

# 상지 근전도 기반의 로봇 팔 제어방법에 대한 연구

## A Study on Robotic Arm Control Method Based on Upper Extremity Electromyogram

강신윤\*, 엄수홍, 장문석, 이용혁

S. Y. Kang, S. H. Eom, M. S. Jang and E. H. Lee

### 요 약

본 논문에서는 상지하부 절단환자를 대상으로 하는 상지 근전도 기반의 로봇 팔 제어방법을 제안한다. 로봇 팔의 제어를 위해 전완 신전근과 전완 굴곡근 그리고 이두근의 근활성도를 분석하여 특정 자세에 따른 근활성도 분포를 제어입력으로 활용하였다. 이러한 제어 입력은 알고리즘을 통하여 로봇 팔을 제어하기 위한 제어명령으로 변환된다. 제안하는 방법에 대한 실험 및 검증을 위하여 1채널 근전도 착용형 모듈과 각각의 모듈과의 연동을 통하여 3채널 근전도 분석을 수행하는 PC 어플리케이션 기반의 5자유도 로봇 팔 제어시스템을 구성하였다. 제어의 정확도 및 성능평가를 위해 로봇 팔을 통한 물건 옮기기 실험을 수행하였으며, 20대 중반의 남성을 대상으로 하여 10시간의 숙달훈련 후 실험을 수행한 결과 실험결과의 평균 정확도가 92.5%로서 제안하는 방법은 유효한 것으로 평가하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose the robotic arm control method based on upper extremity electromyogram for lower upper extremity amputation patient. The muscle activity of the forearm flexor, forearm extensor and biceps was analyzed to utilize distribution of muscle activity to a specific position in order to the control input. This control input is converted into a control command for controlling the robotic arm through the algorithm. For the experiment and verify the proposed method, 5DoF robotic arm control system was constructed with 1 channel EMG Module and PC applications through the interworking with each module to perform a three-channel EMG analysis. For accuracy and performance evaluation of control, Experiments were performed with robotic arms moving objects. As a result of experiments which after training for 10 hours by middle 20's man, Validity of the proposed method was evaluated based an average accuracy of 92.5%.

**Keyword :** EMG, Robotic Arm, Upper Extremity, Forearm, Biceps

### 1. 서론

2007년 한·독 국제장애인보조기구 심포지엄의 통계자료를 보면 인구수 증가로 인하여 장애인을 위한 재활보조 장비의 수요가 증가할 것으로 예상되었다[1]. 이에 장애인들을 위한 기술개발에 관심과 수요가 증가하면서 HCI (Human Computer Interaction) 또는 HMI (Human Machine

접 수 일 : 2015.02.16

심사완료일 : 2015.02.17

게재확정일 : 2015.02.28

\* 강신윤 : 한국산업기술대학교 신기술융합학과 석사 과정  
sykang@kpu.ac.kr (주저자)

엄수홍 : 한국산업기술대학교 정보통신공학과 박사 과정  
sheom@kpu.ac.kr (공동저자)

장문석 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수  
msjang@kpu.ac.kr (공동저자)

이용혁 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수  
ehlee@kpu.ac.kr (교신저자)

※ 본 연구 중 일부는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 고급인력과정 지원사업" 지원받아 수행되

었음"(NIPA2014-H0401-14-1003)

※ 본 논문의 일부는 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 '바이오 GMP 기술인력 양성사업'의 지원을 받아 수행하였습니다(N022100001).

Interaction) 기술을 응용한 인터페이스 연구가 활발하게 진행되고 있다[2]. 이러한 인터페이스 기술은 원활한 사지의 운동이 어려운 사용자에게 일상생활 보조기구의 사용이 가능하도록 한다. 한편, 일상생활 활동영역을 보조하는 재활보조 장비로서 전동휠체어와 같은 개인이동수단이나 전동의수와 같은 상지기능 보조수단의 제어기술 역시 다양한 연구가 진행되어 왔다. 이들 중에 상지기능 장애인은 상지를 사용하는 전반적인 동작에 어려움이 있으며, 이를 대신 수행하는 보조기구가 필요하다. 이는 대부분의 인터페이스가 상지의 기능이 일정 수준 이상 동작하여야 사용이 가능하기 때문이다. 이를 위해 보조기구의 원활한 사용을 통하여 일상생활 영위가 가능하도록 다양한 HMI 연구가 진행되어왔다[3-6]. 그러나 여전히 대부분의 인터페이스는 상지 장애인의 접근이 어려워짐으로서, 보조기구가 있음에도 불구하고 적용이 어려운 경우가 있으며 이로 인해 사회적으로는 장애인과 비장애인의 삶의 질 차이가 발생하는 문제점이 있다[7].

한편, 상지 절단환자의 경우 절단부위에 따라 활동이 가능한 상지운동기능이 확연히 달라진다. 또한, 환부의 근육 및 신경이 퇴화되어 근전도와 같은 생체신호 기반의 인터페이스 방식의 정확도가 저하되고 수행 가능한 움직임에도 제한이 있어 적용이 가능한 인터페이스 방법에 제한이 있다. 이로 인해 기존의 일상생활 보조 장비의 활용이 어려워지는 문제점이 발생한다. 이러한 절단환자의 한계를 극복하기 위한 방안으로 절단된 신경을 타 근육에 접합하여 절단된 부위의 근전도 신호를 인터페이스로 활용하는 방법이 있으나[8], 이러한 방법의 단점은 신경이 일정수준 이상 퇴화가 진행되면 적용이 불가능한 점과 비용 및 접합할 근육의 선정문제와 같은 부가적인 어려움이 있다. 따라서 일반적인 재활훈련에서는 손상된 부위의 꾸준한 재활훈련을 통하여 신경의 퇴화를 방지하여 바이오피드백 기반의 인터페이스를 적용하는 경우가 대부분이다.

한편, 근전도 기반 인터페이스와 관련된 연구사례로 다채널 근전도 신호를 이용한 인터페이스를 통한 상하좌우 인식을 수행하는 연구가 있다[9]. 이러한 인터페이스의 문제점으로 일상생활에서보다 강한 강도로 반복적인 근수축을 수행함으로써 근피로도가 빠르게 증가하여 지속적인 인터페이스 사용이 어려운 것으로 판단된다. 또한 상지 절단환자의 근전도 신호 측정방법에 대한 다양한 연구사례에서 [10-12], 패턴인식을 통한 인식률이 90%이상 도달하지 못한 것을 통하여 상지 절단환자의 정상인 대비 낮은 근활성도를 고려한 근전도 활용방안의 필

요성이 요구된다.

한편, 상지의 절단정도에 따라 적용되는 보조기구의 형태가 달라진다. 이들 중에 상지하부 절단환자의 경우 손상된 근육의 퇴화는 물론, 손상되지 않은 근육역시 사용하지 않음에 따라 근육이 약해지는 증상이 발생한다. 이는 경우에 따라서는 근력의 약화로 인하여 의수와 같은 보조기구가 있음에도 불구하고 일상생활 영위에 있어서 큰 개선이 어려운 상황이 올 수 있으므로 상지의 기능을 대신 수행하는 팔 형태의 보조로봇이 이상적일 것이다.

이에 본 논문에서는 상지하부 절단환자의 전완 신전근과 전완 굴곡근 그리고 이두근의 근활성도를 분석하여 특정 근활성도 분포 형태를 상지기능 수행을 위한 로봇 팔 제어에 적용하는 방법을 제안한다. 상지의 절단위치에 따라 근육의 활성화 범위가 제한되어 있으므로 본 논문에서는 전완근의 근활성화가 가능한 상지하부 절단환자로 대상을 정의하였다. 제안하는 방법의 검증을 위해 착용형 인터페이스와 PC기반 어플리케이션을 통한 연동을 통하여 5 자유도 로봇 팔을 제어하는 시스템을 구성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 근전도 신호 처리기법과 3채널 근전도 신호의 분석 그리고 로봇 팔 제어를 위한 제어명령 형태에 대해 기술한다. 3장에서는 구현된 시스템을 설명하고 실험을 위해 정의된 로봇 팔 제어명령, 실험방법 그리고 실험 결과에 대해 기술한다. 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 상지 근전도 기반의 제어방법

### 2.1 근전도 신호 처리기법

근전도 신호는 획득방법에 따라 크게 표면근전도 (sEMG : surface EMG)와 내부근육 근전도(iEMG : intramuscular EMG)로 구분할 수 있으며, 일반적으로 근전도 신호 획득에는 하드웨어 또는 알고리즘에 의한 전처리과정이 수행된다. 한편, 근전도 신호 처리기법은 크게 패턴인식 기법과 비 패턴인식 기법으로 구분할 수 있으며, 마찬가지로 근전도 신호의 신호획득 목적에 따라 적용되는 방식이 달라진다.

본 논문에서는 비용과 정밀도 및 근전도 신호의 복잡도를 고려하여 표면근전도 방식을 적용하였다. 전완 신전근과 전완 굴곡근 그리고 이두근의 근전도 신호를 개별적으로 획득하여 분석된 근활성도를 제어입력으로 사용하므로 제어에 관여하는 근전도 신호의 복잡도가 상대적으로 낮다고 할 수 있다. 따라서 상대적으로 간결하고 근육의 전반적인 근활성

도를 확인할 수 있는 비 패턴인식 기법을 통하여 근전도 신호를 획득하였다. 이러한 방법은 연산량이 적은 전처리과정을 통하여 연산속도가 상대적으로 낮은 소형 단말기에서의 실시간 근활성도 분석이 가능한 장점이 있다. 한편, 일반인에 비해 근활성도가 낮고 불안정한 상지하부 절단환자의 또한 복잡한 분석이 아닌 활성/비활성 분석을 통하여 제어 명령을 생성하므로에게 적합한 방법이라 할 수 있다. 근전도 신호를 획득하기 위한 전처리 과정은 그림 1과 같다.

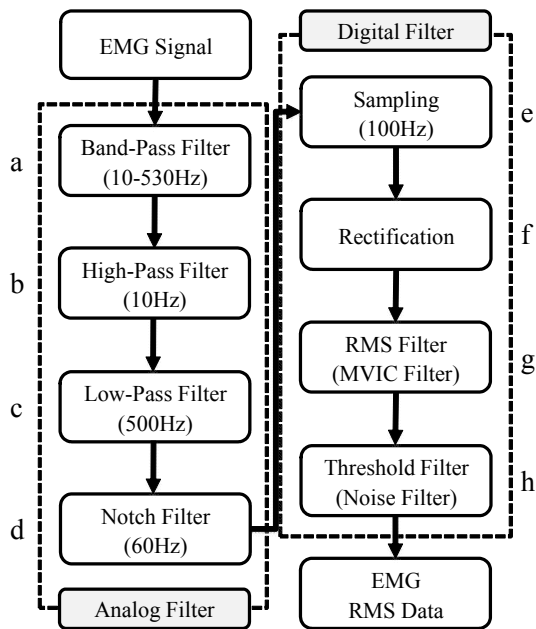


그림 1. 근전도 신호 전처리과정 흐름도

(a)전극을 통해 입력된 초기 신호는 대역통과필터를 통해 1차 신호대역추출이 이루어진다. (b,c)고주파필터와 저주파필터를 통해 신호대역 이외의 주파수 대역에 대한 신호를 제거한다. (d)대역제거필터를 통해 60Hz대역의 전기노이즈를 제거한다. (e)적절한 샘플링을 통하여 아날로그신호를 디지털화한다. (f,g)정규화를 통한 근전신호의 진폭데이터를 신호세기 데이터로 변환한 후 실효값을 추출한다. 추출된 데이터에서 임계값 필터를 통해 일정 세기 이하의 불필요 데이터를 미세 노이즈로 간주하여 제거한다. 이와 같은 과정을 거쳐 최종 출력되는 데이터는 근활성도에 비례하여 선형증가 및 감소되어 힘의 크기 또는 구동유무를 판단하는 기준이 된다.

2.2 근활성도에 따른 제어명령 생성

본 논문에서 사용되는 근육은 전완 신전근과 전완 굴곡근 그리고 이두근으로 그림 2와 그림 3과 같이 각각의 근활성도를 통하여 사용자 의도파악을 수행한다.

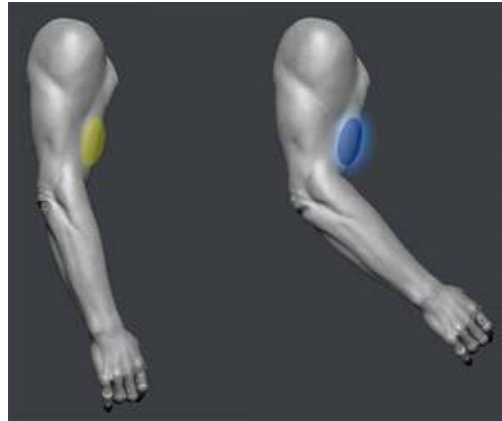


그림 2. 이두근의 근활성화



그림 3. 전완 신전근과 전완 굴곡근의 근활성화

전완 신전근과 전완 굴곡근 그리고 이두근의 근활성도를 통하여 그림 4와 같은 6가지 형태의 제어명령의 형태를 정의하였다.

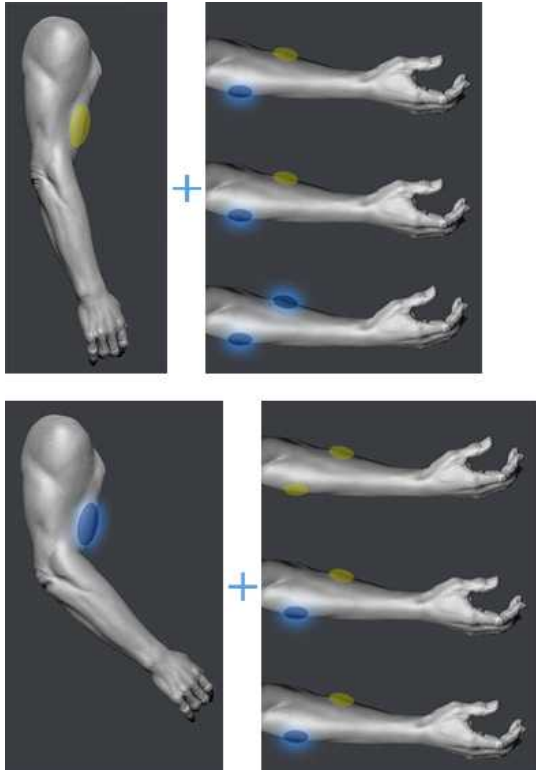


그림 4. 각각의 근육의 근활성도에 따른 제어 명령 형태 정의

이러한 제어명령의 형태는 각각의 움직임에 알맞은 동작을 부여함으로써 사용자의 의지에 따른 입의 근활성도 분포가 이에 대응하는 제어명령으로 변환되도록 한다. 이를 통하여 사용자가 원하는 로봇 팔의 동작이 수행된다.

### 3. 실험 및 검증

본 논문에서 제안하는 방법의 실험 및 검증을 위한 시스템 구성은 그림 5와 같다.

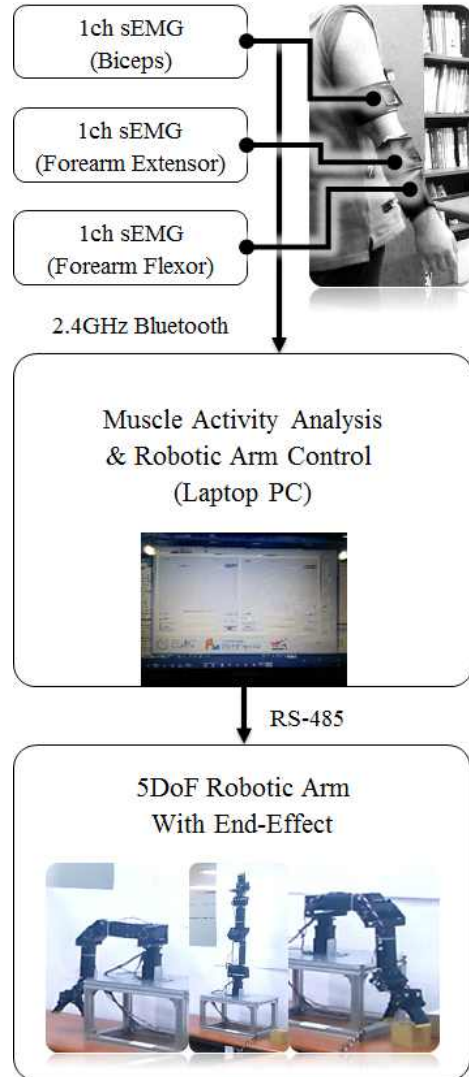


그림 5. 실험 및 검증을 위한 5DoF 로봇 팔 제어시스템

실험에 사용되는 로봇 팔은 상용 End-Effector 장착형 5DoF 로봇 팔을 사용하였으며 소형 생체신호 단말기와 상용 Laptop PC의 연동을 통한 로봇 팔 제어시스템을 구성하였다. 또한 실험 및 검증을 위하여 자체 제작된 소형 생체신호 측정모듈을 사용하였다. 그림 6은 실험 및 검증에 사용된 모듈이며, 모듈사양은 표 1과 같다.



그림 6. 실험 및 검증을 위한 소형 생체신호 측정모듈

표 1. 소형 생체신호 측정모듈 사양

항목	사양
MCU	STM32F405RGT
근전도 신호 획득방식	sEMG(표면근전도)
통신방식	bluetooth(2.4GHz)
배터리	3.7V LiPo 130mAh

실험 및 검증 방법은 일상생활에서 수행되는 상지활동을 선정하여 제안하는 방법에 의한 로봇 팔 상지활동 수행의 정확도를 보고자 하였다. 이를 위하여 본 논문에서는 기초적인 상지활동인 물건옮기기를 로봇 팔을 통하여 수행하도록 하여 정확도를 분석하여 제안하는 방법의 타당성을 검증하도록 하였다. 물건옮기기를 통한 실험방법은 그림 7과 같다.

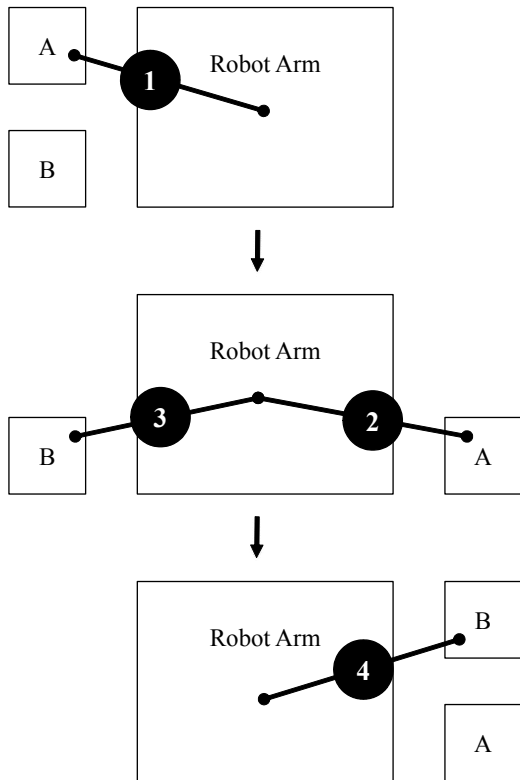


그림 7. 실험 및 검증을 위한 물건옮기기 수행 방법

(1) 첫 번째 목표인 A를 잡는다. (2) 첫 번째 목표 A를 로봇 팔 중심의 대각선으로 건너편에 옮긴다. (3) 두 번째 목표인 B를 잡는다. (4) 두 번째 목표 B를 로봇 팔 중심의 대각선으로 건너편에 옮긴다. 상기 제시된 실험을 수행하기 위하여 필요한 동작을 제어명령 형태에 적용하여 그림 8과 같은 제

어명령 기능을 정의하였으며, 그림 9는 제어명령 수행에 따른 로봇 팔 구동 예시이다.

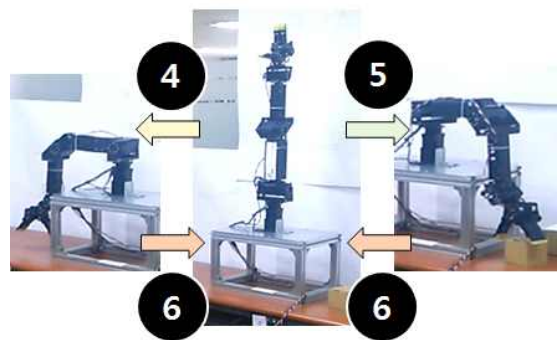
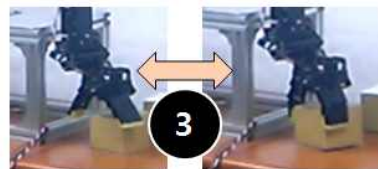
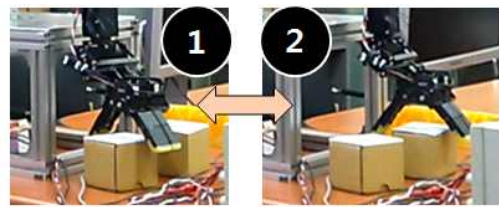
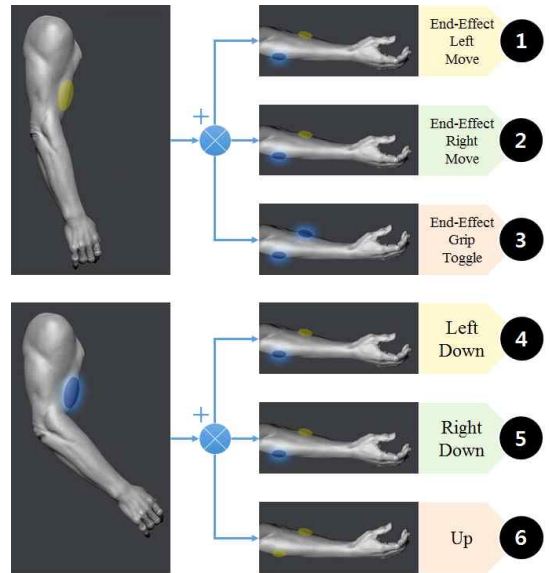


그림 8. 근활성도 분류에 따른 제어명령 기능 정의

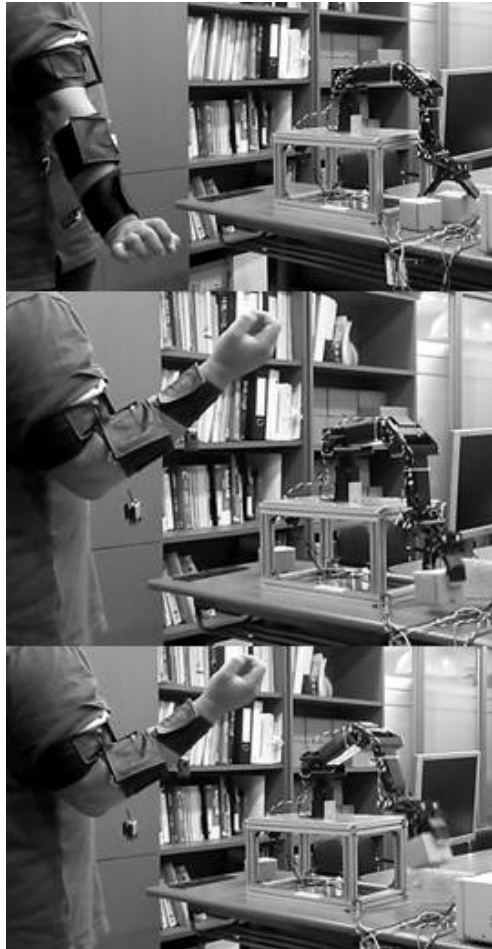


그림 9. 근활성도 분류에 따른 제어명령 기능 수행

실험 및 검증의 신뢰성을 높이기 위하여 20대 중반의 남성을 대상으로 하여 10시간의 숙달훈련 후 실험 및 검증을 수행하였으며, 제안된 실험방법을 20회 5분기 총 100회 반복하여 제어명령의 정상동작/비정상동작을 구분하여 정확도를 추정하였다. 실험 결과는 그림 10와 같다.

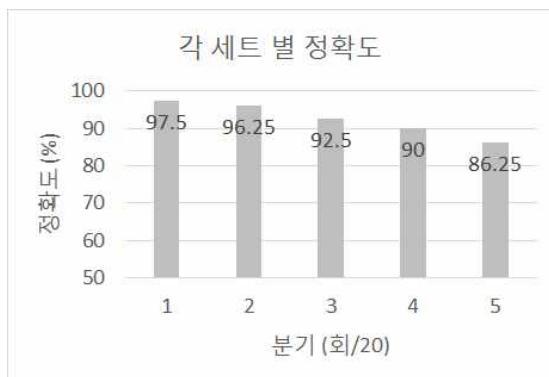


그림 10. 제어명령 기능 수행 실험결과

총 5분기 실험의 평균정확도는 92.5%의 수치를 보였다. (1)최초 실험 수행 시, 97.5%의 높은 정확도를 보였으나, (2-4)반복되는 실험으로 인하여 근피로도 증가로 인한 제어실패가 발생하는 현상이 증가하였다. (5)마지막 분기의 실험결과는 정확도 86.25%로서 초기 실험 대비 11.25% 감소한 것으로 확인이 되었다. 근전도 기반의 제어명령 생성은 일반적인 신체활동과 같은 동적운동이 아닌 정적운동에 의한 제어를 장시간 지속적으로 수행하게 된다. 이러한 근육활동은 상대적으로 근피로도의 증가율이 커지므로 제어의 정확도에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 이는 향후 연구를 통하여 해결되어야 할 사항으로 판단된다. 그러나 본 논문에서 제시된 방법은 실험의 정확도에 근거하였을 때 상당한 정확도를 보이며, 지속적인 연구수행을 통하여 일상생활에 일정 수준 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문은 상지하부 절단환자의 전완 신전근과 전완 굴곡근 그리고 이두근의 근활성도를 분석하여 특정 자세에 따른 근활성도 분포를 상지기능 수행을 위한 로봇 팔 제어에 적용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 각각의 근활성도에 대한 제어명령 형태를 정의하고 각각의 움직임에 알맞은 동작을 부여함으로써 사용자의 의지에 따른 임의의 근활성도 분포가 이에 대응하는 제어명령으로 변환되도록 하는 방법이다. 이러한 방법의 효용성을 검증하기 위해 로봇 팔을 통한 물건옮기기를 통하여 정확도를 평가하였으며, 평가결과 사용법에 대한 숙달 정도에 따라 차이가 있으나 일정기간 훈련을 수행한 후 92.5%의 정확도를 보였다. 이러한 수치는 본 논문에서 제안한 방법이 의미있는 방법이라고 볼 수 있다. 향후 연구방향으로는 장시간 지속되는 정적운동에 의한 근피로도 최소화를 위하여 근육의 활성화 시 동적운동의 형태로 보조기구를 제어할 수 있는 방법 또는 지속적인 근육 사용 시 발생하게 되는 근피로도 발생을 최소화 할 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 한국장애인복지진흥회 “2007년 한·독 국제장애인보조기구 심포지엄” 2007
- [2] 이안재, 복득규 “SERI 경제포커스” 삼성경제연구원, 2008

[3] B. Hudgins, P. Parker, and R. N. Scott, "A new strategy for multifunction myoelectric control", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 40, no. 1, pp. 82-94, 1993.

[4] K. Englehart K and B. Hudgins, "A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 50, no. 7, pp. 848-854, 2003.

[5] R. Merletti and P. A. Parker, "Electromyography Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications", IEEE Press Series in Biomedical Engineering, John Wiley and Sons Inc, Hoboken, New Jersey, 2004.

[6] S.H Lee, W.Y Lee, J.S Kong and E.H Lee, "Gesture-based interface for the mobile use of the upper extremity disabilities", 12th Rehabilitation Engineering & Assistive Technology Society of Korea, Jeonju, Korea, Nov, 2012, pp.283-285.

[7] K.J. Kang, Webzine prism IT&Universal, 한국 장애인인권포럼, 2011, 통권 제17호.

[8] Levi J. Hargrove, Douglas G. Smith, and Todd A. Kuiken "Robotic Leg Control with EMG Decoding in an Amputee with Nerve Transfers" The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE, Oct 2013.

[9] K.S Kim, Y.H Han, W.B Jung, Y,H Lee, J.H Kang, H.H Choi and C.W Mun, "Portable Biosignal Measurement System Technologies", 10th Korea Game Society, Korea, Oct, 2010, pp.65-73.

[10] Sebastian Amsuss, Peter M. Goebel, Ning Jiang, Bernhard Graimann, Liliana Paredes and Dario Farina "Self-Correcting Pattern Recognition System of Surface EMG Signals for Upper Limb Prosthesis Control" IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 61, NO. 4, APRIL 2014

[11] Rami N. Khushaba "Correlation Analysis of Electromyogram(EMG) Signals for Multi-User Myoelectric Interfaces" IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING, VOL.11, NO. 1, JANUARY 2014

[12] Zhibin Song, Zhenyu Wang, Shuxiang Guo, Baofeng Gao "Study on Resistance Training

for Upper-Limb Rehabilitation Using an Exoskeleton Device" Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Aug 2013



**강 신 윤**

2013년 한국산업기술대학교 전자공학과 학사 졸업  
 2013년-현재 한국산업기술대학교 신기술 융합학과 석사 과정  
 2015년 졸업 예정

관심분야 : 재활 기기 인터페이스, 지능형 로봇 제어, 재활공학,



**엄 수 홍**

2009년 한국산업기술대학교 전자공학과 졸업.  
 2011년 한국산업기술대학교 정보통신학과 석사 졸업.  
 2012년-현재 한국산업기술대학교 정보통신학과 박사 과정.

관심분야 : 재활 기기 인터페이스, 재활 훈련 로봇, 고령자 서비스 로봇 등.



**장 문 석**

1997년 건양대학교 컴퓨터공학과 졸업.  
 2000년 인하대학교 컴퓨터공학과 석사.  
 2010년 동 대학 전자공학과 박사 졸업.  
 2010년-현재 한국산업기술대학교 전자공학과 산학협력중점교수.

관심분야 : 센서 네트워크, 위치인식, 서비스 로봇 제어, 모바일 헬스 케어 시스템 등.



**이 응 혁**

1985년 인하대학교 전자공  
학과 학사 졸업.

1987년 인하대학교 전자공  
학과 석사 졸업.

1992년 인하대학교 전자공  
학과 박사 졸업.

2000년-현재 한국산업기술  
대학교 전자공학과  
교수

관심분야 : 지능형 서비스로봇 제어, 모바일  
헬스케어 시스템, 재활공학