4는 이렇게 하여 설계된 유사특성의 5가지 대표적인 진동판 형상을 보이고 있

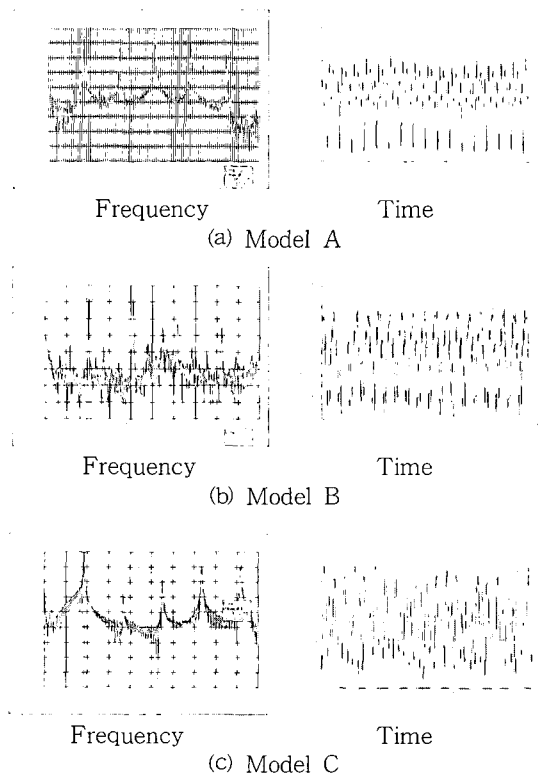


Fig. 2 Frequency characteristics of sample mobile phones

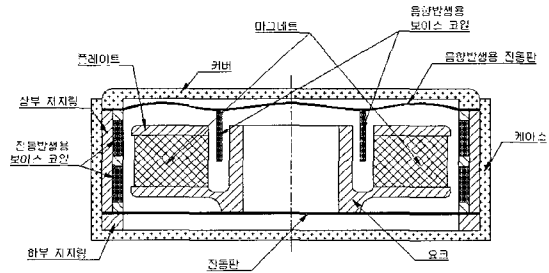


Fig. 3 Conceptual design of integrated vibration and sound generating device

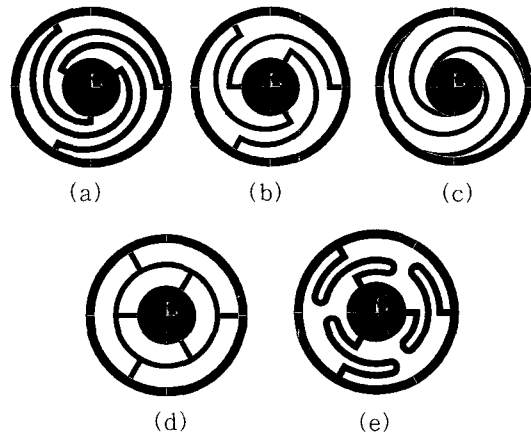


Fig. 4 Shape design of vibration plates

다. 본 논문에서는 이들 중에서 단면형상이 가장 단순하면서 제작성이 우수할 것으로 판단되는 (d)형상을 설계단면으로 취한다.

3.3 일체형 장치의 설계방안에 대한 성능해석

일체형 음향 및 진동발생장치 설계에 대한 성능을 측정·검증하기 위한 모델로서 실제 크기(케이스 외경 14mm)가 너무 작아 실험용 모델 제작이 어려우므로 길이를 기준으로 5배 확대시킨 모델을 대상으로 하여 해석 및 시험을 실시하였다.

(1) 이론적 해석 방법

앞의 설계방안에 대하여 일자유도계로 표현되는 진동계는 보이스코일의 자기유도에 의하여 가진력이 발생된다. 아래의 3변식으로 표현되는 가진력은 공극의 자속밀도(B_g)와 코일의 길이(L_c), 입력전류(I)의 곱으로 나타낼 수 있는데 그 값은 다음과 같은 방법으로 계산하여 결과를 얻을 수 있다.⁽⁴⁾

$$B_g = \sqrt{\frac{L_m A_m B_m H_m \mu_o}{f F L_g \pi (D_o + L_g) T_g}} \quad (1)$$

여기서,

- L_m : 자석의 높이 A_m : 자석의 단면적
- B_m : 자석의 자속밀도 H_m : 자석의 자계세기
- μ_o : 진공 투자율 f : 자기저항계수
- F : 누설계수 L_g : 공극의 길이
- D_o : 자석의 외경 T_g : 공극의 깊이
- d_c : 코일 직경 n : 감은 횟수

$$L_c = \pi d_c n \quad (2)$$

$$F_e(t) = L_c B_g I(t) \quad (3)$$

조화가진에 의한 변위를 구하기 위하여 일체형 장치를 일자유도계로 간략화하여 감쇠-강제진동에 대한

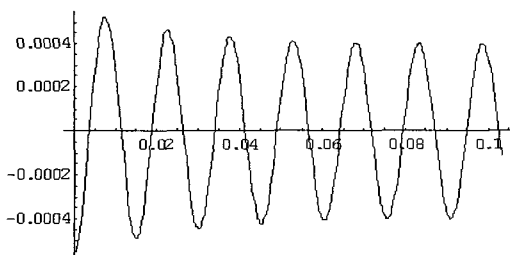


Fig. 5 Response to harmonic excitation

변위응답을 구한다.

여기서 질량은 샘플을 제작하여 측정하였으며, 강성은 ANSYS로 정하중에 대한 정적 변위를 구하여 산출하였다. 또한 감쇠비는 일반 철강 재질의 용접 구조물을 해석할 때 보수적으로 사용되는 값인 5%로 가정한다. 조화가진에 개하여 질량, 감쇠 및 강성을 고려하여 시스템의 응답을 시간과 변위 평면에 대한 그래프로 나타내면 Fig. 5와 같이 $t=0$ 일 때 최대의 변위를 보이며 부족감쇠 시스템을 나타낸다.

(2) 전산 해석 방법

일체형 발생장치 설계에 대한 성능을 검토하기 위하여 해석프로그램인 ANSYS를 이용한 동적해석을 실시한다. 이 때 요크와 영구자석 플레이트 부분은 직접 모델링을 하지 않고 3차원질량요소(mass21)로 표현하였으며 진동판은 8절점 구조용 셸(Shell93)요소를 사용하여 모델한다.

구속조건은 Fig. 6에서 굵게 표시된 지지링에 지지되는 진동판 외부링의 모든 자유도를 구속하고 요크와 영구자석이 놓여지는 내부 원판은 두께방향의 변위를 커플링하는 방법으로 구속한다. 주요한 동특성을 파악하기 위하여 모드 해석을 수행한 결과 1차 모



Fig. 6 Analysis model of vibration plate

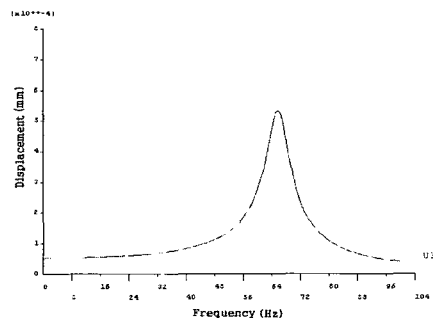


Fig. 7 Response spectrum to harmonic excitation

드는 두께방향의 거동($f_n=67.8\text{ Hz}$)으로 나타났다. 해석에 적용된 조화하중은 앞의 2절 이론적 방법에서 설명하였듯이 코일의 길이와 공극의 자속밀도, 입력 전류로 계산한 결과치를 적용하며 감쇠비는 앞의 이론적 해석과 동일하게 가정한다.

참고로, 진동관의 중앙에 조화하중을 0 Hz부터 100 Hz까지 0.5 Hz 간격으로 증가(sine sweep)시키면서 적용하여 최대진폭을 계산한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

(3) 실험적 방법

앞에서 설명한대로 실제 일체형 음향 및 진동발생 장치가 지나치게 소형이라서 모델 제작 및 실험이 어렵기 때문에 길이를 5배 확대시킨 모델(케이스 외경 : 약 70 mm)을 제작하였다. 그리고, 확대모델에 대한 모드시험을 통하여 고유진동수를 측정하고 가진에 의한 응답을 검토하였다.

즉, Fig. 8과 같이 함수발생기 또는 FFT의 가진신호를 일체형 장치에 입력하고 일체형 장치의 플레이트 상부에 가속도 센서를 부착하여 가속도 신호를 측정하고 증폭기를 거쳐 FFT 분석기에서 응답신호인 주파수에 대한 가속도 값을 측정한다.⁽⁵⁾

랜덤가진에 대한 응답으로서 고유진동수를 확인한 결과, 실험용으로 제작한 일체형 장치의 고유진동수

는 Fig. 9와 같이 약 65.9 Hz로 나타난다.

일체형 장치의 진동발생용 코일에 1.25 A의 전류를 동일 주파수로 부가하여 진동을 발생시킨 후 출력가속도의 피크 크기를 측정된 결과 Fig. 10에서 보듯이 그 값은 약 41.7 m/s^2 로 나타난다. 따라서, 실험에 의한 결과를 이용하여 조화하중에 대한 변위응답을 계산하면 확대모델의 최대 진동변위가 0.243 mm로 나타나 앞의 이론적 해석이나 컴퓨터 프로그램에 의한 해석에 의한 결과(0.56 mm, 0.53 mm)보다는 훨씬 작은 결과를 보인다.

본 논문의 실험에서는 기하학적 상사성을 이용하여 원형의 5배 크기로 모형을 제작하였으며 동일 재질을 사용하였다. 아래의 Table 1은 모델의 크기를 5배로 확대시킨 경우의 상사법칙과 확대비를 나타낸 것으로

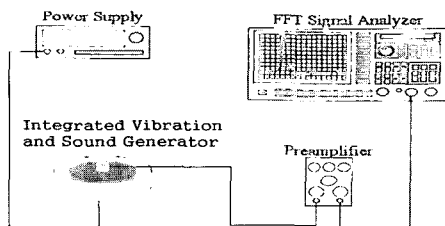


Fig. 8 Measurement of vibration generator acceleration using FFT

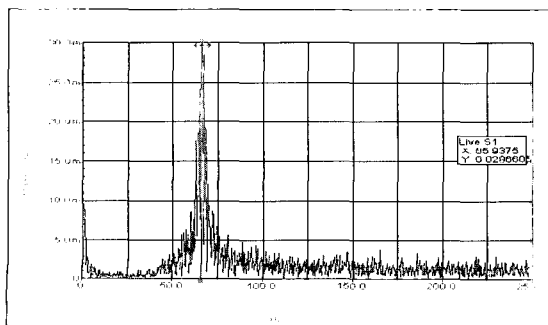


Fig. 9 Frequency response to random signal

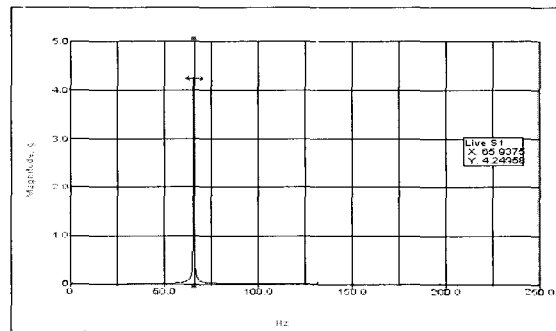


Fig. 10 Frequency response to sine signal

Table 1 Similarity law for test model

Variables	Abb	Dimension	Ratio of Similarity (model/prototype)	
			Relation	Ratio
Length	L	L	$L_m / L_p = a$	5
Time	T	T	$T_m / T_p = a$	5
Mass	M	M	$M_m / M_p = a^3$	125
Velocity	V	LT^{-1}	$V_m / V_p = 1$	1
Acceleration	A	LT^{-2}	$A_m / A_p = a^{-1}$	1/5
Frequency	f	T^{-1}	$f_m / f_p = a^{-1}$	1/5
Force	F	MLT^{-2}	$F_m / F_p = a^2$	25
Young's modulus	E	$ML^{-1}T^{-2}$	$E_m / E_p = 1$	1
Density	ρ	ML^{-3}	$\rho_m / \rho_p = 1$	1

첨자 m 은 모형(model)을 p 는 원형(prototype)을 의미한다. Table 1에 나타난 상사법칙에 의한 확대비를 적용하여 모형의 측정치와 원형의 상사법칙에 의한 환산값을 비교하여 나타내면 Table 2와 같다.

여기서 중요한 두 가지 물성치는 해석상의 신뢰성을 검토하기 위해 이론 및 전산해석과 비교하기 위한 최대변위 진폭이며, 설계된 일체형 장치와 현재 사용 중인 진동모터와의 체감진동 성능을 비교하기 위한 전달력이 된다.

4. 해석결과의 분석

4.1 동적 특성의 비교

일체형 진동 및 음향 발생장치의 체감진동 성능을 검토하기 위하여 이론적인 계산과 컴퓨터 시뮬레이션, 그리고 실험을 통하여 얻어진 동적특성 주요 물성치를 비교하여 아래 Table 3에 나타내었다.

이론적인 계산값과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 동적 해석에 의한 결과값은 거의 오차가 없었으나 모형을 제작하여 측정 한 값은 최대변위가 약 2배의 오차를 나타내었다.

이러한 오차가 나타난 원인을 분석하면 대체로 다음과 같은 요인들로 정리될 수 있는데 여기서는 이러

Table 2 Conversion of test results by similarity law

Objects Variables	Scale-up Model	Prototype
Out-Diameter	70 mm	14 mm
Mass	152 g	1.22 g
Nat. Frequency	65.9 Hz	329.5 Hz
Displacement	0.243 mm	0.0486 mm
Acceleration	41.7 m/s ²	208.5 m/s ²
Resultant force	6.34 N	0.25 N

Table 3 Comparison of results from theory, analysis, and experiment

Methods Results	Theory	Computer analysis	Experime nt
Nat. freq.	64.9 Hz	67.8 Hz	65.9 Hz
Max. Disp.	0.56 mm	0.53 mm	0.24 mm

한 요인들이 중첩되어 나타난 것으로 판단된다.

(1) 자속밀도 계산상의 오차 (자속밀도의 계산에는 자석과 요크 그리고 플레이트 사이의 접촉 부위에 공극이 거의 없을 경우로 가정하지만 실제 제작에서는 접촉시 공극이 발생하므로 자로의 형성이 불완전하게 제작됨)

(2) 재질변경으로 인한 감쇠 증가 (알루미늄으로 제작하여야 할 상·하부 지지링을 제작의 편의를 위해 플라스틱으로 제작함으로 인한 감쇠의 증가)

(3) 센서질량 영향 (측정시 플레이트 상부에 가속도 센서를 부착함으로 인하여 질량 증가 효과로 진폭이 감소)

4.2 기존 진동모터와 전달력 비교

기존 휴대폰 모터를 평판에 부착하여 구속이 없는 자유상태에서 가진 한 후에 진폭(가속도)을 측정 한 결과 실린더형 진동모터는 질량이 코인형 진동모터에 비해 크므로(약 2배) 그 만큼 큰(약 2배) 전달력을 보이고 있었다. 체감진동 성능을 비교하기 위하여 실험 결과를 토대로 하여 기존의 진동모터와 일체형 장치의 전달력을 비교하여 아래의 Table 4에 나타내었다.

따라서, 기존의 진동모터와 비교하면 일체형 장치의 체감진동 성능을 나타내는 전달력은 실린더형 모터의 약 11%, 코인형 모터의 약 23%를 나타낼 것으로 예측되었다. 이는 현재의 진동판형 설계로는 기존의 진동모터에 비해 동일한 에너지를 부과할 때 체감 진동 효율이 아직 부족함을 의미한다. 따라서, 실용화를 위해 기존 부품을 대체하려면 진동특성과 효율이 양호한 특수재료로의 변경(예: 압전소자 등)이나 부과에너지의 증가, 또는 진동발생 메커니즘의 변경이 필요함을 파악할 수 있다.

Table 4 Comparison of performance bt. integrated device and existing vibration motors

Performance Kinds	Mass	Acceleration	Force
Cylinder-type Motor	3.14 g	733 m/s ²	2.3 N
Coin-type motor	1.48 g	743 m/s ²	1.1 N
Integrated device (converted value)	1.23 g	208.5 m/s ²	0.25 N

후 기

5. 결 론

본 연구에서는 일체형 음향 및 진동발생장치의 설계·제작을 위하여 이론적 계산과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 동적 해석, 그리고 모형을 제작하여 이론과 해석에 대한 검증을 수행하였다. 또한, 일체형 장치의 성능을 평가하기 위하여 기존 장치의 가속도진폭을 측정하고 전달력을 계산하여 일체형 음향 및 진동발생장치의 성능과 비교하였으며 본 논문의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 진동판을 이용한 일체형 음향 및 진동발생장치의 설계방안을 제시하고 그 성능을 검토하였다.
- (2) 이론, 전산해석 및 확대모델 시험을 통하여 일체형 장치의 정량적 특성과 한계점을 파악하고 검증하였다.
- (3) 일체형 장치가 기존 코인형 진동모터의 약 1/4에 해당하는 전달력을 발생시킬 수 있음을 예측하고 실용화를 위해서는 전달력을 개선하는 추가 연구가 필요함을 파악하였다.

본 연구는 (주)마이폰 사와 산학연컨소시엄 연구비 지원을 통하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 이상성 등, 1997, "21세기 SK Telecom의 경쟁대비 사업방향", KAIST 테크노 경영대학원 연구논문, pp.1~23.
- (2) 이한명, 2001, "3G 주요 핵심부품 기술 및 시장동향", 전파진흥 2001년 4월호, pp. 24~45.
- (3) Paul G.Rasmussen, 1982, "Human Body Vibration Exposure and its Measurement", pp. 16~17, Technical Review, Bruel & Kjaer.
- (4) 이학철, 1991, "전동식 가진기의 설계, 제작 및 성능평가", 한국과학기술원, pp. 4~6.
- (5) Shi-Uk Chung, 2002, "A Design of a two-phase permanent vibration motor used for mobile phones", Journal of Applied Physics, American Institute of Physics, pp. 6985~6987.