

신발 힐의 높이에 따른 보행자세의 운동역학적 분석

류재청¹⁾ · 안성규²⁾

- 목 차 -

ABSTRACT

I. 서론

1. 연구의 필요성
2. 연구 목적 및 문제
3. 용어정의
4. 연구의 제한점

II. 연구방법

1. 피험자
2. 실험장비 및 과정

3. 인체 모델 및 신체 분절 자료

4. 자료분석
5. 자료처리

III. 연구결과

1. 보행 중기의 변인
2. 신체중심 변인
3. 각운동 변인

IV. 결론

Kinematic analysis of gaits according to kinds of shoe heel height

Ryew, Che-Cheong · Ahn, Song-Gyu

ABSTRACT

This study was conducted to discover the most desirable height for shoe heels. An analysis of human kinematics and gaits according to different kinds of shoe heel heights was carried out.

Walking, which is related to the locomotor and nervous systems, is different from running. It has some unique characteristics such as the double-supporting phase and the pelvis-centered smooth connections with tension and flexion which can make it possible to walk comfortably.

The specific goals of this study are as follows:

- 1) 제주대학교 체육학과 조교수
- 2) 신성여자 고등학교 체육교사

1. To analyze the variables of gait cycles with respect to shoe heel height.
2. To analyze the variables of linear kinematics with respect to shoe heel height.
3. To analyze the variables of angular kinematics with respect to shoe heel height.
4. To discover the ideal heel height to promote a comfortable walking style.

Limits of this study:

1. The processes of BSP and Yeadon-kwon were used.
2. The shoe heel heights investigated were
 1. 0 cm (ie: bare foot)
 2. 3 cm
 3. 5 cm
 4. 7 cm
3. The equipment used in this experiment comprised of: a Panasonic VCR: VCR analyzer and analysis program: a Kwon "3D Motion Anaysis" package.
4. The subjects of this experiment were 3 female college students who are not used to wearing high heeled shoes: all are aerobics instructors, with an excellent sense of equilibrium.

The model of the human body is defined as a rigid body system connected by 19 joints (for the purposes of this experiment the nose was included as an imaginative joint to give precise direction). In order to reduce any displacement which may occur during digitization, landmarks were attached to each of the 19 body segments of each subject. The subjects were then asked to walk, firstly in bare feet, and then wearing shoes with a 3cm, 5cm, and then 7cm heel.

A video camera zoom lens was used to record the subjects' walking patterns (RTD-LTO-LTD-RTO-RTD) for one complete gait cycle, and the direction of the subject was defined using X and Y axes.

After the digitization and interpolation of all frames, the linear and angular variables which are necessary for the study were calculated.

The results of this study are as follows:

1. The time taken to complete one gait cycle increases or decreases by a negligible amount as heel heights vary. It appears that the higher the heel is, the longer the length of each stride will be and the greater the horizontal displacement at the center of the body.
2. When a higher heel is worn, vertical displacement is increased during the initial phase of each gait cycle, however when a lower heel is worn, vertical displacement is increased in the final phase of the gait cycle.
3. The average horizontal speed of each phase increases, regardless of the height of the heel.

4. The vertical speed decreases, regardless of heel height in any gait cycle, the speed decreases with each consecutive phase eg: in a cycle consisting of :RTD-LTO-LTD-RTO-RTD, the initial phase from RTD to LTO will be the fastest movement in the cycle, the speed will decrease with each consecutive phase in the cycle. The second phase of the gait (LTO to LTD) will be slower than the first, and the the final phase (LTD to RTO to RTD) being the slowest in the cycle.
(Overall, the rate of decrease in speed in the last the last phase of any gait cycle is always slower than the decrease of the first two phases, therefore we can put the last two phases together to make one final phase (LTD-RTO-RTD) as the decrease in speed is so small.)
5. For each motion variable, the difference in tension and flexion of lower body joints is not apparent, using any heel height. The tension and flexion in the shank and thigh is negligible with a 5cm or 7cm heel. The tension and flexion is the most apparent when using a 3cm heel.
6. The walking speed changes little according to heel height alterations. The common outcome is that there is a slow increase in speed after the LTO phase, so that when supporting body weight on the right foot, it is very hard to move on to a new 'centered' body weight position.

No problem appears when using a 3cm-heel, however when walking bare foot, there is more pressure on L5 and on S1 than with a 3cm-heel, this is because walking is a forward-motion and the center of the body is left behind when walking bare foot.

In conclusion, it is the 3cm-heeled shoe that is the most suitable height to promote a comfortable forward walking motion.

1. 서론

1. 연구 필요성

보행 및 이동운동의 분석은 정상, 비정상, 혹은 신발의 유형에 따른 효율성을 제고하기 위한 수단으로 크게 신체 각 분절의 각변인, 선변인, 시간 및 거리 변인을 분석하는 운동학적 변인, 각 관절에서 발생하는 운동의 결과 산출할 수 있는 힘과 모멘트변인, 근육의 활동상태를 분석하는 근전도법에 의한 방법, 근육군의 파워 등의 변인을 분석할 수 있다.

특히 보행은 신경계와 이동운동기계(locomotor system)사이의 조심스런 협응을 요구하는 복잡한 기전을 가진다. 보행동안 하지분절의 관절들은 신체중심을 상부로 치켜올리고 전방으로 이동시키기 위해 정교한 양상으로 움직인다. 신체적으로 장애 혹은 대뇌의 손상으로 협응력이 부족하거나 인위적으로 신발의 형태 및 높이를 조정하므로써 나타나는 보행의 경우 협응을 이루기가 어려운 일이될 수 있다.

그러나 생리요법, 외과적 처리, 혹은 반복적인 연습에 의해 유의할 만한 향상을 가져 올 수

있지만, 보행에서 정밀한 비정상적인 현상을 분석하는 것은 단순한 관찰에 의해서는 어렵다. 즉 이를 위해서는 대부분의 적절하고 효과적인 동작이 이루어지도록 하기 위해 보행의 난이도에 따라 동작의 양상을 분석하고 기록하는 과학적인 기술이 필요하다.

지금까지 여러형태의 보행과 관련된 대표적인 선행연구를 보면, 보행의 운동학적 분석을 한 Cavagna 등(1966), Beckett 등(1968), Morrison(1970), Nelson 등(1972), 박(1986) 등을 들 수 있고, 에너지적 측면을 분석한 대표적인 연구로서 Cavagna(1976), Robertson과 Winter(1980) 등의 연구는 보행의 기전과 주행의 차이를 서로 비교하면서 더 심도있는 보행 연구를 위한의 기초자료를 제시하였다.

한편 정상인과 비정상인의 보행자세를 비교하는 연구로서는 Cavagna 등(1963)을 시작으로 Lesh 등(1982), Winter(1984), Marino 등(1987)로서 이들의 연구에서는 주요 초점은 보행 패턴 분석과 관련한 스트라이드의 차이점, 속도, 등의 운동학적 측면에서 차이를 규명하였다.

최근에 와서는 보행자체의 분석범위를 벗어나 신발을 착용하였을 때 보행자세의 분석 및 정형의과적 차원에서 접근하는 양상을 보이고 있다. 즉 Cornwall MW. 등(1996), Cornwall MW. 등(1994), Amstrup, A. 등(1996) 등의 경우는 보행시 발뒤꿈치 동작의 변화로 인해 발목의 근육군의 이상상태, 혹은 굴근 및 신근군의 변화에 주요 연구초점으로 두었고, McCallum, J. 등(1996), Ebbeling 등(1994), Snow 등(1994), Nyska 등(1996), Noyes 등(1992) 등은 신발의 형태와 높이의 변화를 주므로서 보행자세에서 어떠한 변화가 있는가를 심도있게 연구하였다.

Farley, C.T. (1992)는 감소된 중력상황하에서 보행과 달리기 에너지적 변화과정, Farley, C.T. 등(1996)은 인간이나 다른 포유류 동물이 달릴 때 신체의 복잡한 근육-건-인대스프링의 시스템에 대한 연구, Farley, C.T. (1992)는 감소된 중력상황하에서 보행과 달리기 에너지적 변화과정, Farley, C.T. 등(1991)은 근육과 건(tendon)의 스프링 작용에서 탄성 에너지의 회복과 축적은 보행, 달리기, 호핑, 트로팅, 갤로핑 등의 이동운동을 상호 비교분석, J.M. Donelan 등(1996)은 동적 유사성이론(dynamic similarity theory)을 토대로한 인간보행의 운동학적 변인에 대한 중력의 속도, 중력 및 크기에 미치는 영향 등을 연구하였다.

한편 신발의 개발과 특성에 관한 연구들로서 조(1989), 우(1988), 이(1984) 등을 들 수 있고, 보행자세와 상해 및 운동학적 변인의 선행연구로서 Alex, S 등(1988), Kameyama, O 등(1981), Katoh, Y. 등(1983), Ohmichi, H. 등(1983), Okamoto, T. 등(1983), Suzuki, K. (1983) 등을 들 수 있다.

위의 선행연구와 같이 보행과 관련하여 다양한 연구가 실시되고 있는 실정이지, 요즘과 같이 다양한 신발의 형태, 특히 신발의 힐의 높이가 다양성을 띄고 인기를 보이고 있는 가운데, 신발의 선택, 신발의 선호도, 신발류 선택의 습관 등에 따라서 자신의 보행자세는 물론, 하지 분절들의 이상증 및 근육군들의 정상적인 활동을 하는 데 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 성장기에 있는 청소년들을 대상으로 힐의 높이를 다양하게 분류한 뒤 이를 신고 보행할 때 자세의 변화와 하지 분절의 기능에서 변화를 일으키는 지를 규명하여 정상적인 신발 선택을 할 수 있는 자료를 제시하는데 필요성을 두고 연구를 착수하였다.

2. 연구목적 및 문제

본 연구의 목적은 현대 문화의 큰 변화중 한가지는 신발의 착용에서 다양성, 선호도, 다양한 디자인, 패션화, 용도에 따른 디자인 등으로 인한 신발의 변화라고 볼 수 있다. 즉 보행시 다

양한 신발의 형태가 인기를 보이고 있는 가운데 신발의 뒤굽이의 높이에 따라서 자신의 보행자세양상, 하지분절의 불충분한 신전 및 굴곡으로 인한 자세 및 건-인대-근육군의 변형, 신체 각 분절에 대한 충격 등으로 인한 정상적인 일상생활 활동을 하는 데 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제에 착안점을 두고, 본 연구에서는 성장기에 있는 청소년들을 대상으로 힐의 높이를 다양하게 분류한 뒤 각각의 힐의 높이에 따라서 보행을 시켰을 때 보행시 자세의 변화와 하지 분절의 기능에서 변화를 일으키는 지를 규명하여 정상적인 신발 선택을 할 수 있는 자료를 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

이러한 연구 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 연구문제점을 설정하였다.

1. 신발 힐의 높이에 따라서 보행 주기에 따른 변인(보행주기시간, 스트라이드 길이, 스트라이드 시간, 한발지지율, 이중지지기율, 보폭율, 스텝시간율, 스텝길이, 보행주기의 표준화)을 분석한다.
2. 신발 힐의 높이에 따라서 선운동학적 변인(신체중심의 변위, 속도, 신체분절의 각변위, 각속도)를 분석하여 신체중심의 운동양상과 신체분절의 신전 및 굴곡의 양상을 파악한다.
3. 신발 힐의 높이에 따라서 국면별 각운동학적 변인(국면별 발, 하퇴, 대퇴의 굴곡 및 신전, 분절의 각속도)의 변화양상을 파악한다.
4. 연구문제 1번과 2번을 신발 힐높이에 따라서 변인의 차이를 서로 비교한 뒤 신발 선택 및 가장 정상적인 보행자세를 위한 신발 높이를 제시한다.

3. 용어정의

본 연구에서 자주 거론되는 보행과 관련된 용어의 혼돈을 피하고, 이해를 돕기 위해 아래와 같은 용어에 대한 설명을 하였다.

보행주기(gait cycle) : 한발의 첫 지면 접촉에서 동일한 발의 다음 첫 지면접촉시까지 기간

스트라이드 길이(stride length) : 한발의 첫 접촉에서 동일한 발의 다음 첫 접촉까지 진행방향에서 이동한 거리

스트라이드 시간(stride time, s) : 주어진 발의 지면 첫 접촉에서 동일발의 다음 첫 접촉까지 시간

한발지지(single support, % cycle) : 단지 주어진 발이 지면과 접촉하여 있는 보행주기의 차지하는 부분

이중지지기(double support, % cycle) : 보행주기에 대한 두 발이 동시에 지면에 닿아있는 국면

이륙(takeoff) : 보행주기동안 한발이 지면을 뜨는 순간

보폭(% cycle) : 보행주기동안 동일발이 다시 지면을 뜨는 지점까지 차지하는 국면

지면착지(touch-down) : 발 뒤굽이가 지면을 닿는 순간

스텝시간(% cycle) : 스윙의 반대쪽 발의 첫 접촉에서 동일발 끝까지 기간

스텝길이(m) : 지지기동안 반대발의 주어진 지점과 다음 지지기동안 동일발 위 동일 지점까지 거리

보행 주기의 표준화(ormalization of the gait cycle) : 완전한 한 주기에 대한 백분율화 한 것

보조(cadence, step/min) : 보행의 분당회수

4. 연구의 제한점

- 본 연구를 진행하는 가운데 몇가지 제한점으로 둔 사항은 아래와 같다.
- 1) 인체측정자료(BSP)는 선행연구(Yeadon-Kwon)결과를 이용하였다.
 - 2) 힘의 높이는 4가지로 한정하였다.

II. 연구방법

1. 피험자

본 연구에 참여한 피험자는 모두 하이힐 착용에 숙련이 되지 못한 여자 대학생 3명을 대상으로 하여 실시하였으며, 평소에 신체의 평형감각이 뛰어난 에어로빅 지도자를 대상으로 실험하였고, 이들의 특성은 <표2-1>과 같다.

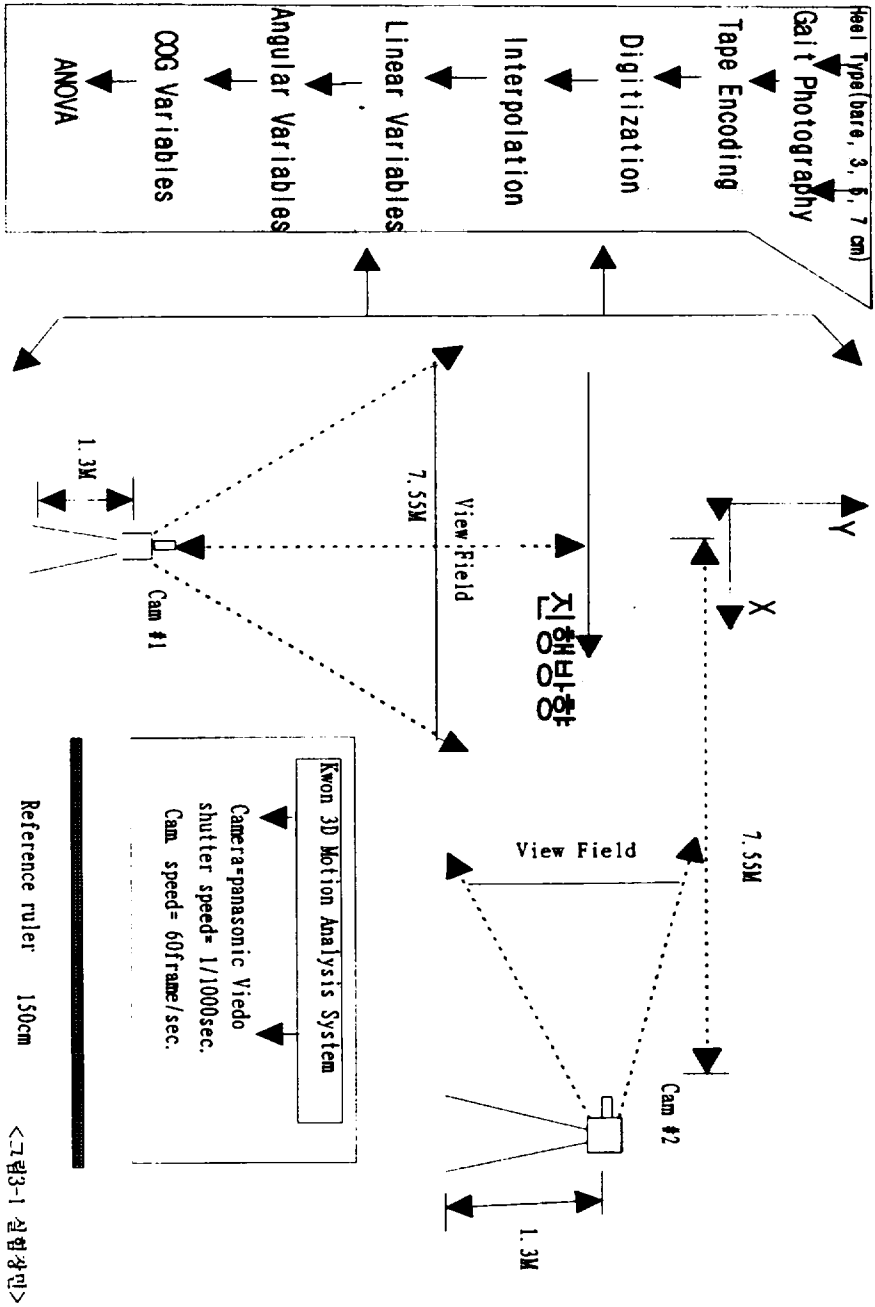
<표2-1> 피험자 특성

피험자	신장(cm)	체중(kg)	연령(yr.)	하이힐 경험
H.H.J.	167	58	26	약 20회
Y.Y.S.	165	55	22	약 15회
K.Y.J.	161	53	20	약 10회

2. 실험 장비 및 과정

본 실험에 사용된 실험기기는 크게 2가지로 구분할 수 있다. 즉 보행동작을 촬영하는 Panasonic Video(2대, 초당 60프레임)과 이를 다시 분석을 하기 위한 비디오 분석기(Sanyo, Sony사) 및 분석프로그램 Kwon3D분석패키지로 구성하였다.

실험 절차는 실험에 임하기 전에 각 피험자마다 19개 신체부위에 Landmarker를 부착하여 디지털이정시 오차를 줄이도록 하였다. 양쪽 카메라의 위치는 피험자가 진행하는 방향에 대해 시상면과 정면에서 각각 직각으로 설치한 후 카메라의 줌이 분석하려는 필드가 충분히 포착될 정도로 조정하였다. 이때 카메라의 스피드는 60프레임/분으로 하였고, 셔터스피드는 1/1000초가 되게 하였다. 카메라 세팅이 완료한 후 신호에 따라서 피험자는 각각 맨발, 3cm, 5cm, 7cm의 힘의 높이를 교대로 착용하여 보행하게 하였다. 이때 카메라의 줌은 피험자가 보행할 때 「오른발 터치다운-왼발 이지-왼발 터치다운-오른발 이지-오른발 터치다운」의 완전한 1보행주기를 포착할 수 있도록 조정하였다. 이때 촬영이된 실제화면상에서의 크기와 실제사물 크기의 배율을 조정하기 위해 피험자가 지나는 중간위치에 1.5 척도를 사용하였다. 특히 피험자가 진행하는 방향을 X축, 수직방향을 Y축으로 설정하였다.



<그림2-1> 실험장면

3. 인체모델 및 신체분절자료(BSP)

인체모델은 신체의 분절들이 19개 관절점에 의해 연결된 강체시스템(Rigid linked body system)으로 정의하고, 머리부분에서는 가상관절로서 코를 포함시켜 방향을 명확히하는 데 이용하였다. 모델의 관절점은 모두 19개<표3-2>이고 실제 분절은 14개로 이루어 졌다. 신체 분절 무게중심위치에 대한 인체분절자료는 Yeadon-Kwon(1994)를 이용하였고, 이들 신체 관절점의 기준점을 합하여 총 디지털라이징 포인트는 한 프레임에 24개로 하였다. 매 프레임마다 디지털라이징의 순서와 관절점은 <표3-2> 및 인체측정자료는 <표3-3>과 같다.

<표2-2> 관절점과 디지털라이징순서

순서	관절점	순서	관절점
J1	Reference Point	J12	Right Ankle
J2	Right Hand	J13	Right Knee
J3	Right Wrist	J14	Right Hip
J4	Right Elbow	J15	Left Toe
J5	Right Shoulder	J16	Left Heel
J6	Left Hand	J17	Left Ankle
J7	Left Wrist	J18	Left Hip
J8	Left Elbow	J19	Top of Head
J9	Left Shoulder	J20	Chin & Neck
J10	Right Toe	J21	Nose
J11	Right Heel		

본 변인산출 과정에서 사용된 인체측정 자료는 Yedon-Kwon의 결과를 사용하였다.

4. 자료분석

1) 디지털라이징 및 처리

촬영된 비디오 필름을 비디오 분석기에서 먼저 Encoding을 한다음 이를 Kwon3D분석 시스템의 순서에 따라 Body modeling(BSP: Yedon-Kwon), Master file(data collction information, Event & Phase definition, Data processing, user angle), Subject file(BSP estimation), Trial file를 각각 작성해 디지털라이징시 분석을 시작하려는 국면을 찾아 초기화(linitilization)시킨 다음 매 프레임마다 관절점의 순서에 따라서 디지털라이징을 하였다. 디지털라이징된 좌표는 매 관절점마다 X,Y의 좌표로서 한 트라이얼의 디지털라이징이 완료 되면 자동 파일로 저장되었다.

디지털라이징이 완료된 후 인위적 및 기계적 오차를 줄이기 위해 매 프레임마다의 보간(interpolation)을 시킨다음 본 연구의 분석에 필요한 선변인(변위, 속도, 가속도)과 각변인(각변위, 각속도)을 산출하였다.

2) 인체모델링

분석모델과 디지털라이징 순서 및 관절점은<그림2-2>과 같다. 즉 14개 분절에 대한 21개 관절점과 기준점을 매 프레임마다 디지털라이징 하였고, 디지털라이징하는 도중 보행의 각 분석 국면마다 레임수를 산출하므로써 국면별 소요시간을 구하였고, 도중 잘못된 디지털라이징이 있으면

다시 Redigitizing를 하여 가능하면 오차를 감소시켰다.

3) 변인산출

디지털화 된 좌표를 가지고 인위적 및 기계적 오차의 범위를 줄이기 위해 사용된 저주파(cut-off frequency)는 6.0Hz에서 필터링(filtering)은 4차였다.

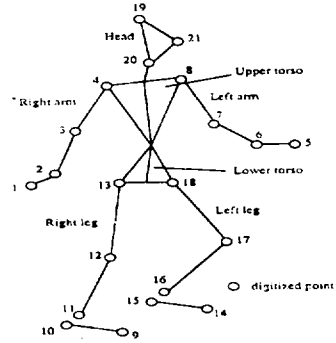
- ① 보간법(interpolation) : 디지털화 된 각각의 좌표를 보간시키기 위한 시간간격은 매 프레임당 0.01단위였고, 본 연구에서 사용된 방법은 Cubic Spline방법이었다. t =시간, y =디지털화 된 좌표, 연속적인 각 시간-좌표쌍간의 구간을 (t_i, y_i) 에서 (t_{i+1}, y_{i+1}) 이라 할 때 함수 $f_i(d_i)$ 를 시간함수로 대치할 때

$$y(t) = f_i(d_i) = C3i \cdot d_i^3 + C2i \cdot d_i^2 + C1i \cdot d_i + y$$

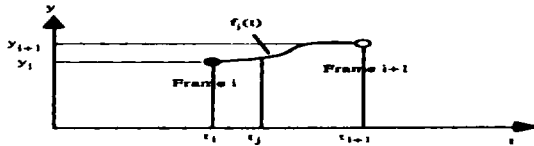
여기서 $t_i \leq t < t_{i+1}$

$$d_i = t - t_i$$

$C3, C2$ & $C1$ = 스플라인계수



<그림2-2> 인체 분석모형



<그림2-3> (t_i, y_i) 와 (t_{i+1}, y_{i+1}) 을 연결하는 스플라인 함수

함수 $y(t)$ 는 스플라인 함수의 계열을 구성하고, 모든 시간-좌표점에서 연속적이다. 시간 t_j 에서 보간된 좌표 y_j 는 다음 $y(t)$ 함수로 부터 구할 수 있다.

$$Y_j = y(t_j) = C3i \cdot (t_j - t_i)^3 + C2i \cdot (t_j - t_i)^2 + C1i \cdot (t_j - t_i) + y \text{ 가 된다.}$$

- ② 속도, 가속도, 신체중심의 위치, 속도, 가속도산출

신체 분절점 위치좌표 P_i 에 대한 속도(V_i)는

$$V_i = (P_{i+1} - P_{i-1}) / 2\Delta t$$

가속도 A_i 는

$$A_i = (P_{i+1} - 2P_i + P_{i-1}) / (\Delta t)^2$$

분절 i 의 중심점 좌표 c_{gi} 는

$$c_{gi} = (P_i(1 - (p_i/100))) + (D_i \cdot p_i/100)$$

$$= P_i + (D_i - p_i)p_i/100$$

여기서 p_i = 근위단 분절의 좌표

D_i = 원위단 분절의 좌표

분절 무게중심 속도와 가속도는 분절점의 속도, 가속도 산출방법과 동일하다.

③ 신체중심 위치, 속도, 가속도 산출

전신 무게중심의 위치 CG는

$$CG = \frac{14}{\sum_{i=1}^{14} (c_{gi} \cdot m_i)} M$$

c_{gi} 는 i 번째 분절의 무게중심 위치좌표

m_i 는 전체질량의 백분율로 표시된 i 번째 분절 질량

M 은 백분율로 표시된 분절 질량을 합한 전체질량

전신 무게 중심의 속도와 가속도는 분절점의 속도와 가속도 산출방법과 동일하게 산출하였다.

④ 각운동의 변인 산출

보행동안 힘의 높이에 따라서 발, 하퇴, 대퇴의 각변위의 변화를 산출하기 위하여 이용한 좌표는 관성좌표(global coordinate)를 이용하였고, 2 관절점에 대한 벡터각(vector angle)을 산출하였다.

산출한 분절 벡터각을 1차미분한 결과 각속도 및 2차미분한 결과 각가속도를 각각 산출하였다.

즉 각속도는 $\omega_B = \omega_{B/A} + \omega_A$ 와 같다.

$\omega_{B/A}$: 분절 A에 대한 분절 B의 상대 각속도의 크기

ω_A : 분절A의 관성 각속도의 크기

5. 자료처리

산출된 분석변인에 대한 기초통계량과 힘의 높이에 따라서 보행자세에서 차이가 있는지를 규명하기 위해 ANOVA(Duncan) 분석을 통계패키지인 SAS를 이용하여 산출하였다.

III. 연구결과 및 논의

본 장에서는 다양한 신발의 형태, 특히 신발의 힘의 높이에 따라서 일상생활에서 보행자세는 물론, 하지 분절들의 이상증 및 근육군들의 정상적인 활동을 하는 데 영향을 미칠 수 있다는 가정하에 성장기에 있는 청소년들을 대상으로 힘의 높이를 다양하게 분류한 뒤 이를 착용하고 보행할 때 자세의 변화와 하지 분절의 기능에서 변화를 일으키는 지를 규명하는 데 있다.

첫째, 신발 힘의 높이에 따라서 보행 주기에 따른 변인 둘째, 신발 힘의 높이에 따라서 운동학적 변인을 분석하고 셋째, 힘의 높이 변화에 따른 차이를 서로 비교한 뒤 유의한 차이가 있으면 이를 기준으로 신발 선택 및 가장 정상적인 보행자세를 위한 신발류를 제시한다.

1. 보행주기의 변인

1) 국면별 소요 및 누적시간

신발 힐의 높이에 따른 보행 한 주기동안 각 국면에 대해 누적소요시간에 대해 분석을 용이하도록 하기 위해 오른발 터치다운(RTD), 왼발 이륙(LTO), 왼발 터치다운(LTD), 오른발 이륙(RTO), 오른발 터치다운(RTD)로 구분하여 분석을 한 결과는 <표3-1> 및 이의 차검정을 한 결과는 <표3-2>와 같다.

즉 RTD에서 LTO의 국면까지 신발의 종류에 따라서 모두 0.1666초, RTD에서 LTD까지 소요시간은 모두 최소 0.500에서 최대 0.5166초, RTD에서 RTO까지 최소 0.4868에서 최대 0.6778초, RTD에서 RTD까지 전체 소요시간은 최소 0.9778초에서 최대 1.0055초가 소요되었다.

전체적으로 소요시간의 특징을 살펴보면 각 국면마다 평균 소요시간에서 차이를 보이지 않았지만, RTD에서 RTO까지 소요시간에서 신발 힐의 높이가 5cm일 때 소요시간이 다른 신발높이에 비해 더 적은 것으로 나타났다.

<표3-1> 힐의 높이에 따른 보행 한주기동안 각 국면별 누적 소요시간(sec, frame.)

Phase Subj.	R.Touch down	L.Takeoff	L.Touchdown	R.Takeoff	R.Touchdown	
맨발	H.H.J.	0	0.1833(11)	0.5333(32)	0.7167(43)	1.0667(64)
	Y.Y.S.	0	0.1333(8)	0.4833(29)	0.6036(36)	0.9333(56)
	K.Y.J.	0	0.1833(11)	0.5333(32)	0.6667(41)	1.0000(60)
Mean±SD	0	0.1666±0.0288	0.5166±0.0288	0.6623±0.0566	1.000±0.067	
3cm	H.H.J.	0	0.1500(9)	0.5000(30)	0.6500(39)	1.0000(60)
	Y.Y.S.	0	0.1333(8)	0.4667(28)	0.6000(36)	0.9167(55)
	K.Y.J.	0	0.1833(11)	0.5333(32)	0.6000(41)	1.0167(61)
Mean±SD	0	0.1666±0.0254	0.5000±0.0333	0.6166±0.0288	0.9778±0.0535	
5cm	H.H.J.	0	0.1833(11)	0.5333(32)	0.7167(43)	1.0667(64)
	Y.Y.S.	0	0.1500(9)	0.4833(29)	0.6167(37)	0.9333(58)
	K.Y.J.	0	0.1667(10)	0.5333(32)	0.6670(41)	1.0167(61)
Mean±SD	0	0.1666±0.166	0.5166±0.0288	0.4868±0.2697	1.0055±0.0673	
7cm	H.H.J.	0	0.1666(10)	0.5333(32)	0.7167(43)	1.0667(63)
	Y.Y.S.	0	0.1500(9)	0.4833(29)	0.6167(37)	0.9333(58)
	K.Y.J.	0	0.1833(11)	0.5333(32)	0.7001(42)	1.1167(67)
Mean±SD	0	0.1666±0.0166	0.5166±0.0288	0.6778±0.0535	1.000±0.0948	

그러나 이러한 차이는 <표3-2>의 검증결과에서 알 수 있듯이 맨발의 경우 $F(3,8)=0.18, P>0.9057$, 3cm인 경우 $F(3,8)=0.23, P>0.8730$, 5cm인 경우 $F(3,8)=0.93, P>0.4713$, 7cm인 경우 $F(3,8)=0.20, P>0.8941$ 로서 각 국면별 신발의 힐의 높이에 따라서 유의한 차를 보이지 않은 것으로 나타났다. 따라서 보행주기동안 신발힐의 높이에 따른 누적 소요시간의 경우 RTD에서 RTO까지 소요시간에서 신발 힐의 높이가 5cm일 때 소요시간이 다른 신발높이에 비해 더 적은 것으로 나타났지만 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다.

2) 스트라이드의 길이

보행주기 동안 힐의 높이에 따라서 완전한 한 스트라이드에서 차이를 분석한 결과는 <표 3-3> 및 힐의 높이에 따라서 통계적인 차검증을 한 결과는 <표 3-4>와 같다. 맨발의 경우 모든 피험자 평균 스트라이드는 $154.73 \pm 23.79\text{cm}$, 힐의 높이가 3cm인 경우 평균 스트라이드는 $165.80 \pm 4.65\text{cm}$, 힐의 높이가 5cm인 경우는 $164.10 \pm 10.67\text{cm}$ 로 각각 나타난 바, 힐의 높이가 높아갈수록 스트라이드의 길이는 점차 길어지는 양상을 보였다.

<표3-2> 힐의 높이에 따른 보행 한주기동안 각 국면별 누적 소요시간의 ANOVA

RTD-LTO					
Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>
Model	3	0.00027778	0.00009259	0.18	0.9057
Error		0.00407149	0.00050894		
Corrected total	11	0.00434927			
R-square = 0.063868			C.V. = 13.76705		
LTO-LTD					
Model	3	0.00062250	0.00020750	0.23	0.8730
Error	8	0.00721778	0.00090222		
Corrected total	11	0.00784028			
R-square = 0.079398			C.V. = 5.861168		
LTD-RTO					
Model	3	0.00653719	0.00217906	0.93	0.4713
Error	8	0.01883039	0.00235380		
Corrected total	11	0.02536758			
R-square = 0.257698			C.V. = 7.396854		
RTO-RTD					
Model	3	0.00303093	0.00101031	0.20	0.8941
Error	8	0.04058445	0.00507306		
Corrected total	11	0.04361538			
R-square = 0.069492			C.V. = 0.071225		

<표3-3> 보행 주기동안 힐의 높이에 따른 스트라이드의 길이(unit:cm)

Heel height Subj.	맨발	3cm	5cm	7cm
H.H.J.	131.8	166.3	166.3	180.0
Y.Y.S.	179.3	170.0	173.5	176.7
K.Y.J.	153.1	172	152.5	160.8
Mean±SD	154.73±23.79	165.80±4.65	164.10±10.67	176.23±4.02

그러나 <표3-4>의 검증결과를 보면 신발의 힐의 높이에 따라서 $F(3,8)=1.30$, $P>0.340$ 으로서 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았지만, 대체적으로 스트라이드의 길이는 힐의 높이가 높아갈수록 길어지는 결과를 보였다.

〈표3-4〉 보행주기동안 힐의 높이에 따른 스트라이드 길이의 ANOVA

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>
Model	3	698.235833	232.745277	1.30	0.340
Error	8	1435.07333	179.384166		
Corrected total	11	2133.309166			
R-square = 0.327302		C.V. = 8.107817			

2. 신체중심 변인

1) 수평 및 수직변위

한 스트라이드 동안 힐의 높이에 따라서 신체중심의 수평 및 수직변위를 각 국면별 및 누적변위를 분석 한 결과는 〈표3-5〉와 같으며, 이를 각 국면별 차이를 검증한 결과는 〈표3-6〉, 신발의 힐의 높이에 따라서 전체 인체모형의 변화는 〈그림3-1〉과 같다.

즉 전체 인체모형을 나타낸 스틱피겨는 피험자 Y.Y.S.의 맨발, 3cm, 5cm, 7cm의 순으로 각각 나타났다.

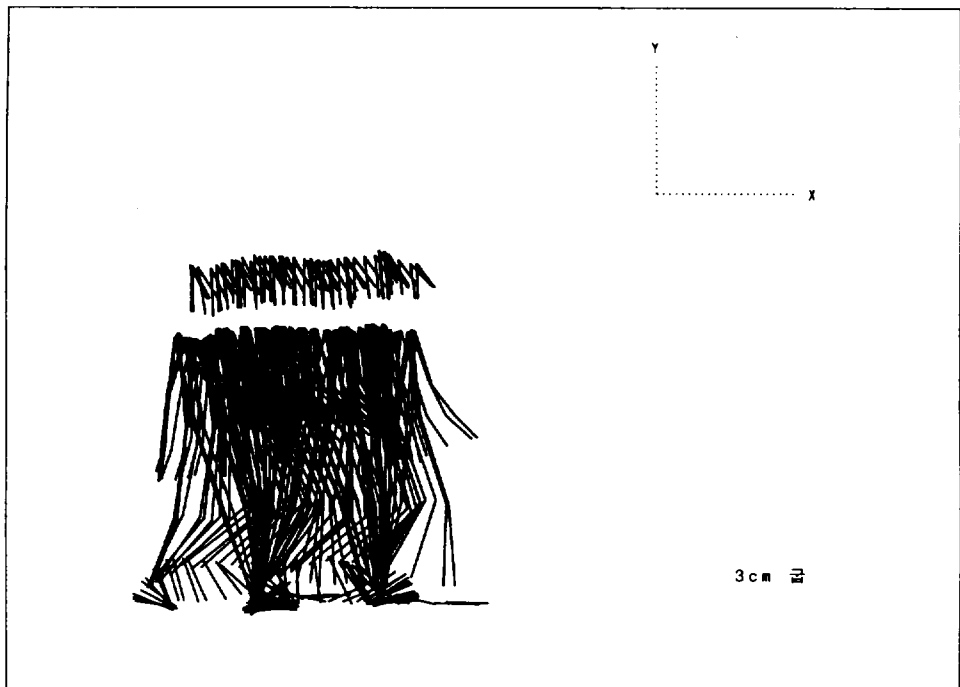
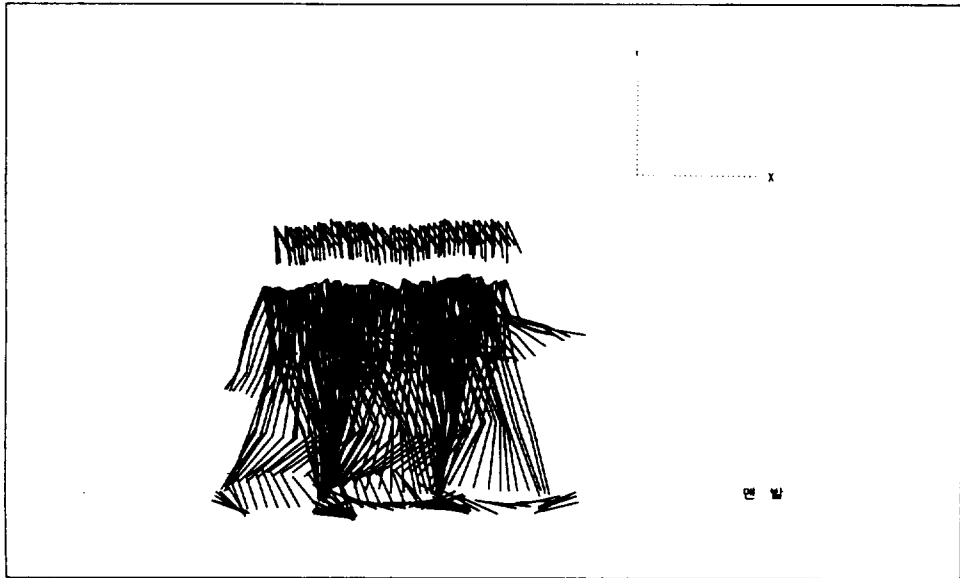
한 스트라이드 동안 신체중심의 수평변위는 맨발의 경우 국면 RTD-LTO까지의 피험자 전체 평균이 $26.66 \pm 4.07\text{cm}$, 3cm의 평균 $25.13 \pm 1.75\text{cm}$, 5cm의 경우 평균 27.50 ± 3.50 , 7cm의 경우 평균 $27.96 \pm 3.27\text{cm}$ 로 각각 나타난 바, 3cm의 경우가 가장 적은 것으로 나타났고, 맨발, 5cm, 7cm의 순으로 크게 나타났다. 이러한 경향을 볼 때 이 국면에서 신체중심의 수평변위는 신발의 힐 높이가 높을수록 큰 것으로 나타났다.

LTO-LTD의 국면에서는 맨발의 경우가 평균 $97.70 \pm 8.80\text{cm}$, 3cm의 경우 평균 $78.66 \pm 27.94\text{cm}$, 5cm의 경우 평균 $97.30 \pm 3.57\text{cm}$, 7cm의 경우 평균이 $103.76 \pm 13.89\text{cm}$ 로 각각 나타난 바, 이 국면 역시 3cm의 경우가 가장 적었고, 맨발, 5cm, 7cm의 순으로 크게 나타났다.

LTD-RTO국면에서 맨발의 경우 평균 수평변위가 $126.33 \pm 8.09\text{cm}$, 3cm의 경우 평균 $123.16 \pm 4.22\text{cm}$, 5cm의 경우 평균 $126.13 \pm 6.35\text{cm}$, 7cm의 경우 평균 $140.16 \pm 18.78\text{cm}$ 로 각각 나타난 바, 이 국면 역시 가장 적은 수평변위를 보인 경우는 3cm, 맨발, 5cm, 7cm의 순으로 증가하는 경향을 보였다.

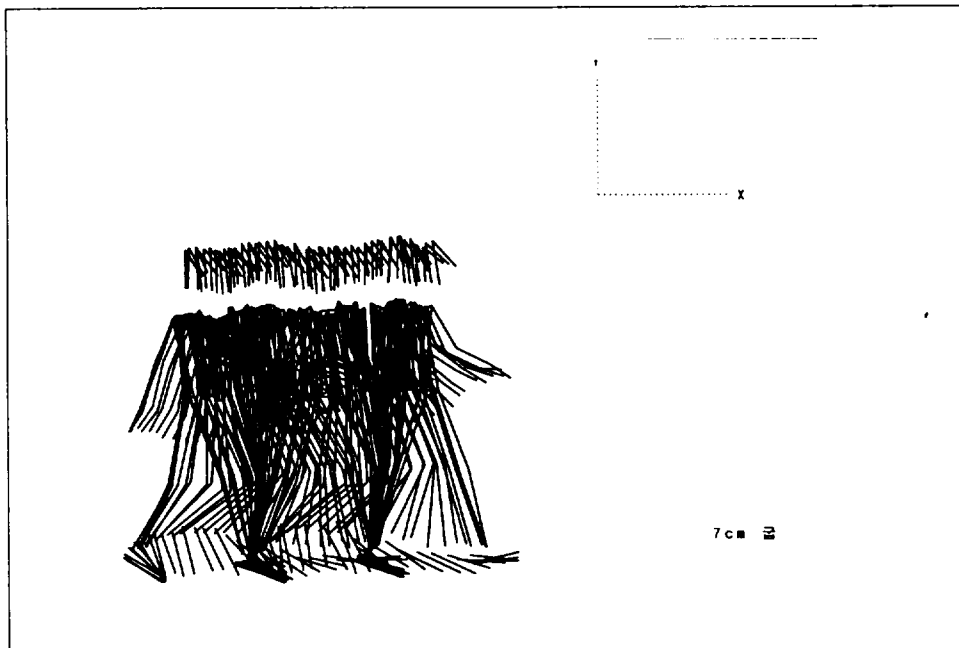
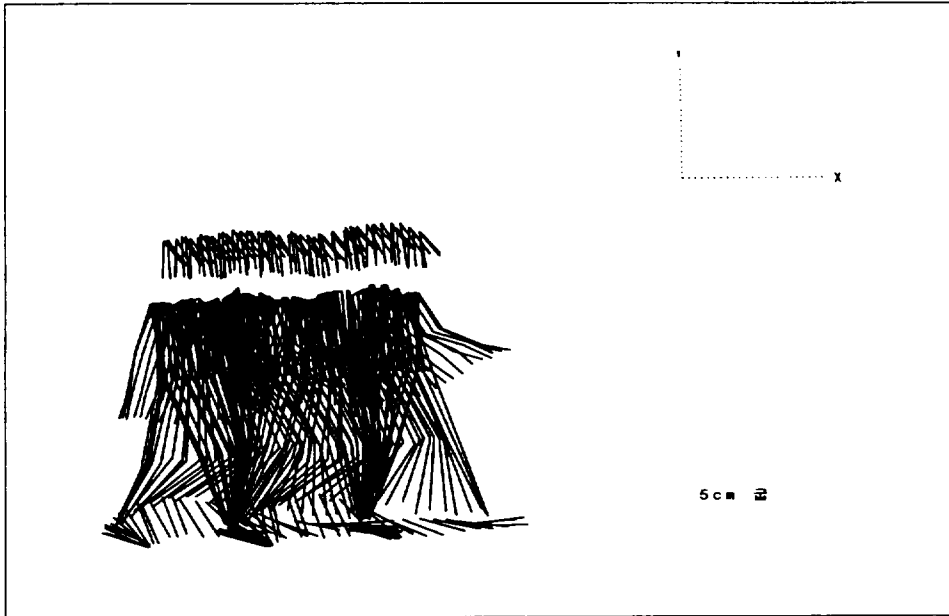
마지막으로 RTO-RTD국면에서 신체중심의 평균 수평변위를 보면 맨발의 경우가 평균 $197.36 \pm 16.49\text{cm}$, 3cm의 경우 평균 $191.50 \pm 8.77\text{cm}$, 5cm의 경우 평균 $167.13 \pm 57.93\text{cm}$, 7cm의 경우 평균 225.23cm 로서 각각 나타난 바, 힐의 높이가 5cm의 경우가 가장 적은 것으로 나타났고, 맨발, 3cm, 7cm의 순으로 크게 나타났다.

각 국면별 신체중심의 수평변위를 종합하면 마지막 국면인 RTO-RTD국면에서 5cm의 경우를 제외하면 RTD-RTO까지 전체적인 경향은 신발의 힐의 높이가 높을수록 큰 것으로 나타났다.



<그림3-1> 신발 힐의 높이에 따른 한 스트라이드동안 인체모형의 변화과정-I

신발 힐의 높이에 따른 보행자의 운동학적 분석(류재청 · 안성규)



<그림3-1> 신발 힐의 높이에 따른 한 스트라이드동안 인체모형의 변화과정-II

한편 수직변위의 경우는 신발의 종류에 따라서 각 국면에 따라서 각각 규칙적인 양상을 보인다. RTD-LTO국면에서는 맨발의 경우가 최저로서 $3.33 \pm 3.20\text{cm}$, 최고는 힐의 높이가 7cm인 경우가 평균 $8.20 \pm 2.04\text{cm}$ 로서 수직 변위가 높았고, LTO-LTD에서는 힐의 높이가 7cm의 경우가 $3.06 \pm 1.30\text{cm}$, 5cm의 경우가 $3.13 \pm 2.54\text{cm}$, 3cm의 경우가 $4.63 \pm 0.92\text{cm}$, 맨발의 경우가 $4.60 \pm 3.77\text{cm}$ 로 각각 나타난 바, 힐의 높이가 낮을수록 신체중심의 수직변위는 더 큰 것으로 나타났다.

LTD-RTO의 국면에서 최대 수직변위를 보인 힐의 높이는 맨발의 평균 $6.60 \pm 1.68\text{cm}$, 3cm의 평균 $4.63 \pm 0.92\text{cm}$, 5cm의 평균 $3.53 \pm 2.10\text{cm}$, 7cm의 $3.60 \pm 1.70\text{cm}$ 로서 역시 이 국면에서도 신발의 힐의 높이가 낮을수록 신체중심의 수직변위는 더 큰 것으로 나타났다.

마지막 RTO-RTD국면의 경우를 보면 맨발의 경우 평균 $5.13 \pm 0.97\text{cm}$, 3cm의 경우 $6.66 \pm 0.58\text{cm}$, 5cm의 경우 평균 $8.20 \pm 1.91\text{cm}$, 7cm의 경우 평균 $8.93 \pm 0.85\text{cm}$ 로 각각 나타난 바, 이 국면에서는 신발의 힐의 높이가 높을수록 수직변위의 폭은 더 큰 것으로 나타났다.

수직변위를 종합하면 첫 분석이 시작되는 RTD-LTO와 마지막 국면인 RTO-RTD국면의 경우는 신발의 힐의 높이가 높을수록 더 큰 수직변위를 보였고, 보행이 진행중인 LTO-LTD와 LTD-RTO의 국면에서는 신발의 힐의 높이가 낮을수록 수직변위는 더 낮은 것으로 나타났다.

이러한 신체중심의 수평변위와 수직변위의 특성을 결과로 각 국면에 따라서 신발 힐의 높이에 따라서 유의한 차이가 있는지를 검증한 결과는 <표3-5>와 같다.

표에서 보면 수평변위를 검증한 결과 신발 힐의 높이에 따라서 RTD-LTO국면에서 $F(3,8)=0.39$, $P>0.762$, LTO-LTD국면의 경우 $F(3,8)=0.90$, $P>0.48$, LTD-RTO국면의 경우 $F(3,8)=1.46$, $P>0.296$, RTO-RTD국면의 경우 $F(3,8)=1.52$, $P>0.281$ 로서 매 국면에 따라서 신발의 힐의 높이에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

신발 힐의 높이에 따른 보행자의 운동학적 분석(류재청 · 안성규)

〈표3-5〉 보행 주기동안 힐의 높이에 따른 무게중심의 수평 및 수직변위 (unit : cm)

Subj.		Phase		R.TD-----L.TO-----L.TD-----R.TO----- R.TD			
맨 발	H.H.J	Horiz.	25.5(13.84%)	88.4(38.26%)	117.8(12.97%)	184.3(36.08%)	
		Vertic.	3.4	4.1	6	6.2	
	YYS	Horiz.	23.3(10.79%)	105.9(38.26%)	133.9(12.97%)	215.9(37.98%)	
		Vertic.	0.1	1.1	5.3	4.9	
	KYJ	Horiz.	31.2(16.26%)	98.8(35.22%)	127.3(14.85%)	191.9(33.66%)	
		Vertic.	6.5	8.6	8.5	4.3	
Mean±SD(Horiz)			26.66±4.07(13.63)	97.70±8.80(37.25)	126.33±8.09(13.60)	197.36±16.49 (35.91)	
			3.33±3.20	4.60±3.77	6.60±1.68	5.13±0.97	
3 cm	H.H.J	Horiz.	23.3(12.21%)	86.4(33.07%)	118.7(16.93%)	190.8(37.79%)	
		Vertic.	3.4	4.1	6	6.2	
	YYS	Horiz.	26.8(13.56%)	94.3(33.65%)	127.1(16.35%)	200.6(36.50%)	
		Vertic.	2.7	4.1	8	6.4	
	KYJ	Horiz.	25.3(13.82%)	95.3(38.23%)	123.7(15.510%)	183.1(32.44%)	
		Vertic.	5.2	5.7	6	5.3	
Mean±SD(Horiz)			25.13±1.75(13.19)	78.66±27.94(34.98)	123.16±4.22(16.26)	191.50±8.77(35.57)	
			3.76±1.28	4.63±0.92	4.63±0.92	6.66±0.58	
5 cm	H.H.J	Horiz.	31.4(15.99%)	96.8(33.3%)	129.6(16.7%)	196.4(34.01%)	
		Vertic.	2.6	3.4	7.3	5.9	
	YYS	Horiz.	26.5(12.95%)	101.1(36.36%)	130(14.13%)	204.6(36.46%)	
		Vertic.	0.9	1.5	6.9	8.9	
	KYJ	Horiz.	24.6(14.76%)	94(32.74%)	118.8(18.03%)	100.4(34.46%)	
		Vertic.	5.9	5.7	10.4	9.8	
Mean±SD(Horiz)			27.50±3.50(14.57)	97.30±3.57(34.13)	126.13±6.35(16.29)	167.13±57.93(34.98)	
			5.96±0.58	3.13±2.54	3.53±2.10	8.20±1.91	
7 cm	H.H.J	Horiz.	31(12.43%)	118.8(35.22%)	161.5(17.13%)	249.3(35.21%)	
		Vertic.	1.7	1.9	8.1	5	
	YYS	Horiz.	24.5(12.95%)	101.1(36.36%)	132.9(14.13%)	234(36.46%)	
		Vertic.	3.2	3.6	8.9	5	
	KYJ	Horiz.	28.4(14.76%)	91.4(32.74%)	126.1(18.04%)	192.4(34.46%)	
		Vertic.	4.3	5.3	9.8	7.4	
Mean±SD(Horiz)			27.96±3.27(13.38)	103.76±13.89(34.77)	140.16±18.78(16.43)	225.23±29.44(35.38)	
			8.20±2.04	3.06±1.30	3.60±1.70	8.93±0.85	

〈표3-6〉 보행 주기동안 힘의 높이에 따른 무게중심의 수평변위의 ANOVA

RTD-LTO					
Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>
Model	3	25.27000	8.423333	0.39	0.762
Error	8	172.10666	21.51333		
Corrected total	11	172.106666			
R-square = 0.128029			C.V. = 17.85085		
LTO-LTD					
Model	3	208.3625000	69.4541667	0.90	0.480
Error	8	614.1066667	76.7633333		
Corrected total	11	822.469166667			
R-square = 0.253338			C.V. = 8.9638491		
LTD-RTO					
Model	3	522.1233333	174.041111	1.46	0.296
Error	8	953.2466667	119.1558333		
Corrected total	11	1475.3700000			
R-square = 0.353893			C.V. = 8.465182		
RTO-RTD					
Model	3	5155.816667	1718.605556	1.52	0.281
Error	8	9018.380000	1127.297500		
Corrected total	11	14174.196667			
R-square = 0.363747			C.V. = 17.14919		

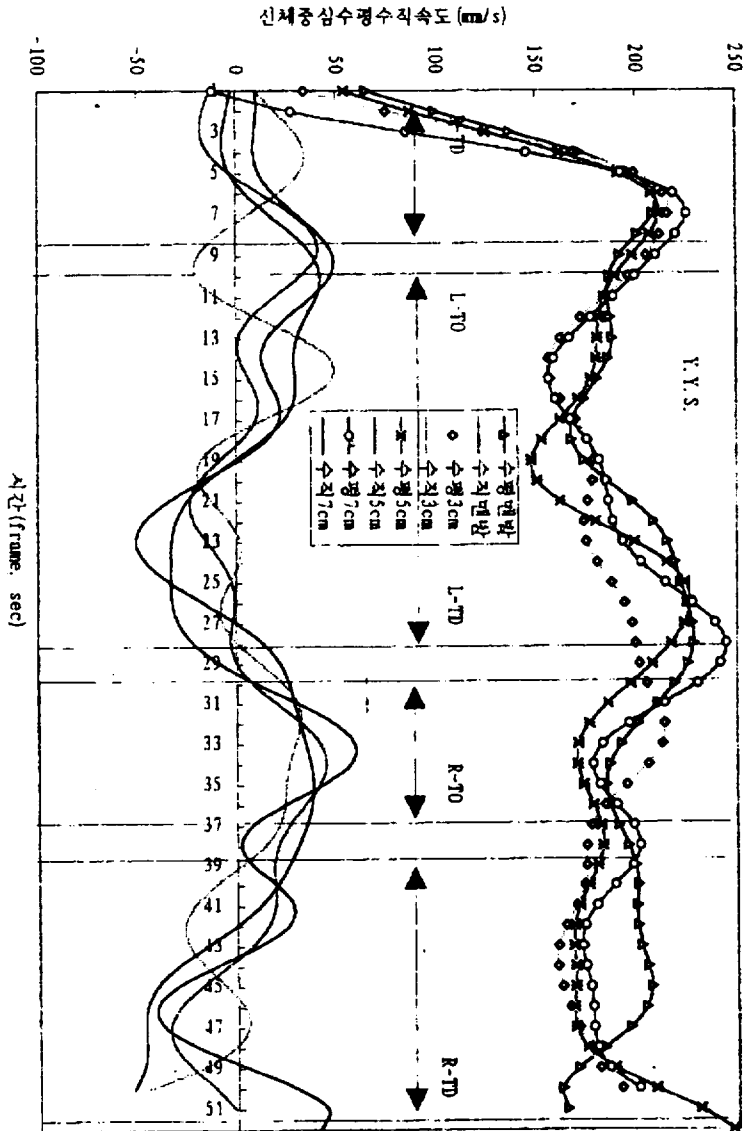
2) 신체중심의 속도

보행시 신발 힘의 높이에 따른 신체중심의 수평 및 수직속도의 변화를 분석한 결과는 〈표 3-7〉과 같으며, 전체적인 수평 및 수직속도의 변화 양상을 나타낸 경우는 〈그림3-2〉와 같다.

전체적인 변화 양상에서보면 수평속도의 경우는 RTD에서 LTO까지 급속한 증가현상을 보인 후 보행이 진행되어 마지막 다시 RTD순간까지 각 국면에 따라서 약간의 변화를 보이면서 일정한 수평속도를 유지하였다. 가장 큰 증가를 보인 국면은 LTD국면으로서 거의 최대치에 이르렀고, LTO에서 LTD에 이르는 중간에서 신체중심의 수평속도는 약간 감소하는 현상을 보였다.

한 편 신체중심의 수직속도의 경우는 거의 일정한 패턴이 없이 보행이 진행됨에 따라서 약간씩 주기적으로 변화하면서 LTD 국면에서 RTO에 이르는 순간에 최대의 수직 속도를 나타내었다.

신발 밑의 높이에 따른 보행자의 운동학적 분석(류재창·안성규)



〈그림 3-2〉 보행주기동안 힘의 높이에 따른 무게중심의 평균수평 및 수직속도변화

이러한 결과를 각 국면에 따라서 정리한 <표3-7>에서 각 국면별 신발의 힐의 높이 종류에 따라서 분석하면 수평변위의 경우 RTD에서 LTO국면에서 최소값을 보인 경우는 힐의 높이가 7cm의 경우 평균 $138.97 \pm 6.61 \text{m/s}$ 를 보였고, 최대가 3cm의 경우 $148.65 \pm 7.47 \text{m/s}$, 5cm의 경우 $147.48 \pm 16.68 \text{m/s}$, 맨발의 $144.72 \pm 21.33 \text{m/s}$ 로서 일정한 양상을 보이지 않지만 7cm의 경우를 제외하면 거의 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

LTO국면에서 LTD국면까지 역시 최소의 경우 3cm의 경우 $164.56 \pm 17.78 \text{m/s}$, 최대의 경우 맨발과 7cm의 경우 $169.11 \pm 21.41 \text{m/s}$ 이상으로서 신발 힐의 높이에 따라서 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다.

LTD국면에서 RTO국면까지의 경우 최소값을 보인 경우는 힐의 높이가 5cm의 경우로서 평균 $155.36 \pm 21.41 \text{m/s}$, 맨발의 경우 $162.55 \pm 32.94 \text{m/s}$, 3cm의 경우 $176.39 \pm 23.45 \text{m/s}$, 7cm의 경우 $181.56 \pm 13.08 \text{m/s}$ 를 나타내어 국면에서는 신발 힐의 높이에 상관없이 일정한 패턴을 나타내지 못하였다. 그러나 가장 수평속도가 크게보인 국면은 힐의 높이가 가장 높은 7cm의 경우로 나타났으며, 가장 느린 수평속도를 보인 경우는 5cm의 경우로 나타났다.

RTO국면에서 RTD국면까지의 경우 가장 적은 수평속도를 보인 국면은 힐의 높이가 7cm의 경우로서 평균 $153.28 \pm 30.31 \text{m/s}$ 로 나타났고, 가장 큰 경우는 3cm의 경우로서 $170.80 \pm 2.51 \text{m/s}$ 로 나타났다.

이상 각 국면별 수평속도를 힐의 높이에 따라서 변화의 차이에서 일정한 양상을 보이지 않았으나, 신발의 힐의 높이와 상관없이 보행이 진전됨에 따라서 평균 수평속도의 크기는 증가하는 양상을 보였다.

수직속도의 경우 RTD에서 LTO국면의 경우 힐의 높이에 따라서 가장 높은 경우는 5cm의 17.18m/s 로 나타났고, 가장 낮은 경우는 맨발과 7cm의 경우 각각 $15.89 \pm 14.43 \text{m/s}$, $15.05 \pm 6.61 \text{m/s}$, 5cm의 경우는 $17.18 \pm 12.49 \text{m/s}$ 로 나타났다. 이 국면에서 힐의 높이에 따라서 뚜렷한 특징을 보이지 않은 것으로 나타났다.

LTO에서 LTD국면까지는 최소값을 보인 5cm의 $0.28 \pm 0.69 \text{m/s}$ 를 제외하면 거의 비슷한 값을 보였으며, 최대의 경우는 맨발의 $2.96 \pm 2.28 \text{m/s}$ 로서 이 국면 역시 신발의 힐의 높이에 따라서 뚜렷한 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다.

LTD에서 RTO국면까지를 보면 모든 국면에서 높은 수직속도를 보인 바, 최소가 맨발의 경우로서 $12.00 \pm 18.78 \text{m/s}$, 3cm의 경우 $24.03 \pm 4.14 \text{m/s}$, 5cm의 $26.71 \pm 7.38 \text{m/s}$, 7cm의 $29.17 \pm 4.79 \text{m/s}$ 로 각각 나타난 바, 힐의 높이가 높아갈수록 수직속도의 차이는 점점 크지는 것으로 나타났다.

RTO에서 RTD의 경우는 모든 국면에서 가장 적은 수직속도의 변화를 보이는 것으로 나타난바, 최소 7cm의 $-13.60 \pm 4.03 \text{m/s}$ 에서 5cm의 $3.03 \pm 10.37 \text{m/s}$ 로 나타났다.

이상 신체중심의 수평 및 수직속도에서 신발의 힐의 높이에 따른 특징을 들면, 우선 수평속도에서 이상 각 국면별 수평속도를 힐의 높이에 따라서 변화의 차이에서 일정한 양상을 보이지 않았으나, 신발의 힐의 높이와 상관없이 보행이 진전됨에 따라서 평균 수평속도의 크기는 증가하는 양상을 보였다.

수직 속도의 경우를 종합하면 신발의 힐의 높이와 상관없이 모든 국면에서 가장 큰 값을 보인 경우는 LTD-RTO국면이었고, 그 다음 RTD-LTO국면으로 나타났고, 가장 적은 값을 보인 국면은 보행 마지막 부분인 RTO-RTD와 LTO-LTD국면으로 나타났다.

신발 힐의 높이에 따른 보행자의 운동학적 분석(류재청·안성규)

〈표3-7〉 보행주기동안 힐의 높이에 따른 무게중심의 평균수평 및 수직속도변 (unit : m/s)

Subj.		Phase		R.TD-----	L.TO-----	L.TD-----	R.TO-----	R.TD
맨	H.H.J.	Horiz.		120.67	151.34	131.60	126.44	
		Vertic.		14.727	1.89	9.40	-2.63	
발	YYS	Horiz.		161.35	197.38	197.18	192.24	
		Vertic		2.08	1.41	31.95	-1.70	
	KYJ	Horiz		152.15	160.58	158.86	161.69	
		Vertic		30.88	5.58	-5.34	-35.63	
Mean±SD				144.72±21.33 15.89±14.43	169.76±24.35 2.96±2.28	162.55±32.94 12.00±18.78	160.12±32.92 -13.32±19.32	
3 cm	H.H.J.	Horiz		140.66	169.78	163.62	172.76	
		Vertic		-2.68	2.81	27.25	-2.46	
	YYS	Horiz		155.47	179.16	203.46	171.67	
		Vertic		18.01	3.33	25.51	-8.79	
	KYJ	Horiz		149.82	144.75	162.08	167.96	
		Vertic		20.26	-0.03	19.35	7.50	
Mean±SD(Horiz)				148.65±7.47 11.86±12.65	164.56±17.78 2.03±1.86	176.39±23.45 24.03±4.14	170.80±2.51 -1.25±8.21	
5 cm	H.H.J.	Horiz		153.22	155.79	149.34	147.10	
		Vertic		12.83	-0.50	24.10	-8.26	
	YYS	Horiz		160.54	186.67	179.13	184.913	
		Vertic		7.44	0.51	35.05	5.20	
	KYJ	Horiz		128.69	158.03	137.60	164.53	
		Vertic		31.28	0.84	21.00	12.14	
Mean±SD(Horiz)				147.48±16.68 17.18±12.49	166.83±17.21 0.28±0.69	155.36±21.41 26.71±7.38	165.51±18.92 3.03±10.37	
7 cm	H.H.J.	Horiz		132.72	164.27	177.60	153.43	
		Vertic		1.89	5.28	29.79	-11.86	
	YYS	Horiz		145.9	192.53	196.16	183.52	
		Vertic		21.35	0.26	33.63	-18.22	
	KYJ	Horiz		138.30	150.52	170.91	122.89	
		Vertic		21.90	1.14	24.40	-10.73	
Mean±SD(Horiz)				138.97±6.61 15.05±11.40	169.11±21.41 2.28±2.68	181.56±13.08 29.17±4.79	153.28±30.31 -13.60±4.03	

3. 각운동변인

각운동 변인의 분석은 힐의 높이에 따라서 각 신체분절의 백터각도를 이용하여 컷째, 발, 하지, 대퇴의 각 변위를 각 국면에 따라서 분석하였고, 둘째, 속도백터, 가속도백터를 분석, 셋째, 신발 힐의 높이에 따라서 각 분석국면에 따라서 절대좌표계(global axis)를 이용한 상호 연결된 분절간의 보행자세의 유사성을 분석하였다.

1) 분절별 힐 높이에 따른 신전 및 굴곡운동

한 보행주기동안 각 국면별 발의 각변위 양상을 분석한 결과는 〈표3-8〉 및 이의 전체적인 변화 및 차이를 나타낸 subj. HHJ의 분석결과를 대표적으로 나타낸 것이 〈그림3-3〉과 같다.

표에서 각변위는 국면별 평균하여 나타내고, 이에 대한 편차, 「-」 부호는 방향을 나타내는 것으로 발의 저축굴곡의 정도를 나타내며, 「양의 부호」는 발의 배축굴곡을 나타내며, 「sum」은 각 국면이 진전하면서 국면전체의 평균 각변위를 나타낸 것이다.

〈그림3-3〉의 변화를 보면 힐의 높이가 맨발, 3cm, 5cm, 7cm일 경우 보행 각 국면의 변화에 따라서 LTD에서 RTO국면 사이에서 7cm의 경우 가장 큰 배축굴곡양상을 보였고, 그의 신발 힐의 높이에서 LTD에서 RTO국면에서는 가장 적은 저축굴곡의 현상을 보였다.

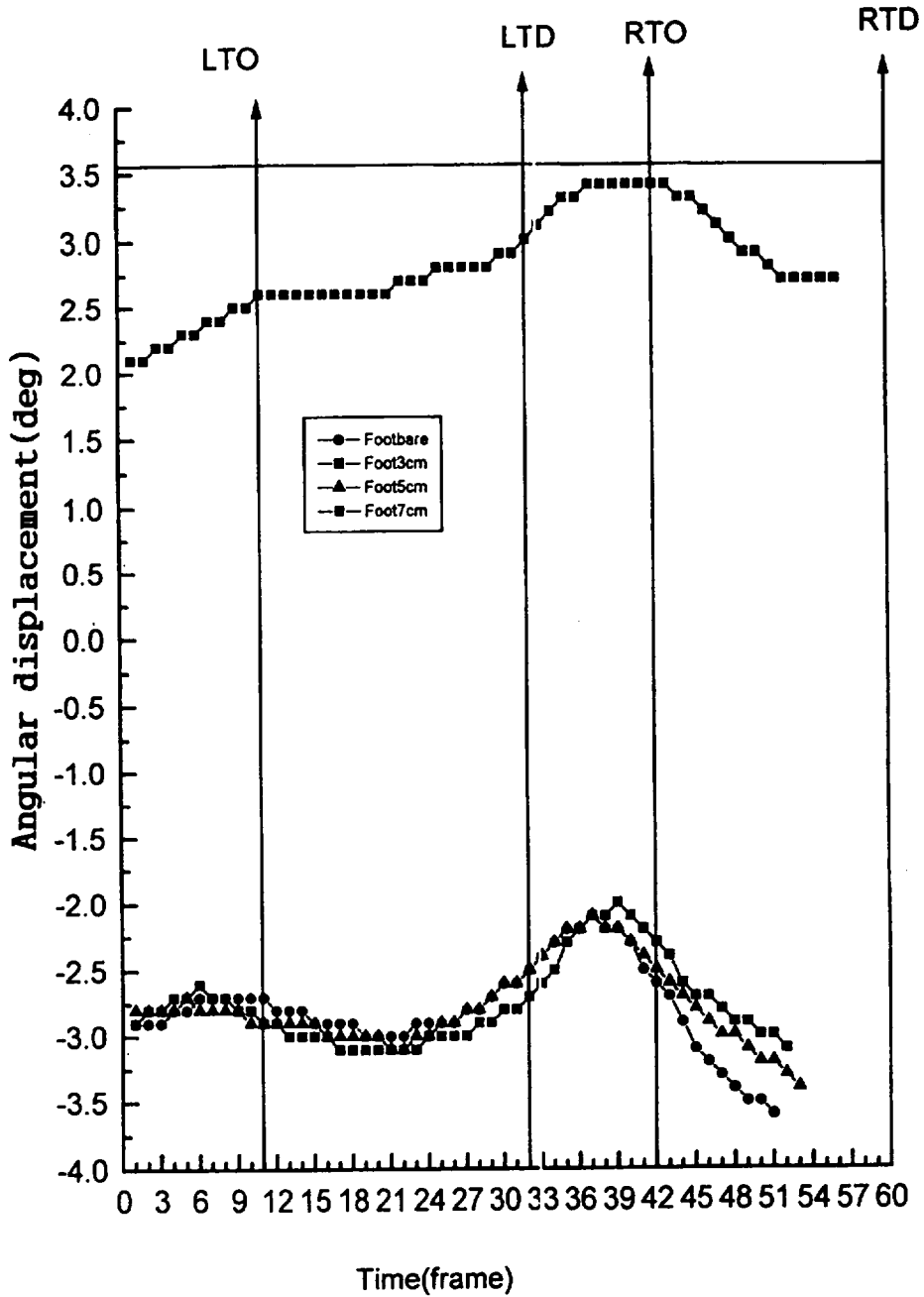
이러한 결과를 정리하면 모든 힐의 높이에서 LTD국면에서 RTO를 제외한 다른 조건의 경우 LTD에서 RTO국면을 제외하면 보행주기동안 저축 굴곡이 된 상태로 발의 뻣뻣한(stiffness) 경직이 되어서 거의 운동이 없었다.

한 보행 주기동안 하퇴의 각변위 양상은 〈표3-9〉 및 〈그림3-4〉와 같다. 즉 표의 결과는 발의 경우와 같이 분석하는 방법은 동일하며, 국면별 전체적인 변화양상을 보면 LTO국면 이전까지 약한 굴곡상태를 유지하다가 LTD국면으로 변화하면서 신전된 국면을 보인 후 RTD국면에 다가가면서 굴곡된 상태를 보였다. 이런 결과를 볼 때 힐의 높이가 낮을수록 신전하는 범위가 크을 알 수 있고, 힐높이가 높을수록 적은 결과를 보였다.

따라서 이러한 결과를 정리하면 신발의 힐의 높이가 높을수록 무릎관절의 굴곡 및 신전운동이 더 적은 것으로 나타났다.

〈표3-8〉 힐의 높이에 따른 각 국면별 발의 신전 및 굴곡운동 (unit :deg.)

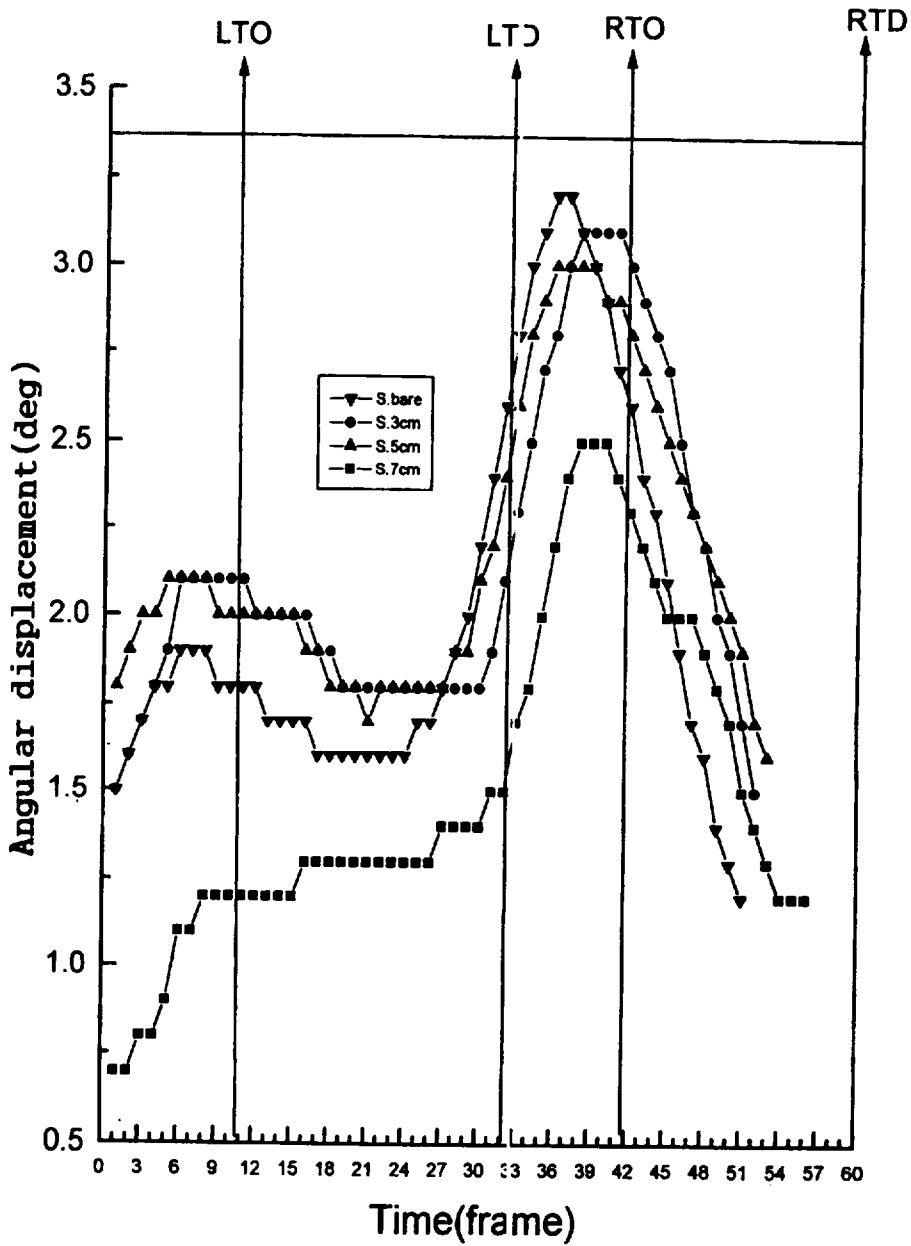
Subj		Phase	LTO	LTD	RTO	RTD
HHJ	맨발	Mean±SD	-2.46±0.051	-2.81±0.153	-2.44±0.117	-2.40±0.081
		Sum	-24.6	-62	-24.4	-24
	3cm	Mean±SD	2.01±0.110	1.959±0.079	2.14±0.051	2.05±0.052
		Sum	20.1	43.1	21.4	20.5
	5cm	Mean±SD	-2.19±0.099	-2.872±0.169	-2.39±0.159	-2.24±0.051
		Sum	-21.9	-63.2	-23.9	-22.4
	7cm	Mean±SD	-0.36±1.387	-1.031±3.007	2.48±2.988	0.192±1.633
		Sum	-3.6	-22.7	24.8	2.5
YYS	맨발	Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44.5±4.183
		Sum	45	390	268	623
	3cm	Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44±3.894
		Sum	45	390	268	572
	5cm	Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	45±4.472
		Sum	45	390	268	675
	7cm	Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44±3.894
		Sum	45	390	268	572
KYJ	맨발	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	47±2.738
		Sum	66	462	375	423
	3cm	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	47.5±3.027
		Sum	66	462	375	475
	5cm	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	48±3.316
		Sum	66	462	375	528
	7cm	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	49.5±4.183
		Sum	66	462	375	693



〈그림3-3〉 피험자 HHJ의 힐의 높이에 따른 각 국면별 하퇴의 신전 및 굴곡운동

〈표3-9〉 힘의 높이에 따른 각 국면별 하퇴의 신전 및 굴곡운동 (unit : deg.)

Subj		Phase	LTO	LTD	RTO	RTD
HHJ	bare	Mean ±SD	1.47±0.283	1.668±0.108	2.75±0.337	2.56±0.316
		Sum	14.7	36.7	27.5	25.6
	3cm	Mean ±SD	-2.94±0.051	-2.927±0.160	-2.22±0.122	-2.94±0.267
		Sum	-29.4	-64.4	-22.2	-29.4
	5cm	Mean ±SD	2.11±0.087	1.922±0.119	2.82±0.319	2.45±0.302
		Sum	21.1	42.3	28.2	24.5
	7cm	Mean ±SD	2.32±1.913	0.027±3.589	2.85±5.383	-3.06±3.269
		Sum	23.2	0.6	28.5	-39.9
YYS	bare	Mean ±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44.5±4.183
		Sum	45	390	268	623
	3cm	Mean ±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44±3.894
		Sum	45	390	268	572
	5cm	Mean ±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	45±4.472
		Sum	45	390	268	675
	7cm	Mean ±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44±3.894
		Sum	45	390	268	572
KYJ	bare	Mean ±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	47±2.738
		Sum	66	462	375	423
	3cm	Mean ±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	47.5±3.527
		Sum	66	462	375	475
	5cm	Mean ±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	48±3.316
		Sum	66	462	375	528
	7cm	Mean ±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	49.5±4.183
		Sum	66	462	375	693



<그림3-4> 피험자 HHJ의 힐의 높이에 따른 각 국면별 하퇴의 신전 및 굴곡운동

대퇴의 경우를 각 국면에 따라서 종합 분석한 결과는 <표3-10> 및 <그림3-5>와 같으며, 역시 표의 분석 방법은 발의 경우와 같다. 대퇴의 경우를 보면 맨발, 3cm, 5cm의 경우 전 국면에서 변화 양상은 처음 RTD에서 시작하여 RTO국면까지 점차적으로 굴곡이 된 상태에서 신전상태로 변한 후, 다시 RTO 에서 RTD까지 굴곡의 각도가 크게 증가하는 양상을 보였다. 이러한 양상을 볼 때 맨발, 3cm, 5cm의 경우는 보행 주기동안 각각의 국면이 진전됨에 따라서 신전 및 굴곡운동에서 거의 차이를 보이지 않고 정상적으로 변하여 갔다. 이와는 다른 양상을 보인 경우는 힐의 높이가 7cm인 경우로서 첫 RTD에서 LTO국면까지는 계속 신전이 된 상태로 유지하다가 RTO에서 RTD국면에서 약간의 굴곡이되는 결과를 보였다.

<표3-10> 힐의 높이에 따른 각 국면별 대퇴의 신전 및 굴곡운동 (unit :deg.)

Subj		Phase	LTO	LTD	RTO	RTD	
HHJ	bare	Mean±SD	0.09±0.159	-0.295±0.158	-0.86±0.069	-0.51±0.268	
		Sum	0.9	-6.5	-8.6	-5.1	
	3cm	Mean±SD	2.97±0.067	3.213±0.088	3.06±0.084	3.02±0.042	
		Sum	29.7	70.7	30.6	30.2	
	5cm	Mean±SD	0.01±0.137	-0.313±0.135	-0.9±0.105	-0.26±0.320	
		Sum	0.1	-6.9	-9	-2.6	
	7cm	Mean±SD	-1.14±1.190	-1.213±1.425	-0.07±3.396	3.023±3.247	
		Sum	-11.4	-26.7	-0.7	39.3	
	YYS	bare	Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44.5±4.183
			Sum	45	390	268	623
3cm		Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44±3.894	
		Sum	45	390	268	572	
5cm		Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	45±4.472	
		Sum	45	390	268	675	
7cm		Mean±SD	5±2.738	19.5±5.916	33.5±2.449	44±3.894	
		Sum	45	390	268	572	
KYJ		bare	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	47±2.738
			Sum	66	462	375	423
	3cm	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	47.5±3.027	
		Sum	66	462	375	475	
	5cm	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	48±3.316	
		Sum	66	462	375	528	
	7cm	Mean±SD	6±3.316	22±6.204	37.5±3.027	49.5±4.183	
		Sum	66	462	375	693	

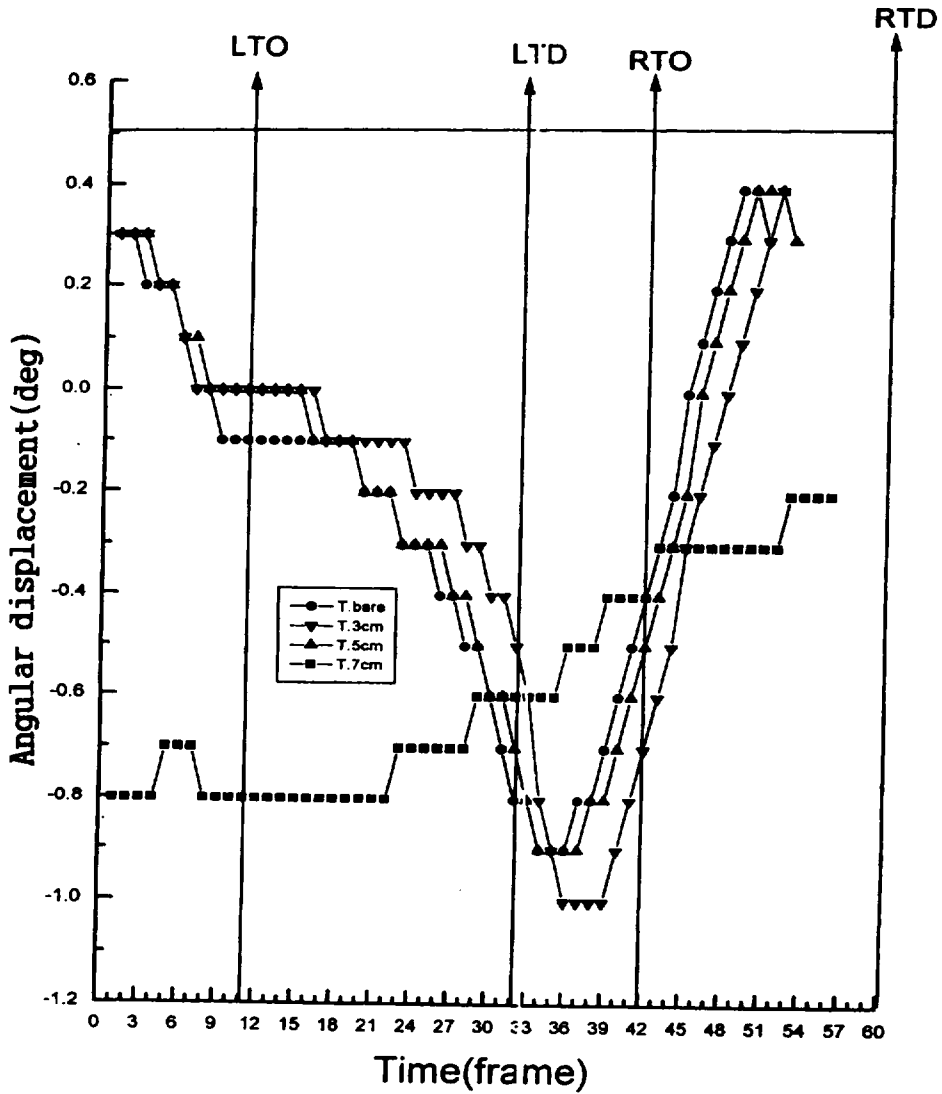
이러한 결과를 정리하면 보행 한 주기동안 힐의 높이가 7cm일 경우 대퇴분절의 신전 및 굴곡운동은 뚜렷하지 않은 현상은 힐의 높이에 의한 히프관절에서 각운동이 제대로 이루어 지지 않았음을 알 수 있고, 3cm의 경우에 가장 뚜렷한 신전 및 굴곡운동을 하는 것으로 나타났다.

보행 한 주기동안 힐의 높이에 따른 하지분절의 신전 및 굴곡의 정도를 종합하면 발에서 모든 힐의 높이에서 LTD국면에서 RTO를 제외한 다른 조건의 경우 LTD에서 RTO국면을 제외하면 보행주기동안 저축 굴곡이 된 상태로 발의 뻣뻣한(stiffness) 경직이 된 상태로 거의 운동이 없었다.

하퇴의 경우 신발의 힐의 높이가 높을수록 무릎관절의 굴곡 및 신전운동이 더 적은 것으로

나타났다.

대퇴의 경우 7cm일 때 대퇴분절의 신전 및 굴곡운동은 뚜렷하지 않음을 알 수 있고, 3cm의 경우에 가장 뚜렷한 신전 및 굴곡운동을 하는 것으로 나타났다. 따라서 발의 경우 힐의 높이로 인한 관절가동범위가 큰 것으로 나타났고, 하퇴 및 대퇴의 경우는 힐의 높이가 높을수록 정상적인 보행자세가 이루어지지 않았음을 알 수 있다.



〈그림3-5〉 피험자 HHJ의 힐의 높이에 따른 각 국면별 대퇴의 신전 및 굴곡운동

2) 힘의 높이에 따른 보행 주기동안 각속도 변화

각 국면별 힘의 높이에 따른 발 분절의 각속도 변화는 <표3-11> 및 <그림 3-6>과 같다. 표에서 나타난 각각의 각속도는 국면의 변화 시점에 따른 각속도를 나타낸 결과이다. 국면변화에 따른 전체적인 각속도의 변화 양상은 모든 힘 높이에서 첫 LTD에서 LTO까지 감소하는 경향을 보인 후 LTO 이후 LTD까지 모든 국면에서 가장 큰 값을 보였다. 이후 RTO국면까지 급격한 감소현상을 보인 후 다시 RTD까지 다소의 증가하는 현상을 나타내었다. 이 결과를 분석하면 7cm를 제외한 나머지 힘의 높이에서는 거의 비슷한 변화 양상을 보였으나 7cm의 경우는 LTD국면에서 최고이 배척 굴곡 속도를 보인후 RTO 이후 RTD까지 최소의 값을 보이며 다시 급격한 증가를 보였다.

발의 경우를 종합하면, 힘의 높이가 7cm인 경우 각 국면에 따른 급격한 각속도의 증감은 다른 힘 높이에 비하여 발가락 부분과 수직 높이의 차이가 크므로서 일어나는 현상으로 사료된다.

하퇴의 경우를 보면 <그림3-7>에서 나타나듯이 힘의 높이에 상관없이 LTO 이전까지 계속 감소하는 현상을 보이다가 LTO직후 증가하여 LTD 직후에 최고의 각속도를 보였고 그이후 RTO국면까지 빠르게 감소하다가 다시 RTO국면부터 증가하는 양상을 보였다. 특히 LTO국면의 직후에의 완만한 증가는 신체의 중심선을 벗어나지 못하고 하퇴가 잠시 멈추었기 때문이라고 생각된다.

하퇴의 경우를 종합하면 전체적인 변화 양상은 힘의 높이에 따라서 차이가 없지만 모든 힘 종류에서 공통적인 점은 LTO국면 직후 완만한 증가를 보임으로써 하퇴가 잠시 중심선을 벗어나지 못하고 멈추는 경향이 있는 것으로 판단된다.

대퇴의 경우 <그림3-8>에서와 같이 각 국면별 변화양상을 분석하면 하퇴와 마찬가지로 힘의 높이에 따른 별다른 차이점을 보이지는 않았다.

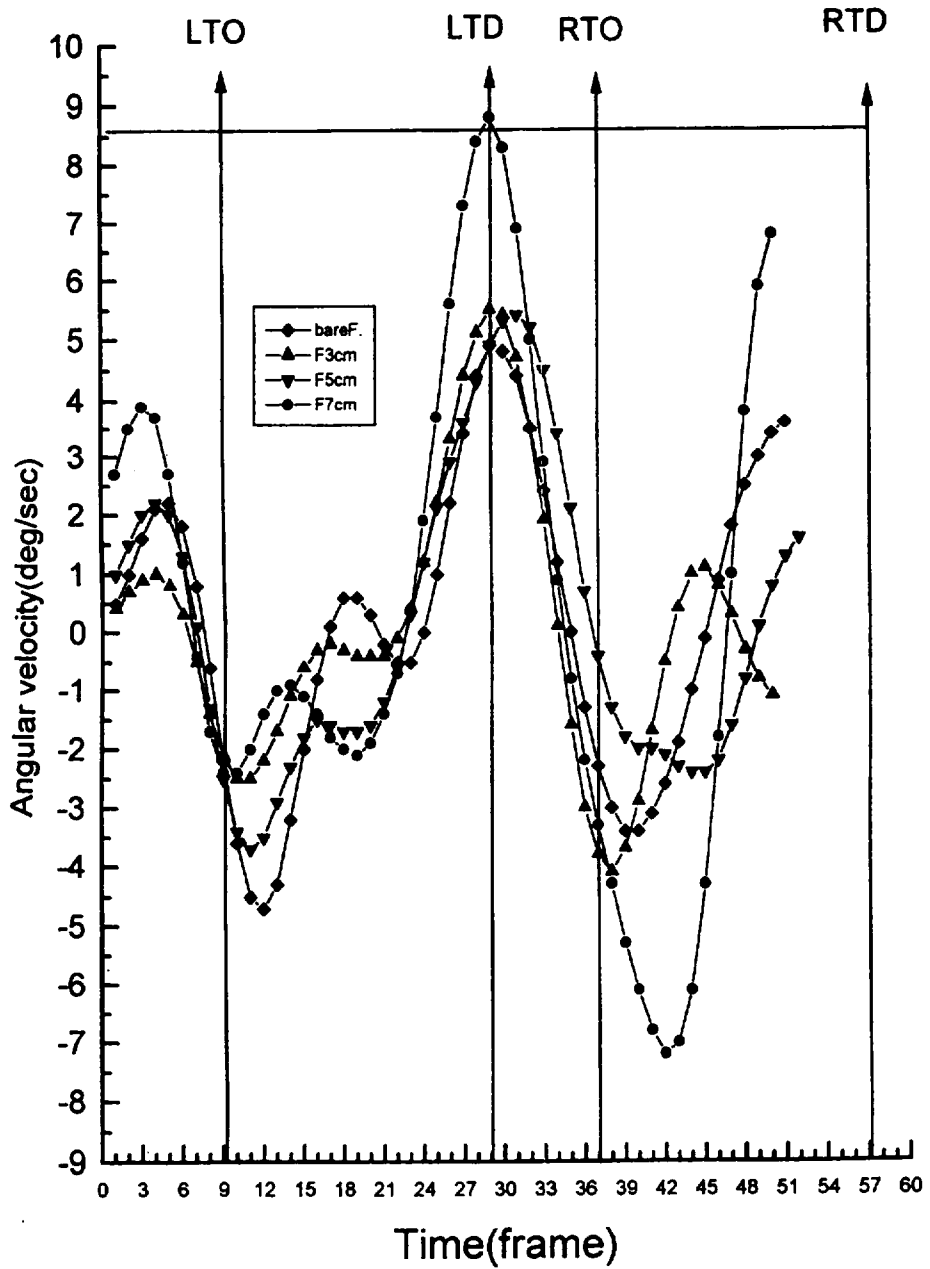
LTO국면이 되기 직전까지는 감소하는 현상을 보이다가 LTO직전 부터 각속도가 증가하면서 완만한 감소현상을 보이다가 LTD 직후 부터 빠른 증가현상을 보였고 RTO이후 부터 감소하기 시작하였다. 특히 LTO에서 LTD까지의 오른발 지지국면에서 완만한 증가 감소 현상은 대퇴가 중심선을 벗어나지 못하고 있기 때문으로 사료되며 특히 RTO에서 RTD국면에서 힘의 높이가 5cm 인 경우 진각기시 대퇴의 속도가 가장 완만하게 증가하다가 급속히 떨어지는 것으로 나타났다.

이상 위에서 나타난 힘의 높이에 따른 각 국면별 각속도의 변화 양상을 보면 발분절에서 7cm를 제외한 나머지 힘의 높이에서는 거의 비슷한 변화 양상을 보였으나 7cm의 경우는 LTD국면에서 최고이 배척 굴곡 속도를 보인후 RTO 이후 RTD까지 최소의 값을 보인 후 다시 급격한 증가를 보였다. 하퇴의 경우 전체적인 변화 양상은 힘의 높이에 따라서 차이가 없지만 모든 힘 종류에서 공통적인 점은 LTO국면 직후 완만한 증가를 보임으로써 하퇴가 잠시 중심선을 벗어나지 못하고 멈추는 경향이 있는 것으로 나타났다. 대퇴 경우의 특징은 LTO에서 LTD까지의 오른발 지지국면에서 완만한 증가 감소 현상은 대퇴가 중심선을 벗어나지 못하고 있기 때문으로 사료되며 특히 RTO에서 RTD국면에서 힘의 높이가 5cm 인 경우 진각기시 대퇴의 속도가 가장 완만하게 증가하다가 급속히 떨어지는 것으로 나타났다.

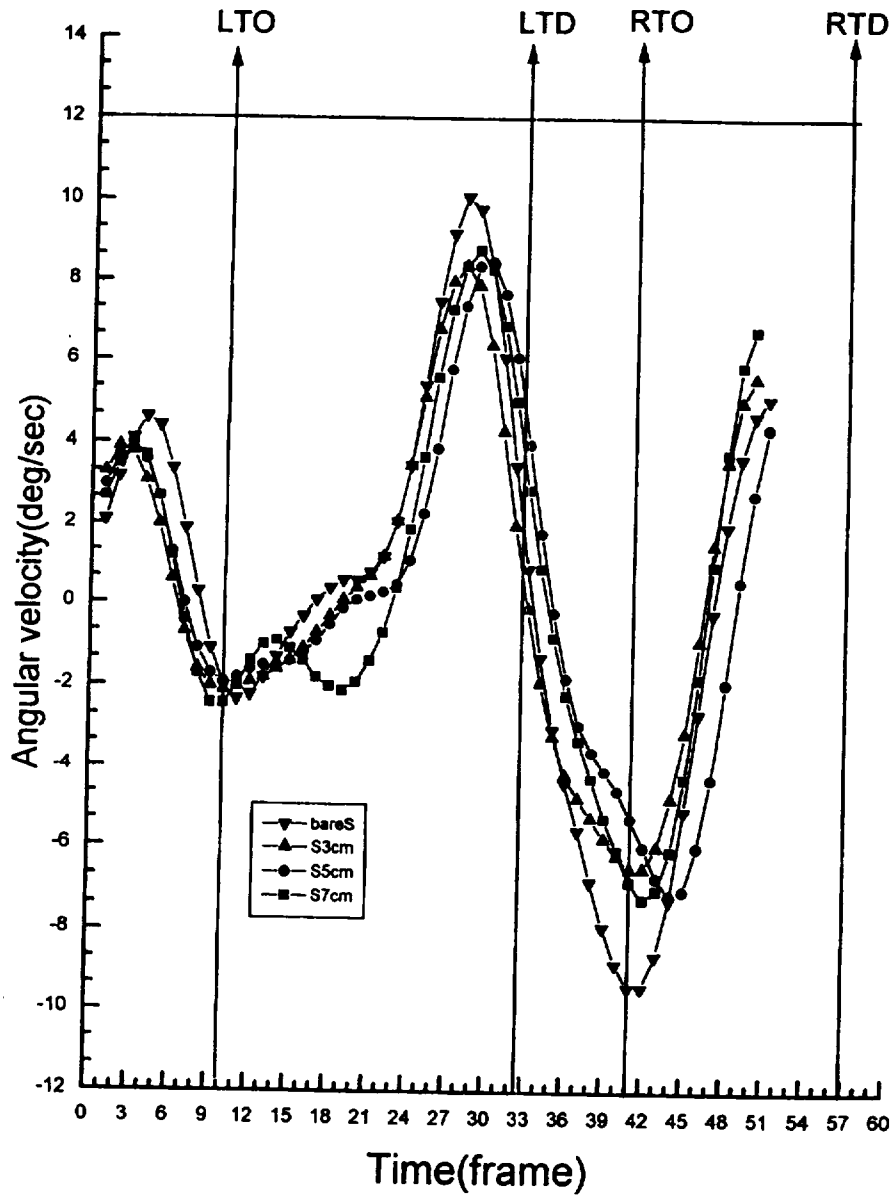
신발 힐의 높이에 따른 보행자의 운동학적 분석(류재철·안성규)

〈표3-11〉 힐의 높이에 따른 각 국면별 각속도(unit:deg/s⁻¹)

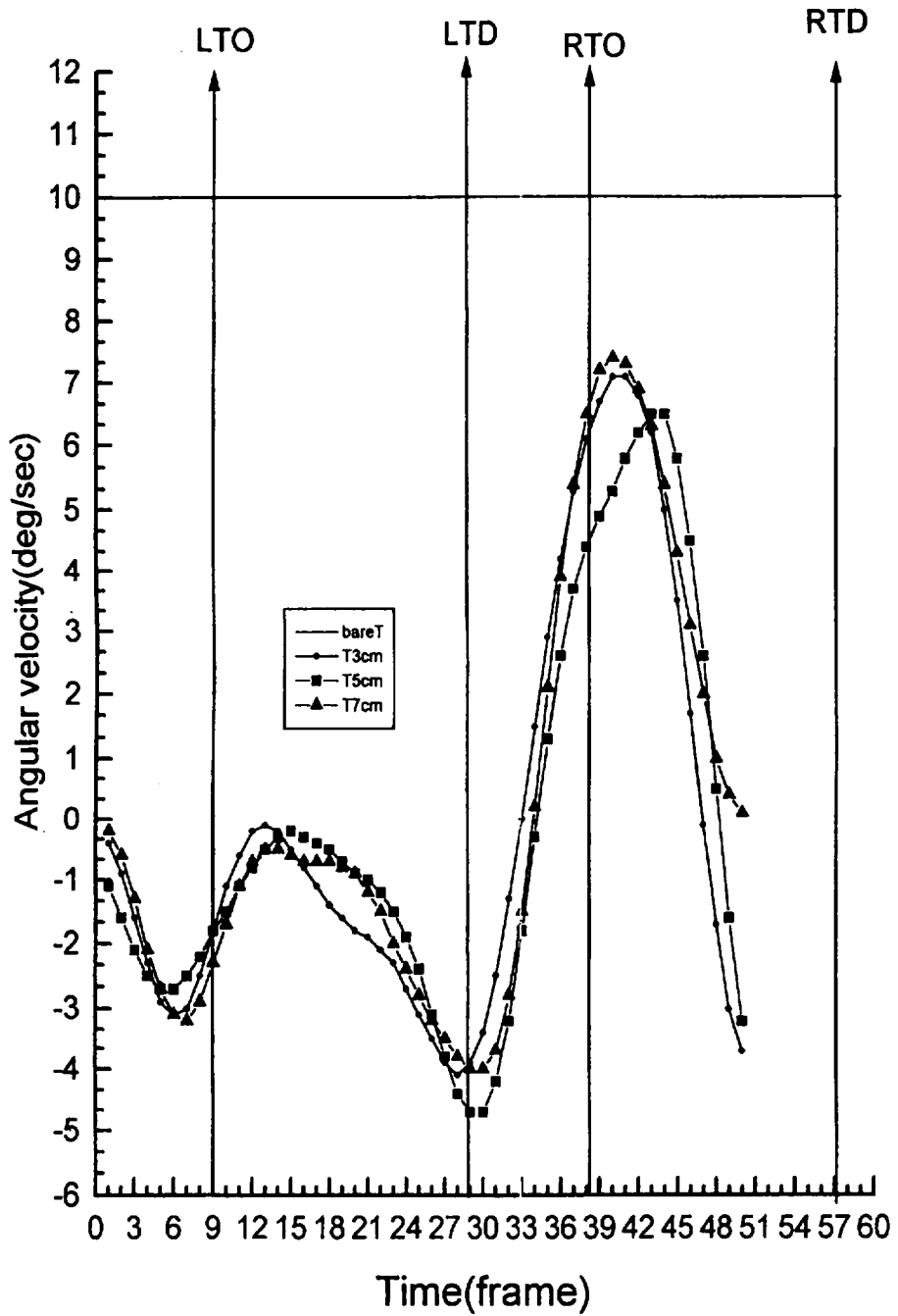
Subj	Phase		LTO	LTD	RTO	RTD
	HHJ	bare	Foot	-1.7	3.3	0.5
Shank			0.8	7	-2.2	-6.6
Thigh			-1.6	-3.4	1.5	7.6
3cm		Foot	-3.8	4.4	-1	-1.3
		Shank	-1.3	7	-3.4	-1.1
		Thigh	-1.6	-3.8	4.4	-1.4
5cm		Foot	-3.8	4.4	-1	1.3
		Shank	-1.3	7	-3.4	-1.1
		Thigh	-1.6	-3.8	4.4	-1.4
7cm		Foot	-3.3	5.9	-1.2	3.3
		Shank	-1.2	8.5	-4.5	3.7
		Thigh	-2.1	-4.6	4.4	-2.7
YYS	bare	Foot	-2.2	4.9	-2.3	3.6
		Shank	-1.1	9.8	-5.6	5.1
		Thigh	-1.8	-3.9	5.3	-4.1
	3cm	Foot	-2.1	5.5	-3.8	-1.1
		Shank	-2	7.9	-4.8	5.6
		Thigh	-1.7	-4.2	5.1	-3
	5cm	Foot	-2.5	4.9	-0.4	1.6
		Shank	-1.7	8.4	-2.9	5
		Thigh	-1.8	-4.7	3.7	-4.8
	7cm	Foot	-2	4.6	-2.9	-1.4
		Shank	-2.4	8.8	-3.3	6.8
		Thigh	-2.3	-4	5.4	0.1
KYJ	bare	Foot	-1.5	4.4	-7.4	-0.6
		Shank	-1.2	10.5	-7.3	-4.9
		Thigh	-0.5	-3.2	6	-1.1
	3cm	Foot	-2.2	4.8	3.9	-2.8
		Shank	-1.6	8	6.1	-7.6
		Thigh	0.1	-5	-1.9	4.8
	5cm	Foot	-1.2	4.5	0.4	-5.3
		Shank	0	9.4	1.1	-6.4
		Thigh	0.1	-4.3	1.9	-4
	7cm	Foot	1.8	3.8	-1.5	0.3
		Shank	-1.1	5	-5.3	-0.8
		Thigh	-0.1	0.7	1	0.6



〈그림3-6〉 피험자YY5의 힘의 높이에 따른 각 국면별 발분절의 각속도



〈그림3-7〉피험자 YYS의 힐의 높이에 따른 각 국면별 하퇴 분절의 각속도



〈그림3-8〉 피험자 YYS의 힘의 높이에 다른 각 국면별 대퇴 분절의 각속도

V. 결 론

본 연구는 다양한 신발의 형태, 특히 신발의 힐의 높이에 따라서 일상생활에서 보행자세는 물론, 하지 분절들의 이상증 및 근육군들의 정상적인 활동을 하는 데 영향을 미칠 수 있다는 가정하에 성장기에 있는 청소년들을 대상으로 힐의 높이를 다양하게 분류한 뒤 이를 착용하고 보행할 때 자세의 변화와 하지 분절의 기능에서 변화를 일으키는 지를 규명하는 데 있다.

이를 위하여 사용한 실험방법은 영상분석법이었고, 피험자는 신발 힐의 높이에 아직 적응이 되지 않은 여자대학생 3명으로 하였다.

1. 소요시간 및 선운동변인

- ① 보행주기동안 신발힐의 높이에 따른 누적 소요시간의 경우 RTD에서 RTO까지 소요시간에서 신발 힐의 높이가 5cm일 때 소요시간이 다른 신발높이에 비해 더 적은 것으로 나타났지만 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다.
- ② 스트라이드 길이에서 힐의 높이가 높아갈수록 점차 길어지는 양상을 보였다.
- ③ 신체중심의 수평변위에서 마지막 국면인 RTD-RTO까지 전체적인 변화양상은 신발의 힐의 높이가 높을수록 큰 것으로 나타났다.
- ④ 수직변위에서 보행시작 국면인 RTD-LTO와 마지막 RTO-RTD국면의 경우는 신발의 힐의 높이가 높을수록 더 큰 수직변위를 보였고, 보행이 진행중인 LTO-LTD와 LTD-RTO의 국면에서는 신발의 힐의 높이가 낮을수록 수직 변위가 큰 것으로 나타났다.
- ⑤ 국면별 수평속도를 힐의 높이에 따라서 변화의 차이에서 일정한 양상을 보이지 않았으나, 신발의 힐의 높이와 상관없이 보행이 진전됨에 따라서 평균 수평 속도의 크기는 증가하는 양상을 보였다.
- ⑥ LTD에서 RTO국면에서 신발 힐의 높이가 높아갈수록 신체중심의 수직속도에서 차이는 점점 커지는 것으로 나타났으며, 신발의 힐의 높이와 상관없이 모든 국면에서 가장 큰 값을 보인 경우는 LTD-RTO국면이었고, 그 다음 RTD-LTO국면으로 나타났고, 가장 적은 값을 보인 국면은 보행 마지막 부분인 RTO-RTD와 LTO-LTD국면으로 나타났다.

2. 각운동변인

- ① 보행 한 주기동안 하지분절의 신전 및 굴곡의 정도에서 발의 경우 모든 힐의 높이에서 LTD국면에서 RTO를 제외한 다른 국면에서 보행주기동안 저축 골곡이 된 상태로 발의 뻣뻣한(stiffness) 경직이 된 상태였고, 하퇴의 경우 신발의 힐의 높이가 높을수록 무릎 관절의 굴곡 및 신전운동이, 대퇴의 경우 7cm일 경우 대퇴분절의 신전 및 굴곡운동은 뚜렷하지 않음은 허벅지관절에서 힐의 높이로 대퇴 운동이 부자유스러운 것을 알 수 있었고, 3cm의 경우에 가장 뚜렷한 신전 및 굴곡운동을 하는 것으로 나타났다.
- ② 국면별 각속도 양상을 보면 발분절에서 7cm를 제외한 나머지 힐의 높이에서는 거의 비슷하였으나, 7cm의 경우는 LTD국면에서 최고의 배측 굴곡 속도를 보인 후 RTO 이후 RTD까지 최소의 값을 보인 후 다시 급격한 증가를 보여, 다른 힐의 높이와는 차이를 보였다. 하퇴의 경우 전체적인 양상에서 차이는 없었지만, 모든 힐 종류에서 공통적인점은 LTO국면 직후 완만한 증가를 보인 현상은 오른 발의 지지기동안 신체 중심선을 벗어나지

못한 현상으로 사료된다.

대퇴 경우 LTO에서 LTD까지의 오른발 지지국면에서 완만한 증가 감소 현상은 대퇴가 중심선을 벗어나지 못하고 있기 때문으로 사료된다.

위와 같은 결과를 토대로 볼 때 신발 힐의 높이에 따라서 보행주기동안 일어나는 변인과 운동학적 변인에서 차이를 규명한 결과 통계적으로는 뚜렷한 차이를 보이는 것은 없었으나, 대체로 신발의 힐의 높이에 따라서 국면별, 변인별 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다.

또한 각운동 변인에서 신발의 힐의 높이가 높을수록 하지 분절의 신전 및 굴곡의 가동범위를 적게하는 경향이 있으며, 특히 7cm의 경우 하퇴와 대퇴에서 정상적인 보행을 하는 데 부자연스럽게 하였고, 관절부위의 운동을 감소시켜, 결국 보행을 경직된 상태로 유도하는 경향이 있음을 알 수 있으며, 3cm의 경우에 하지분절에서 가장 뚜렷한 신전 및 굴곡 운동을 하는 것으로 나타났다.

따라서 연구결과를 검토할 때 맨발의 경우, 3cm의 경우 보행에 문제가 없었지만, 일반적으로 인간의 보행은 주로 전방으로 움직이기 위해 앞으로 약간 굽은자세를 유지하는 것이 효율적이다. 따라서 맨발의 경우는 신체중심이 후방으로 옮겨져, L5/S1부위의 충격력 증가로 정상적이고 경제적인 보행에는 역행한다고 사료된다.

참고문헌

- 1) 조성초(1989) 런닝화 중저의 높이와 硬度가 달리기생체역학적 측면에 미치는 영향. 고려대학교 대학원 박사학위논문.
- 2) 오준석(1984) 운동화의 기능학적 특성에 관한 연구. 제 22회 하계학술발표회지. 한국체육학회, PP.38-39.
- 3) 우제학(1988) 신발종류 및 소재특성에 따른 보행시 지면과의 충격량과 접촉시간. 부산대학교 대학원 석사학위논문.
- 4) 이일남(1984) 운동화 치수 측정에 관한 연구. 제22회 하계학술발표회지. 한국체육학회, PP.38-39.
- 5) Alex Stacoff, Jachen Denoth, Xaver Kaelin, and Edgar Stuesi(1988). Running injuries and shoe contribution some possible relational. IJSB Vol.4, PP. 342-357.
- 6) Amstrup A, McPoil TG, Cornwall MW(1996) The relationship between first metatarsalphalangeal joint extension and peak pressure of the hallux and first metatarsal head during walking. Clinic in Physical Therapy: 2nd ed., Churchill Livingstone, NY, pp 47-80.
- 7) Cornwall MW, Mcpoil TG, Clin Biomech(1995) Comparison of 2-D and 3-D rearfoot motion during walking. Athletic Injuries and Rehabilitation, W.B. Saunder Co., Philadelphia, pp 354-366.
- 8) Cornwall MW, McPoil TG(1994) The influence of tibialis anterior muscle activity on rearfoot motion during walking. Foot & Ankle 15:75-79.
- 9) Ebbeling(1994) The energy cost and the lower extremity mechanics in shoes of different heel height. The American Journal of Sports Medicine, 21:507-616.

- 10) Farley, C.T. and O. Gonzalez(1996) Leg stiffness and stride frequency in human running. *Journal of Biomechanics* 29:1181-186.
- 11) Farley, C.T., R.Blickhan, J. Saito and C.R. Taylor(1991) Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. *Journal of Applied Physiology* 71(6):2127-2132.
- 12) Farley, C.T. and T.A. McMahon(1992) The energetis of working and running: insights from simulated reduced gravity experiments. *Journal of Applied Physiology* 73(6):2709-2712.
- 13) McCallum, J. Turnage, A. Cornwall, MW and McPoil, TG(1996) Effect of a Beveled Heel on Lower-Leg Muscle EMG activity During walking. *Physical Therapy* 76:S86.
- 14) J. Maxwell Donealan and Rodger Kram(1996) The influence of size, speed, and gravity on the kinematics of human walking: A test of the dynamic similarity theory for locomotion. presented at American Society of Biomechanics meetings.
- 15) Kameyama, O., H.Oka, F. Hashimoto, and M. Kumato(1981). Electromyographis study of the nkle joint muscles in normal and pathological gaits. *Biomechanics VII-BPP*.50-54.
- 16) Katoh,Y. Chao, E.Y.S., Morrey, B.F. Laughman,R.K.(1983). Objective evaluation of painful heel syndrome by gait analysis. *Biomechanics VIII-A*, PP.485-489.
- 17) Kwon, Young-Hoo(1994) KWON3D Motion Analysis Package. Ver. 2.1. V. TEK Corp.
- 18) Noyes(1992) The effect of high heel shoes on joint kinetics and gait. *The American Journal of Sports Medicine*, 20:707-716.
- 19) Nyska(1996) Change in foot loading with high-heel shoes. *The American Journal of Sports Medicine*, 20:204-216.
- 20) Ohmichi, H. and M. Miyashita(1983). Relationals between step length and selected parameters in human gaits. *Biomechanics VIII-A*,PP.480-484.
- 21) Okamoto, T. Goto, Y., Maruyama,H., Kazai, N., Nakagawa, H., Oka and Kumamoto, M.(1983). Electromyographic study of the bifunctional leg muscle during the learning process in infant walking.*Biomechanics VIII-A*, PP.413-418.
- 22) Snow and Williams(1994) Ground reaction force, rearfoot motion, sagittal plane lower extremity kinematics of woman during walking in different heel height of high heel shoes.*The American Journal of Sports Medicine*, 21: 405-413.
- 23) Suzuki,K., Takama,M., Mizutani,Y., Arai, M., and Iwai, A.(1983).Locomotive mechanics of normal adults and amputees. *Biomechanics VIII-A*, PP.380-385.