



철봉 내리기 공중 동작의 운동학적 분석(I)

최지영* · 김용이** · 진영완***

국문요약

본 연구는 철봉운동에서 기본이 되는 동작인 몸뚱이 한번 뒤돌아 내리기 동작을 단계적으로 분석한 후, 이를 토대로 하여 현재 시합상황 중 가장 널리 사용되는 응용동작인 몸뚱이 두 번 뒤돌아 내리기 동작과 몸뚱이 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작의 운동학적 분석을 수행하여 개개분절 간의 상호작용을 해부학적 3차원 각운동과 각속도로 설명하고 이해할 수 있는 운동학적 자료를 제시하는데 있다. 피험자들은 현재 K대학교에 재학중이며 대학 대표선수인 남자 기계체조 선수 7명으로 선정하였으며, 연구에 사용된 인체의 모델은 Zatsiorsky와 Seluyanov(1983, 1985)이 사용한 16개의 분절로 이루어진 인체의 모델을 사용하였다. 신체무게중심의 이동방향을 설명할 수 있는 투사각도 및 투사속도는 공중동작의 회전수가 증가할수록 신체무게중심이 투사되는 각도가 증가되며, 이렇게 증가된 신체무게중심의 투사각도는 신체무게중심의 최고점을 증가시키는 경향을 보였다. 3차원 투사속도를 살펴본 결과 Z방향(수직방향)은 공중돌기 회전수가 증가할수록 증가하는 경향이 나타났으나, 운동진행 방향인 Y방향 속도와 좌우측 기울기를 설명할 수 있는 X방향 속도에서는 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 철봉 내리기 공중동작에서의 신체분절 및 각도 변화도 중요하지만 각운동량을 만들어내기 위한 동작준비구간의 각도 변화가 더욱더 중요하다고 할 수 있다. 즉, 상체가 철봉 아래 봉과 수직될 때부터 릴리즈 순간까지의 각도 변화에 주목해야 하는 데, 회전수가 증가할수록, 어깨 관절 각도와 엉덩관절 각도 변화가 두드러지게 나타나 준비구간의 추기기 동작(Whip swing)의 주된 관절로 작용을 한다. 관성좌표계에 대한 상체의 움직임은 나타내는 3차원 방향의 각도 즉, 뒤돌기(somersault) 각도, 틀기(twist)각도 그리고 기울기(tilt)각도로 설명이 되는데, 본 연구의 결과 릴리즈시 뒤돌기 각은 세가지 내리기 동작 유형에 따라 평균 57.7도, 38.8도 그리고 39.7도로 나타났으며, 기울기 각은 평균 -1.5도, -5.4도 그리고 -8.4도로 유의한 차이를 보이고 있으며, 틀기각도는 평균 13.4도, 10.6도 그리고 23.3도로 몸뚱이 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 경우 가장 큰 수치를 나타냈다.

주제어 : 철봉내리기 공중동작, 운동학, 각운동

2002년 11월 16일(토) 접수

* Corresponding author, 시간강사, 120-749 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 교육과학대학 체육교육과
연락처 : uncle@yonsei.ac.kr, 011-669-0080

** 교수, 서울시 서초구 서초동 1753번지 예술의 전당 한국예술종합학교 무용원

*** 교수, 614-714 부산시 부산진구 가야동 산24번지 동의대학교 예체능대학 체육레포츠학부 레저스포츠학 전공

I. 서 론

남자 6종목과 여자 4종목으로 되어 있는 기계체조운동에서 연기의 성공여부를 가름하는 것은 첫째, 연기동작의 난이도의 연결성 둘째, 규정된 시간 안에 연기를 실시하는 것 셋째, 작품 구성의 예술성 그리고 넷째, 공중동작의 성공여부이다. 특히 현대에 들어오면서 여러 가지 새로운 기술이 개발이 요구되고, 기계체조운동에서의 내리기 공중동작은 성공적인 동작을 수행을 완수하기 위한 필수적인 요소로 그 역할이 강조되며, 기계체조운동의 어느 종목에서도 공중동작이 없이 마무리되어지는 연기는 없다. 이러한 공중동작의 중요성은 동작수행 중의 정확한 시간조절과 함께 신체의 숙련된 각분절 및 관절의 협응동작으로써 이루어진다. 보다 효율적인 공중동작을 위한 접근 방안으로 첫째, 현장에서 수행되는 고난이도 동작에 대한 운동학적·운동역학적 접근 방법을 통한 정확한 동작의 기술 분석으로 그 동작에 대한 정확한 평가가 이루어져야 하며 둘째, 실제 현장에 적용될 수 있는 적합한 코칭 용어과 연습방법 등의 고안이 요구되어지며 셋째, 선수들 자신과 코치 그리고 지도자들이 이러한 동작에 대한 정확한 이해와 훈련방법 등이 선행이 되어야만 한다. 운동(역)학적 관점에서의 기계체조 동작을 살펴보면, 성공적인 동작수행을 위한 기술의 개발과 운동상해 예방을 위한 정확하고 효율적인 운동학적·운동역학적 기초 데이터의 제공이 요구되어지며, 공중동작의 경우 운동동작의 3차원 기계적 분석을 통하여 인체의 구성과 방향을 결정짓는 요인 중의 하나인 시간에 따른 각도의 변화를 요구하는데, 특히 공중회전 동작의 경우 각운동량 보존의 법칙의 적용을 위한 정확한 각도의 유도가 요구된다(Kwon, 1993; Yeadon, 1990d). 철봉에서 고난이도 내리기 공중동작의 정확성은 철봉에서 손을 놓는 적절한 타이밍과 함께 충분한 각운동량을 생성할 수 있는 신체의 능력 그리고 시간에 따른 각속도의 정확한 조절로 이루어지는 스윙과 공중 회전운동 중의 방향 전환을 들 수 있다(Adrian & Cooper, 1995; Hay, 1985). 이러한 공중동작에서 방향의 전환은 새로운 회전의 시작이 아니라 각운동량 보존의 법칙에 의한 운동량의 축(axis)의 전환으로 이루어진다고 할 수 있다(Yeadon, 1990c).

1994년부터 우리나라 국가대표 선수에 의하여 몸펴 두바퀴 뒤돌며 두바퀴 비틀어 내리기가 최고급 난이도(E 난이도)로 출현하였다 (오문균, 1996). 현재 우리나라의 실정은 E 난이도에 해당하는 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 또는 몸펴 두 번 뒤돌며 두 번 비틀어 내리기 공중동작을 정확히 수행할 수 있는 선수는 극히 소수에 불과하다고 할 수 있다. 철봉운동에서 가장 기본적인 동작인 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 동작을 단계적으로 분석한 후, 응용동작인 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기와 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작의 분석을 수행하여 공중동작의 중요한 변인인 각도의 변화와 회전력을 결정짓는 각운동량의 활용 방법과 적용되는 인체분절의 움직임을 운동학적 접근 방법을 통하여 내리기 공중동작을 결정짓는 기초 자료의 제공과 과학적인 근거의 제공이 필요하다.

II. 연구 방법

2.1 실험대상자

본 연구의 실험에 참가한 피험자들은 현재 K대학교에 재학중이며 대학 대표선수인 남자 기계체조 선수 7명으로 선정하였으며, 피험자들의 신체적인 특징은 체중 $59.0 \pm 4.39\text{kg}$, 신장 $166.7 \pm 5.93\text{cm}$, 경력 $10.4 \pm 1.39\text{년}$ 이었다

2.2 영상분석 데이터의 수집

2.2.1 운동동작의 촬영

영상자료를 얻기 위한 실험은 K대학교의 기계체조 연습장에서 수행이 되었으며, 실험시 수행된 동작은 몸펴 한번 뒤돌아 내리기, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작을 수행하였다. 실험에 사용된 철봉의 높이는 실제 시합에서 사용되는 동일한 규격의 S사의 조립식 탄력 철봉을 사용하였으며, 이때 철봉 높이는 2.50m, 폭은 2.45m로 하였다. 실내 조명을 위해 1200W의 조명기 2대를 양쪽 방향에서 운동수행 지역을 향해 비추었으며 2대의 16mm 비디오 카메라의 광축(optical axis)이 동작수행 지역과 교차하도록 동작수행 전방 좌우측에 각각 설치하였다. 이때 2대의 비디오 카메라의 동조를 위하여 직접 제작하여 만든 디지털 방식의 동조 타이머(TIMER)를 사용하였다. 동작수행 지역의 중앙 지점과 비디오 카메라의 거리는 좌측 13.20m, 우측 14.50m 하였으며, 이 때 두 카메라 사이의 각도는 54도로 하였다. 또한 카메라의 높이는 철봉의 높이와 같은 2.50m로 설치하였다. 촬영시 사용된 비디오 필름은 S사의 16mm 비디오 테이프를 사용하였으며, 이 때 비디오 카메라의 촬영속도는 30 frames/sec의 촬영속도를 적용하였다. 이렇게 촬영된 영상자료는 비디오 편집기 통하여 재생한 영상을 iomega사의 Buz-motion capture card와 Ariel capture 프로그램을 사용하여 60필드(fields)로 전환하여 분석하였다. 해부학적 경계점의 3차원 공간 좌표를 계산하기 위해 8개의 통제점(control point)을 갖는 3차원 좌표측정대(three-dimensional calibration frame)를 동작수행지역에 $1.00\text{m} \times 4.00\text{m} \times 5.00\text{m}$ 의 직사면체 공간이 이루어질 수 있도록 설치하여 촬영한 후 제거하였다.

2.2.2 계수화작업

자료의 수집과정에서 얻어진 영상 데이터를 avi파일로 전환시킨 후 Ariel Digi4 Program를 사용

하여 계수화하였다. 비디오 분석기를 통해 컴퓨터와 연결된 모니터 위에 영사시켜 인체표면에서 확인할 수 있는 17개의 해부학적 경계점과 1개의 기준점을 수치화하였다. 양쪽 비디오 카메라에서 얻어진 영상자료의 해부학적 경계점 2차원 좌표값과 같은 장면에서 촬영된 기준척의 통제점군들 가운데 선택된 8개의 통제점 좌표값, 그리고 8개의 통제점의 실측치를 이용하여 DLT(Direct Linear Transformation)방법(Abdel-Aziz & Karara, 1971)을 사용하여 해부학적 경계점의 3차원 공간 좌표값을 얻었다. 이 때 통제점 값은 통제점 군을 5번 수치화한 값의 평균값을 사용하였다.

2.2.3 평활화 및 시간 축의 정규화

이렇게 얻어진 해부학적 경계점의 3차원 공간 좌표값을 Second-Order Butterworth Low-Pass Filter(Winter, 1990)를 이용하여 평활화(smoothing) 하였다. 이 때, 원(raw) 데이터 값이 가능한 변형되지 않도록 각 분절들의 선형속도 값들의 곡선형태를 살펴보면서 시행착오를 거쳐 표본 주파수(sampling frequency)와 차단 주파수(cutoff frequency)의 비율이 가장 적절하다고 나타난 비율 10이 되도록 6Hz 의 차단주파수를 선택하였다. 철봉 내리기 동작시 회전구간부터 착지순간까지 동작시간($1.66 \pm 0.006\text{sec}$)이 각각 다른 7명의 대상자들의 각도값은 가장 빈도 수가 많은 동작시간을 보인 1.66sec를 기준으로 3차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)을 이용하여 시간 축을 정규화(normalization)하였다.

2.2.4 컴퓨터 소프트웨어를 이용한 운동학적 자료의 획득

이러한 과정을 거쳐 얻은 3차원 좌표 값은 LabVIEW 5.1 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) graphical programming (Johnson, 1999)을 사용하여 직접 작성한 프로그램을 이용하여 운동학적 자료를 계산하였다.

2.2.5 통계처리

본 연구에서의 실험결과 처리는 SPSS 8.0 for Windows 통계 package를 사용하였으며, 측정항목의 모든 자료는 평균과 표준편차로 산출하였다. 철봉 내리기 동작의 각 유형별 차이는 ANOVA repeated measure 방식을 통해 검증하였다. 이때 통계의 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였으며 각 유형별 사후검증은 대상자의 수가 다른 경우에도 사용이 되는 Scheffé 방법을 사용하였다.

2.2.6 인체모델의 설정

인체모델은 Zatsiorsky와 Seluyanov(1983, 1985)이 사용한 16개의 분절로 이루어진 인체모델을 사용하였다.

2.3 실험좌표계

본 연구에서 사용된 좌표계는 분절들의 위치와 방향을 설명하기 위하여 네 가지의 좌표계를 사용하였다. 첫째는 분절 경계점들의 위치를 관성 Cartesian 좌표계 X, Y, Z (Z 축은 수직으로 위를 향한다)에 대한 좌표 관성좌표계 X, Y, Z 로 표시하였다. 둘째는 신체의 무게중심점에 관성좌표계를 이동시켜 심은 비 관성좌표계(non-inertial reference frame)로써 관성좌표계와 평행을 이루게 된다. 따라서 세가지 축의 방향은 관성좌표계와 평행을 이루게 되며, 몸통에 심은 지역좌표계(local frame)와 교차하게 되는데 이것은 신체무게 중심에 심은 비관성좌표계는 각운동량을 계산할 때 아주 중요하게 작용한다. 셋째는 신체의 중심이 되는 아래몸통에 심은 회전하는 비관성좌표계(rotating non-inertial reference frame)로 신체무게중심을 기시부로 하고 있으며, 비록 어떠한 신체의 분절에 고정된 축은 아니지만 신체의 회전과 같이 회전을 하게 된다. 넷째는 개개분절의 무게중심점(G)에 심은 비관성좌표계로써 분절 기준좌표계라고 부른다. 지역좌표계(local Cartesian ($G_{x,y,z}$)) 그리고 상체 중심점에 심은 회전좌표계(rotating reference frame)를 다음과 같은 가정하에 설정하였다. 즉, 개개분절은 편의상 기시부(P)와 말초(D)를 지나는 장축이 있고, 이 장축을 중심으로 분절은 지리적으로 또한 질량들이 대칭되어 분포되었다고 가정하였다. 따라서 무게중심점(G)은 이 장축 위에 놓여있게 된다. 분절 지역좌표계 $G_{x,y,z}$ 는 분절의 무게중심점(G)에 고정시키는데 x, y, z 축은 주 관성좌표계(principal axes of inertia)와 일치하며, 특히 z 축은 장축과 일치하게 된다. 이러한 가정 때문에 $I^G_{xx} = I^G_{yy} = I_x, I^G_{zz} = I_z$ 이 성립한다. 그런 다음 지역좌표계의 관성 Cartesian좌표계에 대한 방향을 Cardan 각 ϕ, θ, ψ 로 표시를 하였다. 따라서 6개의 좌표($x, y, z, \phi, \theta, \psi$)로 분절의 관성좌표계에 대한 위치와 방향을 표시하였다.

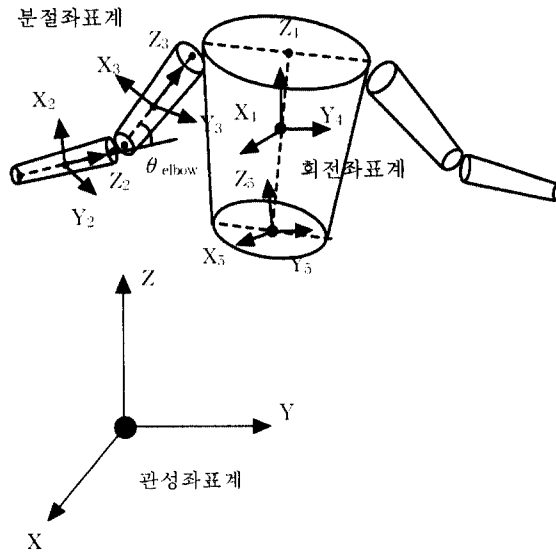
2.3.1 관성좌표계(Global reference Frame = Non-Rotating reference Frame)

본 연구에서 이용된 관성좌표계는 오른손 직교좌표계(right-handed orthogonal reference frame)로서 철봉의 가운데 원점을 가지며, 원점을 중심으로 수직이 되는 3개의 축은 벡터 X, Y, Z 로 정의하였다. X 축은 피험자의 좌-우(medial-lateral)방향, 운동의 진행 방향인 Y 축은 전후(anterior-posterior)방향, Z 축은 수직(vertical) 방향으로 나타낸다. 피험자의 움직임은 주로 후방에서 전방쪽으로 즉 Z 축과 Y 축이 만나서 형성되는 시상면(sagittal plane)에서 수행이 되었다. 따라서 피험자의 움직임의 진행 방향을 Y 축의 양(+의) 방향으로 설정하였고, 지면과 수직이 되는 위쪽을 Z 축의 양(+의) 방향, 피험자의 전진 방향을 기준으로 오른쪽을 X 축의 양(+의) 방향으로 설정하였다.

2.4 각도 및 각속도의 계산

인체의 움직임을 대표하는 각도는 관성좌표계에 대한 신체 개개분절의 움직임을 알 수 있는 외지

방향각(external orientation angle)과 개개분절의 상체분절에 대한 움직임을 나타내는 내지방향각(internal orientation angle) 그리고 상위분절에 대한 개개분절의 움직임을 알 수 있는 관절의 상대각으로 나눌 수 있다. 외지방향각은 고정된 비회전좌표계에 대한 개개분절에 심은 지역좌표계(local frame)의 변화를 비교함으로써 설명할 수 있는데, 이때 회전변환 행렬식(rotational transformation matrix)를 사용하여 각도의 계산이 이루어지며, 내지방향각 또한 상체분절에 심은 좌표계와 개개분절의 지역좌표계는 회전변환 행렬식을 사용하여 계산하게 된다. 관절의 상대각은 상위분절의 지역축에 대한 개개분절의 지역좌표계의 변화는 회전변환 행렬식을 사용하여 계산하게 된다.



<그림 2-1> 기준좌표계

2.4.1 Cardan Angles을 이용한 지역축에 대한 각속도

1. $R_x(\phi)$ 을 Cardan Angle ϕ 만큼 x_1 축(= X축)을 중심으로 회전시켜 $R_y(\theta) : G x_2, y_2, z_2$ (Unit 벡터 i_2, j_2, k_2)를 얻는다.

그러면 $I = i_1 = i_2$

$$J = j_1 = \cos \phi j_2 - \sin \phi k_2$$

$$K = k_1 = \sin \phi j_2 + \cos \phi k_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$R_x(\phi) R_y(\theta) \text{의 } B(=) \text{에 대한 각속도를 } \Omega_{2/B} \text{ 라면 } \Omega_{2/B} = \dot{\phi} i_2 \text{ 이다 } \dots\dots\dots (2)$$

2. $R_y(\theta)$ 의 y_2 축을 중심으로 두 번째 회전을 Cardan 각 θ 만큼 회전시켜

$R_z(\phi) : G_{x_3 y_3 z_3}$ (Unit vector i_3, j_3, k_3)를 얻는다.

그러면 $i_2 = \cos \theta i_3 + \sin \theta k_3$
 $k_2 = -\sin \theta i_3 + \cos \theta k_3$ (3)

$R_z(\phi)$ 의 $R_y(\theta)$ 에 대한 각속도 $\Omega_{3/2} = \dot{\theta} j_3$ (4)

3. $R_z(\phi)$ 를 z_3 축으로 마지막 회전을 Cardan 각 ϕ 만큼하면 한 순간의 R(혹은 분절)의 위치는 ($R : G_{x y z}$ 단위벡터 i, j, k)로 구할 수 있다.

그러면 $i_3 = \cos \phi i - \sin \phi j$
 $j_3 = \sin \phi i + \cos \phi j$
 $k_3 = k$ (5)

R의 $R_z(\phi)$ 에 대한 각속도 $\Omega_{B/3} = \dot{\phi} k$ (6)

분절(혹은 지역좌표계 R)의 관성좌표계(B)에 대한 각속도를 Ω (혹은 $\Omega_{R/B}$)라하면

$\Omega = \Omega_{R/B} = \Omega_{R/3} + \Omega_{3/2} + \Omega_{2/B}$
 $= \dot{\phi} k + \dot{\theta} j_3 + \dot{\phi} i_2$ (7)

함수 (7)에 함수(1), (3), (5)를 적절히 대입하여 정리하면

$\Omega = \left(\dot{\phi} \cos \theta \cos \phi + \dot{\theta} \sin \phi \right) i +$
 $\left(\dot{\theta} \cos \phi - \dot{\phi} \cos \theta \sin \phi \right) j + \left(\dot{\phi} \sin \theta + \dot{\phi} \right) k$
 가 된다. (8)

분절의 각속도를 지역좌표계 R로 표시하면

$\Omega = \Omega_x i + \Omega_y j + \Omega_z k$ 가 된다. (9)

함수(8)과 (9)를 비교해 보면

$\Omega_x = \dot{\phi} \cos \theta \cos \phi + \dot{\theta} \sin \phi$
 $\Omega_y = \dot{\theta} \cos \phi - \dot{\phi} \cos \theta \sin \phi$
 $\Omega_z = \dot{\phi} \sin \theta + \dot{\phi}$ 이 된다 (10)

Ⅲ. 결과 및 논의

3.1 철봉 내리기 동작의 시간요인 및 거리요인

3.1.1 시간요인 및 거리요인

<표 3-1>에 나타난 것과 같이 세가지 내리기 동작 유형에 따른 시간요인은 상체가 철봉과 수직을 이룬 후 양손이 이탈되는 순간까지의 구간은 유의수준 $\alpha=0.05$ 수준에서 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 유형이 평균 0.05sec 정도 더 소요되는 것으로 나타났으며, 신체무게중심 최고점에서 착지구간까지 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기보다 평균 0.17sec 그리고 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기보다 평균 0.23sec 더 소요되는 것으로 나타났다. 전체 동작구간을 백분율로 나타내어보면 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 유형은 준비구간이 29%, 동작구간이 24%, 착지구간이 46%를 차지하고 있으며, 이에 따른 순수한 공중구간은 70% 정도 되는 것으로 나타났다. 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 유형은 준비구간이 24%, 동작구간이 20%, 착지구간이 54%를 차지하고 있으며 이에 따른 순수한 공중구간은 76% 정도 되는 것으로 나타났다. 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 유형은 준비구간이 24%, 동작구간이 17% 착지구간이 58%를 차지하고 있으며 이에 따른 순수한 공중구간은 76% 정도 되는 것으로 나타났다. 유형에 따른 총 소요시간은 각각 평균 $1.43 \pm 0.08\text{sec}$, $1.53 \pm 0.10\text{sec}$, 그리고 $1.55 \pm 0.09\text{sec}$ 으로 나타났다. <그림 3-1>은 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 유형유의 동작구간의 설정과 전반적인 동작 형태를 보여주고 있다.

철봉 내리기 동작 유형에 따른 신체무게중심의 Y방향 즉 운동이 진행되는 방향으로의 이동거리를 나타낸 것으로 세가지 유형에 따른 이동거리에 따른 통계적인 차이는 나타내지는 않았지만, 몸펴 한번 뒤돌아 내리기의 경우 평균 $3.31 \pm 0.34\text{m}$, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 경우 $3.73 \pm 0.20\text{m}$, 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 경우 $3.66 \pm 0.40\text{m}$ 정도의 거리이동 요인을 보이고 있다.

<표 3-1> 철봉 내리기 동작 유형에 따른 시간요인 및 거리요인 (단위 : sec · m)

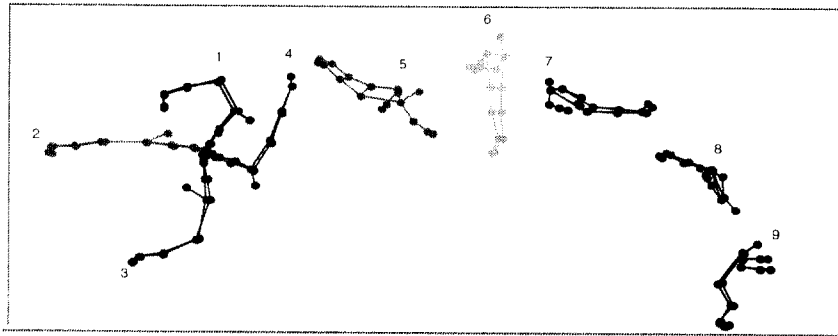
동작유형	준비-이탈	이탈-최고	최고-착지	이동거리
1	0.42 ± 0.02	0.34 ± 0.09	0.66 ± 0.07	3.31 ± 0.34
2	0.37 ± 0.07	0.32 ± 0.01	0.83 ± 0.00	3.73 ± 0.20
3	0.37 ± 0.05	0.27 ± 0.05	0.89 ± 0.08	3.66 ± 0.40
F-value	11.91***	1.94	6.84*	2.92
Scheffé	I > II, III		I > II, III	

1= 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 2=몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 3= 몸펴 두번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

동작 유형에 따른 신체무게중심의 최고높이는 세가지 동작유형 간의 유의한 차이를 나타내고 있

지는 않지만 몸펴 한번 뒤돌아 내리기의 경우 평균 $3.38 \pm 0.20\text{m}$, 몸펴 두 번 뒤 돌아 내리기의 경우 $3.51 \pm 0.13\text{m}$, 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기의 경우 $3.58 \pm 0.12\text{m}$ 로 나타났다.



<그림 3-1> 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기

3.1.3 신체무게중심의 투사각도 및 투사속도

철봉에서 이탈속도는 철봉에서 릴리즈되는 순간 수직속도벡터와 수평방향의 벡터의 합으로 설명되어지는데, 본 연구의 결과 신체무게중심의 투사각도는 몸펴 한번 뒤돌아 내리기의 경우 평균 75.7 ± 5.13 도, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기의 경우 평균 80.4 ± 2.59 도, 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기의 경우 82.6 ± 1.70 으로 나타나 유의수준 $\alpha = .05$ 에서 세 가지 유형간에 유의한 차이를 보이고 있는데 사후검증(Scheffé)결과 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 유형이 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 유형보다 투사각도가 평균 7도 정도가 크게 나타났으며 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기의 경우에도 평균 5도 정도 높게 나타났다. 또한, 양손이 철봉에서 이탈 될 때의 신체무게중심의 투사속도 또한 공중동작에서 각운동량을 생성하는데 중요한 요인 중의 하나로 이러한 3차원 투사속도에 의하여 그 투사방향이 결정지어진다.

<표 3-2> 동작 유형에 따른 3차원 투사속도 (단위 : m/sec)

동작유형	X 투사속도	Y 투사속도	Z 투사속도
1	0.95 ± 0.79	1.68 ± 0.66	7.78 ± 0.63
2	1.17 ± 1.34	1.70 ± 0.30	10.10 ± 0.87
3	1.70 ± 1.15	2.02 ± 0.74	10.58 ± 0.60
F-value	0.71	0.54	28.14***
Scheffé			I < II, III

1= 몸펴 한번뒤 돌아 내리기 2=몸펴 두번뒤 돌아 내리기 3= 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기

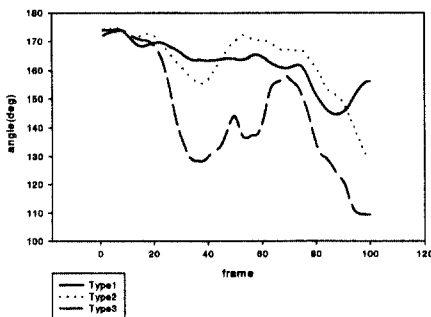
***p<0.001

본 연구의 결과 세가지 유형간의 3차원 투사속도는 몸펴 한번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 경우, Z방향 즉 수직방향으로의 투사속도가 평균 $10.58 \pm 0.60 \text{m/sec}$ 로 나타나 다른 유형에 비하여 유의수준 $\alpha = .05$ 에서 통계적으로 유의한 차이가 있음을 나타내고 있으며, 모든 방향의 투사속도에서 다른 유형에 비하여 높은 값을 나타내었다. Z방향의 투사속도는 양손이 철봉에서 이탈되는 순간 평균 0.36sec 을 기준으로 하여 바로 직전에 투사속도의 최고점(평균 6.89m/sec)에 이르는 것으로 나타났다.

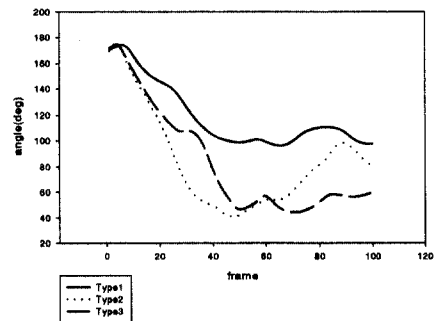
3.2 각도요인

3.2.1 상지관절각도

팔꿈치관절의 각도는 세가지 내리기 동작 모두 양손이 철봉에서 이탈한 다음 신체무게중심이 최고점을 지나면서 서서히 그 각도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 팔꿈치관절 각도의 최소각이 나타나는 시점은 양손이 철봉에서 이탈된 후 최고점에 도달하기 전에 발생하였으며, 발생한 시점과 그 각도는 각각 몸펴 한번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기의 경우 평균 128.3 도로 신체무게중심이 최고점에 이르기 전(0.02sec 전)에 발생하였으며, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기의 경우 155.2 도로 신체무게중심이 최고점에 이르기 전(0.06sec 전)에 발생하였다. 그리고 몸펴 한번 뒤돌아 내리기의 경우 양손이 철봉에서 이탈한 후 서서히 감소되는 경향을 보이고 있다. <그림 3-2>은 전반적인 팔꿈치 관절의 각도 변화 양상을 나타내고 있다. 어깨관절각도는 상체가 철봉과 수직이 되는 순간인 준비구간에서는 세가지 내리기 동작유형 모두 평균 174 도를 보였으며, 양손이 떨어지는 릴리즈 순간까지 어깨관절의 각도가 감소하여 신체무게중심이 최고점 직후에 어깨관절의 최소각을 보였으며, 이후 다시 신전되는 것으로 나타났다. 양손이 철봉에서 이탈되는 순간에는 세가지 내리기 동작 유형은 유의수준 $\alpha = .05$ 에서 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있다. 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 유형의 경우 평균 137.6 ± 9.15 도, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 유형은 평균 101.2 ± 3.38 도, 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 유형은 115.5 ± 21.33 도로 나타나 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 유형과 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 유형이 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 유형보다 적은 어깨관절로 신체가 투사되고 있는 것을 알 수 있다. 세가지 내리기 동작 유형에 따른 전반적인 동작의 유형은 <그림 3-3>에 나타내었다.



<그림 3-2> 팔꿈치관절의 각도



<그림 3-3> 어깨관절의 각도

3.2.2 하지관절각도

엉덩관절의 각도의 변화는 상체가 철봉을 지나 수직을 이룰 때 평균 195도 정도로 신전이 되었다가 릴리즈시 평균 164도 정도로 다시 굴곡되어 신체무게중심이 최고점에 도달했을 때 평균 203도 정도로 과신전(평균 23도 정도)되는 것으로 나타났다. 휘둘기 구간에서의 하지분절의 사용방법에 따라서 휘둘기 유형이 결정되듯이 엉덩관절의 각도의 변화는 휘둘기 동작 중의 회전력을 얻기 위한 추기기 동작(Whip swing)을 생성하는 주된 요인으로 작용한다. 각 주요관절의 준비구간에서 양손이 철봉에서 이탈되는 릴리즈까지의 각도의 변화량을 살펴본 결과 무릎관절 각도는 평균 174도에서 167도로 7도 정도, 어깨관절 각도는 평균 174도에서 118도로 60도 정도, 무릎관절 각도는 평균 166도에서 175.7도로 9.5도, 그리고 엉덩관절 각도의 변화량은 준비구간에서 평균 195에서 릴리즈순간 164도로 평균 31도로 나타나 어깨관절 각도의 변화가 평균 60도로 가장 크게 나타났으며, 엉덩관절 각도의 변화가 30도로 두 번째로 크게 나타났다. 따라서 휘둘기 구간 중의 어깨관절의 추기기 동작과 엉덩관절의 추기기 동작이 휘둘기 구간의 회전력을 생성하는데 가장 주된 관절로 작용된 것으로 분석할 수 있다. 본 연구의 결과 세가지 내리기 유형에 따른 엉덩관절의 각도의 변화는 준비구간에서 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형의 엉덩관절의 각도가 평균 199.8±6.38도 그리고 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 동작 유형이 평균 190.2±4.48도로 나타나 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형이 유의수준 $\alpha=.05$ 에서 통계적으로 보다 큰 엉덩관절 각도를 유지하고 있음이 나타났으며, 양손이 철봉에서 이탈되는 순간에는 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 동작 유형이 평균 157.8±14.71도 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형은 평균 163.4±12.86도로 나타나 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 동작 유형이 보다 작은 엉덩관절각을 나타내었다.

<표 3-3> 철봉 내리기 동작유형에 따른 관절의 각도(엉덩)

(단위 : deg)

동작 유형	준비구간	릴리즈	최고점	착지구간
1	190.2±4.48	170.6±9.17	204.2±7.33	107.2±31.32
2	195.2±4.41	157.8±14.71	206.5±14.68	98.2±26.21
3	199.8±6.38	163.4±12.86	200.1±3.91	102.3±25.94
F-value	4.21*	1.70	0.47	0.15
Scheffé	I < III	II < III,		

1= 몸펴 한바퀴 뒤돌아 내리기 2=몸펴 두바퀴 뒤돌아 내리기 3= 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기

*p<0.05

3.2.4 외지방향각도(external orientation angle)

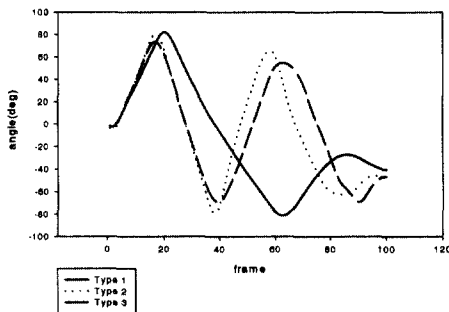
공간상에서 신체의 방향 또는 외지방향각은 관성좌표계의 방향, 신체의 회전방향, 그리고 비회전

관성좌표계에 따라 결정되어지는데, 관성좌표계는 보통 고정된 신체의 한 분절에서 선택되거나 (Ramey & Yang, 1981) 일반적으로 몇몇의 분절에서 얻어질 수 있으며(Yeadon, 1984), 각 좌표계는 오른손 법칙이 적용된 상호 직각이 되는 단위벡터를 포함하게 된다. 따라서 선택된 임의의 좌표계는 이와 관련된 좌표계의 방향을 각도 ϕ , θ , 그리고 ψ 으로 표시를 한다(Yeadon, 1990a).

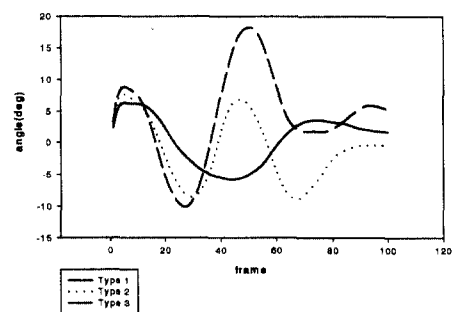
관성좌표계(global reference frame)에 대한 상체의 움직임을 나타내는 외지방향각도는 공중동작 수행시 신체무게중심의 투사방향과 투사각도를 결정짓는 요인으로 작용하게 되는데 3차원 방향의 각도 즉, 뒤돌기(somersault)각도, 틀기(twist)각도, 그리고 기울기(tilt)각도로 설명이 된다.

X축의 변환으로 생성되는 뒤돌기각도는 신체무게중심이 최고점을 이루는 시점에서 몸뚱이 한번 뒤돌아 내리기 동작유형의 경우 평균 -29.5 ± 7.53 도로 몸뚱이 두 번 뒤돌아 내리기 동작 유형 평균 -51.5 ± 16.2 도 그리고 몸뚱이 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형 평균 -69.0 ± 15.14 도 보다 적은 값을 나타내어 유의 수준 $\alpha = .05$ 에서 통계적으로 보다 적은 뒤돌기각도를 나타내었다. 전반적인 뒤돌기각도의 진행은 <그림 3-4>에 나타내었다.

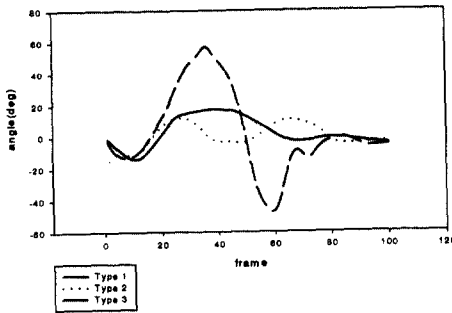
상체의 기울기는 <그림 3-5>에 나타난 것과 같이 0점을 기준으로 하여 세가지 내리기 동작 유형 모두 작은 각도의 변화를 나타내고 있다. 릴리즈 시 몸뚱이 한번 뒤돌아 내리기 동작유형이 평균 -1.5 ± 2.54 도로 나타나 몸뚱이 한번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형 평균 -8.4 ± 5.90 도 보다 작은 각도 변화를 나타내고 있으며 신체무게중심이 최고점에 도달하는 시점을 전후하여 서로 반대방향의 각도 변화를 보이고 있다. 상체의 회전(chest rotation)으로 정의되는 상체분절의 틀기 각도는 <그림 3-6>에서 나타난 것과 같이 몸뚱이 한번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형의 경우 준비구간에서 부터 시작하여 신체무게중심이 최고점에 도달하는 시점을 전후하여 지속적으로 증가하는 추세를 나타내어 유의수준 $\alpha = .05$ 에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈는데, 신체무게중심이 최고점 도달하였을 때 평균 50.2 ± 28.21 도를 나타내고 있다.



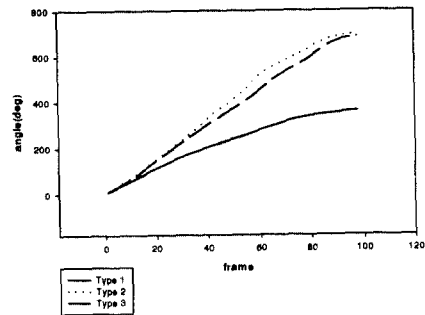
<그림 3-4> 뒤돌기 각운동



<그림 3-5> 기울기 각운동



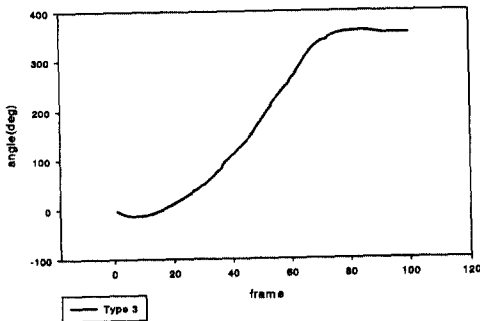
<그림 3-6> 비틀기각도



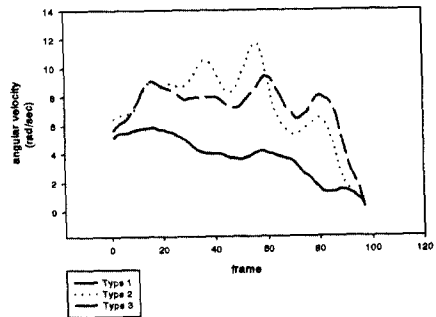
<그림 3-7> 상체의 누적각도(X)

3.2.5 상체의 누적각도

상체분절의 관성좌표계에 대한 각도변화의 증가를 알아보기 위하여 상체의 움직임은 항상 일정한 방향으로 진행된다는 가정 하에 상체의 누적각을 살펴보았다. 몸펴 한번 뒤돌아 내리기의 경우 양손이 철봉에서 이탈되는 릴리즈 순간에는 평균 142.4 ± 7.74 도, 신체무게중심이 최고에 이르는 순간 평균 225.5 ± 7.04 도 그리고 착지구간에서는 평균 346.8 ± 5.92 도로 나타났으며, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 동작유형의 경우 릴리즈 순간에는 평균 174.5 ± 8.64 도, 신체무게중심이 최고에 이르는 순간 평균 346.0 ± 15.10 도 그리고 착지구간에서는 평균 687.1 ± 12.11 도로 나타났으며, 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 동작 유형의 경우 릴리즈 순간에는 평균 169.6 ± 22.56 도, 신체무게중심이 최고에 이르는 순간 평균 292.2 ± 28.67 도 그리고 착지구간에서는 평균 675.28 ± 8.57 도로 나타났다. <그림 3-7>은 누적된 상체의 각도의 변화를 나타내고 있다. 릴리즈 시점을 기준으로 몸펴 한번 뒤돌아 내리기 유형의 경우 평균 142.4 ± 7.74 도, 몸펴 두 번 뒤돌아 내리기 유형의 평균 174.5 ± 8.64 도 그리고 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 유형의 경우 평균 169.6 ± 22.56 도 나타났으며, 뒤돌기 동작이 한바퀴 일 때와 두바퀴 일 때를 비교한 결과 평균 30도 정도의 상체 뒤돌기 각의 차이를 나타내고 있다.



<그림 3-8> 상체의 누적각도(Z)



<그림 3-9> 상체의 누적각속도

<그림 3-8>은 상체의 틀기 누적각의 전반적인 진행 상태를 나타낸 것으로 상체의 틀기각도의 범위는 360도로 가정하였을 때, 릴리즈 시점에는 전체 틀기동작의 5%(평균 19.41 ± 14.01 도), 신체무게 중심 최고점에서는 27.5%(평균 98.32 ± 48.85 도)의 진행 상태를 나타내고 있어, 신체무게중심이 최고점을 지난 후 나머지 60%의 틀기동작이 이루어지는 것으로 나타났다.

3.3 각속도요인

3.3.1 뒤돌기 각속도

뒤돌기 각속도 요인은 세가지 내리기 동작 유형에 따라 양손이 철봉에서 이탈되는 릴리즈 시점에서 몸피 한번 뒤돌아 내리기 유형이 평균 -5.74 ± 0.57 rad/sec로 나타나 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 통계적으로 다른 유형에 비하여 음(-)의 방향으로 보다 적은 뒤돌기 각속도 값을 나타내고 있다.

준비구간에서부터 릴리즈 시점까지의 각속도의 변화량을 살펴보면, 몸피 한번 뒤돌아 내리기의 경우 평균 9.90rad/sec, 몸피 두 번 뒤돌아 내리기의 경우 13.58rad/sec, 그리고 몸피 두 번 뒤돌아 내리기의 경우 14.58rad/sec로 나타나 몸피 두 번 뒤돌아 내리기 동작유형이 다른 동작 유형에 비하여 보다 큰 각속도의 변화를 나타내고 있다.

3.3.2 비틀기 각속도

상체의 비틀기에 대한 각속도는 몸피 한번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기의 동작 유형의 경우 준비구간에서부터 양손이 철봉에서 이탈되는 릴리즈 시점까지 증가(평균 4.16 ± 2.179 rad/sec)하는 양상을 보여 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 통계적으로 릴리즈 시점에 유의한 차이를 나타내고 있으며 비틀기 끝나는 시점을 전후하여 다시 한번 상체 비틀기 각속도가 증가하는 것으로 나타났다. Yeadon(1997)은 1988년 서울 올림픽 게임에 참가한 선수 4명을 대상으로 한 실험연구에서 2바퀴 뒤 공중돌며 한 비틀기 그리고 2바퀴 뒤 공중돌며 두 번 비틀기 동작을 비교 분석한 결과 생성된 기울기(tilt)의 양은 회전이 크면 클수록 크게 나타났으며, 또한 몸을 편 상태보다는 몸을 구부린 상태에서 더 크게 나타났으며, 공중동작에서의 팔의 동작과 비대칭 엉덩이 동작이 이러한 twist 동작의 조성을 크게 해준다고 보고하였다.

IV. 결론

공중동작 중의 개개분절의 움직임은 신체무게중심을 기시부로 하여 움직인다고 가정하면, 신체무게중심의 이동은 신체의 움직임을 대변할 수 있는 중요한 운동학적 변인이 된다. 신체무게중심의

이동방향을 설명할 수 있는 투사각도 및 투사속도는 철봉 내리기 동작 중의 각운동량을 결정짓는 중요한 요인으로 작용하게 되는데, 본 연구 결과에 의하면 공중동작의 회전수가 증가할수록 신체무게중심이 투사되는 각도가 증가되며, 이렇게 증가된 신체무게중심의 투사각도는 신체무게중심의 최고점을 증가시키는 경향을 보였다. 또한, 신체동작이 공간상에서 이루어지기 때문에 신체가 투사되어지는 방향에 주목할 필요성이 있는데, 본 연구 결과 3차원 투사속도를 살펴본 결과 Z방향 즉, 수직방향으로의 투사속도는 공중돌기 회전수에 증가할수록 증가하는 경향이 나타났으나, 운동진행 방향인 Y방향 속도와 좌우측 기울기를 설명할 수 있는 X방향 속도에서는 의미있는 차이가 나타나지 않았다. 결국 릴리즈시 공중동작을 성공적으로 수행하기 위해 주목해야 되는 운동학적 변인은 Z방향으로의 투사속도를 높이 것에 주안점을 두어야 한다. Z방향의 투사속도의 증가는 전체 공중구간의 시간요인을 증가시키는 원인으로 작용하지만, 준비구간에서 릴리즈, 그리고 신체무게중심이 최고점에 도달할 때까지는 동작시간이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 각운동을 보다 짧은 시간에 수행함으로써 보다 큰 각속도를 얻으려는 노력으로 보여진다.

철봉에서 회전을 하는 동안은 신체는 철봉을 축으로 하는 굴곡과 신전운동만이 발생하게 되며, 양손이 철봉에서 이탈되는 순간 개개분절의 움직임에 의한 각도 변화가 발생하며, 이러한 개개분절의 움직임은 공중동작에서 각운동량을 전이시키는 운동학적 변인으로 작용하게 된다. 철봉 내리기 공중동작을 연구할 때, 공중동작에서의 신체분절 및 각도의 변화도 중요하지만 각운동량을 만들어내기 위한 동작준비구간의 각도의 변화가 더욱더 중요하다고 할 수 있다. 즉, 상체가 철봉 아래 붕과 수직될 때부터 릴리즈 순간까지의 각도의 변화에 주목해야 하는 데, 본 연구의 결과 회전수가 증가할수록, 어깨관절 각도와 엉덩관절 각도의 변화가 두드러지게 나타나 준비구간의 추기기 동작의 주된 관절로 작용을 한다. 관성좌표계(global reference frame)에 대한 상체의 움직임을 나타내는 3차원 방향의 각도 즉, 뒤돌기(somersault)각도, 틀기(twist)각도 그리고 기울기(tilt)각도로 설명이 되는 데, 본 연구의 결과 릴리즈시 뒤돌기 각은 세가지 내리기 동작 유형에 따라 평균 57.7도, 38.8도 그리고 39.7도로 나타났으며, 기울기 각은 평균 -1.5도, -5.4도 그리고 -8.4도로 유의한 차이를 보이고 있으며, 틀기각도는 평균 13.4도, 10.6도 그리고 23.3도로 몸펴 두 번 뒤돌며 한번 비틀어 내리기 경우 가장 큰 수치를 나타냈다.

참 고 문 헌

- 권영후, 성낙준(1993). 인체 공중동작 시뮬레이션 프로그램 개발. 체육과학연구과제종합보고서, I. 한국체육과학연구원. pp.1-18.
- 오문균(1996). 철봉에서 몸펴 2회전 뒤돌며 2회 비틀어 내리기 기술의 운동역학적 분석, 국민대학교 대학원 박사학위논문.
- 황인승, 이성철, 신용석(1998). 운동역학적 분석에 쓰이는 두가지 Inverse Dynamics 함수의 비교연구. 한국체육학회지, 37(1), pp.212-221.
- Abdel-Aziz, Y.I. & Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object coordinates in close-range photogrammetry, *Proceedings of the Symposium on Close-Range photogrammetry*(pp.1-18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Adrian, M., & Cooper, J.M. (1995). Biomechanics of human movement. indianapolis, Indiana: Benchmark Press.
- Hay, J.G. (1985). The biomechanics of sports technics(3rd ed.). New jersey: Prentice Hall.
- Johnson, G.W. (1999). LabVIEW graphical programming: Pracial applications in instrumentation and control. New York: McGraw-Hill.
- Kwon, Y.H. (1993). The effects of body segment parameter estimation on the experimental simulation of a complex airborne movement. Unpublished Doctorial thesis. The Pennsylvania State Univ.
- Kwon Y.H. (1996). Effects of the Method of Body Segment Parameter Estimation on Airborne Angular Momentum. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, pp.413-430.
- Pike, N.L. (1980). Computer simulation of a forward, full twisting dive in a layout position. Doctorial thesis, The Pennsylvania State Univ.
- Putnam, C.A. (1991). A segment interactoin analysis of proximal to distal sequential segment motion patterns. *Medicine and Sports and Exercise*, 10(1), pp.130-142.
- Putnam, C.A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26, pp.125-135
- Ramey, M.R., & Yang, A.T. (1981). A simulation procedure for human motion studies. *Journal of Biomechanics*, 14, pp.203-213.
- Winter, D.A. (1990). Biomechanics and Motor Control of Human Movement. (2nd ed.). NewYork: John Wiley & Sons.
- Yeadon, M.R. (1984). The mechanics of twisting somersaults. Unpublished doctorial thesis.

Loughborough University of Technology.

- Yeadon, M.R. (1990a). The simulation of aerial movement-I. The determination of orientation angles from film data. *Journal of Biomechanics*, 23, pp.59-66.
- Yeadon, M.R. (1990b). The simulation of aerial movement-II. A mathematical inertia model of the human body. *Journal of Biomechanics*, 23, pp.67-74.
- Yeadon, M.R. (1990c). The simulation of aerial movement-III. The determination of the angular momentum of the human body. *Journal of Biomechanics*, 23, pp.75-83.
- Yeadon, M.R., Atha, J. and Hales, F.D. (1990d). The simulation of aerial movement-IV. A computer simulation model. *Journal of Biomechanics*, 23, pp.85-89.
- Yeadon, M.R. (1997). Twisting double somersault high bar dismounts. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, pp.76-87.
- Zatsiorsky, V.M. & Seluyanov, V.N. (1983). The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body In H Matsui, & K. Kobayashi,(Eds.), *Biomechanics VIII-B*(pp. 1152-1159). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Zatsiorsky, V. M. and Seluyanov, V. N. (1985). Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regression equations In D.A. Winter, & R.W. Norman, R.P. Wells, K.C. Hayes, & A.E. Patla,(Eds.), *Biomechanics IX-B*(pp. 233-239), Champaign, IL: Human Kinetics.

ABSTRACT

Kinematic Analysis of Airborne Movement of Dismount from High Bar(I)

Ji-Young Choi^{*} · Youg-Ee Kim^{**} · Young-Wan Jin^{***}

The purpose of this study was to investigate the relations between the segments of the body, the three dimensional anatomical angle and the angular velocity of the air born phase and understand the control mechanism of the high-bar movement, the somersault, the double somersault, the double somersault with full twist. For this study seven well trained university gymnastics volunteered, Zatsiorsky and Seluyanov(1983, 1985)'s sixteen segment system anatomical model was used for this study. For the movement analysis three dimensional cinematographical method(Arial Performance Analysis System : APAS) was used and for the calculation of the kinematic variables a self developed program was used with the LabVIEW 5.1 graphical programming(Johnson, 1999) program. By using Euler's equations the three dimensional anatomical Cardan angles of the joint and angular velocity were defined.

As a result of this study

1. As the rotation of the body increased in the air born phase the projection angle of the CM of the total body increased, this resulted the increased of the max height of the CM.
2. In three dimensional angular velocity the Z axis(vertical direction) projection angular velocity increased as the rotation of the body increased in the airborne phase, but the Y axis and the X axis projection angular velocity did not show significant differences.
3. As the rotation of the body increased in the air born phase the angular movement of the

Received in final form 16 November 2002

* Corresponding author, Instructor, Dept. of Physical Education College of Education Science Yonsei University 134, Sinchon-dong, Seodaemun-gu, seoul, 120-749, Korea
E-mail : uncle@yonsei.ac.kr, Tel : 011-669-0080, 031) 474-0685

** Professor, School of Dance The Korea National University of Arts, Seoul, Korea

*** Professor, Division of Physical Education Leisure Sports Major, College of Arts and Physical Education Dong-eui University Gaya-Dong, Busanjin-ku, Busan. 614-714, Korea

shoulder and the hip showed significant change. These movements act as the starter in the preparation phase.

4. The somersault angle, the twist angle, the tilt angle of the upper body related to the global reference frame in the release phase the average somersault angle of the three types of high-bar movement was 57.7° , 38.8° , 39.7° , the average tilt angle was -1.5° , -5.4° , -8.4° , the average twist angle was 13.4° , 10.6° , 23.3° . This result showed that the double somersault with full twist had the largest movement.

key words : High bar, Airbone movement, Kinematic, Angular movement