

영향 인자 분석을 통한 가전 제품용 댐핑 장치 개발에 대한 연구 Study for the development of damping mechanism using on appliance through the analysis of effective factors

*임채수¹, #심재경²

*C. S. Lim¹, #J. K. Shim(jkshim@korea.ac.kr)²

¹ 고려대학교 기계공학부 대학원, ² 고려대학교 기계공학부

Key words : Damping Mechanism, homebar door, effective factor

1. 서론

현대 사회에서 댐핑 메커니즘을 이용한 힌지 구조는 주로 건축 분야나 자동차 분야에서 대부분이 사용되고 그에 맞게 개발되어 있다. 일반적으로 사용되고 있는 기계식 작동 방식에서 발전되어 캠이나 스프링을 이용한 마찰식 댐퍼들이 그 예라 할 수 있다. 그러나 그 사용 분야가 더 세분화되고 관련 기술이 발전함에 따라 점성오일을 이용한 유압 마찰식 댐퍼 힌지 류가 개발되어 과거에 비해 소음이나 진동, 개폐 시 충격 등을 현저히 감소시킬 수가 있게 되었고 이러한 것들은 비데나 화장전화기, 그리고 냉장고와 같은 가전 제품 등에도 확대 적용되어지고 있다. 냉장고나 김치냉장고에 적용되고 있는 홈바도어의 경우 소비자들이 자주 접하고 사용하는 물품들에 대해 사용 편리성과 접근 용이성을 돕기 위해 개발되어 초기에는 단순 힌지와 링크 구조로 개폐를 하였지만 링크 부분에 녹이 발생하여 미관상으로 보기가 좋지 않고 낙하 속도에 의한 충격이나 소음, 진동 등의 여러 문제점으로 인해 점차 점성 오일 댐퍼를 이용한 기능성 힌지 구조를 사용하는 맥락으로 변화를 거듭하고 있다. 현재 시중에 판매되는 가전 제품들에 적용되어 있는 점성 오일 댐퍼는 설계의 기준이 되는 어떠한 가이드 라인이 없이 단순히 외곽 사이즈에서 출발하여 실리콘 오일의 점도나 기타 다른 변수들을 무작위로 변경시켜보면서 실험을 하고 다시 바꾸는 일련의 과정들을 반복 수행하면서 시험 규격에 맞는 신뢰성을 확보하기 위해 많은 시간과 비용을 투자하고 있다.

이에 본 연구에서는 현재 가전 제품 홈바도어에 쓰이고 있는 메커니즘에 대해 분석하여 (1) 지배 방정식을 도출하고 이를 바탕으로 실제 거동에 대해 예측을 한 후 (2) 실제 실험을 통하여 상기 이론적 접근 방법의 타당성을 검증하고 (3) 추후 신제품 개발 시 시간과 비용의 투자를 줄임으로써 이론적 접근 방법의 효율성을 높이고자 하였다

2. 댐핑 장치의 구조 및 작동 원리

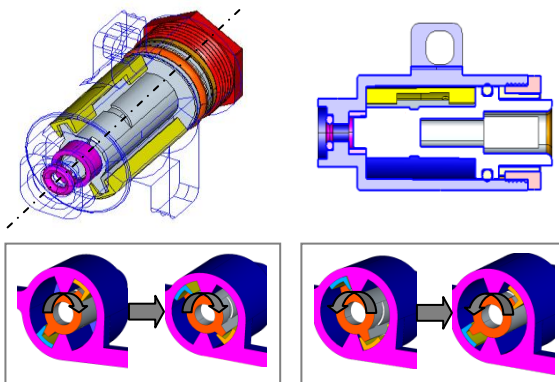
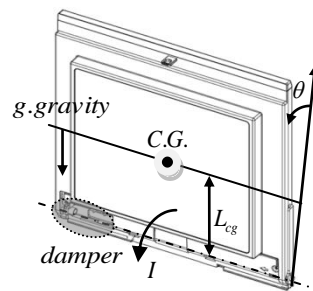


Fig. 1 Structure of damping mechanism

Fig.1 은 실험에 사용한 점성 오일 댐퍼 장치의 3-D 모델

링과 중심부의 단면도 그리고 댐핑 장치가 회전할 때 내부 구조의 원리를 도시한 것이다. 여기에 사용하는 오일은 실리콘 오일로서 주위 온도 25℃에서 600,000 CST의 점성값을 가진다. Fig.1 에서 아래 왼쪽 그림과 같이 외력에 의해 댐퍼 케이스가 반시계 방향으로 가이드와 밀착된 상태로 회전을 하게 되면 실리콘 오일에 의한 댐핑 작용으로서서히 낙하하게 되고 오른쪽 그림과 같이 반대로 회전을 하게 되는 경우에는 가이드와 케이스의 틈새로 인해 실리콘 오일에 의한 댐핑 작용 없이 주어진 힘에 의해 회전을 시킬 수 있다.

3. 지배 방정식의 유도



$$I \cdot \ddot{\theta} = \sum M$$

$$I \cdot \ddot{\theta} = -C \cdot \dot{\theta} - K \cdot \theta + T(\theta)$$

Fig.2 Configuration of Dynamic Modeling

홈바 도어 모듈의 움직임을 Fig. 2 와 같은 기하 구조로 산정하였을 때 홈바 도어의 동적 거동은 1자유도계 동역학 시스템으로 볼 수 있으며 회전 운동 방정식의 모멘트 평형식을 이용하여 유도해 볼 수 있다.¹

3.1 물체의 질량 관성 모멘트

$$I = m \cdot L_{cg}^2 \tag{1}$$

L_{cg} : 질량 중심에서 회전축까지의 거리.

3.2 외력에 의한 회전 모멘트

$$T(\theta) = m \cdot g \cdot L_{cg} \cdot \sin \theta - T_f \tag{2}$$

T_f : 오일 댐퍼 조임 토크

3.3 댐핑 장치에 의한 감쇠 모멘트

$$C \cdot \dot{\theta} = C \cdot w = F_d \cdot r = T_d$$

$$T_d = F_d \cdot r = \tau \cdot A \cdot r, \quad F_d = \tau \cdot A$$

T_d : 실린더 내부의 유체 점성에 의한 댐핑 토크

F_d : 댐핑 힘

여기서 전단 응력 τ 는 점성 유체 흐름에서 고정된 평행 평판 사이의 층류, 비 압축성 유동중 Couette flow ($\Delta p = 0$) 로 가정하여 식을 유도 할 수 있다.²

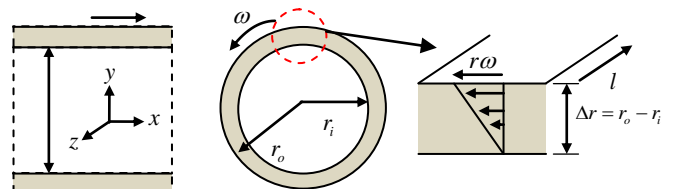


Fig. 3 Free-body diagram of damping module

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} = \mu \cdot \frac{r_i \cdot w}{r_o - r_i} = \mu \cdot \frac{r \cdot \dot{\theta}}{\Delta r}$$

$$T_d = F_d \cdot r = \tau \cdot A \cdot r = \mu \cdot \frac{r \cdot \dot{\theta}}{\Delta r} \cdot (2\pi \cdot r \cdot l) \cdot r = \mu \cdot \frac{2\pi \cdot r^3 \cdot l \cdot \dot{\theta}}{\Delta r} \quad (3)$$

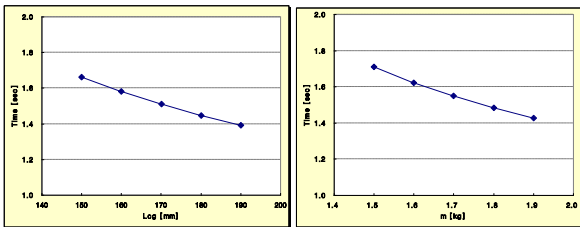
(1), (2), (3)으로부터

$$\ddot{\theta} + \frac{2\pi \cdot r^3 \cdot l \cdot \mu}{\Delta r \cdot m \cdot L_{cg}^2} \cdot \dot{\theta} + \frac{K}{m \cdot L_{cg}^2} \cdot \theta = \frac{g}{L_{cg}} \left(\sin \theta - \frac{T_f}{m \cdot g \cdot L_{cg}} \right)$$

4. 인자들의 영향도 분석

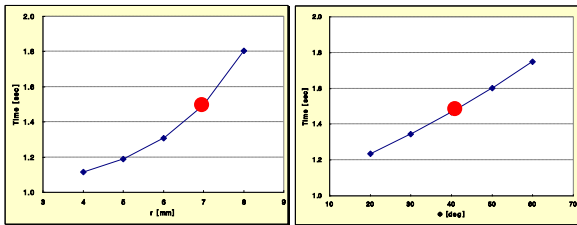
Fig.4 과 Fig.5 는 상기에서 도출한 지배 방정식을 통하여 몇 가지 parameter 등을 변화시키면서 홈바 도어가 90° 열리는 시점을 기준으로 계산하여 낙하 시간의 변화를 해석하여 표현한 그래프이다.³⁻⁵ 크게 두 가지로, 홈바 도어의 질량 및 구조 형상 변수와 댐퍼 내부의 형상 변수에 따른 그래프로 구분 하였다.

4.1 홈바 도어 형상 변수에 따른 영향

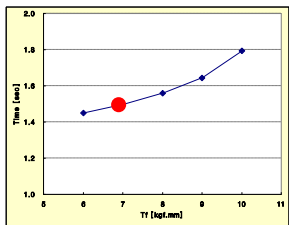


(a) Homebar door mass (b) Length of center of gravity
Fig. 4 Time - factors graphs of homebar door

4.2 댐퍼 내부 형상 변수에 따른 영향



(a)radius of damper shaft (b) Guide angle of damper



(c)Tightening Torque

Fig. 5 Time - factors graphs of damping mechanisms

Fig.4 와 Fig.5 에서 살펴 볼 수 있듯이 오일 댐퍼 내부의 형상 변수들이 홈바 도어 자체의 형상 변수보다 낙하 시간에 미치는 영향도가 크게 나타남을 알 수 있다. 기여도를 살펴 보면 Radius of damper shaft > Guide angle of damper > Tightening Torque 순으로 나타낼 수 있다. 이에 오일 댐퍼의 형상 변수들 중 빨간색 원으로 표시한 임의의 설계안을 선택하여 실제 제품을 제작하여 실험을 통해 이론적 접근법의 타당성을 규명해 본다.

5. 실험 방법 및 결과 값



Fig. 6 photographs of test equipment

설계 안에 대한 신뢰성 시험 결과를 실험적으로 검증해 보기 위해 가진 제품 도어에 오일 댐퍼 샘플을 장착한 홈바 도어를 개폐 장치를 이용하여 성능 시험을 실시하였다. 실험에 사용된 샘플은 5 개로 하였고 총 50,000 회를 실시하여 임의의 cycle 당 낙하 시간에 대해 측정하였다.⁶

Fig.6 은 개폐 시험 장치를 표시한 것으로서 온도에 의한 점성 변화를 최소화하기 위해 1 회 작동 후 재 작동 시까지의 리드 타임을 10 초 정도를 줌으로써 1cycle 당 대략 15초의 시간이 소요된다.

Fig.7 은 지배방정식을 통해 파악한 영향 인자들을 바탕으로 설계안으로 제작된 샘플과 다른 스펙으로 실제 사용 중인 모델 군을 선정하여 실험한 결과값을 비교한 그래프이다. 전체적으로 비슷한 경향을 띄지만 설계안으로 제작된 샘플의 경우 실제 사용 중인 모델군에 비해 10,000 cycle 이후 급격하게 낙하 시간이 줄어드는 경향을 보였다.

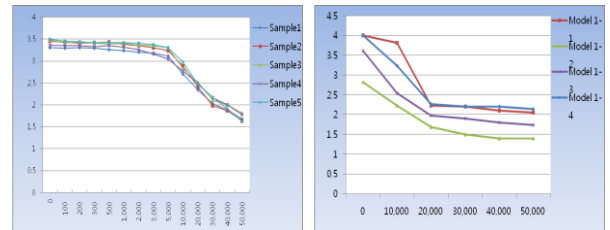


Fig. 7 Time - cycle graphs of sample and model

6. 결론

본 연구에서는 이론적 접근 방법에 의해 가진 제품에 사용되고 있는 댐핑 장치에 대해 해석하고 이를 바탕으로 설계안을 가지고 샘플을 제작하여 실험을 통하여 이론적 접근 방법의 타당성을 규명하였다. 이에 이번 연구의 결과에 대해 아래와 같이 정리할 수 있다.

1). 신제품 개발 시, 경험에 의한 try and error 방법으로 시도해왔던 과거의 방법에서 벗어나 이론적인 접근 방법으로도 실험결과를 통해 실제와 비슷한 결과를 도출할 수 있으며 향후에도 이를 적극적으로 활용할 수 있다는 것을 확인하였다.

2). 댐핑 장치의 낙하 시간에 영향을 미치는 인자들과 각 인자들의 기여도에 대해 알아 봄으로써 인자들에 대해 변경이 필요할 시 우선 순위를 정할 수 있도록 하였다.

참고문헌

1. Benson H. Tongue, Dynamics, Engineering Mechanics, 2nd Edition, Chap. 7.
2. Munson, Young, Okiishi, Huebsch, Fundamentals of Fluid Mechanics 6th Edition, Chap. 5~6
3. Park taehui, Applied Numerical Methods by MATLAB
4. 김홍철, 손성익, "수치 해석, MATLAB 활용"
5. 이상순, MATLAB 을 이용한 동적 시스템 해석
6. Samsung electronics, Reliability test specification for Development