

◆ 특집 ◆ 고령자 / 장애인의 활동 보조 기계 기술

## 고령자 및 편마비 환자의 3 차원 동작분석을 통한 보행 특성에 관한 연구

### Study on Gait Analysis of Elders and Hemiplegia Patients using 3D Motion Analysis

장혜연<sup>1</sup>, 한정수<sup>2</sup>, 한창수<sup>1,✉</sup>

Hye Youn Jang<sup>1</sup>, Jung Soo Han<sup>2</sup>, and Chang Soo Han<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 한양대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.)

<sup>2</sup> 한성대학교 기계시스템공학과 (Department of Mechanical System Engineering, Hansung Univ.)

✉ Corresponding author: cshan@hanyang.ac.kr, Tel: 031-400-4062

Manuscript received: 2012.4.27 / Accepted: 2012.5.23

*Latest, many researchers do research on wearable robot. The purpose of the researches is very diverse, it will improve efficiency in the industry, taken to replace the many workers in the military field and taken to assist bodily functions run out by aging. However, there is no clear Differentiated strategy depending on the purpose for design and control of the wearable robot. Although a common purpose is to drive the robot by the sensor signal (intent signals), the optimization about the mechanism and control studies must be done according to the user's physical ability and purpose. In this study, the study's first phase for the development of wearable robotic gait rehabilitation, gait characteristics were analyzed elders and hemiplegia patients using a 3D gait analysis system (VICON512). As a result, asymmetric gait characteristics of the hemiplegia patients were found compared with the normal elderly.*

Key Words: Hemiplegia (편마비), Stroke (뇌졸중), 3D Motion Analysis (3 차원 동작분석), Gait Analysis (보행분석)

#### 1. 서론

우리나라의 경우, 그 어떤 나라보다 빠르게 고령화 사회로 달려가고 있다. 미국, EU, 일본 등 우리보다 먼저 고령화 사회에 도달한 국가들보다 초고령화 사회로 가는 속도는 더욱 빠른 실정이다.

베이비붐 세대가 은퇴를 준비하는 현 시점에 이전의 고령자보다 높은 학력-경제력을 갖고 있는 가까운 미래의 고령자들은 길어진 평균 수명만큼 무엇보다도 '건강하게 오래오래', '다시 젊은이들처럼' 삶을 영위하기를 간절히 희망한다.

일반적으로 고령자의 신체기능 노화에 따른 대

표적인 변화는 근육 및 골격계의 기능 변화로 이는 고령자의 신체활동에 가장 큰 영향을 준다.

근력저하와 피로를 쉽게 느끼며 균형 유지 능력과 운동성도 급격히 저하된다. 이러한 현상은 특별한 병증이 없는 일반적인 노화를 말하며, 대부분의 65 세 이상의 고령자의 경우, 암/ 뇌졸중 등 다양한 질병을 수반하게 된다. 2009 년 뇌졸중 진료지침에 나와있는 2005 년 통계에 의하면 전 세계적으로 뇌졸중으로 인한 사망자가 약 5 백 8 십만명으로 추정되며, 우리나라의 경우 2007 년 사망통계에 의하면 뇌졸중으로 인한 사망은 인구 10 만명당 59.6 명으로 암에 이어 사망 원인 2 위, 단

일 장기 질환으로는 사망원인 1 위이며 다른 OECD 국가들과 비교하여도 매우 높은 편이다.

특히 55 세이후 매 10 년마다 뇌졸중 발생비율이 2 배씩 증가되는 양상을 보여 무엇보다도 나이와 밀접한 관계를 갖는 고령자 질환으로 볼 수 있다. 따라서 첨단 고령자 보조 기기를 개발함에 있어 뇌졸중 장애인에 대한 연구는 반드시 동반되어야 하는 필수 연구인 것이다.

뇌졸중 환자 중 대부분이 편마비 증상을 갖고 있으며, 질병의 특성상 거의 대부분 근육경직을 갖게 되어 재활 정도에 따라 근경직이 호전되기도 하고, 지속되기도 한다.

편마비 환자의 재활은, 과거에는 마비측 기능을 정상측 기능을 이용하여 대체하는 전통적인 재활치료가 주였으나, 최근에는 성인 뇌의 가소성(Brain Plasticity)이 입증되면서 손상된 기능을 더욱더 적극적으로 재활/회복시키려는 재활치료가 핵심으로 떠오르고 있다.<sup>24</sup> 특히 로봇 재활분야에서 이러한 뇌의 신경가소성 회복기능을 이용하여 많은 연구와 임상적인 시도가 진행중으로 뇌의 신경가소성 회복에 가장 중요한 ‘집중법, Massed Practice’, ‘강제사용, Forced Use’, ‘기술습득, Skill Acquisition’을 가능하게 해주기 위한 목적으로 연구 개발되고 있다. 본 연구에서는 편마비 환자의 비대칭적인 보행을 보조하기 위한 착용식 외골격 로봇 설계 및 제어를 위한 기초연구로 정상고령자/편마비 환자의 3 차원 동작분석장비(VICON512)를 이용한 동작분석에 관한 것이다.

## 2. 노약자 & 편마비 장애인 보행 분석

### 2.1 피험자 선정

본 연구에서 개발하고자 하는 착용형 외골격의 경우, 질환이 없는 정상 고령자부터 Brunnstrom stages 4 이상의 편마비 환자를 대상으로 하였다. Brunnstrom stages 란 편마비 환자의 회복단계를 표현하는 지표로 어느 정도 관절 동작이 가능한지를 나타내준다. 본 연구에서는 어느 정도의 균형유지 및 보조기구를 이용하여 스스로 보행이 가능한 편마비 환자를 대상으로 한다.

피험자는 관동대학교 제일병원, 한양대학교 의료원, 경희대학교 병원의 각각의 IRB(임상시험심사위원회)를 승인 완료 후 진행하였으며, 각 피험자는 전문의의 사전 진료 완료 및 전문의의 입회 하에 보행 분석 실험에 임하였다.

Table 1 Brunnstrom stages of hemiplegia (lower-limb)<sup>12</sup>

Stages	Function
1	flaccidity
2	Synergies developing (minimal voluntary movements)
3	Voluntary synergistic movement (combined hip flexion, knee flexion, and ankle dorsiflexion, both sitting and standing)
4	Some movements deviating from synergy (knee flexion beyond 90° and ankle dorsiflexion with the heel on the floor in the sitting position)
5	Independence from the basic synergies (isolated knee flexion with the hip extended and isolated ankle dorsiflexion with the knee extended in the standing position)
6	Isolated joint movements (hip abduction in the standing position and knee rotation with inversion and eversion of the ankle in the sitting position).

피험자는 만 60 세 이상의 남자를 대상으로 하였으며, 질환이 없는 정상 고령자 5 명, 편마비 환자 5 명으로 하였다. 질환에 의한 보행 패턴의 비교분석을 위하여 연령대 및 체격조건은 최대한 유사하도록 하였다.

Table 2 Subjects

-	Hemiplegia Patients (N=5)	Normal elders (N=5)
Sex	M	M
age	66.6 ± 10.83	72.4 ± 3.51
Height (cm)	170.8 ± 2.81	165.4 ± 4.56
Weight (kg)	74.8 ± 7.66	49.8 ± 6.98
Duration(month)	53 ± 30.8	-
Length of the Lower Limbs (cm)	79.6 ± 1.82	75.7 ± 3.96
Knee to ankle length (cm)	40 ± 2.45	37.6 ± 3.29
Brunnstrom stage	4.4 ± 1.1	-

### 2.2 보행 측정 환경

정상 고령자/편마비 환자의 보행 분석을 위하여 중앙보훈병원(서울) 동작 분석실에 측정의뢰를

하였으며, 보행 측정을 위하여 사용된 장비는 VICON512 모델로 총 5 개의 카메라/ 2 개의 force plate 를 이용하여 3 차원 동작분석을 수행하였다. 보행 시 하지 동작 습득을 위하여 부착되는 마커는 Plug-in-Gait market set 방식을 이용하여 부착하였으며 부착위치 및 부착 모습은 다음과 같다.

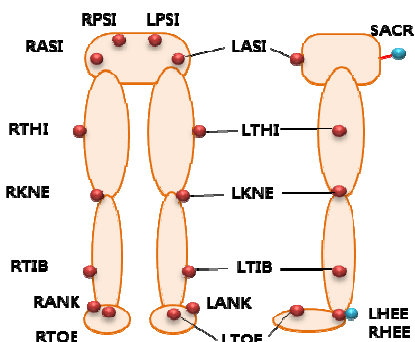


Fig. 1 Plug-in-Gait market set(Displacement)

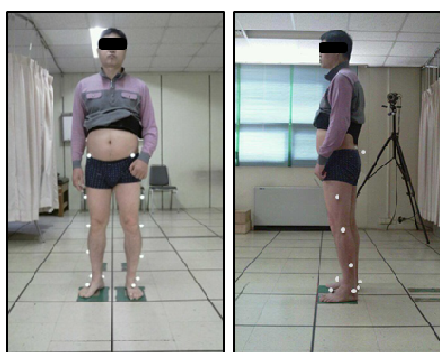


Fig. 2 Plug-in-Gait market set(Subject)

각 마커의 위치 정보의 경우 60Hz 로 측정되었으며, 전용 소프트웨어를 이용하여 데이터를 출력하였다. 또한 편마비 환자의 경우 지팡이 등의 보행 보조 기구를 평소와 다름없이 사용하도록 하여 최대한 자연스러운 보행이 가능하도록 유도하였으며, 실제 측정 전에 마커를 붙인 상태에서 익숙해지도록 보행 훈련을 실시 한 후 데이터를 습득하였다.

**2.3 측정데이터**

보행 분석을 통하여 측정되는 관절 각도 정보는 Table 3 과 같으며, 본 논문에서는 시상면(Sagittal Plane)의 동작정보인 Pelvic Tilt (골반 경사

각), Pelvic Hip Flexion/Extension (고관절굴곡), Knee Flexion/Extension(슬관절굴곡), Ankle Dorsi/ Plantar flexion(족관절굴곡)동작 시 관절 각도에 대하여 분석하였다.

Table 3 Measurable Angle rotation of Plug-in-Gait Marker set

Angle Rotation	Goniometric
Pelvic Tilt	Absolute
Pelvic Obliquity	Absolute
Pelvic Rotation	Absolute
Pelvis Hip Flexion/Extension	Relative
Hip Ab/Adduction	Relative
Hip Rotation	Relative
Knee Flexion/Extension	Relative
Knee Ab/Adduction	Relative
Knee Rotation	Relative
Ankle Dorsi/Plantar flexion	Relative
Foot (Ankle) Rotation	Relative
Foot Progression	Absolute

**3.3 차원동작분석 및 결과**

**3.1 보행패턴 습득**

일반적으로 보행의 1 주기는 Fig. 3 과 같으며 정상인의 경우에는 양측 다리의 관절 각도는 동작 같은 주기에 패턴은 동일하다.<sup>1,5,6</sup>

**3.2 분석 시나리오**

보행 분석을 하기 위하여 정상 고령자의 평지 보행 시 각 관절 각도값과 편마비 환자의 편마비 측과 정상측의 각 관절 각도를 비교하였다. 또한 독립적인 실험군간의 평균을 비교하기 위하여 T-test 를 수행하였다. 이는 편마비 환자의 마비측 관절 동작뿐 아니라 이에 따른 정상측 관절동작에 미치는 영향까지도 분석해 볼 수 있다.<sup>8-11</sup>

또한 본 연구는 노화에 의한 관절 동작 범위 변화가 아닌 편마비 환자의 질환에 따른 관절 각도 변화에 대한 것으로 50 대 미만의 정상인에 대한 데이터 비교는 제외하였다.

**3.3 각 관절 각도범위 측정결과**

65 세 이상의 고령자 5 명, 편마비 환자 5 명의 관절 각도 범위 평균치는 다음과 같다.

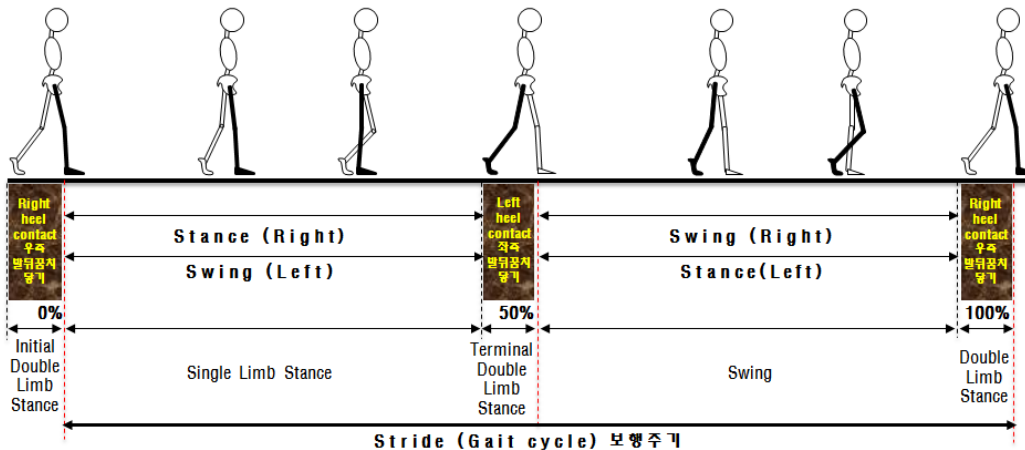


Fig. 3 Typical gait cycle(normal person)

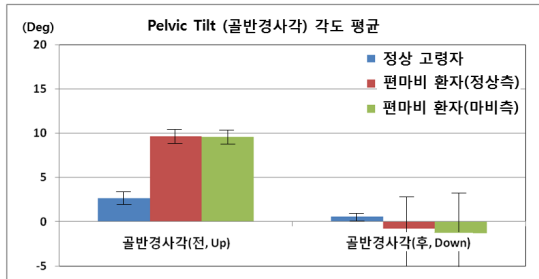


Fig. 4 Average value of Pelvic Tilt motion angle

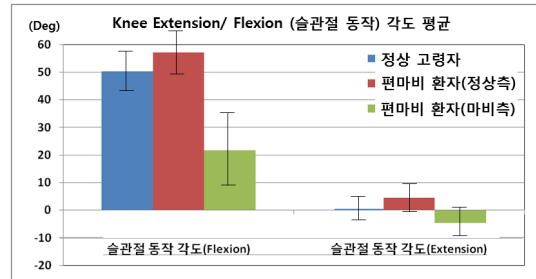


Fig. 6 Average value of Knee Extension/Flexion angle

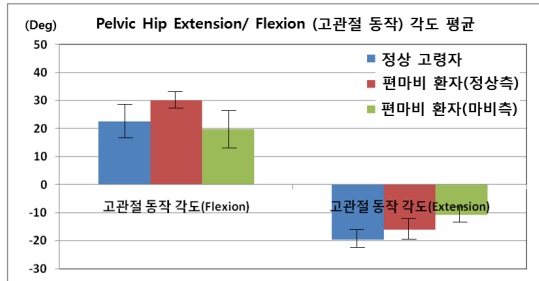


Fig. 5 Average value of Hip Extension/Flexion motion angle

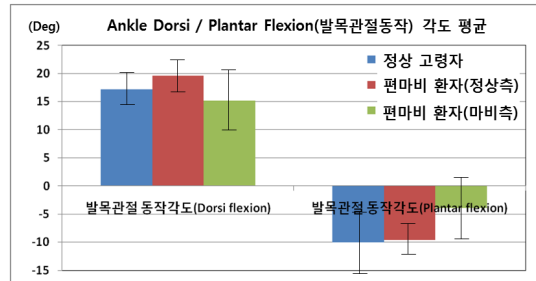


Fig. 7 Average value of Ankle Dorsi/ Plantar Fl.angle

각 실험군의 평균각도와 표준편차를 구하였으며, 편마비 환자의 정상측 하지의 각 관절의 각도가 정상 고령자의 동작각도 및 편마비 측의 관절 각도와 유의한 차이가 있는지를 T-test 를 통해 분석하였다. Pelvic Tilt 동작의 경우, 정상 고령자는 개개인의 차이가 미미하며, 동작 각도가 작는데 반해 뇌졸중 환자의 경우 편마비 측과 정상측 모두 일반인에 비해 각도 변화량이 약 5 배 정도 많았다.

하지만 Pelvic Tilt Down 동작의 경우 편마비 환자의 경우 표준편차가 매우 커 공통의 특성을 나타 낼 수 없었다. 이는 마비측의 각 관절의 역지 보행을 위한 보행 습관에서 비롯된 차이라고 사료 된다. 실제 정상 고령자의 Pelvic Tilt 각의 경우, 습관에 따라 그 기준치의 차이가 있지만 동작 범위는 크기 않은 것을 많은 문헌을 통해 알 수 있다.<sup>7</sup> Hip 관절의 경우, 편마비 환자의 양측 하지 모두 정상 고령자에 비해 큰 각도 범위를 나타냈다. Hip Flexion 의 경우 크게 유의한 차이점을 발견하지

Table 4 Analysis results (mean and standard deviation)

Joint	Motion	① RoM of elders(deg) (①-② T-TEST, P-value)	②RoM of hemiplegia patient-normal leg(deg)	③RoM of hemiplegia patient- paralysis leg (deg) (②-③ T-TEST, P-value)
Pelvic Tilt	Up	3.45 ± 1.79 (0.0004)	9.62 ± 1.95	9.57 ± 1.90 (0.96)
	Down	0.57 ± 1.41 (0.57)	-0.76 ± 4.76	-1.27 ± 5.19 (0.87)
Pelvic Hip	Extension	22.62 ± 5.85 (0.01)	30.09 ± 3.10	19.84 ± 6.64 (0.02)
	Flexion	-19.67 ± 3.77 (0.23)	-15.98 ± 3.85	-10.70 ± 2.01 (0.04)
Knee	Extension	50.19 ± 7.30 (0.17)	57.08 ± 8.55	21.72 ± 14.02 (0.002)
	Flexion	0.17 ± 5.83 (0.19)	4.38 ± 5.17	-4.70 ± 5.20 (0.02)
Ankle	Dorsi Flexion	17.15 ± 3.19 (0.21)	19.56 ± 3.20	15.13 ± 6.21 (0.21)
	Plantar Flexion	-10.06 ± 6.16 (0.87)	-9.63 ± 3.59	-3.93 ± 6.23 (0.12)

못하였으나, Extension 의 경우, 정상 고령자보다 약 8° 이상 높이가 올리는 경향을 나타낸다. 또한 편마비 환자의 양측의 비대칭 현상이 나타나기 시작하며, 정상측에서 마비측의 기능을 보조하기 위한 동작이라고 볼 수 있다. 이러한 현상의 Knee 관절에서 더욱 뚜렷히 나타난다. 편마비 환자의 정상측 관절 각도는 정상 고령자의 관절각도와 유의하게(p>0.05) 차이가 있지 않지만 Hip 관절과 같이 평균적으로 7° ~ 8° 정도 차이가 지며, 마비측 관절의 경우, 동작범위가 50%정도 줄어들며, 과도한 Flexion 동작을 하게 된다. Ankle 관절의 경우, 유의수준 내에 차이점을 발견하지 못하였지만, 전체적인 평균치에서 마비측의 각도가 정상측의 관절 각도에 못미치는 것을 알 수 있었다.

3.4 편마비 장애인의 보행 불균형 분석

일반적인 최대/최소 동작 각도만으로는 편마비에 의한 동작패턴 분석이 어렵기 때문에 가장 평균치와 근사한 특징을 보이는 정상 고령자와 편마비 환자의 보행패턴을 비교하였다. Fig 8 의 Pelvic Tilt 의 경우, 전체 Gait Phase 중 50%의 Pattern Shift 가 발생한다. 이는 Time Domain 상에서 보았을 때, 거의 양쪽이 같은 각도로 동작한 것으로 정상측의 패턴이 그대로 영향을 주어 반영된 것이

다. 그 외의 Hip/ Knee / Ankle 관절의 경우, 최대/최소 각도의 절대적 수치만을 보았을 때 마비측이 정상측의 관절각도보다 작은 운동범위를 갖지만, 이는 전체적인 경향이 아니고, 어느 일정부분까지는 정상측과 유사하다가 어느 한계 각도 이후에는 더 이상의 관절 동작이 힘든 것을 알 수 있다. 이는 좌우 보행 불균형 상태로 나타나며, 양측 하지의 보행 불균형 정도는 Fig. 8 에 음영부분의 크기차이와 같다고 할 수 있다. 또 하나의 경향은 일반적인 정상측 관절운동 범위보다 편마비 환자의 정상측 관절 운동범위가 좀더 큰 것을 알 수 있다. 마비측의 운동범위 한계점에서부터 좀더 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있으며 이는 마비측의 관절 운동을 돕기 위한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구의 경우, 정상 고령자/편마비 환자의 3차원 보행측정 및 패턴 분석을 통하여 추후 착용형 외골격 메커니즘을 개발하는데 활용하고자 하였다. 본 논문에서는 각 실험군의 5 명의 피험자를 대상으로 측정 분석하였지만, 현재도 꾸준히 다양한 피험자를 대상으로 측정 실험을 하고 있으며 연구를 계속 발전시켜 편마비 정도에 따른 보행의

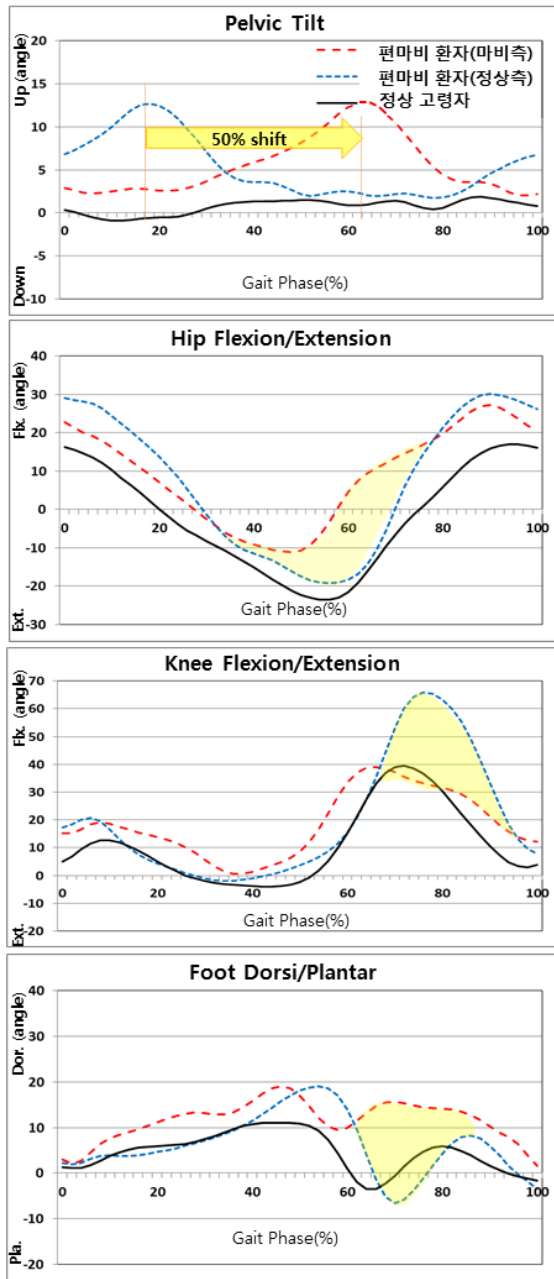


Fig. 8 Gait analysis (Normal/Hemiplegia Patient)

공통적 특성을 도출하고자 한다.

기존에 개발된 하지 외골격의 경우 대부분 일 반인의 동작 각도에 기반하기도 하였지만, 센서값 에 의한 무조건적인 보조/ 패턴구동이 이루어 지 고 있다. 하지만 뇌졸중의 경우 서론에 언급된 바 와 같이 뇌의 신경 가소성에 의해 회복이 가능하

므로 무조건적인 동작 보조보다는 스스로 동작가 능 한 범위와 그렇지 않은 한계점 이후부터의 보 조가 함께 수반이 되어야 보조의 개념을 넘어서 재활의 효과가 나타날 수 있다. 본 연구의 결과는 재활 로봇을 편마비 환자의 동작 특성을 반영하여 동작 각도의 구속/확장이 가능하도록 설계하고 제 어에 활용한다면 재활 효과를 더욱 극대화 할 수 있을 것이다.

### 후 기

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원 을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0020938).

### 참고문헌

1. Jang, J. H., Lee, H. D., Jang, H. Y., Han, J. S., Han, C. S., and Shon, W. H., "Development of Wearable Robot System based the Analysis of the Lower Limbs," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 7, pp. 7-14, 2009.
2. Johansson, B. B., "Brain Plasticity and Stroke Rehabilitation : The Willis Lecture," Stroke, Vol. 31, pp. 223-230, 2000.
3. Robertson, I. H. and Murre, J. M., "Rehabilitation of brain damage: Brain plasticity and principles of guided recovery," Psychological Bulletin, Vol. 125, No. 5, pp. 544-575, 1999.
4. Karbe, H., Thiel, A., Weber-Luxenburger, G., Herholz, K., Kessler, J., and Heiss, W.-D., "Brain Plasticity in Poststroke Aphasia: What Is the Contribution of the Right Hemisphere," Brain and Language, Vol. 64, No. 2, pp. 215-230, 1998.
5. Perry, J., "Gait analysis : Normal and Pathological Function, 1<sup>st</sup> Ed.," Slack Incorporated, 1992.
6. Neumann, D. A., "Kinesiology of the musculoskeletal system foundations for physical rehabilitation, 1<sup>st</sup> Ed.," Mosby, 2002.
7. Kerrigan, D. C., Lee, L. W., Collins, J. J., Riley, P. O., and Lipsitz, L. A., "Reduced Hip Extension During Walking: Healthy Elderly and Fallers Versus Young Adults," Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 82, No. 1, pp. 26-30, 2001.
8. Sutherland, D. H., "The evolution of clinical gait

- analysis : part2 kinematics,” *Gait & Posture*, Vol. 16, No. 2, pp. 159-179, 2002.
9. Duffy, C. M., Hill, A. E., Cosgrove, A. P., Corry, I. S., Mollan, R. A. B., and Graham, H. K., “Three dimensional gait analysis in spina bifida,” *Journal of Pediatric Orthopedics*, Vol. 16, No. 6, pp. 786-791, 1996.
  10. Oberg, T., Karsznia, A., and Oberg, K., “Joint angle parameters in gait: reference data for normal subjects, 10-79 years of age,” *Journal of Rehabilitation Research and Development*,” Vol. 31, No. 3, pp. 199-213, 1994.
  11. Malinzak, R. A., Colby, S. M., Kirkendall, D. T., and Yu, B., “A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks,” *Clinical Biomechanics*, Vol. 16, No. 5, pp. 438-445, 2001.
  12. Chen, C. L., Wong, M. K., Chen, H. C., Cheng, P. T., and Tang, F. T., “Correlation of Polyelectromyographic Patterns and Clinical Upper Motor Neuron Syndrome in Hemiplegic Stroke Patients,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 81, No. 7, pp. 869-875, 2000.