

# 슬라이드 링크 구조를 이용한 원터치 완강기

김원찬\*, 나다을\*, 문혜인\*, 김상현\*:#

\*한성대학교 기계시스템공학과

## One-touch Descending Lifeline with Sliding Linkage Structure

Wonchan Kim\*, Dayul Na\*, Hyein Moon\*, Sang-Hyun Kim\*:#

\*School of Mechanical Engineering, HANSUNG UNIV.

(Received 07 July 2021; received in revised form 20 July 2021; accepted 23 July 2021)

### ABSTRACT

A one-touch descending lifeline that can easily be installed and rapidly evacuated in the event of a fire accident in high-rise buildings was proposed to overcome difficulties of conventional descending lifeline such as complex installation methods and procedures. However, this lifeline exhibits limitations such as restrictions in installation location and large apparatus size. Therefore, this paper proposes a sliding-type descending lifeline, which has a similar operation to that of current one-touch descending lifeline and solves the aforementioned limitations. A double square link mechanism including a sliding four-bar linkage is proposed and the descending lifeline support is redesigned to unfold in two different planes, allowing 3D movement. Additionally, the shape of the support frame is designed to obtain two attachment surfaces that can be attached to a wall, irrespective of the angle between the window and the inner wall. FEA analysis using ABAQUS is performed to ensure that the robustness of the presented support complies with the Fire Control Act Enforcement Decree. Finally, the feasibility of the proposed sliding one-touch descending lifeline is verified through fabrication.

**Key Words :** Descending Lifeline(완강기), Sliding Double Square Linkage(슬라이딩 이중4절링크), Attachment Surfaces(부착면), Robust Design(강건설계)

### 1. 서 론

3층 이상의 건물에서 화재가 발생하였을 경우, 외부 도움을 받을 수 없다면 재실자 스스로 신속하게 대피해야 한다. 하지만 화재 확산의 영향으로 피난 통로가 막히게 되면 피난기구인 완강기를 이용한 탈출이 유일한 피난방법이다. 이러한 역할 때문에 소방법은 대부분의 건물에 완강기를 설치하도록 규정하고 있다<sup>[1]</sup>.

화재 시 탈출을 위해서는 재실자가 완강기 지지대를 창밖으로 꺼내 지지대 고리에 후크를 걸고 띠를 창밖으로 던진 후, 벨트를 가슴에 착용하여 내려가는 총 5가지의 절차가 필요하다. 설문조사에 따르면 연구대상자의 79.26%는 이론중심의 소방안전교육을 받았으며 81.43%가 완강기 사용 경험이 없어 완강기 설치법에 익숙하지 않다고 응답하였다<sup>[2]</sup>. 또한 화재 시 발생하는 유독가스의 독성 농도가 1% 이상이면 사망에 이르고, 0.03% 이상만 되어도 보행에 곤란을 초래하여 피난행동에 지장을 주기 때문에 가능한 신속하게 대피해야 한다<sup>[3]</sup>. 하지만, 급박한 화재 상황에서 완강기 사용 절

# Corresponding Author : shkim@hansung.ac.kr

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

차를 수행하여 안전한 탈출을 하는 것은 현실적으로 불가능하다.

이러한 완강기의 문제점을 해결하고자 최근 완강기 본체와 지지대가 일체형으로 연결되어 설치 시간을 줄인 원터치 완강기 구조가 제안되었다<sup>[4]</sup>. 원터치 완강기는 한 번의 작동으로 실내에 있는 완강기가 건물 밖으로 펼쳐지므로 사용 절차가 간단하고 손쉽게 사용할 수 있지만, 기존 완강기에 비해 부피가 크고 부착 가능한 위치가 제한적이라는 새로운 문제점이 야기되어 실제 사용에 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 완강기 부피를 줄이고, 모든 벽에 부착 가능한 새로운 원터치 완강기를 제안한다. 선행연구에서 제안된 일체형 구조의 원터치 방식은 유지하되 링크 구동방식을 개선하여 지지대의 움직임을 최소화하였으며 창문과 내벽의 각도와 벽면 여유 공간의 제약 없이 모든 벽에 부착될 수 있도록 프레임링크의 형상을 변경하였다. 또한, 완강기는 실제 사람이 사용하였을 때의 하중을 견뎌야하기 때문에 ABAQUS 프로그램을 통해 제안된 지지대의 안정성 검증 해석을 수행하였으며 제작을 통해 성능 작동 여부를 검증하였다.

## 2. 설계배경

기존 완강기는 설치 과정이 복잡하고 사용법이 대중적이지 않아 위기상황에서 신속하고 올바르게 설치하는 것이 매우 어렵다. 이를 보완하기 위해 Fig. 1과 같이 새로운 일체형 원터치 완강기가 제안되었지만 다음과 같은 문제점이 있다<sup>[4]</sup>. 선행연구에서 제안된 이중 4절링크 지지대는 동일 평면에서 병진과 회전운동이 일어나며 건물 밖으로 펼쳐진다. 하지만 지지대와 연결되어 있는 완강기 구성품은 프레임링크와 수직한 방향으로 박스에 부착되어 있다. 따라서 박스 내부에 실제 사용되지 않는 빈 공간이 생기게 되면서 기존 완강기에 비해 박스 부피가 커지게 되었다. 또한 지지대 프레임의 길이 때문에 좁은 벽면에는 부착하지 못하고, 벽면이 넓고 창문과의 각도가 180°인 경우에만 사용할 수 있다.

Fig. 2는 원터치 완강기의 문제점을 보완하기

위해 제안된 완강기 지지대의 개념도이다. 기존 이중 4절링크 중 일부를 슬라이드 링크기구로 바꾸고 지지대가 창문 가로 방향에서 세로 방향으로 부착되도록 설계를 진행하여 지지대의 움직임의 최소화되고 벽면의 여유 공간과 관계없이 부착이 가능하다. 또한 동일한 평면에서만 움직이는 원터치 완강기와 다르게 각기 다른 두 평면에 링크를 설계하여 3차원 움직임을 갖도록 하고, 프레임링크를 ‘L’형상으로 만들어 창문과 내벽의 각도에 따른 부착 문제를 해결한다.

본 논문에서 설계하고자 하는 완강기는 한 번의 입력 동작만으로 사용할 수 있는 원터치 방식으로, 다음과 같은 기구의 움직임을 계산하는 쿠츠바흐 판별식(Kutzbach criterion)에 의해 결정된다<sup>[5]</sup>.

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

식 (1)에서 M은 기구의 운동성, n은 링크 수,  $j_1$ 과  $j_2$ 는 각각 자유도가 1과 2인 조인트 수를 나타낸다. 링크기구는 링크의 조합, 링크의 길이와 입력 및 출력링크의 위치에 따라 다양한 운동이 가능하므로 설계하려는 기구의 운동성에 맞는 적절한 링크와 조인트의 경우를 선정해야 한다.

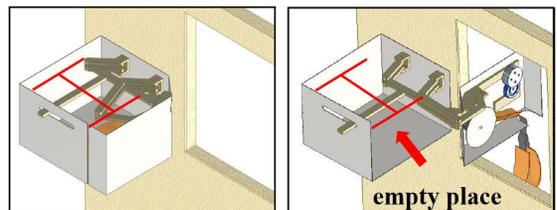


Fig. 1 Double square linkage movement of current one-touch descending lifeline

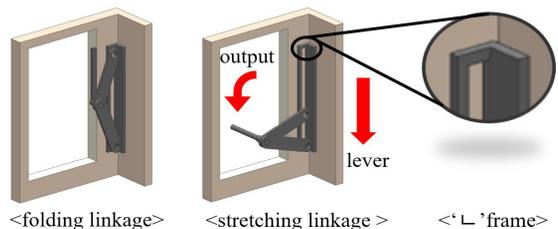


Fig. 2 Conceptual design for sliding-type one-touch descending lifeline

### 3. 설계과정

#### 3.1 수 합성

본 논문에서 설계하고자 하는 슬라이딩 완강기는 입력 한번으로 설치되는 원터치 형식이므로 기구의 운동성은 1이어야 한다. 또한 완강기 지지대는 건물 내부 벽면에 부착되어 있기 때문에 창문을 통해 건물 밖으로 완전히 펼쳐지기 위해서는 Fig. 3(a)와 같이 별개의 평면운동이 가능한 4절링크 두개가 필요하다. 완강기 부피를 줄이기 위해 슬라이딩 구동방식의 4절링크를 사용하였다.

쿠즈바흐 판별식의 식 (1)을 통해 운동성이 1이면서 이러한 기구 운동조건을 만족하는 링크 조합은  $n=6, j_1=7$ 이 되며 이를 구현하기 위해 4절링크 두개를 합성한 이중 4절링크(double square linkage) 형상을 Fig. 3(b)에 나타내었다. 좌측 하단 링크 L2와 우측 상단링크 L3가 결합되어 입력링크인 L6의 슬라이드 홈을 따라 움직인다. 또한 좌측 상단링크 L1과 우측 하단링크 L4가 하나로 결합되어 입력링크의 움직임에 따라 운동하는 커플러의 역할을 하게 된다. 링크 L1과 L2는 출력링크 L5와 또 다른 4절링크를 구성하므로 슬라이드 링크와 연결된 결합 링크들의 움직임으로 출력링크의 거동이 결정된다.

한 번의 동작으로 완강기 지지대가 창밖으로 펼쳐지기 위해서는 지지대의 최종 출력링크는 슬라이드 링크와 수직한 평면에 존재해야 하지만 Fig. 3(b)의 이중 4절링크 형상은 xy평면에서만 움직인다. 따라서, 조인트 1과 3을 기준으로 출력링크 L5를 수직하게 연결하여 지지대의 3차원 움직임을 구현하였다.

#### 3.2 구속조건

일체형 원터치 완강기는 기존에 분리되어 설치되어 있는 완강기 구성품들(조속기, 로프, 릴, 벨트)과 지지대가 박스에 내장되어 벽면에 부착된 후 필요시 펼쳐진다. 따라서 좁은 벽면에도 부착 가능한 완강기 박스의 최소 부피 설정이 필수적이다. 우선 내장되는 부품 중 지지대를 제외하고 가장 큰 부피를 갖는 릴의 너비(22cm), 조속기의 폭

(5cm) 및 부품 배치 등을 고려하여 완강기 박스 너비는 각각 22cm, 27cm 이하가 되도록 설정하였다. 또한 이중 4절링크가 벽면의 세로방향으로 부착되므로 완강기 박스의 최소 높이를 가장 대중적인 기존 완강기 지지대의 미사용시 길이를 고려하여 60.5cm로 제한했다. 조속기와 릴을 포함한 완강기 부품들과 지지대를 고려한 박스 최소 부피를 Fig. 4에 나타내었다.

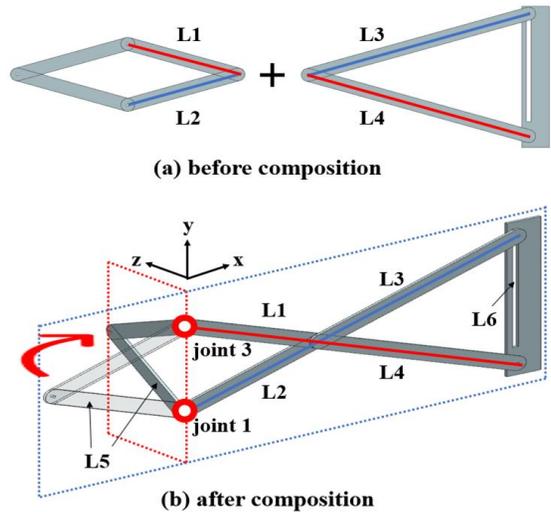


Fig. 3 Driving mechanism of sliding typed double square linkage

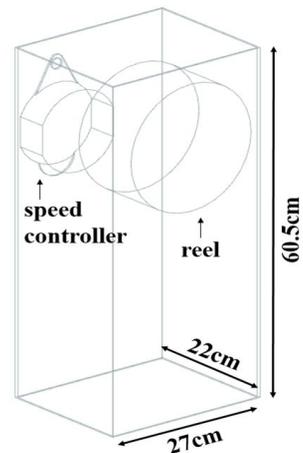


Fig. 4 Configuration of descending life line box for minimum volume

### 3.3 지지대 상세설계

앞에서 제안된 지지대의 3차원 거동 개념과 완강기 박스의 구속조건을 고려한 이중 4절링크 기구의 치수 선정 과정을 Fig. 5에 나타내었다. 완강기 박스에 대한 제한조건 때문에 내설된 지지대는 xy평면에서 최소 22cm 이상 펼쳐져야 한다. 하지만 기구 설계의 특성상 링크는 두께와 단면형상을 가지므로 Fig. 5(a)에서 슬라이드 링크를 최대한 펼쳤을 때의 조인트간의 거리(J1-J2)는 이를 고려하여 설정한다. 또한 각 링크를 연결하는 조인트 부분은 실제 볼트와 너트로 결합되므로 Fig. 5(b)의 슬라이드 조인트(J6)의 최소 여유 공간(J2-J4)은 가장 큰 너트의 규격(6.35cm)을 고려해 선정한다. 따라서 이중 4절링크의 대각선 길이(J1-J4)는 피타고라스 정리를 사용하여 구한다. xy평면의 링크는 프레임링크를 제외하고 대칭이므로 대각선 링크(J2-J3)는 같은 길이를 갖는다. Fig. 5(c)의 J7의 위치는 yz평면의 하단링크(J1-J7)가 지면과 평행하게 펼쳐질 수 있는 위치를 계산하여 선정한다. yz평면은 최종 출력링크가 설계되는 평면이므로 건물 외부로 충분히 펼쳐질 수 있도록 Fig. 5(d)와 같이 J1에서 J7방향으로 링크가 연장되었다.

Fig. 5에 제시한 슬라이딩 완강기는 창문과 내벽의 각도에 따른 부착 문제를 해결하기 위해 지지대의 프레임링크는 ‘L’형상으로 설계된다. 또한 소방방법에서 조속기는 벽면으로부터 40cm 이상 떨어져 있어야 한다고 명시하고 있다<sup>6)</sup>. 하지만 이를 만족하도록 Fig. 5(d)의 출력링크를 연장할 경우 지지대를 완벽히 접었을 때 최종 출력링크가 프레임링크와 간섭을 일으키며 완강기 박스 한쪽 너비가 30cm가 되어 박스 최소 부피 조건을 만족하지 못한다. 따라서 두 가지 부착면을 갖기 위해 프레임링크의 옆면을 돌출시켰으며 지지대가 돌출된 프레임링크 끝단에 수직하게 접힐 수 있도록 출력링크가 연장되는 각도를 조절하였다. Fig. 6은 최종 지지대의 형상을 나타낸다. 출력링크의 굽힘 각도가 152.2°로 연장될 때 프레임링크와 간섭 없이 수직으로 접히며 지지대의 너비가 17.24cm로 줄어 최소 완강기 박스의 구속 조건을 만족함을 확인하였다.

기구 설계에서는 링크의 평면 거동만 고려하지

만 실제 링크는 3차원 형상을 가지므로 적절한 단면 형상을 선정해야 한다. 일반적으로 링크는 굽힘 하중에 대한 안정성이 높은 중공 사각빔을 사용하지만 질량 대비 단면 크기가 커서 이웃한 4절링크의 3차원 거동에 간섭을 일으키거나 박스 부피 제한조건을 만족하지 못할 수 있다. 따라서 동일한 단면2차 관성모멘트를 가지면서 가공이 용이한 중실 사각빔을 사용하여 설계했다. 수직인 두 평면에 설계된 링크들이 한 평면에서처럼 원활하게 움직일 수 있도록 아이볼트(eye bolt)와 너클조인트(knuckle joint)를 사용하였으며 보다 안정적인 결합을 위해 아이볼트와 너클조인트 각각 양쪽에 링크를 결합하여 마치 2점의 링크처럼 보이게 설계가 진행되었다.

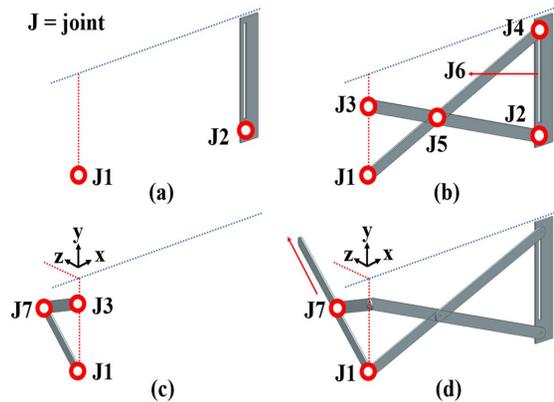


Fig. 5 Design procedure of support

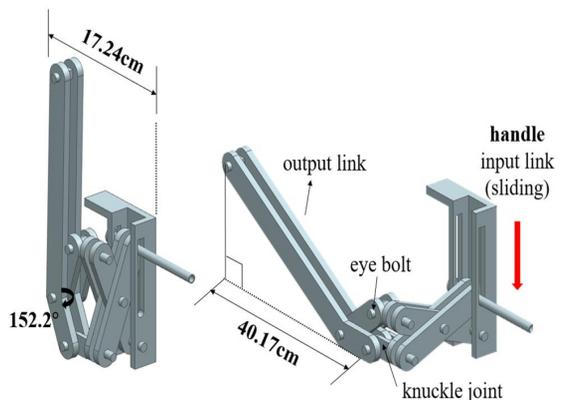


Fig. 6 Configuration of sliding linkage support and its dimensions

#### 4. 안전성 검증 및 제작

완강기는 도르래 원리를 이용하며 피난자가 로프를 몸에 고정한 후 높은 층에서 지상으로 안전하게 내려올 수 있도록 충분한 강성이 보장되어야 한다. 통상적으로 완강기 지지대는 일반 구조용 압연 강재를 사용하므로 재질의 강도는 고정 값이다. 따라서 기 설계된 일체형 링크구조의 단면 형상을 선택하는 안전성 검사를 진행하였다.

완강기 지지대의 안정성 검증 해석을 위해 사용되는 지지대 재료의 물성값<sup>[7]</sup>은 Table 1과 같으며 FEA 형상 및 해석 조건을 Fig. 7에 나타내었다. 제안된 완강기는 창문과 내벽의 각도에 관계없이 사용이 가능해야 하므로 두 가지 부착면을 각각 구속하여 해석을 진행하였다. 또한 하강 시 탑승자의 자중에 의한 정적·동적거동과 안전계수를 고려하여 지지대와 조속기가 고정되는 부분에 최대 5,000N의 집중하중(concentrated force)을 부여하였다<sup>[8]</sup>. 일반적으로 링크가 연결되는 조인트 부분에 응력집중이 발생하므로 지지대 단면 치수와 함께 조인트가 위치하는 링크 중앙의 조인트 지름을 점차 증가시키면서 안정성 해석을 수행하였다.

Table 1 Material properties of SS275

Properties	Value
Elastic Modulus [GPa]	210
Poisson's ratio	0.26
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	7.86
Yield Stress [MPa]	275

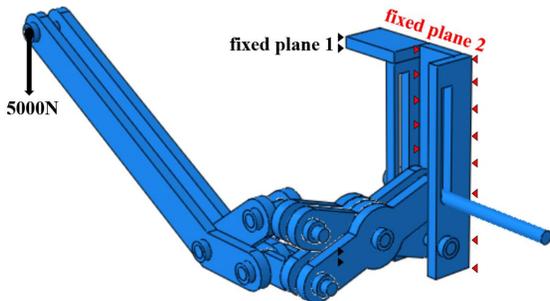


Fig. 7 FEA modeling and boundary conditions

모델링 편의성과 해석 모델 형상을 고려해 1차 요소인 C3D8(hexahedral: 124,834)을 사용하였으며 Fig. 8에 최종 원터치 완강기 링크기구의 해석 결과를 나타내었다. 지지대 단면 높이가 5cm, 너비가 1.5cm, 링크 중앙 조인트 부분의 지름이 8cm 일 때 가장 안전하였으며 두 가지 구속조건 모두 아이볼트와 직접적으로 결합되는 링크 구멍 안쪽에서 약 81.6MPa의 최대응력이 발생하였다. 지지대 내부에 발생하는 최대응력이 재료의 항복강도인 275MPa보다 낮으며 약 3.4의 안전계수를 가지므로 본 논문에서 제시된 지지대 형상은 정적 하중에 대해서 안전하다고 판단된다.

Fig. 9는 안정성 해석을 통해 수정된 완강기 링크기구가 박스에 내설된 모습을 나타낸다. 슬라이딩 지지대가 박스 최소 부피 조건을 만족하며 타 부품과 간섭 없이 펼쳐짐을 확인하였다.

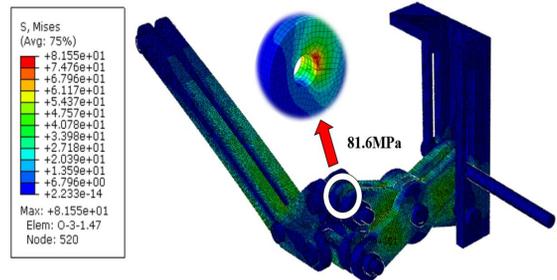


Fig. 8 Stress distribution of sliding linkage support in static analysis

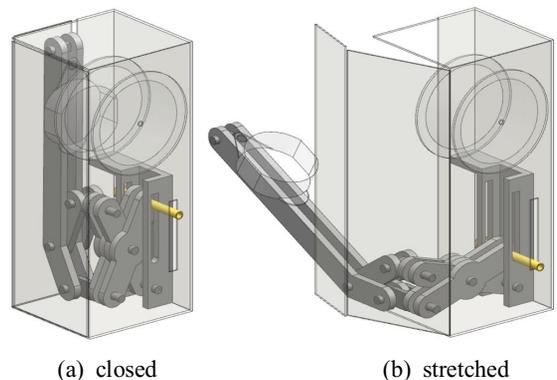


Fig. 9 The last shape of proposed descending life line box

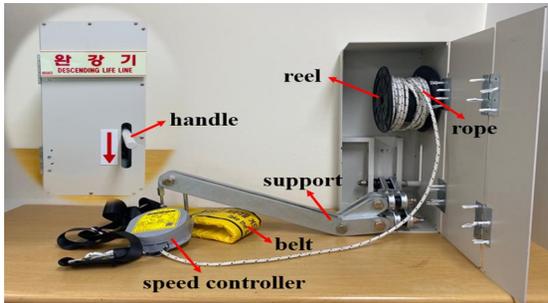


Fig. 10 Actual production for one-touch escape

Fig. 10은 위에서 진행한 설계를 바탕으로 실제 제작한 완강기 모습이다. 지지대와 릴, 로프 등 완강기 부품들이 모두 연결되어 박스 안에 내설되어 있으며 상자 밖으로 돌출되어 있는 손잡이를 아래로 내리면 지지대를 구성하는 각 링크들의 기구학적 상호작용에 의해 출력링크가 창밖으로 펼쳐지며 조속기와 연결된 벨트를 매고 탈출이 가능함을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 선행연구에서 제안된 원터치 완강기의 문제점인 부피 증가와 부착 위치 제약을 해결하기 위해 새로운 원터치 완강기 구조를 제안하였으며 제작을 통해 성능을 확인하였다. 지지대와 완강기 구성품은 기존 일체형 구조와 같은 원터치 방식을 유지하였으며, 손잡이를 내리는 한번의 동작만으로 완강기 지지대가 창밖으로 펼쳐지도록 운동성이 1이면서 슬라이드를 포함한 링크 6개와 조인트 7개로 합성된 이중 4절링크 구조를 설계하였다.

슬라이드 링크의 형상 및 구동방식을 변경하여 3차원 움직임이 가능하게 하였으며 모든 벽면에 부착될 수 있도록 프레임링크를 ‘L’형상으로 설계하였다. 또한 하강 시 안전한 탈출을 위해 지지대에 발생하는 내부 응력이 재료의 항복강도를 넘지 않도록 안정성 해석을 통해 지지대 단면형상을 선정하였다. 기존 원터치 완강기보다 제안된 슬라이드 링크 구조를 이용한 완강기 부피가 약 30% 가량 감소되었으며 실제 제작을 통해 성능 작동 여부를 확인하였다.

## 후 기

“이 논문은 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.”

## REFERENCES

1. Korea Ministry of Government Legislation, National Fire Safety Code(NFSC) 301, Article 4, Clause 1.
2. 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.
3. Kim, B. S., "A Study on the Fire Safety Management measures from during a fire toxic gases generated (Focus to Co gas measures)", Korean Society for Safety Management Autumn Conference, 2011.
4. Yun, S.-G., Park, J.-W., Jung, G.-H., Jung, M.-H. Kang, S. and Kim, S.-H., "Design of All-in-One Descending Lifeline with Reduced Usage Time", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 5, pp. 21-26, 2020.
5. Uicker, J. J., "THEORY OF MACHINES AND MECHANISMS", ITC, pp. 12-63, 2010.
6. Korea Ministry of Government Legislation, "Fire Prevention and Fire Service Facilities Installation and Safety Management Act", Article 16 & 18, No. of Ministry of Public Administration and Security Act 5, Enforce a Law 2017.7.26.
7. Childs, P., Mechanical Design Engineering Handbook, Elsevier, 2018.
8. Park, J.-W., Yun, S.-G., Jung, G.-H., Jung, M.-H. and Kim, S.-H., "Robust Design of Descending Lifeline Using Double Square Linkage Mechanism", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 108-113, 2021.