

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.1.465

JCCT 2024-1-55

고령자 및 장애인을 위한 승강형 주방 상부장 설계

Design of lift-down kitchen cabinet for elderly and disabled

심기범*, 심훈*, 임건혁*, 장지원*, 김상현**

Kibum Shim*, Hoon Shim*, Geon-Hyeok Lim*, Jiwon Jang*, Sang-Hyun Kim**

요약 주방 상부장은 수납공간이 넓고 작업 공간 활용도가 높다는 장점으로 인해 널리 사용되고 있지만 높은 곳에 설치되어 있어 고령자나 장애인이 접근하기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 상부장의 기능을 유지하면서 더욱 쉽고 안전하게 사용할 수 있도록 개별 층의 높이가 조절되는 새로운 방식의 상부장 구조를 제안한다. 효율적인 주방 공간 활용을 위한 상부장 설치 범위와 신체적 약자들이 접근할 수 있는 최대 높이를 고려하여 상부장 필요 하강 범위를 설정하였으며 선택한 개별 층이 최적의 경로를 따라 안전하게 하강할 수 있도록 기구설계 과정을 통해 적절한 복합 링크기구 형상과 치수 및 링크 구동 방법을 선정하였다. 또한, 모터 및 소프트웨어를 추가하여 간단한 버튼 조작으로 사용자가 원하는 높이로 내려올 수 있게 하였으며 실제 제작을 통해 제시된 승강형 링크기구의 안정성 및 높이 조절 성능을 검증하였다.

주요어 : 주방 상부장, 승강, 복합 링크기구, 기구설계, 운동성

Abstract Kitchen cabinets are widely used for their spacious storage and efficient use of space, but their high installed location makes it difficult for the elderly and disabled to access. Therefore, in this paper, we propose a new height-adjustable kitchen cabinet that can be used more easily and safely. The lift-down range of cabinet was set considering the installation location of cabinet for efficient use of kitchen space and the maximum height accessible to the elderly and disabled, and the link geometry and driving method of the complex link mechanism were determined through the mechanism design procedure to ensure that the selected floor come down safely along the optimal descend path. In addition, the appropriate motor and control algorithm were added to allow the user to descend to the desired height with a simple button operation. It was confirmed through actual production that the proposed linkage mechanism performs the desired lift-down motion.

Key words : Kitchen cabinet, Lift-down, Complex link mechanism, Kinematic design, Mobility

1. 서론

최근 우리나라 총인구 중 65세 이상 비율은 급속도

로 늘어나고 있으며 2040년에는 전체 인구의 40%를 넘어설 것으로 예상된다. LH의 연구결과에 의하면 고령자의 평일 활동 시 집안에서 보내는 시간이 60% 이상

*준회원, 한성대학교 기계전자공학부 학부생

**정회원, 한성대학교 기계전자공학부 (교신저자)

접수일: 2023년 10월 15일, 수정완료일: 2023년 11월 9일

게재확정일: 2023년 11월 10일

Received: October 15, 2023 / Revised: November 9, 2023

Accepted: November 10, 2023

*Corresponding Author: shkim@hansung.ac.kr

Dept. of Mechanical Systems Eng., Hansung Univ, Korea

이며 그 중 약 9.2% 정도 주방을 사용하고 있다[1]. 하지만 주방은 주거용 건물에서 가장 많은 사고가 발생하는 곳으로, 노인과 장애인의 안전한 주거 생활을 위한 다양한 법률 및 지원제도가 시행되고 있음에도 불구하고 주방가구 자체에 대한 지원은 부족한 실정이다. 특히, 상부장은 수납공간이 넓고 작업 공간 활용도가 높아 널리 사용되고 있지만 높은 곳에 설치되어 있어 나이가 들수록 근력과 잡기 능력이 떨어지며 신체 신장이 줄어드는 고령자가 사용하기에 많은 어려움이 있다[2].

최근 사용자 편의를 위해 상부장 전체 또는 일부가 위아래로 움직일 수 있는 높이 조절 상부장 관련 연구가 진행되고 있다[3, 4]. 하지만 모든 층이 동시에 움직이는 상부장은 작동을 위해 더욱 강력한 모터를 사용하면서 전력을 많이 소모한다는 단점이 있다. 또한, 개별 층이 하강하는 상부장은 수동으로 조절되며 상/하부장 사이 작업 공간을 침범할 수 없는 제약으로 인해 노약자나 장애인들이 편리하게 사용할 수 있는 충분한 하강 높이를 제공하지 못하고 있다. 한 외국 기관의 설문에 의하면 고령자의 75% 이상이 현재 상부장 구조에 만족하지 않으며 승강형과 같이 사용하기 쉬운 구조를 희망한다고 조사되었다[4].

따라서 본 연구에서는 기존 상부장의 수납 기능 및 공간 활용도는 유지하면서 사용 편의성을 높인 새로운 방식의 상부장 형상을 제시하고자 한다. 먼저 상부장 크기와 설치 위치 및 내부 확인을 위해 필요한 최대 팔 높이를 분석한 후 고령자와 장애인들이 접근할 수 있는 범위 내에 상부장의 하강 위치를 일치시키고자 한다. 모터 및 소프트웨어를 추가하여 간단한 버튼 조작을 통해 한 번의 동작으로 개별 층이 사용자가 원하는 높이로 내려올 수 있게 적절한 복합 링크 장치를 설계하며 안정성 해석 및 제작을 통해 제시된 링크기구의 성능 검증은 확인한다.

II. 설계 배경

그림 1은 가정에서 사용되는 3층 구조의 주방 상부장 형상 및 치수를 나타낸다. 일반적으로 상부장의 각 층은 높이가 250mm이고 1층 바닥은 약 1480mm 높이에 위치한다. 이에 반해 주된 사용자인 30~60세 여성을 기준으로 평균 어깨높이는 1300mm, 상부장 내부 물건을 확인할 수 있는 눈높이는 평균 1487mm, 팔을 수직

으로 끝까지 들어 올려 닿을 수 있는 최대 높이는 평균 1852mm로, 상부장 1층은 손쉽게 이용할 수 있으나 2층은 불편하며 3층의 경우 거의 사용이 불가능하다[5].

고령자의 경우는 이러한 문제가 더욱 두드러지는데, 이들이 최대도 도달할 수 있는 높이 한계는 1400mm 정도이며 현재 조건에서는 1층을 사용하는 것조차 어려워 발뒤꿈치를 들거나 의자나 받침대 등과 같은 다른 물체를 밟고 올라서는 행동을 취하게 된다[6]. 이러한 행동 과정에서 신체적 조건에 의해 목이나 허리에 무리가 가거나 낙상 및 낙하물 사고의 위협에 노출되며, 심지어 장애인은 이런 행동 자체가 불가능하여 상부장을 이용하지 못한다. 따라서, 고령자와 장애인의 주방 상부장 사용 편의성 증대와 낙하물 및 낙상 사고를 예방하기 위해서는 접근 가능 범위인 1400mm 이내에 상부장 모든 층의 위치를 일치시켜야 한다. 이를 위해 기존 상부장의 수납 기능은 그대로 유지하면서 노약자가 편리하고 안전하게 사용할 수 있도록 상부장 전체가 아닌 개별 층이 사용하기 편리한 높이까지 한 번의 동작으로 내려올 수 있도록 기구설계 과정을 통해 적절한 복합 링크기구 형상 및 치수를 선정한다.

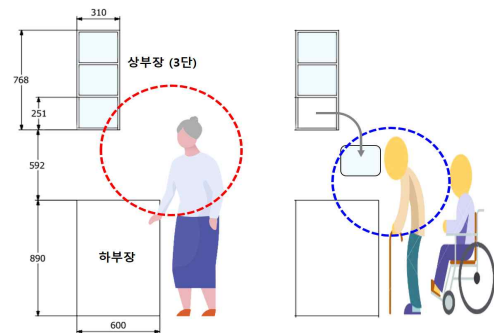


그림 1. 주방 상부장 형상 및 치수

Figure 1. Conventional kitchen cabinet and dimensions

기구설계는 형태 합성, 수 합성 그리고 치수 합성의 3단계 절차로 진행된다[7]. 형태 합성은 링크기구나 시스템, 풀리, 기어, 캠 등과 같은 다양한 시스템 중에서 하나를 선택하는 과정으로 가능한 일반적인 링크 구조로 구성하면 가격 및 유지 보수 측면에서 장점이 있다. 하지만, 본 논문에서 제시하는 승강형 상부장은 고령자와 장애인과 같은 신체적 약자의 편의성 증진 및 안전 확보가 목표이므로, 형태 합성은 최대한 단순하고 무리한 힘을 요구하지 않는 구동 방법을 선택해야 한다. 따라서 사용자 입력은 간단한 버튼 조작 수준으로 제한되

어야 하며, 이를 달성하기 위하여 링크기구의 구동은 모터를 사용한 전자제어를 통해 사용자 인터페이스를 구성할 필요가 있다.

수 합성은 특정한 운동성(mobility)을 얻는데 필요한 링크 및 조인트의 수를 결정하는 단계이다. 기구의 운동성(M)은 기구의 독립적인 운동의 수를 의미하며 식 (1)의 쿠츠바흐 판별식(Kutzbach criterion)에 의해 결정된다. 여기서 n 은 링크의 개수, j_1 과 j_2 는 각각 자유도가 1과 2인 조인트의 개수를 나타낸다.

$$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2 \quad (1)$$

치수 합성은 링크 형상과 치수 및 각 링크를 연결하는 조인트의 위치를 조정하는 단계이다. 이 과정을 통해 상부장 개별 층이 의도된 목표 운동 경로를 따라 움직이도록 입력 및 출력링크를 포함한 링크 조합과 조인트 종류와 같은 기구의 형상과 세부 치수를 결정한다.

III. 설계 과정

1. 승강형 링크기구 개념 설계

현재 개발되고 있는 승강형 상부장 제품은 상부장 전체가 레일 또는 와이어를 이용하여 수직으로 하강하거나 단순 4절링크와 가스스프링 장치를 통해 원호를 그리면서 내려오도록 설계되어 있다. 하지만, 상부장과 하부장 사이는 싱크대와 선반 등과 같은 다양한 물건이 배치될 수 있는 작업 공간으로 노약자나 장애인들을 위한 범위까지 하강하기에는 한계가 있다. 또한, 링크기구를 이용한 제품은 주방 작업 공간을 침범하지는 않으나 원형 궤적을 그리는 특성으로 인해 하강 범위를 늘리기 위해서는 링크 길이를 증가시켜야 한다. 하지만 이는 회전 반경 증가에 의한 수평 이동량도 늘어나게 되어 사용자와 부딪힐 수 있으며 개별 층 하강 시 다른 층과 간섭이 발생할 위험이 있다. 따라서 병진 또는 회전운동만 가능한 일반적인 4절 링크기구만으로는 적절한 운동 경로를 만족시키기 어렵다.

본 승강형 상부장에 필요한 링크기구는 상부장 전체가 아닌 개별 층이 하강하므로 전개 과정 초기에 수평 방향으로의 직선 이동을 통해 선택된 층이 기울어지거나 다른 층과의 간섭을 피하고, 이후 수직 방향으로 하강하는 경로를 따라야 한다. 식 (1)의 운동성이 1이면서 이러한 운동 조건을 만족하는 가장 작은 수는 $n=6$,

$j_1=7$, $j_2=0$ 이 되며 이는 2개의 4절링크가 결합된 형상이다. 하지만 이중 4절링크 기구는 2개의 공유 링크로 인해 병진 및 회전운동이 동시에 진행되므로 본 승강형 링크기구에는 적합하지 않다.

따라서, 이중 4절링크에 자유도가 2인 슬라이드 조인트가 포함된 링크를 추가하여 $n=7$, $j_1=8$, $j_2=1$ 로 구성된 새로운 하강 링크기구를 그림 2에 나타내었다. 입력링크가 프레임 역할을 하는 상부장 옆면과 핀 조인트로 연결되고 출력링크가 상부장 각 층의 서랍장과 연결된다. 링크의 특정 부분이 자유도가 2인 슬라이드 조인트에 연결되어 적절한 병진 및 회전운동을 순차적으로 구현하므로 각 층간의 간섭 없이, 한 번의 동작으로 목표로 설정한 운동 경로를 따라 움직이게 된다.

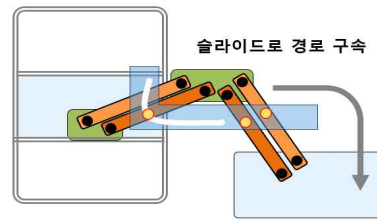


그림 2. 하강 링크기구 개념도
 Figure 2. Conceptual design of the lift-down linkage

2. 하강 층 선택

본 논문에서 제시한 높이 조절 상부장은 3개 층을 각각 하강시킬 수 있어야 하지만 초기 상태일 때 각 층의 위치가 달라 층마다 요구되는 하강 거리는 각 층의 간격만큼 차이가 난다. 링크가 전개된 후 각 층의 높이를 맞추기 위해서는 2층은 250mm, 3층은 500mm를 추가로 수직 하강시켜야 한다. 만약 높이 조절을 위해 층마다 그림 2의 링크기구를 설치한다면 개별 층 승강 기구의 링크 길이나 조인트 위치가 달라져 형상이 복잡해지고 조작의 어려움이나 고장의 위험이 있다. 따라서 그림 3과 같이 모든 층이 하나의 기구를 공유하는 방법을 선택하였다. 사용자가 원하는 층을 선택하면 ① 링크기구가 수직 이동 장치를 따라 움직이며 ② 해당 서랍장이 층 선택 장치와 결합한 후 ③ 링크기구 운동 경로를 따라 하강하게 된다. 층 선택 장치는 상부장 옆면에 위치하며 중앙의 사다리꼴 모양의 돌출부를 지닌 구조가 양쪽으로 벌어지면서 층의 옆면을 고정한다. 해당 구조가 다시 중앙으로 모이면 고정이 해제되며 상하로의 이동 제약이 해제되어 다른 층으로 이동할 수 있다.

선택된 층이 움직이는 도중 해당 층이 흔들리거나 떨어지지 않도록 수직 이동 장치는 유격이 없는 이송나사 방식을 선택하였다.

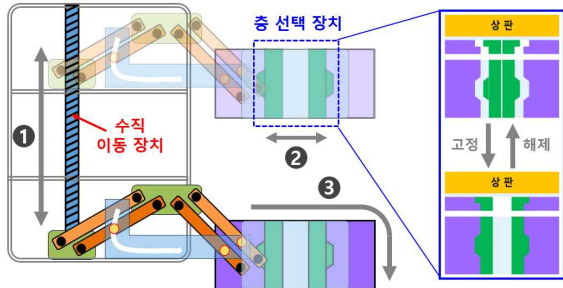


그림 3. 층 선택 모식도
Figure 3. schematic drawing of the floor selection linkage

3. 상세 설계

앞서 설계된 높이 조절 상부장의 각 층이 사용자가 원하는 위치로 하강할 수 있도록 치수 합성 과정을 통해 각 링크의 길이 및 조인트 위치와 형상 등을 결정하였다. 고령자와 장애인이 도달할 수 있는 최대 높이는 1400mm이지만 물건을 편하게 꺼내기 위해서는 실제 필요한 상부장 하강 높이는 이보다는 낮아야 한다. 그림 1의 상부장 크기와 바닥 위치 및 하부장과 사용자와의 거리를 고려하여 링크기구의 출력링크는 시작 지점을 기준으로 수평 방향으로 350mm, 수직 방향으로 최소 150mm 이동하도록 설정하였다. 또한, 그림 3의 승강 링크기구를 공유하는 방식을 적용하기 위해 전개 전 링크기구 높이를 한 개 층에 수납 가능한 250mm 크기로 제한하였다.

출력링크가 그림 2의 목표 운동 경로를 달성하기 위해서는 각 링크의 치수뿐만 아니라 자유도가 2인 슬라이드 조인트의 궤적도 중요하므로 MATLAB을 활용한 수치해석 기법을 통해 적절한 형상을 설계하였다. 슬라이드 조인트를 제외한 링크들의 치수를 설정하고 수납 상태를 기준으로 수평 및 수직 방향 이동량과 운동 경로를 입력하면, 시뮬레이션을 통해 각 링크 및 조인트의 위치 좌표를 계산하도록 프로그램을 작성하였다. 출력링크가 목표 운동 경로를 이동하면서 다른 링크 및 상부장의 각 층과 충돌하지 않도록 각 링크의 형상 및 치수를 수정하였으며 이동 과정 중 계산된 슬라이드 조인트 위치 좌표를 통해 조인트 형상을 구하였다. 그림 4는 Matlab을 통해 구한 슬라이드 조인트 궤적과 이를

적용한 최종 승강 링크기구 형상 및 전개 과정을 나타낸다. 링크기구가 펼쳐지기 전 최대 높이가 230mm로 한 개 층 수납 제한 조건을 만족하며 기구 전개 시 특정 경로를 따라 수평 및 수직 방향으로 목표한 범위만큼 이동하는 것을 확인하였다.

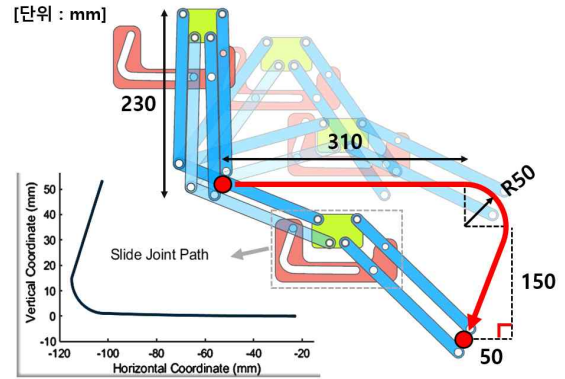


그림 4. 승강형 링크기구 최종 형상
Figure 4. Final configuration of the lift-down linkage

치수 합성 과정을 통해 상세 설계된 링크기구를 상부장과 결합한 최종 3D 형상을 그림 5에 나타내었다. 선택된 층 하강 시 보관된 물건들이 낙하하여 파손되지 않도록 각 층을 서랍 형태로 구성하였고, 양쪽 측면은 층 선택 장치와 맞물릴 수 있도록 설계하였다. 수직 이동 장치에서, 이송나사만을 이용하면 선택된 층이 하강할 때 링크기구가 흔들려 정상적으로 작동하지 않을 수 있으므로 수직 하강 장치 양쪽에 가이드 레일을 부착하여 작동 시 안정성을 향상시켰다.

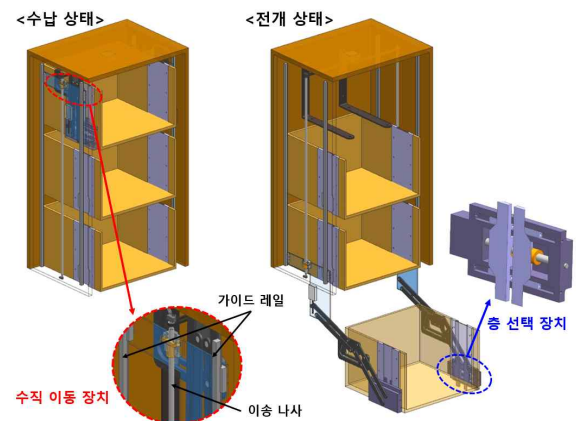


그림 5. 높이 조절 상부장 최종 CAD 형상
Figure 5. Final assembled CAD modeling for the height adjustable kitchen cabinet

IV. 안정성 평가 및 제작

본 논문에서 제시한 상부장은 각 층이 고정된 기존 제품과 달리 링크 상호작용으로 높이가 조절되므로 사용 과정에서 적재물을 온전히 지탱할 수 있도록 링크기구의 강성이 보장되어야 한다. 특히, 하강 후 링크 고정단과 하중 작용 위치 차이로 인해 전개된 링크에는 수직하중과 굽힘하중이 동시에 작용하므로 안전한 상부장 사용을 위해서는 가해진 하중에 의해 발생하는 링크 내부 응력이 재료의 항복응력보다 낮아야 한다. 링크기구에 발생하는 응력(σ)은 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 M 은 하중에 의한 모멘트, y 는 도심축과의 거리, I 는 단면2차 관성모멘트를 나타낸다[8].

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (2)$$

기존 승강형 상부장 제품들은 금속재 링크기구를 사용하므로 본 논문에서도 무게와 내식성 및 가공성을 고려하여 알루미늄 소재(항복강도 275MPa)를 사용하였다 [9]. 따라서 재료의 강도는 고정값이며 식 (2)에서 모멘트도 일정하므로 설계변수는 지지대의 단면2차 관성모멘트이다. 링크기구의 안정성을 높이기 위해서는 관성모멘트가 큰 단면을 선정하면 되지만 이는 사용되는 재료가 늘어나므로 적절한 단면형상 선택이 필수적이다.

그림 6은 구체적인 단면형상을 결정하기 위한 단면2차 관성모멘트에 따른 최대응력을 나타낸다. 안전계수 1.5를 고려한 재료의 허용응력을 초과하지 않기 위해서는 단면형상이 최소 80mm⁴의 단면2차 관성모멘트를 가져야 함을 알 수 있다. 이를 이용하여 최종 링크기구의 안정성 해석 결과를 그림 7에 나타내었다. 모델링 편의성과 해석 수행 시간 감소 및 제품의 부피를 고려하여 80mm⁴의 단면2차 관성모멘트를 가지면서 폭 15mm와 두께 4mm인 중공 사각빔을 사용하였다. 또한, 링크 형상은 상부장 하강 후 기구가 최대로 전개된 상황을 가정하였으며 상부장 옆면에 부착하는 부분의 변위를 구속한 후 상판과 연결되는 부위에 한 개 층 최대 수납 무게인 60N의 등가 하중으로 부여하였다. 예상대로 하중이 가해지는 상판과 가까이 연결된 굴곡진 부분에 최대 171.17MPa가 발생하였으며 이는 부재의 항복강도인 275MPa에 비해 현저히 낮으므로 제시된 링크기구 형상이 정적 하중에 대해 안전하다고 판단된다.

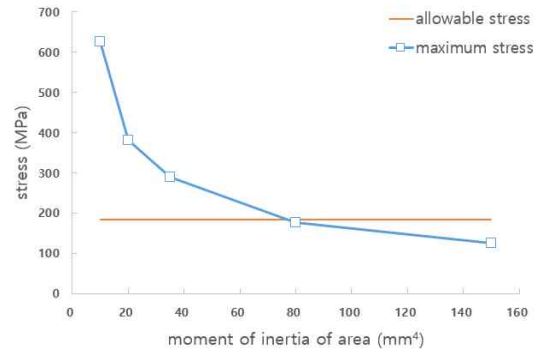


그림 6. 단면 관성모멘트에 따른 최대 응력 변화
 Figure 6. Maximum stress evolution as a function of the moment of inertia of area

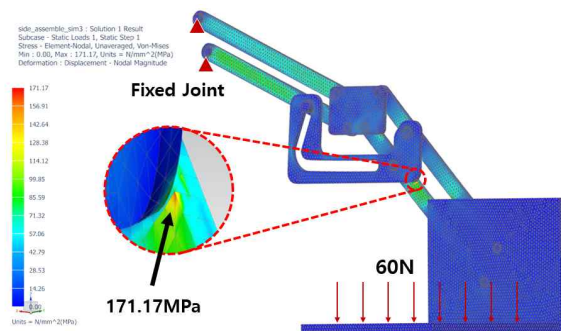


그림 7. 승강형 링크기구 응력 해석 결과
 Figure 7. Stress analysis result of the lift-down linkage

그림 8은 위 설계를 바탕으로 실물 크기로 제작한 승강형 상부장 모형 및 작동 결과를 나타낸다. 내부 구조를 쉽게 확인할 수 있도록 외부 판재는 투명한 아크릴 소재를 사용하였으며, 단가 및 가공성을 고려하여 링크기구는 설계 대비 가벼운 소재(PLA)를 사용하여 3D 프린팅으로 제작하였다. 또한, 고령자와 장애인과 같은 신체적 약자가 간단한 버튼 조작 수준으로 사용할 수 있도록 스텝 모터와 DC 모터를 통해 기계장치가 구동되게 하였으며 아두이노와 전용 모터 드라이버를 사용하여 모터 제어를 진행하였다. 특히, 상부장 전체 무게 및 모터 개수를 줄이기 위하여 상부장 천장 중앙부에 입력 모터를 배치하였으며 타이밍 벨트와 풀리를 통해 하나의 모터로 양쪽 옆면의 층 하강 장치와 수직 이동 장치가 구동되게 하였다.

높이 조절 전, 후의 결과와 같이 상부장 옆면의 층 고정 장치를 통해 개별 층이 문제없이 고정되거나 해제되며 이송나사와 가이드 레일을 따라 흔들림 없이 안정적으로 층간 이동되는 것을 확인하였다. 또한, 수직 이동 장치도 기구학적 연쇄 작용을 통해 목표 이동 경로

를 따라 정상적으로 전개되었으며 하강 과정에서 선택된 층이 상/하단부와의 간섭도 발생하지 않았다.



그림 8. 높이 조절 상부장 최종 형상 및 작동 과정
Figure 8. Final product and operation process of the height adjustable kitchen cabinet

IV. 결 론

본 연구에서는 고령자와 장애인과 같은 신체적 약자들이 주방 상부장을 보다 손쉽게 안전하게 사용할 수 있도록 하강 범위를 개선한 높이 조절 상부장 형상을 제시하였다. 특허 및 제품 분석을 통해 기존 승강형 상부장의 문제점을 확인하였으며 상/하부장을 포함한 주방 공간과 노약자의 팔 높이를 고려하여 사용자가 편하게 접근할 수 있는 상부장 하강 범위를 설정하였다. 상부장 개별 층 하강 시 하부장 사이의 작업 공간이나 다른 층과 간섭하지 않는 최적의 경로를 설정하였으며 기구설계 과정 및 모터를 사용한 전자제어를 통해 해당 경로를 따라 구동하는 적절한 복합 링크기구를 설계하였다. 또한, 상부장 하강 시 개별 층이 안전하게 내려올 수 있도록 FEA 해석을 통해 링크기구에 발생하는 내부 응력이 재료의 항복강도를 넘지 않는 단면형상을 선정하였으며 실물 제작을 통해 타당성을 확인하였다.

본 설계에서 제시된 승강형 상부장은 간단한 버튼 조작으로 기계장치 구동이 가능한 사용자 인터페이스를 구성하였지만 추가된 모터와 전자 부품 등으로 인해 단가가 상승할 수는 있다. 하지만, 그에 상응하는 편의성과 안전을 제공하면서 낙상사고로 인한 의료비 지출을 줄일 수 있다는 점에서 고령자와 장애인의 일상생활에 큰 도움을 줄 수 있으므로 충분한 가치가 있다고 판단된다. 또한, 링크기구 구조와 모터 및 레일 배치 최적화를 통해 저장 용적을 효율적으로 활용할 수 있으므로

승강형 상부장의 상용화 가능성이 더욱 향상될 것으로 기대된다.

References

- [1] M. Oh and J. Yi, "A Study on the Design Directivity of Kitchen Space for the Elderly," J. of Korea Institute of Spatial Design, Vol. 16, No. 1, pp. 195-203, 2021.
- [2] H.-J. Moon and M.-H. Kim, "Housing Circumstances of Elderly Households Who Live Alone or/with Spouse," J. of Korean Housing Association, Vol. 15, No. 1, pp. 75-84, 2004.
- [3] G.-H. Lim, K. Shim, H. Shim, J. Jang and S.-H. Kim, "Design of kitchen cabinet using complex link mechanism," J. of Convergence on Culture Technology, Vol. 9, No. 6, pp. 429-434, 2023.
- [4] H. An, J. Qiu, Y. You and Y. Zhang, "A Design of Automatic Lifted Cabinet for Elderly and Handicapped," B.S. Thesis, Blekinge Institute of Technology, Sweden. 2013.
- [5] K.-Y. Kang and K.-H. Lee, "Application of Universal Design in the Design of Apartment Kitchens," J. of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 403-410, 2016.
- [6] J. Hrovatin, P. Silvana. L. Oblak and D. Ravnik, "Ergonomic Suitability of Kitchen Furniture Regarding Height Accessibility," Collegium Antropologicum, Vol. 39, No. 1, pp. 185-191, 2015.
- [7] J.J. Uicker, G.R. Pennock and J.E. Shigley, "Theory of Machines and Mechanism," ITC, 2012.
- [8] Goodno, B. J. and Gere, J. M., Mechanics of Materials, Wiley, 2020.
- [9] A.G. Erdman, "Mechanism Design, Analysis and Synthesis," Prentice-Hall, 2017.

※ 이 논문은 한성대학교 교내학술연구비 지원 과제임

This research was financially supported by Hansung University.