

새로운 형태의 휴대폰 진동용 솔레노이드 타입 액츄에이터 설계

Novel Design of Solenoid Type Actuator Using in Cell-Phone

이창민*·이홍주*·방기창*·황건용**·황상문†

Lee Chang-min, Lee Hong-joo, Bang Ki-chang, Hwang Gun-yong, and Hwang Sang-moon

Key Words : Mobile phones (휴대전화), Resonance Frequency (공진 주파수), solenoid vibration motor (솔레노이드 진동모터), vibration mode (진동모드),

ABSTRACT

With the advent of the telecommunication era, a mobile phone becomes a necessary communication device in modern society. For silent tactile signal, vibration motors have become one of the generic components in most mobile phones. Conventional vibration motors employ three-phase windings with mechanical brushes for commutation. However, mechanical commutation in these prior arts greatly deteriorates its life span, reliability, and productivity due to structural intricacy. This paper introduces a novel design of solenoid-type vibrators using electromagnetic and mechanical analysis. The proposed vibrators have a simpler structure and longer life span by eliminating wear-prone commutation parts in vibration motors.

1. 서론

국내 이동통신은 1961년 8월 공중용 이동전화 서비스로 시작하였다. 그 당시 최초의 가입자는 80여명에 불과했지만 1990년대 이후 개인 휴대통신의 수요가 급증하여 2004년에는 서비스 가입자 3,600만 명으로 총 인구의 75%에 육박하던 것이 2007년 6월말 현재 4천 2백만 명의 가입자를 상회하고 있다. 우리나라 국민 한 명 당 하나의 휴대전화를 소유하고 있다고 봐도 무방하다. Fig.1에는 휴대전화의 발전요소와 구성에 대해 나타나있다. 이동통신 산업은 전자 공학과 정보 기술에 의해 더욱 발전해 왔고, 그 유용함과 편리함으로 인해 소비자의 수요도 증가했으며, 인류의 의사소통 수단에 많은 변화를 가져왔다.^{(1)~(3)}

휴대전화의 광범위한 사용과 함께, 음향 발생기에 의한 호출신호는 많은 경우에 공공장소에서 환경적인 소음으로 작용하기 때문에 그 대안으로 진동 모터에 의한 호출신호가 많이 이용되고 있다. 초기의 진동 모터는 실린더 형과 코인 형이 함께 사용되었지만, 점차 소형화를 원하는 소비자들에 의해 실린더 형이 사라지게 되고, 현재는 코인 형 진동모터를 주로 이용하고 있다. Fig. 2는 기존 진동모터의 구조

이다. 두 타입의 기존 진동모터는 모두 기계적인 브러시, 정류기와 함께 코일이 3상으로 감겨있는 등 그 구조적인 복잡함으로 인해 낮은 신뢰성과 사용 부품수가 많아 높은 제조 비용의 문제점이 나타난다. Fig. 3는 셰이커(shaker) 진동 알고리즘을 도입한 솔레노이드 타입 진동자의 개략도이다. 셰이커 알고리즘에서 진동 메커니즘이 전자기장의 분포에 영향을 받기 때문에 기계적 요소와 전자기장이 연계된 해석이 필요하다. 빠르고 정확한 계산을 위해 공학 분야에서 널리 이용되고 있는 2, 3차원 유한 요소법(Finite Element Method: FEM)을 사용하였다. 기계, 전자기 시스템 사이의 커플링 해석을 위해 영구자석

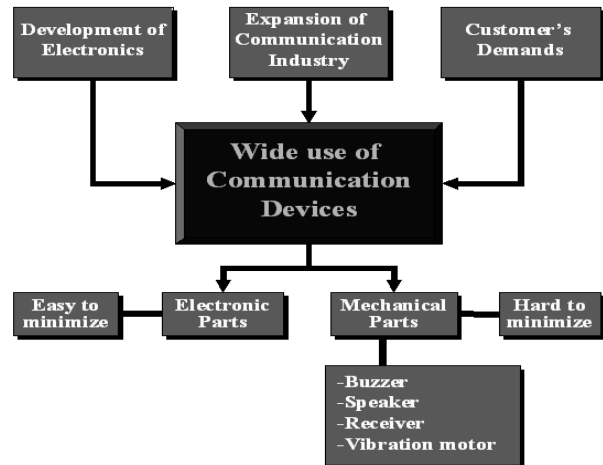


Fig. 1. Development of communication devices

† 황상문; 부산대학교 기계공학부

E-mail : shwang@pusan.ac.kr

Tel : (051) 510-3204, Fax : (051) 581-3104

* 부산대학교 기계공학부

** 영산대학교 컴퓨터공학과

Table I Characteristic feature of vibration

| Type | Cylinder type | Coin type | Solenoid type I | Solenoid type II |
|-----------|---------------|------------|-----------------|------------------|
| Windings | Rhombic | Corless | Core | Coreless |
| Airgap | Radial | Axial | Axial | Axial |
| Vibration | Rotation | Rotation | Shake | Shake |
| Size | Φ4 x 20 | Φ13 x t3.0 | Φ13 x t3.0 | Φ15 x t3.0 |

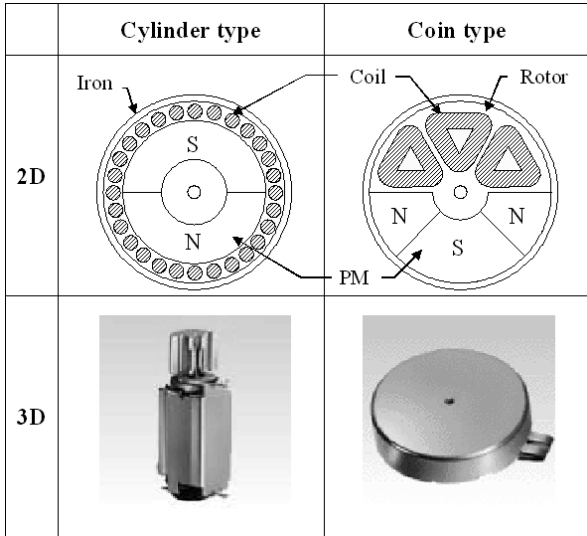


Fig. 2. Conventional vibration motors.

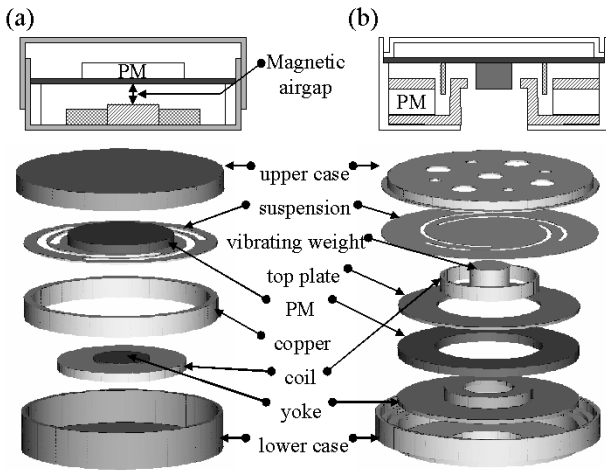


Fig. 3. Schematic of solenoid-type vibrators; (a) type I, (b) type II

(Permanent Magnet: PM) 모터의 진동과 음향 소음은 선행연구를 조사하였다.^{(4),(5)}

2. 시뮬레이션 해석

전자기 시스템의 지배방정식은 식(1)의 Maxwell 방정식으로부터 파생된다.⁽⁶⁾

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = J_0 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial M_y}{\partial x} - \frac{\partial M_x}{\partial y} \right) \quad (1)$$

여기서 μ 는 자기투자율(magnetic permeability), J_0 는 전류밀도, M 은 자기모멘트이다.

자속의 흐름인 자속밀도를 벡터로 표시하면 식(2)와 같다.

$$\{B\} = \nabla \times \{A\} = \mu \{H\} \quad (2)$$

여기서 $\{A\}$ 는 자기벡터 포텐셜, $\{H\}$ 는 자기장 세기이다. 제안한 솔레노이드 타입 진동모터의 해석을 위해 상용프로그램 Ansys 를 이용하였고, Ansys 의 자속밀도 크기는 식(2)를 이용하여 구한다.

2.1 솔레노이드 타입 I

Fig. 3(a)에서 알 수 있듯이 영구자석, 요크(yoke), 그리고 스틸 케이스(steel case)는 폐 자기회로를 이룬다. Fig. 4 는 타입 I 의 자기장 분포이다. 코일에 전류를 인가하면 전류의 방향에 따라 상·하(축 방향)로 자속이 형성된다. 전류에 의한 자속과 영구자석에 의한 자속의 상호 인력, 척력으로 인해 서스펜션이 축 방향으로 진동한다. Fig. 5 는 Ansys 를 이용한 타입 I 의 서스펜션 모델링이다. 상부 중심에 원형 영구자석이 있고, 스틸케이스에 접촉되는 외각부분에 경계조건을 주었으며, 총 14172 개의 요소에 대해 해석을 하였다. Fig. 6 과 Fig. 7 은 각각 서스펜션의 1 차 진동모드, 2 차 진동모드이다.

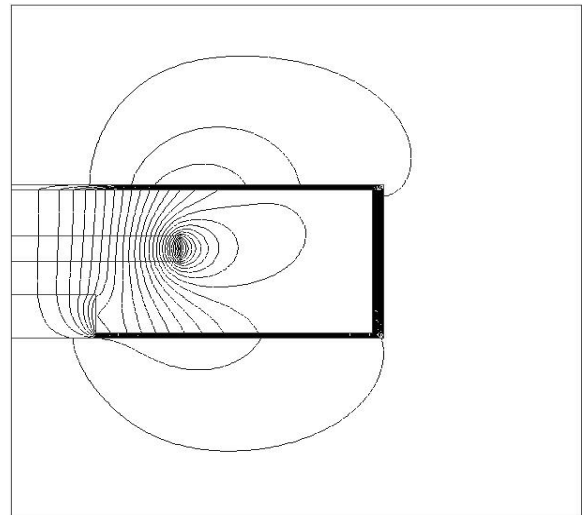


Fig. 4. Flux line of solenoid type I

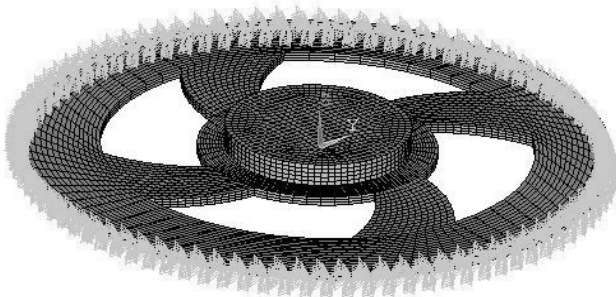


Fig. 5. suspension modeling of type I

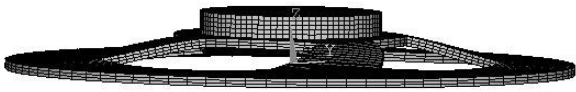


Fig. 6. 1st mode of type I

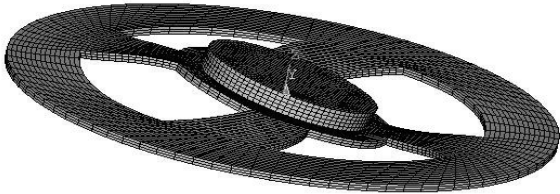


Fig. 7. 2nd mode of type I

2.2 솔레노이드 타입 II

Fig. 3(b)에 보이는 것처럼 영구자석, 요크, 그리고 탑플레이트(top plate)는 폐 자기회로를 이루고, 탑플레이트는 반경방향의 작은 공극으로 자속이 집중되도록 한다. Fig. 8은 타입 II의 자기장 분포이다. 힘의 방향은 플레밍의 왼손 법칙이 적용되며, 그에 따라 서스펜션이 축방향 진동한다. Fig. 9는 타입 II의 서스펜션 모델링이다. 아래에 진동 추와 코일이 부착되어있는 형상이다. 타입 I과 동일하게 케이스에 접촉되는 외각 부분에 경계조건을 주었고, 총 20322개의 요소에 대해 해석을 하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 각각 서스펜션의 1차 진동모드, 2차 진동모드이다. 두 가지 타입 모두 서스펜션의 전체적인 운동은 각 모드의 중첩으로 나타나고 그 결과는 축 방향 진동이다.

3. 결과

3.1 솔레노이드 타입 I

영구자석에 작용하는 자력은 식(3)에 보이는 것처럼 Maxwell stress tensor와 FEM 자기장 해석을 사용하여 계산할 수 있다.

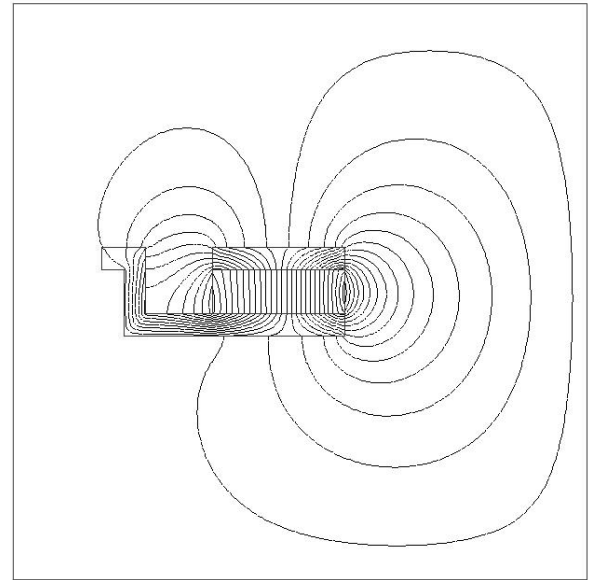


Fig. 8. Flux line of solenoid type II

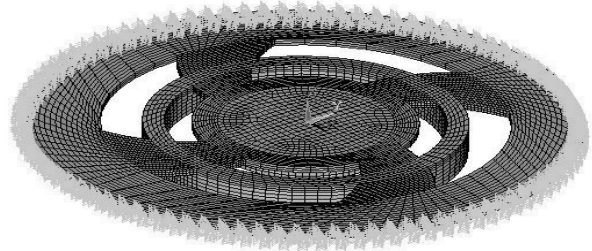


Fig. 9. suspension modeling of type II

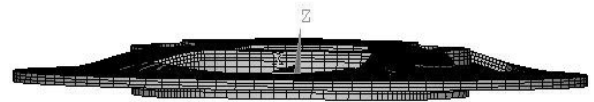


Fig. 10. 1st mode of type II

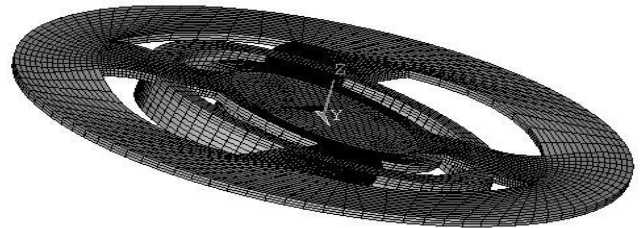


Fig. 11. 2nd mode of type II

$$F_m = \oint \sigma_y dA, \sigma_y = (1/2\mu_0) \cdot (B_y^2 - B_x^2) \quad (3)$$

여기서 F_m , σ_y , B 는 각각 자력, Maxwell stress, 자속밀도(flux density)를 의미한다. Fig. 12 는 공극 변화에 따라 영구자석에 작용하는 자력의 크기를 나타낸다. 공극의 변화에 따라 자력이 바뀌는 것으로 기계적 구조와 자력이 연계되어 있다는 점을 알 수 있다. 미소한 공극의 변화에도 자력이 변화하고, 자석과 요크의 자기인력(cogging)에 의한 서스펜션의 변형이 발생하며, 이는 다시 공극에 영향을 준다.

시스템의 기계적인 응답은 다음 방정식을 통해서 찾을 수 있다.

$$[m]\{\ddot{y}(t)\} + [c]\{\dot{y}(t)\} + [k]\{y(t)\} = \{F_m(y, t)\} \quad (4)$$

$$\{F_m(y, t)\} = \{F_{cog}(y, t)\} + \{F_{exc}(y, t)\} \quad (5)$$

여기서 $[m]$, $[c]$, $[k]$ 는 각각 질량 행렬, 감쇠계수 행렬, 강성 계수 행렬이다. 질량과 감쇠계수, 강성계수는 모두 주어져 있으므로 시스템의 공진 주파수를 찾기 위해서는 식(4)의 $\{F_m(y)\}$ 만 고려하면 된다.

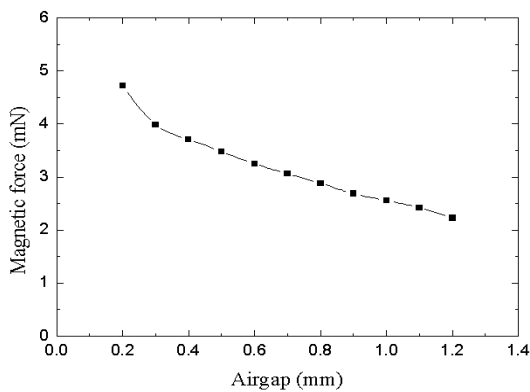


Fig. 12. Magnetic force of solenoid type I

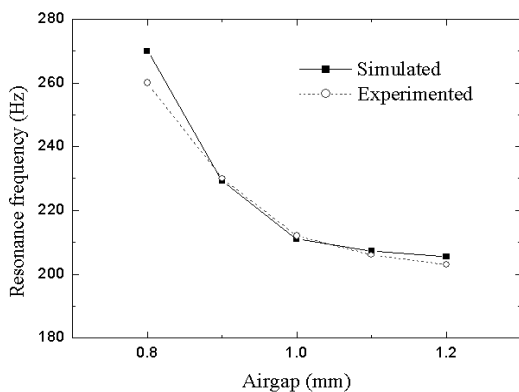


Fig. 13. Resonance frequency of solenoid type I

기계 진동 시스템에서 공진주파수는 외력에 관계없이 시스템의 구조에만 의존한다. 하지만 식(5)에서 알 수 있듯이 자력은 코깅과 가진력으로 다시 나뉘게 된다. 코깅은 정적 상태에서의 힘으로 자석과 요크의 인력에 의해 발생하며, 이것이 시스템의 추가적인 강성으로 작용한다. Fig. 13 은 공극의 변화에 따른 공진주파수를 나타낸다. 그래프에서 보이듯이 공극이 작아지면 코깅의 영향이 커져 시스템의 강성을 키우는 역할을 하여 공진주파수가 높아진다. 따라서 원하는 공진 주파수를 설계하기 위해서는 기계적, 전자기적 요소가 연계된 영향을 고려해야 한다.

3.2 솔레노이드 타입 II

자기장 해석을 위해 축대칭 경계조건과 함께 Maxwell 방정식을 이용하여, 2 차원 FEM 모델을 실행할 수 있다. Fig. 14 는 코일 위치에 따른 자속밀도를 나타낸다. 코일 전류는 등가회로의 다음 전압방정식을 풀어서 결정할 수 있다.

$$V = IR + L \frac{dl}{dt} + Bl\dot{y} \quad (3)$$

여기서 V , R , I , L 은 각각 인가된 전압, 코일 저항, 코일 전류, 인덕턴스를 의미한다. 코일 운동은 여기 전력 $Bl\dot{y}$ 을 만들고, 커플링 영향을 명백하게 한다. 여기서 l , \dot{y} 는 각각 코일길이, 코일속도를 의미한다. 여기전력과 인덕턴스는 전자기장 해석을 통해 얻을 수 있다. 자기장과 총 전류 사이의 상호작용으로부터 생기는 자기 가진력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{coil} = \oint Idl \times B \quad (4)$$

진동 추가 포함된 진동하는 서스펜션의 기계적인 모델은 FEM 을 사용하여 전개할 수 있다. 기계적 응답은 식(5)의 기계 진동 방정식을 통해서 구할 수 있다.

$$[m]\{\ddot{y}(t)\} + [c]\{\dot{y}(t)\} + [k]\{y(t)\} = \{F_{coil}(t)\} \quad (5)$$

여기서 $[m]$, $[c]$, $[k]$, $\{F_{coil}(t)\}$ 는 각각 질량행렬, 감쇠계수행렬, 강성계수행렬, 코일에 작용하는 자기 가진력을 의미한다.

Fig. 15 는 가진 주파수에 대한 진동 추 중심의 가속도를 보인다. 공진의 영향은 200Hz 근처에서 명확하게 관측된다.

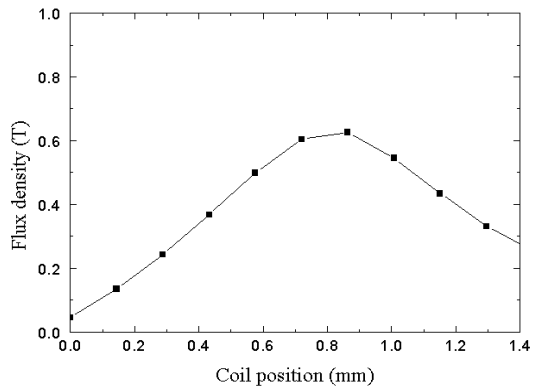


Fig. 14. Magnetic flux density of solenoid type II.

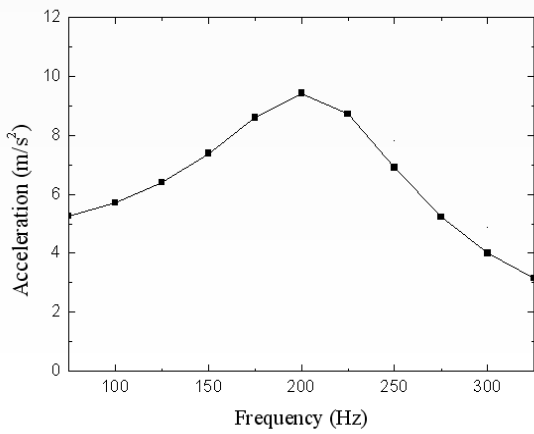


Fig. 15. Simulated acceleration of solenoid type II

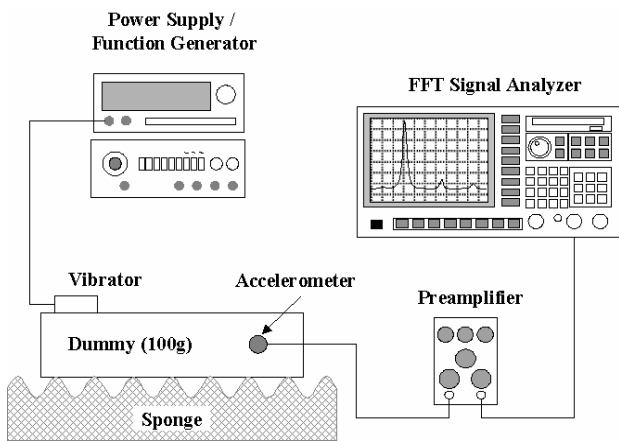


Fig. 16. Test setup for measuring acceleration.

4. 진동 실험

진동모터 구동 시 측정되는 가속도는 진동량을 정의하기 위해 널리 이용되는 파라미터이다. Fig. 16 과

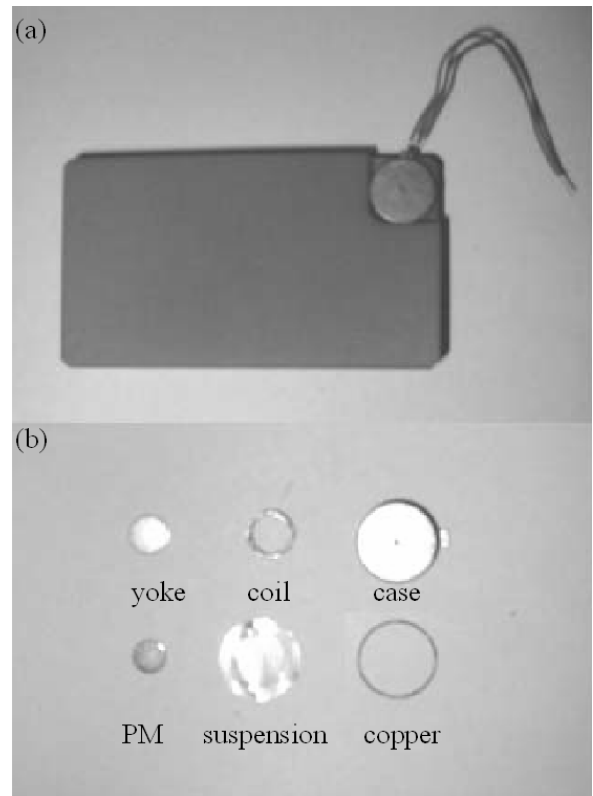


Fig. 17. Photograph of solenoid type I; (a) Prototype, (b) Parts

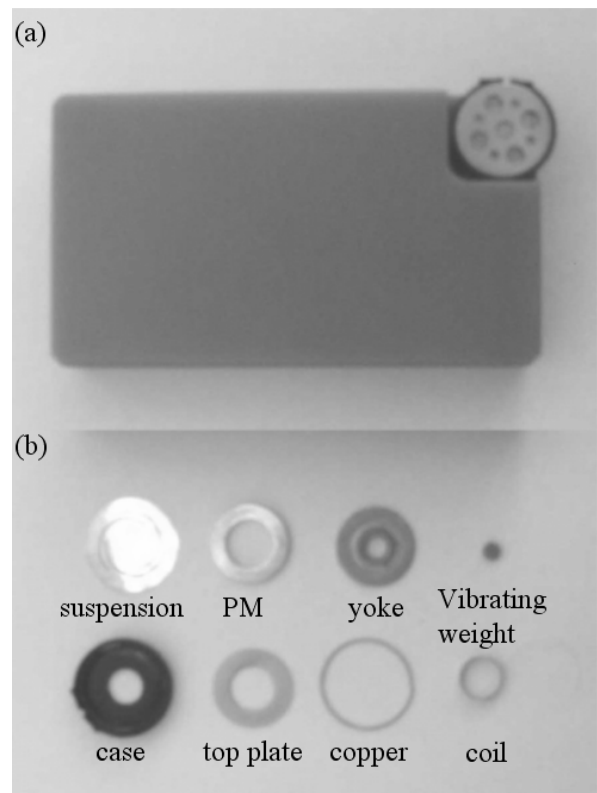


Fig. 18. Photograph of solenoid type II; (a) Prototype, (b) Parts

Table II Test results of vibrators

| Type | Cylinder type | Coin type | Solenoid type I | Solenoid type II |
|-------------|---------------|-----------|-----------------|------------------|
| Current(mA) | 40 | 30 | 30 | 30 |
| Voltage(V) | 2.3 | 3 | 3 | 3 |
| R | 50 | 100 | 90 | 100 |
| L(H) | 0.0385 | 0 | 0.0525 | 0 |
| Acc.(g) | 0.856 | 0.986 | 0.835 | 0.962 |
| # of parts | 12 | 15 | 7 | 9 |

같이 진동량 측정을 위한 테스트 장치를 구성한다. Table II 에는 여러 진동모터에 대한 진동 실험 결과가 나타나있다. 제안한 타입의 진동모터가 기존의 진동모터와 거의 같은 성능과 효율을 보이고, 구성 부품수도 더 적은 것을 볼 수 있다. Fig. 17, 18 은 제안한 솔레노이드 타입 진동자의 부품 및 전형사진이다.

5. 결론

음향 발생기에 의한 호출신호는 불쾌한 소음으로 작용하기도 한다. 따라서 진동모터에 의한 호출신호가 필요하다. 이 논문에서는 전자기장과 기계적인 요소, 그리고 이들의 커플링 해석을 통한 새로운 형태의 솔레노이드 타입 진동모터를 소개한다. 실험 결과는 제안한 두 가지 형태의 진동모터 시스템이 기계적인 공진과 함께 알맞게 구동될 때, 기존의 것들과 거의 같은 성능을 가진다는 것을 보인다. 또한 마멸이 있는 브러시 부분을 제거했기 때문에 신뢰성

과 기계 수명이 향상된다. 제품의 부품수가 줄어들기 때문에 높은 생산성과 낮은 제조 비용을 창출할 수 있다는 점이 또 다른 이점이다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2 년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) 이홍재, 2004, “이동통신 산업의 최근 동향과 전망”, KISDI 이슈리포트.
- (2) 안춘수, 강신원, 2007, “이동전화 서비스에 대한 수요 예측 및 서비스간 상호영향관계 분석”, 제 9 회 경영관련학회 하계통합학술대회.
- (3) 신태명, 안진철, 2003, “휴대폰용 일체형 음향 및 진동 발생장치 개발을 위한 연구”, 한국소음진동공학회 논문집, 제 13 권, 제 11 호, pp. 875~881.
- (4) Kim T. J., Hwang S. M., and Park N .G., July 2000, “Analysis of vibration of permanent magnet motors considering mechanical and magnetic coupling effects”, IEEE Trans. Magn., vol. 36, pp. 1346~1350.
- (5) Kim T. J., Hwang S. M., Hwang G. B., Cho J. R. Kang S. S., and Moon Y. H., May 2002, “Transient dynamic analysis of brushless direct current motors by coupling electromagnetic and hydrodynamic forces”, J. Appl. Phys., vol. 91, no. 10, pp. 6982~6984.
- (6) 황상문, 이홍주, 권중학, 황건용, 양용창, 2006, “이동통신 단말기용 통합 영구 자석 형태의 마이크로스피커 개발”, 한국소음진동공학회논문집, 제 16 권, 제 2 호, pp. 183~189.