

자동 닫힘 기능을 갖는 마찰힌지 개발에 관한 연구

예상돈*, 민병현#

(*,# 동의대학교)

A Study on the Development of Friction Hinge with Automatic Closed Function

Sang-Don Ye*, Byeong-Hyeon Min#

(Received 23 January 2014; received in revised form 17 February 2014; accepted 27 February 2014)

ABSTRACT

A friction hinge system which moves without power was designed and developed using the principle of friction force, which is caused by interference between the inner diameter of a silicon cap and the outer diameter of a cylindrical roller bearing with one-way rotation in a counterclockwise direction. The system was applied to the lid of buffet ware, which moved up by external force and moved down by gravitational force. However, design conditions which included a rotation angle of the hinge of more than 80 degrees and a closing time of more than 20 seconds were required when the lid of the buffet ware closed due to gravitational force. The design safety of the friction hinge body connected to the lid of the buffet ware from the hinge system was checked on the basis of structural, fatigue and thermal analyses. The material of the shaft, cap and flange among the hinge elements was changed to polyethylene from steel to reduce the weight of the friction hinge system. An injection molding simulation was performed and injection molds of the shaft, cap and flange were created. The weight of the hinge system was decreased from 805g to 219g.

Key Words : Friction hinge(마찰 힌지), Interferences(간섭량), Silicon cap(실리콘 캡), Closing velocity (하강 속도), Weight reduction(경량화)

1. 서 론

뷔페식당에서 음식을 담은 용기 등의 경우 용기 뚜껑을 열 때는 인위적인 힘을 가하나 닫힐 때는 외부 동력이 없이 자동으로 일정 시간을 유지하면서 닫힐 필요가 있다. 기존의 상하개폐 용기는 양쪽 체결식 힌지, 스프링 힌지 및 기계식 힌지 등을 사용하고 있으며, 각종 산업에서 주요 부품 또는 요소로

사용되고 있다.^{1)~4)} 이러한 방식들은 제작상의 가격 상승을 초래하고 마모나 고장 등에 대한 조치를 취하기가 어렵다. 또한 일부는 전력을 이용한 개폐방식을 채택하고 있으나 작동 소음을 유발하고 전력의 사용으로 인한 에너지 절감시대에 맞지 않다. 이런 이유로 상하로 움직이는 방식의 개폐장치 등에서는 소음과 충격이 덜한 특성을 갖는 힌지 방식을 택하도록 하는 요구가 지속적으로 증가되고 있다.¹⁵⁾

본 연구에서는 제품이 열린 후에 닫힐 때, 힌지의 작용에 의해 제품의 소음이나 손상을 초래하지 않고 마찰력에 의해 자동적으로 일정 시간을 유지하며 서

* Department of Mechanical Engineering, Dong-eui UNIV.

Corresponding Author :

Department of Mechanical Engineering, Dong-eui UNIV.

E-mail : bhmin@deu.ac.kr

서히 닫히는 무동력 자동 닫힘 기능을 갖는 다용도 힌지시스템을 개발하여, 뷔페식당에서 음식을 담은 용기 뚜껑 등에 적용하고자 한다. 일반적으로 힌지는 경첩, 관절처럼 구부릴 수 있고 회전이 가능한 것, 두 개의 물체를 연결하여주는 체결 요소, 조인트 기능 등을 갖추고 전 산업분야에서 사용되고 있다. 최근에는 고무형태 소재의 마찰거동을 분석한 연구들이 많이 진행되고 있고, 이러한 결과들은 마찰 힌지 분야에 많이 적용되고 있다.¹⁶⁾⁹⁾

뷔페 용기 뚜껑에 적용되는 마찰 힌지의 작동 메카니즘은 뚜껑의 중량에 의해 아래쪽으로 자동으로 닫힐 때, 힌지부의 마찰력을 이용하여 적절한 하강속도로 제품 뚜껑이 닫히도록 한다. 뷔페 용기를 여닫기 위해 뚜껑에 연결된 회전부는 축, 플랜지, 베어링, 실리콘, 캡 및 몸체 등으로 구성된다.

연구내용으로는 우선 힌지부에서 마찰력을 얻기 위해 사용할 주요 마찰 소재의 특성을 파악한 후, 마찰력을 이용하여 힌지 기능을 수행할 수 있는 시스템을 설계하였다. 즉, 힌지부에 연결된 부품을 외력으로 열되 닫을 때는 자체 중력 및 마찰력에 의해 하강속도를 조절할 수 있는 작동 메카니즘을 설계하였다. 내부 마찰 방법은 기존의 스프링 방식에서 탈피 하여 실리콘 계열의 마찰 소재로 변경하였다. 본 연구에서 사용한 마찰 소재는 내열성과 내한성이 우수하고(-60 ~ +250° C), 2차 기계적 특성도 우수하며, FDA에서 요구하는 모든 규격에 합당한 무독성 실리콘 소재인 HR-1941U를 선택하였다.¹⁰⁾

마찰특성을 이용한 힌지시스템 설계를 위하여 실리콘 캡의 내경과 원통롤러 베어링의 외경의 차이인 간섭량을 힌지부 요소의 설계변수들로부터 구할 수 있는 관계식을 도출하였다. 다용도 힌지시스템을 구성하는 주요 부품인 회전부 몸체의 응력해석, 피로해석 및 온도분포해석을 수행하였다. 무동력 마찰 힌지시스템의 성능 평가를 위하여 닫히는 시간, 자중에 의해 닫힐 수 있도록 용기 뚜껑을 열 수 있는 최대 각도 및 제품 무게 등을 측정하였다.

다용도 힌지의 가격경쟁력과 대량생산 측면에서 장점을 확보하기 위하여 회전부의 축, 캡, 플랜지 부품의 스테인레스강 소재를 플라스틱 재료로 대체하여 제품의 중량을 줄였는데, 이를 위하여 시작금형 제작 및 시사출도 행하였다. 최종적으로 실리콘 소

재의 마찰특성을 기반으로 저장용기 뚜껑의 하강속도 제어가 가능한 마찰힌지를 개발하였다.

2. 힌지부의 구성요소 및 작동 메카니즘

2.1 힌지부의 구성요소

뷔페 용기를 여닫기 위해 뚜껑에 연결되는 회전부의 3-D 모델 그림을 Fig. 1에 보여주며, 힌지부를 포함하여 회전부를 구성하는 축 1, 축 2, 플랜지, 베어링, 실리콘, 캡 및 몸체 등의 각종 기계요소를 Fig. 2에 보여준다.

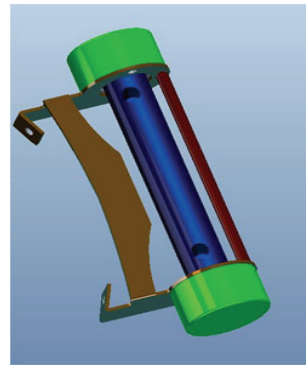


Fig. 1 3-D Model of rotation part connected to the lid of buffet ware

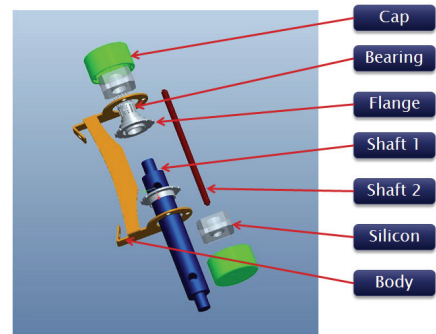


Fig. 2 Machine elements of rotation and hinge parts for buffet ware

2.2 마찰력을 이용한 힌지부의 하강 메카니즘

Fig. 2에 보여준 각 요소들의 기능을 살펴보면 몸체 부분이 뒤편 용기의 뚜껑에 직접 연결되는 고리 부분이 되고, 플랜지를 통하여 축 1과 결합되어 뚜껑을 들어 올릴 때 일체형이 되어 같이 움직이게 된다. 축 2는 축 1의 안쪽에 위치하면서 원통롤러 베어링의 내경에 고정된다. 원통롤러 베어링은 실리콘 마찰소재로 제작된 캡의 내부 구멍에 위치하며 뒤편 용기의 뚜껑이 닫힐 때 캡과 원통롤러 베어링의 간섭량에 따라 닫히는 속도를 조절하게 된다. 축 1과 접하고 있는 원통롤러 베어링은 반시계방향으로는 회전하고 시계방향으로는 회전하지 않는 일방향 회전 운동을 하는 베어링이다.

뒤편 용기의 상하 운동이 발생하는 메카니즘이 Fig. 3에 보다 상세하게 설명되어 있다. 뒤편 용기의 뚜껑을 들어 올리면 축 1이 시계방향으로 회전하고, 축 1과 접하고 있는 원통롤러 베어링은 일방향 회전 기능만 가지고 있어 뒤편 용기의 뚜껑이 상승하는 동안에는 회전하지 않고, 사람이 가하는 외력에 의해서만 축 1이 시계방향으로 회전하면서 상승 운동이 발생한다. 하지만 뒤편 용기의 뚜껑이 닫힐 때는 다른 동력이 없이 뒤편 용기 뚜껑의 자중이 작용한다. 다른 제어 장치가 없다면 자중에 의하여 빠른 속도로 닫히면서 충격도 클 것이다. 이런 문제를 해결하기 위하여 축 1을 감싸고 있는 원통롤러 베어링을 실리콘 소재로 제작된 캡 속에 삽입하여 두 부품 사이의 간섭량에 따라 뒤편 용기 뚜껑의 하강속도를 조절한다. 즉, 원통롤러 베어링은 반시계방향으로는 회전하고 시계방향으로는 회전하지 않는 일방향 회전 운동을 하는 베어링이기 때문에 뒤편 용기 뚜껑이 닫힐 때는 축 1과 원통롤러 베어링이 일체가 되어 오직 원통롤러 베어링의 회전방향인 반시계방향

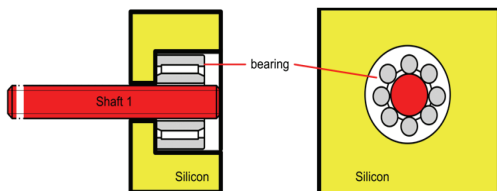


Fig. 3 Operating mechanism of hinge part consisted cylindrical roller bearing and silicon cap

으로 회전하면서 용기 뚜껑이 닫히게 되고, 닫히는 속도는 실리콘 캡과 내부에 삽입된 원통롤러 베어링 간섭량의 크기에 따라 조절된다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 힌지부 마찰소재의 특성 분석

실리콘 소재의 마찰특성 평가는 실리콘으로 제작된 실리콘 캡과 내부에 삽입된 원통롤러베어링의 간섭량에 따라 마찰력이 달라지므로 간섭량과 마찰력의 관계를 규명하는 것이 중요하다. 마찰계수는 두 소재의 표면의 상태와 소재의 종류에 따라 달라지며 아직 명확한 규명은 힘들다고 알려져 있다. 본 연구에서는 마찰계수 측정을 위해 가장 잘 알려진 마찰계수 측정방법으로 실리콘이 일정각도를 가지는 스틸 평판위에서 실리콘이 움직이기 시작하는 시점을 측정하여 마찰계수를 구하였다. Fig. 4에 마찰계수를 측정한 방법을 보여주며, 힌지부에 사용된 실리콘 (HR-1941U)와 스테인레스강간의 마찰실험 결과 두 소재간의 마찰계수는 0.654로 나타났다.

3.2 힌지부의 설계변수와 간섭량의 관계

본 연구에서 개발된 다용도 마찰힌지의 하강속도 제어를 위해 힌지의 마찰은 실리콘과 원통롤러 베어링의 간섭량에 의해 결정이 된다. 원통롤러 베어링은 규격품이라 요구자가 원하는 대로 제작하는데 많은 경제적 비용이 부과되기 때문에 실리콘 마찰재의 지름을 몇 가지 모델로 정하여 시뮬레이션을 수행하

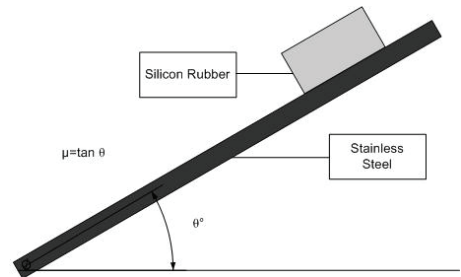


Fig. 4 Measuring method of friction coefficient between stainless steel and silicon rubber (HR-1941U)

였다. 실리콘과 원통롤러 베어링을 적절히 조합하여 원하는 하중이나 제품에 적용할 수 있는 방법을 제안하였다. Fig. 5 및 6은 실리콘의 내경과 원통롤러 베어링의 외경 간의 간섭량에 따른 반응하중과 압력의 변화를 나타내고 있다. 실리콘 간섭량에 따른 하중 및 압력을 계산하기 위하여 유한요소법을 활용하였으며, 간섭량을 실리콘 고무에 변위 구속으로 정의하여 해석을 수행하여 압력과 이로 인한 하중을 계산하였다.

실리콘과 원통롤러 베어링의 간섭량에 따른 압력(P)는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 여기서, C는 간섭량이다.

$$P = 0.0004115 \times C [MPa] \quad (1)$$

본 연구에서 개발된 마찰힌지는 간섭량을 조정하여 수직하중에 변화를 줌으로써 마찰력을 제어 하는 것이

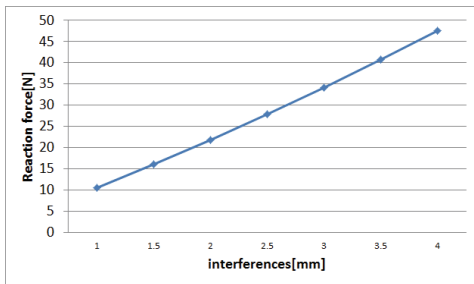


Fig. 5 Reaction force according to the interferences between silicon cap and cylindrical roller bearing

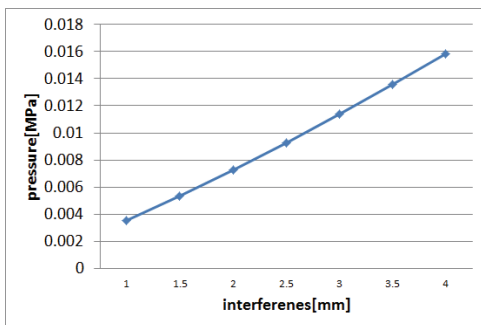


Fig. 6 Pressure according to the interferences between silicon cap and cylindrical roller bearing

다. 힌지에 장착된 뚜껑 등 제품의 중량에 의한 회전토크와 원통롤러 베어링에서 발생하는 회전토크를 동일하게 하고, 간섭량에 따른 마찰력(Fm)에 식(1)에서 유도된 압력을 대입하여 식(2)를 거쳐 간섭량(C)와 마찰힌지의 각종 설계변수와의 관계식(3)을 최종적으로 유도할 수 있다. 제품의 무게가 마찰력으로 지지할 수 없는 하중이 되면 제품은 아래 방향으로 회전하며 닫히게 된다.

$$F \times L = \mu F_m \times \frac{d}{2} = \mu P \cdot \frac{n\pi d^2 t}{2} = \mu \times \frac{0.004115}{2} \times C \times n\pi d^2 t \approx 0.06464 \times \mu \times n \times t \times C \times d^2 \quad (2)$$

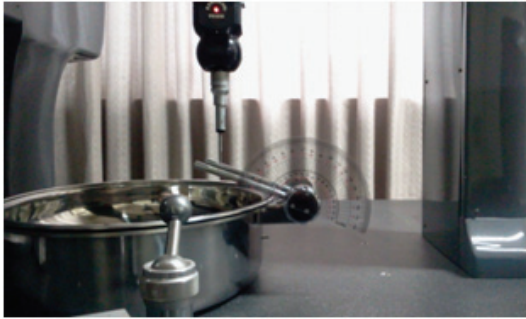
$$\therefore C = \frac{F \times L}{0.06464 \times \mu \times n \times d^2 \times t} \quad (3)$$

여기서, F는 힌지에 장착되는 제품의 무게, L는 제품의 무게중심으로부터 힌지 중심까지의 거리, Fm는 간섭량에 의한 마찰력, μ 는 실리콘 캡 소재의 마찰계수, d는 원통롤러 베어링 지름, n은 개수, t는 원통롤러 베어링 두께이다.

3.3 하강속도 제어

힌지의 기능 중 뷔페 용기의 뚜껑이 최대한 열릴 수 있는 회전각도가 필요하다. 이는 뚜껑을 여는 형태나 힘의 크기가 다양하기 때문에 기준 각도가 필요한데 뷔페 용기 뚜껑의 경우에는 최소 80도 이상 열리도록 하는 것이 경험적으로 요구된다. Fig. 7에서와 같이 3차원 측정기를 이용하여 최대 회전각도를 측정하였는데 본 연구에서 개발된 힌지 제품의 경우 최대 140도까지 뷔페 용기의 뚜껑이 열리는 것이 확인되었다. 닫을 때는 90도 이내로 닫아주면 그 이후부터는 자중에 의해 뷔페 용기의 뚜껑이 자동으로 닫히며 캡의 내경과 원통롤러베어링의 외경 사이의 간섭량에 따라 일정한 속도로 닫히게 된다.

실리콘 소재로 제작된 캡의 내경과 원통롤러 베어링 외경의 치수 조절을 통한 간섭량을 10가지로 변경(0.25~2.5mm 까지 0.25mm 간격으로 10단계)하여 마찰특성을 평가하였다. 원통롤러 베어링의 외경은 20mm로 고정하고, 실리콘 캡의 내경은 15~19.5mm 까지 0.5mm 간격으로 10단계로 구성하였으며, 동일 조건에서 10회 반복 측정하여 평균 하강시간과 표준편차를 구하였으며, 측정 결과를 Table 1과 Fig. 8에 나타내었다. 이 결과를 이용하여 실제사용에 있어서



(a) 30 degree of hinge rotation angle



(b) 140 degree of hinge rotation angle

Fig. 7 Measurement of hinge rotation angle using CMM

Table 1 Average closing time and standard deviation according to the interferences between inner diameter of silicon cap and outer diameter of cylindrical roller bearing

#	Inner dia. of silicon cap (mm)	Outer dia. of cylindrical roller bearing (mm)	Interferences (mm)	Average closing time(s)	Standard deviation (s)
1	19.5	20	0.25	1.18	0.147573
2	19	20	0.5	2.03	0.200278
3	18.5	20	0.75	3.06	0.117379
4	18	20	1	6.05	0.177951
5	17.5	20	1.25	9.03	0.170294
6	17	20	1.5	11.94	0.422164
7	16.5	20	1.75	16.12	0.413118
8	16	20	2	20.37	0.752846
9	15.5	20	2.25	40.4	1.696401
10	15	20	2.5	204.2	5.09466

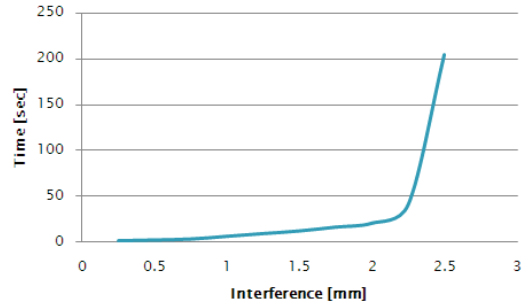


Fig. 8 Average closing time vs. interferences between silicon cap and cylindrical roller bearing



Fig. 9 Photograph of measurement of closing time of lid according to interferences

용기 뚜껑 하강 시간을 선택적으로 사용할 수 있다. 간섭량이 2.25mm 보다 커지면서 하강시간이 급격하게 늘어났으며, 힌지 메커니즘의 하강속도를 조절하는데 실리콘 소재로 제작된 캡의 내경과 원통롤러 베어링 외경의 치수 조절을 통한 간섭량이 기여하고 있음을 알 수 있다. Fig. 9는 간섭량에 따라 뷔페 용기 뚜껑의 하강시간을 측정하고 있는 사진을 보여준다.

3.4 마찰힌지 몸체부의 유한요소 해석

마찰힌지를 구성하는 몸체의 설계 안전성 검토를 위하여 구조해석, 피로해석 및 열해석을 수행하였다. 몸체의 재료는 SUS이고, 최대항복강도 207MPa, 최대인장강도 586MPa이다. 몸체는 상부의 무게를 힌지의 마찰력에 의해 일부를 감소 시켜 하부 구조물에 전달하는 역할을 한다. 힌지에 의한 무게 감소가 없

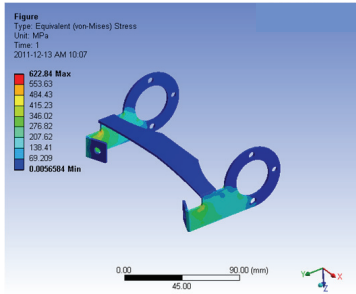


Fig. 10 Structural analysis of body connecting the lid to the hinge part

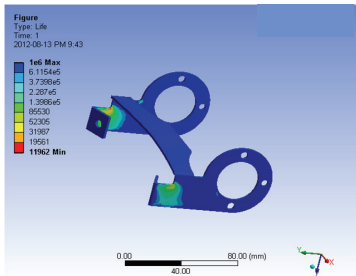


Fig. 11 Fatigue analysis of body connecting the lid to the hinge part

다고 가정을 하고 하중조건은 사람이 수작업으로 용기를 개폐할 때 발생할 수 있는 하중 영역을 200N ~ 1000N 으로 적용하여 구조해석을 수행하였다.

Fig. 10에 몸체의 구조해석 결과를 보여주는데 몸체는 힌지와 응용제품을 연결하는 요소로서 가장 큰 강도를 유지할 수 있어야 된다. 해석 결과 안전율 3을 가정했을 때 부하 하중은 400N 이하로 나타나지만, 최대 응력 발생 지점이 뷔페 용기 뚜껑과 볼트가 결합하는 부분이다. 이 부분은 볼트와 제품에 의해 보강이 되는 부분임으로 실제 부하 능력은 더 클 수 있다고 판단된다. 몸체 부분은 구조상 하중을 가장 많이 받는 부분이므로 경량화에는 적합하지 않는 요소이다. Fig. 11은 뚜껑의 반복하중에 따른 힌지 몸체의 피로해석 결과를 보여주는데 400N의 반복하중이 작용하더라도 피로수명이 12,000분(200시간)으로 안전하게 설계되었으며, 주어진 제품의 사양에서는 문제가 발생하지 않는다. Fig. 12는

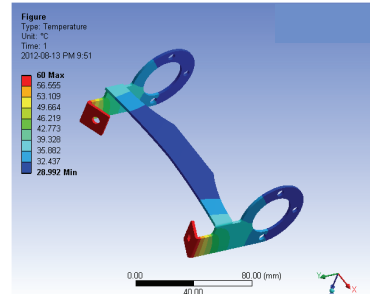


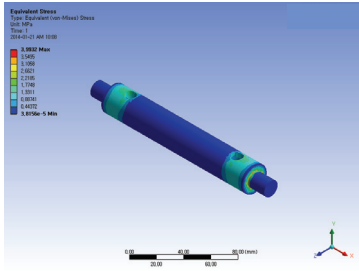
Fig. 12 Thermal analysis of body connecting the lid to the hinge part

뷔페 음식의 온도에 따른 열응력 해석결과를 보여준다. 용기 온도가 60도일 때 몸체의 온도는 최대 30도로 인체에 접해도 무방한 온도인 것으로 안전하게 설계되었음을 알 수 있다.

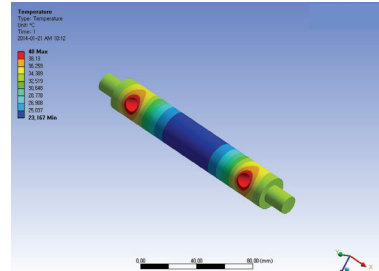
3.5 마찰용 힌지부의 경량화

기존의 마찰힌지 제품은 스테인레스 강이 주를 이루는데 이를 경량화 하기 위해서는 경량화 소재에 대한 제품의 설계 안전성을 검토할 필요가 있다. 힌지 부품 중에서 하중을 많이 받지 않아 플라스틱 소재로 교체할 경우 경량화가 가능한 부품으로 축, 실리콘을 보호하는 캡 및 플랜지를 선정하고, 이들 소재를 PE(Polyethylene)로 변경하였을 경우 설계 안정성 검토를 위하여 구조해석 및 열해석을 수행하였다.

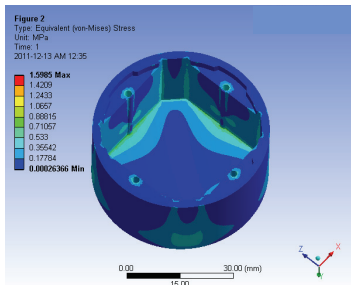
구조해석 및 열해석을 수행하기 위해 PE 소재의 물성치는, 탄성계수는 1.1GPa, 프와송의 비는 0.42, 인장항복강도는 25MPa, 최대인장강도는 33MPa, 열전도계수 0.28 W/m·°C 그리고 열팽창계수는 0.00023 /°C로 적용하였다. Fig. 13은 축, 캡 및 플랜지에 대한 구조해석 결과를 보여주는데 각각 4MPa, 1.45MPa 및 1.6MPa의 등가응력이 발생함으로 안정성에 영향이 없음을 확인하였다. Fig. 14는 축, 캡 및 플랜지에 대한 열해석 결과를 보여주는데, 축의 경우 용기 뚜껑의 최대 온도 60°C가 두껍과의 연결 요소로 부터 축에 전달하는 열하중을 40°C로 적용하였고, 이미 해석되었던 몸체부에서 전달되는 최대 온도 30°C를 플랜지와 캡에 열하중으로 적용하였으며,



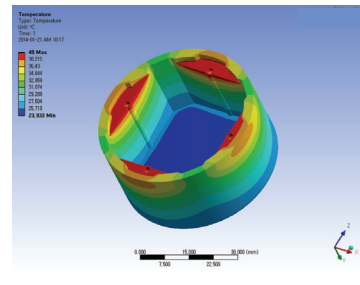
(a) Shaft



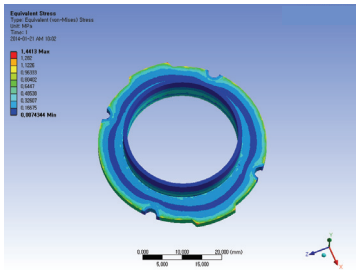
(a) Shaft



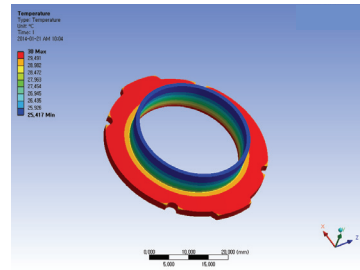
(b) Cap



(b) Cap



(C) Flange



(C) Flange

Fig. 13 Structural analysis of shaft, cap and flange made of polyethylene

Fig. 14 Thermal analysis of shaft, cap and flange made of polyethylene

모두 정상상태조건으로 부품 외부에 대류열전달계수 $5.0 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ 로 해석을 수행하였다. 플랜지는 몸체와 접촉하여 약 30°C 의 열을 전달 받고 있어 재료의 강도에 미치는 영향력은 없다고 판단하였다. Fig.15에 축, 캡 및 플랜지를 사출성형고정으로 제작

하기 위한 시작금형을 보여주며, 힌지의 일부 구조 변경과 부품 소재의 경량화로 인하여 마찰용 힌지부 전체 무게는 805g에서 219g으로 73%의 경량화를 달성하였다.

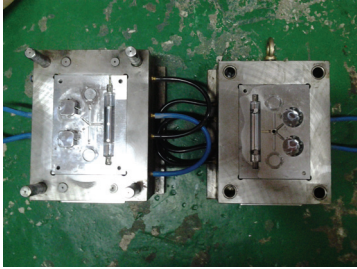


Fig. 15 Injection mold of shaft, cap and flange made by polyethylene

4. 결론

(1) 마찰힌지에서 실리콘 캡과 원통롤러 베어링 간의 마찰계수는 실리콘이 스테인레스 강판 위에서 움직이기 시작하는 각도를 측정한 정지마찰계수를 사용하였으며, 0.654로 나타났다.

(2) 실리콘 캡과 원통롤러 베어링의 간섭량에 따른 해석결과로부터 압력과 하중에 대한 해석식을 제안하였으며, 힌지에 부착된 뚜껑의 무게와 힌지의 하강속도를 조절하는 간섭량의 관계식을 도출하였다.

(3) 마찰힌지 부품의 설계에 있어서 힌지의 회전 각도를 80° 이상으로 확보하였고, 간섭량을 2mm 이상으로 할 경우 적용된 제품의 하강시간은 20초 이상을 유지할 수 있었다.

(4) 축, 캡 및 플랜지 등 일부 부품을 PE소재로 변경하여, 힌지부의 경량화를 805g에서 219g로 약 73% 실현하였고, 이를 위해 시작금형 및 시제품을 제작하였다.

후 기

“이 논문은 2012학년도 동의대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.(과제번호 2012AA155)”

REFERENCES

1. Cho J. U. and Han M. S., “Structural Analysis on

Door Hinge of Car”, J. of KSMPE, Vol. 9, No. 2, pp. 33~39, 2010.

2. Park J. K. and Lee S. J., “A Study on the Contour Design in the Hinge Mechanism for a Folder of a Mobile Phone”, J. of KSPE, Vol. 25, No. 9, pp. 86~94, 2008.

3. Park J. K. and Lee S. J., “A Study on the Contour Design of the Hinge Mechanism for a Mobile Phone Driven by Continuous Torques”, J. of KSMPE, Vol. 9, No. 3, pp. 8~18, 2010.

4. Yang J. H., “The Optimization of the Press-Type Door Hinge of the Full-Sized Car”, J. of KSPE, Vol. 27, No. 5, pp. 48~55, 2010.

5. Won J., Lim C. K., Lee D. H. and Choi J. H., “Dynamic Property Identification of Structural Systems with Hinge Joint using Equivalent Stiffness”, J. of KSME, A, Vol. 36, No. 12, pp. 1635~1642, 2012.

6. Kim J. K., Yoo S. R. and Lee I. Y., “Study on Friction Energy of Rubber Block under Vertical Load and Horizontal Velocity”, J. of KSME, A, Vol. 37, No. 7, pp. 905~912, 2013.

7. Lee J. C., Im M. H., Lee B. S., Jang J. H., Cheong Y. S., Hur M. D. and Choi B. K., “An Experimental Study on the Friction Coefficient of Rubbers for Clutch Master Cylinder Cup-Seals”, J. of KSAE, Vol. 11, No. 5, pp. 112~118, 2003.

8. Khoo H. H., Clifton C., Butterworth J., MacRae G., Gledhill S. and Sidwell G., “Development of the Self-Centering Sliding Hinge Joint with Friction Ring Springs”, Journal of Constructional Steel Research, 78, pp. 201~211, 2012.

9. Fuji Y., “Method for Measuring Transient Friction Coefficients for Rubber Wiper Blades on Glass Surface”, Tribology International, Vol. 41, pp. 17~23, 2008.

10. Persson B. N. J., “On the Theory of Rubber Friction”, Surface Science, Vol. 401, No. 3, pp. 445~454, 1998.