

고중량물 운반을 위한 근력보조장치 개발 및 군 적합성 연구

Development of Muscle-Strength-Assistant Device and Military Suitability for High-Weight Carrying

김형래¹·박장식¹·이경하¹·유재관[†]

Hyeong-Rae Kim¹, Jang-Sik Park¹, Kyeong-Ha Lee¹, Jae-Kwan Ryu[†]

Abstract: In this research, we developed the muscle-strength-assistant device, named as LEXO-W, and conducted suitability test for army when transporting high weights. LEXO-W relieves the burden when carrying heavy weights by distributing the load concentrated on the arms throughout the body. LEXO-W weighs 4 kg and is designed to handle objects weighing up to 55 kg. To verify the effectiveness of the device, object handling tests (high explosive shell, simple assembly bridges, and ammunition boxes) were conducted. Working time, metabolic rate, and electromyogram (EMG) signals were measured in each test. As a result, it was confirmed that the working time, metabolic rate and EMG signal before and after wearing LEXO-W were decreased. This research has great significance in that it verified the performance of the wearable device from the perspective of military operation.

Keywords: Wearable Device, Exoskeleton, Mechanical Design, Electromyography, Metabolic

1. 서 론

최근 다양한 분야에서 사람 대신 로봇을 활용하고자 하는 시도가 많아지고 있다. 하지만 여전히 많은 현장에서는 작업의 유연성, 숙련도 등의 문제로 인하여 로봇의 도입이 더디며, 작업자의 30%는 전체 작업시간 중 적어도 1/4 동안 무거운 물건을 운반하는 일을 하고 있다^[1]. 이러한 작업들 중 고중량물을 반복적으로 옮기는 작업은 근골격계 질환의 원인이 된다^[2]. 이를 극복하기 위해 착용형 근력증강시스템으로 사람의 근력을 보조하여 근골격계 질환을 예방과 작업효율을 향상시키고자 하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다^[3-5].

착용형 근력증강 시스템은 크게 passive type의 근력보조장치와 active type의 근력증강로봇으로 나뉜다. 근력보조장치는 별도의 구동기나 센서 없이 근력보조장치의 구조, 탄성체 등을 이용하여 착용자의 근력을 보조하는 시스템을 말한다. 근력증강로봇은 센서를 사용하여 사람의 동작 의도 파악과 구동기를

이용하여 근력보조를 위한 동력을 생성한다.

Passive type의 근력보조장치에 관련한 연구들로는, artificial tendon을 사용하여 보행 시 착용자를 보조하는 연구^[6], 열 반응에 따른 passive 외골격의 영향에 관한 연구^[7], passive back 외골격 착용 후 자동차 조립 작업 시 근력보조장치가 작업자에 미치는 영향에 관한 연구^[8] 등이 있다.

Active type의 근력증강로봇은 사람의 동작 의도를 빠르고 정확하게 파악하고 적절하게 사람의 행동을 보조해야 하기 때문에 passive type의 근력보조장치에 비해 더 도전적인 연구 주제이다. 사람의 동작의도를 추정하기 위해 근전도 센서를 이용하여 신호를 측정하거나^[9], 로봇과 사람 사이의 F/T 센서로 착용자의 동작 의도가 담긴 힘을 측정하는 방법^[10]들이 주로 사용된다. 착용자의 동작의도를 추정한 후 전기모터, 유압 액추에이터, 공압 액추에이터 등을 활용하여 로봇 제어 알고리즘에 따라 동작 의도에 맞는 적절한 근력보조를 수행한다^[11-12].

국방 분야에서는 미래 전투작전 뿐만 아니라 야전 및 군수 지원부대에서 탄약, 교량, 보급품과 같은 중량물을 반복적으로, 장시간 취급함에 따라 착용형 근력증강 시스템에 대한 필요성이 제기되고 있다. 작전지속지원분야에 근력증강 시스템을 도입하기 위해서는 작업환경을 고려한 전술시험, 사용자의 착용성 등 다양한 방면에서의 검증이 필요하다^[13].

Received : Mar. 24. 2022; Revised : Apr. 19. 2022; Accepted : Apr. 20. 2022

1. Research Engineer, Unmanned/Intelligent robotic systems R&D, LIG Nex1, Seongnam, Korea (hyeongrae.kim93, jangsik.park, kyeongha.lee@lignex1.com)

† Research Fellow, Corresponding author: Unmanned/Intelligent robotic systems R&D, LIG Nex1, Seongnam, Korea (jaekwan.ryu@lignex1.com)

본 연구에서는 고중량물 작업을 위한 착용형 근력보조장치(LEXO-W)를 개발하였다. LEXO-W는 와이어를 이용해서 전방에 있는 부하 중량물을 다룰 때 팔에 집중되는 부하를 몸으로 분산시키고, 장치 버튼을 조작하여 와이어 길이 조절이 가능하여 중량물의 위치에 관계없이 작업을 수행할 수 있다. 또한, 목적 대상물에 맞는 보조장치 제작과 체결 인터페이스를 적용하여 작업에 필요한 다양한 보조장치를 쉽게 연동할 수 있다. 등판 프레임에 CFRP를 사용하여 4 kg 내/외로 가벼우면서 최대 55 kg의 중량물을 들어올리거나 운반할 수 있다.

LEXO-W의 근력보조 효과와 작업효율 개선 효과를 확인하기 위하여 군과 협조하여 포탄 운반, 간편조립교 운반, 탄약박스 운반 등 실제 군에서 수행되는 모의 작업 환경을 구성하고 군인들을 대상으로 개발된 근력보조장치의 성능시험을 수행하였다. 포탄 운반 작업과 간편조립교 운반 작업에서는 착용 전/후에 대한 소요시간과 신진 대사량을 비교하였고, 탄약박스 운반작업에서는 착용 전/후에 대한 근전도 신호를 비교하였다.

결과적으로, LEXO-W 착용 전과 착용 후 작업시간, 신진 대사량, 근전도 신호 크기가 모두 감소하여 근력보조 및 작업효율 개선에 대한 효과가 있음을 확인하였다. 본 시험은 근력보조장치의 성능을 군 운용관점에서 시험하였다는 것에 큰 의미를 가진다.

2. 근력보조장치 LEXO-W 설계

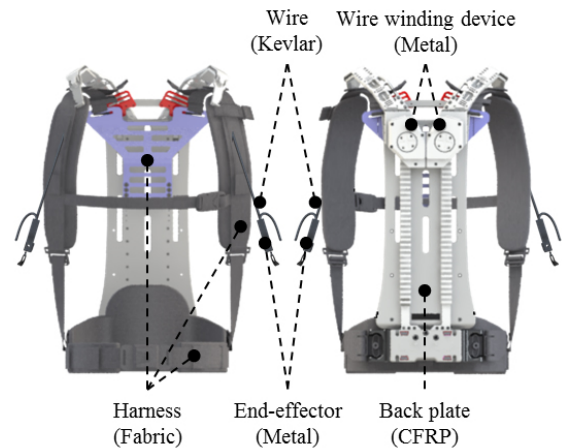
근력보조장치는 근력보조 효과와 작업효율 개선 효과를 위해 경량화, 구조 강건성, 사용 편의성 등이 고려되어야 한다. 근력보조장치는 자유롭게 입고 벗을 수 있지만 편해진 임무를 수행하는 동안에는 항상 착용이 필요하여 시스템이 가벼울수록 이점이 있다. 장치의 경량화가 높을수록 착용성과 활동성이 증가되지만 고중량물 운반 작업을 위해서는 시스템의 강건성도 확보되어야 한다. 근력보조장치는 의도인식이나 동력원이 적용 되어있지 않기 때문에 착용자가 수동 조작하여 장비를 운용해야 한다. 처음 사용하거나 장비에 숙련되지 않은 인원도 쉽게 사용 가능하도록 직관적인 설계가 필요하다. 사용 편의성을 향상시키기 위해서는 기존 운반작업 수행 과정에 크게 벗어나지 않도록 하는 것이 중요하다.

이러한 설계 목표를 바탕으로, LEXO-W는 인체에 주는 부담을 최소화하고 운용성을 고려하여 4 kg 으로 설계되었다. 강건성 확보를 위해 목표하는 Payload에 2배 이상의 안전율을 적용하였으며, 운용편의성을 위해 장치를 운용하는 버튼을 최소화하고 직관적으로 버튼을 조작할 수 있도록 설계되었다.

2.1 기구부 설계

LEXO-W의 외골격은 작업 환경에서의 Payload를 고려하여 설계를 진행하였다. 목표하는 군 모의 환경의 경우 최대 55 kg 이상 중량물 운용이 가능하도록 요구된다. LEXO-W의 구조는 [Fig. 1]과 같이 구성되어 있으며, 하네스를 이용하여 장치를 신체에 구속하고 와이어 길이조절 장치와 엔드이펙터 등을 이용하여 중량물의 하중을 등판 플레이트에 분산되도록 설계하였다. [Fig. 2]는 LEXO-W를 착용한 모습으로 전방 중량물을 들었을 때 와이어가 몸에 구속한 장치로 하중을 분산하여 팔에 집중되는 부하를 감소시킬 수 있다.

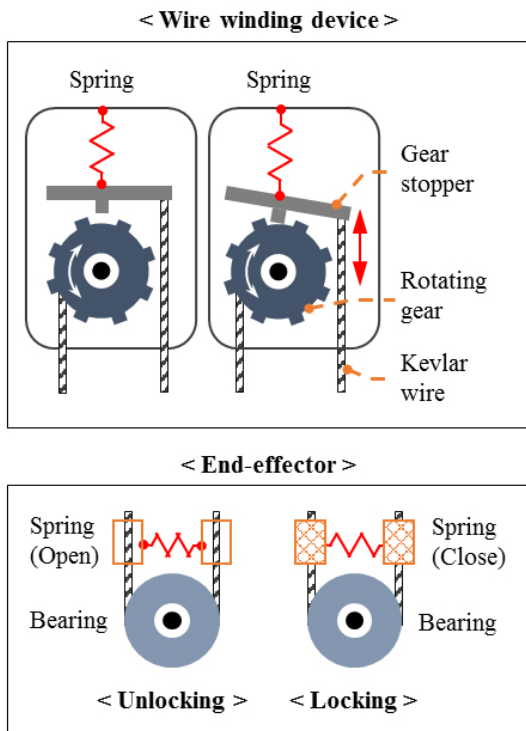
등판 플레이트는 CFRP를 적용하여 경량화와 강건성을 확보하고, 외골격은 중량물의 하중 분산과 허리 굽힘 동작에서 허리가 구속되지 않도록 설계되었다. 와이어는 고중량물을 안전하게 운반할 수 있도록 인장강도가 150 kg 이상인 케블라 소재를 적용하고 와이어 길이조절 장치는 엔드이펙터와 연동되는 풀리 멈춤형 메커니즘을 적용하였다.



[Fig. 1] LEXO-W structure



[Fig. 2] Holding a heavy object with LEXO-W



[Fig. 3] Wire winding device and end-effector mechanism

폴리 멈춤형 와이어 길이조절 장치(이하 와이어 장치로 칭함)는 와이어 길이를 엔드이펙터로 수동 조작하여 길이 조절하도록 설계하였다. [Fig. 3]과 같이 와이어 장치는 와이어를 권취하는 회전 기어와 엔드이펙터의 버튼 조작에 의해 동작하는 기어 스톱퍼로 구성되어 있다. 엔드이펙터는 와이어 길이를 유연하게 조절할 수 있는 롤러 역할을 하며, 슬라이딩 파트는 내부에 스프링이 있어 와이어를 이송방향으로 압착하여 고정한다. 엔드이펙터에서 압착에 의해 와이어가 고정되면 기어 스톱퍼가 회전 기어와 맞물려 길이가 조절되지 않는다. 이 상태에서 길이 조절을 원하는 경우 해제 버튼을 누르고 와이어 권취 방향으로 움직이면 맞물린 기어가 탈출하여 길이 조절이 가능하다.

길이 조절 메커니즘은 조절이 필요한 경우에만 버튼을 누르게 되어있는데 이는 중량물 반복 운반 시 개인이 운반하는 높이는 결정되어 있어 여러 번 조작하지 않고 사용 가능하도록 의도하였다.

3. 효과도 분석

LEXO-W의 효과도를 분석하기 위해 착용 전/후 비교 실험을 진행하였다. 실험은 군 환경과 유사한 모의환경을 구성하였고, Payload, 운반 거리 등 작업 환경을 최대한 모사하여 테스트베드를 구성하였다. 실험에서는 1) 총 소요시간, 2) 근전도

신호, 3) 신진 대사량 세 가지 지표를 측정하여 효과도 분석을 수행하였다.

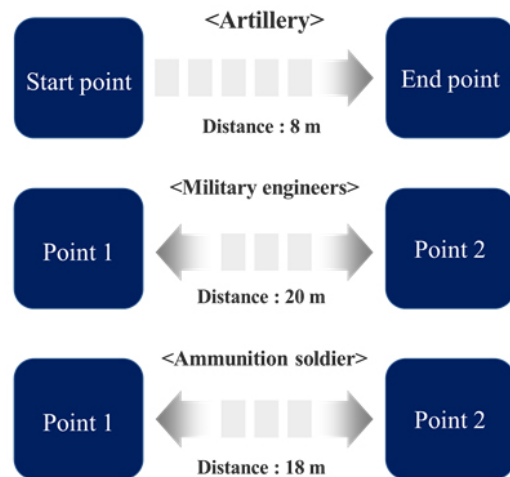
3.1 실험환경 구성

실험은 군의 협조를 받아 [Fig. 4]와 같이 포탄 운반(artillery), 간편조립교 운반(military engineers), 탄약 박스 운반(ammunition soldier) 세 가지 조건으로 구성하고 현역 군인들을 대상으로 진행되었다. 실험은 각각의 다른 장소에서 수행했으나 공통 조건으로 다음과 같이 규정하였다. 1) 그룹 내 1인을 지정하여 착용 전/후 데이터 측정, 2) 적재된 중량물의 위치에 따라 발생하는 거리 편차 무시, 3) 측정은 1일 간격을 두고 착용 전/후를 비교하였다. 또한 모든 실험자는 근력보조장치에 대한 사용 경험이 없고 실험 현장에서 작동 원리, 사용 방법 등을 숙지하였으며 사전에 숙련되지 않은 실험자로 구성되었다.

포탄 운반 시험은 3인 1개조로 55 kg의 포탄을 탄약고에서 K9, K10 자주포로 옮기는 모의 환경을 구성하였다. 운반 거리는 각각 탄약고에서 운반지점까지 편도 8 m 거리를 반복할 수 있도록 구성하였다. 포탄 운반 시험은 1개조에 속한 3인에 대하여 LEXO-W 착용/전 후 포탄 운반 작업 시험을 진행하였으며 착용 전과 후 각각 1회씩 수행되었다. 3인 중 1인에 대해 신진 대사량을 측정하였다.

간편조립교 운반 시험은 4인 1개조로 약 200 kg 간편조립교를 편도 10 m 거리를 14회 운반하도록 구성하였다. 간편조립교 운반 시험은 1개조에 속한 4인에 대하여 LEXO-W 착용/전 후 포탄 운반 작업 시험을 진행하였으며 착용 전과 후 각각 2회씩 수행되었다. 4인 중 1인에 대해 신진 대사량을 측정하였다.

탄약박스 운반시험은 1인이 33 kg 탄약박스를 왕복 18 m 거리를 5분동안 운반할 수 있는 최대 횟수만큼 반복하도록 구성하였다.



[Fig. 4] Three types of experimental environment



[Fig. 5] EMG sensor attachment position

3.2 측정장비 소개

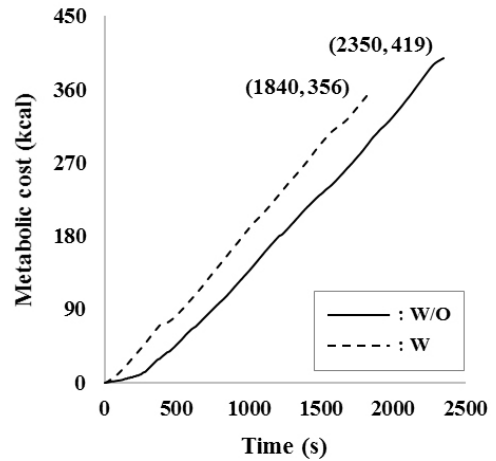
본 실험에서는 앞서 근전도 신호와 신진 대사량을 측정하기 위하여 DELSYS사 Trigno EMG system과 COSMED사 K5를 사용하였다. 근전도 센서는 [Fig. 5]의 그림과 같이 피실험자의 이두근(Musculus biceps)과 전완근(Antebrachial muscles)에 부착하여 착용 전/후 데이터를 비교하였다. 중량물 운반 시 이두근과 전완근을 가장 많이 사용하기 때문에 두 부위에 한정하여 측정하였다. 또한, LEXO-W는 운반 시 팔에 집중되는 부하를 몸으로 분산시키는데 착용 전/후에 대해서 효과를 비교하기 위함이다.

신진 대사량 데이터 획득을 위한 K5 장비는 LEXO-W와 동시 착용하여 측정을 수행하였다. 각각의 측정 데이터는 각 장비사에서 제공하는 프로그램을 이용하여 데이터 분석을 수행하였다.

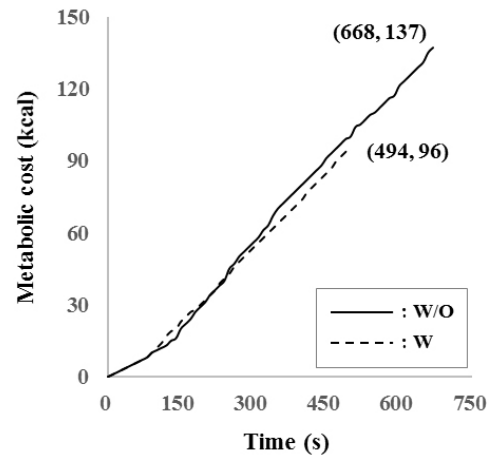
3.3 데이터 분석

[Fig. 6]는 포탄, 간편조립교 운반환경에서의 결과 데이터이며, [Fig. 7]은 탄약박스 운반환경에서의 결과 데이터를 나타낸다. 포탄, 간편조립교 운반환경에서는 총 소요시간과 신진 대사량 측정과 탄약박스 운반환경에서는 근전도 신호를 측정하였다. 데이터 분석 결과에서는 착용 전은 W/O, 착용 후는 W로 표기하였다.

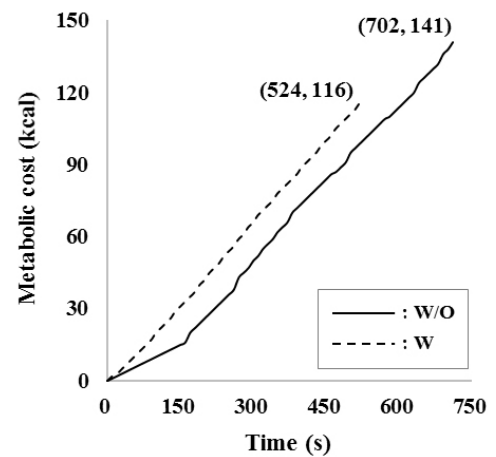
포탄, 간편조립교 운반환경에서 결과 데이터를 비교 분석하면 착용 전보다 착용 후 총 소요시간이 감소한다. 신진 대사량은 총 소요시간이 짧을수록 결과값도 감소함을 알 수 있다.



(a) artillery test



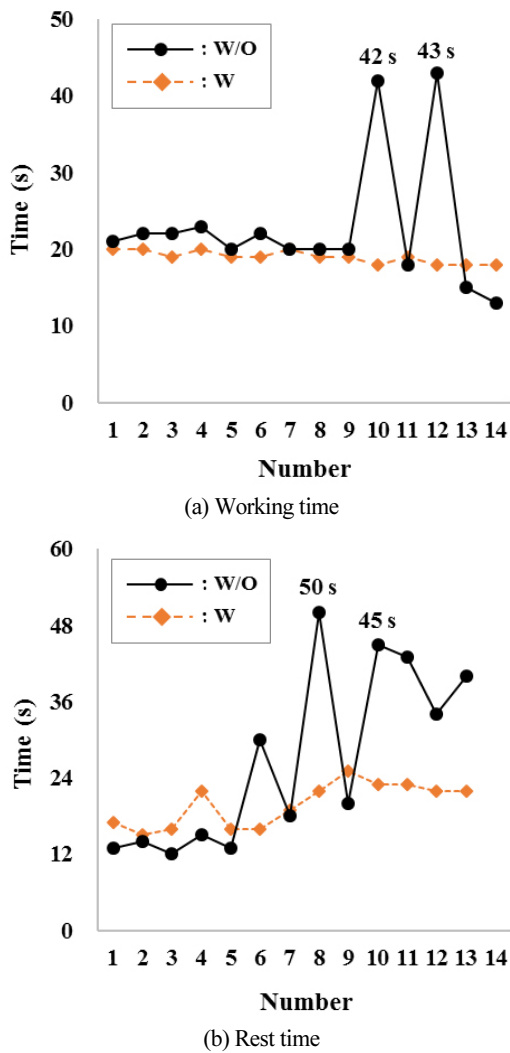
(b) First test of military engineer



(c) Second test of military engineer

[Fig. 6] Experimental results for tests of artillery and military engineer

(a), (c) 그래프는 시간에 따른 신진 대사량 기울기 값이 착용 전보다 착용 후가 더 큰 것으로 보인다. 이는 LEXO-W 착용 시 작업 속도 증가로 신진 대사량이 증가한다.



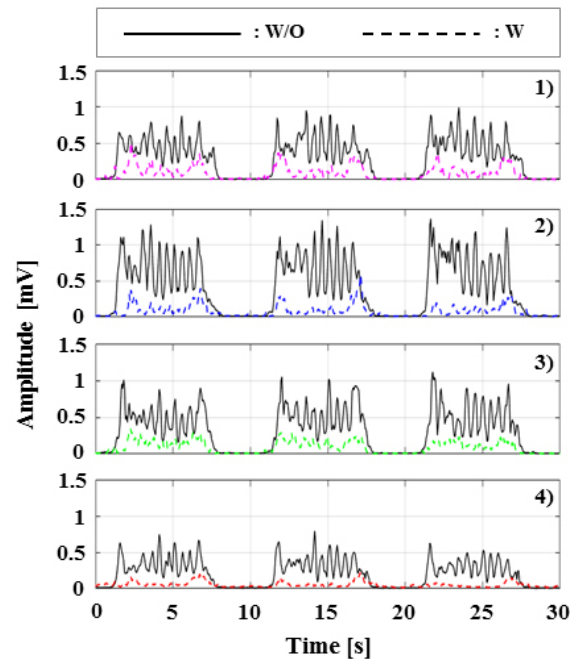
[Fig. 7] Working time (a) and rest time (b) before and after wearing LEXO-W

실험 결과 그래프에서 착용 전/후 기울기 값의 차이는 동일한 작업량에 대해서 얼마나 안정적으로 운반할 수 있는지에 대한 차이를 볼 수 있다. [Fig. 7]은 [Fig. 6]의 (b) 그래프에 해당하는 작업자의 LEXO-W 착용 전/후 운반 시간과 쉬는 시간을 나타낸다. 착용 후 운반 시간과 쉬는 시간은 매우 안정적임을 볼 수 있으나 착용 전 그래프는 불안정한 추세를 보이며 일부 구간에서는 누적되는 팔 근육의 피로를 회복하기 위해 긴 시간동안 휴식하는 것을 볼 수 있다. 반면 착용하는 경우 운반 시간과 쉬는 시간이 매우 안정적임을 확인할 수 있다.

포탄, 간편조립교 운반 환경에서의 결과 데이터를 종합해 보면 LEXO-W를 착용했을 때 1) 동일 작업량에 대해서 총 소요시간이 적다. 2) 운반 작업을 안정적으로 수행할 수 있다. 3) 신진 대사량 감소로 누적되는 피로가 감소된다는 결론을 도출할 수 있다.

[Table 1] Experimental results for time and metabolic cost of artillery and military engineer test

Test	Time [s]			Metabolic rate [kcal]		
	W/O	W	Adv.	W/O	W	Adv.
artillery	2,350	1,840	510	419	356	63
1 st military engineer	668	494	174	137	96	41
2 nd military engineer	702	524	178	141	116	25



[Fig. 8] EMG graph during ammunition soldier experiment

앞서 측정된 결과를 비교하기 위해 [Table 1]에 정리하여 나타내었다. 포탄 운반환경에서는 착용 전/후 총 소요시간을 비교했을 때 510초 단축과 신진 대사량 63 kcal 감소하여 신진대사율은 약 15%가 감소되었다. 간편조립교 운반환경에서 1차 실험 결과 총 소요시간은 174 s 단축과 신진 대사량 41 kcal 감소하여 신진대사율은 약 30% 감소되었다. 2차 실험에서는 착용 전/후 총 소요시간은 178 s 단축과 신진 대사량 25 kcal 감소하여 신진대사율은 약 18% 감소되었다. 총 소요시간과 신진대사량은 각 운반환경마다 효과는 다르지만 LEXO-W가 운반 작업에 대해 신속한 임무수행과 누적되는 피로 감소 효과가 있음을 확인하였다.

[Fig. 8]은 탄약운반 환경에서의 총 소요시간 중 일부 데이터 구간으로 3회 운반동안 착용 전/후 근력사용량 추세를 보여 준다. 그래프에 나타나듯이 착용 전/후 근력사용이 확연히 감소되었다,

[Table 2] Experimental results for EMG signal of each part

Part	W/O	W	Adv.
Right musculus biceps	0.30 mV	0.09 mV	70%
Left musculus biceps	0.32 mV	0.09 mV	72%
Right antebrachial muscles	0.42 mV	0.08 mV	81%
Left antebrachial muscles	0.21 mV	0.05 mV	76%

LEXO-W 착용 전/후 이두근과 전완근의 측정된 수치를 비교하기 위해 [Table 2]에 나타내었다. 각 부위별로 최소 70%, 최대 81%까지 근력사용이 감소하는 것으로 분석할 수 있다. 해당 수치는 LEXO-W를 착용함으로써 팔의 근력이 증강된다는 의미가 아닌 팔에 집중되는 부하가 해당 수치만큼 감소됨을 의미한다. 더 나아가 착용자의 근력보조장치 의존도에 따라 근력사용량의 부담률을 자체적으로 조절할 수 있으며, 이는 운반작업에서 지속성을 향상시킬 수 있을 것으로 결론을 도출할 수 있다.

4. 결 론

최근 운반 작업이 많은 작업환경 개선과 착용형 근력증강 시스템의 연구개발 활발히 이루어짐에 따라 본 논문에서는 근력보조장치 개발과 군 환경을 모사한 테스트 베드를 구성하고 효과도 분석을 수행하여 근력보조 및 작업효율 개선에 대한 효과를 확인하였다. 이를 바탕으로 군 도입에 대한 적합성에 대한 고찰과 세 가지 모의 환경(포탄, 간편조립고, 탄약박스 운반)을 구성하여 실험한 결과에 대해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- 1) 근력보조장치를 착용하는 경우 동일 작업량에 대해 총 소요시간이 감소한다.
- 2) 근력보조장치를 착용하는 경우 안정적으로 운반 작업을 수행 가능하며, 신진 대사량 감소로 동일 작업량에 대해 효율이 증가한다.
- 3) 근력보조장치는 전방 중량물을 몸 전체로 분산시킴으로써 팔에 집중되는 부하를 감소시킴을 근전도 측정으로 검증되었다.
- 4) 결과를 종합하였을 때, 근력보조장치는 안정적인 작업 수행과 착용 전/후 작업시간, 신진 대사량, 근전도 신호가 감소하여 작업 효율 개선에 효과가 있음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 목적하는 군 운용환경에서 근력보조장치를 적용하여 군 적합성에 대한 연구를 수행하였다. 결론이 의미하는 바는 근력보조장치가 모든 운반작업에서 효과적이라고

단정 지을 수 없다. 다만, 목적하고자 하는 작업환경에 최적화하여 사용하는 경우 분명한 효과가 있음을 시사한다. 또한, 본 실험에서 착용 여부에 따른 정량적 차이를 확인할 수 있었는데 이를 장기적으로 확대하였을 때 개인에게 분명한 차이가 있을 것으로 예측할 수 있다. 따라서, 군 운용환경에서 신속한 임무 수행과 부상방지를 위한 보조장비로의 확대를 기대하고 있다.

향후 군 운용환경 외에도 중량물 운반환경에서의 효과를 입증하기 위한 지속적인 연구와 안전 인증 등 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

References

- [1] Eurofound, "5th European working conditions survey," *5th European Working Conditions Survey*, 2012, [Online], https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef1182en.pdf.
- [2] D.-W. Lim, "An Axial Piston Water Hydraulic Electro-Hydraulic Actuator (EHA) for Collaborative Robot," *Institute of Control, Robotics, and Systems (ICROS)*, pp. 326-327, 2020, [Online], <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09410461>.
- [3] X. Qu, C. Qu, T. Ma, P. Yin, N. Zhao, Y. Xia, and S. Qu, "Effects of an industrial passive assistive exoskeleton on muscle activity, oxygen consumption and subjective responses during lifting tasks," *PLoS ONE*, 2021, DOI: 10.1371/journal.pone.0245629.
- [4] S. Toxiri, M. B. Näf, M. Lazzaroni, J. Fernandez, M. Sposito, T. Poliero, L. Monica, S. Anastasi, D. G. Caldwell, and J. Ortiz, "Back-support exoskeletons for occupational use: an overview of technological advances and trends," *IISE Trans. Occup. Ergon. Human Fact.*, 2019, DOI: 10.1080/24725838.2019.1626303.
- [5] M. P. Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler, and L. W. O'Sullivan, "Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load," *Ergonomics*, vol. 59, no. 5, pp. 671-681, 2016, DOI: 10.1080/00140139.2015.1081988.
- [6] W. van Dijk, H. van der Kooij, and E. Hekman, "A passive exoskeleton with artificial tendons: Design and experimental evaluation," *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Zurich, Switzerland, 2011, DOI: 10.1109/ICORR.2011.5975470.
- [7] Y. Liu, X. Li, J. Lai, A. Zhu, X. Zhang, Z. Zheng, H. Zhu, Y. Shi, L. Wang, and Z. Chen, "The Effects of a Passive Exoskeleton on Human Thermal Responses in Temperate and Cold Environments," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, DOI: 10.3390/ijerph18083889.
- [8] A. S. Koopman, I. Kingma, G. S. Faber, M. P. de Looze, and J. H. van Dieën, "Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks," *J. Biomech.*, vol. 83, no. 23, pp. 97-103, Jan., 2019, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.11.033.
- [9] B.-I. Jeon, H.-C. Cho, and H.-T. Jeon, "The Implementation of the Intelligent Exoskeleton Robot Arm Using ElectroMyogram

(EMG) vital Signal,” *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 5. pp. 533-539, 2012, DOI: 10.5391/JKIIS.2012.22.5.533.

- [10] K. H. Lee, S. G. Baek, H. J. Lee, H. R. Choi, H. Moon, and J. C. Koo, “Enhanced Transparency for Physical Human-Robot Interaction Using Human Hand Impedance Compensation,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 23, no. 6, pp. 2662-2670, 2018, DOI: 10.1109/TMECH.2018.2875690.
- [11] H.-D. Lee, W.-S. Kim, D.-H. Lim, and C.-S. Han, “Control Algorithm of the Lower-limb Powered Exoskeleton Robot using an Intention of the Human Motion from Muscle,” *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 12, no. 2, pp. 124-131, Jun., 2017, DOI: 10.7746/jkros.2017.12.2.124.
- [12] M. Hamaya, T. Matsubara, T. Noda, T. Teramae, and J. Morimoto, “User-robot collaborative excitation for PAM model identification in exoskeleton robots,” *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Vancouver, BC, Canada, 2017, DOI: 10.1109/IROS.2017.8206145.
- [13] J. Kim, D. Kwan, C. Kim, Y. Kwan, and W. Jung, “A Study of the Military Operational Sustainment Field Considering the Development Trend of Wearable Robots,” *Defense and Technology*, pp. 90-103, 2020, [Online], <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09322022>.



김형래

2017 경희대학교 기계공학과(공학사)
2019 경희대학교 기계공학과(공학석사)
2018~현재 LIG넥스원 무인체계연구소
선임연구원

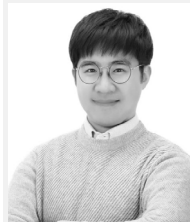
관심분야: Wearable robot, Mechanical design, Actuator design, Magnetic analysis



박장식

2010 한국기술교육대학교 기계공학부(공학사)
2013 한국기술교육대학교 기계공학부
(공학석사)
2013~현재 LIG넥스원 무인체계연구소
선임연구원

관심분야: Wearable robot, Actuator design, Mechanical design



이경하

2014 성균관대학교 기계공학과(공학사)
2020 성균관대학교 기계공학과(공학박사)
2020~현재 LIG넥스원 무인체계연구소
선임연구원

관심분야: Wearable robot, Human-robot interaction, AI, Mechanical system control



유재관

2004 경희대학교 기계공학과(공학석사)
2009 JAIST 로봇공학과(공학박사)
2009~현재 LIG넥스원 무인체계연구소
연구소장

관심분야: Unmanned & Robotic systems, Insect inspired robot, Behavior analysis