

보급형 양문형 냉장고용 회전필러 메커니즘 개발

손충일¹, 김연수², 정용호^{3*}

¹현대자동차 현대생기센터, ²부산대학교 기계공학부, ³부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

Development of Revolving Pillar Mechanism for Low-end Side-by-side Refrigerators

Chungil Son¹, Yeonsu Kim², Yoongho Jung^{3*}

¹Hyundai Manufacturing Engineering Center, Hyundai Motor Company

²School of Mechanical Engineering, Pusan National University

³ERC/Net Shape and Die Manufacturing, Pusan National University

요약 냉장고 양측 저장 공간 사이의 칸막이를 제거하고 필러를 이용하여 양측 문 사이의 냉기 유출을 방지하는 구조의 양문형 냉장고가 보편화되고 있다. 그러나 이러한 냉장고에서는 우측 서랍을 꺼낼 때 넓은 형상의 필러와 충돌하여 인출할 수 없는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 우측 문을 열었을 때 필러가 자동으로 접히도록 하는 '회전필러 메커니즘'이 개발되어 고급형 냉장고에 적용 중이다. 그러나 이 방식은 고가의 자석을 사용하기 때문에 보급형 냉장고에는 적용하기 어려움이 있다. 또한 보급형 냉장고의 자동 닫힘력이 부족하여 우측 문이 닫힐 때 필러를 펼치지 못하는 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 탄성 에너지 회전필러 메커니즘을 개발하였다. 개발된 메커니즘은 우측 문을 개방할 때 필러를 접으면서 간단한 스프링에 탄성 에너지를 저장한 후, 문을 닫을 때 저장된 힘을 활용하여 필러를 펼칠 수 있는 메커니즘을 고안하였다. 또한 Trigger 메커니즘을 고안하여 스프링에 저장된 에너지를 정확한 시점에 방출할 수 있도록 하였다. 개발된 메커니즘은 고가의 자석을 사용하는 대신 간단한 스프링을 사용함으로써 재료비를 크게 절감할 수 있고, 신뢰할 만한 동작을 수행할 수 있어서 보급형 냉장고에 적용이 가능하겠다.

Abstract A side-by-side door refrigerator without a partition between both storage spaces is becoming familiar. These refrigerators have a wide pillar to prevent cold air from leaking between the doors and body. On the other hand, the right drawer cannot be withdrawn without colliding with the pillar of those refrigerators. A 'revolving pillar mechanism' using magnets has been developed to fold the pillar automatically when the right door is open, which is now applied to high-end refrigerators. A low-end refrigerator cannot use the same mechanism because the magnets are expensive. In addition, the automatic door closing force of the low-end refrigerators is insufficient to unfold the pillar when the right door is locking. This study devised a revolving pillar mechanism using elastic energy to resolve those problems. The pillar is folded by the door-opening force while storing elastic energy in simple springs. When the right door is closed, it unfolds the pillar with elastic energy. A trigger mechanism was also developed to release elastic energy correctly. The designed device can reduce material costs significantly using simple springs instead of expensive magnets and can perform all necessary operations for pillar folding and unfolding of a low-end refrigerator.

Keywords : Refrigerator, Revolving Pillar, Side-By-Side, Spring, Trigger

본 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Yoongho Jung(Pusan National Univ.)

email: yhj@pusan.ac.kr

Received August 31, 2022

Revised October 5, 2022

Accepted November 4, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

냉장고의 용량이 증대됨에 따라 좌우 두 개의 문으로 개폐하는 냉장고가 널리 사용되고 있는데, 이러한 냉장고를 양문형 냉장고(side-by-side refrigerator)라고 한다. 초기의 양문형 냉장고는 각 문의 안쪽 공간이 칸막이로 분리되어 있었는데, 최근에는 내부 공간을 효율적으로 이용하기 위해 분리된 두 공간을 합친 구조가 점점 보편화되고 있는 추세이다. 초기 양문형 냉장고의 칸막이는 두 공간을 분리하는 역할뿐만 아니라, 양쪽 문을 닫았을 때 냉기를 밀폐할 수 있도록 각 문에 장착된 가스켓(gasket)을 지지하는 역할도 수행한다. 그런데 칸막이가 없는 양문형 냉장고에서는 냉기 밀폐를 위해 두 문의 가스켓을 지지하는 넓은 평면의 받침대가 필요하며 이를 '필러'(pillar)[1]라고 한다. 이러한 필러는 주로 냉장고의 좌측 문의 끝에 힌지(hinge)로 고정되고 냉장고 몸체의 내부 윗면에 가이드 홈이 있어서, 좌측 문이 닫힐 때 필러가 펼쳐지고 좌측 문을 열면 접히게 된다. 그런데 이러한 필러를 장착하면, 좌측 문이 닫힌 상태에서 우측 문을 개방한 후 내부의 우측 서랍을 개방하려고 할 때 서랍이 필러에 부딪혀서 개방되지 않는다. 서랍이 개방이 되려면 서랍의 폭을 줄여야 하는데, 이는 공간의 효율을 저해한다.

이를 해결하기 위해 좌측 문이 닫힌 상태에서 우측 문을 개방하면 필러를 자동으로 접고, 우측 문을 닫으면 필러를 펼치는 '회전필러(revolving pillar)' 메커니즘[2]이 개발되었다. 이 메커니즘은 냉장고 몸체의 내부 윗면에 장착되어 우측 문의 거동과 스프링을 이용하여 필러를 펼치거나 접도록 하였는데, 시장에 출시된 제품에는 스프링 대신 자석을 사용하는 '자석 회전필러 메커니즘'이 고급형 냉장고에 적용되었다. 이러한 기능은 편의성으로 인해 사용자로부터 좋은 반응을 얻고 있으며 보급형 냉장고에도 적용되기를 원하는 수요가 증대하고 있다.

자석 회전필러 메커니즘에는 ND(Neodymium) 자석이 회전필러와 우측 문 내부에 한 쌍, 필러 내부와 좌측 문 내부에 한 쌍, 총 4 개가 장착되어 있다. 그런데 이러한 ND 자석은 높은 가격으로 보급형 냉장고에 적용하기에 부담이 된다. 따라서 본 연구는 회전필러 기능을 보급형 냉장고에 확대 적용하기 위해 ND 자석이 필요하지 않고 저렴한 비용으로 제작할 수 있는 새로운 메커니즘을 개발하고자 한다.

2. 자석 회전필러 메커니즘

새로운 회전필러 메커니즘을 개발하기 위해, 먼저 기존의 자석을 이용한 회전필러 메커니즘의 동작을 분석하고, 고려해야 할 사항들을 살펴보겠다. Fig. 1은 양문형 냉장고의 수평 단면을 위에서 바라본 모습으로 회전필러 메커니즘이 없는 양문형 냉장고에서 우측 문을 개방한 상태에서 내부의 우측 서랍을 개방하려고 하면 서랍이 필러에 부딪혀 개방되지 않는 것을 보이고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 자석 회전필러 메커니즘의 동작 원리를 Fig. 2에 나타내었는데, 모두 양문형 냉장고의 수평 단면을 위에서 바라본 모습으로 초록색 부품이 필러이고, 파란색 부품은 '갈고리 형상(hook)'이 부착되어 가운데 축을 중심으로 회전하여 필러를 펼치거나 접는 'Holder'이며, 붉은색으로 표시한 것이 자석을 나타낸다. 본 연구에서는 설명의 편의를 위해 필러가 냉장고의 좌측 문과 나란한 상태(Fig. 2(a))를 "펼쳐진" 상태로, 문과 수직인 상태(Fig. 2(b))를 "접힌" 상태로 표현하겠다. Fig. 2(a)와 같이 양쪽 문이 모두 닫힌 상태에서는 필러가 펼쳐져 있어서 문의 안쪽의 가스켓과 필러가 밀착되어 냉장고 내부의 냉기를 밀폐시킨다. Fig. 2(b)와 같이 우측 문을 개방하면 우측 문에 장착된 자석의 인력으로 Holder를 시계 방향으로 회전시켜서 Holder의 갈고리 형상이 필러를 밀어서 접게 된다. 우측 문을 더 개방하게 되면 Holder는 더 이상 회전하지 않고 자석이 분리되면서 문을 계속 개방할 수 있다. 따라서 우측 문이 개방되면 필러가 접힌 상태가 되어 필러와 충돌 없이 우측 서랍을 개방할 수 있게 된다. Fig. 2(c)는 우측 문을 닫을 때 필러가 펼쳐지는 동작으로서, 우측 문이 Holder를 밀어서 반시계 방향으로 회전시키면 Holder의 갈고리 형상이 필러를 시계 방향으로 회전시켜 펼치게 되어, Fig. 2(a)의 상태로 복귀된다. 우측 문이 닫힌 상태에서 좌측 문을 열 때와 닫을 때의 동작은 Fig. 2(a) 상태에서 Holder의 갈고리 형상을 따라 필러가 회전하여 펼쳐지거나 접히게 된다. 그리고 Fig. 3과 같이 필러가 접힐 때 좌측 문과 부딪힌 후 반발로 다시 펼쳐지는 현상을 방지하기 위해 필러 내부와 좌측 문에 ND 자석이 추가로 장착되어 있다.

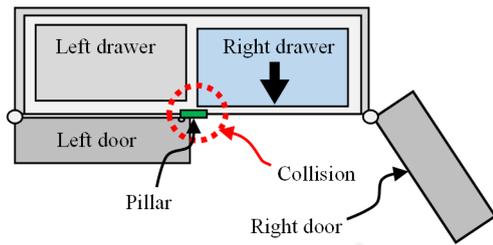


Fig. 1. Collision of pillar and drawer in a side-by-side refrigerator

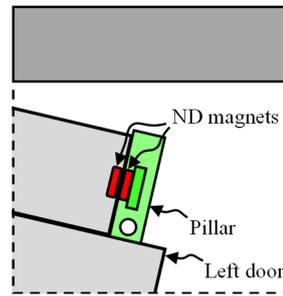


Fig. 3. ND magnets to prevent pillar's rebounding

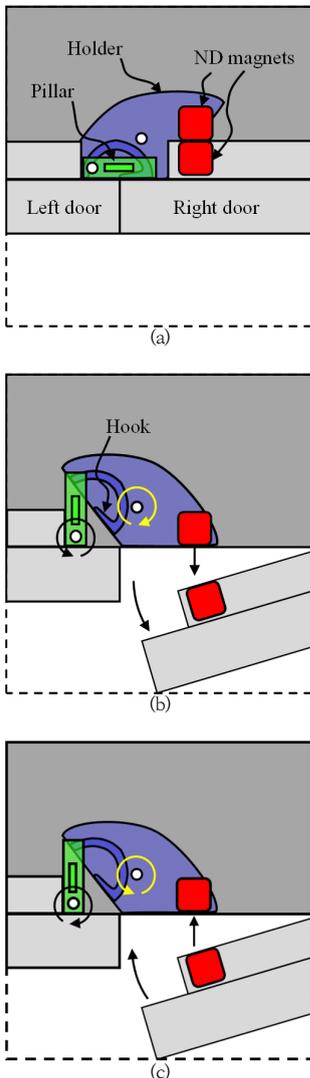


Fig. 2. Revolving pillar mechanism
(a) Overview of the revolving pillar (b) Opening the right door (c) Closing the right door

회전필러를 설계하기 위해 필러를 접거나 펼치기 위한 회전력을 알아야 한다. 필러를 접기 위한 회전력을 구하기 위해서는 필러 내부의 스프링 힘, 필러와 회전필러와의 마찰, 제품 내부의 부품 간 유격 등을 고려해야 하는데, 본 연구에서는 필러가 장착된 냉장고(LG전자, F901ND79E 모델)[3]에서 회전필러(holder)의 회전력을 직접 측정하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 가로축은 우측 문을 열 때 문의 끝 단이 냉장고 몸체로부터 분리되는 거리를 나타낸다. 필러와 회전필러의 유격으로 인해 문이 개방되기 시작 후 일정 거리 ㉔ 이후부터 필러를 회전시킨다. 필러는 내부에 스프링과 사점(critical point) 구조를 가지고 있어서 필러의 사점 위치인 ㉖까지 회전시키면, 그 이후에는 필러 내의 스프링 힘에 의해 자동으로 접히게 된다. 마찬가지로 필러를 펼치기 위한 회전력은 Fig. 5와 같다.

한편, 최근의 대형 냉장고는 사용자가 실수로 냉장고 문을 열어 두어도 자동으로 닫히게 하는 자동 닫힘(auto closing) 기능이 있는 힌지를 장착하고 있다. 이를 위해 초기에는 냉장고 문의 자중에 의해 자동으로 닫히는 '캠 힌지'[4]를 사용하였다. 그러나 중간에 칸막이가 없는 양문형 냉장고에서 한쪽 문을 강하게 닫았을 때 내부에 압력에 의해 반대쪽 문이 개방되는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 힌지에 스프링을 사용하여 자동 닫힘력을 보완하였는데, 고급형 냉장고에는 '스프링 내장형 힌지'[5,6]를 장착하고, 보급형 냉장고에는 닫힘력이 약하지만 비교적 저렴하고 단순한 '탄성 힌지'[7]를 장착하고 있다. 또한 회전필러 메커니즘이 장착된 냉장고에서는 이 자동 닫힘력이 우측 문을 닫을 뿐만 아니라 필러를 펼치는 역할도 수행한다. 따라서 본 연구에서 적용하려는 보급형 냉장고의 닫힘력을 구하기 위해 보급형 냉장고 (LG전자, LFXS30726S 모델)[8]의 닫힘력을 직접 측정하고 이를 Fig. 6에 나타내었다.

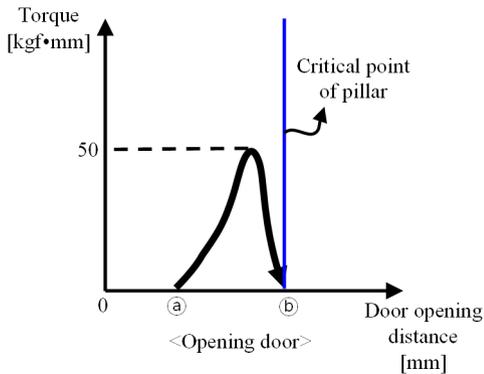


Fig. 4. Required torque for pillar folding

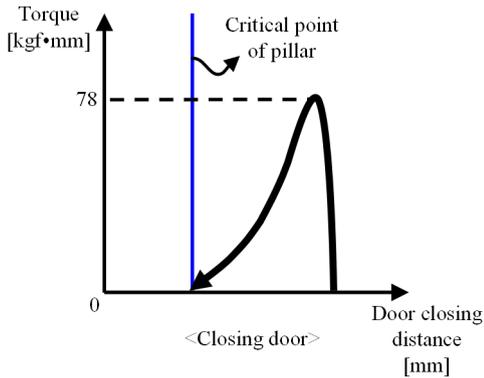


Fig. 5. Required torque for pillar unfolding

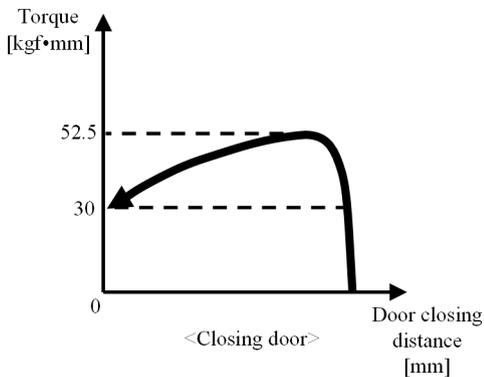


Fig. 6. Closing torque of elastic hinge

Fig. 5와 Fig. 6을 비교해보면 보급형 냉장고의 탄성 힌지의 최대 닫힘력(52.5 kgf · mm)은 필러를 펼치기 위한 회전력(78 kgf · mm)보다 작아서 필러를 펼칠 수 없다. 즉, 보급형 냉장고에 기존의 자석 회전필러를 그대로 적용하면 문이 완전히 닫히지 않고 필러도 펼쳐지지

않는다. 따라서 이러한 문제를 해결하면서 제작 비용을 낮출 수 있는 새로운 작동방식의 회전필러가 필요하겠다. 이 외에도 개발되는 새로운 회전필러 메커니즘은 냉장고 문의 처짐이나 개방 속도의 변화에도 정상 작동이 되어야 하겠다.

3. 탄성 에너지 회전필러 메커니즘

3.1 메커니즘의 검토

기존의 자석 회전필러를 그대로 보급형 냉장고에 적용하면 보급형 냉장고에서 채택하고 있는 탄성 힌지의 힘이 부족하여 우측 문이 자동으로 닫히지 않고 필러도 펼쳐지지 않는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 다음과 같은 세 가지 방법을 고려할 수 있다. 첫째, 필러가 펼쳐지지 않으려는 저항을 줄이거나, 둘째, 탄성 힌지의 닫힘력을 증대시키거나, 셋째, 회전필러 메커니즘이 필러를 펼치는 작동력을 증대시키는 방법이다. 첫 번째 방법을 위해 Fig. 3의 자석을 제거하거나 필러 내부의 스프링 힘을 줄일 수 있겠다. 그러나 필러 내부의 자석을 제거하면 필러가 접히는 동작에서 좌측 문의 몸체와 부딪히는 반동으로 다시 펼쳐지는 문제가 발생할 수 있다. 또한 냉장고의 밀폐를 위해 양측 문의 가스켓을 필러가 지지하고 있는데, 필러 내부의 스프링 힘을 줄여 필러가 펼쳐지는 힘을 저하시키면 가스켓과의 밀폐력이 낮아지게 되는 문제가 발생할 수 있다. 두 번째 방법은 비교적 간단해 보이지만, 고가의 스프링 내장형 힌지를 사용해야 하므로 재료비의 상승을 야기한다. 따라서 본 연구에서는 필러를 펼치기 위한 회전필러의 작동력을 증대시키는 방법을 개발하고자 한다. 이를 위해 우측 문을 개방할 때의 에너지(힘)를 저장한 후, 우측 문을 닫을 때 저장된 힘을 이용하여 필러를 펼치고자 한다. 이렇게 하면 보급형 냉장고의 자동 닫힘력이 작아도 우측 문이 자동으로 닫히면서 필러를 펼칠 수 있게 된다. 우측 문을 개방할 때의 에너지를 저장하기 위해 가격이 저렴한 스프링을 이용하고자 하며, 우측 문을 닫을 때 스프링에 저장된 에너지를 방출할 수 있는 작동장치, 즉 'Trigger 메커니즘'이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 메커니즘 전체를 '탄성 에너지 회전필러'라고 하겠다.

3.2 탄성 에너지 회전필러의 작동 개요

본 연구에서 고안한 탄성 에너지 회전필러 메커니즘이

냉장고의 우측 문을 열 때와 닫을 때 필러를 펼치고 접는 동작을 Fig. 7에 나타내었다. 고안된 메커니즘은 Fig. 7(a)와 같이 우측 문을 열 때 회전필러의 Holder를 시계 방향으로 회전시키기 위해 자석 대신 갈고리 형태의 'Puller'를 우측 문에 장착하였으며, Holder의 회전에 따라 힘을 저장하기 위해 스프링을 사용하였고, Puller가 Holder를 당겨서 회전시킨 상태를 유지시키는 Trigger를 회전필러 몸체에 장착하였다. Fig. 7(a)의 상태에서 우측 문을 개방하면 Puller가 Holder를 당겨서 Fig. 7(b)와 같이 Holder를 시계 방향으로 회전시켜 필러를 접음과 동시에 Holder에 연결된 스프링에 힘을 저장한다. 이 상태에서 Trigger가 Holder를 고정하여 스프링의 힘이 유지되도록 한 후, Puller가 Holder에서 탈출하여 우측 문이 완전히 개방될 수 있도록 한다. 그리고 Fig. 7(c)와 같이 우측 문이 닫힐 때 Puller가 Trigger의 잠금을 해제하면 스프링의 복원력으로 Holder가 반시계 방향으로 회전하여 필러를 펼치게 되고, 우측 문이 계속 닫히면 Puller가 다시 Holder와 결합하여 원래의 Fig. 7(a)의 상태가 된다. 이러한 동작을 위해 우측 문에 장착된 탄성 힌지의 자동 닫힘력은 Puller가 Trigger를 해제할 수 있어야 하며, Holder를 반시계 방향으로 회전시키는 스프링 힘은 필러를 펼치기에 충분하여야 한다.

3.3 탄성 에너지 회전필러의 설계

본 연구에서 새롭게 고안한 탄성 에너지 회전필러 메커니즘은 기존의 자석을 이용한 회전필러 메커니즘을 대체하고자 하므로 가능한 설계 변경을 줄이는 것이 제조 원가를 낮추는 방법이다. 따라서 기존의 장착 공간이나 부품을 가능한 그대로 이용하고자 한다. 탄성 에너지 회전필러 메커니즘에서는 스프링과 Puller 및 Trigger가 추가되는데, 본 절에서는 스프링의 설계에 대해 기술하고, Puller와 Trigger는 다음 장에서 설명하겠다.

보편적으로 활용 가능한 스프링에는 비틀림 스프링, 인장, 압축 스프링이 있는데, 압축 스프링은 작동을 일직선으로 유지하기 위한 추가적인 부품이 필요하므로 제외하였다. 설계되는 스프링은 메커니즘의 제한된 공간 내에서 충분한 힘을 발휘할 수 있어야 하고, 반복 작동에 의한 수명에 문제가 없어야 한다. 본 연구에서는 비틀림 스프링과 인장 스프링 모두에 대해 비교 검토하겠다.

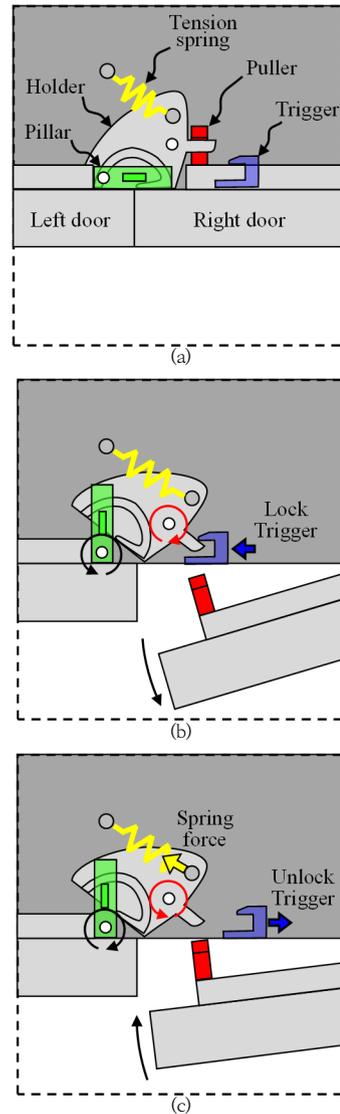


Fig. 7. Elastic energy revolving pillar mechanism
(a) Before opening the right door (b) Opening the right door (c) Closing the right door

비틀림 스프링은 Fig. 8과 같이 Holder의 중심 축에 장착하는 것이 공간을 가장 적게 차지하는데, Holder의 회전 축의 직경과 높이로 인해 비틀림 스프링은 내경 15.9 mm 이상, 높이 4.3 mm 이하이어야 한다. 비틀림 스프링의 최대 각변위는 Holder의 행정 각도인 약 52.5°이며, 필요한 최대 토크는, Fig. 3의 자석을 제거하였을 때 필러를 펼치기 위한 토크가 Fig. 5보다 작아져서 약 55.7 kgf·mm가 필요하다. 필요 토크를 만족시키는 비틀림 스프링의 설계[9]와 관련하여 비틀림 스프링

의 상수(k_T)는 Eq. (1)과 같다. 이때 스프링에 가해지는 굽힘 응력(σ)은 Eq. (2)와 같이 구할 수 있고, 최소 굽힘 응력(σ_{\min})과 최대 굽힘 응력(σ_{\max})의 비에 따라 Eq. (3)으로 응력 계수(γ_T)을 구할 수 있고, σ_{\max} 와 인장 강도(σ_B)의 비에 따라 상한 응력 계수($\gamma_{T,\max}$)를 Eq. (4)와 같이 구할 수 있다.

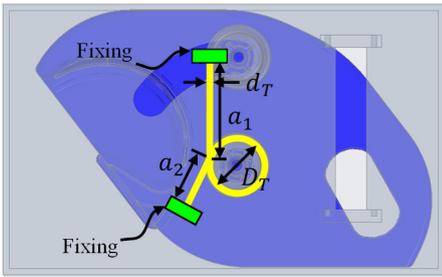


Fig. 8. Torsion spring for the mechanism

$$k_T = \frac{T_{\max}}{\phi_d} = \frac{Ed_T^4}{3667D_T^3N + 389(a_1 + a_2)} \quad (1)$$

Where, k_T denotes torsion spring coefficient, T_{\max} denotes maximum torque, ϕ_d denotes angular displacement of the spring, E denotes young's modulus, d_T denotes material diameter, D denotes the average of coil diameter, N denotes the number of coiling, a_1 and a_2 denote the length of arms

$$\sigma = \frac{Ed_T\phi_d}{360D_T^3N} \quad (2)$$

Where, σ denotes bending stress

$$\gamma_T = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (3)$$

Where, γ_T denotes stress coefficient, σ_{\min} denotes minimum bending stress, σ_{\max} denotes maximum bending stress

$$\gamma_{T,\max} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_B} \quad (4)$$

Where, $\gamma_{T,\max}$ denotes upper stress coefficient, σ_B denotes tensile strength

국가 표준 비틀림 코일 스프링 설계 기준[9]에 따라 비틀림 스프링은 안전율을 고려하여 σ_{\max} 가 허용 굽힘 응

력(σ_a)보다 작아야 하며, γ_T 값과 $\gamma_{T,\max}$ 값을 비틀림 스프링의 피로 강도 선도[9]에 대입 후 스프링의 기대 수명을 확인하여 스프링 사용 여부를 결정할 수 있다. 재료를 경강선(SW-C)으로 사용하였을 때, 물성치[9] E 는 약 21000 kgf/mm², σ_a 는 약 149 kgf/mm², σ_B 는 약 180 kgf/mm²가 된다. 비틀림 스프링의 초기 설계 값을 Table 1과 같이 설정하였을 때 Eq. (1)을 통해 k_T 를 구하면 약 1.074 kgf/°이며, Eq. (2)를 통해 σ_{\max} 를 구하면 약 110 kgf/mm²가 되어 σ_a 보다 작음을 알 수 있다. 그리고 초기 각변위가 0이므로 Eq. (3)에 따라 γ_T 가 0, Eq. (4)에 따라 $\gamma_{T,\max}$ 가 약 0.61으로 비틀림 스프링의 피로 강도 선도[9]에 따른 기대 수명은 약 30,000 회 정도인 것을 알 수 있다. 설계 결과 Holder의 회전 축과 비틀림 스프링 내경의 차이가 크지 않고, 기대 수명이 저조하지 않지만 T_{\max} 가 필요 토크와 근사하여 토크의 여유가 없다. 이를 해결하기 위해 D_T 를 줄이거나 다른 설계 변수들을 변경하면 T_{\max} 는 커지나 σ_{\max} 도 같이 증가하여 안전율에 여유가 없어지며, 기대 수명도 크게 감소하게 된다. 또한 복수의 스프링을 병렬로 연결하여 T_{\max} 를 증가시키며 σ_{\max} 를 줄이기에는 스프링을 추가적으로 장착할 공간이 부족하여 비틀림 스프링은 해당 메커니즘에 적용이 어렵다.

Table 1. Design values of torsion spring

T_{\max} [kgf·mm]	ϕ_d [°]	d_T [mm]	D_T [mm]	N_T	a_1 [mm]	a_2 [mm]
56.39	52.5	1.8	20	2.3	35	20

인장 스프링의 경우 Fig. 9와 같이 Holder에 별도의 고정 부분을 추가하여 회전필러 내부의 왼쪽 공간을 활용하면 안정적으로 장착이 가능하겠다. 국가 표준 인장 용 원통 코일 스프링 설계 기준[9]에 따라 인장 스프링의 상수(k)는 Eq. (5)와 같이 최대 스프링 힘(P_{\max})을 스프링의 인장 길이(δ)로 나눈 값이며, 횡 탄성 계수(G), 재료의 지름(d), 유효 감긴 횟수(N_a), 코일 평균 지름(D)의 값으로 구할 수 있다. 비틀림 응력(τ_0)은 Eq. (6)와 같이 구할 수 있고, 이론적인 응력 값은 실제 응력 값보다 낮게 나타나므로 코일 평균 지름(D)를 재료의 지름(d)으로 나눈 값인 스프링 지수(c)를 통해 응력 수정 계수(χ)를 Eq. (7)로 계산하고, Eq. (8)에 따라 비틀림 수정 응력(τ)

을 구할 수 있다. 응력 계수(γ)는 Eq. (9)과 같이 최소 비틀림 수정 응력(τ_{\min})과 최대 비틀림 수정 응력(τ_{\max})의 비에 따라 구할 수 있고, τ_{\max} 와 σ_B 의 비에 따라 상한 응력 계수(γ_{\max})를 Eq. (10)과 같이 구할 수 있다.

$$k = \frac{P_{\max}}{\delta} = \frac{Gd^4}{8N_a D^3} \quad (5)$$

Where, k denotes tension spring coefficient, δ denotes the tensile length of the spring, P_{\max} denotes maximum force, G denotes modulus of rigidity, d denotes material diameter, N_a denotes the effective number of coiling, D denotes the average of the coil diameter

$$\tau_0 = \frac{8DP_{\max}}{\pi d^3} \quad (6)$$

Where, τ_0 denotes torsional stress

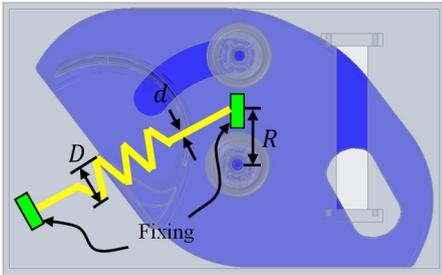


Fig. 9. Tension spring for the mechanism

$$\chi = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c} \quad (7)$$

Where, χ denotes stress correction factor, c denotes spring index

$$\tau = \chi \tau_0 \quad (8)$$

Where, τ denotes correction torsional stress

$$\gamma = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \quad (9)$$

Where, γ denotes safety factor, τ_{\max} denotes minimum torsional stress, τ_{\min} denotes minimum torsional stress

$$\gamma_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_B} \quad (10)$$

Where, γ_{\max} denotes upper stress coefficient

인장 스프링은 안전율을 고려하여 τ_{\max} 가 τ_a 의 80 % 보다 작아야 하며[10], γ 값과 γ_{\max} 값을 인장 스프링의 피로 강도 선도[10]에 대입 후 스프링의 기대 수명을 확인하여 스프링 사용 여부를 결정할 수 있다. 인장 스프링의 재료를 경강선(SW-C)을 사용하였을 때, 물성치[10] G 는 8000 kgf/mm², τ_a 는 약 100 kgf/mm², τ_B 는 약 200 kgf/mm²이다. 스프링 장착부의 회전팔 길이 R 은 14.5 mm이므로 최대 약 3.88 kgf의 스프링 힘이 필요하다. 인장 스프링의 초기 설계 값들을 Table 2의 No. 1과 같이 정하였을 때 Eq. (5)을 통해 k 를 구하면 약 0.244 kgf/mm이며, Eq. (6)-(8)을 통해 τ_{\max} 을 구하면 약 70.70 kgf/mm²으로 τ_a 의 약 70 %가 되어 안전율을 만족한다. 그리고 초기 인장 길이(δ_i)에 따라 Eq. (6)-(9)를 통해 γ 은 약 0.25, γ_{\max} 는 약 0.32가 되며, 인장 스프링의 해피로 강도 선도[10]에 따라 기대 수명이 10⁷회 이상인 것을 알 수 있다. 그러나 인장 스프링이 고정되는 부분에 과도한 힘이 집중되어 부품의 파손될 수 있어서 본 연구에서는 인장 스프링을 2 개 사용하여 힘을 분산 시키도록 하겠다. 이때의 스프링 설계 값들은 Table 2의 No. 2와 같으며, k 는 약 0.125 kgf/mm, τ_{\max} 는 약 34.28 kgf/mm²로 안전율이 약 34 %, P_{\max} 는 약 1.63 kgf가 되어 모든 조건을 만족한다. 그리고 δ_i 에 따라 γ 은 약 0.02, γ_{\max} 는 약 0.17이 되며, 인장 스프링의 피로 강도 선도[10]에 따라 기대 수명이 10⁷회 이상이다. 따라서 인장 스프링 2개를 사용하는 것이 더 신뢰성이 있어서, 본 연구에서는 이를 활용하여 탄성 에너지 회전필러 메커니즘을 구현하겠다.

Table 2. Design values of tension spring

No.	P_{\max} [kgf]	δ [mm]	δ_i [mm]	d [mm]	D [mm]	N_a [mm]	c	χ
1	4.17	17.11	4.23	1.0	4.5	45	4.50	1.35
2	1.64	13.12	0.23	0.9	4.6	54	5.11	1.30

4. Trigger 메커니즘

탄성 에너지 회전필러는 냉장고 우측 문을 개방할 때 스프링에 힘을 저장한 후, 우측 문이 자동으로 닫힐 때 스프링에 저장된 힘으로 필러를 펼치게 된다. 이때, 우측 문이 닫히는 순간에 스프링에 저장된 힘을 방출시키는

Trigger 메커니즘이 필요하다. Fig. 7의 개념 설계를 바탕으로 다양한 구조의 Trigger 메커니즘들을 고려할 수 있겠다. 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 모델을 고려하였다.

첫 번째는 Fig. 10과 같은 구조인데, 본 연구에서는 이를 'Wedge trigger'라고 하겠다. 이 구조는 Fig. 10(a)와 같이 회전필러의 Holder의 바닥 면이 뚫려 있고, Holder에 장착된 Trigger는 가운데 축을 중심으로 전후로 약간 회전할 수 있으며 내부에 비틀림 스프링이 내장되어 Fig. 10(a)의 상태를 유지하려고 한다. 즉 냉장고 우측 문이 개방된 상태에서는 갈고리 모양의 Trigger 윗부분이 회전필러의 Base를 잡고 있어서 Holder가 반시계 방향으로 회전하지 못하게 한다. 냉장고 우측 문에는 끝을 중심으로 아래 위로 약간 회전할 수 있고 비틀림 스프링이 장착된 Puller가 있다. Fig. 10(a)의 상태에서 우측 문이 닫히면 Puller가 Trigger의 아랫부분을 밀어서 Trigger의 윗 갈고리 부분이 더 이상 Base를 잡지 못하게 된다. 따라서 Holder는 인장 스프링 힘에 의해 반시계 방향으로 회전하면서 필러를 펼치게 된다. 냉장고 우측 문이 완전히 닫히게 되면 Fig. 10(b)와 같이 Puller의 갈고리 형상이 Trigger의 아랫부분을 잡고 있다. 그리고 우측 문을 열면 Puller가 Trigger를 당겨서 Holder를 시계 방향으로 회전시켜 필러를 접으며, 이때 Holder에 장착된 인장 스프링에 에너지가 축적된다. 이후, 우측 문을 계속 열면 Puller가 Trigger를 당겨 Fig. 10(a)의 상태를 유지시킨 후 Puller와 우측 문은 회전필러의 몸체에서 완전히 분리된다. 이 방식은 Trigger가 Holder를 고정하는 힘이 Holder가 스프링에 의해 회전하려는 힘보다 더 커야 한다.

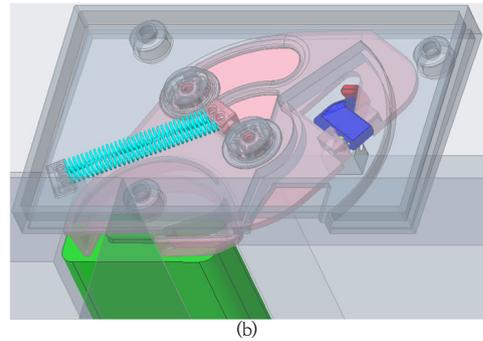
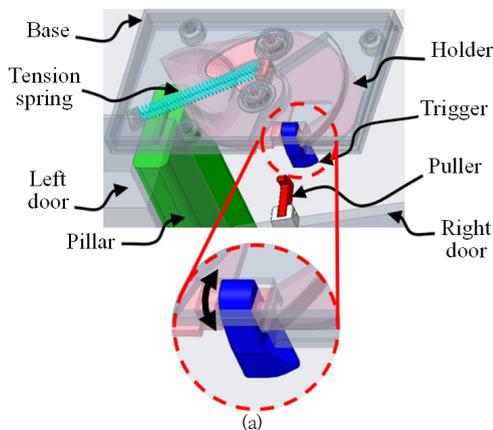


Fig. 10. Wedge trigger
(a) Closing the right door to trigger
(b) Closed right door with the pillar unfolding

두 번째는 Fig. 11과 같은 구조인데, 본 연구에서는 이를 'Seesaw trigger'라고 하겠다. 이 구조도 Fig. 11(a)와 같이 Base의 바닥 면의 일부가 뚫려 있고, Trigger는 시소(seesaw)처럼 가운데 축을 중심으로 약간 회전할 수 있으며 내부에 비틀림 스프링이 내장되어 Fig. 11(a)의 상태를 유지하려고 한다. 즉 냉장고 우측 문이 개방된 상태에서는 Trigger의 앞쪽이 Base의 Shoulder에 걸려서 Holder가 반시계 방향으로 회전하지 못하게 한다. 냉장고 우측 문에는 상하로 약간 움직일 수 있는 Puller가 장착되어 있다. 우측 문이 닫힐 때 Puller가 Trigger의 뒤쪽을 밀어 올리면 시소처럼 Trigger의 반대(앞) 쪽이 내려가서 Base의 Shoulder에 걸린 것이 해제되고, Holder는 인장 스프링 힘에 의해 반시계 방향으로 회전하면서 필러를 펼치게 된다. 냉장고 우측 문이 완전히 닫히게 되면 Fig. 11(b)와 같은 상태로 되는데, 이때 Trigger의 앞부분이 내려와 있어서 Puller의 오른쪽 부분에 닿아 있다. 우측 문을 열기 시작하면, Puller가 Trigger를 당겨서 Holder를 시계 방향으로 회전시켜서 필러를 접게 된다. 이때 Holder에 장착된 인장 스프링에 에너지를 축적한다. 이후 Trigger가 Base의 Shoulder를 지나면 Trigger의 앞쪽이 올라가서 Shoulder에 걸리게 되어 Holder가 반시계 방향으로 회전하지 못하도록 Fig. 11(a)의 상태로 유지시킨다. 이후, 우측 문을 계속 열면 Puller와 우측 문은 탄성 에너지 회전필러의 몸체에서 완전히 분리된다.

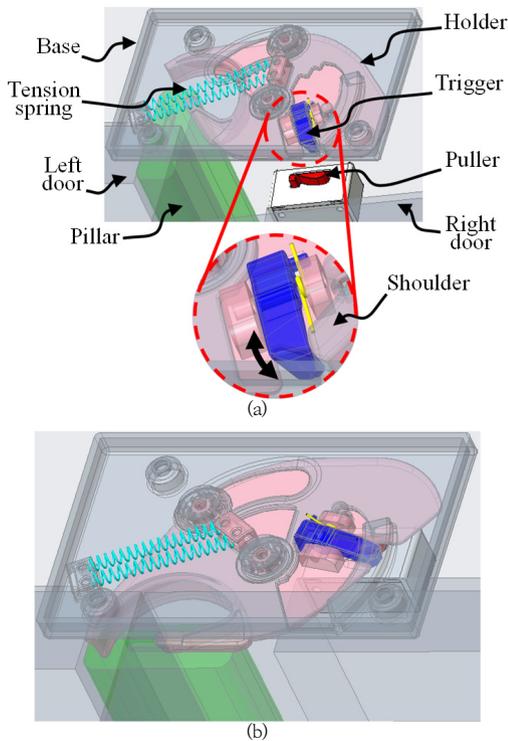


Fig. 11. Seesaw trigger
 (a) Closing the right door to trigger
 (b) Closed right door with the pillar unfolding

앞에서 고려한 두 가지 방식 모두 본 연구에서 구현하려는 탄성 에너지 회전필러의 동작을 수행할 수 있다. 그러나 Wedge trigger의 경우 Trigger의 회전력으로 Holder를 직접 고정해야 하므로 강한 비틀림 스프링이 장착되어야 하고, 이로 인해 Holder가 회전할 때 Trigger가 Base를 누르게 되어 마모와 마찰 소음이 발생할 수 있다. 반면 Seesaw trigger는 Trigger의 측면이 Base의 Shoulder에 걸려 Holder의 회전을 저지한다. 따라서 Holder를 고정하기 위한 Trigger의 힘은 거의 필요하지 않으며, 작동을 저해하는 요소가 특별히 없기 때문에 본 연구에는 Seesaw trigger 메커니즘을 적용하겠다.

5. 적용 및 결과

본 연구에서 고안한 탄성 에너지 회전필러 메커니즘의 작동성을 확인하기 위해 최종 설계에 대해 주요 위치에서의 회전 필러의 동작과 회전력을 분석하고, 시제품을 제작하고 평가하였다. 이를 위해 먼저 우측 문이 닫히는 동안 개발된 메커니즘의 동작을 Fig. 12와 같이 (a)

Trigger를 작동시킬 때, (b) '갈고리 형상(hook)'이 필라에 접촉할 때, (c) 필라가 펼쳐지기 위해 최대 회전력이 필요한 때, (d) 필라가 완전히 펼쳐진 순간 등으로 구분하여 나타내었다. 또한 우측 문이 닫히는 동안 Holder의 회전 각도에 따라 Holder의 회전력과 필라를 펼치는데 필요한 회전력을 Fig. 13에 같이 표시하였다. 우측 문이 완전히 닫혔을 때(Fig. 12(d)) Holder의 각도를 기준 위치(0°)로 설정하고, 주요 시점에서 Holder의 각도를 Fig. 12와 Fig. 13에 동기화하여 표시하였다.

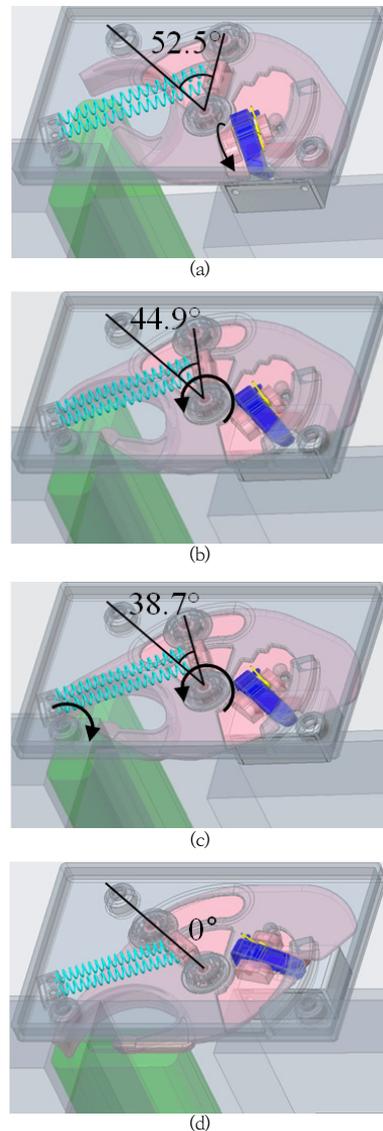


Fig. 12. Operation of the developed mechanism during the right door closing
 (a) Triggering for the pillar unfolding (b) Rotating holder to the pillar (c) Unfolding the pillar (d) Unfolded pillar

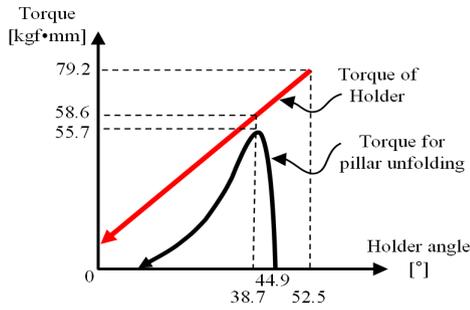


Fig. 13. Torque of the holder for the pillar unfolding

우측 문이 닫히면서 회전필라 메커니즘의 Trigger를 작동시키는 순간을 Fig. 12(a)에 나타내었다. 이때 Holder의 각도는 약 53°이며 메커니즘에 장착된 인장 스프링으로 인해 Holder에는 최대의 회전력(약 79 kgf · mm)이 작용한다. Holder에 작용하는 회전력은 Fig.13에서 붉은 선으로 표시한 것과 같이 Holder의 각도가 줄어들어 따라 거의 선형으로 감소한다. Holder가 반 시계방향으로 회전하여 Fig. 12(b)와 같이 Holder의 각도가 약 45°일 때 Holder의 갈고리 모양의 Hook가 필러와 접촉하게 된다. 이때부터 필러를 펼치기 시작하는데, Fig. 12(c)와 같이 필러를 펼치기 위한 최대 회전력이 필요한 시점(Holder 각이 약 39°일 때)에서 Holder의 회전력은 약 59 kgf · mm이다. 한편, 필러를 펼치기 위한 Holder의 최대 회전력은 Fig. 5에 표시한 바와 같이 약 78 kgf · mm이지만 본 연구에서는 Fig. 3에 표시한 자석들(좌측 문과 필러 내부)이 필요하지 않기 때문에 이를 제거하였을 때 필러를 펼치기 위한 회전력은 3.3 절에서 설명한 바와 같이 약 56 kgf · mm이다. 따라서 개발된 메커니즘의 Holder의 회전력(59 Kgf · mm)이 필러를 펼치는데 필요한 회전력(56 kgf · mm)보다 크므로 필러를 충분히 펼칠 수 있음을 알 수 있다.

냉장고 문이 닫힌 상태에서 냉기 유출을 방지하기 위해 필러는 펼쳐진 상태를 유지하기 위한 스프링과 사점 구조를 가지고 있어서 필러를 펼치기 위해 최대 회전력이 필요한 시점(Fig. 12(c)) 이후에는 필러를 펼치기 위한 회전력은 거의 필요하지 않다. 따라서 Fig. 12(d)와 같이 필러는 완전히 펼쳐지게 되고 Holder는 기준위치(0°)로 복귀된다. 이후 우측 문이 완전히 닫히면서 우측 문의 Puller가 Trigger를 당겨서 Holder를 회전시킬 수 있는 상태가 된다.

우측 문을 여는 과정은 4장에서 설명한 바와 같이 Puller가 Trigger를 당겨서 Holder를 시계 방향으로 회

전시켜서 필러를 접게 된다. 이때 Holder에 장착된 인장 스프링에 에너지가 축적된다. 우측 문을 열 때는 사용자가 직접 열게 되므로 필러를 접는 동작이 실패하는 경우는 발생하지 않는다.

개발된 메커니즘의 분석에 근거하여 실제 시제품을 제작하고 평가하고자 한다. 이를 위해 대부분의 부품은 POM (Polyoxymethylene)[11] 소재로 제작하여 매끄러운 동작을 수행하도록 하였고, 마찰 저항이 적어야하고 큰 힘이 작용하는 Trigger의 회전축과 인장 스프링이 걸리는 핀은 일반 구조용 압연 강재(SS275)[12]를 사용하였다. 제작된 시제품을 Fig. 14에 나타내었는데, Fig. 14(a)는 최종 조립된 메커니즘의 내부를 위에서 본 모습이며, Fig. 14(b)는 메커니즘을 아래에서 바라본 모습이다. Fig. 14(c)는 냉장고 우측 문에 장착하는 Puller의 모습이다. 냉장고를 오래 사용하면 문이 처지는 경우가 발생할 수 있는데, 이때 Puller와 Trigger가 정확히 맞닿지 않을 수 있다. 따라서 이러한 경우를 대처하기 위해 Puller가 약간의 상하 운동이 가능하도록 내부에 압축 스프링을 장착하였다. 시제품은 부산대학교 하이브리드 제조혁신엔지니어링 센터의 3D 프린터 (Stratasys사, Mojo) 장비를 이용하여 제작하였다.

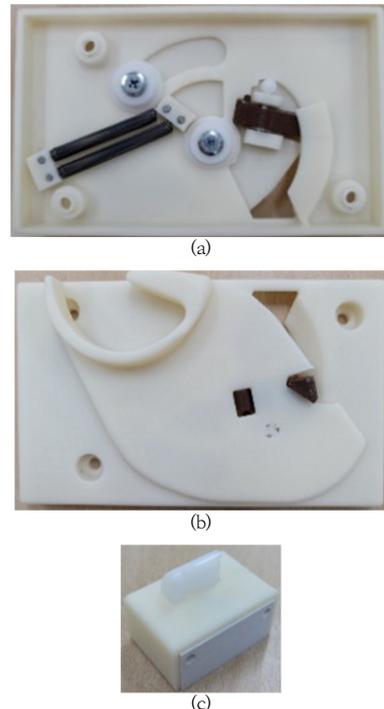


Fig. 14. Prototype assembly of elastic energy revolving pillar mechanism
(a) Inside view of the mechanism (b) Bottom view of the mechanism (c) Puller assembly

제작된 시제품을 실제 냉장고에 장착한 모습을 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15(a)는 좌측 문을 개방한 상태에서 우측 문을 여닫는 모습이며, Fig. 15(b)는 우측 문이 개방된 상태에서 좌측 문을 여닫는 모습이다. Fig. 15의 경우를 포함하여 기본적인 여닫기 동작, 즉 냉장고 좌측 문이 개/폐 되었을 때 우측 문을 여닫을 때, 우측 문이 개/폐 되었을 때 좌측 문을 여닫을 때에 대해 동작 시험을 수행하였다. 뿐만 아니라 양측 문을 동시에 여닫는 경우에 대해서도 작동 시험을 수행하였다. 제작된 시제품은 모든 동작을 정상적으로 수행하였으며, Trigger에 의해 스프링 에너지의 저장 및 방출이 정확한 시점에 작동하는 것을 확인하였다.



Fig. 15. Operation test of elastic energy revolving pillar mechanism
(a) When the left door is open
(b) When the right door is open

6. 결론

본 연구에서는 내부 칸막이가 없는 양문형 고급형 냉장고에서 우측 문을 개방한 상태에서 우측 서랍을 열 수 있는 회전필러 메커니즘을 보급형 냉장고에도 적용하기 위해 저렴한 비용으로 제작할 수 있는 새로운 메커니즘을 개발하였다. 본 연구를 수행하여 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 보급형 냉장고에서는 냉장고 문에 탄성 힌지를 사용하는데, 우측 문이 자동으로 닫힐 때 탄성 힌지의 자동 닫힘력이 부족하여 우측 문이 완전히 닫히지 않으며 필러가 펼쳐지지 않는 문제가 있다. 이

러한 문제를 함께 해결하기 위해 본 연구에서는 자석 대신에 스프링을 사용하고, 우측 문을 개방하는 힘을 저장한 후, 문을 닫을 때 저장된 힘을 활용하여 필러를 펼칠 수 있는 탄성 에너지 회전필러 메커니즘을 고안하였다.

2. 개발된 메커니즘은 다음과 같은 장점을 가진다. 첫째, 고가의 ND 자석을 모두 제거하여 재료비를 크게 절감시킬 수 있다. 둘째, 스프링을 이용하는 기존 특허의 회전필러 방식과 반대로, 우측 문을 닫을 때 탄성 에너지를 활용하므로 탄성 힌지를 사용하는 보급형 냉장고에도 적용이 가능하다. 셋째, 필러와 좌측 문 내부의 자석도 제거할 수 있어서 필러와 좌측 문이 부딪힐 때 발생하는 소음을 감소시킬 수 있다. 넷째, 기존의 자석을 이용하는 메커니즘과 정확히 동일한 크기와 형태이므로 부수적인 설계 변경 없이 보급형 냉장고에도 적용할 수 있다.

한편, 본 연구에서는 시제품의 제작이 용이하도록 탄성 에너지를 저장하기 위해 인장 스프링을 사용하였으나, 상업용 제품에 적용할 때는 인장 스프링 대신 비틀림 스프링을 사용하면 보다 단순한 구조로 제작 가능하겠다. 또한 우측 문에 장착되는 Puller가 미관을 해치지 않도록 더욱 심미적으로 설계할 필요가 있겠다.

References

- [1] LG Electronics, Co, Ltd., "Refrigerator", Korea patent, KR-10-2018-0004890, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020180004890>
- [2] LG Electronics, Co, Ltd., "Refrigerator", Korea patent, KR-10-2014-0182070, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020140182070>
- [3] LG Electronics, Co, Ltd., "Refrigerator", Korea patent, KR-10-2016-0001295, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020160001295>
- [4] LG Electronics, Co, Ltd., "Hinge assembly for refrigerator", Korea patent, KR-10-2006-0032954, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020060032954>
- [5] LG Electronics, Co, Ltd., M. R. Lee, C. H. Suh, "Hinge device for refrigerator's door", Korea patent, KR-10-2004-0114480, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020040114480>
- [6] L. Boo-Yoon, "Stress Analysis and Design Improvement to Prevent Failure of the Damping Hinges of Built-in Refrigerators," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*,

Vol.19, No.2, pp.81-88, Feb. 2020.

DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2020.19.02.081>

- [7] LG Electronics, Co. Ltd., "Door opening angle adjustment device", Korea patent, KR-10-2018-0081868, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020180081868>
- [8] LG Electronics, Co. Ltd., "Refrigerator", Korea patent, KR-10-2009-0129333, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020090129333>
- [9] Korean Standards Association, Helical Torsion Spring - Requirements for Design, KS B 2399:2007, Available From:
<https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059198417797846> (accessed Aug. 24, 2022)
- [10] Korean Standards Association, Helical Ccompression and Extension Springs - Requirements for Design, KS B 2400:2007, Available From:
<https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059203170114390> (accessed Aug. 24, 2022)
- [11] L. H. Sun, Z. G. Yang, X. H. Li, "Study on the friction and wear behavior of POM/Al2O3 nanocomposites", *Wear*, Vol.264, Issue7-8, pp.693-700, Mar. 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.06.005>
- [12] Korean Standards Association, Rolled Steels for General Structure, KS D 3503:2018, Available From:
<https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059195898935392> (accessed Aug. 24, 2022)

손 충 일(Chungil Son)

[정회원]



- 2018년 8월 : 영남대학교 기계공학부 (공학사)
- 2020년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2020년 8월 ~ 현재 : 현대자동차 현대생기센터 매니저

<관심분야>

Computational geomtry, Computer aided design

김 연 수(Yeonsu Kim)

[준회원]



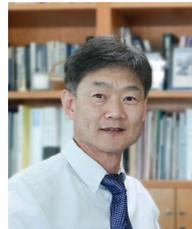
- 2020년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학사)
- 2022년 8월 : 부산대학교 기계공학부 (공학석사)

<관심분야>

Computational geomtry, Computer aided design

정 용 호(Yoongho Jung)

[정회원]



- 1983년 2월 : 부산대학교 기계공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1993년 10월 ~ 1996년 2월 : 삼성항공(주) 수석연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

Geometric modeling, 5-axis high-speed machining, Filament winding, Finite element generation