

대한기계학회 주최

제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

설 계 제 안 서

참가부	고등부 (0) / 대학부 ()				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (0)				
참가팀명	Ergonomics				
설계제목	Soft exosuit 의 최적화 설계 및 인체 쾌적성 평가				
지도교수/교사	(소속)Fayston Preparatory School (성명) 송 슨				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	서승범	Fayston Preparatory School			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	서승범	Fayston Preparatory School / 10학년	
2	서지예	Fayston Preparatory School / 9학년	
3			
4			

설계 프로젝트의 이력 체크사항

NO	성명	확인
1	본 설계로 교외에서 입상한 이력이 있습니까?	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
2	입상내역을 기술해 주십시오. (해당하는 경우)	출품작명: 대회명: 수상내역:

설계 제안서 요약본

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (0)
참가팀명	Ergonomics
설계제목	Soft exosuit 의 최적화 설계 및 인체 쾌적성 평가
대표자명	서승범

요약서

1. 연구배경: 쿠팡직원들의 과로사와 Covid19 으로 온라인쇼핑으로 인한 택배기사, 배달의 증가로 인해 운반자들의 과로가 문제시 되고 있다. 여름철 농촌에서의 열악한 작업환경개선, 고령자증가에 따른 고령 노동자들의 업무환경개선을 위해서 근력증강시스템을 갖춘 Soft exosuit 개발이 필요하다고 생각되었다.

2. 설계 목적: 현재까지 개발된 근력증강 시스템은 기계적 장치에 의한 제품이 주를 이루며 가반하중 및 작동속도에 대해 연구가 집중되어 있으며, 크고 무거운 기계적 장치의 고장 및 오작동에 의한 착용자의 부상이 발생하는 문제점이 크다. 따라서, 작업현장 및 일상생활에서의 근력보조를 위해 유연하게 동작할 수 있는 착탈 편의성이 우수하며 신뢰성, 안전성, 성능 및 인체친화성을 고려한 소프트 슈트 디자인의 개발이 필요하다. 활동부위와 작업영역에 적합한 시스템을 개발하여 작업효율 향상 및 피로도 감소 효과가 우수한 Soft Exosuit 제품디자인 개발이 필요하고, 노동으로부터 발생하는 문제점을 개선하고자 한다.

3.설계 계획 및 결과

1) 현 근력보강용 Soft exosuit 구동 메커니즘 조사 및 분석
 - 구동 시스템내 세부 유닛별 조사, 현 제품의 구동 메커니즘 장.단점 조사 및 분석

2) 택배기사들의 작업환경불편함 개선을 위해서 신체 어느 부위의 개선을 원하는지를 알기위해 설문조사를 진행

: 현재 작업복의 만족도에 대해서는 약간 불만족한다.(35.29% 매우 불만족 한다(47.06%)의 의견이 많이 불만족의 의견이 전체의 82.35%를 나타내었다. 개선을 원하는 부위는 몸통, 허반신이였고, 가장 개선하고 싶은 부위는 몸통(17.65%),< 팔, 손(29.41%),< 허반신(52.94%)순서로 허반신이 가장 높게 나타났다.

3)1차, 2차 제작을 통해 문제점을 개선하고 사용성 평가를 진행

:심미성이 33.3% 향상되고, 효율성과 조작성이 46.7%, 적합성도 40% 개선되었다. 서술한 평가

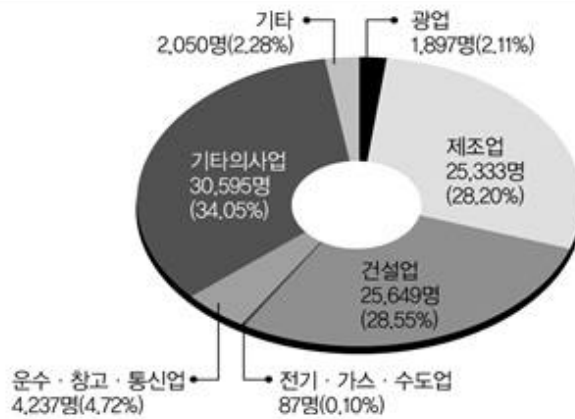


로는 부상의 위험이 적어질 것 같고, 허리부상에 특히 효율적이고, 무릎관절부상등에도 효율적이고 조작성의 장점이 있어 긍정적이 평가를 나타냈다. 또, 무거운 무게를 들수록 높은 만족도를 나타내었다.

설계 제안서

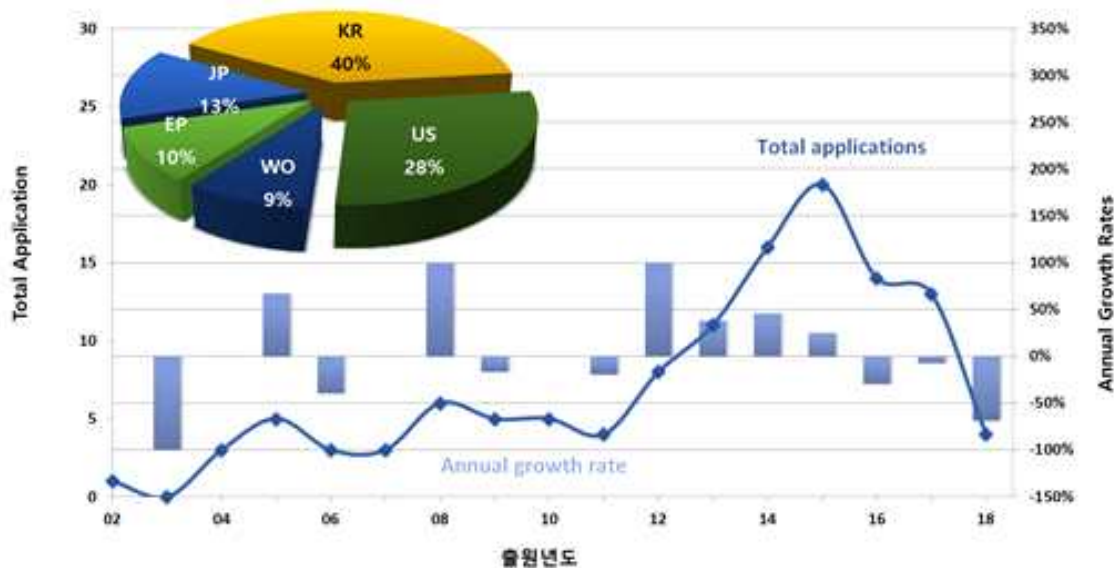
1. 설계의 총체적 목적

얼마 전 쿠팡택배직원들의 과로사문제는 COVID-19 시대의 비대면 물건구입, 편의성으로 인해 점점 늘어나는 온라인 쇼핑으로 택배기사들의 과로문제는 일반 소비자에게 큰 과제로 다가왔다. 또, 기후변화에 따라 더운 여름날이 점점 길어지고 있다. 기후문제, 과로, 업무 위험에 대한 문제로 인해 건설업, 제조업, 농촌에서 일하시는 분들의 노동에 대한 피로도 감소가 절실하다. 최근 고령화 사회로 인해 일하시는 고령자 분들이 늘어나고 있다. 25년에는 고령화 지수가 20.3%에 이르고, 안전보건공단의 2017년도 산업재해분석 결과, 전체 산업재해 발생 건 중 28.50%가 건설업, 28.20%는 제조업이라고 조사되었다. 한 해 산업재해로 인한 경제적 손실은 약 22조 원으로 추정되며, 근로손실일수는 약 4700만 일로 연간 단위로 환산 시 12만 9000년이라고 한다. 산업현장 작업자 및 고령자를 대상으로 활동부위와 작업영역에 적합한 근력보강용 스마트 의복 구동 시스템을 설계하여 작업효율 향상 및 피로도 감소 효과로 주위의 산업인력에게 꼭 필요한 연구라고 생각된다.

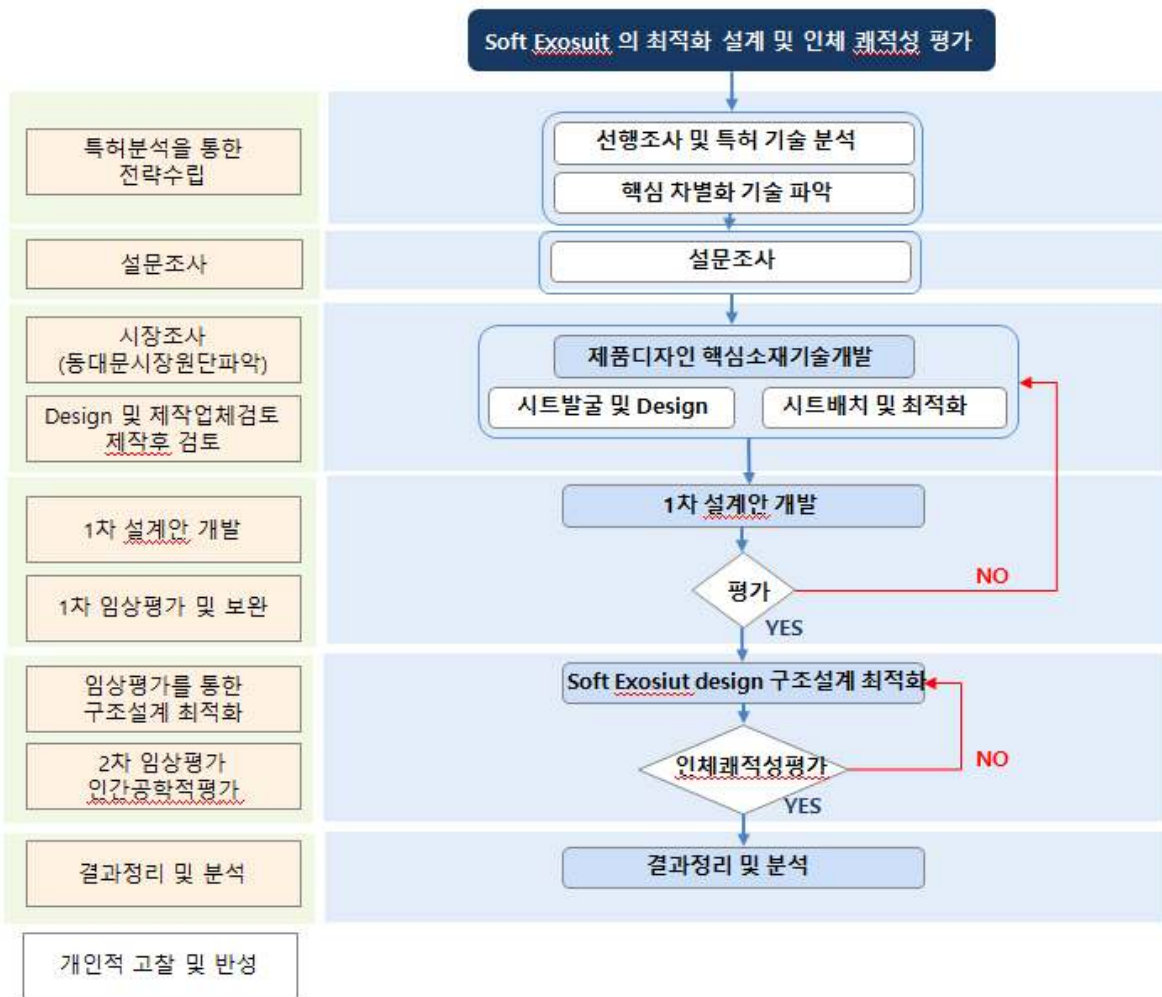


[그림 1] 2017년 산업별 산업재해 현황 분포도(출처:안전보건공단)

연도별 전체 특허 동향



[그림 2] 연도별 관련특허 출원현황



[그림 3] 연구 프로세스

2. 설계주제의 선정 및 타당성

(1) 특허분석 결과

국가간 출원비중을 살펴보면, 한국, 미국, 일본 및 유럽 순으로 나타났다.

과제 기술의 세부기술은 공압기술, 세미하드프레임, 압박기술, 제어기술 및 하이브리드 기술로 분류되어 있었다. 제어기술, 압박기술, 하이브리드 관련기술은 전세계적으로 출원되고 있는 것으로 보였다.

특히, 2010년 이후 출원이 모두 급증하였으며 특히 제어기술이 2010년 이후 도드라지게 증가된 경향을 보였다. 엑소슈트 관련시장의 시장점유율을 살펴보면, 추후 관련시장이 최적의 시장 경쟁 상태로 발전될 가능성이 높은 것으로 보인다.

본 연구에서는 기출원 특허분석을 통해서, 연구내용의 차별화와 변리사 자문을 받아 본 내용으로 특허출원을 추가 검토하였다.

(2) 연구프로세스

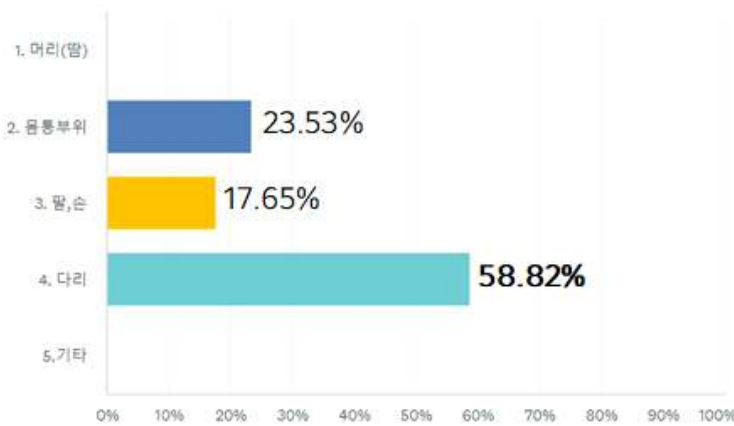
연구는 그림3 에 나타난 프로세스로 진행하였다.

(3) 설문조사

설계를 진행하기 전에, 이전 택배기사들의 작업환경불편함 개선을 위해서 신체 어느 부위의 개선을 원하는지를 알기위해 설문조사를 진행하였다. 설문은 Survey Monkey Program을 통해 조사하고 분석하였다.

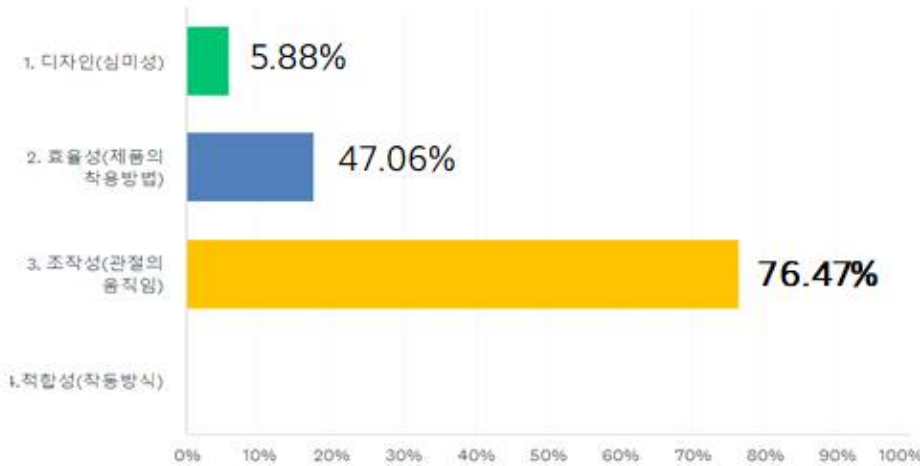
이전 연구결과 택배기사의 업무과중해소를 위한 상하차에 대한 연구(제11회 기계설계대회 연구)가 있었지만, 근본적인 인체 신체구조를 보호하는 보호복 개선이 더 필요하다고 생각되었다. 택배기사나 노동자들의 효율적인 의복을 개선하기 위한 고객조사를 VOC를 통해서 파악하기로 했다.

현재 작업복의 만족도에 대해서는 약간 불만족한다,(35.29% 매우 불만족 한다(47.06%)의 의견이 많이 불만족의 의견이 전체의 82.35%를 나타내었다. 개선을 원하는 부위는 몸통, 허반신이 였고, 가장 개선하고 싶은 부위는 몸통(17.65%),< 팔, 손(29.41%),< 허반신(52.94%)순서로 허반신이 가장 높게 나타났다. 아무래도 계단을 많이 오르 내리거나, 무거운 하중이 아래 부분으로 쏠리기 때문이라고 생각되었다. 팔, 손의 경우 무게에 따라서 손목 등에 무리를 초래할 수 있다고 생각된다. 신체 각 부위에 적절하게 무게가 나뉘지고 받춰 지는 부위가 있다면 더 인체를 보호할 수 있는 장비의 필요성이 예상되었다.



[Q1. 작업하실때 가장 불편한 신체 부위는 어디인가요?(N=17)]

[그림 4] 불편한 신체부위의 조사



[Q2. 제품의 어느 부분의 개선을 원하시나요?(N=17)]

[그림 5] 개선을 원하는 신체부위의 조사

3. 설계내용

(1) 작업 환경 및 동작 조사

- 실내·외 하중물 작업현장관찰(Field observation), 설문조사: 실제 하중물 취급 시 부상 부위 및 빈도 분석실내·외 반복 중량물 취급 작업자 근무유형별로 근무,강도, 주요 중량물 종류, 운반방법 등 조사
 운반하역 표준안전 작업지침에 따르면 작업준비시 맨처음 복장을 점검하는 방식으로 되어 있다. [시행 2020. 1. 16.] [고용노동부고시 제2020-26호, 2020. 1. 16., 일부개정] 그만큼 작업시 의복이 매우 중요하다는 부분을 인식

제4절 작업표준

□ 제29조(작업준비) 준비작업은 다음 작업표준에 준하여 실시하여야 한다.

주요내용	중점사항	유의사항
(1) 복장을 점검한다.	1. 작업복의 소매, 바지자락, 안전화 2. 신호표지, 홀루라기, 장갑	
(2) 적치장소의 정리	1. 넓이를 충분히 한다. 2. 바닥면을 점검한다. 3. 주변의 상태를 확인한다.	1. 지반이 고르지 않을 때는 깔판을 준비한다.
(3) 받침대를 준비한다.	1. 규격품	
(4) 중량을 목측한다.	1. 목측치에 20퍼센트 가산을 한다.	1. 중량표에 기재된 물체는 중량표를 이용한다. 2. 크레인의 정격하중을 초과하지 않는지 확인한다
(5) 운반경로를 결정한다.	1. 유해물이 없는가 2. 운반경로상에 근로자가 있지 않은가를 확인한다.	
(6) 와이어로프를 선정한다.	1. 적절한 규격선정이 되어 있는가	1. 안전하중표를 이용한다
(7) 와이어로프를 점검한다.	1. 마모, 변형, 단선은 없는가 2. 후크의 상태는 어떠한가 3. 사물림은 조이고 있는가	1. 불량한 것은 사용하지 않는다. 2. 의심스러운 것은 상세히 조사한다.

[그림 6] 운반하역 표준안전 작업지침 제 29조 (작업준비)

하고, 준수할 수 있도록 하고 있다.

(2) 현 근력보강용 Soft exosuit 구동 메커니즘 조사 및 분석

- 구동 시스템 내 세부 유닛별 조사 및 현 제품의 구동 메커니즘 장·단점 조사 및 분석
본 연구에서는 제작한 의복에 대해서 강도별로 Soft Exosuit 착용자에 대해 효율성과 불만사항등을 조사하였다.

[표 1] 현 Hard exosuit 디자인, 작업 환경 및 특징 실태조사

제품 이미지	제품 이미지	작업환경	특징 및 디자인
LG 클로이 수트봇		실내	<ul style="list-style-type: none"> - 하체를 지지하고 근력을 향상시킴 - 보행을 도움 - 부자연스럽고 불편한 착용감을 개선함 - 하지 측면의 기계적 움직임으로 하체를 지지함
사이버다인 HAL		실내·외	<ul style="list-style-type: none"> - 생체전위 신호를 읽어 의사에 따른 동작을 지원 - 방진, 방수기능 - 중량물 들 때 허리에 걸리는 부하를 저감하여 요통 위험을 줄임
머슬 어퍼		실내	<ul style="list-style-type: none"> - 공기압 방식 인공근육 사용 - 배터리가 없으며 사용시간 제한이 없음 - 비좁은 장소에서도 사용이 가능함

(3) 프로토타입 개발

- 기존의 연구결과에서 불편한 점등을 고려해서 Ideation을 통해서 2차에 걸쳐 제작하였다. 1차는 상반신만 제작하였지만, 무릎부분의 관절 불편성과, 탈부착이 가능한 형태로 2차 제작시 무릎보호대를 추가 제작하였다.

[1차 Design 초안]

상하반신을 다 진행하고 싶었지만, 시간과 제작비용, 그리고 많은 전문지식이 필요로 함에 따라 1차적으로 상반신만 제작진행하기로 하였다. 시제품은, 대한민국 성인 표준사이즈를 기준으로 제작하고, 상반신에서 허리부분은 벨크로로 개인차를 고려한 사이즈로 진행하여 마감하였다.

신축성있는 원단을 통해서, 반복 중량물 취급자들이 작업하기 쉬운 구조로 제작하고, 주관적 착용감, 압박감, 쾌적감등을 고려해서 제작, 임상실험을 통해서 분석하였다.

현재, 최적 소재검토중이며, 제작업체를 섭외중이다. 임상실험을 위해서는 최소2~3개의 제품이 필요하기 때문에, 소재검토와 Design 초안을 좀더 신중하게 검토하여 제작비용 절감을 하기로 했다.

- 임상실험 Volunteer의 경우 표준체격 피험자: BMI (Body Mass Index)표준형, 연령 20~40세, 남자로 제한하여 데이터의 신뢰도를 높이기로 하였다.

*Size: 20~24세 기준, 키: 174.6, 가슴둘레: 99.6, 허리둘레:81.8

[뒷모습]



[앞모습]



[뒷모습]



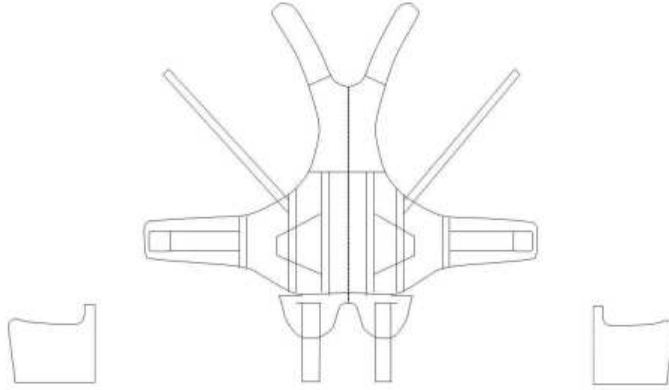
[앞모습]



[그림 7] 1차 Design 초안

[2차 최종 Design]

2차 제작시 무릎부분을 추가로 제작하였다. 제작은 디자인초안과 각 멜빵등의 원단가이드를 짚서 제작했다. 실제 제작하려고 디자인 한 부분은 제작이 너무 어렵고, 원하는 디자인으로 제작하는 것은 비용이 많이 들어 소프트한 천으로 1차 연구를 진행하고, 2차 연구시에 기구적인 부분 제작을 추가로 진행하였다.



(4) 주관적 착용감, 압박감, 쾌적감 등 임상 및 종합적 평가

제품의 심미성, 효율성, 조작성, 적합성에 대해서 각각 평가지표를 통해서 설문지를 통해서 평가하였다. 피험자는 3명으로 진행하고 평균하여 결과를 분석하였다.

평가 지표	평가 요소	평가 문항	점수
심미성	제품의 디자인	제품의 전체적인 디자인은 사용하기에 적합한 디자인인가?	4.25
효율성	제품의 착용 방법	제품의 착용 방법은 사용자의 몸통에 적용하기에 효율적인 방법인가?	4.42
조작성	관절의 움직임	관절의 움직임은 적용해 걷고 들기에 만족스러운 움직임을 가지고 있는가?	4.75
적합성	제품의 작동 방식	제품의 구동 방식은 물건을 들고 나르기에 적합한 방식인가?	4.58

: Liket 5점 척도(매우 좋음:5, 좋음:4, 보통:3, 나쁨:2, 매우 나쁨:1)

4. 설계 결과물

(1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

2차 최종 제작품의 사진을 첨부한다. 무릎을 통해서 당겨주면서 허리보호가 강화되고, 관절을 보호할 수 있어서 작업의 조작성을 통해 만족도를 향상 시켰다. 작업자의 작업환경을 고려하여 근력보강효과를 극대화 할 수 있도록 근육 부위별 포인트를 설정하여 절개선 위치를 선정하였다.

(2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

심미성이 33.3% 향상되고, 효율성과 조작성이 46.7%, 적합성도 40% 개선되었다. 서술한 평가로는 부상의 위험이 적어질 것 같고, 허리부상에 특히 효율적이고, 무릎관절부상등에도 효율적이고 조작성의 장점이 있어 긍정적인 평가를 나타냈다. 또, 무거운 무게를 들수록 만족도가 높았다. 허리부분 탈부착을 통해서 원하는 부위사용이 가능하게 제작하였고, 키나 몸무게를 고려하여 벨크로로 자유롭게 사이즈 변동이 가능하게 하였다.

이번 출품에 제작은 어려웠지만, 특히 출원시에는 센서등의 부착을 통한 무게를 잴수 있거나, 부하가 커질 때 주의를 주는등 편의성을 청구항으로 넣어서 좀더 차별화 하는 방법을 고민하였다.

단, 기구 제작후 관절각도·운동가동범위 평가 및 실내 또는 실외 하중물 동작 시 3차원 모션캡처 측정등이 필요할 것 같다. 추후 연구시에는 관련 연구기관의 장비사용 협조 및 기구 제작시 수준 높은 기구제작시의 비용 및 전문가의 자문 등이 필요할 것 같다.

착용전 (Before)/ 착용후 (After) 각 1회씩 응답

1. 심미성: 제품의 디자인
제품의 전체적인 디자인은 사용하기에 적합한 디자인인가?

매우적합하지 않다	적합하지 않다	보통이다	적합하다	매우 적합하다
1	2	3	4	5

2. 효율성: 제품의 착용방법
제품의 착용방법은 사용자의 몸통에 적용하기에 효율적인 방법인가?

매우효율적이지 않다	효율적이지 않다	보통이다	효율적이다	매우 효율적이다
1	2	3	4	5

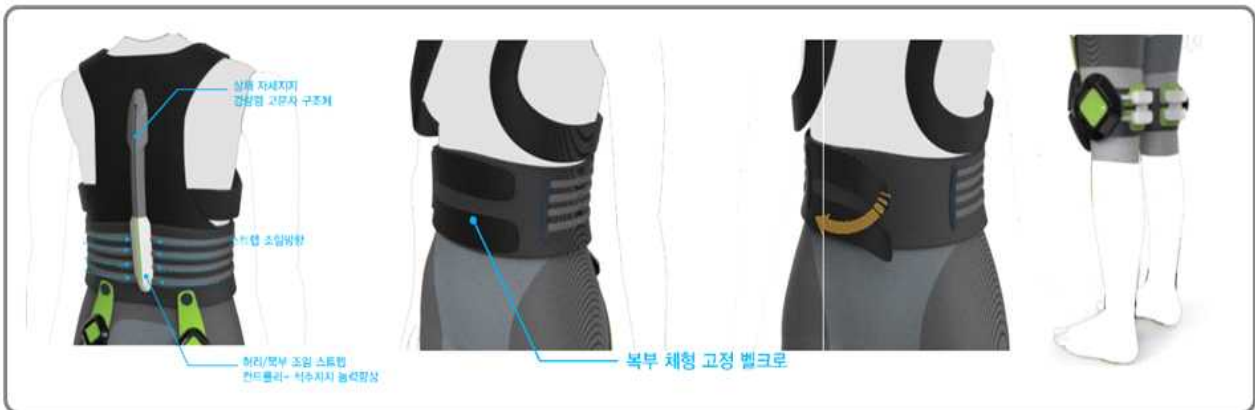
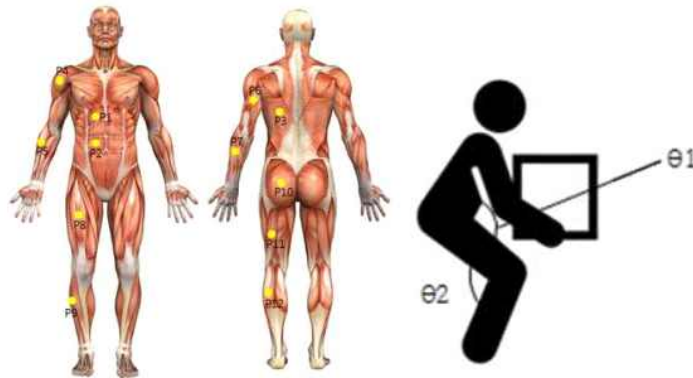
3. 조작성: 관절의 움직임
관절의 움직임은 적용해 견고 들기에 만족스러운 움직임을 가지고 있는가?

매우만족 하지 않는다	만족 하지 않는다	보통이다	만족한다	매우 만족한다
1	2	3	4	5

4. 적합성: 제품의 작동방식
제품의 구동장식은 물건을 들고 나르기에 적합한 방식인가?

매우 적합하지 않다	적합하지 않다	보통이다	적합하다	매우 적합하다
1	2	3	4	5

[그림8] 착용전후 사용성 평가 설문



[그림9] 설계디자인



[그림10] 최종설계품 실제 제작품
 왼쪽부터 전체모습, 상반식 (허리 탈부착가능), 하반신 (무릎부위 및 길이조절부위)



[그림11] 최종제작품을 통한 사용성 평가

5. 활용방안 및 기대효과

1) 산업재해로 인한 경제적 손실의 증가

안전보건공단의 2017년도 산업재해분석 결과, 산업재해로 인한 경제적 손실은 약 22조원으로 추정되고, 전체 산업재해 발생 건 중 50% 이상이 제조업, 건설업 등 중량물 반복작업자를 대상으로 발생함으로써 이를 줄일수 있다.

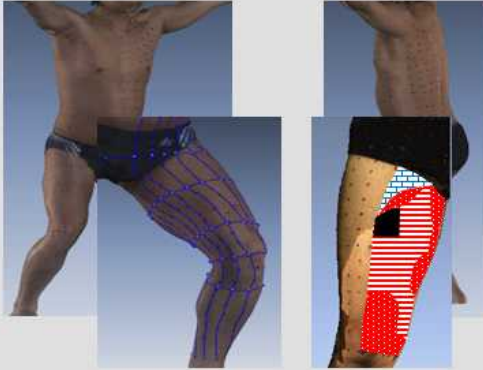
2) 인체착용형 근력향상, 부상방지 기술의 필요

인체 착용형 근력증강 시스템은 근력향상, 부상 및 장애의 위험을 방지할 수 있어 많은 분야에서 수요가 높아지고 있고, 산업현장에서 작업자의 착용에 의한 방식이 접근성이 높으며, 기업의 매출과 노동 효율 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

6. 향후 연구계획

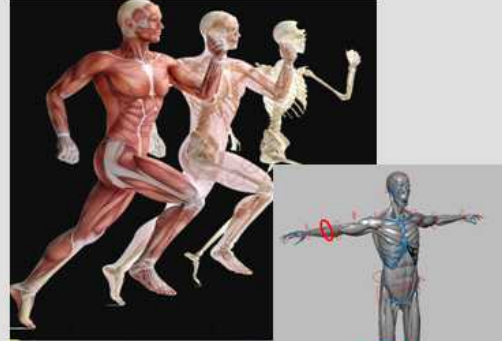
인체 3D 바디맵핑 및 기능적 디자인 전개

피부길이-면적변화 맵핑



절개선 선정시 주 변형선은 피하고 무변형선 중 디자인 컨셉에 맞추어 최적라인을 택함

근활성도-관절가동범위 맵핑



강화근육 선정 활용

하드웨어 및 스트랩 위치 선정시 활용

[그림12] 향후 연구계획
[표2] 연구진행 계획

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월
선행기술 및 특허분석 핵심 차별화기술 분석	■	■				
시트발굴 및 Design			■			
설문조사 (고객요구도 현수준 파악)				■	■	
시트배치 최적화 및 구동제어시스템개발			■	■	■	
1차 평가				■	■	
Soft Exosuit Design 구조설계 최적화					■	■
최종제작품 사용성 평가					■	■
결과 정리 및 분석 최종보고서 작성						■

1차 연구에서 설계한 대로 제작하는데 어려움이 있었고, 인체 바디맵핑 및 기능적 디자인을 진행하는데 좀더 선행연구 및 프로그래밍 설계와 전문가의 도움이 필요하다고 생각되었다. 인체공학적 설계의 중요성이 모든 사람을 만족하게 하려면 많은 실험과 Simulation이 진행되고, 근력테스트 및 임상실험도 많은 사람을 대상으로 해야 한다고 생각된다. 2차 연구 진행시에 좀더 계획적으로 연구하여 설계하고자 한다.

<참고문헌>

- (1) 통계청, 장애인구특별추계 : 2017~2060년, 통계청 보도자료, pp. 12~ 18
- (2) 건강보험심사평가원, 생활 속 질병통계 100선, GOOOFJ1-2018-20, pp. 66
- (3) 김성희, 2014 장애인 실태조사, 보건복지부 정책보고서(2014-73), pp. 262~275. 2014.
- (4) Knobbe Martens, Cyberdyne Bringing HAL Cyborg Exoskeleton to US Market, 2018
- (5) Conor James Walsh, Kenneth Pasch, ScD, PE, Hugh Herr, 2006, “An autonomous, underactuated exoskeleton for load carrying augmentation” ,pp.1-6
- (6) Asbeck, A.T. Dyer ,Larsson A.F, Walsh C.J, 2013, “Biologically-inspired soft exosuit.”, pp.1-8,24-2