

사용시간이 단축된 일체형 완강기 설계

윤슬기*, 박정우*, 정근학*, 정민희*, 강상욱*, 김상현*,#

*한성대학교 기계시스템공학과

Design of All-in-One Descending Lifeline with Reduced Usage Time

Seul-Gi Yun*, Jung-Woo Park*, Geun-Hak Jung*, Min-Hee Jung*, Sangwook Kang*
and Sang-Hyun Kim*,#

*Mechanical Systems Engineering, Hansung UNIV.,

(Received 17 February 2020; received in revised form 5 March 2020; accepted 12 March 2020)

ABSTRACT

A descending lifeline is the only self-escape fire apparatus for fire in high-rise buildings and is installed in most buildings according to fire-fighting law. However, it is difficult to properly use and quickly evacuate during an emergency due to its complex installation methods and procedures, even if users are pre-educated. In this paper, a new one-touch descending lifeline, which simplifies usage procedures and can be used regardless of whether users are educated, is proposed to solve the drawbacks of the conventional descending lifeline. All separate parts that require additional installation are initially assembled in a box, and the concept of a double square linkage is proposed to enable escape in a single motion of pushing the handle attached to the box. Three steps of kinematic design are explored to determine an appropriate configuration of double square linkage, and its dimensions are determined using Matlab and NX CAD software. The proposed all-in-one descending lifeline also follows the enforcement decree of the Fire Control Act, and its feasibility is verified through fabrication.

Key Words : All-In-One(일체형), Descending Life Line(완강기), Double Square Linkage(이중4절링크), Fire Escape Apparatus(화재피난기구), Kinematic Design(기구설계)

1. 서 론

오늘날 우리사회는 급격한 산업화와 경제발전으로 인해 인구가 도시로 밀집되어 건물의 고층화, 대형화, 복잡화를 초래하였지만 안전관리에 대한 인식과 기술의 발전이 함께 이루어지지 못하여

화재로 인한 피해가 증가하고 있다^[1]. 만약 고층 건물에서 화재 발생 시 외부의 도움을 받지 못할 경우 재실자의 자력 대피가 무엇보다 중요하지만 대피로를 이용할 수 없는 최악의 상황에서는 완강기를 사용하는 것이 유일한 자력 대피 방법이다^[2]. 이러한 역할 때문에 소방법은 대부분의 건물에 완강기를 설치하도록 규정하고 있다^[3].

기존의 완강기는 Fig. 1과 같이 벽에 설치된 설치금구 지지대(support)와 완강기 박스 안에 들어

Corresponding Author : shkim@hansung.ac.kr

Tel: +82-2-760-8012, Fax: +82-2-760-4356

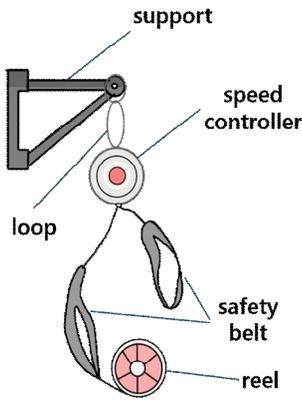


Fig. 1 Basic components of conventional descending life line

있는 조속기(speed controller), 벨트(belt), 릴(reel) 등으로 나누어져 있다. 화재 시 탈출을 위해서 우선 설치금구 지지대의 안전핀을 제거하고 지지대를 창밖으로 직접 펼친 다음, 완강기 박스에서 완강기를 꺼내어 지지대 끝에 있는 고리에 걸고 릴을 창밖으로 던진 후 대피해야 하는 추가적인 사용 절차가 필요하다. 선행 연구에 따르면 연구 대상자의 81.43%가 완강기 사용 경험이 없어 완강기 설치법에 익숙하지 않으며 설치법을 숙지하고 있더라도 위기상황에서 완강기를 신속하고 올바르게 설치하는 것은 미리 훈련받지 않는 이상 매우 어렵다^[4]. 또한 화재 시 발생하는 유독가스는 통상적으로 3분만 흡입하여도 사망할 수 있어 신속한 대피가 필요하지만, 완강기를 3분 안에 설치하여 대피하는 것은 현실적으로 불가능하다^[5]. 하지만 완강기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지 않아 이러한 문제점이 개선되지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 완강기 문제를 해결하기 위해 사용절차를 간소화하고 사용자의 교육 유무와 관계없이 신속히 사용할 수 있는 새로운 완강기 구조를 제안한다. 추가적인 설치가 필요한 기존의 분리된 구조를 하나로 합쳐 일체형으로 설계하였으며 누구나 일체형 완강장치에 달려 있는 손잡이를 미는 단 한 번의 동작으로 설치가 가능하도록 적절한 링크구조를 사용하였다. 또한, 실제 제작을 통해 새로운 완강기 구조의 성능 검증을 수행하였다.

2. 설계 배경

2.1 문제 정의 및 구동방법 선정

현재 완강기 사용을 위해서는 접혀 있는 설치금구를 창문 밖으로 꺼내어 고정하고, 상자 안에 있는 조속기를 꺼내어 설치금구와 연결한 후 고정하고 벨트를 착용하면 창문을 통해 탈출이 가능하다. 하지만 완강기 사용까지 걸리는 과정이 상당히 많을 뿐만 아니라 위급한 상황에서 정확한 설치가 가능할지도 미지수이다. 따라서 기존 완강기의 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서 제시한 새로운 형식의 완강기는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다. ① 완강기의 분리된 구조를 하나로 합친 일체형으로 한다. ② 사용방법을 교육받지 않아도 직관적으로 사용할 수 있게 한다. ③ 사용시간을 단축하기 위해 여러 단계였던 사용 과정을 한 단계(원터치)로 줄인다. ④ 유지 및 보수가 간편해야 한다. 여기서 원터치란 사용자가 한 번의 기계적 작동으로 설치가 완료되어 탈출이 가능한 것을 의미한다.

완강기는 ‘완강기의 형식 승인 및 제품 검사의 기술 기준’에 따라 건물 내벽에 설치되어야 한다. 하지만 지지대가 실내에 위치한 상태에서 완강기를 사용할 경우 탈출에 사용되는 로프가 벽이나 창틀에 쓸리면서 마찰이 발생하여 심각한 손상을 초래할 수 있다. 따라서 완강기 사용을 위해서는 실내에 설치된 지지대가 창문 밖으로 펼쳐질 수 있는 구조로 설계되어야 한다. Fig. 2는 한 번의 동작으로 지지대를 건물 외부로 펼칠 수 있는 일체형 완강장치의 개념도이다. 완강기 설치를 위한 거치대가 여러 개의 링크 기구로 연결되어 완강기 보관 상자 안에 내설되며 사용자의 편의를 도모하기 위해 거치대에 조속기 및 릴과 로프가 미리 연결되어 추가적인 설치 과정이 생략된다. 손쉽고 직관적인 완강기 구동을 위해 링크기구의 입력링크에 손잡이(lever)를 연결하였으며 사용자가 손잡이를 움직이면 연결된 링크들의 상호작용에 의해 출력링크가 건물 밖으로 펼쳐진다. 또한 손잡이 구동 범위를 조절하여 출력링크의 움직임을 마음대로 제어할 수 있다.

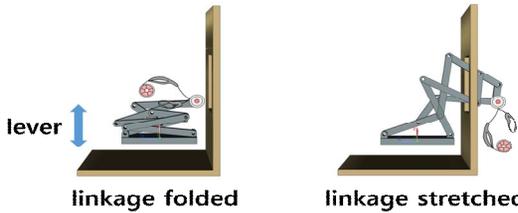


Fig. 2 Example of conceptual design for box-typed one-touch descending life line

2.2 기구설계를 위한 이론적 배경

사용자의 직관적인 조작을 통해 완강기가 창문 밖으로 한 번에 펼쳐질 수 있는 새로운 기구를 설계하기 위해 3단계의 기구설계 과정, 즉 형태 합성(type synthesis), 수 합성(number synthesis) 및 치수 합성(dimensional synthesis)을 수행하였다. 형태 합성이란 일반적인 링크 기구나 벨트, 캠, 기어 시스템 등과 같은 기구의 종류를 선택하는 과정이다. 만약 기어나 캠 등을 포함한 기구를 통해 완강기를 설계한다면 기구가 더욱 자유로운 운동을 할 수 있겠지만 복잡한 구조로 인해 제품의 유지보수가 어려워지고 단가가 상승하게 된다. 완강기는 건물의 각 층마다 설치되고 유지보수가 간편해야 하므로 본 논문에서는 일반적인 링크 구조로 이루어져 있는 기구만 고려하였다.

수 합성은 링크기구의 특정 운동성(mobility)을 위한 링크의 조합과 조인트의 종류 및 수를 결정하는 과정이다. 기구의 운동성(M)은 기구를 특정 위치나 방향으로 움직이기 위해 독립적으로 제어해야 하는 입력 변수의 수이며 식 (1)의 쿠츠바흐 판별식(Kutzbach criterion)에 의해서 결정된다. 여기서 n 은 링크 수, j_1 은 자유도가 1인 조인트 수, j_2 는 자유도가 2인 조인트 수를 나타낸다^[6].

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

치수 합성은 기구를 구성하는 각 링크의 세부 치수를 결정하는 과정이다. 링크기구는 각 링크가 조인트로 연결되어 한정운동을 하는 구조이며 링크의 조합, 링크의 길이와 입력 및 출력링크의 위치에 따라 다양한 운동이 가능하다.

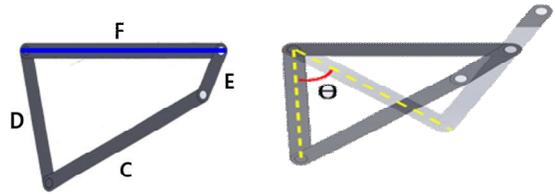


Fig. 3 Maximum rotational angle of rocker-rocker linkage

Fig. 3은 대표적인 4절링크인 이중 로커기구 및 출력링크의 최대 구동각을 나타낸다. 2개의 로커(D, E), 크랭크(C), 프레임(F)로 구성되어 있으며 로커 D의 구동은 출력링크의 회전 범위를 의미한다. 따라서 로커 D의 최소 회전각(θ_1)과 최대 회전각(θ_2)의 차이, 즉 최대 로커구동각(θ)이 이중 로커기구의 회전각도가 되며 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_1 - \theta_2 \\ \theta_1 &= \cos^{-1}\left(\frac{F^2 + D^2 - (E + C)^2}{2FD}\right) \\ \theta_2 &= \cos^{-1}\left(\frac{F^2 + D^2 - (E - C)^2}{2FD}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

3. 상세 설계 및 제작

3.1 수 합성

본 논문에서 설계하고자 하는 완강기는 입력 한번으로 설치되는 원터치 형식이므로 기구의 운동성은 1이어야 한다. 따라서 식 (1)을 이용하여 운동성 $M=1$ 을 만족하기 위한 가장 단순한 링크 기구는 $n=4$, $j_1=4$ 인 4절링크에 해당되며 출력링크는 병진 또는 회전 운동을 할 수 있다.

하지만 건물 내부 벽에 부착되어 있는 완강기 지지대가 창문을 통해 건물 밖으로 완전히 펼쳐지기 위해서는 지지대 링크가 병진운동과 회전운동이 동시에 일어나야 한다. 그러나 단순한 4절링크 구조로는 병진과 회전이 동시에 일어날 수 없으므로 4절링크 2개를 합성하여 각각 병진운동과 회전운동이 나타나도록 설계한다.

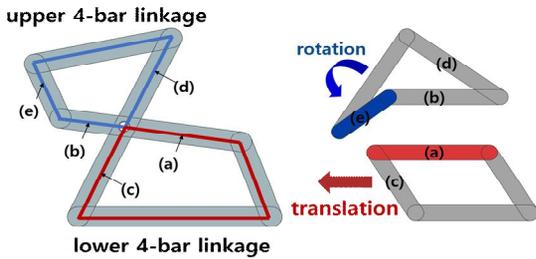


Fig. 4 Driving mechanism of double square linkage

운동성이 1이면서 이러한 기구 운동 조건을 만족하는 가장 작은 수는 $n=6$, $j_1=7$ 이 되며 2개의 4절링크는 Fig. 4와 같이 서로 2개의 링크를 공유해야 한다. 합성된 이중 4절링크(double square linkage)는 병진운동을 담당하는 하부 4절링크(lower 4-bar linkage)와 회전운동을 담당하는 상부 4절링크(upper 4-bar linkage)로 구성된다. 이때 하부 4절링크의 입력링크(a)가 상부 4절링크의 프레임링크(b)로 사용되고 하부 4절링크의 출력링크(c)와 상부 4절링크의 입력링크(d)를 공유하면 링크 수는 6개이면서 병진운동과 회전운동이 동시에 가능하게 된다. 또한 운동성이 1이기 때문에 하부 4절링크의 입력링크로 상부 4절링크의 출력링크(e), 즉 전체 이중 4절링크 기구의 회전 범위를 조절할 수 있다.

3.2 치수 합성

기구 형상 설계를 위한 치수 합성 시 고려해야 할 완강기 지지대의 기구학적 제약 조건은 다음과 같다. ① 사용자의 편의를 고려하여 손잡이에 연결된 입력링크의 가동 범위는 30cm 이하로 한다. ② 지지대가 창문 밖으로 펼쳐져야 하며 펼쳐진 지지대와 벽은 수직을 이루도록 한다. ③ ‘소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률’에 의거하여 완강기 지지대 고정면으로부터 설치 고리 중심까지의 길이는 40cm 이상이어야 한다^[7].

3.1에서 결정한 이중 4절링크 기구가 주어진 제약 조건을 만족하기 위한 링크 각각의 치수를 결정하기 위해 식 (2)와 Matlab 프로그램을 이용하여 링크의 궤적을 확인하였다. Fig. 5는 Matlab을 이용하여 구한 하부 4절링크의 입력링크 거동에

따른 상부 4절링크의 출력링크 변위를 직교 좌표계에 나타낸 것이다. 작성한 프로그램에 각각의 링크 길이를 입력하면 직교 좌표계를 통해 링크 기구의 운동을 눈으로 확인할 수 있다. 따라서 출력링크가 만족하는 운동을 할 때까지 링크 길이를 변화시키며 직교 좌표계에 나타내면 원하는 링크 기구의 치수를 결정할 수 있다.

Fig. 6은 각 링크의 길이를 조절하면서 최종 링크 형상을 결정하는 과정을 나타낸다. 다양한 링크 길이 조합에 따른 링크 간 상호 운동을 계산한 후 출력링크의 움직임을 보다 쉽게 확인하기 위하여 계산결과를 NX11.0을 이용하여 표현하였다. 벽에 붙어있는 링크는 하부 4절링크의 프레임링크를 나타내고 output link는 상부 4절링크의 출력링크, 즉 조속기가 연결되는 거치대를 의미한다. 링크 길이 변경에 따른 기구의 움직임은 Fig. 6(a)처럼 출력링크가 벽과 수직하게 펼쳐지지 않거나 6(b)같이 벽에 수직하게는 펼쳐지지만 창밖으로 충분히 펼쳐지지 않았다. 따라서 Fig. 6은 링크의 길이 변경만으로는 윈터치 완강기의 기구학적 제약 조건을 만족할 수 없음을 나타낸다.

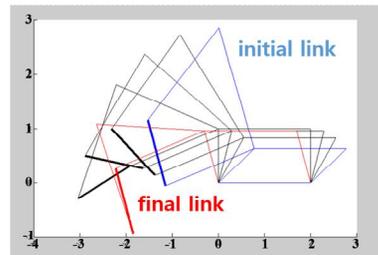


Fig. 5 Example plot of driving configuration of double square linkage using Matlab

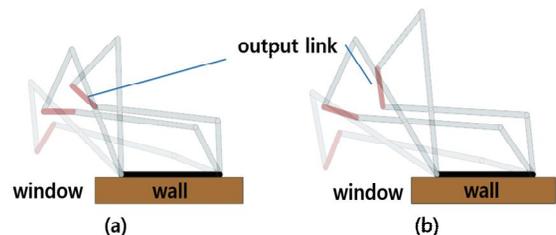


Fig. 6 Driving configurations of output linkage with the length of links changed

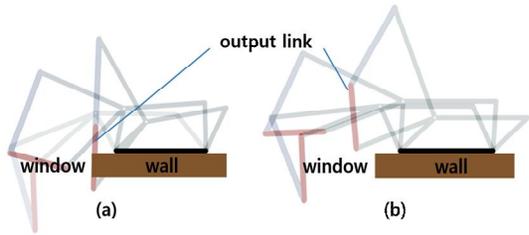


Fig. 7 Driving configurations of output linkage with the length and straightness of links changed

이러한 문제를 해결하기 위해 링크 길이를 조절할 뿐만 아니라 링크 일부를 직선이 아닌 꺾인 형태로 변경하였다. 꺾인 링크를 사용하면 직선 링크에 비해 동일한 입력 대비 출력링크가 더 많이 밖으로 펼쳐질 수 있다. Fig. 7은 각 링크의 길이와 꺾인 링크의 위치 및 꺾인 각도에 따른 다양한 기구 움직임을 나타낸다. Fig. 7(a)에서는 꺾인 링크를 부적절하게 선택하거나 링크의 꺾인 각도가 지나치게 크면 출력링크가 창밖으로 펼쳐지지만 벽과 부딪히거나 링크 사이에 간섭이 일어난다. 하지만 7(b)과 같이 상하부 4절링크의 공유링크를 꺾인 링크로 사용하고 꺾인 각도를 적절히 조절하면 링크 사이의 간섭 없이 출력링크가 벽과 수직하게 펼쳐지고 창밖으로 충분히 뺄어나가게 되어 기구학적 제약 조건 ②를 만족하는 것을 확인하였다.

Fig. 7(b) 기구를 이용하여 설계된 이중 4절링크 기구의 최종 형상이 Fig. 8에 나타나 있다. 사용자가 완강기를 손쉽게 작동시킬 수 있도록 입력링크에 손잡이를 부착하여 손잡이를 밀어서 링크를 펼치도록 하였다. 입력링크에 연결된 손잡이의 구동 범위는 기구학적 제한조건 ①을 만족해야 하므로 제한된 입력링크 움직임으로도 출력링크가 창밖으로 펼쳐질 수 있도록 링크 길이와 꺾인 각도를 조절하였다. 또한 기구학적 제약 조건 ③인 조속기가 지지대로부터 40cm 이상 떨어져 있도록 출력링크의 형상 및 길이를 변경하였다. Fig. 9는 손잡이가 연결된 입력링크의 움직임과 이때의 링크기구 거동을 나타낸다. 손잡이를 10cm 밀면 출력링크가 창밖으로 펼쳐지며 벽과 수직한 방향으로 40cm 나간 것을 확인할 수 있다.

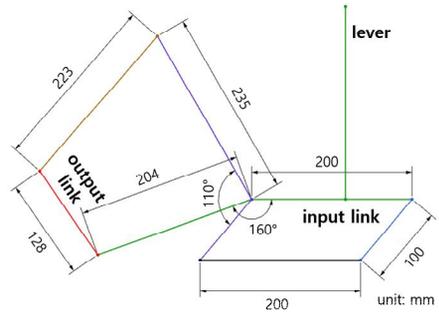


Fig. 8 Configuration of final double square linkage and its dimensions

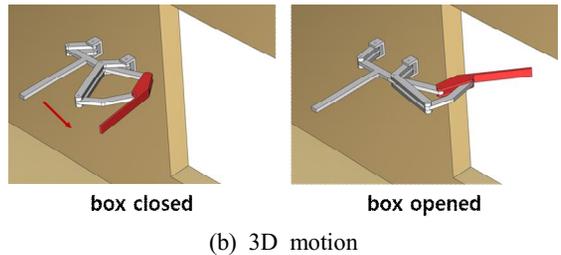
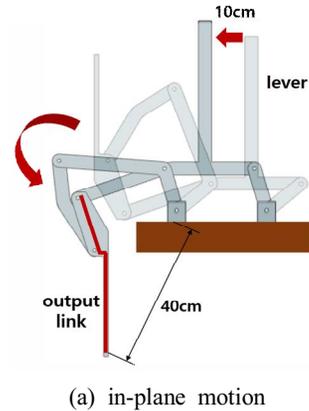


Fig. 9 Linkage motion driven by handle



Fig. 10 Final product for one-touch escape

3.3 윈터치 완강기 제작

Fig. 10은 위에서 진행한 설계를 바탕으로 제작된 완강기 모습이다. 내부 구조를 쉽게 살펴볼 수 있게 박스 윗부분 철판은 제거하였다. 와이어로프가 감겨있는 띠를 창밖으로 던진 후 사용해야 하는 기존 완강기와는 다르게 조속기에 띠 거치부가 연결되어 띠를 던지지 않아도 낙하할 때 두루마리 휴지처럼 띠가 풀리도록 제작하였다. 완강기가 펼쳐졌을 때 출력링크와 벽의 각도가 90°가 되도록 입력링크와 연결된 손잡이의 이동을 제한하였으며 사용자가 안전하게 탈출할 수 있도록 걸쇠에 의해서 지지대가 완전히 고정되도록 하였다.

제작한 완강기를 통해 링크가 설계한 대로 잘 구동하는지 확인할 수 있다. 상자 밖으로 돌출되어 있는 손잡이를 오른쪽으로 밀면 각 링크들의 상호작용에 의해 조속기가 부착된 뚜껑부분이 창밖으로 펼쳐지게 된다. 이렇게 여러 단계를 거치는 기존 완강기에 비해 손잡이를 잡아당기는 한 번의 동작 후 벨트를 매고 탈출이 가능하다.

4. 결 론

본 논문에서는 사용 절차가 간단하고, 직관적이며, 설치 시간 또한 획기적으로 줄일 수 있는 일체형 윈터치 완강기 구조를 제안하였으며 제작을 통해 성능을 확인하였다. 여러 개의 링크 기구로 연결된 거치대를 완강기 보관 상자 안에 내설하였으며 조속기 및 띠와 로프를 미리 연결하여 추가적인 설치 과정을 생략하였다.

한 번의 동작으로 완강기 지지대가 창밖으로 펼쳐지기 위해서는 지지대가 평행 이동과 회전 운동이 동시에 가능해야 하므로 운동성이 1이면서 링크 6개와 조인트 7개를 가진 이중 4절링크를 사용하였다. 소방법에 의한 완강기 지지대의 기구학적 제약 조건을 만족하기 위해 Matlab과 NX11.0을 통해 링크의 길이와 각도를 변화시키며 각 링크의 구체적인 형상 및 치수를 결정하였다.

본 논문에서 제시된 일체형 완강기는 앵커볼트를 이용해서 벽에 부착하면 바로 사용할 수 있다. 또한 사전 교육이 필요 없을 만큼 사용 방법이 매

우 간단해서 큰 화재가 발생했을 때 기존보다 대피시간을 대폭 줄여 생존율을 높일 수 있을 것으로 예상되므로 실제 화재현장에서 활용되어 사람들의 신속한 대피에 도움이 되길 기대한다.

후 기

“이 논문은 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.”

REFERENCES

1. Kim, S. H., Min, B. Y. and Choi, S. M., “Fire Cause Analysis of High-rise Apartments”, Review of Architecture and Building Science, Vol. 59, No. 5, pp. 23-28, 2015.
2. Bae, L. S., “Efficiency Evaluation of Evacuation Equipments in the Neighborhood Facilities-focused on Descending Lifeline and Elevating Equipment for Evacuation”, A Thesis for a Master, Pukyong National University, 2016.
3. Korea Ministry of Government Legislation, National Fire Safety Code(NFSC) 301, Article 4, Clause 1.
4. Lee, W. and Lee, C. S., "A Survey Study on the Learner's Recognition about the Descending Life Lines for the Fire Emergency Escaping Purpose", Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 73-81, 2018.
5. Jung, T. H., “Respiratory Diseases in Firefighters and Fire Exposers”, Journal of Korean Medical Association, Vol. 51, No. 12, pp. 1087-1096, 2008.
6. Uicker, J. J. “THEORY OF MACHINES AND MECHANISMS”, ITC, pp. 12-63, 2010.
7. Korea Ministry of Government Legislation, “Fire Prevention and Fire Service Facilities Installation and Safety Management Act, Article 16, No. of Ministry of Public Administration and Security Act 5, Enforce a Law 2017.7.26.