

# 진동모터를 적용한 휴대폰 세트의 진동특성

## 극대화에 관한 연구

° 김현정\*, 최창환\*

### A Study for the Maximization of Vibration Characteristics in the Cellular Phone Set with the Vibration Motor

Heon-Jeong Kim, Chang-Hwan Choi

**[ABSTRACT]** A research to maximize the force transmitted from a vibration motor at the vibration mode, installed in the cellular phone jig, is presented in this study. When the natural frequencies corresponding to the structural vibration modes of the set exist within the range of the driving frequencies acquired by changing the RPM of the vibration motor, the structural vibration resonance is applicable to maximization of the vibration force sensible to the human body such as hands, arms, and hips. The analytical modal analysis using the Finite Elements and the experimental modal testing for the set jig were performed in order to understand the structural modes and the corresponding frequencies. Then the dynamic responses of the set jig to the given driving frequency were measured and the results on maximizing the vibration were confirmed by the FEM dynamic simulation.

#### 1. 서론

이동통신기기로 보급이 급속히 확대되고 있는 휴대폰에서, 진동모드로써 신호를 인식시키는 가진기로는 편심을 이용하여 진동을 발생시키는 진동모터를 주로 사용하고 있다.

진동모터는 전기신호를 외부로부터 입력받아 진동모터 내부의 편심 질량을 일정속도로 회전시킴으로써 원심력에 의해 반지름 방향으로 진동을 발생시키는 액츄에이터(Actuator)이다.

본 연구는 휴대폰의 진동모드를 발생시키는 진동모터를 사용함에 있어, 휴대폰 사용자가 느끼는 진동량을 극대화 시키기 위한 설계방안을 제시한다. 휴대폰 진동을 극대화 시키기 위해서는, 휴대폰 세트와 진동모터의 가진력 사이의 공진현

상을 이용하는 방법을 고려해볼 수 있다. 이는 진동모터에 의해 발생된 진동에너지가 인체로 전달되는 과정에서 휴대폰 세트에 의한 진동에너지의 전달효율을 높이는 방법으로, 휴대폰 모형에 적용하고, 이를 실험적으로 검증함으로써 진동모터 및 휴대폰 세트의 설계방안으로 제안한다.

#### 2. 본론

##### 2.1. 대상계와 모델링

휴대폰용 진동모터는 편심질량이 회전하는 방향에 따라 Bar Type 과 Coin Type 이 있다.

본 연구에서는 최근 이동통신분야의 경박단소화 경향을 반영하여, Coin Type 중  $\Phi 12$  Slim형 모터만( $\Phi = 12\text{mm}$ ,  $t = 2.7\text{mm}$ )을 대상으로 적용하였다.

실험적 모드해석과 진동 응답 시험을 적용하기 위해, 휴대폰 모형을 널리 보급되어 있는 Folder 형과 Flip 형 두 가지 모델로 제작하였다.

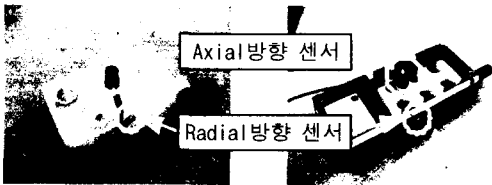
\* ㈜삼성전기 종합연구소



(a) Bar Type (b) Coin Type

Fig.1 The Types of the Vibration Motor

진동모타의 장착위치는 Folder 형은 상부폴더에, Flip 형의 경우는 몸체 상부에 위치한다.



(a) Folder Type (b) Flip Type

Fig.2 The Models of the Cellular Phone

공진여부를 판단하기 위한 유한요소모델은, 모드해석을 통해 휴대폰 세트의 고유 진동수와 고유 진동 모드를 시뮬레이션(Simulation)으로 구하고자 FE Model 을 다음과 같이 작성하였다.

Table 1. FE Model of the Cellular Phone

	Node	Element
Folder 형	2,279	7,992
Flip 형	6,304	27,221

## 2.2 휴대폰 세트에 대한 모드해석

### 2.2.1 FEM 을 이용한 모드해석

FEM 모델링과 모드해석에 사용된 S/W 는 3 차원 모델러인 I-DEAS 7.0 이며, 자유단 경계조건으로 하여 휴대폰의 탄성 모드(Flexible Normal Mode) 에 대한 고유진동수와 고유진동모드를 구하였다.

### 2.2.2 실험적 모드해석

CAE 해석에 의한 모드해석 결과를 검증하기 위해, 실험적 모드해석 용 S/W 인 STAR 를 사용하여 가진에 의한 충격실험(Impact Test)를 통해 실험

적 모드해석을 병행하였다.

실험적 모드해석은, 가진기(Impact Hammer)에 의해 주어지는 입력인 충격력 신호와 진동응답의 출력인 가속도 신호를 측정하여, 주파수 분석기를 통해 입출력 신호간의 상관관계로부터 시스템의 주파수 응답 곡선을 구하여 주파수별 고유 진동 특성을 파악한다.

휴대폰 두 가지 모델 각각에 대해, 관심있는 주파수 대역 내의 저차 모드에 해당하는 고유 진동 모드의 주요 거동을 나타내기 위해 충분하도록 총 15 개의 노드(Node)를 선정하고 이를 가진하여 실험적 모드해석을 수행하였다.

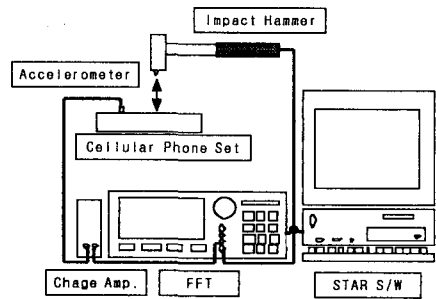


Fig.3 Experimental Modal Analysis

## 2.3 구조공진을 고려한 진동응답시험

본 실험은 진동모타에 의해 발생하는 휴대폰 세트의 진동량을 측정함에 있어서, 진동의 전달 방향을 진동모타의 반지름(Radial) 방향과 축(Axial)방향의 두 방향으로 고려하여 측정하였다.(참고:Fig.1)

진동모타의 입력전압을 변화시키면 모타의 회전속도(RPM)가 변화하게 되어 결과적으로 진동모타에 의한 가진 주파수가 변화하게 된다. 이때, 가진 주파수가 휴대폰 세트의 고유 진동수와 일치하게 되면, 세트의 진동량이 급증하는 구조공진을 나타내게 된다. 따라서, 입력전압의 제어를 통한 진동모타의 회전속도 증가에 따라 세트의 진동량 변동을 측정함으로써 구조공진 여부를 파악할 수 있다.

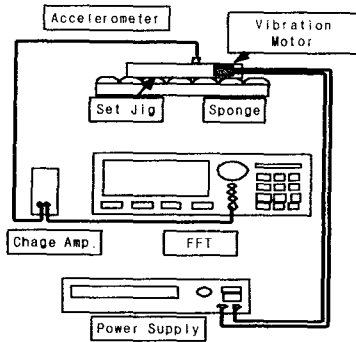


Fig.4 Experimental Response Analysis

## 2.4 실험 및 해석결과

### 2.4.1 휴대폰 모형에 대한 Modal Analysis

Folder 형과 Flip 형 두 가지 모델에 대한 휴대폰 세트의 모형을 제작하여 모드해석을 수행하였다. FEM 을 이용한 모드해석과 실험적 모드해석을 병행함으로써, CAE 해석에 의한 결과를 실험적으로 검증하였다.

실험에 사용된 휴대폰 세트 모형의 제작은, 이동통신 부품이 모두 조립된 실제 상태의 휴대폰이 갖는 비선형성을 제거하여 선형적인 시스템으로 대신함으로써 보다 명확한 모달 특성(Modal Characteristics)을 실험적으로 추출하기 위함과 동시에 향후에 진행될 진동특성 향상(진동량 극대화)을 위한 연구와의 조건의 동일성을 확보하기 위함이다.

#### (1) Folder 형 휴대폰

Folder 형 휴대폰 세트의 구조 중 진동모타가 조립되어지는 위치인 상부 폴더 부분에 대해서 모드해석을 행하였다. 폴더부분은 한쪽면이 고정되어있는 평판(Plate)으로 모델링되어질 수 있으며, 그 고유 진동 모드 또한 평판의 고유 모드형과 동일하다.

Fig.6 과 7 에서 보여지는 것과 같이, 1차와 4차 모드는 굽힘모드(Bending Mode)이고, 2차와 3차 모드는 비틀림모드(Twist Mode)를 나타내며, 자유단 경계조건으로 모드해석을 할 경우 발생되

는 6 개의 강체모드(Rigid Body Modes)는 제외한 것이다.

Table 2. Natural Frequencies for Folder type

Mode	Natural Freq.(Hz)		Error (%)
	FEA	Test	
1st	220.9	219.8	0.48
2nd	734.0	727.5	0.89
3rd	1039.7	944.3	9.18
4th	1592.7	1320.0	17.13

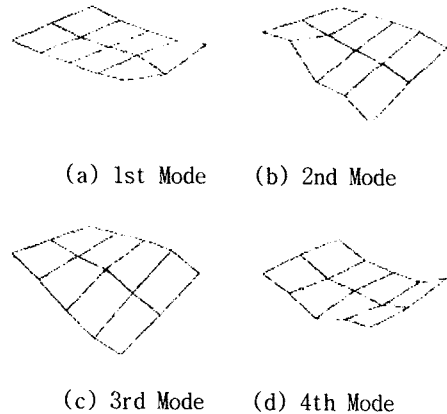


Fig.5 The Mode Shape of Folder type (Test)

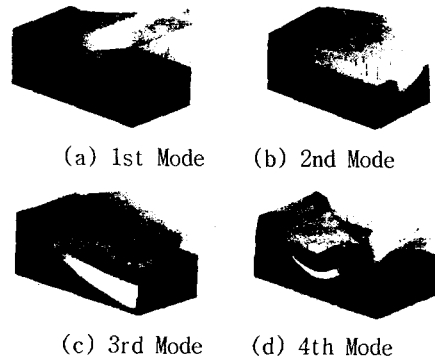


Fig.6 The Mode Shape of Folder type (FEM)

진동모타에 입력되는 전압의 증감에 따라 편심(Eccentricity)의 회전속도는 6,000 ~ 15,000 rpm 정도가 되므로, 진동모타의 허용되어지는 가

진 주파수 대역은 100 ~ 250 Hz 이다. 세트의 공진현상을 이용하기 위해서는, 모터의 가진 주파수 대역 내에 고유 진동 모드가 존재해야 하므로, Folder 형 휴대폰 세트의 경우는 굽힘모드에 해당하는 1차 고유진동수인 220 Hz 에서 세트를 가진함으로써 구조공진을 발생시킬 수 있을 것이다.

## (2) Flip 형 휴대폰

Flip 형 휴대폰의 경우는 Folder 형의 상하부 이중 구조와는 달리 단일 구조이므로, 육면체의 형상으로 진동 모드를 나타낸다.

앞서 언급한 바와 같이, 세트의 구조공진 현상을 이용하고자 한다면, 세트의 고유 진동 모드가 진동모타의 허용가진 주파수 내에 존재하여야 한다. Flip 형의 경우는 1차 고유진동수가 725 Hz 로, 진동모타의 허용가진 주파수 대역인 100 Hz ~ 270 Hz 범위에 포함되지 않는다. 따라서, 구조공진에 의한 휴대폰 세트 진동량의 극대화는 기대하기 어렵다.

Table 3. Natural Frequencies of FEA & Testing

Mode	Natural Frequency(Hz)		Error (%)
	Test	FEA	
1st	724.5	726.6	0.29
6th	2280.0	1342.8	41.11

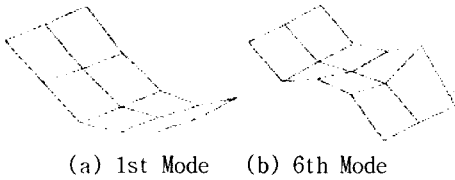


Fig.7 The Mode Shape of Flip type (Test)

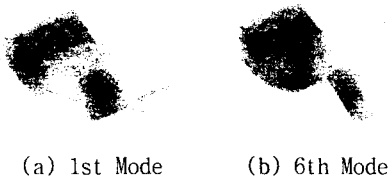


Fig.8 The Mode Shape of Flip type (FEM)

## 2.4.2 휴대폰의 고유진동특성에 의한 구조 공진

휴대폰에서 진동모타의 입력신호는 정격전압으로 주어지기 때문에, 진동모타의 회전속도는 특정 회전수로 일정하게 구동된다.

본 절에서는 모드해석 결과로부터 예측되는 공진현상을, 진동모타에 인가되는 입력전압의 증감을 통해 편심질량의 회전속도를 일정간격으로 변화시킴으로써, 세트 진동의 공진여부를 실측하고 FE 해석과의 검증을 통해 현상을 파악하였다.

해석에 적용된 FE 모델에는 Modal Analysis에 의해 세트의 1차 고유진동수인 220 Hz에서의 모달 댐핑(Modal Damping)값을 실측된  $\phi=0.015$ 의 값을 적용하였고, 진동모타의 회전수를 6,000 ~ 16,000 rpm (100 ~ 267 Hz) 구간을 1000 rpm 간격으로 진동량을 측정하였고, 특히 Folder형의 경우, 13,000 ~ 14,000 rpm (217 ~ 233 Hz) 구간에서 예상되는 구조공진에 의해 2차곡선인 응답곡선의 불연속성을 고려하여, 변속의 간격을 250 rpm (약 4 Hz) 로 하여 측정데이터의 신뢰도를 높이고자 했다.

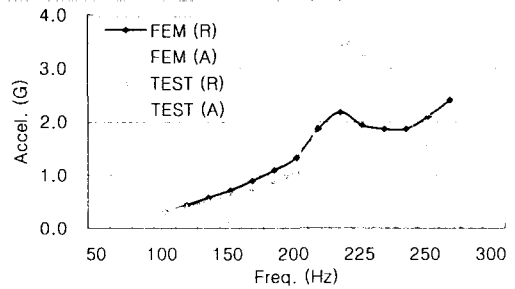


Fig.9 Response Analysis for Folder Type

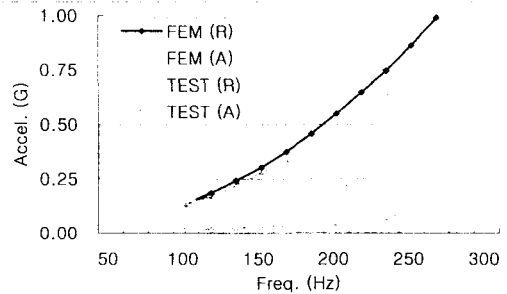


Fig.10 Response Analysis for Flip Type

휴대폰 모형 각각에 대해 FE 해석결과와 실험결과를 Fig.9와 Fig.10에 나타내었으며, 모드해석의 결과에서 예측할 수 있듯이 Folder 형의 경우 1차 고유진동수 근처에서 공진을 통해 축방향 진동량이 극대화됨을 알 수 있다.

휴대폰 모형의 고유진동수와 진동모타의 회전수와의 관계를 보다 극명하게 보이기 위해, 진동모타의 허용가능한 회전속도 범위인 6,000 ~ 15,000 rpm의 구간에 대해 500 rpm 간격으로 변화시켜, Waterfall Chart로 나타내었다.

**(1) Folder 형 휴대폰**

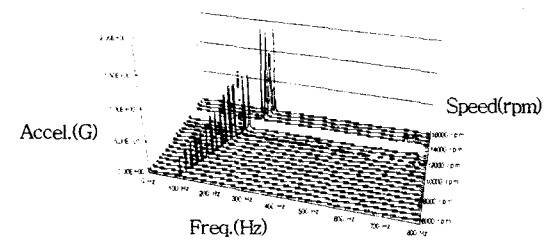
진동모타의 반경 방향과 축 방향에 대해 편심질량의 회전속도 변화에 따른 휴대폰 세트의 진동량을 측정된 결과, 진동모타의 회전속도가 14,000 rpm 되는 234 Hz에서 그 진동량이 급증하는 현상을 나타낸다. 이는 앞 절의 모드해석에서 예측한 결과와 일치하는 것으로, 휴대폰 세트의 1차 고유 진동 모드가 고유 진동수 부근의 가진

주파수에 의해 자극받아 발생하는 세트의 구조 공진 현상이다. 또한, 자극되어지는 고유 진동모드가 굽힘 모드 형상이기 때문에, 공진에 의한 진동량의 증폭은 진동모타의 반경 방향에서보다 축 방향으로 두드러지게 나타난다.

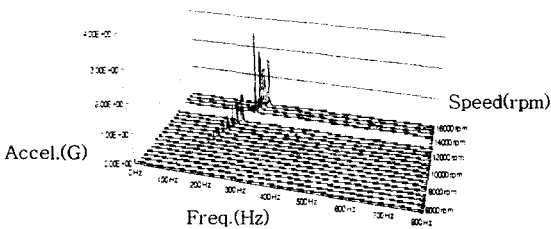
**(2) Flip 형 휴대폰**

Flip 형 휴대폰 세트의 경우에는, 진동모타의 허용 가진 주파수 대역인 100 ~ 250 Hz 내에서는 고유진동모드가 존재하지 않으므로, 진동모타의 불평형력(Unbalance Force)에 의한 공진 현상은 발생하지 않는다. 단, 휴대폰의 1차 굽힘 모드가 725 Hz 부근에 존재함에 따라, 진동모타의 축 방향에 대해 진동량이 증폭됨을 알 수 있다.

이는 진동모타의 편심에 의해 발생되어지는 불평형력이 회전성분의 1배수 성분과는 공진하지 않으나 세트의 고유 진동 모드가 존재하는 750 Hz 부근에서 회전성분의 조화(Harmonic)성분과의 공진으로 발생하는 현상이다.

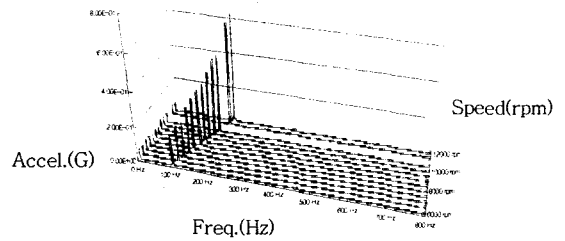


(a) Radial 방향의 진동량

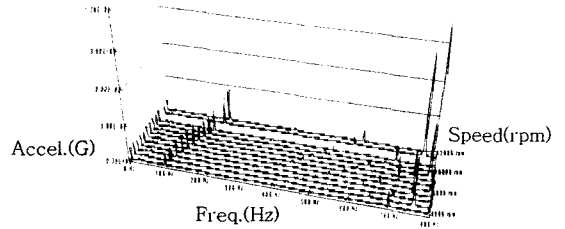


(b) Axial 방향의 진동량

Fig.11 The Waterfall Chart for Folder Type



(a) Radial 방향의 진동량



(b) Axial 방향의 진동량

Fig.12 The Waterfall Chart for Flip Type

그러나, 인체가 민감히 체감할 수 있는 주파수 대역은 100 ~ 150 Hz 정도로 300 Hz 이상의 영역에 대해서는 체감의 민감도가 급격히 떨어지므로<sup>[1]-[5]</sup>, 750 Hz 부근에 해당하는 주파수 대역의 공진을 제품 설계에 반영하는 것은 타당하지 않다.

## 2.5 연구결과 및 고찰

Folder 형과 Flip 형 두 가지 휴대폰 모델에 대한 모드해석을 통해, 진동모타의 허용 가진 주파수 대역 내에서의 구조 공진 현상을 예측하고, 실측을 통하여 이를 검증함으로써, 다음과 같은 결과를 알 수 있다.

- ① Folder 형의 경우에는, 진동모타의 회전 주파수를 휴대폰 세트의 1차 고유진동수인 230 Hz 부근의 주파수로 설정할 경우, 휴대폰 세트의 굽힘 모드와의 공진을 이용하여 모타의 축 방향 진동량을 극대화시킬 수 있다.
- ② Flip 형의 경우에는, 휴대폰 세트의 1차 고유진동수가 진동모타의 작동범위(100 ~ 250 Hz)를 훨씬 넘어서기 때문에, 공진현상에 의한 진동량의 극대화는 기대할 수 없다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 휴대폰용 진동모타의 진동 특성 향상 즉 세트의 진동량 극대화를 위해 휴대폰과 진동모타의 가진 사이에 구조공진이 발생하도록 하여 세트의 진동량이 극대화되도록 하는 방법을 해석적으로 제안하고, 휴대폰 모델에 대해 실험을 적용함으로써 검증하였다. 휴대폰의 고유 진동 모드가 체감의 민감 주파수 영역 내에 존재하는 경우, 정격전압에서의 진동모타의 회전속도가 휴대폰의 고유진동수와 일치하도록 구동설계함으로써 휴대폰의 구조공진을 발생시켜 진동량의 극대화를 기대할 수 있다.

## 4. 참고문헌

1. D.D.Reynolds & R.H.Keith, 1977, "Hand-Arm Vibration, I: Analytical Model of the

Vibration Response Characteristics of the Hand".Journal of Sound and Vibration Vol.51, No.2, pp.237-253

2. D.D.Reynolds & E.N.Angevine, 1977, "Hand-Arm Vibration, II: Vibration Transmission Characteristics of the Hand and Arm", Journal of Sound and Vibration Vol.51, No.2, pp.255-265

3. J.W.Mishoe and C.W.Suggs, 1977, "Hand-Arm Vibration, II: Vibrational Responses of the Human Hand",Journal of Sound and Vibration Vol.53, No.4, pp.545~558

4. D.D.Reynolds and C.Jokel, 1974, "Hand-Arm Vibration - An Engineering Approach", American Industrial Hygiene Association Journal, pp.613 ~ 622

5. D.D.Reynolds and W.Sofdel, 1972. "Dynamic Response of the Hand-Arm System to a Sinusoidal Input", Journal of Sound and Vibration Vol.21, No.3, pp.339-353

6. M.L.James, G.M.Smith, J.C.Wolford & P.W.Whaley, "Vibration of Mechanical and Structural Systems", University of Nebraska-Lincoln

7. D.J.Inman, 1989, "Vibration with Control, Measurement, and Stability", Prentice-Hall International, Inc.

8. K.G.McConnell, 1995, "Vibration Testing - Theory and Practice", John Wiley & Sons, Inc.

9. R.D.Blevins, 1979, "Formulas for Natural Frequency and Mode Shape", Van Nostrand Reinhold Company

10. 김대원, 2000, "인체의 팔굽진동 특성에 관한 실험적 해석", 한국소음진동공학회지, 제 10 권, 제 2 호, pp.299 ~ 305