



# 중량물 들어올리기 작업 중 근육 활동에 대한 착용형 보조 작업복의 효과

## Effects of the Wearable Assistive Suit on Muscle Activity during Lifting Tasks

이광희<sup>1</sup>, 홍철운<sup>2,3</sup>, 유미<sup>2,#</sup>, 권대규<sup>2,3,#</sup>  
Kwang Hee Lee<sup>1</sup>, Chul Un Hong<sup>2,3</sup>, Mi Yu<sup>2,#</sup>, and Tae Kyu Kwon<sup>2,3,#</sup>

<sup>1</sup> 전북대학교 대학원 헬스케어공학과 (Department of Healthcare Engineering, Graduate School, Jeonbuk National University)  
<sup>2</sup> 전북대학교 바이오메디컬공학부 (Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University)  
<sup>3</sup> 전북대학교 고령친화복지기기연구센터 (Research Center of Healthcare & Welfare Instrument for the Aged, Jeonbuk National University)  
# Corresponding Authors / E-mail: kwon10@jbnu.ac.kr, TEL: +82-36-270-4066, ORCID: 0000-0002-2755-2062  
E-mail: yumi@jbnu.ac.kr, TEL: +82-36-270-4063, ORCID: 0000-0003-4546-3765

KEYWORDS: Musculoskeletal disorders (근골격계 질환), Passive assistive suit (수동 보조 작업복), Electromyography (근전도)

*Quick picking and heavy lifting are the most common problems in current workplaces. They can cause lumbar muscle damage. The operator then must spend energy, time, and money for recovery or rehabilitation. To solve this problem, we developed a passive-type assistive suit using air mesh material, elastic band, and wire. To determine the strength support effect of the passive-type assistive suit, electromyography (EMG) was performed for eight muscles and the maximum voluntary contraction (MVC) was analyzed when lifting weights of 0%, 15%, and 30% of the subject's weight in a Semi-squat motion. Results showed that MVC increased as the weight of the heavy object increased. However, its increase was not proportional to the decrease in MVC according to the presence or absence of assistive suits or the weight of the heavy object. The highest MVC was observed for the erector spinae muscle under all conditions. The greatest decrease in MVC according to working clothes was measured for the vastus lateralis muscle (lifting: 17.7±2.95%, lowering: 18.3±0.55%). These results show that lifting work performed while wearing a passive-type assistive suit using wires and elastic bands is effective in assisting muscle activity.*

Manuscript received: August 31, 2023 / Revised: October 30, 2023 / Accepted: November 13, 2023  
This paper was presented at KSPE Spring Conference in 2023

### 1. 서론

현재 작업 현장에서 발생하는 근골격계 질환의 여러 원인 중 무거운 중량물 들기가 주요 원인으로 언급되고 있다[1,2]. 요추 근육 손상은 무거운 짐을 들고 장시간 서서 일하는 작업자에게 흔한 직업병이며 설문 조사에서 생산직 근로자의 17%가 높은 등급의 허리 통증을 가지고 있다[3]. 이로 인해 작업의 효율성을 높이고 부상을 예방하는데 도움이 되는 로봇이 많이 개발되고 있다[4]. 그러나 여전히 작업자는 좁고 협소한 공간에서 중량물을 들어 올리는 작업을 진행하고 있으며 이를 수동으로 처리하고

있다. 중량물을 들어 올릴 때 작업자의 몸이 신전되면서 요추 추간판에 압축력이 발생하게 되고, 이 압력이 한계를 초과할 경우 조직 손상이 발생하게 된다. 이는 추간판의 퇴행성 과정으로 이어져 결국 요통을 야기한다[5]. 허리 부상을 입은 작업자들은 회복 및 재활을 진행해야 하며 이것은 경제적 손실로 이어지게 된다.

중량물을 들어 올릴 때 부적절한 자세는 허리 근육 부상의 원인 중 하나이다. 같은 무게를 드는 경우 들어 올리는 자세에 따라 허리 근육의 피로 빈도가 달라질 수 있다[6]. 중량물을 들어 올리는 조건에서 작업자가 들어 올리는 기술에는 Stoop, Squat 및 Semi-squat가 있다. Stoop 자세는 물체를 지면에서 수

평으로 들어 올릴 때 시작 위치에서 무릎 관절을 180°로 펴고 몸통을 90° 구부린 자세이다. Squat 자세는 무릎 관절의 굽힘 정도가 135° 이상이고 몸통을 거의 똑바로 세운 자세이다. Semi-squat 자세는 Stoop과 Squat의 중간 자세로 물체를 들어 올리기 시작할 때 무릎이 약 90°, 몸통이 약 45° 구부러진다[7]. 물체를 들어 올리는 과정에서 Wang 등[6]은 측정된 근전도 신호에 Jointed EMG Amplitude and Spectrum Analysis (JASA)를 적용하여 Semi-squat 자세에 비해 Stoop과 Squat 자세에서 등 근육이 더 피로해지기 쉽다는 것을 보였다. Jing 등[8]은 척추기립근(Erector Spinae Muscle)의 근전도 신호의 평균 진폭을 측정한 결과 Semi-squat 자세를 사용하여 동일한 물체를 들어 올릴 때 척추기립근 근전도 신호의 평균 진폭이 가장 낮아지는 것을 발견하였다.

물체를 운반하는데 근육을 보조해주는 착용형 장치가 많이 개발되고 있으며, 이들 중 하나가 착용형 작업복이다. 이는 수동 작업에 필요한 물리적 힘을 생성하도록 지원하는 착용형 장치로 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다[9]. 능동형과 수동형으로 분류할 수 있으며[10], 능동형 작업복은 액추에이터 장치가 포함되어 있고 수동형 작업복보다 큰 근육 보조를 제공할 수 있다[11,12]. Hyun 등[13]은 능동형 허리 보조 작업복 H-WEXv2를 설계했다. 단일 직렬 탄성 작동을 기반으로 한 와이어 구동 메커니즘을 활용하여 Stoop 및 Semi-squat 자세를 지원할 수 있으며 척추기립근 및 대둔근(Gluteus Maximus)의 근육 강도가 감소했음을 알 수 있다. Stoop 자세에서 각각 40.7, 41.1%, Semi-squat 자세에서 각각 33.0, 41.6% 감소했다. 그러나 무거운 중량물을 옮길 때 보조 토크를 생성하면서 물체의 질량을 설정해야 하므로 대규모 응용 프로그램에서는 매우 불편한 단점이 있다. Xia 등[14]은 Squat 자세로 중량물을 들어 올리는 인체 동작의 곡선 함수를 5차 다항식을 사용하여 완성한 알고리즘을 작업복과 결합하였고, 사용자가 무거운 물체를 들어 올릴 때 요추의 긴장을 40% 이상 줄일 수 있었다. 이와 같이 능동형 작업복은 근육 보조의 효과가 있었지만, 구동 모터와 전원 공급을 위한 배터리 등의 구성으로 부피가 크고 무거우며 착용 시 동작이 불편한 단점이 있다[15].

이러한 단점을 보완하고자 개발된 수동형 작업복은 주로 스프링이나 댐퍼로 구성되어 외부에서 전원 없이 인간의 움직임에 의해 생성된 에너지를 저장했다가 방출한다[9]. Maja Goršič 등[16,17]은 등과 허리에 가해지는 생체 역학적 부하를 줄여 육체적으로 힘든 작업을 수행하는 작업자를 지원하는 착용형 작업복 HeroWear Apex를 개발하였다. 체간을 보조하는 가벼운 작업복으로 구성되며, 이 작업복은 연결과 해제가 간편하여 움직임에 자유로운 작업복이다. 의자에서 일어서기, 바닥에서 허리까지 하중 들기 등의 프로토콜을 통해 물체를 들어 올리고 내리는 작업 중 척추기립근의 근전도를 15% 가량 감소시켰고 이는 HeroWear Apex가 근육의 부하와 피로를 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. Moon 등[18]은 신근 모멘트와 요추 견인력에 동력을 공급하기 위해 4개의 막대 연결 구조를 가진 하부 등 작업복을 제안했다. 이 작업복은 중량물을 들어 올리는 동작에서

척추기립근의 근전도를 평균 21.0%, 피크 18.3% 감소시켰으며, 요추 부위의 근력감소에 긍정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한, Cha 등[19]은 탄성밴드의 탄성력을 이용한 소프트 착용형 작업복의 효과에 대한 인체 평가 실험을 진행하여 근육 보조 효과를 검증하였고, 작업복을 착용했을 때 근육 사용량이 감소하는 것을 확인하였다. 그러나 이 작업복은 탄성밴드로만 구성되어 있어 장기간 사용 시 탄성밴드의 탄성한계에 도달하게 되어 장력이 약해지는 현상이 발생할 수도 있으며, 이를 보완할 수 있는 작업복이 필요하다.

본 연구에서는 수동형 작업복과 관련한 선행 연구의 단점을 보완하고자 탄성밴드와 와이어를 사용하여 장기간 사용하더라도 장력에 이상이 없고 작업자가 동작하기 편한 수동 보조 작업복을 제작하였다. 또한 작업복의 유무와 중량물을 무게에 따라 Semi-squat 자세로 들어 올릴 시 근육의 보조 효과를 검증하고자 하였다.

## 2. 착용형 근육보조 작업복 개발

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 작업자의 행동 범위를 넓히고 편의성을 높이기 위해 외골격이나 액추에이터와 같은 장치를 사용하지 않고 와이어의 장력과 탄성력이 강한 탄성밴드를 사용하였다. 작업복을 입고 착용자의 자세와 중량물을 들어 올릴 때 사용되는 근육을 보조할 수 있게 설계하였다. 에어매쉬 소재를 사용하여 환기성에 장점이 있으며, 무게가 2.3 kg으로 작업자가 장기간 착용하고 작업하는데 큰 부담을 느끼지 않게 설계하였다.

척추기립근부터 대둔근까지 탄성밴드를 연결하여 상체가 수축 후 신전 시 탄성력을 이용하여 근육을 보조할 수 있게 하였다. 대둔근부터 대퇴이두근까지 장력이 강한 와이어를 연결하였고, 대퇴의 길이에 맞게 조절할 수 있도록 와이어가 끝나는 부위에 다이얼(Dial)을 설치하였다. 사람마다 어깨 및 체간과 하지 대퇴부의 크기가 달라 벨크로(Velcro) 소재를 이용한 밴드 디자인으로 착용자의 신체에 맞게 조절할 수 있도록 하였다.

작업복 중앙 프레임에 플라스틱 체인을 장착하여 탄성밴드가 수축할 때 작업복이 뒤틀리지 않게 잡아주면서 발생하는 힘으로 허리의 척추기립근과 허벅지의 대퇴이두근을 보조하였다. 각각 4개씩 두 고무다발을 대퇴이두근 부위에 장착하여 신체가 수축 후 신장하며 에너지를 얻고 착용자가 신전할 시 에너지를 변환하며 중량물을 들어 올릴 때 보조를 최대화하여 탄성밴드의 에너지가 근육보조에 집중될 수 있도록 개발하였다.

## 3. 연구 방법

### 3.1 피험자 구성

본 연구의 피험자는 요추 및 근골격계 질환을 겪지 않은 신체가 건강한 남성 15명으로 구성하였다. 실험에 앞서 피험자들은 연구 담당자로부터 본 실험에 대해 자세한 설명을 들은 후 서면

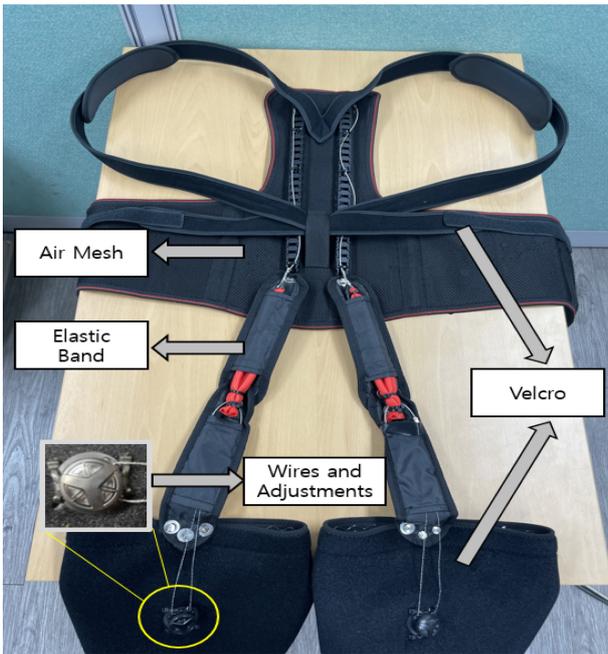


Fig. 1 Passive assistive suit for muscle assistance

Category	Mean	Std.
Age [years]	25.1	0.6
Height [cm]	173.2	6.3
Weight [kg]	71.9	4.21

동의서를 작성하였다. 피험자의 신체정보는 Table 1과 같이 나타났다. 본 연구는 전북대학교 생명윤리 심의위원회의 심의를 거쳐 승인(IRB No. 2021-02-015-002)되었으며 평가자들은 모두 자발적인 참여 동의서에 서명하였다.

3.2 실험방법

본 실험에서는 작업복의 착용 유무에 따라 피험자 체중의 0%(1.5 kg), 15%(10.5±2.1 kg), 30%(21.5±4.2 kg)에 해당하는 중량물을 반복적으로 들어올리게 하였다. Fig. 2는 실험 시 중량물을 들어올리는 자세로 Stoop Lift와 Squat Lift 자세의 중간 자세인 Semi-squat Lift를 나타내고 있다. 중량물을 들어 올릴 때 지면으로부터 0.3 m 높은 위치에서 3회씩 반복하여 들어올렸다.

본 실험에 앞서 중량물을 들어 올릴 때 사용되는 광배근(Latissimus Dorsi Muscle), 척추기립근(Erector Spinae Muscle), 대둔근(Gluteus Maximus), 대퇴이두근(Biceps Femoris Muscle), 비복근(Gastrocnemius Muscle), 전경골근(Tibialis Anterior Muscle), 외측광근(Vastus Lateralis), 대퇴직근(Rectus Femoris Muscle)의 근육별 최대 자발적 수축을 3번씩 측정하였다. 이는 피험자들이 중량물을 들어올릴 때 각 근육이 최대 힘의 몇 %의 근사용량을 나타내는지 비교하기 위해서 측정하였다.

이후 작업복을 착용하고 3초간 중량물을 들기 위해 몸을 숙이

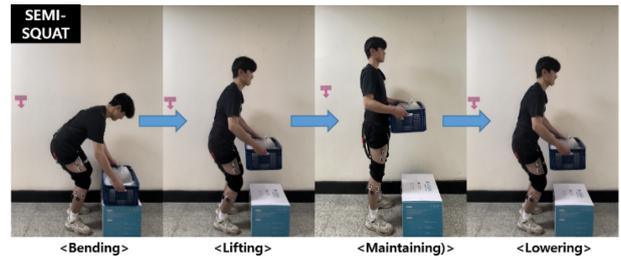


Fig. 2 Semi-squat lifting posture

고, 3초간 중량물을 잡은 후 직립(Lifting)하도록 하였으며, 3초간 중량물을 들고 유지한 후 3초간 중량물을 내리는 동작(Lowering)을 3회 반복하여 실험하였다. 각 실험에 앞서 근 피로도를 줄이기 위해 실험 간 5분의 휴식을 부여하였으며, 이후 작업복을 미착용했을 때 위 과정과 동일한 방법으로 실험을 진행하였다. 근육의 활동을 측정하기 위해 표면근전도(TELEMyo Desktop DT, Noraxon Inc., USA) 측정 시스템을 사용하였다. 측정된 근전도를 Signal Processing한 후 FIR 필터를 사용하여 대역 50-500 Hz로 설정한다. 이후 근전도 원신호를 절댓값으로 변환시키는 Rectification을 하고 RMS를 100으로 Smoothing하여 데이터 값을 추출하였다. 근전도 프로그램에 있는 Amplitude Normalization 세부 속성의 Normalize to에서 Values From Other Record로 설정하여 최대 자발적 수축 대비 실험 데이터에서 %로 근육 수축률을 분석하였다. 피험자들이 중량물을 들어올리고 내릴 때 동영상 촬영을 통하여 관절가동범위를 일치시켰다.

3.3 통계 분석

수집된 데이터는 SPSS (Version 27.0, SPSS Inc., USA) 통계 분석 프로그램을 사용하여 수행하였다. Lifting과 Lowering 동작에서 비모수 검정인 Friedman Test를 시행하였으며, 작업복 착용의 유무와 중량물의 무게에 따라 Wilcoxon Signed Rank Test를 진행하여 중량물을 들어 올릴 때 근육 사용량의 차이를 분석하였다. 유의수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

4. 결과

4.1 작업복 착용 유무에 따른 근전도 값 측정 결과

본 연구에서는 와이어와 탄성밴드를 이용하여 수동 보조 작업복을 개발하였고, 피험자 체중의 0, 15, 30% 해당하는 중량물을 Semi-squat 자세로 들어올렸다 내리는 동작을 수행하였을 때 근력 보조 효과를 분석하였다.

Fig. 3은 중량물을 들어올리고 내리는 동작에서 중량물 무게(0, 15, 30%)와 작업복의 착용유무에 따른 실험 조건에서 광배근, 척추기립근, 대둔근, 대퇴이두근, 비복근, 전경골근, 외측광근, 대퇴직근의 근전도의 근육 사용량인 최대 자발적 수축(%)를 나타낸 것이다. 중량물을 들어올리고 내리는 동작에서 중량물의 무게가 증가할수록 근육 사용량이 증가하였다( $p < 0.05$ ). 척추

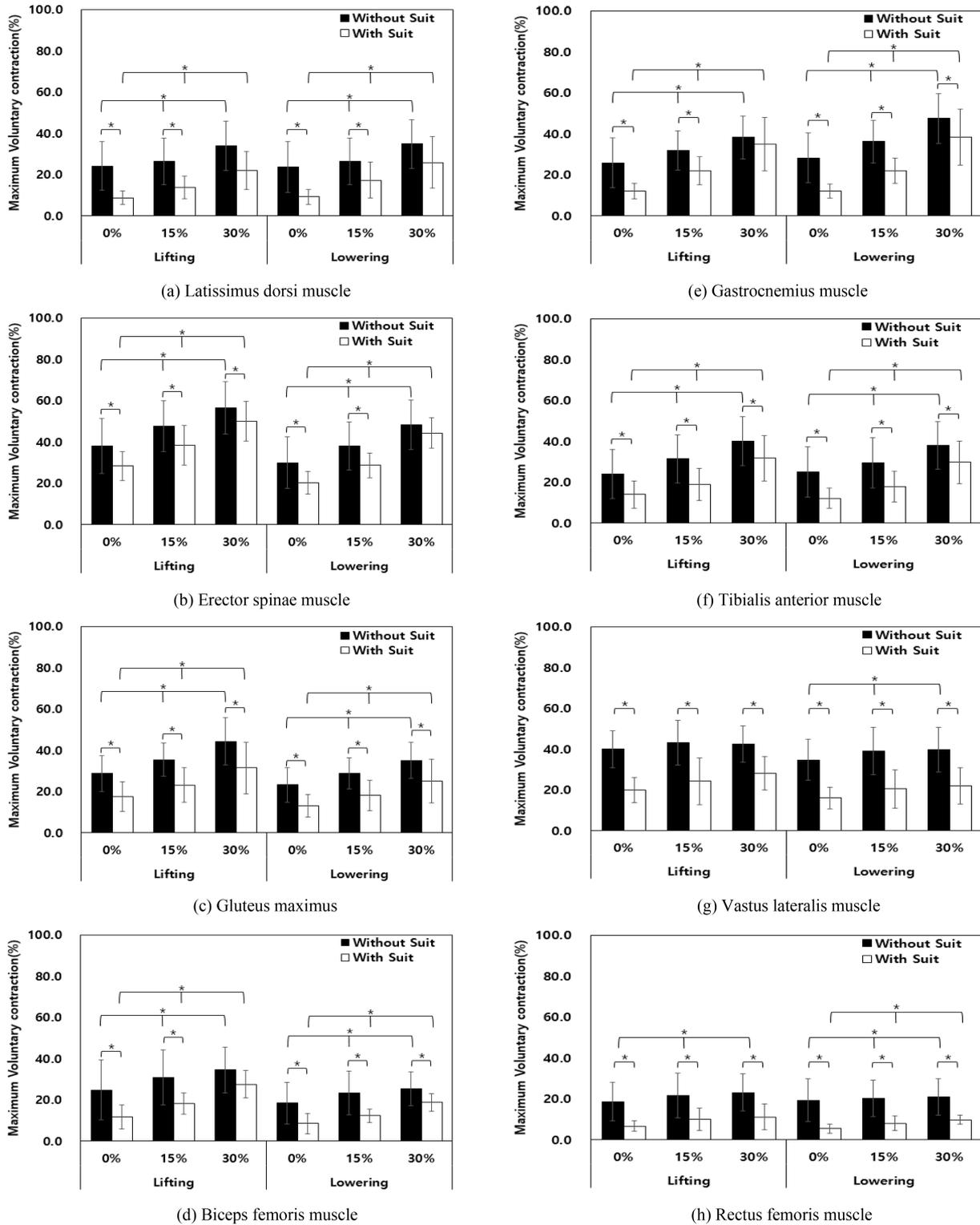


Fig. 3 MVC (%) results for the 8 muscles in lifting and lowering by assistive suit and the weight conditions (\*p < 0.05)

기립근에서 가장 높은 근육사용량을 보였고, 대퇴직근에서 가장 낮은 결과를 보였다.

작업복의 착용 유무에 따른 근육 사용량의 감소율은 피험자 체중의 0% 무게에서 가장 큰 감소율을 보였으며(Lifting:

13.1±3.37%, Lowering: 13.3±3.26%), 외측광근에서 가장 높은 근 감소율(Lifting: 17.7±2.95%, Lowering: 18.3±0.55%)을 보이고, 척추기립근에서 가장 낮은 근 감소율(Lifting 8.5±1.72%, Lowering 7.7±3.24%)을 보였다.

5. 고찰

본 연구에서는 와이어와 탄성밴드를 통해 수동 보조 작업복을 개발하였고, 중량물을 들어 올리고 내리는 동작에서 작업복의 근력 보조 효과를 분석하고자 하였다. 작업복의 착용 유무와 중량물의 무게 조건에 따라 8개 근육의 근전도를 측정하고 최대 자발적 수축(%)을 환산하여 비교하였다.

중량물을 들어 올릴 때 척추기립근에서 가장 큰 근사용량을 보였으며, 대퇴직근에서 가장 적은 근사용량을 보였다. 척추기립근은 척추를 신전시키면서 척추의 굽힘을 작용하는 근육이다 [20]. 부하량이 증가될수록 무게에 저항하기 위해 척추기립근의 에너지가 많이 사용되어 강한 수축을 통한 높은 근 활성도가 나타났다, 근육 사용량이 다른 근육들에 비해 크게 사용되었다 [21]. 이는 Semi-squat 자세 시 무릎을 작게 굽히고 허리를 많이 굽히면서 척추기립근에 많은 힘이 사용된 것이라 판단된다.

작업복을 착용하고 중량물을 들어올리는 작업 시 근사용량이 감소하는 경향을 보였다. 근육 사용량 감소율의 경우 외측광근에서 가장 크게 감소하였으며, 척추기립근에서 가장 작은 감소량을 보였다. 이는 착용형 작업복이 중량물을 들어 올릴 때 대퇴의 크기와 길이에 따라 자세를 잘 잡아주어 외측광근에 실리는 근력을 효과적으로 보조한 것으로 판단되며, 중량물을 들어 올릴 때 외측광근이 다른 대퇴근에 비해 많은 에너지를 사용하여 비교적 크게 감소된 것으로 보인다.

또한, 무릎의 굽힘 각도가 클수록 대퇴사두근 활성도가 높아지기 때문에 나타나며, 중량물의 무게와 체중을 신전 및 굴곡 시 외측광근에서 신장성 운동을 하여 신체의 균형을 유지하고자 하기 때문에 많은 힘이 사용된 것으로 판단된다[22,23].

본 연구에서 개발한 탄성밴드와 와이어를 이용한 수동 보조 작업복은 평균 11.7±2.15%의 근력 보조 효과를 나타냈으며, 이 중 척추기립근의 근력 보조 효과는 8.1±2.35%(p < 0.05)을 보였다. 능동형 작업복으로 Stoop, Squat, Left-asymmetric, Right-asymmetric 4가지 자세에서 5, 10, 15 kg의 서로 다른 무게로 근력 보조 효과를 분석한 Li 등[24]의 연구에 따르면, 평균 10%의 근력 보조 효과를 얻었으며, 척추기립근의 보조 효과는 11.6±3.27%을 보였다. 또한 Van Sluijs 등[25]은 수동형 작업복으로 Semi-squat 자세에서 6, 12, 20 kg의 서로 다른 무게로 중량물을 들어올리는 조건에서 작업복의 척추기립근의 근력 보조 효과는 5.36-9.61%을 보였다고 발표하였다. 따라서 본 연구에서는 능동형 작업복만큼은 아니지만, 다른 수동형 작업복과 유사한 근력 보조 효과를 얻을 수 있는 것을 확인하였다. 그러나 가장 높은 근력 보조 효과를 보여야 하는 척추기립근에서 다른 근에 비해 낮은 효과를 개선하기 위한 추가 연구가 진행되어야 한다.

작업복을 착용했을 때 중량물을 들어 올릴 경우와 내려놓을 경우, 체중의 0, 15, 30% 무게 순으로 근력 보조 효과가 감소됨을 보였다. 이는 중량물을 들어올리는 자세에 따라서 달라질 수 있을 것으로 판단된다. 이와 관련한 연구로 Li 등[24]은 Stoop 자세의 경우 10 kg, Squat 자세의 경우 15 kg일 때 근력 보조 효율이

높았으며, Asymmetric 자세에서는 5, 10, 15 kg 순으로 근력 보조 효율이 높았다고 보고하였다. 이에 따라 다양한 자세와 중량물의 무게의 조건을 달리하였을 때 작업복의 근력 보조 효과에 대한 추가 연구가 필요하다.

이를 통해 작업복을 착용하고 중량물을 들어 올렸을 때 각 근육에서 근육 사용량이 감소함을 알 수 있었고 이는 중량물을 들어 올릴 때 사용하는 근육들의 근력 보조에 효과가 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 작업 현장에서 요추 및 근골격계 질환을 겪는 작업 근로자들이 증가함에 따라 이를 예방하기 위해 탄성밴드와 와이어를 이용한 수동 보조 작업복을 개발하였다. 수동 보조 작업복의 근력 보조 효과를 검증하고자 Semi-squat 자세로 피험자 체중의 0, 15, 30%의 중량물을 들어올리는 동작에서 8개 근육의 근전도를 측정하여 최대 자발적 수축을 분석하였다.

그 결과 모든 근육에서 수동 보조 작업복 착용 후 근육 사용량이 감소하는 경향을 보였으며, 중량물의 무게가 가벼운 순(0, 15, 30%)으로 근육 감소량의 차이가 크게 나타났다. 중량물의 무게가 무거울수록 근육을 보조해주는 힘이 비례하지 않음을 알 수 있으며, 적당한 무게를 들어 올릴 때 수동 보조 작업복의 효능이 효과적으로 작용됨을 알 수 있다. 중량물을 들어 올리는 작업 시 착용형 작업복의 근력보조 효과를 확인하였고, 중량물을 반복해서 들어 올리고 운반하는 작업 근로자들의 요추 및 근골격계 질환을 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 중량물을 들어 올릴 때 가장 많이 사용되는 척추기립근의 보조 효과를 높일 수 있는 방안을 고려하여 수동 보조 작업복을 개선하고자 한다. 또한, 중량물을 들어 올릴 때 정자세가 아닌 비틀면서 올릴 경우 체간 부위에서 발생하는 통증을 예방하고자 비틀면서 중량물을 들어 올리는 자세와 다양한 들어 올리기 자세(Stoop과 Squat 자세 등)에서 작업복의 근력보조효과에 대한 연구와 근력 특성을 분석하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2022년도 정부 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2022R111A1A01064258).

REFERENCES

1. Hoy, D., Brooks, P., Blyth, F., Buchbinder, R., (2010), The epidemiology of low back pain, Best Practice & Research Clinical Rheumatology, 24(6), 769-781.

2. Griffith, L. E., Shannon, H. S., Wells, R. P., Walter, S. D., Cole, D. C., Côté, P., Frank, J., Hogg-Johnson, S., Langlois, L. E., (2012), Individual participant data meta-analysis of mechanical workplace risk factors and low back pain, *American Journal of Public Health*, 102(2), 309-318.
3. Munch Nielsen, C., Gupta, N., Knudsen, L. E., Holtermann, A., (2017), Association of objectively measured occupational walking and standing still with low back pain: A cross-sectional study, *Ergonomics*, 60(1), 118-126.
4. Bae, S., Shin, J., Huh, I., Kim, S., (2020), A study on qualitative usability assessment guideline of the wearable industrial robots for interacting with the upper extremities, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39(2), 129-141.
5. Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., Fine, L. J., (1993), Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 36(7), 749-776.
6. Wang, Z., (2009), Experimental study on manual lifting techniques and fatigue recovery, Ph.D. Thesis, Huazhong University of Science and Technology. [https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CDFD&dbname=CDFD0911&filename=2009173560.nh&uniplatform=OVERSEA&v=J0b0I91Z2tUTc\\_Ly0xbik9Uj0muCWpVEXiFRmqk95zxxlBdNplxHncylJd5KToKn](https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CDFD&dbname=CDFD0911&filename=2009173560.nh&uniplatform=OVERSEA&v=J0b0I91Z2tUTc_Ly0xbik9Uj0muCWpVEXiFRmqk95zxxlBdNplxHncylJd5KToKn)
7. Burgess-Limerick, R., Abernethy, B., (1997), Toward a quantitative definition of manual lifting postures, *Human Factors*, 39(1), 141-148.
8. Jing, C., Lei, Y., Jiasun, D., Zhenglun, W., (2004), The application of surface electromyography in the assessment of ergonomic risk factors associated with manual lifting tasks, *Journal of Huazhong University of Science and Technology [Medical Sciences]*, 24, 552-555.
9. Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K., de Looze, M., (2016), The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work, *Applied Ergonomics*, 54, 212-217.
10. Ito, T., Ayusawa, K., Yoshida, E., Kobayashi, H., (2016), Stationary torque replacement for evaluation of active assistive devices using humanoid, *Proceedings of the 2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, 739-744.
11. Huysamen, K., de Looze, M., Bosch, T., Ortiz, J., Toxiri, S., O'Sullivan, L. W., (2018), Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks, *Applied Ergonomics*, 68, 125-131.
12. Roveda, L., Savani, L., Arlati, S., Dinon, T., Legnani, G., Tosatti, L. M., (2020), Design methodology of an active back-support exoskeleton with adaptable backbone-based kinematics, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 79, 102991.
13. Hyun, D. J., Lim, H., Park, S., Nam, S., (2020), Singular wire-driven series elastic actuation with force control for a waist assistive exoskeleton, H-WEXv2, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 25(2), 1026-1035.
14. Xia, L., Feng, Y., Zheng, L., Wang, C., Wu, X., (2019), Development of an adaptive iterative learning controller with sensorless force estimator for the hip-type exoskeleton, *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2516-2521.
15. Park, S. J., Park, C. H., (2019), Suit-type wearable robot powered by shape-memory-alloy-based fabric muscle, *Scientific Reports*, 9(1), 9157.
16. Goršič, M., Song, Y., Dai, B., Novak, D., (2021), Evaluation of the HeroWear Apex back-assist exosuit during multiple brief tasks, *Journal of Biomechanics*, 126, 110620.
17. Goršič, M., Song, Y., Dai, B., Novak, V. D., (2022), Short-term effects of the Auxivo LiftSuit during lifting and static leaning, *Applied Ergonomics*, 102, 103765.
18. Moon, C., Bae, J., Kwak, J., Hong, D., (2022), A lower-back exoskeleton with a four-bar linkage structure for providing extensor moment and lumbar traction force, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 729-737.
19. Cha, E. H., Oh, S. Y., Hong, C. U., Yu, M., Kwon, T. K., (2022), A study on the effect of soft wearable suit using elastic band, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 39(1), 59-67.
20. Lee, J. S., Lee, H. S., (2013), Comparison of muscle activity of core muscles according to support surface condition and load during squat exercise, B.Sc. Thesis, Dankook University. <https://m.riss.kr/link?id=T13242351>
21. Neumann, D. A., (2016). *Kinesiology of the musculoskeletal system-e-book: Foundations for rehabilitation*. Elsevier Health Sciences.
22. Choi, S. K., (2018), Comparative analysis of gluteus maximus and quadriceps muscle activity during the dead-lift and squat, Ph.D. Thesis, Pukyong National University. <https://repository.pknu.ac.kr:8443/handle/2021.oak/14008>
23. Kim, H. S., (2014), A comparative analysis through EMG of the lower half of the body when doing full and half squats, Ph.D. Thesis, Pukyong National University. <https://repository.pknu.ac.kr:8443/handle/2021.oak/12501>
24. Li, J., He, Y., Sun, J., Li, F., Ye, J., Chen, G., Pang, J., Wu, X., (2023), Development and evaluation of a lumbar assisted exoskeleton with mixed lifting tasks by various postures, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 2111-21119.
25. van Sluijs, R. M., Wehrli, M., Brunner, A., Lamercy, O., (2023), Evaluation of the physiological benefits of a passive back-support exoskeleton during lifting and working in forward leaning postures, *Journal of Biomechanics*, 149, 111489.



**Kwang Hee Lee**

M.S. candidate in the Department of Healthcare Engineering, Jeonbuk National University. His research interest is biomechanics and healthcare engineering.

E-mail: rhkdgml311@jbnu.ac.kr



**Mi Yu**

Research Professor in the Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University. Her research interest is rehabilitation, biomechanics and healthcare engineering.

E-mail: yumi@jbnu.ac.kr



**Chul Un Hong**

Professor in the Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University. His research interest is rehabilitation, biophysics, sensor engineering.

E-mail: cuhong@jbnu.ac.kr



**Tae Kyu Kwon**

Professor in the Division of Biomedical Engineering, Jeonbuk National University. His research interest is biomechanics, rehabilitation, sports science

E-mail: kwon10@jbnu.ac.kr