

# 건설작업자의 근력지원을 위한 외골격 모듈의 동작의지신호 생성 및 타당성 검증

이승훈<sup>†</sup> · 유승남<sup>\*</sup> · 이희돈<sup>\*</sup> · 장재호<sup>\*</sup> · 한창수<sup>\*</sup> 한정수<sup>\*\*</sup>

Intent signal generation of the exoskeletal robotics for construction workers and verification of its feasibility

Seung-Hoon Lee, Seung-Nam Yu, Hee-Don Lee, Jae-Ho Jang, Chang-Soo Han, Jung-Soo Han

**Key Words :** Construction worker(건설작업자), Muscle power assisting(근력지원), Robotic exoskeleton (외골격 로봇), Intent signal generation methodology(동작의지신호 생성기법)

## Abstract

Powered robotic exoskeletons are currently under development for assisting or supporting human muscle power. Many applications using this system for the purpose of national defense system, medical support, and construction industry are now frequently introduced. In this paper, we proposed the exoskeletal wearable robotics for construction workers. First, we analyzed general work conditions at the construction site and set up target tasks through the datum. Then dominant muscles' activity which is related with the defined target tasks was checked up. Herein, wearers' intent signal generation methodology was introduced in order to effectively activate the proposed system. In the final part of this paper, we evaluated the capability and feasibility of the exoskeletal robotics by the electromyography (EMG) signal variance; demonstrated that robotic exoskeletons controlled by muscle activity could be useful way of assisting with construction workers.

## 1. 서론

산업 현장에서의 자동화, 특히 공장 자동화는 정형화된 생산라인과 균일한 작업물을 다루는 측면에서 성공적인 자동화를 이루었다. 하지만 필드현장에서는 작업특성상 작업공정 및 작업물의 정형화가 어렵기 때문에 자동화로 접근하는데 어려움이 있다. 따라서 자동화보다는 생력화(省力化)의 측면에서 인간의 조작에 의해 운용되는 고가반 하중의 전력장비, 건설장비 혹은 인간의 물리력에 전적으로 의존하는 수동, 반

자동 공구를 통하여 작업이 이루어 진다. 특히 인간의 발, 다리와 같은 우수한 접근성과 손, 팔과 같은 정교한 핸들링 기능 및 작업속련도, 자율판단을 상당 부분 활용해야 하는 측면에서 완전한 자동화는 현재의 기술상황에서는 불가능하다.[1] 따라서 이에 대한 대안 중 하나로 최근 외골격 로봇(Exoskeletal robotics)에 대한 관심이 높아지고 있다. 외골격 로봇은 자세제어, 상황인식, 동작신호 생성을 사람이 담당하며 다양한 환경에서 착용자의 힘을 보조하는 작업을 가능하게 하는 시스템이며, 착용자로부터 동작 의도 신호를 입력 받아 근력을 증폭해주는 용도로 제안이 되고 있다. 이러한 로봇은 인체 관절을 모방한 외골격형태를 띠고 있으며, 현재 전 세계적으로 군사적인 목적 이외에도, 산업, 의료, 재활 등의 목적으로 활발하게 연구되고 있다.

<sup>†</sup> 한양대학교 기계공학과

E-mail : hopezic@gmail.com

TEL : (02)123-1234 FAX : (02)123-1234

<sup>\*</sup> 한양대학교 기계공학과

<sup>\*\*</sup> 한성대학교 기계시스템 공학과

근력지원을 위한 외골격 로봇은 현재 다양한 필드 현장에서 인간의 근력을 지원하여 이동성을 증가시키거나 작업 능률을 향상시키기 위한 목적으로 90년대부터 다양한 연구가 진행되어 왔으며 가장 대표적인 예로서는 일본 쓰쿠바 대학의 HAL 과 미국의 BLEEX, CARCOS 를 들 수 있다. 근력지원용 외골격 로봇은 근력지원 부위에 따라 크게 상지 시스템[2], 하지 시스템[3], 상하지 통합 시스템[4] 및 특정관절의 근력지원을 위한 시스템[5]으로 분류 할 수 있다.

본 논문은 건설 작업자의 평지 및 계단 보행 시 무릎관절의 근력지원을 위한 최소화된 외골격 모듈을 제안하고, 로봇의 근력지원 동작을 위하여 사람의 보행분석을 통한 보행 시 활성화 되는 근육에 대한 패턴을 분석하고, 동작의도신호 측정을 위한 센서와 개발된 센서로부터 측정된 신호를 사용한 보행 알고리즘 개발에 관한 연구이다.

## 2. 시스템 설계를 위한 작업분석

본 연구에서는 외골격 모듈개발에 앞서 작업분석을 통하여 건설작업의 근력지원이 필요한 신체 부위를 선정하였다. 이를 위하여 건설 현장에서 발생하는 여러 가지 질병 및 장애의 유형을 분석하여 가장 우선적인 Target 을 선정하였다.

V. Arnd(2008)은 10년 동안 14,474 명의 건설직 종사자를 대상으로 발병된 질병이나 장애의 종류와 유형을 조사 및 분석한 결과를 통해, 근골격계(Musculoskeletal) 질환이 가장 많은 비중을 차지(조사대상의 45%)한다는 점을 밝힌바 있다.[6] 근골격계 질환은 다시 Arthropathies 와 Dorsopathies 로 분류되는데, V. Arnd 의 연구 및 NIOSH(The National Institute for Occupational Safety and Health)에서 제공하는 건설작업자의 신체부위별 질환율에 관한 통계를 통해 척추(Dorsopathies, 21.2%), 손가락(Arthropathies, 10.5%), 무릎(8.7%)의 순으로 높은 질환율을 가진다는 점을 알 수 있다. 여기서, 주지할 점은 일반적인 작업 환경에서의 척추와 무릎의 동작 반경 및 하중 분담 특성이다. 더욱이, 건설현장의 작업 지침에서도 척추는 가능한 한 급격한 굽힘을 지양하고 지면의 수직 방향을 유지하는 것을 기본적으로 권고하고 있다. [6] 따라서 위의 특징들을 바탕으로 본 연구에서

선정한 가장 우선적인 건설 작업자의 근력지원 대상 부위를 무릎으로 선정하였다.

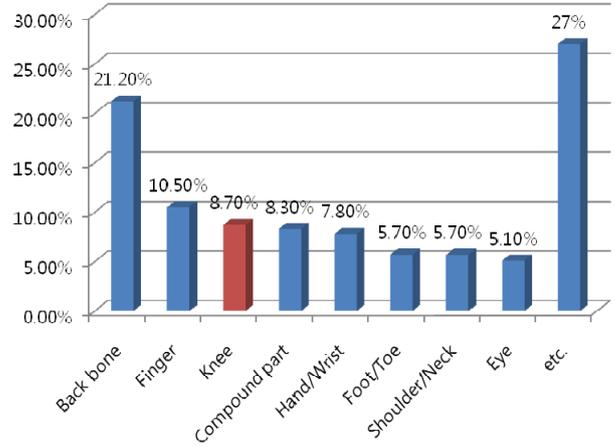


Fig. 1 Construction workers' disability ratio (NIOSH).



Fig. 2 Recommended operation index (NIOSH) (kneeling/lifting combination, not lifting alone).



(a) Electricians



(b) Cement Masons



(c) Laborers

Fig. 3 Recommended operation index (NIOSH) (kneeling/lifting combination, not lifting alone).

### 3. 무릎근력 지원 외골격 모듈 개발

#### 3.1 근경도 센서 (MSS: Muscle Stiffness Sensor)

일반적으로 근육의 활성화를 측정하기 위하여 sEMG 를 사용한다. 하지만 sEMG 는 착용자의 피부에 부착하기 때문에 필드환경에서 로봇의 착용 시 불편하고, 부착 위치와 착용자의 상태에 따라 신호가 다를 뿐만 아니라 노이즈에 약하다는 단점을 가지고 있다[7]. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 Fig.4 에서 보이는 것과 같이 근육의 단단해지는 정도를 측정함으로 근육의 활성도를 측정 할 수 있는 근경도 센서를 개발하였다.

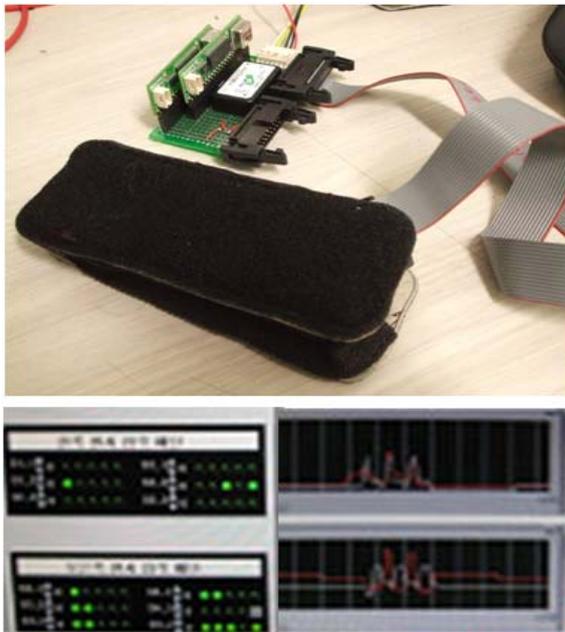


Fig. 4 Development of the MSS

이 센서는 근육이 팽창하여 피부가 단단해지는 정도를 측정하기 때문에 옷 위에 부착 가능하며 따라서 착용의 편의성을 향상 시킬 수 있다. 또한 16 개의 스위치를 사용하여 디지털 신호를 생성함으로써 노이즈에 대하여 강한 특성을 가진다.

#### 3.2 외골격 모듈(KAS: Knee Assistive System)

Fig.5 는 무릎근력 지원용 착용형 로봇 시스템의 구성과 실제 로봇을 착용한 모습이다. 이 로봇은 보행 시 특정관절의 근력을 지원함으로써 전체 하지의 근력지원 효과를 얻기 위하여 무릎 1-DOF 로 최소화된 시스템으로 개발되었다.

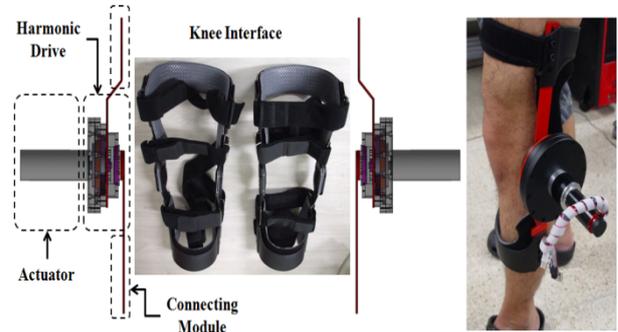


Fig. 5 Exoskeleton unit of the KAS

이 시스템은 동력전달을 위하여 Harmonic drive 를 사용함으로써 백래쉬 현상을 방지하며, 큰 구동력을 전달 할 수 있는 구조로 설계되었다. 또한 시중에서 판매중인 재활치료용 무릎보조기를 로봇과 사람의 체결을 위한 인터페이스로 사용함으로써 로봇 시스템의 착용 시 착용감을 향상 할 수 있었다.

### 4. 동작의지신호 획득과 명령신호 생성

#### 4.1 동작의지신호 획득을 위한 보행분석

무릎 근력지원을 위한 외골격 모듈의 동작의지신호 획득에 앞서 사람의 보행 시 무릎관절의 동작범위와 이때 활성화되는 근육에 대하여 분석하였다.

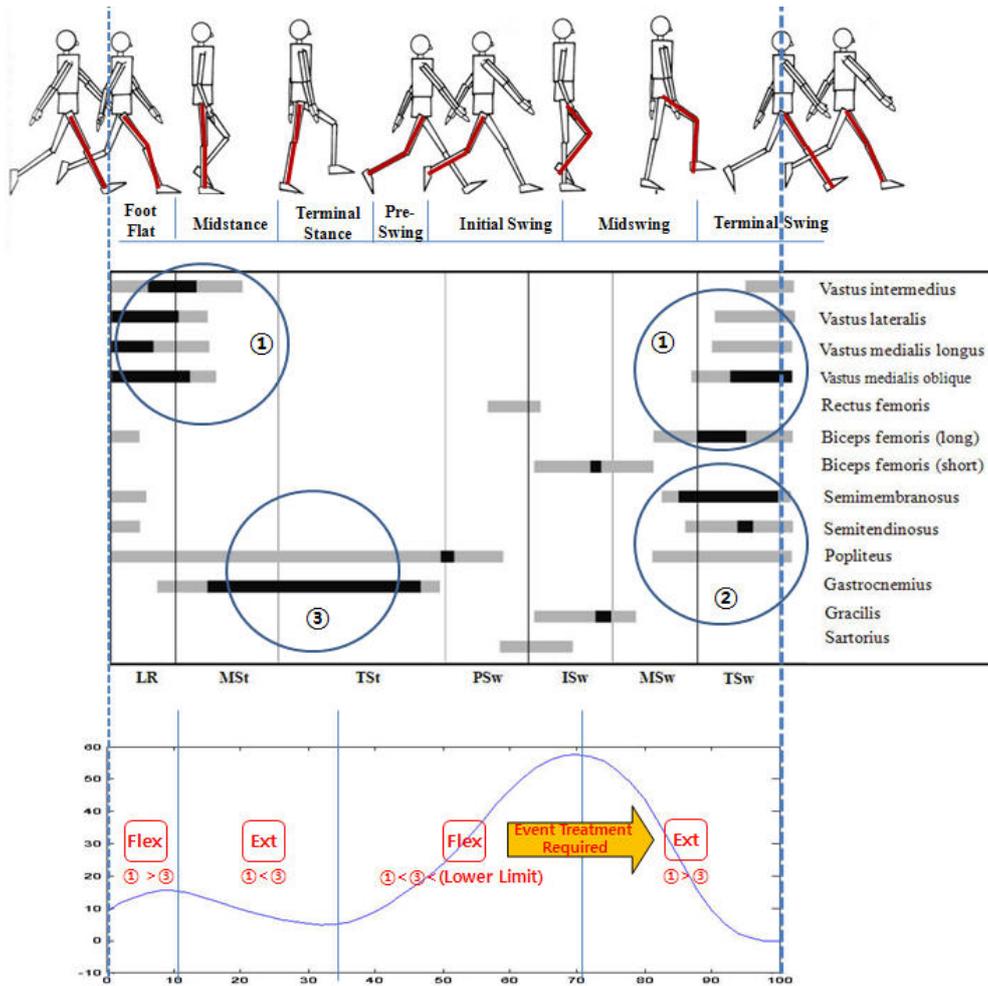
Fig.4 는 일반적인 평지보행 시 무릎관절의 ROM(Range of Motion)과 하지 근육의 활성화에 대하여 연관하여 나타낸 것이다. 보행이 진행 될 때 무릎관절의 범위는 최대 60 도를 넘지 않으며, 보행 시 추진을 위한 구간인 Foot Flat 에서 Terminal Stance 구간에서 근력을 많이 사용하게 된다. 이 구간에서의 무릎관절의 범위는 최대 20 도 이며, 이 구간에서 외골격 로봇을 사용한 무릎의 근력을 지원 할 수 있다면 보다 작은 힘을 사용하여 보행이 가능하게 되며, 보행 효율을 향상 시킬 수 있다.

다음으로 보행에 따른 근육 활성도를 살펴보면 Fig.6 에서와 같이 각 보행 구간별로 특정 근육들이 활성화 되는 것을 볼 수 있다. 활성화된 근육들을 Fig.7 과 같이 크게 세 개의 그룹으로 구분 지을 수 있으며[8], 이 세 개 그룹의 근육이 활성화 되는 것을 측정할 수 있다면 사람의 평지 보행 시 무릎관절의 Extension/Flexion 동작의 의도를 획득 할 수 있다. 이 신호를 사용하여 외골격 모듈의 명령신호 생성이 가능하다.

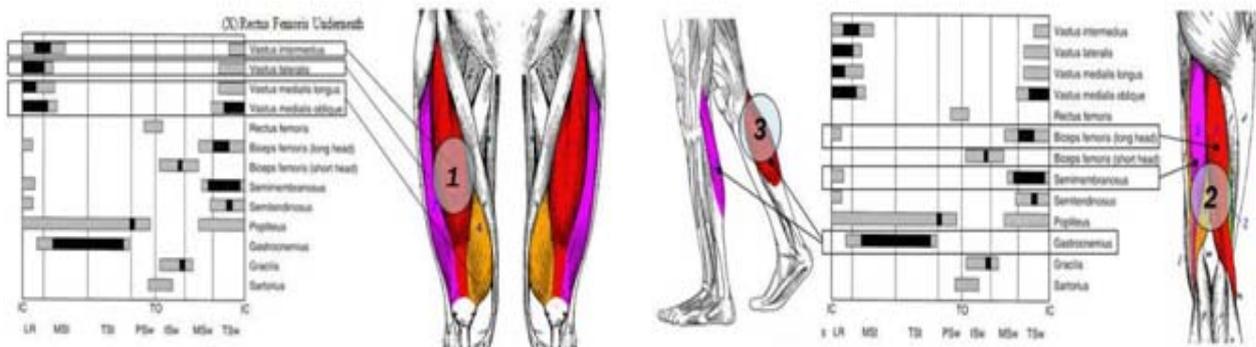
#### 4.2 동작의지신호 획득

또한 동작의지신호 획득을 위하여 사용되는 MSS 는 센서부착 시 초기 입력과 보행 시 최대 입력 사이의 값을 백분율로 변환하여 이 값을 PWM(Pulse Width Modulation) 펄스 폭의 비율로 출력할 수 있게 개발되었다. Fig.8 은 근경도 센서

부착 후 보행 시 측정된 신호를 나타낸 것이다. 이 신호는 각 근육그룹의 팽창크기와 보행 시 발생하는 이벤트를 측정할 수 있으며, 일정한 패턴을 가지고 있다.



**Fig. 6** Phasic pattern of the electromyographic (EMG) activity of the muscle and the angular displacement of the knee during level walking by healthy adults.



(a) Anterior side of the leg

(b) Posterior side of the leg

**Fig. 7** MSS(Muscle Stiffness Sensor) position

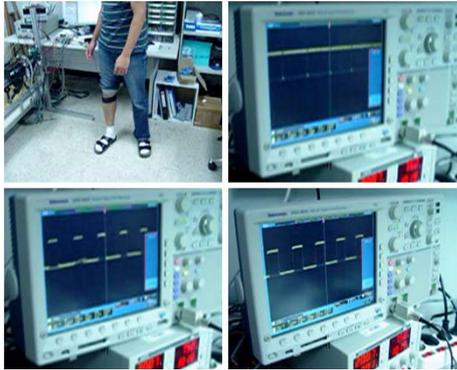


Fig. 8 Measurement of the intent signal

#### 4.3 명령신호 생성

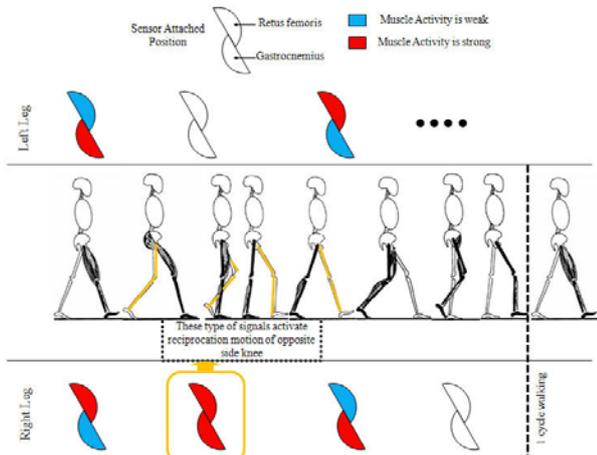


Fig. 9 Operation algorithm of KAS using MSS

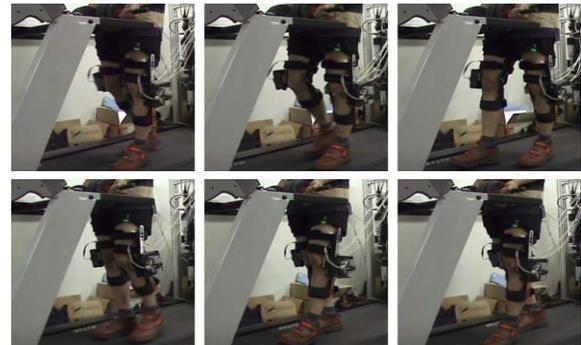
본 연구에서 착용자의 동작의지 획득을 위해 사용하는 근경도 센서는 착용자의 무릎 관절각도나 토크를 측정 할 수 없지만 보행 시 Fig.7 에서 정의한 근육 그룹의 활성화 패턴을 측정 할 수 있다. 따라서 외골격 모듈의 명령신호는 각 근육그룹의 활성화 패턴을 이벤트로 처리하여 이벤트 발생 시 외골격 모듈이 작동하기 위한 패턴을 실행 하도록 하였다.

보행분석(Fig.6)에서 보행 구간별 활성화되는 근육그룹(Fig.7) 중 서로 중첩이 되지 않는 두 개의 그룹 ①(retus femoris), ③(gastrocnemius)에 근경도 센서를 부착하여 사람의 보행 시 근육의 활성도를 측정하여 Fig.9 의 알고리즘의 입력으로 사용하였다. 이 알고리즘은 보행 구간 별 ①그룹과 ③그룹의 크기를 비교하여 외골격 모듈의 동작을 위한 명령신호를 생성하는 알고리즘이다.

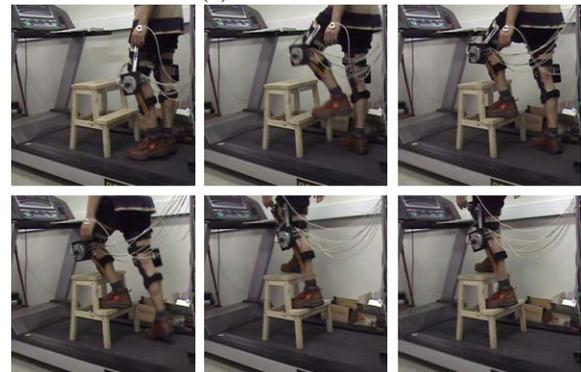
## 5. 실험 및 검증

### 5.1 외골격 모듈 실험

본 연구에서 개발된 무릎근력지원용 외골격 모듈을 착용하고 tread mill 과 계단에서 보행 실험을 하였다.(Fig.10)



(a) Tread mill test



(b) Stairs Test

Fig. 10 Walking test of the exoskeleton robotics

## 5.2 근력지원 효과 검증

본 연구에서 개발한 근력지원용 외골격 모듈의 근력지원 효과를 검증하기 위하여 계단 보행 시 외골격 모듈을 착용한 상태와 착용하지 않은 상태에서의 근육의 활성화 크기를 EMG 센서를 사용하여 측정하였다. Fig.11 은 근육그룹 ①, ③에서 측정된 EMG 센서 측정값이다. 그림에서 보는 것과 같이 외골격 모듈을 착용 시 근육 활성화가 현저히 작아짐을 볼 수 있으며, 이는 본 연구에서 개발한 외골격 모듈을 착용 시 작은 힘을 사용하여 보행이 가능함을 의미한다.

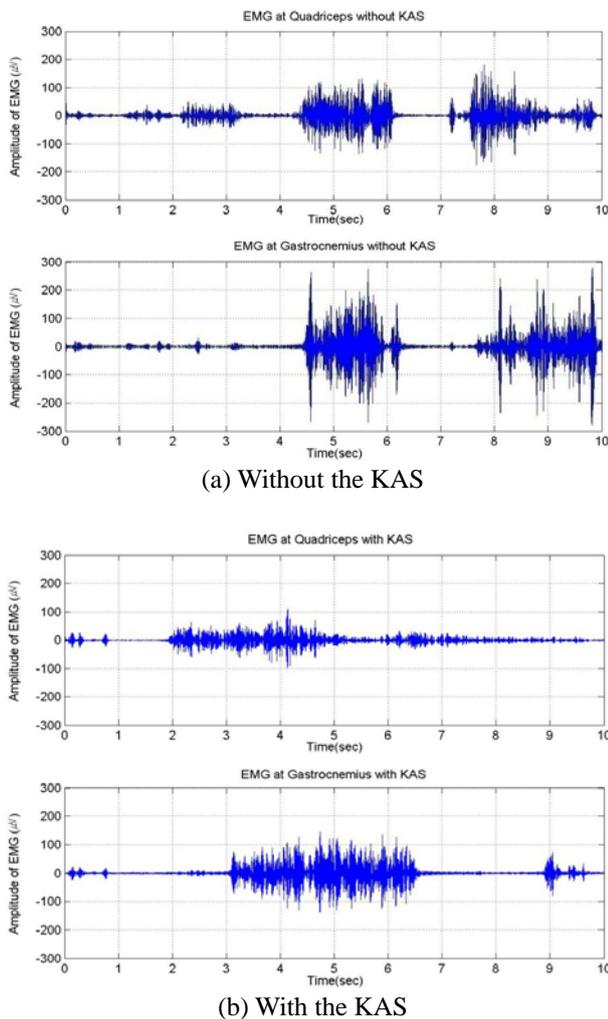


Fig. 11 Verification of the KAS using the EMG

## 6. 결론

본 논문에서는 평지 및 계단 보행 시 특정 관절의 근력지원을 목적으로 착용형 외골격 모듈을 개발 하였고, 보행 시 착용자의 동작의지 신호 획득하기 위하여 근경도 센서를 개발 하였다.

또한 이 신호를 사용하여 로봇이 동작하기 위한 특정 근육의 신호와 보행 패턴을 조합한 알고리즘을 개발하였으며, 근력지원 효과를 검증하기 위하여 계단보행 시 근육활성화 크기를 EMG 센서를 사용하여 측정하여 비교하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 외골격 모듈을 착용하였을 때 보다 작은 힘을 사용하여 계단을 보행 할 수 있음을 보았다. 향후 보다 다양한 보행 패턴 및 이벤트를 추가하여 건설현장 적용을 할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 한양대학교 특성화 연구센터 사업의 지원을 받아 수행한 연구입니다.(MMR 센터)

## 참고문헌

- (1) Thring, M. W. "Robots and Tele-chairs." *Halsted Press, a division of John Wiley & Sons.*
- (2) 유승남, 이희돈, 한창수, 이정엽, 김석환, "근력 지원을 위한 웨어러블 로봇의 설계 및 작동기법 개발", *한국군사과학기술학회 종합학술대회*, pp.1098-1101, 2007
- (3) Andrew Chu, H. Kazerooni, and Adam Zoss, "On the Biomimetic Design of the Berkely Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)", *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation*, Barcelona, Spain, April, pp.4345-4352, 2005.
- (4) Yoshiyuki Sankai, "Leading Edge of Cyernics: Robot Suit HAL", *Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference 2006*, Bexco, BuSan, Korea, pp.1-2, Oct. ,2006.
- (5) Daisuk Sasaki, Toshiro Noritsugu and Masahiro Takaiwa, "Development of Active Support Splint Driven by Pneumatic Soft Actuator (ASSIST)", *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, pp.502-525, 2005.
- (6) Arndt V., Rotherbacher D., Daniel U., Zschenderlein B., Schuberth S., Brenner H., "Construction work and risk of occupational disability: a ten year follow up of 14,474 male workers", *Occup. Environ. Med.*, 2005,vol.62, pp.559-566
- (7) Kazuo Kiguchi, Mohammad Habibur Rahman and Kenbu Teramoto, "Development of a 3DOF mobile exoskeleton robot for human upper-limb motion assist", *Robotics and Autonomous systems*, Vol.56, Issue8, pp.678-691, 2007.
- (8) Margareta N., Victor H., "Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System", *Lippincott Williams & Wilkins*, 2001.