

이중 4절링크 기구를 이용한 완강기 강건 설계

박정우*, 윤슬기*, 정근학*, 정민희*, 김상현*^{#,}

*한성대학교 기계시스템공학과

Robust Design of Descending Lifeline Using Double Square Linkage Mechanism

Jung-Woo Park*, Seul-Gi Yun*, Geun-Hak Jung*, Min-Hee Jung* and Sang-Hyun Kim*^{#,}

^{*}Mechanical Systems Engineering, Hansung UNIV.,

(Received 22 February 2021; received in revised form 30 March 2021; accepted 03 May 2021)

ABSTRACT

Recently, a new concept of a one-touch descending lifeline has been proposed to address the drawbacks of the conventional descending lifeline, which can be easily installed and quickly evacuated in the case of a fire emergency. All separate parts for escape are initially mounted in a box, and the link-type support is spread out of the window by pushing the handle attached to the box. In this study, the proposed double square linkage mechanism was redesigned, and its safety is verified by determining an appropriate moment of inertia of the link through finite element analysis using Abaqus. The shape and assembling method of the reel and speed controller were also modified such that the safety belt was simultaneously unfolded with link-type support. Finally, the feasibility of the proposed one-touch all-in-one descending lifeline was confirmed through fabrication.

Key Words : All-In-One(일체형), Descending Lifeline(완강기), Double Square Linkage(이중4절링크), Robust Design(강건설계)

1. 서 론

최근 급격한 산업화 및 도시화에 의한 주거 형태 변화로 인해 대부분의 사람들은 아파트나 주상복합과 같은 복합주거지에 거주하고 있다. 그러나 천재지변에 의한 자연재해보다 사회재난이 월등히 많아진 오늘날 복합주거지의 화재 사고에 의한 인명과 재산 피해가 지속적으로 발생하고 있다. 따

라서 건물 내부 및 외부에서 발생된 화재로 인해 계단이나 승강기를 사용할 수 없을 경우 완강기는 건물 내실자가 안전한 장소로 탈출하기 위한 유일한 피난기구로 아파트를 포함한 복합주거건물의 4층 이상부터는 적정 개수의 완강기를 설치하도록 규정하고 있다^[1].

일반적으로 완강기는 건물 밖으로 전개하여 피난자의 자중에 의해 내려오는 하강로프 형태의 구조 기구로써 건물 외벽에 설치되어야 하지만 평상시 바람과 같은 외부환경요인에 의한 낙하 위험성 및 미관 등의 이유로 건물 내부에 내설하고 있다.

Corresponding Author : shkim@hansung.ac.kr

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

Fig. 1은 일반적으로 사용되고 있는 완강기 형태를 나타내며 화재 발생 시 탈출을 위한 기존 완강기 사용 절차는 다음과 같다. ① 지지대(support)를 창문 쪽으로 회전시킨 후 고정한다. ② 조속기(speed controller) 고리(A)를 지지대 고리(B)에 건 후 나사 형태의 연결고리(hook)를 체결한다. ③ 창밖을 확인한 후 릴(reel)을 던진다. ④ 벨트(belt)를 몸에 맞게 착용한 후 벽면을 따라 안전하게 탈출한다. 따라서 분리되어 있는 각 장치를 설치하는데 많은 시간이 필요하며 사용법을 모르는 대부분의 거주자들이 위급한 상황에서 신속하게 설치 후 대피하는 것은 현실적으로 불가능하다^[2].

최근 이러한 기존 완강기 문제를 해결하기 위해 본체와 지지대가 일체형으로 연결된 완강기 구조가 제안되었다^[3]. 한 번의 작동으로 실내에 있는 완강기가 건물 밖으로 빠져나갈 수 있도록 지지대가 이중 4절링크 구조로 설계되었다. 본 논문에서는 제안된 일체형 완강장치가 실제 사용될 수 있도록 추가 연구를 수행하였다. 기본적으로 완강기는 피난자가 높은 층에서 지상으로 내려올 수 있도록 충분한 안전성이 보장되어야 한다. 따라서 소방법에 규정된 완강기 지지대 강도 조건을 만족하도록 기 설계된 일체형 기구형상에 적절한 재질과 단면 형상을 선택하는 기계 설계를 진행하였다. 또한, 박스에 내설된 벨트가 지지대와 함께 동시에 펼쳐질 수 있도록 릴과 조속기 형상의 구조적 문제점을 보완하였으며 실제 제작을 통해 성능 작동 여부를 검증하였다.

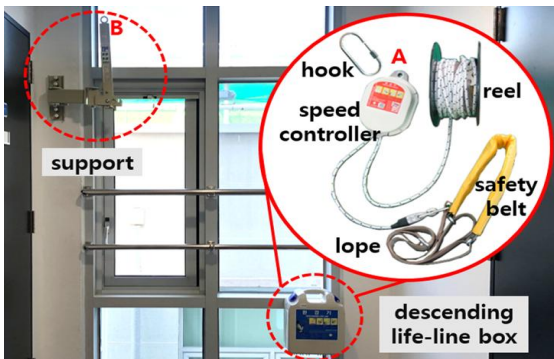


Fig. 1 Basic components of conventional descending lifeline

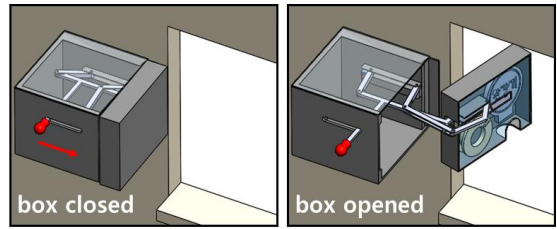


Fig. 2 Kinematic design for one-touched descending lifeline

2. 원터치 완강기 설계

2.1 지지대 링크 형상 설계

화재 발생이라는 위급한 상황에서 건물 내벽에 설치되어 있는 완강기 지지대를 사용자가 손쉽게 창문 밖으로 전개할 수 있는 일체형 완강장치가 선행연구에서 제시되었다^[3]. Fig. 2와 같이 사용 절차를 간소화하고 한 번의 동작으로 조속기와 미리 연결된 거치대가 링크 상호작용에 의해 건물 밖으로 펼쳐지도록 하였다. 그러나 완강기는 도르래 원리를 이용하며 로프를 몸에 고정한 후 높은 층에서 안전한 지역까지 내려와야 하므로 지지대는 외부 하중을 지탱할 수 있는 충분한 강성을 지녀야 한다. 따라서 안전한 탈출을 위해 선행연구에서 제시된 이중 4절링크 기구 형상을 수정하고 적절한 재질과 단면 형상을 선택하는 추가 연구를 진행하였다.

일반적으로 기구설계에서 링크의 거동은 링크의 조합 및 조인트로 연결된 각 링크의 길이에 의해 결정된다. 여기서 링크 길이는 조인트 사이의 최단거리를 나타내며 링크 형상이 직선이던 곡선이던 출력링크의 움직임에 영향을 주지 않으므로 선행연구에서는 Fig. 3(a)와 같이 조인트 ①과 ② 사이를 가장 간단하고 재료도 적게 사용되는 직선 링크를 사용하였다. 그러나 가해지는 외부 하중에 의해 링크기구에 발생하는 내부응력은 링크 형상에 따라 달라지므로 Fig. 3(b)와 같이 추가 각을 주면서 다른 링크와 겹치는 부분을 증가시켜 굽힘 하중에 대해 작은 응력이 발생하도록 링크 거동을 고려한 최적의 링크 형상을 구하였다.

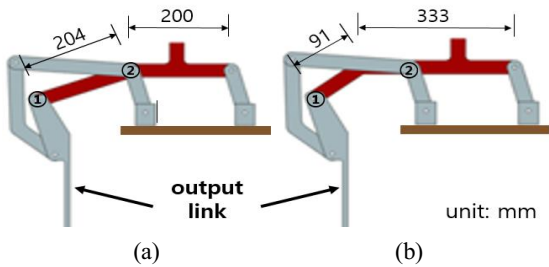


Fig. 3 Configuration of double squared linkage support (a) previous (b) current

2.2 완강기 지지대 안정성 검증

완강기 지지대의 최대 사용하중은 1,500N이며 최대 5,000N의 하중을 가하는 경우 파괴·균열 및 현저한 변형이 없어야 한다고 소방법에 명시되어 있다⁴⁾. 완강기에 작용하는 하중요인은 기구 및 탑승자의 자중이며 대부분의 완강기 지지대는 하강시 자중에 의한 정적·동적거동과 안전계수를 고려하여 3,000N의 하중을 만족하도록 설계되고 있다⁵⁾. 따라서 안전한 완강기 사용을 위해서는 앞서 설계된 일체형 완강기 지지대에 가해진 하중에 의해 발생하는 지지대 내부 응력이 재료의 항복응력보다 낮아야 한다. 지지대에 발생하는 응력(σ)은 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다. 여기서 M은 하중에 의한 모멘트, y는 도심축과의 거리, I는 단면 2차 관성모멘트를 나타낸다⁶⁾.

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (1)$$

완강기 지지대는 통상적으로 일반 구조용 압연강재를 사용하기 때문에 재료의 강도는 고정 값이며 식 (1)에서 모멘트 M도 일정하므로 설계변수는 지지대의 단면2차 관성모멘트이다. 완강기 지지대의 안정성을 높이기 위해서는 가능한 관성모멘트가 큰 단면을 선정하면 되지만 이는 사용되는 재료의 양과 무게가 증가되므로 FEA 해석을 통해 적절한 단면형상 선택이 필수적이다.

Table 1은 해석을 위해 사용되는 지지대 재료의 물성값을 나타낸다. 일반구조용 압연 강재 중 가공이 쉬워 가장 범용적으로 사용되는 일반구조용 압연강재인 SS275를 선정하였다⁷⁾.

Table 1 Material properties of SS275

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

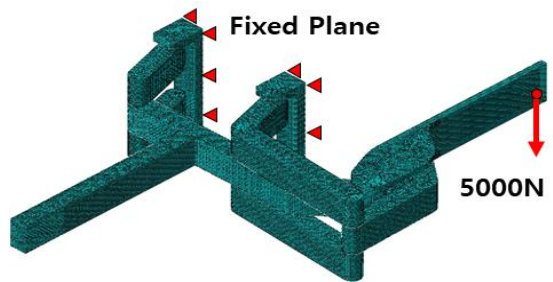


Fig. 4 FEA modeling and boundary conditions

완강기 지지대의 안정성 검증 해석을 위한 FEA 형상 및 해석 조건을 Fig. 4에 나타내었다. 모델링 편의성과 해석 수행 시간 감소를 위해 지지대의 단면형상은 중공 사각형 빔으로 선택하였으며 해석 모델 형상을 고려해 C3D8(hexahedral: 124,834)과 C3D4(tetrahedral: 1,228) 요소를 적절히 조합하여 분할하였다. 또한 원터치 완강기는 벽에 고정해 사용하는 제품이므로 벽에 부착하는 부분의 변위를 구속하였으며, 지지대와 사람이 탑승하는 조속기가 고정되는 부분에 최대 5,000N의 집중하중(concentrated force)을 부여하였다.

Fig. 5은 중공 사각형 빔의 구체적인 형상을 결정하기 위해 높이와 폭 및 두께를 조절하여 바뀐 단면2차 관성모멘트에 따른 최대응력을 나타낸다. 해석 결과 재료의 항복강도를 초과하지 않기 위해서는 완강기 지지대의 단면형상이 최소 25cm⁴의 단면2차 관성모멘트를 가져야 함을 알 수 있다.

Fig. 6은 최종 원터치 완강기 링크기구의 해석 결과를 나타낸다. 25cm⁴의 단면2차 관성모멘트를 가지면서 제작의 용이성 및 타 부품과의 간섭을 고려하여 높이 5cm, 폭 3cm, 두께 7mm의 중공 사각형 빔을 사용하였다. 예상대로 하중이 가해지는 조속기와 가까운 위치의 연결 부분에 243.11MPa

의 최대응력과 -5.9004mm의 최대 처짐이 발생하였다. 지지대 내부에 발생하는 최대응력이 부재의 항복응력인 275MPa에 비해 현저히 낮다고는 할 수 없다. 하지만 실제 지지대에 허용되는 1,500N의 최대 사용하중을 적용하면 현저히 낮은 응력이 발생될 것으로 사료되며 완강기는 화재 후 대부분 교체하기 때문에 반복 사용에 의한 피로파괴는 발생하지 않는다고 가정할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시된 원터치 완강기 지지대 형상은 정적 하중에 대해서 안전하다고 판단된다.

3. 일체형 완강기 설계 및 제작

3.1 일체형 설계

본 논문에서 제시하는 일체형 완강기는 화재와 같은 비상 상황에서 한 번의 동작으로 설치 및 탈출이 가능한 박스형 완강기이다. 따라서 Fig. 7과 같이 기존의 완강기 구성요소인 거치대 및 릴과 벨트를 포함한 조속기가 박스에 내설되어 있으며 지지대와 함께 벨트가 동시에 펼쳐져 사용자가 손쉽게 사용할 수 있도록 구현하였다. 일체형 완강기 작동원리 및 세부적인 완강기 부품 설계 과정은 다음과 같다.

릴 거치부

기존 완강기는 외부에 장애물이 있는지 확인 후 릴을 창밖으로 던지고 사용해야하기 때문에 시간이 오래 걸리며 번거로운 단점이 있다. 따라서 완강기 박스 뚜껑 부분에 릴 거치부를 부착하여 릴을 던지지 않아도 완강기를 사용할 수 있도록 설계하였다. 조속기에서 나온 2개의 줄은 각각 벨트와 릴에 연결되며, 사용자가 벨트를 타고 내려가면 두루마리 휴지가 풀리는 메커니즘과 동일한 하에 릴에 감긴 와이어 로프가 풀리도록 하였다.

Groove and handle latch

완강기를 이용하여 하강할 때 바람과 같은 외력이 가해질 수 있는데 이러한 외력에 의해 펼쳐진 링크가 흔들리거나 예상치 못하게 돌아온다면 사용자가 낙하 중 흔들려 위험할 수 있다. 따라서 상자 안쪽 면에 걸쇠(groove & handle latch)를 설치하여 펼쳐진 링크가 되돌아가지 못하게 하였다. 뚜껑이 열리는 방향으로 밀 때는 손잡이가 걸쇠의

빗변 부분을 누르며 지나갈 수 있지만 반대방향으로는 직각 부분의 걸쇠를 밀수 없다. 따라서 상자의 홈과 걸쇠에 의해 펼쳐진 지지대가 완전히 고정되어 사용자가 안전하게 탈출할 수 있다.

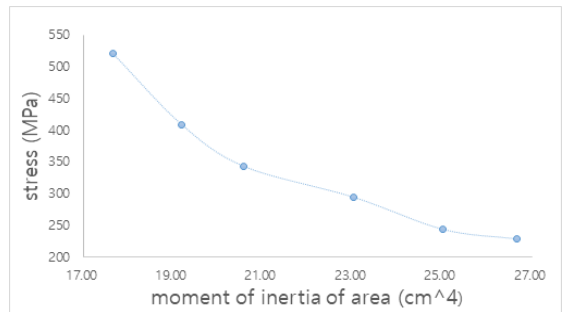


Fig. 5 Maximum stress evolution as a function of moment of inertia

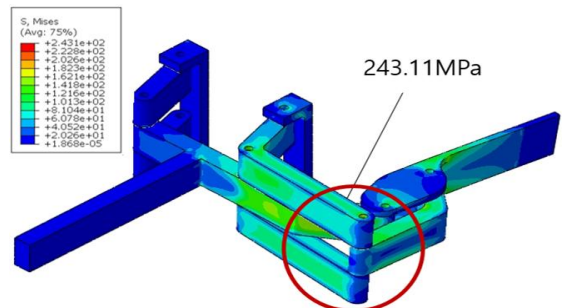


Fig. 6 Stress distribution of double squared linkage support in static analysis

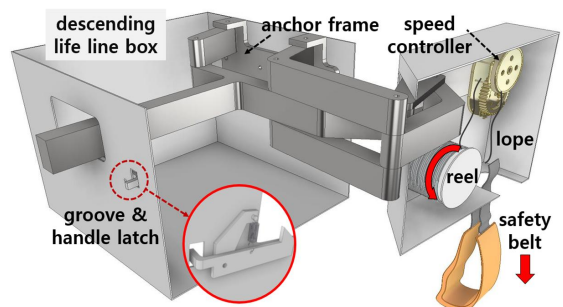
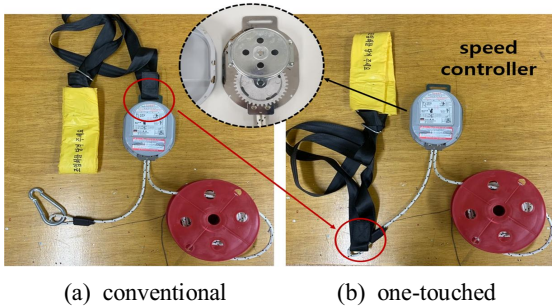


Fig. 7 Conceptual image of one-touched all-in-one descending lifeline



(a) conventional (b) one-touched
Fig. 8 Modified safety belt and speed controller

3.2 제작 및 작동 검증

완강기를 일체형으로 구현하기 위해 개선한 조속기 형상을 Fig. 8에 나타내었다. 한쪽은 지지대와 고리로 연결되며 반대편에 벨트와 연결되어 있는 (a)의 기존 조속기 형상을 윈터치 완강기 설치 조건에 맞게 (b)와 같이 벨트 위치를 변경하였으며 무게 감소를 위해 조속기 커버를 분리하였다.

Fig. 9(a)는 일체형 완강기를 구현하기 위해 제작된 지지대 링크와 상자이다. 완강기는 링크 고정부(anchor frame)와 연결되어 벽에 고정되기 때문에 상자는 어떠한 힘도 받지 않는다. 따라서 상자는 링크 보호를 위해 2mm 강판을 이용하여 제작하였으며 한 번의 동작으로 건물 밖으로 펼쳐질 수 있도록 상자 뚜껑에 릴과 조속기 거치부를 부착하였다. 또한 링크 단면형상을 구하기 위한 FEA 해석에서는 중공 사각형 빔을 사용하였으나 부피 감소와 제작의 편의성을 위해 동일한 단면 2차 관성모멘트를 가지면서 레이저로 쉽게 가공할 수 있는 강판을 이용하여 링크를 제작하였다.

완강기 지지대는 4개 이상의 앵커볼트로 고정되어야 한다고 소방법에 명시되어 있으므로 일체형 완강기의 안전한 사용을 위한 앵커볼트 지름은 식 (2)를 사용하여 구하였다^[4].

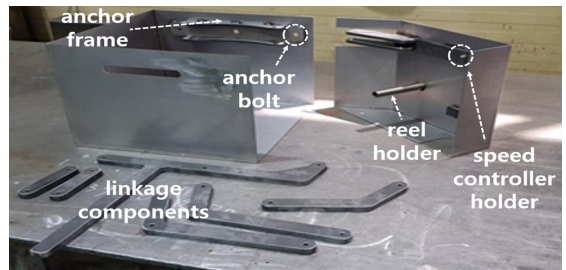
$$P = \frac{\pi d^2}{4} \tau \quad (2)$$

여기서 P는 작용하중(5,000N), d는 볼트 지름, τ 는 허용전단응력(ss400: 60MPa)을 나타낸다. 지지대와 벽 사이에는 전단하중만이 작용되므로 식 (2)를 이용하여 최소 지름(10.3mm)을 구한 후 규

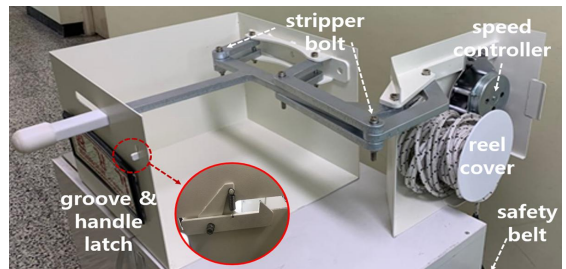
격에 맞는 앵커볼트(Kybolt, M12)를 사용하였다.

Fig. 9(b)는 최종 결합된 일체형 완강기 형상을 나타낸다. Fig. 7의 개념도와 동일하게 링크기구를 통한 운동학적 전이에 따라 한 번의 동작으로 지지대가 건물 밖으로 펼쳐지도록 구현하였다. 각 링크는 핀 조인트로 연결되어 상호작용을 하지만 하강 시 발생하는 하중을 견딜 수 있도록 적절한 강성을 가져야 한다. 따라서 FEA 해석을 통해 핀이 꽂히는 구멍 부분에 발생하는 응력을 구한 후 충분한 인장강도를 가지는 스테인리스 볼트(Met Korea, SCM435)를 사용하여 체결하였다. 핀의 지름은 16mm로 모두 동일하며 링크를 체결하는 부위에 따라 길이가 다른 핀을 사용하였다.

또한 Fig. 8(b)의 수정된 조속기에 릴 거치부가 연결되어 사용자가 낙하할 때 릴이 풀리도록 제작하였으며 낙하 중에 생기는 충격에 의해서 릴이 빠지는 것을 방지하기 위해 탈부착이 가능한 릴 커버를 추가하였다. 펼쳐진 지지대와 벽의 각도가 90°가 될 수 있도록 상자에 홈을 만들어 손잡이 움직임을 제한하였으며 안전한 탈출을 위해 지대가 완전히 고정되도록 적절한 형상 및 스프링 강성을 가지는 걸쇠를 제작하였다.



(a) individual components



(b) final assembly

Fig. 9 Final product of descending lifeline



Fig. 10 Operating process for one-touch escape

Fig. 10은 최종 제작한 완강기의 실제 작동 모습을 나타낸다. 링크가 설계한 대로 잘 구동하는지 내부 구조를 확인할 수 있게 박스 윗부분 철판을 제거하였다. 상자 밖으로 돌출되어 있는 손잡이를 오른쪽으로 밀면 완강기 지지대를 구성하는 각 링크들의 기구학적 상호작용에 의해 조속기가 부착된 뚜껑부분이 창밖으로 펼쳐지며 조속기와 연결된 벨트를 매고 탈출이 가능함을 확인하였다.

4. 결론

고층건물에서 화재가 발생할 경우 완강기가 유일한 개인 대피수단이지만 사용자가 긴급한 상황에서 기존 완강기를 이용하여 신속히 탈출하기에는 사용 절차 및 방법이 용이하지 않다. 최근 이러한 기존 완강기 문제를 해결하기 위해 일체형 원터치 완강기 구조가 제안되었으며 본 논문에서는 선행연구에서 제안된 일체형 완강장치가 실제 사용될 수 있도록 추가 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

지지대를 이중 4절링크 구조로 제안하고 설계함으로써, 기존의 구조와 비교하여 한 번의 동작으로 완강기가 건물 밖으로 펼쳐지도록 하였으며 출력링크와 벽의 각도가 90°가 되도록 손잡이 움직임을 제한하였다. 또한 피난자가 지상으로 안전하게 내려올 수 있도록 하강 시 지지대에 발생하는 내부 응력이 재료의 항복강도(275MPa)를 넘지 않는 단면형상을 선정하였으며 FEA 해석을 통해 일체형 지지대의 안정성을 확인하였다.

신속한 설치 및 탈출을 위해 모든 완강기 부품이 보관 상자 안에 내설될 수 있음을 검증하였다.

또한 조속기 및 릴과 로프 형상과 위치를 수정함으로써 기존 방식의 단점인 지지대와 벨트가 동시에 펼쳐질 수 있도록 하였으며 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. 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. 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.
4. 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.
5. Kim, H.-S., “Evaluation on Safety Analysis of Exterior Evacuation Instrument using the Finite Element Analysis”, Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 20, No. 5, pp. 702-708, 2018.
6. Goodno, B. J. and Gere, J. M., Mechanics of Materials, Willy, 2020.
7. Childs, P., Mechanical Design Engineering Handbook, Elsevier, 2018.