

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.6.429>

JCCT 2023-11-50

복합 링크기구를 이용한 주방 상부장 설계

Design of kitchen cabinet using complex link mechanism

임건혁*, 심기범*, 심훈*, 장지원*, 김상현**

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

요약 주방 상부장은 주방 도구들을 수납하기 위한 필수적인 가구이지만, 높은 위치에 설치 및 고정되어 있어 상부장의 2층 또는 3층처럼 높은 곳에는 사람의 손이 접근하기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 상부장의 기능을 유지하면서 사용자가 물건을 손쉽게 꺼내거나 보관할 수 있도록 높이 조절 기능이 추가된 상부장 구조를 제안한다. 사용자 편의와 안전을 위해 상부장 전체가 아닌 개별 층이 하강하도록 하였으며 선택한 층이 한 번의 동작으로 사용하기 편리한 높이까지 내려올 수 있도록 적절한 복합 링크기구를 설계하였다. 또한, 하강 과정에서 층이 기울어지거나 층간 간섭을 방지할 수 있는 최적의 하강 경로를 설정하였으며 이를 구현하기 위해 적절한 링크 길이와 조인트 위치 및 구속조건을 선정하였다. 보관된 물건들의 하중을 지탱할 수 있도록 FEA 해석을 통해 기구 장치에 대한 안정성을 검증하였으며 실제 제작을 통해 높이 조절 상부장의 정상 작동 여부를 확인하였다.

주요어 : 주방 상부장, 높이 조절, 복합 링크기구, 기구 설계, 운동성

Abstract Kitchen cabinets are essential furniture for storing the kitchen tools, but their high installed location makes it difficult for users to access the upper of the cabinets. Therefore, in this paper, we propose a new type of kitchen cabinet that allows users to easily take out or store items by adding new height adjustment features while maintaining the function of the existing cabinet. For convenience and safety, an appropriate complex link mechanism is designed so that the selected floor, not the entire cabinet, can come down to a desired height with one operation. Moreover, the optimal descent path is set to prevent the floor tilting or interfloor interference during descent, and appropriate link shapes, lengths, and joint types are selected to implement it. FEA analysis is performed to ensure that the stretched complex linkage can support the load of the stored items and the feasibility of the height adjustable kitchen cabinet is verified through fabrication.

Key words : Kitchen cabinet, Height adjustment, Complex link mechanism, Kinematic design, Mobility

1. 서론

경제성장과 함께 더욱 다양해진 현대인들의 생활양

식은 주거공간에도 큰 변화를 가져오고 있으며 특히 주방은 주부들이 요리만 하는 곳이 아닌 가족 구성원이 서로 소통할 수 있는 공용 공간으로 활용되고 있다. 따

*준회원, 한성대학교 기계전자공학부 학부생

**정회원, 한성대학교 기계전자공학부 (교신저자)

접수일: 2023년 10월 1일, 수정완료일: 2023년 10월 17일

게재확정일: 2023년 11월 5일

Received: October 1, 2023 / Revised: October 17, 2023

Accepted: November 5, 2023

**Corresponding Author: shkim@hansung.ac.kr

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

라서 주방에서는 식기나 조리기구 등 다양한 물건들을 보관할 뿐만 아니라 타인에게 보이지 않게 수납할 수 있는 공간이 필수적이다[1, 2].

현재 다양한 수납방법 중 주방 상부장은 수납공간이 넓고 작업 공간 활용도가 높다는 장점으로 인해 대부분의 가정에서 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 상부장은 주방 위쪽 벽면에 고정되어 있어 물건들을 보관하기에는 적합하지만, 높이가 높고 접근성과 시인성이 낮아 주부들이 사용하기에는 불편하다. 따라서, 상부장에 물건을 넣거나 꺼내기 위해 발뒤꿈치를 들거나 다른 물건을 밟고 올라가는 경우가 많지만, 이러한 행동은 신체 건강에 부정적인 영향을 미치거나 낙상 사고의 위험을 증가시킨다.

최근 이런 문제를 해결하기 위해 상부장에 추가 장치를 설치하여 높낮이를 조절할 수 있는 상부장 관련 연구 및 제품개발(Verti, Freedom Lift Systems)이 진행되고 있다[3, 4]. 필요에 따라 상부장을 내릴 수 있어 쉽게 사용할 수는 있지만 상부장 전체가 한 번에 하강하므로 추가 구조물이 모든 층의 하중을 지탱해야 하며, 상부장 아래에 위치하는 싱크대나 접시 건조대 같은 물품을 사용할 수 없는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 상부장의 기능을 유지하면서 높낮이 조절이 가능한 새로운 방식의 상부장 형상을 제시하고자 한다. 사용자 편의를 위해 개별 층의 높이가 조절되며 하강 시 다른 사용공간과 간섭없이 선택된 층이 움직일 수 있는 최적의 운동 경로를 설정하였다. 또한, 각 층이 경로를 따라 사용자가 이용하기 편리한 높이까지 내려올 수 있도록 적절한 복합 링크 형상을 설계하였으며 실제 제작을 통해 제시된 링크기구의 안정성 검증 및 작동 여부를 확인하였다.

II. 높이 조절 상부장 개념 설계

기존 상부장의 공간 활용성과 수납 기능을 유지하면서 부족한 접근성을 보완하기 위해 높이 조절 기능을 추가한 상부장의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 주방에서 일반적으로 사용되는 상부장은 3개의 수납공간으로 구분되며, 각 층을 구성하는 상판, 벽면과 고정되는 뒷판, 상부장의 외관을 구성하는 옆판 및 윗판으로 구성되어 있다. 따라서 높이 조절 상부장은 사용자가 내리고자 하는 층을 먼저 선택한 후 손잡이를 잡고

당기면 손잡이와 연결된 링크들의 상호작용을 통해 선택된 층이 수평 및 수직 운동을 하면서 사용자가 이용하기 편한 특정 높이까지 하강하게 된다.

일반적으로 링크기구의 움직임은 식 (1)의 쿠츠바흐 판별식 (Kutzbach criterion)에 의하여 결정된다[5]. 여기서 M 은 기구의 운동성(mobility)으로 기구를 사용자가 원하는 위치나 방향으로 움직이기 위해 독립적으로 제어해야 하는 입력 변수의 개수이며, n 은 링크의 수, j_1 과 j_2 는 각각 자유도가 1과 2인 조인트의 수를 나타낸다. 따라서 높이 조절 상부장의 구동 경로는 사용되는 링크의 종류와 개수 및 각 링크를 연결하는 구속 조건 등에 따라 달라지므로 설계하려는 기구의 운동성을 파악한 후 그에 적절한 링크와 조인트의 종류와 수를 선정해야 한다.

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

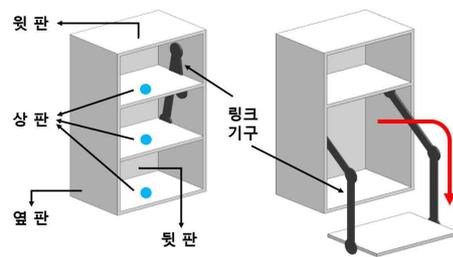


그림 1. 높이 조절 주방 상부장 개념도
Figure 1. Conceptual design of the height adjustable kitchen cabinet

1. 하강 층 선택

본 논문에서 제시한 높이 조절 상부장은 하강 시 선택된 상판만 내려오므로 특정 층을 선택하거나 선택한 층을 목표 높이까지 하강시키는 층 2가지 기구 장치가 필요하다. 또한, 목표한 기능을 수행하기 위해서는 사용자가 한 번의 동작을 통해 각 기구를 이용할 수 있어야 하므로, 식 (1)의 운동성 M 은 두 기구 장치 모두 1이 되어야 한다.

먼저 층 선택을 위한 기구 장치 개념도를 그림 2에 나타내었다. 위의 조건을 만족시키기 위하여 $n=4$, $j_1=4$, $j_2=0$ 인 4절링크로 구성하였다. 이때 ㉠는 병진 운동을 수행하는 출력링크로 사용되며 해당 층의 높이를 조절하는 링크기구와 연결된 고정판을 이동시킨다. 상부장의 각 층을 지지하는 힌지 역할을 하는 판을 프

레임 링크(㉑)로 구성하였으며, 힌지 내부는 ㉒와 같이 2개의 링크를 슬라이드 조인트로 연결하여 수직으로 교차 배치하였다. 또한, 프레임과 2개의 링크는 각각 슬라이드 조인트로 연결되어 있으며, 입력링크를 앞 또는 뒤로 움직이면 출력링크와 고정편이 좌우로 움직여 층을 선택하거나 해제할 수 있다.

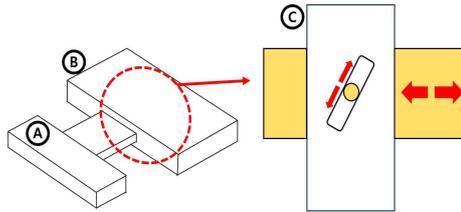


그림 2. 층 선택 링크기구 모식도
 Figure 2. Schematic drawing of floor selection linkage

2. 링크기구 구동 방법 및 구조 설정

사용자가 상부장을 손쉽게 사용하기 위해서는 하강 시 선택된 층이 기울어지거나 다른 층과 부딪치면 안 된다. 또한, 상부장과 하부장 사이의 공간은 싱크대와 수도꼭지, 세척이 끝난 식기들을 보관하는 거치대, 정수기 등과 같은 다양한 물건이 배치될 수 있으므로 이 작업 공간도 침범하지 않아야 한다. 하강 시의 제한 조건을 고려한 최적의 운동 경로를 그림 3(a)에 나타내었다. 유사한 동작을 수행할 수 있는 가장 단순한 링크기구는 그림 3(b)에 표시된 평행사변형 4절 링크기구이다. 하지만 해당 기구는 운동 경로가 곡선을 그리게 되어 이동 중 층간 간섭이 발생한다. 또한, 원형에 가까운 궤적을 그리는 특성으로 인해, 수직 이동량을 늘리기 위해서 링크 길이를 증가시키면 동시에 회전 반경도 커져서 수평 이동량이 함께 증가하게 된다. 따라서 평행사변형 4절 링크기구만으로는 적절한 운동 경로를 만족시키기 어렵다.

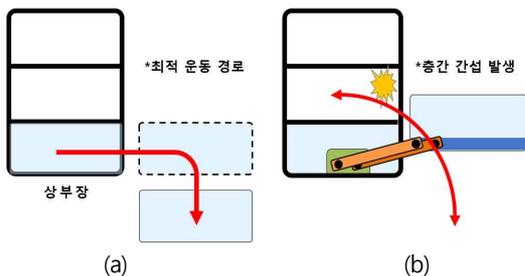


그림 3. (a) 목표 운동 경로 (b) 4절링크 경로
 Figure 3. (a) target path motion (b) 4-bar linkage motion

높이 조절 상부장에 적합한 최적의 하강 운동 경로를 구현하기 위해 개선한 새로운 하강 링크기구(Set1)를 그림 4에 나타내었다. 평행사변형 4절링크에 링크 및 조인트를 추가하여 $n=7$, $j_1=8$, $j_2=1$ 로 구성하였으며 식 (1)을 통한 운동성은 1이므로 한 번의 동작으로 목표로 설정한 운동 경로를 따라 움직인다. Set1에서 ㉑는 상부장의 옆면으로 프레임으로 사용되며, ㉒는 출력링크로 상부장의 각 층과 연결된다. 또한, ㉑는 2개의 4절링크를 연결하며 링크의 특정 부분을 슬라이드 조인트로 연결하여 출력링크가 목표 운동 경로를 따라 움직이게 하는 링크이다. 이러한 하강 링크기구를 통해 각 층간의 간섭 없이, 수평 및 수직 방향으로의 병진 운동을 순차적으로 수행하도록 구현하였다.

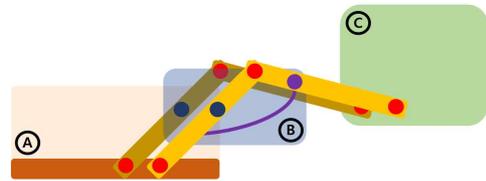


그림 4. 주요 하강 링크기구 개념도
 Figure 4. Conceptual design of main lift-down linkage

그러나 상부장의 각 층은 초기 상태일 때 높이가 다르므로 Set1 링크기구만 사용하면 하강 후 1, 2, 3층의 최종 위치는 각 층의 높이만큼 차이가 나게 된다. 따라서 그림 5와 같이 상판의 초기 위치와 상관없이 하강된 각 층의 높이를 같게 하기 위한 추가 높이 조절 기구(scissor 장치: $n=9$, $j_1=11$, $j_2=1$, $M=1$)를 설계하였다. 프레임(㉑)과 슬라이드 조인트로 연결된 입력링크(㉒)가 좌/우로 움직이면 상부장의 각 층과 연결된 링크 ㉑의 각 층 사이 간격이 증가 또는 감소하면서 추가적인 하강이 가능하며, 전개 후 각층의 최종 높이가 목표한 높이인 140cm 이하로 위치하게 한다.

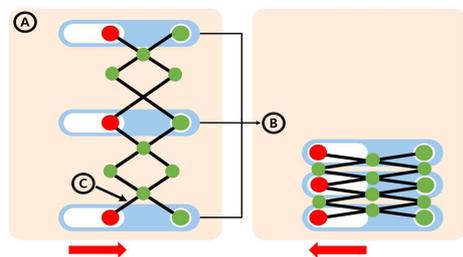


그림 5. Scissor-type 링크기구 개념도
 Figure 5. Conceptual design of scissor-type linkage

하지만 위에서 제시된 Set1의 출력링크와 scissor 장치의 프레임 링크를 연결하여 두 기구를 합성하면 $n=15$, $j_1=19$, $j_2=2$ 이고 운동성이 2가 되므로 한 번의 동작으로 하강시키는 요구조건을 충족하지 못한다. 따라서 전체적인 구조는 Set1과 유사하여 수평 및 회전 이동 구간에서는 동일한 움직임을 보이지만, 입력링크이자 출력링크로 사용되는 ㉠에 의해 수직 이동 구간에서는 ㉡와 같이 사선으로 움직이는 링크기구(Set2)를 추가하였다. Set1의 출력링크가 Set2의 입력링크에 연동되고, Set2의 출력링크는 scissor 장치의 입력링크에 연동되도록 합성하면 $n=21$, $j_1=28$, $j_2=3$ 이 되어 전체 복합 하강 링크기구의 운동성은 1이 된다.

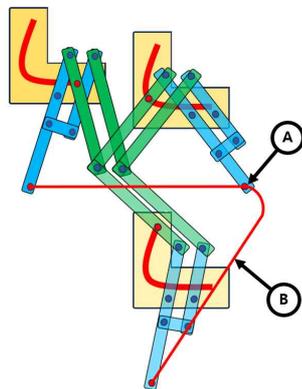


그림 6. 추가 링크기구 개념도
Figure 6. Conceptual design of additional lift-down linkage

III. 설계 및 제작

1. 상부장 상세 설계

앞서 설계된 높이 조절 상부장의 각 층이 사용자가 원하는 위치로 하강할 수 있도록 각 링크의 길이 및 조인트 위치와 형상 등을 결정하는 치수 합성 과정을 진행하였다. 우선 Set1과 Set2의 경우, 출력링크가 그림 3(a)의 목표 운동 경로를 달성하기 위해서는 각 링크의 치수뿐만 아니라 자유도가 2인 슬라이드 조인트의 궤적도 중요하므로 수치해석 기법을 활용하여 적절한 형상을 설계하였다. 또한, 초기 위치가 다른 각 층의 최종 높이를 일치시키기 위해 scissor 장치의 링크 치수를 설정하였다.

먼저 기존 상부장 크기 및 하부장과 사용자와의 위치를 고려하면 Set1의 출력링크는 시작 지점을 기준으로 수평 방향으로 350mm, 수직 방향으로 470mm

만큼 이동해야 한다[1]. Set2의 경우 수평, 수직 방향 이동량은 Set1과 동일하지만 수직 하강 과정에서 수평 방향으로 약 80mm가량 이동하면서 사선 형태의 이동을 진행한다.

Set1과 Set2에서 슬라이드 조인트를 제외한 다른 요소를 모두 연결하면 기구의 운동성 역시 2로 계산되며 이 상태에서 출력링크의 운동 가능 범위는 2차원 면 형태가 된다. 하지만 합성된 Set1과 Set2에 슬라이드 조인트를 추가하여 운동성을 1로 제한하면 운동 경로가 2차원 면 범위가 아닌 1차원의 선 경로로 지정된다. 따라서 앞서 설정된 목표 운동 경로와 치수를 이용하면, 해당 목표 운동 경로를 구현하는데 필요한 슬라이드 조인트의 형상을 정확히 지정할 수 있다.

슬라이드 조인트의 형상 계산에는 MATLAB을 활용하였다. 슬라이드 조인트를 제외한 요소들의 치수를 설정하고 목표 운동 경로를 입력하면, 이를 통해 운동 경로를 따르는 도중의 슬라이드 조인트 좌표를 계산하도록 프로그램을 작성하였으며 실행 결과를 그림 7에 나타내었다. 출력링크가 지정된 1차원 선 경로를 이동하면서 구동 중 다른 링크 및 상부장과 충돌하지 않도록 각 링크의 형상 및 치수를 수정하였으며 그림 8과 같이 링크 형상을 단순 직선이 아닌 85° 또는 121°가량 꺾인 형상으로 변경하였다.

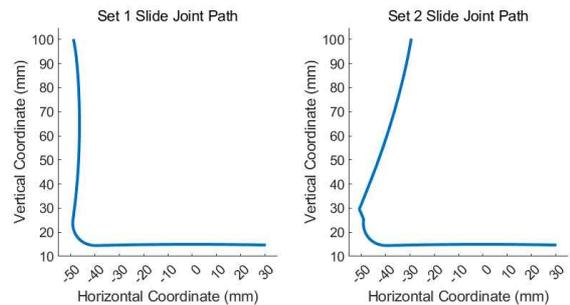


그림 7. Set1 & Set2 슬라이드 조인트의 MATLAB 분석 결과
Figure 7. MATLAB analysis result of Set1 & Set2 slide joint

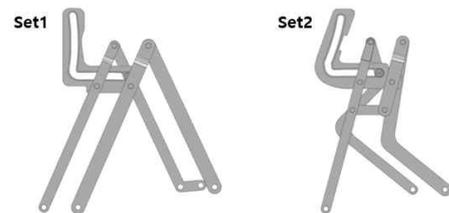


그림 8. Set1 & Set2 링크기구 최종 형상
Figure 8. Final configuration of Set1 & Set2 linkage

다음으로 scissor 장치의 경우, 기존 상부장의 각 층 높이를 기준으로 형상 및 치수를 설정하였다. 상부장의 각 층 사이 간격은 250mm이고, 링크가 전개한 후에도 2층과 3층 모두 1층과 동등한 높이까지 하강해야 하므로, 2층은 250mm, 3층은 500mm를 각각 추가로 수직 하강해야 한다. 이를 구현하기 위해 scissor 장치 각각의 링크 길이를 165mm, 조인트 사이 간격은 150mm, 좌측 하단 슬라이드 조인트의 수평 이동 길이를 97mm로 설정하였다.

치수 합성 과정을 통해 상세 설계된 개별 링크기구 및 상부장과 결합된 최종 3D 형상을 그림 9에 나타내었다. 먼저 층 선택을 위한 슬롯 구조(㉑)를 각 층의 상판 하단에 설계하였다. 기존 상부장의 상판 고정방식으로는 각 층을 움직이는 것이 불가능하므로, 상판을 지지할 수 있도록 슬롯 구조에 힌지를 추가하였다. 층 선택 기구는 고정핀과 연결되어 있으며 내부 링크 거동에 의한 고정핀 움직임을 통해 사용자가 원하는 층의 상판과 수직 하강 기구를 연결 및 해제할 수 있도록 하였다. 또한, 선택된 층이 최적의 수평 및 수직 거동을 하기 위한 하강 링크기구(㉒)는 상부장 측면에 부착되어 있으며 각 층의 하강 후 최종 위치를 조절하는 scissor 장치(㉓)는 메인 링크 이외에도 층 선택 고정부와 수직 레일을 추가하여 선택된 층이 흔들림 없이 원활하게 이동되게 하였다.

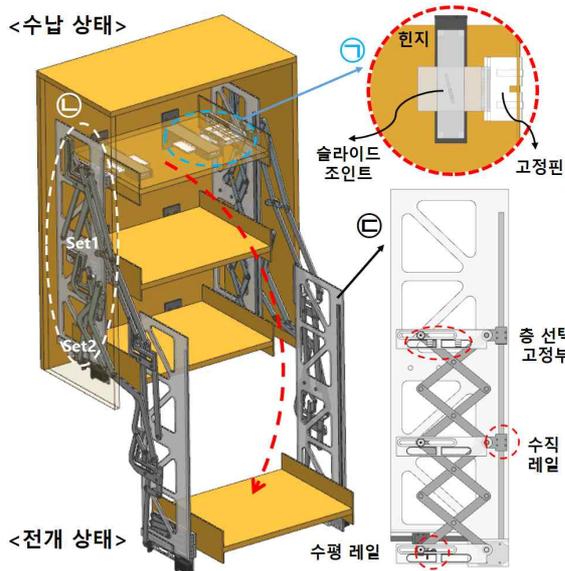


그림 9. 높이 조절 상부장 최종 CAD 형상
 Figure 9. Final assembled CAD modeling for the height adjustable kitchen cabinet

2. 구조 안정성 평가 및 제작

본 논문에서 제시한 높이 조절 상부장은 사용자가 각 층의 높이를 조절할 수 있으므로 사용 과정에서 양쪽의 Set1 링크기구는 적재물을 온전히 지탱할 수 있는 강성이 보장되어야 한다. 특히, 하강 시 링크 고정단과 물품이 적재된 상판과의 위치 차이로 인해 전개된 링크에 수직 및 굽힘 하중이 작용하기 때문에 FEA 해석을 통한 안정성 검증은 필수적이다.

일반적으로 상부장의 최대 적재 무게는 25kg이며 추가된 링크기구는 양쪽 측면에 위치하므로 상판 무게와 대칭 조건을 고려하여 선택된 층 하강 시 1개의 링크기구에 가해지는 하중 크기를 50N으로 설정하였다. 추가된 링크기구는 무게를 고려하여 알루미늄으로 선정하였고, 물성값은 표 1과 같다[6]. 그림 10의 FEA 해석 결과에서 알 수 있듯이 하중이 작용하는 부분이 아닌 링크가 연결되는 조인트 근처 굴곡진 부분에서 58.74MPa의 최대 응력이 발생하였으며 이는 재료의 항복강도보다 현저히 낮으므로 설계한 Set1 링크기구는 최대하중에 대하여 안전하다고 판단된다.

표 1. Set1 링크기구 물성값
 Table 1. Material properties of Set1 linkage (AL6061-T6)

Properties	Value
Elastic Modulus [GPa]	70
Poisson's ratio	0.33
Density [g/cm ³]	2.71
Yield Stress [MPa]	145

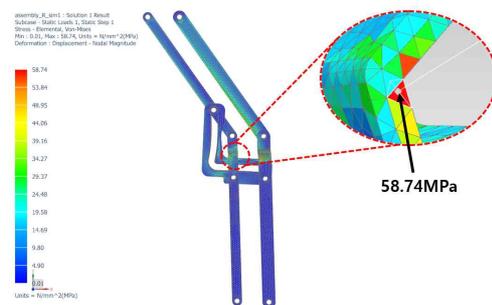


그림 10. Set1 링크기구 응력 해석 결과
 Figure 10. Stress analysis result of Set1 linkage

그림 11은 최종 제작된 높이 조절 상부장의 형상 및 작동 결과를 나타낸다. 상판 측면에 하강 장치가 고정되는 보조판을 추가 제작하여 수납된 물건이 링크 기구에 닿는 것을 방지하였다. 또한, 슬롯 구조와 연결된 층만 하강할 수 있도록 고정핀을 홈과 돌출부가 있

는 형상으로 설계하여 보조판과 하강 기구가 단단히 고정되게 하였으며 상판 무게를 고려하여 60mm x 100mm 면적에 12mm 두께의 규격으로 제작하였다.

그림 11의 높이 조절 전, 후의 결과와 같이 상세 설계를 바탕으로 제작된 부품들이 문제없이 고정되며 선택된 층이 하강 과정에서 기울어지거나 상/하단부와 간섭 없이 기구학적 연쇄 작용을 통해 정상 작동됨을 확인하였다. 하강할 층을 선택하고 하단의 손잡이를 당겨 내리는 것으로 원하는 층을 적절한 높이까지 내릴 수 있었으며, 하강 후에도 하중에 의한 처짐은 발생하지 않았다. 또한, 하강 과정을 역으로 진행하면 선택된 층이 원래의 위치로 되돌아가는 것을 확인하였다.



그림 11. 높이 조절 상부장 최종 형상 및 작동 과정
Figure 11. Final product and operation process of the height adjustable kitchen cabinet

IV. 결론

본 연구에서는 높은 곳에 위치하여 사용자의 접근성과 가시성 모두 떨어지는 기존 상부장의 문제점을 개선하고자 새로운 기능을 추가한 상부장을 제시하였으며 안정성 검증 및 실물 제작을 통하여 타당성을 확인하였다. 사용자가 원하는 층에 있는 물건을 안전하고 손쉽게 꺼낼 수 있도록 상부장 전체가 아닌 개별 층이 하강하도록 하였으며 선택된 각 층이 하강할 때 다른 층의 보관 공간을 간섭하지 않으면서 움직일 수 있는 이상적인 운동 경로를 설정하여 선택된 층이 수평 및 수직 이동을 순차적으로 운동하는 것을 구현하였다. 또한, 하나의 링크기구의 출력이 다른 링크기구

의 입력을 통해 발생하는 연쇄형 복합 링크기구를 상부장 양 측면에 연결하였으며 선택된 층이 설계된 이동 경로를 따라 한 번의 동작으로 내려올 수 있도록 링크의 길이 및 조인트의 종류, 위치 등을 적절하게 선정하여 제작하였다.

본 연구에서 제시한 높이 조절 상부장은 높은 공간에 보관 중인 물건을 꺼내기 위해 발뒤꿈치를 들고 서거나 의자를 밟고 올라갈 필요가 없어 목이나 허리에 무리가 가지 않으며 낙상사고의 위험을 방지할 수 있다. 또한, 원하는 층을 선택하고 내리는 단 두 번의 동작만으로 연령이나 신체조건에 상관없이 사용할 수 있으므로 온 가족이 공유할 수 있는 더욱 편리한 주방 공간 디자인에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Y. Mizusima, T. Ishino and Y. Otsuka, Elevating/lowering cabinet, JP Patent 2005312514A, filed Apr. 27. 2004, issued Nov. 10. 2005.
- [4] Y.G. Kim, Cabinet of elevating type, KR Patent 101503808B1, filed Sep. 24. 2012, issued Mar. 18. 2015.
- [5] J.J. Uicker, G.R. Pennock and J.E. Shigley, "Theory of Machines and Mechanism," ITC, 2012.
- [6] 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.