슬라이드 폰의 댐핑 장치 개발에 대한 연구

Development of damping mechanism for the slide type mobile phones

* 최석환 [1], # 김권회 [2]
*S. H. Choi[1], #K. H. Kim(kwonhkim@korea.ac.kr)[2]
[1] 고려대학교 대학원 기계공학과, [2] 고려대학교 기계공학부

Key words : slide phone, damping, friction damper, impact absorbing

1. 서론

현재 휴대폰의 세계적인 트랜드는 과거 플립,폴더의 시대를 지나 슬라이더의 시대로 변화되어 왔으며, 디스플레이를 강조한 미래형 카드 타입이 조금씩 도입되고 있는 추세이다.[1] 슬라이드 폰에는 내부에 스프링 모듈이 장착되어 있으며 전체 스트로크의 중간 지점을 기준으로 힘의 방향이 바뀌도록 설계가 되어 있다. 힘의 방향이 바뀌는 중간 지점에서의 동작감은 상당히 중요한데 그 이유는 이 구간에서는 거의 손의 힘만으로 슬라이더를 운동시켜야 하므로 이 구간의 작은 마찰이나 뻑뻑한 느낌은 바로 손으로 고스란히 전달되기 때문이다. 이런 측면에서, 또한 오픈 후의 폰의 견실성 측면에서, 스프링 모듈의 작동력을 강화시키는 것이 유리하나 이렇게 되면 손으로 전달되는 충격의 증가가 불가피할뿐더러 설계의 공간적 문제의 해결도 필요하다. 따라서 현재의 시스템 안에서, 폰 스트로크 끝부분에서의 슬라이더 속도를 효과적으로 줄여주는 장치의 필요성이 대두되게 된다. 현재의 양산품들은 경도가 높은 폴리우레탄 및 일반 사출물 등을 사용한 단순 댐퍼만을 적용하고 있으나 이러한 능동적인 댐핑 장치의 등장은 충격 완화라는 물리적 측면에서 뿐만이 아니라 시각이라는 감성적 측면에서도 상당히 진일보한 설계안이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 상기 장치를 고안하고 설계한 후 이를 이론적으로 분석하여 (1)지배방정식을 구하고 이를 바탕으로 실제 거동을 예측한 후 (2)실제 제품을 제작, 비교 실험을 통하여 상기 이론적 접근의 타당성을 확인하고 (3)향후 휴대폰의 슬라이드 모듈에서 이와 비슷한 개발을 함에 있어서 이론적 접근법의 효용성을 높이고자 하였다.

2. 기존 양산품 분석

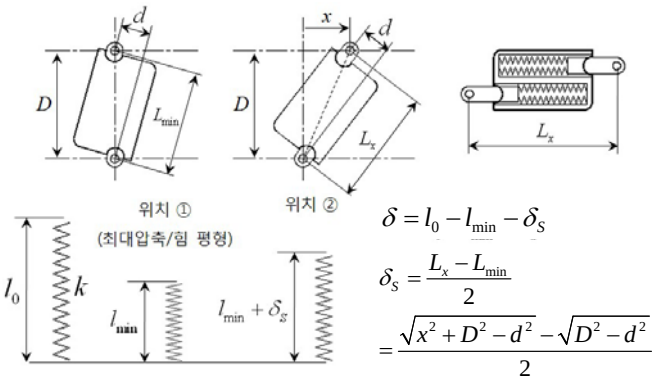
2.1 대상 제품 선정

본 연구의 대상으로 현재 시중 판매 중인 모델 중 하나를 선정하였다. 상기 모델은 제품 컨셉인 메탈(metal)감을 살리기 위해 전체적으로 스테인레스 스틸 재질을 많이 적용하였기에 슬라이더의 무게가 다른 폰보다 무거워 손에 가해지는 충격이 상대적으로 큰 특징이 있다.

2.2 지배방정식 유도

댐핑 장치를 추가하기 전인 기존 양산품에 대한 지배방정식은 다음과 같이 유도될 수 있다.

2.2.1 기하 조건



$$\delta = l_0 - l_{min} - \delta_S$$

$$\delta_S = \frac{L_x - L_{min}}{2} = \frac{\sqrt{x^2+D^2-d^2}-\sqrt{D^2-d^2}}{2}$$

Fig. 1 Configurations of spring module

2.2.2 슬라이드부에 작용하는 X 방향 힘

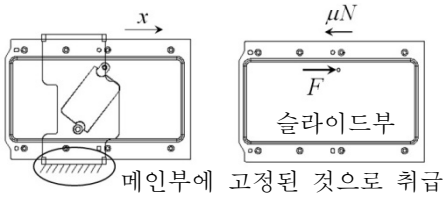


Fig. 2 Free-body diagram of slider part

$$m\ddot{x} = F - \mu N \qquad (1)$$

m :슬라이드부 질량, μ :메인부와 슬라이드부 간 마찰계수

2.2.3 에너지 보존 원리

$$m\ddot{x} = -4k\delta\frac{d\delta}{dx} - \mu N \qquad (2)$$

2.2.4 스프링 모듈에 작용하는 모멘트

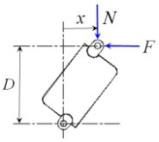


Fig. 3 Free-body diagram of spring module

$$N = \frac{D}{x}F \qquad (3)$$

(1),(2),(3)으로부터 [2-3]

$$m\ddot{x} = k\left\{\frac{2C_1x}{\sqrt{x^2+C_2}} - \frac{2C_1\mu D}{\sqrt{x^2+C_2}} - (x-\mu D)\right\} \quad C_1 = l_0 - l_{min} + \frac{\sqrt{D^2-d^2}}{2} \quad C_2 = D^2 - d^2$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2k}{m}\left\{2C_1\left(\sqrt{(x+A)^2+C_2} - \sqrt{A^2+C_2}\right) - 2C_1\mu D\ln\frac{x+A+\sqrt{(x+A)^2+C_2}}{A+\sqrt{A^2+C_2}} - x\left(\frac{x}{2}+A-\mu D\right)\right\}}$$

3. 댐핑 장치 소개

3.1 구조 및 작동 원리

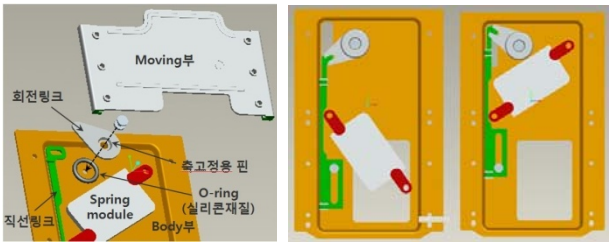


Fig. 4 Structure of damping system

본 댐퍼는 오링(O-ring)을 압축하여 조립한 후 그 마찰력을 이용하도록 한 것으로서 무빙부의 운동이 직선링크와 회전링크를 거쳐 오링으로 전달되도록 고안하였다. 즉, 무빙부 운동이 오링 마찰토크에 의해 방해를 받는 구조다.[4-6]

Fig. 4 의 오른쪽 그림 중 좌측이 무빙부가 하단에 있을 때이고 우측이 무빙부가 상단에 있을 때이다. 예를들어 무빙부가 하단에 있다가(좌측 그림) 상단으로 움직일 때 직선링크는 정지 상태로 있다가 스크로크의 끝부분, 즉 무빙부의 이동이 완료되어 가는 시점에서 무빙부의 내측에 형성된 돌기와 간섭이 시작되면 비로소 운동을 시작하게 되고 토크를 전달하게 된다. 본 논문에서는 이 끝부분의 일정 간섭 구간을 '막판 제동 거리'라고 부르기로 한다.

3.2 댐퍼가 적용된 지배방정식

댐퍼 장치를 적용한 수정 지배방정식은 아래와 같이 나타낼 수 있다. 기존 양산품의 방정식에 각각 토크(T) 및 댐퍼 센터부터 힘 작용점까지의 수직 거리(R)와 관련된 항목만이 추가되었음을 알 수 있다. 여기선 토크가 링크의 속도와 관계없이 일정한 양을 갖는 댐핑 모드로 가정하였다.

$$m\ddot{x} = k\left\{\frac{2C_1 x}{\sqrt{x^2+C_2}} - \frac{2C_1\mu D}{\sqrt{x^2+C_2}} - (x-\mu D)\right\} - \frac{T}{R}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2k}{m}\left\{2C_1\left(\sqrt{(x+A)^2+C_2} - \sqrt{A^2+C_2}\right) - 2C_1\mu D\ln\frac{x+A+\sqrt{(x+A)^2+C_2}}{A+\sqrt{A^2+C_2}} - x\left(\frac{x}{2}+A-\mu D\right)\right\} - \frac{2Tx}{mR}}$$

4. 댐핑 인자 선정 및 실험 방법

4.1 댐핑 인자 선정

최적의 댐핑 효과를 구현하기 위하여 실험에 앞서 본 장치의 댐핑 성능에 영향을 미치는 인자들과 레벨을 다음과 같이 선정하였고 3 가지 인자를 활용한 모든 가능한 8 가지 조합에 대해 각각 2 가지 시료로 실험하였다.

(1) 오링의 두께 : ϕ1.0 / ϕ1.1

(2) 오링에 그리스(NLGI 0 등급) 적용 : 적용 / 미적용

(3) 막판 제동 거리 : 7 mm / 3 mm

4.2 실험 방법

메인부를 고정시킨 후 슬라이더를 사점(힘의 방향이 바뀌는 중간점)을 지나 일정 거리까지 이동(오픈)시키고, 정지 상태에서 순간적으로 릴리즈시킨 후(초속도 0) 이를 고속 카메라로 촬영하여 속도 그래프를 작성하였다.

5. 이론과 실험 결과 비교 및 해석

5.1 그래프 비교

다음은 지배방정식을 통해 계산된 속도 [7] 와 실제 측정한 속도의 그래프를 비교한 것이다. 여기에는 긴 제동거리를 갖는 4 가지 경우에 대해서만 도시하였으며 전체적으로 이론값이 실험값과 잘 일치됨을 알 수 있다.

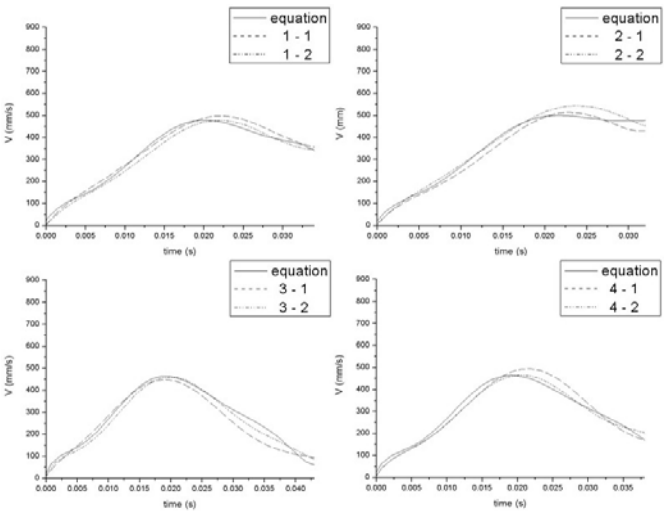


Fig. 5 Velocity-time graphs of the cases 1~4

5.2 실험 결과 해석

다양한 시료들의 댐핑 성능을 평가하기 위한 기준으로 종속(terminal speed)과 소요시간(opening time)을 선정하였고 두 값이 모두 작을수록 좋은 댐핑 성능을 가지고 있는 것으로 보았다. 다시 말해 폰이 빠르게 열리면서도 종속을 최대한 낮출 수 있는 조합이 가장 효과적인 댐퍼라는 결론이다. 아울러 종속과 시간의 점수 계산을 위해 적절한 가중치를 부여하였다.

실험에서 얻어진 결과와 점수, 그리고 최종 순위를 표 1 에 정리하였다.

Table 1 Results of the test (terminal speed and opening time)

	terminal speed (mm/s)	average speed	speed score	opening time (sec)	average time	time score	final score	rank	weight factor 1 (for speed)
original	833.9	833.9		0.028	0.028				1
1 - 1	366.3	357.3	357.3	0.033	0.034	340	697.3	3	weight factor 2 (for time)
1 - 2	348.3			0.035					
2 - 1	442.5	454.9	454.9	0.033	0.032	320	774.9	4	10,000
2 - 2	467.3			0.031					
3 - 1	84.4	99.8	99.8	0.045	0.043	430	529.8	1	
3 - 2	115.2			0.041					
4 - 1	181.6	185.9	185.9	0.037	0.038	380	565.9	2	
4 - 2	190.2			0.039					
5 - 1	575.8	590.5	590.5	0.03	0.03	300	890.5	7	
5 - 2	605.2			0.03					
6 - 1	694.1	672.1	672.1	0.029	0.0295	295	967.1	8	
6 - 2	650			0.03					
7 - 1	466.9	456.7	456.7	0.031	0.031	310	766.7	5	
7 - 2	446.4			0.031					
8 - 1	475.1	491.8	491.8	0.031	0.0305	305	796.8	6	
8 - 2	508.4			0.03					

5.3 인자별 영향 분석

(1) 오링 두께 : 두께가 두꺼울수록 댐핑 효과가 큼

(2) 오링에 그리스 적용 유무 : 적용 시 댐핑 효과가 큼

(3) 막판 제동거리 : 제동거리가 길수록 댐핑 효과가 큼

6. 결론

본 연구에서는 슬라이드 폰에 새로운 개념의 댐핑 장치를 고안하여 적용하고 이를 이론적 방법으로 해석하였으며 장치 현품을 실제 제작 후 실험하여 이론값과 비교하였다.

이번 연구의 결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 그동안 거의 경험적인 접근만을 시도했던 휴대폰의 동작성 연구와 관련하여, 이론적인 접근법으로도 상당히 유사한 결론을 도출해낼 수 있으며 이를 향후 새로운 장치의 개발에도 효율적으로 활용할 수 있다는 것을 확인하였다.

2) 슬라이드 폰의 댐퍼에 있어 기존의 수동적 입장에서 탈피하여 적극적으로 장치를 고안하고 적용하였고, 또한 이 장치의 성능에 중요한 인자들과 조합들을 조사하였다.

아울러 설계 시 고려할 사항을 다음과 같이 정리하였다.

1) 폰 자체의 완성도가 불량하여 댐핑 장치가 오히려 동작 방해 요소로 작용하지 않는가 확인하여야 한다.

2) 슬라이드 감에 대한 고객의 만족도가 다르므로 개발 시 충분한 사전조사가 선행되어야 한다.

후기

이 논문은 2008 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. R11-2007-028-03001-0)

참고문헌

1. 김종율,“프러덕트 트랜드”, Mobiletimes, 183, 110-117, 2007
2. Donald T. Greenwood, "Dynamics of a Particle”, Principles of Dynamics, 2nd Ed.,76-77, Prentice Hall, ch.3
3. Beer and Johnston, vector Mechanics for Engineers-DYNAMICS, 8-9, McGraw-Hill
4. 박동훈, 최명진, "변위비례식 마찰댐퍼 시스템의 임펄스 가진 응답해석", 한국소음진동공학회 논문집, 14, 377-379, 2004.
5. 김형섭, 박지훈, 민경원, “회전마찰감쇠기의 등가선형시스템에 관한 실험적 연구”, 한국전산구조공학회 논문집, 2004 Oct., 296-298
6. 배춘희, 박영필, “회전형 Friction Damper 의 거동 특성 연구”, 한국소음진동공학회 논문집, 2004 May, 810-812
7. Chapra and Canale, Numerical Method for Engineers, 5th Ed. McGraw-Hill, 584-595