

대한기계학회 주최

제9회 전국학생설계경진대회(2019년)


설계 최종 보고서

참가부	대학부 (✓)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (✓)				
참가팀명	원터치				
설계제목	원터치 완강기				
지도교수/교사	(소속) 기계시스템공학과 (성명) 김상현 (연락처) (이메일) shkim@hansung.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	윤슬기	한성대학교 기계시스템공학과		poiut157@naver.com	

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	윤슬기	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	poiut157@naver.com
2	박정우	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	pjw593@gmail.com
3	정근학	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	wjdrmsgkr007@naver.com
4	정민희	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	alsgml3860@naver.com
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (✓)
참가팀명	원터치
설계제목	원터치 완강기
대표자명	윤슬기
요약문	<p>완강기는 화재 시 이용하는 피난 기구로써 피난 기구의 화재안전기준 법에 따라 의무적으로 설치되고 있다. 완강기는 화재가 크게 번져 더 이상 출입문으로 탈출이 불가능할 때 마지막 수단으로 사용된다. 아주 급한 상황에서 사용되는 피난 기구임에도 불구하고 사용 단계가 많고 복잡하여 정확한 사용법을 알고 있는 사람은 많지 않다. 이러한 이유로 완강기는 실제로 활용되진 않고 있다. 2018년에 발생한 종로 고시원 화재 사건이 이 문제 상황을 잘 나타내고 있다. 기존 완강기는 벽에 설치된 설치 금구와 박스 안에 들어 있는 조속기, 로프, 릴 등으로 나누어져 있어 추가적인 사용 절차가 필요하다. 또한 서울시 거주 20세 이상 남녀를 대상으로 조사한 자료에 따르면 완강기 사용법을 알고 있다고 응답한 사람이 30% 정도 밖에 되지 않았다. 완강기를 사용할 줄 아는 사람들 또한 사용 단계가 여러 단계이기 때문에 설치시간을 일반적으로 3분 이상 걸리기 때문에 연기를 조금만 마셔도 위험한 상황에서 탈출하기 쉽지 않다는 점이 큰 문제이다. 앞에서 언급한 문제점을 다음과 같이 수정하려고 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 완강기의 분리된 구조가 추가 사용 절차를 요구한다. -> 분리된 구조를 하나로 합쳐 일체형으로 설계한다. 2) 완강기의 설치 방법이 제대로 교육되지 않고 있다. -> 사용 방법을 교육받지 않아도 사용할 수 있도록 직관적이게 설계한다. 3) 완강기의 설치 시간이 오래 소요된다. -> 기존의 복잡한 사용과정을 하나의 과정(원터치)으로 줄인다.
	

사용시간이 단축된 원터치 완강기 설계

윤슬기*·박정우*·정근학*·정민희*·김상현**
* 한성대학교 기계시스템공학과

Design of One-touch Descending Life Line with Reduced Usage Time

Seul-Gi Yun*, Jung-Woo Park*, Geun-Hak Jung*, Min-Hee Jung* and Sang-Hyun Kim**
* Mechanical Systems Engineering, Hansung University

Key Words: Mechanical Design(기계 설계), Kinematical Design(기구 설계), FEM(유한요소법), All-In-One(일체형), Descending Life Line(완강기), One-Touch(원터치), Fire Escape Apparatus(화재 피난 기구)

초록: 고층 건물에서 화재 발생 시 대피로를 이용할 수 없는 최악의 상황에서, 최선의 대피 방법은 완강기를 사용하는 방법뿐이다. 이런 역할 때문에 대부분의 건물에 완강기를 설치하도록 소방법에 명시되어 있지만 기존의 완강기는 교육을 받더라도 올바르게 사용하기 어려우며, 복잡한 사용 절차로 인해 화재 시 신속하게 탈출하기 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문은 상기 문제를 해결하기 위해 원터치 방식으로 사용절차를 간소화하고 직관적인 사용법으로 사용자의 교육 유무에 관계없이 사용할 수 있는 새로운 원터치 완강기 구조를 제안하고자한다. 또한, ABAQUS 6.14를 통해 새로운 완강기 구조의 안정성 검증을 수행한다.

Abstract: The problem with 'Descending life line' is that it is difficult to use it properly even if it is educated, and it is difficult to escape quickly in the event. Thus, it simplifies usage procedures and proposes a new 'Descending life line' that can be used regardless of whether users are educated or not.

1. 서론

오늘날 사회의 산업화, 도시화는 인구 밀집으로 인한 건물의 고층화, 대형화, 복잡화를 초래하였지만 급격한 산업화와 경제발전에 비해 안전관리에 대한 인식과 기술의 발전이 함께 이루어지지 못하여 화재로 인한 피해가 증가하고 있다. 만약 화재 발생시 외부의 도움을 받지 못할 경우 재실자의 자력 대피가 무엇보다 중요하지만 고층 건물에서 화재 발생 시 대피로를 이용할 수 없는 최악의 상황에서, 자력 대피 방법은 완강기를 사용하는 방법뿐이다.^{(1),(2)} 이러한 역할 때문에 소방법은 대부분의 건물에 완강기를 설치하도록 규정하고 있다.⁽³⁾ 연구에 따르면 연구 대상자의 81.43%가 완강기 사용 경험이 없어 완강기 설치법에 대해 미숙하다는 결과가 있는데, 설치법을 숙지하고 있더라도 위기상황에서 완강기를 신속하고 올바르게 설치하는 것은 미리 훈련받지 않는 이상 매우 어렵다.⁽⁴⁾ 작년 말 화재가 되었던 종로 고시

† Corresponding Author, shkim@hansun.ac.kr
© 2019 The Korean Society of Mechanical Engineers

원 화재 사건이 이러한 실정을 아주 잘 나타내고 있는 예이다. 화재 시 발생하는 유독가스는 통상적으로 3분만 흡입하여도 사망할 수 있어 신속한 대피가 필요하지만, 기존의 완강기를 3분 안에 설치하여 대피하는 것은 현실적으로 어렵다. 많은 문제점에도 불구하고 완강기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지 않아 문제점이 개선되지 않고 있다.

선행된 연구 결과를 통해 이끌어낼 수 있는 문제점은 교육을 받더라도 올바르게 완강기를 사용할 수 없으며, 복잡한 사용 절차로 인해 화재 시 신속하게 탈출하기 어렵다는 점이다. 본 논문은 상기 문제를 해결하기 위해 기구 설계 과정에서 링크구조를 사용하여 사용절차를 간소화하고 사용자의 교육 유무와 관계없이 사용할 수 있는 새로운 완강기 구조를 제안한다. 또한, ABAQUS 6.14를 통해 새로운 완강기 구조의 안전성 검증을 수행한다.

2. 설계 배경

2.1 설계 문제 정의

현재 완강기 사용 방법은 접혀 있는 설치금구를 창문 밖으로 꺼내어 고정하고, 상자 안에 있는 조속기를 꺼내어 설치금구와 연결한 후 고정하고 벨트를 착용하면 창문을 통해 탈출이 가능하다. 완강기 사용까지 걸리는 과정이 상당히 많고 위급한 상황에서 정확한 설치가 가능할지도 미지수이다. 따라서 현재 설계된 완강기의 문제를 요약하자면 다음과 같다. ㉠ 완강기의 분리된 구조가 사용 시 추가 설치를 요구한다. ㉡ 완강기의 사용시간이 오래 소요된다. ㉢ 완강기의 사용방법은 사전에 교육받지 않으면 사용하기 어렵다.

2.2 설계 제약 조건 및 문제 해결 방법

본 논문에서 제안하는 새로운 형식의 완강기(윈터치 완강기)는 ‘완강기의 형식 승인 및 제품 검사의 기술 기준’에 따라 설계되어야 하며 기존 완강기의 문제점을 보완하고 실제 사용되기 위하여 다음과 같은 조건을 만족해야 한다. ㉠ 완강기의 분리된 구조를 하나로 합쳐 일체형으로 설계한다. ㉡ 사용방법을 교육받지 않아도 사용할 수 있도록 직관적으로 설계한다. ㉢ 사용시간을 단축하기 위해 여러 단계였던 사용 과정을 한 단계(윈터치)로 줄인다. ㉣ 기존 소방법에 의해 완강기 지지대는 연직 방향으로 5,000N의 하중을 견뎌야 한다. ㉤ 유지 및 보수가 간편해야 한다.

2.3 설계의 독창성

Fig. 1은 기존 특허 제품인 ‘박스형 완강기’이다. ‘박스형 완강기’는 화재 등의 비상시 대피를 위해 완강기를 사용함에 있어, 더욱더 신속하고 안전하게 사용할 수 있도록 하기 위해 완강기 설치를 위한 거치대가 내설됨과 동시에, 사용자의 취급 및 편의를 도모하기 위해 거치대에 완강기가 설치된 상태로 정리된 완강기용 보관 케이스이다. 우리가 설계한 완강기 또한 ‘박스형 완강기’와 유사하게 완강기 지지대가 상자 안에 내장되어 있다. 하지만 ‘박스형 완강기’는 단순히 기존의 완강기 구성요소를 상자 안에 내장하기만 한 제품이다. 따라서 한 번의 동작으로 사용이 가능하지 않다는 점에서 우리가 설계한 ‘윈터치 완강기’와는 차이가 있다고 할 수 있다.

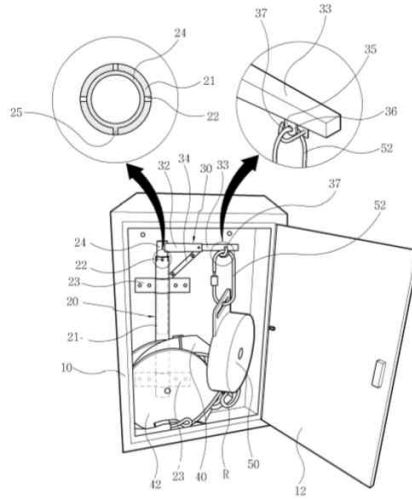


Fig. 1 Box type descending life line⁽⁵⁾

Fig. 2는 기존 특허 제품인 ‘원터치형 완강기 설치대’이다. ‘원터치형 완강기 설치대’는 누구나 손쉽게 사용할 수 있는 간편하고 간단한 구성을 통해 절첩이 매우 쉬운 구조를 가진 제품이다. 하지만 지지대 부분과 조속기 부분이 여전히 분리되어있는 형태이기 때문에 설치 교육이 필요하며 조속기를 설치하는 과정이 필요하기 때문에 완강기를 사용하는 과정이 원터치가 아니게 된다. 하지만 본 논문에서 다루는 ‘원터치 완강기’는 손잡이를 미는 한 가지 과정만으로 사용가능하며 손잡이를 훔을 따라 미는 행위는 매우 직관적이기 때문에 설치 교육이 필요하지 않다.

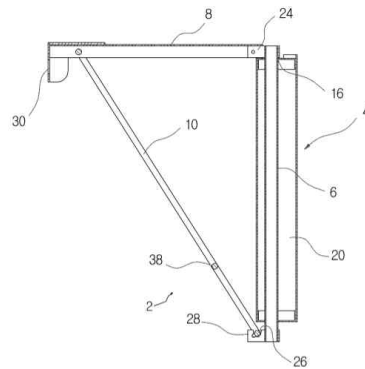


Fig. 2 One-touch type descending life line frame for installation⁽⁶⁾

Table 1은 기존 특허 제품과 원터치 완강기를 위에서 결정한 설계 제약 조건을 준거로 하여 한 눈에 보기 쉽도록 비교한 표이다.

Table 1 Comparison with other products

		One-touch?	One body?	Intuitive?
Existing Product	Box type descending life line(Fig. 1)	×	○	×
	One-touch type descending life line frame for installation(Fig. 2)	×	×	×
New Product	One-touch descending life line	○	○	○

2.5 관련 이론

㉠ 기구 설계⁷⁾

새로운 기구를 설계하는데 일반적으로 형태 합성(type synthesis), 수 합성(number synthesis), 그리고 치수 합성(dimensional synthesis)의 3단계가 있다. 형태 합성이란 링크기구나 시스템, 벨트, 풀리나 캠 시스템 중 하나를 선택하는 과정과 같이 기구의 종류를 선택하는 것을 말한다. 형태 합성은 전체적인 설계 과정에서 시작 단계에 해당하며, 일반적으로 제조공정, 재료, 안전성, 공간 및 경제성 등과 같은 다양한 설계요소들을 고려한다. 수 합성은 특정한 운동성(mobility)을 얻는 데 필요한 링크, 조인트 또는 대우의 수를 결정하는 과정이다. 설계과정에서 형태 합성 다음의 두 번째 단계로 수행된다. 세 번째 단계는 각 링크의 세부 치수를 결정하는 단계로서 치수 합성이라고 한다.

㉡ 기계 설계

기계를 설계할 때 제품에 가해져도 허용할 수 있는 응력을 허용응력이라고 한다. 허용응력을 결정할 때에는 사용 재료의 성질, 하중의 종류, 사용조건 등에 의하여 결정되어야 한다. 상온에서 연성재료가 정하중을 받는 경우는 항복강도, 상온에서 취성 재료가 정하중을 받는 경우는 극한강도, 고온에서 정하중을 받는 경우는 크리프 한도를, 그리고 반복하중을 받는 경우는 피로한도를 기준강도로 삼는다. 완강기 지지대는 상온에서 정하중을 받으므로 항복강도를 사용한다.

㉢ 파괴이론

파괴란 재료가 주어진 기능을 수행하지 못하는 상태를 나타낸다. 이러한 재료의 파괴를 판단하는 이론에는 Von-Mises 이론, Tresca 이론, 최대 주응력설 등이 있다. 이 중에서 Von-Mises 이론은 전단 변형을 에너지 설이라고도 하는데 연성재료의 파괴에 가장 잘 일치하므로 파괴이론은 Von-Mises 이론을 사용한다.

3. 설계 과정

3.1 개념 설계

완강기의 사용은 간단해야 하며 위급한 상황에서 사용하는 만큼 직관적인 방법으로 구동되어야 한다. 세부설계를 진행하기 전에 직관적인 방법으로 구동하는 방법에 대한 개념을 도출하였다. Fig. 3은 한 번의 동작으로 링크를 작동할 수 있는 여러 가지 방법을 나타낸다. Fig. 3에 표시된 여러 가지 구동 방법 중 레버를 채택했다. 그 이유는 레버는 경로를 따라 움직이는 한 가지 방법 밖에 없으므로 사용법에 대한 혼란을 야기시키지 않는다. 또한 레버를 움직이는 범위를 조절을 통해 출력링크의 움직임을 마음대로 제어할 수 있기 때문이다.

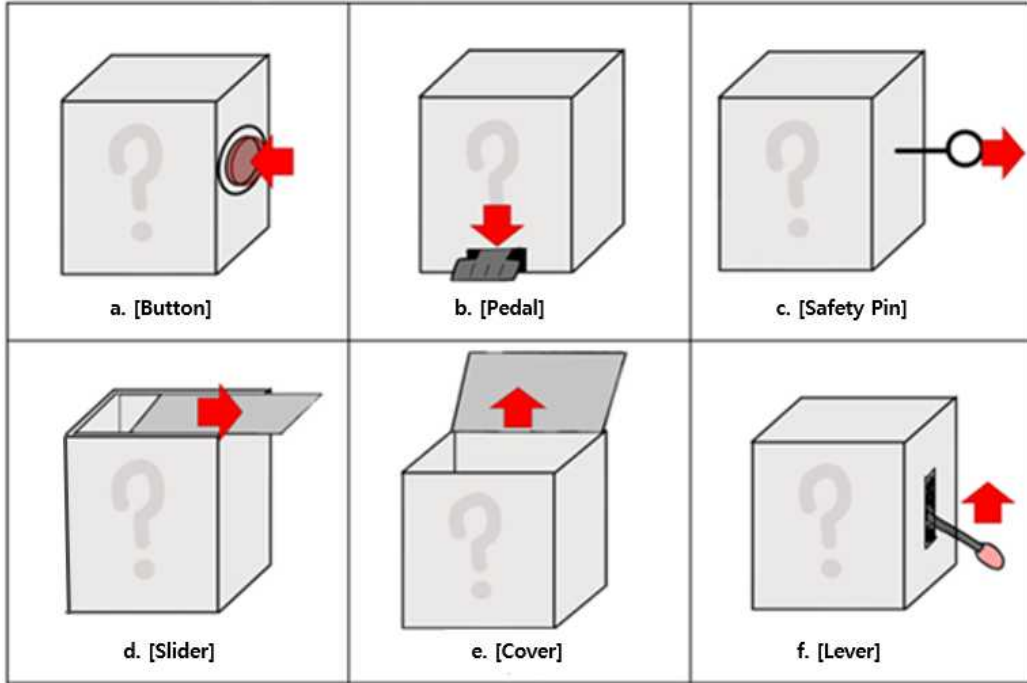


Fig. 3 Various driving methods

3.2 기구 설계

기구 설계에 앞서 완강기 지지대의 기구학적 제약 조건은 다음과 같다. ㉠ 입력링크의 가동 범위는 사용자의 편의를 고려하여 30cm이하로 한다. ㉡ 출력링크는 병진 운동과 회전 운동을 동시에 해야 한다. ㉢ 펼쳐진 출력링크와 벽은 수직을 이루도록 한다. ㉣ ‘소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률’에 의거하여 완강기 지지대 고정면으로부터 완강기 설치고리 중심까지의 길이는 40cm 이상이어야 한다.⁽⁸⁾

기구 설계 관련 이론에서 언급한 대로 다음 3가지 절차에 따라 기구를 설계했다, 첫 번째 단계인 형태 합성에서 완강기의 기구학적 구조는 유지보수가 간편하고 구조가 간단한 일반적인 링크구조를 사용하는 것을 채택했다. 두 번째 단계인 수 합성에서 설계 제약 조건㉢에 의해 운동성이 1인 기구를 설계해야 한다. 쿠츠바흐 판별식(Kutzbach criterion)에 의해 링크의 개수와 대우의 개수를 결정할 수 있다. 쿠츠바흐 판별식은 아래와 같다. n개의 링크를 갖는 기구의 운동성 M은 자유도가 1인 대우의 개수를 j_1 , 자유도가 2인 대우의 개수를 j_2 라 한다.⁽⁹⁾

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

쿠츠바흐 판별식에 의해 링크의 개수와 조인트의 개수를 계산한다. 여기서 설계하는 완강기에 j_2 에 해당하는 대우를 포함하면 경우의 수가 너무 많아지기 때문에 j_2 는 제외한다. 기구가 원터치로 작동해야 하므로 M에 1을 대입해 보면, 가장 적은 링크와 대우의 수는 $n=4, j_1=4$ 이다. 이는 가장 기본적인 형상의 4절 링크에 해당되는 수치이다. 그러나 4절 링크 하나만으로는 설계 제약 조건㉢를 만족하는 링크를 설계할 수 없다. 따라서 조건을 만족하는 가장 작은 수는 $n=6, j_1=7$ 이다. 세 번째 단계인 치수 합성에서는 설계 제약 조건을 만족하는 운동을 하는 링크의 구체적인 치수를 결정한다.

기구학적 제약 조건㉠에 의해 출력링크는 병진과 회전운동을 동시에 해야 한다. 2개의 4절 링크를 사용하여 각각 병진 운동과 회전 운동이 나타나도록 설계하면 병진 운동과 회전 운동의 출력링크를 제어하기 쉽다. $n=6, j_1=7$ 을 만족하기 위해 2개의 4절 링크는 Fig. 4와 같이 서로 2개의 링크를 공유해야 한다. 이 때 4절 링크는 병진 운동을 담당하는 크랭크-크랭크 기구와 회전 운동을 담당하는 로커-크랭크 기구를 사용한다.

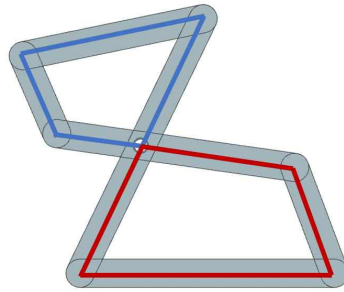


Fig. 4 Driving mechanism of double square linkage

앞서 결정된 링크 각각의 세부 치수를 결정해야 한다. 링크가 원하는 운동을 하도록 만족 하는 치수를 결정하기 위해서 NX 11.0를 이용하여 각 링크의 길이와 각도를 조절하면서 최종링크 형상을 결정하는 과정을 거쳤다. 우선 링크 각각의 길이만 변경해보면서 링크가 원하는 운동을 할 수 있는지 확인한다. Fig. 5에서 벽에 붙어있는 링크는 프레임링크를 의미하고, output link는 출력링크를 의미한다. 프레임링크가 벽에 부착되어 출력링크가 창밖으로 나가게 된다. Fig. 5(a)링크는 출력링크가 벽과 수직하게 펼쳐지지 않고 Fig. 5(b)링크는 출력링크와 벽이 수직하게 펼쳐지지만 하지만 창밖으로 충분히 나가기 어렵다. 따라서 Fig. 5는 링크의 길이만 변경하면 기구학적 제약 조건을 만족할 수 없음을 나타낸다. 이 문제를 해결할 수 있는 방안으로 각각의 링크를 직선 형태가 아닌 꺾인 형태로 변경하는 방안을 고안했다. 꺾인링크를 사용하면 직선링크에 비해 동일한 입력 대비 더 많이 밖으로 나갈 수 있는 출력을 낼 수 있다.

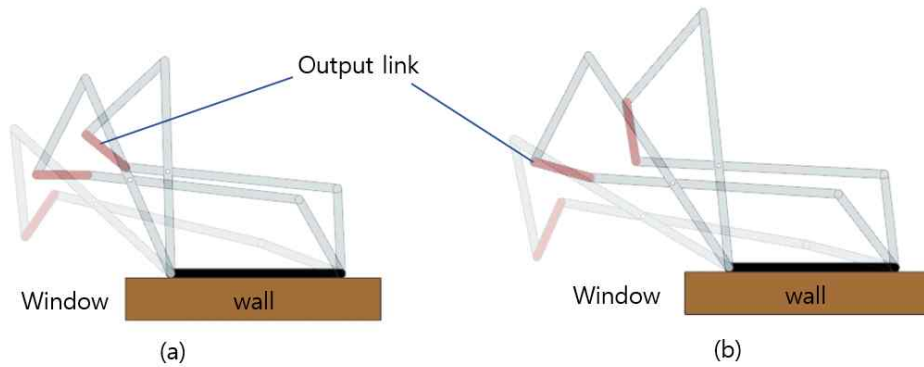


Fig. 5 Cases that only changed the length of the links

Fig. 6은 링크의 길이뿐만 아니라 링크를 꺾인 모양으로 변형한 모습이다. Fig. 6(a)링크는 링크가 너무 꺾여 있어서 링크사이의 간섭이 일어난다. Fig. 6(b)링크는 각도와 길이를 조절하여 출력링크가 벽과 수직하게 펼쳐지며 창밖으로 충분히 뺏어나가는 기구학적 제약 조건㉞와 ㉟를 만족하는 운동을 한다.

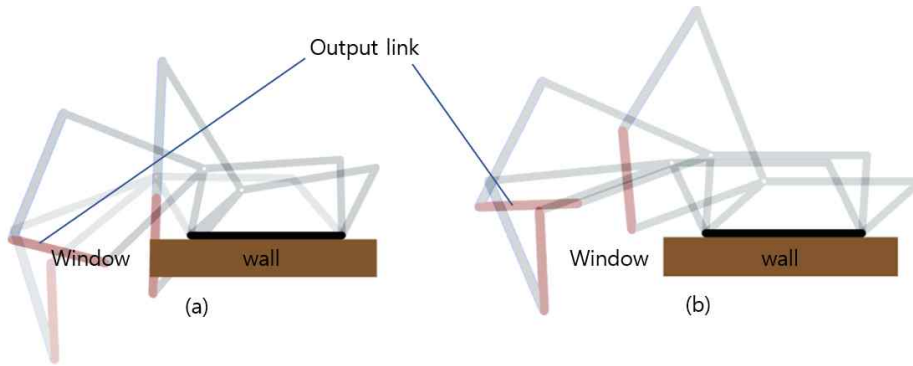


Fig. 6 Cases that changed the length and deflection angle of the links

따라서 Fig. 6(b)링크의 각도와 길이를 더 세밀하게 조절해 최종으로 Fig. 7과 같은 링크를 설계했다. Fig. 7은 127로 표시된 최종출력링크에 조속기가 부착되면 기구학적 제한 조건을 만족시키는 운동을 한다.

(Unit : mm)

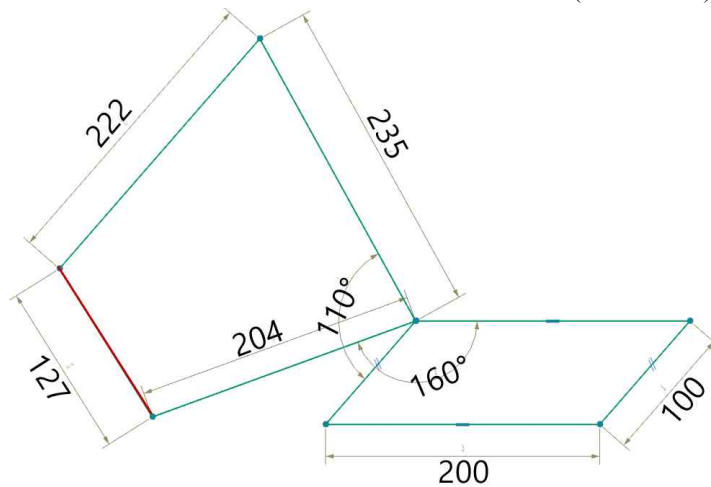


Fig. 7 Configuration of final linkage and its dimension

기구학적 제약 조건 ㉔를 만족하기 위하여 출력링크의 형상을 변경하여 조속기가 지지대로부터 40cm 이상 떨어져있도록 형상변경을 진행했다. 앞서 3.1 개념 설계에서 입력방식으로 레버 형식을 채택했다. Fig. 8은 출력링크와 입력링크의 형상 변경과 그 운동을 나타낸다. Handle을 10cm 밀면 Output link가 벽과 수직인 방향으로 40cm 나간 것을 확인할 수 있다.

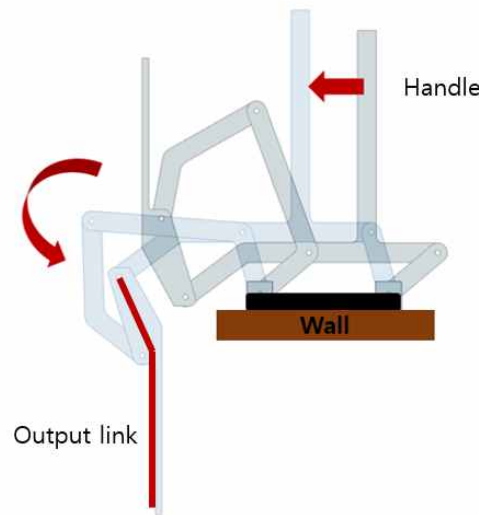


Fig. 8 Link motion driven by a handle

3.3 기계 설계

완강기 설계 제약 조건④에 따르면 지지대는 연직방향으로 최대사용자수에 5,000 N을 곱한 하중을 가하는 경우 파괴·균열 및 현저한 변형이 없어야 한다. 법을 준수하기 위해서 앞서 설계한 기구에 적당한 재질과 형상을 선택하여 기계 설계를 진행해야 한다.

3.3.1 재료 선정

완강기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 의하면, 제18조(재료) ①지지대는 금속재료를 사용하여야 하며, 비내식성 재료일 경우 내식가공 등을 하여야 한다.⁽¹⁰⁾ 다만, 외벽부착형의 경우 스테인리스 강판 및 강대(KS D 3698)를 사용하여야 한다. 완강기 지지대는 통상적으로 일반 구조용 압연 강재를 재료로 한다. Table 4는 일반구조용 압연 강재의 종류를 나타낸 표이다. 명시되어있는 강재 중 하나를 선택해야 한다.⁽¹¹⁾ 위 강재를 가공하여 완강기 지지대를 제작해야 하므로 가공하기 쉬워야 한다. 따라서 가장 범용적으로 사용되는 일반구조용 압연강재인 SS275를 선정했다.

Table 4 SS275 Strength

(Unit : MPa)

Standard		steel number	Yield strength by plate thickness(t, Unit:mm)					Ultimate strength
			t<16	16<t≤40	40<t≤75	75<t≤100	100<t	
KS D 3503	Rolled structural steel	SS275	275	265	245	245	235	410
		SS315	315	305	295	295	275	490
		SS410	410	400	-	-	-	540
		SS450	450	440	-	-	-	590

3.3.2 단면 형상 및 치수 선정

설계하고자 하는 완강기 지지대는 여러 링크가 이어져있는 복잡한 3차원 구조를 가지고 있으므로 프로그램을 통한 해석이 필요하다. 모델링은 NX 11.0 CAD를 통해서 수행했으며, 해석은 ABAQUS 6.14를 통해 수행했다.

기계설계를 위한 변수는 재질의 강도와 단면 2차 모멘트이다. 여기서 재질의 강도는 이미 SS275로 선정했기 때문에 고정 값이므로 설계변수는 단면 2차 모멘트이다. 단면 2차 모멘트는 휨 또는 처짐에 대한 저항을 예측하는데 사용되는 단면의 성질을 뜻한다. 단면의 형상은 Fig. 9와 같이 다양한 형상을 가

진다. 그 중 질량대비 큰 단면 2차 모멘트 값을 가지며, 링크 형상에 사용하기에도 적합한 중공 사각빔을 선택했다.

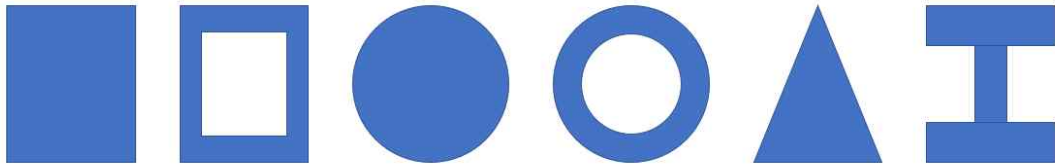


Fig. 9 Various cross-sectional shapes

Fig. 10은 중공 사각빔의 구체적인 형상을 결정하기 위해 높이와 폭을 고정하고 두께를 조절하여 바뀐 단면 2차 모멘트에 따른 최대응력을 나타낸 그래프이다. 따라서 완강기의 최종 단면 형상은 해석결과 재료의 항복강도를 초과하지 않는 높이 5cm, 폭 3cm, 두께 7mm 와 25.0292cm^4 의 단면 2차 모멘트를 가진다.

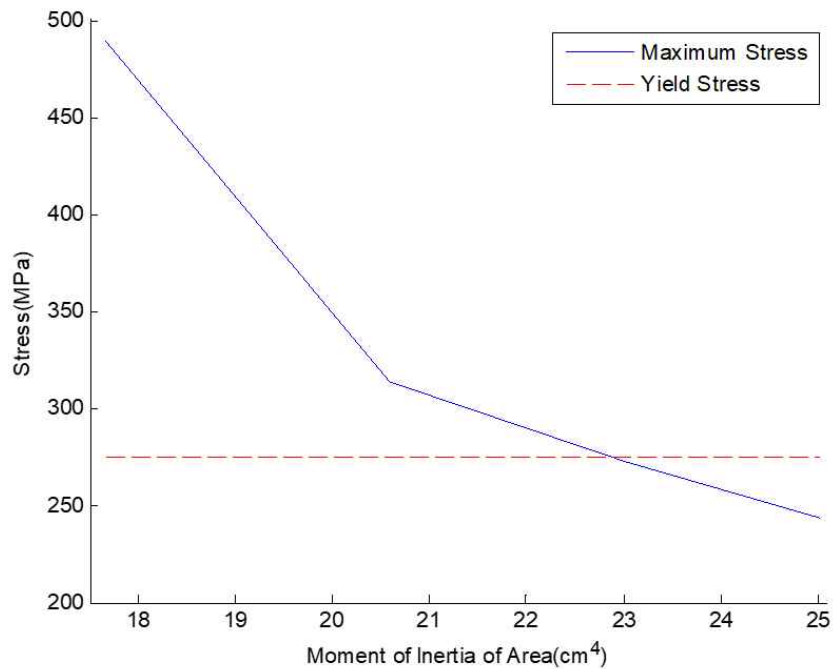


Fig. 10 Stress change with Moment of Inertia of Area

모든 해석에 부여한 경계조건은 원터치 완강기는 벽에 고정해 사용하는 제품이므로 벽에 부착하는 부분의 변위를 구속하여 고정했으며, 하중은 소방법에서 명시하고 있는 5,000N의 하중을 사람이 탑승하는 조속기가 고정되는 부분에 concentrated force 조건을 적용한 후 정해석을 수행하였다. Fig. 11은 경계조건을 부여한 자세한 위치를 나타낸다.

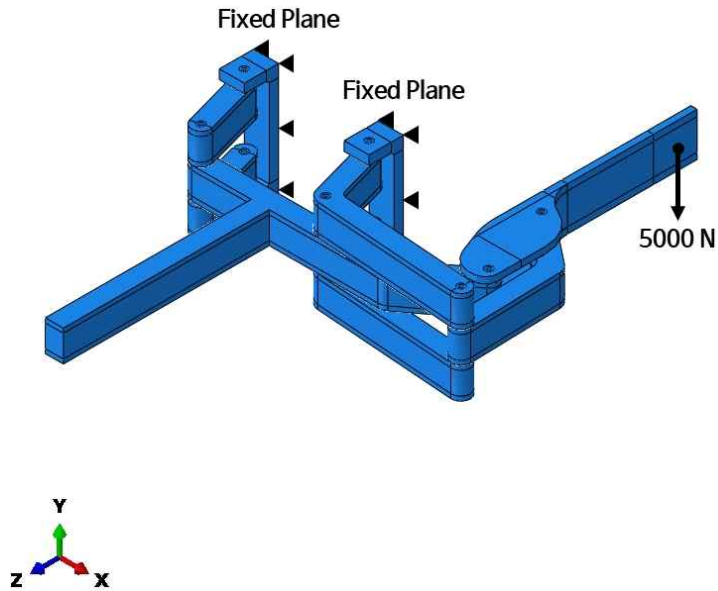


Fig. 11 Boundary conditions of static analysis

최종 해석에 사용한 요소의 종류는 해석 모델의 형상을 고려해 1차 요소인 C3D8(hexahedral) 124,834개와 C3D4(tetrahedral) 1,228개를 사용했고, Fig. 12은 해석을 위해 이산화 과정을 마친 모델을 나타낸다.

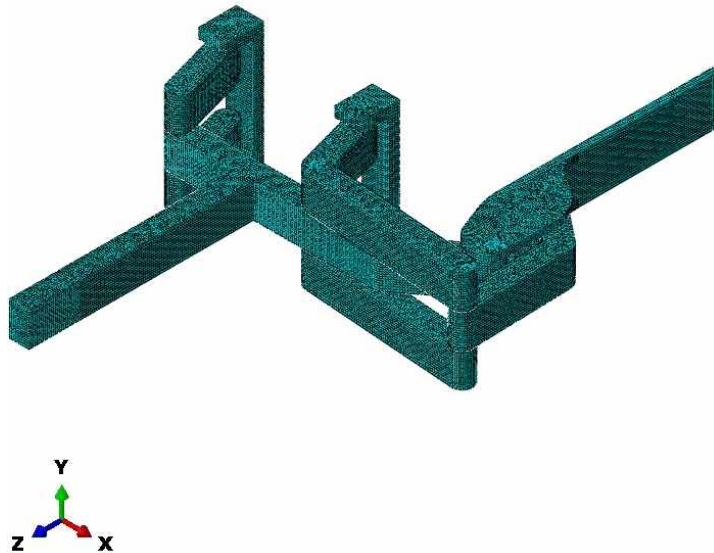


Fig. 12 FEA modeling

원터치 완강기의 정해석 결과 하중이 실리는 부분과 가까운 부분에 243.11MPa의 최대응력이 발생했고, -5.9004mm의 최대 처짐이 발생했다. Fig. 13은 최대응력이 발생하는 부위를 나타낸다.

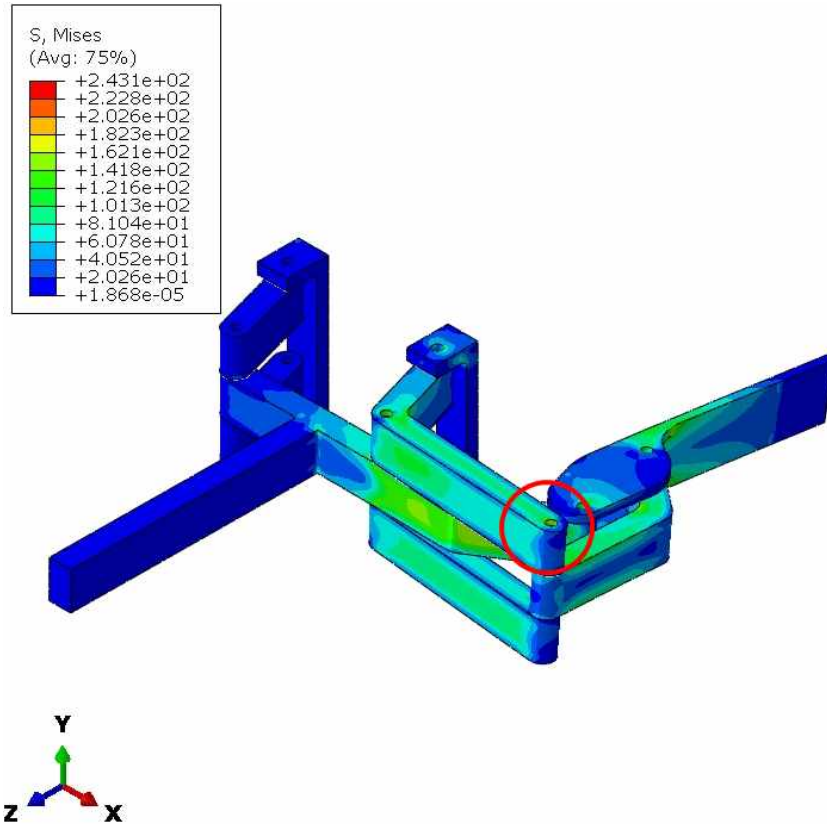


Fig. 13 Stress distribution of one-touch descending life line in static analysis

3.3.3 핀

각 링크 사이는 핀 조인트로 연결되어 상호작용을 하므로 스트리퍼 볼트를 사용해 연결해야 한다. 스트리퍼 볼트는 SCM435(스테인리스 볼트)를 사용하여 만들어져 인장강도가 1000N/mm²이고 핀이 꽂히는 구멍부분에 발생하는 응력보다 작으므로, 규격표를 참고하여 체결한다.⁽¹²⁾ 핀의 지름은 16mm로 모두 동일하며 체결하는 부위에 따라 사용된 핀의 높이는 다음과 같다. 링크 3개를 체결하는 핀은 높이 150mm, 출력링크를 연결하는 핀은 높이 70mm, 프레임 링크를 연결하는 핀은 길이 65mm를 사용한다.

3.4 작동원리 설명 및 세부사항 선정

기계 설계와 기구 설계 외에도 앞에서 언급하지 않았던 세부적인 완강기 부품설계도 다음과 같이 진행했다. 기존의 완강기는 사용하기 전에 와이어로프가 감겨있는 띠를 창밖으로 던지고 사용해야 하는 번거로움이 있다. 심지어 띠를 던지기 전에 창 밖에 장애물이나 지나가는 사람이 있는지 확인해야 한다. 따라서 Fig. 14와 같이 조속기 부분에 띠 거치부를 설계하여 띠를 던지지 않아도 사용자가 낙하할 때 두루마리 휴지가 풀리는 메커니즘과 동일하게 띠가 풀리도록 했다. 띠 거치부에 와이어로프를 끼이지 않게 감은 후 띠 커버를 끼워준다. 띠 커버는 낙하 중에 생기는 충격에 의해서 띠가 빠지는 것을 방지하며 탈부착 또한 가능하다.

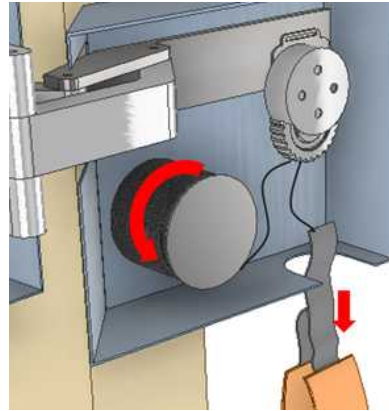


Fig. 14 Conceptual image of part with a fixed reel

기구 설계를 완료한 링크구조는 입력링크의 손잡이가 10.7cm 움직이면 출력링크가 180° 펼쳐지게 된다. 그런데 만약 손잡이가 10.7cm 이상 펼쳐지게 되면 출력링크와 벽의 각도가 90° 이상 펼쳐지게 되어 사용에 불편함이 생기게 된다. 따라서 Fig. 15와 같이 상자에 홈을 뚫어 링크가 10.7cm 이상 움직이지 못하도록 막는다.

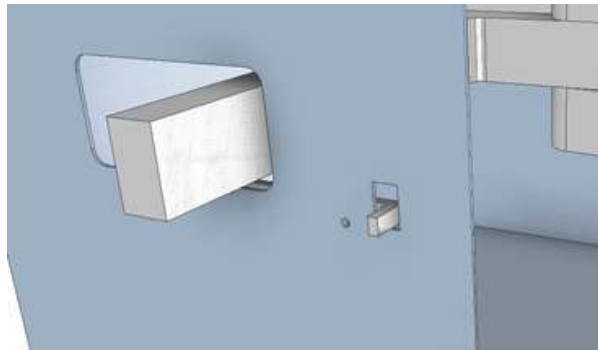


Fig. 15 Groove which restrict motion of link

Fig. 15의 손잡이 홈을 통해 입력링크가 10.7cm 이상 펼쳐지지 못하도록 설계했다. 그러나 링크가 펼쳐진 상태에서 외력이 가해지더라도 다시 되돌아오지 못하게 하는 장치가 필요하다. 사용 중에 예상치 못하게 펼쳐진 링크가 돌아온다면 사용자가 낙하 중 흔들려 위험할 수 있다. 따라서 링크를 고정할 수 있는 걸쇠 부분을 Fig. 16과 같이 설계했다. 상자의 홈과 걸쇠에 의해서 지지대가 완전히 고정되어 사용자가 안전하게 완강기를 사용해 탈출할 수 있다.

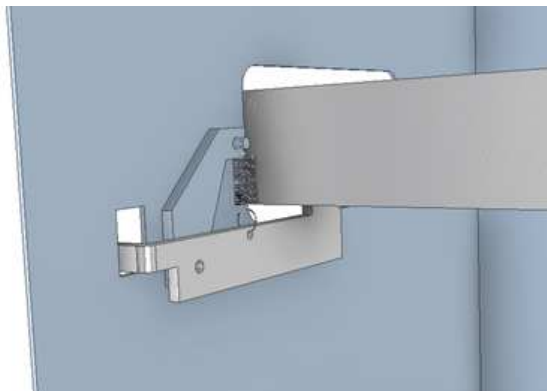


Fig. 16 Handle latch

설계한 링크에서 손잡이의 각진 부분은 사용자가 사용하는 동안 불편함을 주기 때문에 손잡이 부분에 끼워 넣을 수 있는 둥근 손잡이를 3D프린터로 출력하여 제작했다. Fig. 17은 제작을 위한 3D모델링을 나타낸다.

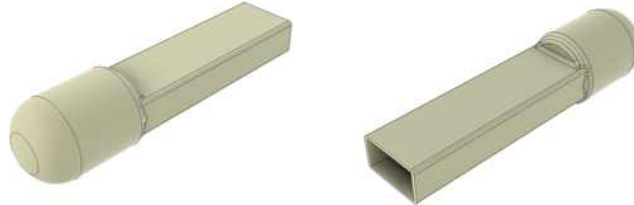


Fig. 17 CAD modeling for production of handle

Fig. 18은 세부형상 설계까지 마무리된 완강기의 형상을 나타낸다. Fig. 18은 완강기 지지대가 벽에 부착되어 창밖으로 펼쳐진 상태다. 손잡이를 끝까지 밀어 상자의 뚜껑이 창밖으로 나간 모습이며 벽 고정단 쪽의 상자 뚜껑은 링크의 형상을 보이기 위해 생략했다.

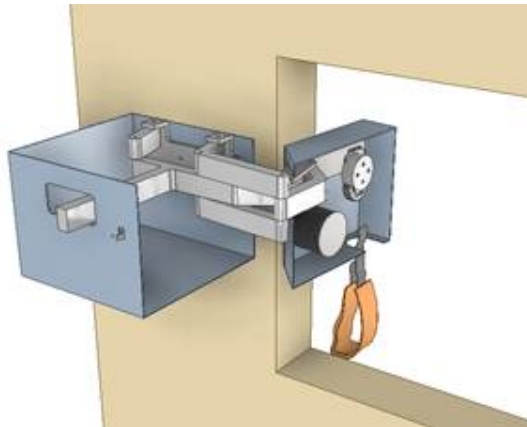


Fig. 18 Image of final CAD modeling

4. 결과 및 토의

Fig. 19는 위에서 진행한 설계를 바탕으로 실제 사이즈로 제작하여 완성된 완강기의 모습이다. 내부 구조를 쉽게 살펴볼 수 있게 외부분의 철판은 제거했다. 제작한 완강기를 통해 링크가 설계한 대로 잘 구동하는지 확인할 수 있다. 상자 밖으로 돌출되어있는 손잡이 링크를 오른쪽으로 당기게 되면 각 링크들의 상호작용에 의해 조속기가 부착된 뚜껑부분이 창밖으로 펼쳐지게 된다. 또한 위에서 언급했던 다른 기능들도 정상적으로 잘 작동되는지 확인할 수 있다.



Fig. 19 Final product

기존 완강기는 벽에 설치되어 있는 완강기 지지대를 창밖으로 펼쳐 고정시킨 후 완강기 상자에서 조속기, 연결고리 등을 꺼내 펼쳐진 지지대와 조속기를 나사 방식으로 된 연결고리를 사용하여 고정시킨 후 벨트를 매고 탈출할 수 있다. 이렇게 여러 단계를 거치는 기존 완강기에 비해 윈터치 완강기는 손잡이를 잡아당기면 벨트를 매고 탈출이 가능하다. 윈터치 완강기의 지지대는 추가 설치를 필요로 하는 기존의 완강기와 달리 링크기구를 통한 운동학적 전이에 따라 한 번의 동작으로 작동된다. Fig. 20은 실제 완강기의 운동을 나타낸 사진이다. 완강기는 (a), (b), (c) 과정으로 운동한다.

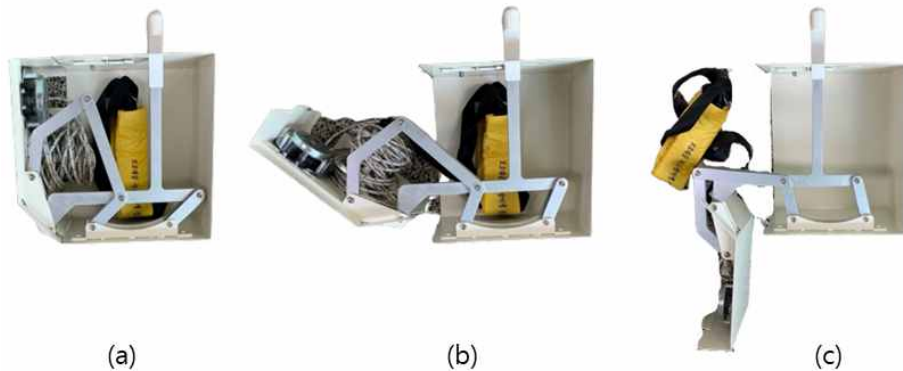


Fig. 20 Motion of final product

제작과정에서 기존 완강기 지지대 제작비용보다 공정 비용이 상승할 것으로 예상되나 절곡, 주조 등으로 만들어는 링크구조는 대량생산 시 공정 비용을 줄일 수 있다. 완강기는 생명을 구하는 피난기구이므로 경제적 측면보다는 기능을 더욱 중시하여 설계되어야 한다. 따라서 어느 정도 제작비용의 증가를 감수하더라도 기존의 문제점을 해결하는 것이 우선이다. 단점이라면, 윈터치 완강기는 상자 뚜껑이 180° 펼쳐지는 구조이기 때문에 창문과 수평인 벽에만 설치가 가능하다. 하지만 완강기 지지대의 링크구조를 변경하면 창문과 수직인 벽에도 설치가 가능하므로 새로운 링크구조를 고안하는 방법으로 충분히 해결할 수 있는 문제이다. 윈터치 완강기는 언급한 문제점을 모두 해결하는 방향으로 설계해 사용 절차가 간단하고, 직관적이며, 사용시간을 획기적으로 줄인 점이 가장 큰 장점이다. 윈터치 완강기는 기존 완강기가 가진 문제점을 모두 해결한 개선된 모델이므로 상용화가 필수적이다. 완강기가 상용화 되어 bilu-in으로 제작된다면 공간차지를 줄일 수 있다.

4. 결 론

완강기는 고층 건물에 화재 발생시, 유일한 자력대피 수단이다. 완강기는 소방법에 의거하여 대부분 건물에 설치되어 있지만 실제로 사용되는 사례가 적다. 기존 완강기의 가장 큰 문제점은 분리된 구조이다. 분리된 구조가 사용 시 추가 설치를 요구하고 이 과정이 복잡하여 설명서 또는 교육이 필요하다. 따라서 완강기의 분리된 구조를 하나로 합치고 직관적으로 설치되는 일체형 윈터치 완강기를 만드는 것이 본 논문의 가장 큰 핵심이다. 완강기 지지대는 사용 시 창밖으로 펼쳐져야 하므로 지지대의 링크는 평행 이동을 담당하는 4절 링크와 회전 운동을 담당하는 4절 링크가 서로 엇갈려서 결합 되어있는 형태로 설계했다. 원하는 기구를 설계하기 위해서 기구 설계 3단계 절차를 따랐다. 첫번째 형태 합성 단계에서 여러 종류의 기구 중 링크기구를 채택했다. 두번째 수 합성 단계에서 쿠츠바흐 판별식을 통해 필요한 링크와 대우의 수를 결정한다. 하나의 입력(윈터치)으로 완강기가 창밖으로 펼쳐져야 하기 때문에 운동성이 1인 기구를 설계해야 한다. 평행운동과 회전운동을 동시에 할 수 있으며 운동성이 1인 링크 구조는 링크 6개 대우 7개를 사용해야 함을 판별식을 통해 계산했다. 각 링크의 구체적인 치수를 결정하는데 NX 11.0을 통해 링크의 길이와 각도를 변화시키며 적합한 치수를 결정했다. 완강기의 지지대는 5000N의 하중을 견딜 수 있어야 한다는 소방법을 준수하기 위해서 기계 설계를 진행했다. 먼저 지지대의 재료는 완강기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 의하여 일반 구조용 압연 강재를 사용해야 한다. 그 중 시장에서 가장 대표적으로 사용되는 재료인 SS275를 사용하는 것으로 결정했다. SS275의 항복강도는 275MPa 이므로 5000N이 가해져도 지지대가 받는 응력이 275MPa을 넘지 않도록 링크의 단면 형상을 결정했다. 기계 설계를 위한 모델링과 응력 해석은 NX 11.0, ABAQUS 6.14 프로그램을 통해 수행했다. 응력 해석을 통하여 적합한 단면 2차 모멘트 값을 찾았고, 중공 각형 보에 그 단면 2차 모멘트 값을 적용하여 설계한 후 해석을 통해 안정성을 한번 더 검증했다. 윈터치 완강기는 언급한 문제점을 모두 해결하는 방향으로 설계 됐기 때문에 사용 절차가 간단하고, 직관적이며, 설치 시간 또한 획기적으로 줄인 점이 가장 큰 장점이다. 이러한 이유로 화재상황 시 대피/생존률을 높이기 위해서 윈터치 완강기의 상용화가 필수적이다. 윈터치 완강기는 실제 사용을 염두에 두고 설계되어 앵커볼트를 이용해서 완강기를 벽에 부착하면 바로 사용할 수 있다. 또한 사용 방법이 매우 단순하므로 큰 화재가 발생했을 때 기존보다 대피시간을 대폭 줄여 생존율을 높일 수 있을 것으로 예상된다. 또한 간단한 사용 방법으로 인해 더 이상 사전 교육이 필요 없어진다. 본 윈터치 완강기가 실제 화재현장에서 활용되어 사람들의 신속한 대피에 도움이 되길 기대한다.

참고문헌

- (1) J. W. Sin, H. R. Kim, Y. J. Park, H. P. Lee and K. A. Moon, 2010, "A Study on the Statistical Analysis of Fire Patterns in Seoul Metropolitan Region", Proceedings of 2010 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 424-428.
- (2) L. S. Bae, 2016, "Efficiency Evaluation of Evacuation Equipments in the Neighborhood Facilities-focused on Descending Lifeline and Elevating Equipment for Evacuation", Master's Thesis, Pukyong National University, pp. 1,9.
- (3) Enforcement Decree of the Act on the Establishment, Maintenance, and Safety Management of Fire Prevention Facilities
- (4) Wonjoo Lee and Chang-Seop Lee, 2018, "A Survey Study on the Learner's Recognition about the Descending Life Lines for the Fire Emergency Escaping Purpose", Vol. 32, No. 2, pp. 80
- (5) 박승욱, 2003, 특허출원 제20-0327556, the Korean Intellectual Property Office
- (6) 김승, 2003, 특허출원 제10-0434919, the Korean Intellectual Property Office
- (7) John J. Uicker, 2010, "THEORY OF MACHINES AND MECHANISMS", ITC, pp.12, 63, 406

- (8) 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률(국민안전처고시 제2015-1호), 제36조제5항, 제 16조(지
지대의 구조)
- (9) JOHN J. UICKER, 2012, "Theory of Machines and Mechanisms 4/e", Vol.4 ,ITC, pp.94
- (10) 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률(국민안전처고시 제2015-1호), 제36조제5항, 제 18조(재
료)
- (11) KS D 3503, "Rolled steels for general structure"
- (12) MISUMI, "스트리퍼 볼트 규격", <https://kr.misumi-ec.com>, 2019.09.19