

재활 및 헬스케어를 위한 로봇응용

재활 및 헬스케어 분야에서 로봇의 응용은 활동이 필요한 장애자를 돕거나 물리적인 기능이나 인식능력 등을 향상시키기 위해 다양한 치료방법을 제공하는 것으로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 그동안 국내 외적으로 진행된 다양한 로봇의 응용방법과 예를 살펴보고, 이를 통하여 최신 연구동향을 파악하고자 한다.

■ 김동원*, 이종호, 엄우용
(인하공업전문대학 디지털 전자과)

1. 서론

상처나 질병으로 인하여 내가 원하는 만큼 주변 환경에 물리적으로 접근할 수 없을 때, 혹은 가족이나 친구, 주위 사람들 중의 누군가가 이러한 상황에 처했을 때 일상생활을 원활하게 하기 위해 우리는 기술이 접미된 해결책을 찾고자 한다. 일반적으로 치료 전문가나 간병인 혹은 보호자가 주위에서 필요한 도움을 제공할 수도 있다. 이와는 다르게, 나이와 관련된 지체부자유자는 점점 그 수가 많아지면서 인력시장에서 중요한 이슈로 자리 잡을 수 있다. 가정에서 이루어 지는 구체적인 해결책이 없다면, 노인이나 거동이 불편한 사람들은 점점 더 위협에 노출되면서 이에 따라 공공시설의 도움이 점점 더 커지게 된다. 이를 위해 국제적인 프로그램으로 개인용 로봇, 로보틱 세라피(robotic therapy), 스마트 침대, 스마트 홈 등이 개발되고 있으며, 웹 상에서의 원격조작 로봇등과 같은 원격서비스를 통하여 사람들에게 지속적인 헬스케어를 가능하게 했다. 재활과 헬스케어 로봇분야는 일반적으로 치료와 보조용 로봇으로 나눌 수 있다. 여기서 재활은 인공보철의 개발이나 일상생활에서의 사람들에게 대한 상태를 모니터링하고 진단하는 기술을 포함한다. 치료용 로봇은 일반적으로 두 가지 형태의 메인 유저가 동시에 존재하는데, 치료를 받는 거동이 불편한 사람과 로봇과의 교감을 확인하며 모니터링하는 치료사로 이루어 진다. 로봇의 도움으

로 수혜를 받는 치료의 형태로는 운동치료, 자폐아 어린이를 위한 교감치료, 뇌성마비를 위한 교육치료, 또는 장애발달을 위한 치료 등 다양하게 구분할 수 있다. 따라서 로봇은 다양한 이유를 위해 치료사의 훌륭한 대안이 될 수 있다.

보조용 로봇은 일반적으로 매니플레이션, 이동성 혹은 인식 작업에 따라 분류될 수 있다. 매니플레이션으로 분류된 로봇은 부엌이나 책상 혹은 침대 옆에서 고정된 형태로 기능을 수행하는 것으로 나타낼 수 있으며, 물체를 잡거나 움직이기 위해 이동가능 형태로 전동 휠체어 등에 부착된 로봇팔을 예로 들 수 있다. 문을 여는 예와 같이 실내나 실외에서 다른 장치나 부품과 상호 작용을 하기 위한 이동식 구조도 고려할 수 있다. 자율 이동로봇은 집이나 작업공간 내에서 매니플레이션이나 다른 임무를 수행하기 위해 음성이나 기타 여러 수단을 이용하여 제어될 수 있다. 이동수단으로의 로봇은 네비게이션(주행)시스템을 장착한 전동휠체어와 장애를 가진 사람이 넘어지지 않고 안전하게 기댈 수 있도록 모터가 달린 보행자 역할을 할 수 있는 모바일 로봇으로 분류할 수 있다. 치매나 자폐증, 혹은 커뮤니케이션과 신체적인 성장에 영향을 줄 수 있는 다른 장애를 가진 사람을 돕기 위한 인식도우미 로봇도 좋은 예를 이루고 있다.

재활로봇의 다양한 영역은 서로 다른 사용자 집단에 초점을 맞추지만, 이들 집단의 일반적인 특성은 그들 모두가 장애를 가지고 있다는 것이다. 장애를 신체적 혹은 정신적 손상으로 인한

여 일상생활에서 하나 혹은 그 이상의 제한을 받는 것으로 정의할 때 일본, 미국, 캐나다, 유럽과 같은 산업화된 나라에서 장애의 발생률은 8%~20% 정도 된다 [1]. 나이는 장애에 있어서 위험 인자가 되며, 점점 줄어드는 출산율과 인생의 전반기로 늘어나는 헬스케어는 인구의 노령화 및 장애와의 동반상승에 기여하는 매우 중요한 인자가 된다. 따라서 노령사회에서 발생하는 과잉 장애율은 재활과 헬스케어를 위한 로봇개발 및 응용에 대한 명분을 명확하게 해주며 이들 사용자와 직면할 수 있게 한다.

재활로봇의 역사는 거의 로봇자체의 역사처럼 오래되었다 [2-3]. 1950년도 후반에 시작된 초기 로보틱스는 위험하고 불결한 작업을 위해 공장에서 노동자를 대체하기 위한 매니퓰레이터에 초점이 맞추어져 있었고, 초기 재활로봇은 보철과 교정 분야에서 출발되었다. 1960년대에 나온 Case Western University arm 과 1970년 초에 나온 Rancho Los Amigos Golden Arm 은 기계적인 로봇 팔의 대체응용이었다. Golden Arm은 혀로 작동되는 스위치가 장착되어 사용자가 이를 이용하여 구동하였다. 이외에도 다양한 초기모델들이 [2,4-5]에서 잘 정리되었다. 로봇의 역사는 다양한 책과 논문을 통해서 많이 알려졌으며, [2,3,6]에서 구체적인 내용을 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 물리적인 치료와 트레이닝을 위한 로봇과 장애를 가진 사람들을 위한 로봇응용을 살펴 본다. 또한 재활로봇과 관련된 스마트 보철과 외부보조기의 최근 추세와 함께 헬스케어와 관련된 최신경향을 살펴보기로 한다.

2. 물리치료 및 트레이닝 로봇

최근들어, 물리치료 로봇 및 트레이닝 로봇의 많은 부분이 뇌졸중이나 척추손상을 가진 환자의 운동능력 재훈련에 초점이 맞추어져 있다. 주된 이유는 상대적으로 많은 환자들이 이러한 환경에 노출되어 있으며, 이와 관련된 재활비용이 상당히 크다는 이유이다. 또한 환자 개개인의 적응력으로 인하여 때에 따라선 강한 재활능력을 경험하기도 한다. 몇몇 시스템은 신경손상을 입은 환자의 인지재활에 목표를 두는 것도 있다.

아래 그림은 1980년도 이후부터 개발되어 임상치료 테스트를 진행하고 있는 잘 알려진 상단사지 치료 로봇이다. 그림 1은 MIT-MANUS 로 2개의 조인트 암으로 구성되었으며, SCARA 구조로 두 개의 커다랗고 기구적으로 연결된 모터가 경량의 연동장치를 구동시킨다 [7]. 환자는 로봇의 맞은편에 앉아 엔드이펙터에 거동이 불편한 손을 고정시키고, 작은 마찰 지지면을 가진 테이블 위에서 팔을 지지시킨다. 이를 통해서 환자는 간단한

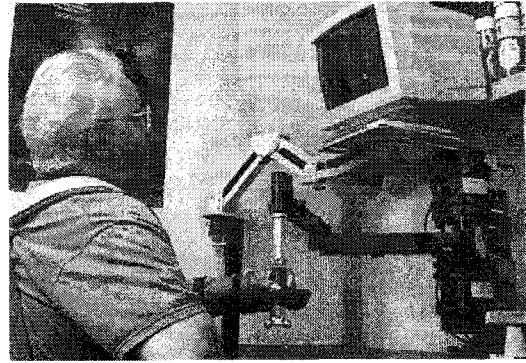


그림 1. MIT-MANUS (7).



그림 2. MIME (8).

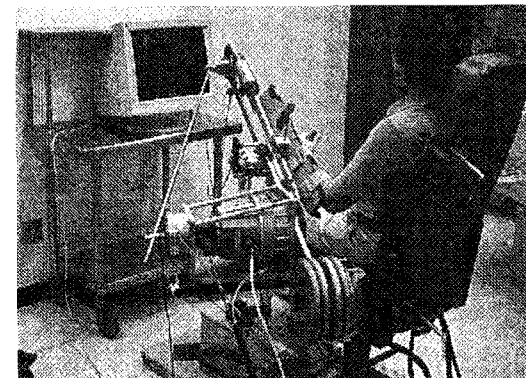


그림 3. ARM-Guide (9).

비디오 게임을 하듯이 테이블 위로 팔을 움직일 수 있다.

그림 2에서 나타난 것처럼 MIME (Mirror Image Movement Enhancer) 시스템은 환자 팔의 이동을 돕기 위해 Puma-560 로봇을 이용한다 [8]. 그림에서 보듯이, 환자에게 맞춰진 부목과 작용하는 힘이 너무 큰 경우 시스템을 정지할 수 있도록 설계된 커넥터를 손의 장치에 부착한다. 그림 1에서 보인 MIT-MANUS 와 비교하면, MIME은 6 자유도로 구성되어 있으므로 좀 더 자연스러운 팔의 모션을 고려할 수 있다.

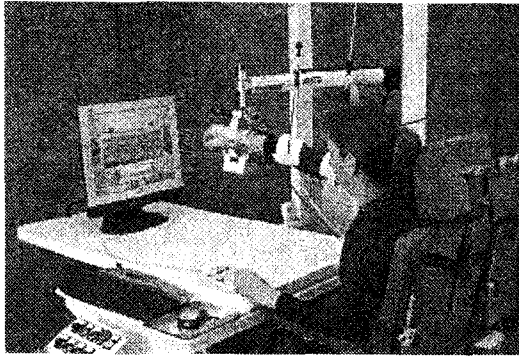


그림 4. GENTLE/s (10).

그림 3에서는 ARM-Guide를 보여주고 있다 [9]. ARM-Guides는 트럼본 처럼 생긴 장치로 직선형태로 도달할 수 있도록 도와주며, 어떤 방향으로 지정된다면, 그 후에 다른 방향으로는 고정할 수 있다.

그림 4에서는 GENTLE/s 시스템을 보여주고 있다. 이 시스템에서는 Haptic-Master라고 하는 상업용 로봇을 사용하는데, 환자가 마치 비디오 게임을 하는 것처럼 환자의 움직임을 도와주는 역할을 한다. Haptic-Master는 4자유도로 이루어져 움직임을 만들며, 포스 피드백(force feedback)을 이용하여 힘을 제어하는데 있어 높은 대역폭을 얻을 수 있다. GENTLE/s 을 가지고 운동한 만성뇌졸중 환자는 운동능력이 증가했음을 [10]에서 확인할 수 있다.

상단사지 치료와 관련해서 이 외에도 다양한 로봇치료용 장치들이 많이 개발되고 있다. ARM-In [11]과 Pneu-WREX[12]와 같은 시스템은 매우 많은 비용을 투자하고 복잡한 시스템으로 구성된 장치이며, 넓은 영역의 포스 컨트롤을 수행하면서 팔의 자연스러움을 조정할 수 있는 외골격을 가진 시스템이다.

보행과 관련된 로봇요법에 대하여 살펴보면 아래와 같다. 일반적으로 환자의 손상수준에 따라 체중 탈부하를 이용한 러닝머신 훈련을 위해 세 명의 치료사가 필요하다. 첫 번째는 골반의 안정과 움직임을 도와주는 치료사이며, 나머지 두 명은 트레드밀 옆에 앉아 스윙과 자세를 잡는 환자의 다리를 거들어야 한다. 이와 같은 개념에서 임상 치료용 목적으로 3가지 형태의 걸음걸이 훈련용 로봇이 이용되고 있다. 걸음걸이 훈련 트레이너 GT-[13], Lokomat [14], 그리고 AutoAmbulator [15]를 대표적인 예로 들 수 있다. 그림 5에서는 Health South Corporation 에서 개발된 AutoAmbulator을 살펴볼 수 있다. 이 로봇은 필요한 만큼 환자가 체중을 싣고 트레드밀에 발을 디딜 수 있게 도와주는 두 개의 로봇 팔로 구성되어 있다. 환자는 허벅지와 발목에 있는

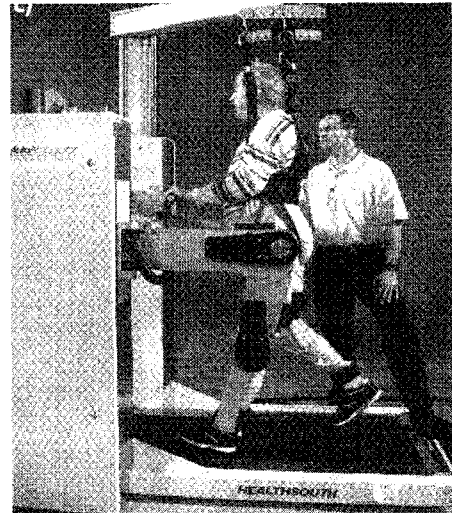


그림 5. AutoAmbulator (15).

가죽끈과 같이 생긴 스트랩을 통하여 환자의 다리 인터페이스가 이루어진다. 이 외에도 걸음걸이 훈련과 관련된 로봇기술에 대하여 [16,17]에서 다양한 연구가 진행되고 있다.

장애를 가진 인간을 돕는 로봇에 대하여 살펴보기로 하자. 보조 로봇은 근위축증이나, 척추손상 등으로 심각하게 불구가 된 사람이나 뇌성마비를 지닌 아동이나 집안의 집기류 등을 조작할 수 없을 정도로 능력이 결여된 사람들을 돕기 위해 설계되었다. 산업용 로봇과 보조용 로봇을 이용하는데 있어 명령을 내릴 때나 제어를 할 때, 요구되는 인터페이스의 형태에 따라 근본적인 차이가 생긴다. 산업용 로봇은 일반적으로 수동컨트롤러와 프로그래밍 언어의 조합에 의해 어디로 가야 되는지, 어떠한 움직임을 생성해야 되는지, 어떻게 도구를 바꾸어야 하는지, 등등이 이루어진다. 또한 공장자동화의 시나리오에 따라 반복적으로 움직여야 한다. 반면에 재활용 로봇은 요구되는 작업에 대하여 사용자 요구에 맞춰 다양한 기능을 제공할 수 있는 인터페이스를 갖춰야 한다. 또한 재활용 로봇의 사용자는 물리적으로 혹은 인지적으로 한계가 있는 장애를 가진 사람이며, 모든 재활로봇은 각각의 사용자에게 개별화된 인터페이스가 요구된다.

매니플레이션을 보조하는 로봇으로 미국에서는 ProVAR (professional vocation assistive robot) 이란 이름으로 PUMA-260 로봇 암에 기반한 리서치 프로토타입이 된 로봇이 있다. 여기서 로봇은 물체를 조종하거나 선반이나 책상에 있는 장치를 동작시킬 수 있으며, 로봇의 오퍼레이터에게 물건을 가져다 줄 수도 있다. 그림 7에서 ProVAR를 확인할 수 있다.

ProVAR 와 유사하게 EU (European Union) 에서는 그림 8과 같

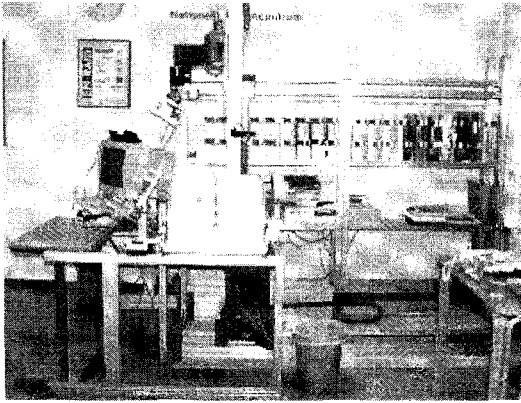


그림 6. AfMaster (19).

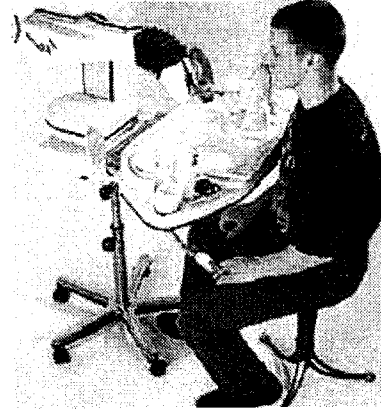


그림 8. Handy-1 (20).



그림 7. ProVAR (18).

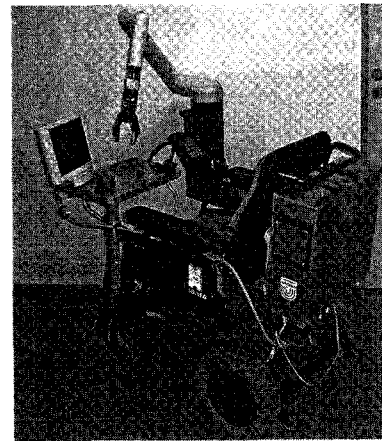


그림 9. MANUS (21).

은 AfMASTER /RAID 라는 워크스테이션이 개발되었다. 작업 공간안에 내장된 개념이 아닌 사용자의 작업공간 옆으로 2m*3m의 로봇 작업영역을 포함시킴으로 물건을 저장하고 사무용품 등을 배열시킬 수 있다.

영국에서 개발된 Handy-1 [20]은 뇌성마비 환자에 의해 작동되는 단일 스위치를 위해 3자유도를 가진 로봇으로 설계되었다. 처음에는 뇌성마비 환자가 한번에 한 입 깨어 물을 수 있도록 설계되었으나, 얼굴위생과 성형술로 점차 응용분야가 확대되었다.

집, 식당이나 혹은 식료품점과 같은 공공장소를 이동하면 물건을 조작하는 것은 전동휠체어 사용자에게 필요한 일이다. MANUS [21]라고 알려진 서비스 매니플레이터 보조로봇은 기존의 휠체어에 로봇 암이 부착된 형태로 휠체어에 부착된 조이스틱이나 숫자 패드로 제어되며 그림 9와 같은 형태를 지닌다.

이동을 보조하는 휠체어 주행 시스템은 그림 10과 11에서 확인할 수 있다. 이동성 장애를 가지거나 혹은 대화 혹은 인지장

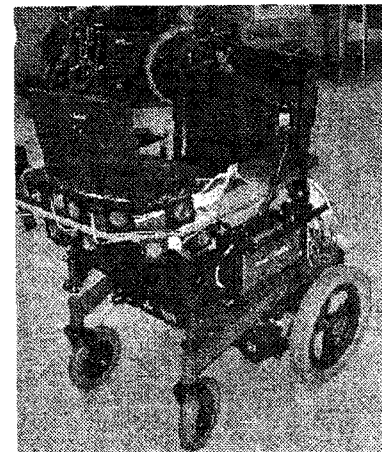


그림 10. Hephaestus (22).

애를 가진 사람을 위한 중요한 기능은 부분자율 주행 보조 시스템이다. 그림 10에서 보인 Hephaestus [22]는 휠체어 브랜드의 다양성, 조이스틱으로 인한 제어와 파워시스템을 위한 상업용 부

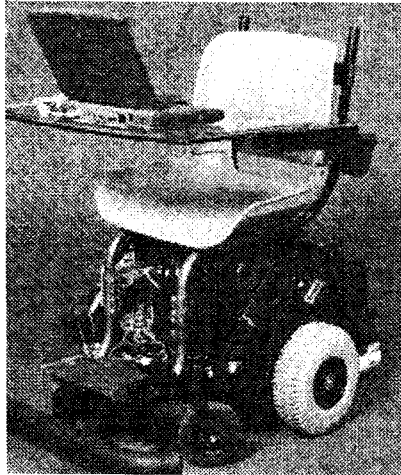


그림 11. Wheellesley [23].

속품으로 특별하게 제작된 차세대 시스템이다. 그림 11에서 보인 Wheellesley [23]는 기능적으로 Hephaestus 와 동일한 기능을 가지며, 화면 분석과 길 찾기를 위해 비전시스템을 이용한다.

인지보조 로봇과 관련하여, 재활치료 동안 동기부여와 교육의 에이전트로서 로봇을 바라보는 관심이 최근 들어 많이 증가했다. 이러한 방법은 신체적으로 환자와 교감하는 것이 아니라 작은 애완동물이나 장난감 같이 쉽게 접근 가능한 장치를 포함한다.

PARO 로봇[24]은 작은 하프물개처럼 생겼지만 머리와 눈꺼풀을 움직임으로써, 소리와 빛, 접촉, 혹은 혼드는 것에 반응할 수 있다. 이러한 로봇은 자폐증을 가진 아이나 노인과 친숙하게 교감하는데 이용된다. CosmoBot 과 같이 다자유도와 제어패널을 가진 작은 휴머노이드 로봇은 뇌성마비나 다운증후군 혹은 자폐증을 가진 어린이들에 말하기를 자극하거나 모터를 동작 시켜보는데 이용한다.

3. 결론

재활용 로봇은 로봇분야와 생물학에 대한 연구가 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 역동적인 응용분야이다. 이 분야에서 다가올 주요 테마는 로봇치료 장치와 스마트 보철장치, 그리고 점점 늘어나고 있는 인간에 대한 기능적인 보조와 케어 기능으로 볼 수 있다. 주요한 일상활동에 제한을 받는 사람들을 직접적으로 도울 수 있는 기술을 개발하기 때문에 재활용 로봇에 대한 관심은 대단히 고무적이다. 또한 이제 막 시작된 산업화된 나라에서의 인구의 노령화로 인하여 재활로봇의 응용분야는

지속적으로 증가할 것이다.

재활로봇에 대한 구체적이고 추가적인 내용은 참고문헌 [26-28]에서 좀 더 살펴볼 수 있다. 본 논문에서는 현재 이루어지고 있는 재활용 로봇의 개념을 살펴보고, 국내외적으로 진행된 다양한 예를 살펴보았다. 이를 통해서 최신 연구동향을 파악하여 좀 더 다양한 응용분야를 개척하고 실생활에 적용할 수 있는 좋은 기회를 엿보고자 하였다.

참고문헌

- [1] H.F.M. Van der Loos, R. Mahoney, and C. Ammi, "Great expectations for rehabilitation mechatronics in the coming decade". *Advances in Rehabilitation Robotics*, Lect. Notes Contr. Inf. Sci. vol. 306, pp. 427-433, 2004.
- [2] K. Corker, J.H. Lyman, and S. Sheredos, "A preliminary evaluation of remote medical manipulators," *Bull. Prosth. Res.* vol. 10, pp. 107-134, 1979.
- [3] M. Hillman, "Rehabilitation robotics from past to present - a historical perspective. *Advances in Rehabilitation Robotics*, Lect. Notes Contr. Inf. Sci. vol. 306, pp. 25-44, 2004.
- [4] W. Seamone, G. Schmeisser, "Early clinical evaluation of a robot arm/work table system for spinal cord injured persons," *J. Rehab. Res.Dev.*, vol. 22. pp. 38-57, 1985.
- [5] J. Guittet, H.H. Kwee, N. Quetin, J. Yelon, "The SPARTACUS telethesis," *manipulator control studies*, *Bull. Prosth. Res.* vol. 10, pp. 69-105, 1979.
- [6] L. Leifer, *Rehabilitative Robots*, In: *Robotics Age: in the Beginning selected from Robotics Age Magazine*, ed. By C. Helmers (Hayden, Hasbrouck 1981), pp. 227-241.
- [7] H.I. Krebs, N. Hogan, M.L. Aisen, B.T. Volpe, "Robot aided neuro rehabilitation," *IEEE Trans. Rehabil. Eng.* vol. 6, pp. 75-87, 1998.
- [8] P.S. Lum, C.G. Burgar, P.C. Shor, M. Majmundar, and H.F.M. Van der Loos, "Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper limb motor function following stroke," *Arch. Phys. Med. Rehabil.* vol. 83, pp. 952-959, 2002.
- [9] L.E. Kahn, M.L. Zygman, W.Z. Rymer, and D.J. Reinkensmeyer, "Robot-assisted reaching exercise promotes arm movement recovery in chronic hemiparetic stroke: A randomized controlled pilot study," *J. Neuroeng. Neurorehab.* vol. 3, no. 12, 2006.

- [10] F. Amirabdollahian, R. Loureiro, E. Gradwell, C. Collin, W. Harwin, and G. Johnson, "Multivariate analysis of the Fugl-Meyer outcome measures assessing the effectiveness of GENTLE/s robot mediated stroke therapy," *J. Neuroeng. Rehab.* vol. 19, no. 4, 2007.
- [11] T. Nef, R. Riener, "ARMin-Design of a novel arm rehabilitation robot," *Proceedings of the 2005 IEEE Int'l Conf. Rehabilitation Robotics*, pp. 57-60, 2005.
- [12] E. Wolbracht, J. Leavitt, D. Reinkensmeyer, and J. Bobrow, "Control of a pneumatic orthosis for upper extremity stroke rehabilitation," *IEEE Eng. in Med. & Bio. Conf.* pp. 2687-2693, 2006.
- [13] S. Hesse and D. Uhlenbrock, "A mechanized gait trainer for restoration of gait," *J. Rehab. Res. Dev.* vol. 37, pp. 701-708, 2000.
- [14] G. Colombo, M. Joerg, R. Schreier, and V. Dietz, "Treadmill training of paraplegic patients with a robotic orthosis," *J. Rehab. Res. Dev.* vol. 37, pp. 693-7000, 2000.
- [15] HealthSouth: <http://www.autoambulator.com>
- [16] J.L. Emken, R. Benitez, and D.J. Reinkensmeyer, "Human-robot cooperative movement training learning a novel sensory motor transformation during walking with robotic assistance-as-needed," *J. Neuroeng. Rehab.* vol. 4, no. 8, 2007.
- [17] C. Carignan and H. Krebs, "Telerehabilitation robotics: Bright lights, big future?," *J. Rehabil. Res. Dev.* vol. 43, pp. 695-710, 2006.
- [18] J.J. Wagner, H.F.M. Van der Loos, and L.J. Leifer, "Construction of social relationships between user and robot," *Robot. Autonom. Syst.* vol. 31, pp. 185-191, 2000.
- [19] R. Gelin, B. Lesigne, M. Busnel, and J.P. Michel, "The first moves of the AFMASTER workstation," *Adv. Robot.* vol. 14, pp. 639-649, 2001.
- [20] M. Topping, "The development of Handy 1," a rehabilitation robotic system to assist the severely disabled, *Ind. Robot.* vol. 25, pp. 316-320, 1998.
- [21] H.H. Kwee, "Integrated control of MANUS manipulator and wheelchair enhanced by environmental docking," *Robotica*, vol. 16, pp. 491-498, 2000.
- [22] R.C. Simpson, D. Poirot, and F. Baxter, "The Hephaestus smart wheelchair system," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehab. Eng.* vol. 10, pp. 118-122, 2002.
- [23] H. Yanco, "Wheesley: A robotic wheelchair system: Indoor navigation and user interface," *Assist. Technol. Artif. Intell.* pp. 256-268, 1998.
- [24] A.J. Brisben, A.D. Lockerd, and C. Lathan, "Design evolution of an interactive robot for therapy," *Telemed. J. E-Health*, vol. 10, pp. 252-259, 2004.
- [25] Y. Kusuda, "How Japan sees the robotics for the future: observation at the World Expo 2005," *Ind. Robot.* vol. 33, pp. 11-18, 2006.
- [26] J.F. Engelberger, *Robotics in Service*, MIT Press, Cambridge 1989.
- [27] Z. Bien and D. Stefanov, *Advances in Rehabilitation Robotics*, Springer, Berlin 2004.
- [28] E. Prassler, G. Lawitzky, A. Stopp, and G. Grunwald, *Advances in Human-Robot Interaction*, Springer, Berlin 2004.

저 자 약 력



김 동 원

- 2007년 고려대학교 전기공학과(공학박사).
- 2007년 고려대학교 공학기술연구소 선임연구원 및 연구교수
- 2008년 University of California, Berkeley (Prof. Zadeh: BISC Group) Post-Doc.
- 2009년 University of California, Davis (AHMCT Center) Research Fellow
- 2009년~현재 인하공업전문대학 디지털 전자과 교수.
- 관심분야 : 이족 휴머노이드 로봇 설계, 지능 모델링 및 로봇지능, 멀티로봇의 학습 및 응용, 소프트 컴퓨팅기반 진화된 뉴로-퍼지 시스템 및 이를 이용한 지능제어.



이 종 호

- 1995년 경희대학교 전자공학과(공학박사).
- 1990년~1991년 한국전자통신연구소 연구원.
- 2005년~현재 대한전자공학회 이사.
- 1994년~현재 인하공업전문대학 디지털 전자과 교수.
- 관심분야 : 로봇시스템에 적용되는 고급 신호처리 알고리즘. 음성인식 로봇. 휴먼 로봇 인터랙션.



염 우 용

- 1990년 단국대학교 전자공학과 학사.
- 1992년 단국대학교 전자공학과 석사.
- 1998년 단국대학교 전자공학과 박사.
- 1996년~현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수.
- 관심분야 : 반도체, VLSI설계, 지능형로봇.