



한국운동역학회지, 2003, 제13권 1호, pp. 185-204
Korean Journal of Sport Biomechanics
2003, Vol. 13, No. 1, pp. 185-204

농구 자유투 동작시 상지분절의 각운동량 전이 분석

양 동 영(전남대학교)

ABSTRACT

The Analysis of the transfer of angular momentum on upper extremity during Free Throw Motion in Basketball

Yang, Dong-Young(Chonnam National University)

Yang, D-Y. The Analysis of the transfer of angular momentum on upper extremity during Free Throw Motion in Basketball. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 13, No. 1, 185-204 The purpose of this study was to obtain the data for stable and accurate techniques of the free throw in basketball. The subjects of this study were seven male basketball player consisted of college students athletes. Free throw motions were taken by video camera. The three-dimensional coordinates was processed by DLT. The variables were the velocity, the angular velocity of the upper extremity segments, degree, and angular momentum. The result of analysis is summarized as follows.

1. The velocity and angular velocity of the upper extremity segment was showed an gradual increase and a smooth velocity transfer ,transferring from proximal segment to distal segment at free throw motion in basketball
2. The local term and remote term angular velocity momentum of the proximal segment showed larger than that of the distal segment in X, Y, Z axis component all.
3. The remote term angular momentum was showed larger than that of the local term angular momentum in X, Y, Z axis component all.

본 논문은 2001년도 전남대학교 연구년교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음
2003년 3월 27일(목) 접수

* Corresponding author, 교수, 500-757, 광주광역시 북구 용봉동 300번지 전남대학교 체육교육과

4. The angular motion of the upper trunk and upper arm, upper arm and forearm was showed in opposite direction and symmetrical angular momentum in local term angular momentum of the Y and Z axis component.
5. All the segments of upper extremity segment was showed left rotation in remote term angular momentum of the Y axis component and right rotation in remote term angular momentum of the Z axis component.

Keywords : transfer, angular momentum, basketball

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

농구는 일정한 규격의 경기장에서 높이 3.05m에 설치되어있는 직경 0.45m의 링에 볼을 넣어 득점에 의해 승패를 결정짓는 경기이다. 농구경기는 손을 사용하는 경기로써 기본적인 기술로는 슛, 패스, 드리블, 풋워크 등이 있으며, 이중에서도 가장 중요한 것은 슛이라 할 수 있다. 농구경기의 목표는 상대방 바스켓에 정확하게 골인을 시키는 것이며, 슛의 성공여부가 승패를 좌우하는 가장 큰 요인이라 할 수 있다.

슛은 짧은 시간동안 정확한 감각으로 시도해야 하며 슛의 결과를 결정하는 중요한 요인은 투사높이, 투사속도, 투사각도, 그리고 공중에서의 공기저항이다(Hay, 1985). 이러한 변인들은 인체자세의 상호작용에 의해 나타나는 것으로 농구선수의 개인적인 특성에 따라 그 유형이 달라진다. 슈팅은 크게 점프슛과 자유투, 레이업슛, 러닝슛 등이 있으며 이중 빈번히 사용되고 있으며 가장 기본적인 슛은 점프슛과 자유투이다(최희암, 1993).

점프슛은 정지상태에서 빠른 동작으로 무릎을 굴곡시켜 점프하는 동시에, 농구공을 상방으로 올린 다음, 점프의 최고점에 도달했을 때 팔꿈치관절을 신전시켜, 손목관절의 스냅(snap)을 이용하여 전방으로 포물선을 그려 볼을 투사하는 기술이다. 그리고 자유투는 정지동작에서 점프없이 무릎관절과 팔꿈치관절의 신전을 이용하여 마지막 손목관절의 스냅으로 투사하거나 혹은 팔꿈치관절과 손목의 스냅만을 이용하여 슛을 하기도 한다.

농구의 슛 동작은 인체분절의 역학적 관계에 의해 정확도가 결정된다는 점에서 연구의 주안점이 되어왔다(김영태, 1991; 이동진, 1999; 박성운, 2001; 백승국, 2000; 주명덕, 1989; Brancazio, 1983; Hayes, 1989; Holt, 1983). 이들은 농구의 자유투 동작시 구간별 소요시간은 우수한 선수일수록 길게 나타난다고 하였다. 투사시 각도가 클수록 정확도가 큰 것으로 보고하였으며 인체 무게중심의 변화는 우수한

선수일수록 변화가 적다고 하였다. 또한 각 관절과 분절의 각도는 하지관절 각도의 변화량은 작을수록 그리고 상지관절 각도의 변화량이 클수록 정확도가 커지는 것으로 보고하였다. 그리고 투사 시 몸통분절의 각도는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

한편, 투사거리와 신장과의 관계에 따른 운동학적 요인들에 대하여도 연구가 진행되어왔다(박계영, 1997; 최지영, 1992; 이병원, 1998, Hudson, 1983; Satern, 1989). 이들은 2점 슛 동작 보다는 3점 슛 동작 시 시간소요가 짧다고 하였으며 투사각도는 3점스슛 동작 시가 2점스슛 동작보다 작다고 보고하였다. 인체무게중심 변위에는 차이가 없었으나 중심이 최고점에 이르기 전에 분절의 이동이 두드러지는 것으로 나타났다. 또한 각 관절의 변화량은 3점스슛 동작 시가 2점스슛 동작보다 크다고 하였다.

이처럼 위의 연구결과들은 인체분절들의 상호작용에서 나타나는 현상학적 측면에서 그 의미를 부여하고 있다. 이런 연구들은 인체동작의 일반적인 유형과 리듬을 분석하는 데는 적합하지만 분절자체가 어떠한 방향으로 얼마간의 속도를 가지고 움직이는 지에 대한 정보는 제공하지 못한다. 분절자체(local term)의 움직임은 전체모형(remote term)에 포함이 되지만 이러한 내용을 무시하게 되면 실지로 움직임의 결과에 대한 원인을 추정하지는 못하게 된다.

따라서 전체모형에서 나타나는 결과를 이해하기 위해서는 분절자체에서 나타나는 움직임을 상세히 알아야 할 필요가 있다. 최근 외국의 연구에서는 여러 스포츠 종목에서 운동량에 대한 연구가 두드러지고 있으며(Feltner, 1996; Fleisig, 1995, Elliott, 1997, Escamilla, 1998; Barrentine, 1998; Maeda, 1999), 농구의 슛 동작에 대한 정확도를 검증하는데 있어서 가장 유용한 정보를 제공할 수 있다. 따라서 본 연구는 농구의 자유투시 상지 분절의 운동량 추이를 분석하여 안정되고 정확한 자유투 동작을 실시하는데 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 대한농구협회에 선수등록이 되어있는 남자 대학 선수 7명을 대상으로 실시하였다. 이들은 실험 전 하지와 상지에 부상이 없고 원-핸드(one-hand) 슛을 실시하는 선수들로만 한정하여 선정하였으며 이들의 신체적 특성은 <표 II-1>과 같다.

표 II-1. 연구대상자의 신체적 특성

대 상	신장(cm)	체중(kg)	경력(yr)	나이(yr)
S1	190	75	9	22
S2	191	76	9	23
S3	187	82	10	22
S4	188	82	9	21
S5	190	90	10	22
S6	185	75	6	19
S7	187	78	7	19
M±SD	188.28±2.13	79.85±5.52	8.57±1.51	21.14±1.57

2. 실험장비

실험장비는 촬영장비와 분석 장비로 분류된다. 촬영장비는 비디오카메라 2대, 통제점 틀, Lamp indicator, reflection marker, video light, video tape, I 및 T 자형 막대 등이었고 분석장비는 레코더, 고해상도 모니터, 컴퓨터 등을 이용하였다.

3. 실험절차 및 자료처리방법

농구의 자유투 동작을 모두 점유할 수 있는 높이 2.5m, 길이 2m, 폭, 1m의 통제점틀을 설치하여 자유투가 실시되는 장소에 설치하였다. 비디오 카메라는 삼각대를 이용하여 설치한 조도에 적합한 셔터스피드를 설정한 후 통제점틀을 촬영하고 이를 제거하였다. 연구대상자들은 상위 옷은 모두 탈의한 다음 하위 옷은 반타이즈를 착용하여 인체의 각 분절의 해부학적 경계점에 반사마커를 부착하였다. 상지분절의 좌표계를 보다 상세하게 설정하기 위해 'I' 자형과 'T' 자형 막대를 특수 제작하여 이를 전완 분절의 원위와 손분절의 중앙에 각각 부착하였다. 각 연구대상자들은 주어진 시간내에 자유투를 2개 씩 실시하여 가장 잘 수행되었다고 판단된 동작을 비디오 분석시스템을 이용하여 디지털이징을 실시하였다. 디지털이징 후 얻어진 2차원 좌표값을 이용하여 3차원 좌표를 얻기 위해 공간의 자료를 이미 알고 있는 통제점(control point)을 활용하였다. 이들 통제점의 계수와 동조된 3차원 좌표로부터 인체 관절점의 3차원 좌표값을 계산하는 방식인 DLT 방법(Abdel & Karara, 1971)이 이용되었다. 3차원 공간좌표 설정은 전후방향을 Y축, 좌우방향을 X축, 상하방향을 Z축으로 설정하였다. 2대의 비디오 카메라는 그 속도가 60fields/s이고 이로부터 얻은 정보를 3차 스플라인 함수(cubic spline function)를 이용하여, 0.01초 간격으로 보간(interpolation)하여 동조(synchronization)를 실시하였다. 3차원 좌표에 포함되는 디지털이징 오차와 기자재 자체에 의해 발생할 수 있는 노이즈를 제거하기 위해 Butterworth

의 2차 저역통과필터(low-pass filter)를 사용하여 8.0Hz로 스무딩(smoothing)하였다. 자료처리는 Kwon3d 2.1 프로그램(Kwon, 1994)을 이용하였다.

4. 분석변인

가. 분절의 속도 및 각속도

상지분절은 상완, 전완, 손의 속도를 의미하며 이들을 계산하기 위해 아래의 공식을 활용하였다.

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

단, P_{i+1} 은 $i+1$ 번째 프레임의 위치, P_{i-1} 은 $i-1$ 번째 프레임의 위치, Δt 는 프레임 사이의 시간 간격

$$\text{상지분절 각속도}(\omega) = \theta/t$$

나. 분절 및 관절의 각도

몸통각도 : Y축과 힙관절에서 어깨관절로 향하는 벡터사이의 각도

상완각도 : 힙관절에서 어깨관절로 향하는 벡터와 어깨관절에서 팔꿈치관절로 향하는 벡터사이의 각도

전완각도 : Y축과 팔꿈치관절에서 손목으로 향하는 벡터사이의 각도

손목각도 : 손분절과 전완분절 사이의 상대각도

위의 각도의 산출은 위치벡터를(A_x, A_y, A_z)와 (B_x, B_y, B_z)라고 할때 아래의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}}\right)$$

다. 각운동량

본 연구에서는 몸통, 상완, 전완, 손분절의 각운동량을 분석하였는데 이들을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} H_i &= r_i \times (m_i v_i) = m_i v_i \times v_i \\ &= m_i (r_{CM} + r'_i) \times (v_{CM} + v'_i) \\ &= m_i r_{CM} \times v_{CM} + m_i r'_i \times v_i \quad \text{-----[1]} \end{aligned}$$

여기서 m = 질점의 질량, r_{CM} = 인체 중심 위치, v_{CM} = 인체 중심 속도, r = 질점의 위치,

r' = 인체중심에 대한 질점의 상대위치, v = 질점의 속도, v' = 중심에 대한 질점의 상대속도
위의 식은 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$H_i = m_i r_{CM} \times v_{CM} + m_i r'_i \times (\omega \times r'_i) \quad \text{-----[2]}$$

$$v'_i = \omega \times r'_i \quad \text{-----[3]}$$

여기서 ω = 인체의 각속도.

인체의 각운동량은 인체를 구성하고있는 질량성분들의 운동량 전체 합이다. 따라서 다음과 같은 식이 도출될 수 있다.

$$\begin{aligned} H &= \sum_i H_i \\ &= \left[\sum_i m_i \right] \cdot r_{CM} \times v_{CM} + \sum_i [m_i r'_i \times (\omega \times r'_i)] \\ &= M r_{CM} \times v_{CM} + \sum_i [m_i r'_i \times (\omega \times r'_i)] \quad \text{----[4]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= r_{CM} (M v_{CM}) + \sum_i [m_i r'_i \times (\omega \times r'_i)] \\ &= r_{CM} \times (M v_{CM}) + I_{CM} \cdot \omega \\ &= r_{CM} \times P_{CM} + I_{CM} \cdot \omega \\ &= H_{CM} \times H' \quad \text{----[5]} \end{aligned}$$

여기서 P_{CM} = 인체의 운동량,

I_{CM} = 중심에 대한 인체의 관성텐서,

H_{CM} = 중심에 의한 인체의 각운동량,

H' = 중심에 대한 분절 회전에 의한 각운동량

식 [5]에서 볼 수 있듯이 강체의 각운동량은 두 개의 성분으로 축약될 수 있다. 인체중심의 병진운동에 의한 각운동량(H_{CM}), 중심에 대한 분절의 회전에 의한 각운동량(H'). 식 [5]에서 첫 번째 성분이 공전성분(remote term)이며, 두 번째 성분을 인체의 자전성분(local term) 각 운동량이다.

III. 결과 및 논의

1. 분절의 속도 및 각속도

가. 분절의 속도

분절의 속도 및 각속도는 몸통, 상완, 전완, 손에 대해 분석하였다. 자유투 동작시 상지분절들의 속도가 <표 III-1>에 제시되어 있다.

표 III-1. 슈팅시 상지 분절의 속도

단위 : m/sec

대 상	몸 통	상 완	전 완	손
S1	-0.03	-0.28	0.62	2.09
S2	-0.07	-0.31	0.17	2.24
S3	-0.15	-0.22	0.17	1.68
S4	-0.06	-0.28	0.16	2.05
S5	0.03	-0.52	-0.49	1.67
S6	0.1	-0.52	-0.7	0.9
S7	0.13	-0.39	-0.3	1.21
M±SD	-0.01±0.09	-0.36±0.12	-0.05±0.45	1.69±0.49

<표 III-1>에서 상지 분절의 속도는 몸통에서 $-0.01\pm 0.09\text{m/sec}$, 상완에서 $-0.36\pm 0.12\text{m/sec}$, 전완에서 $-0.05\pm 0.45\text{m/sec}$, 손에서 $1.7\pm 0.49\text{m/sec}$ 를 나타냈다. 박성윤(2001)의 보고에 의하면 자유투 동작시 각 분절의 속도는 몸통에서 0.38m/sec , 상완에서 1.27m/sec , 전완에서 1.67m/sec , 손에서 2.01m/sec 였는데 본 연구 결과는 박성윤(2001)의 결과보다 네 분절에서 느리게 나타났다. <표 III-1>에서 음의 수치를 절대값으로 환산하면 손 속도가 가장 빠르고 다음이 상완과 전완이 비슷하며 몸통이 가장 느린데 이는 몸통에서 상완, 상완에서 전완, 전완에서 손분절로 속도가 점진적으로 빠르게 증가함으로써 속도의 전이가 순서적으로 진행되기 때문으로 분석된다. 몸통의 속도에서 음의 수치(-)는 전방향이고 양의 수치(+)는 후방향을 의미하고 전완의 속도의 경우 음의 수치(-)는 후방향이고 양의 수치(+)는 전방향을 의미한다. S1, S2, S3, S4는 몸통속도에서 음의 속도를 보이고 있는 반면 S5, S6, S7은 양의 방향으로 속도를 보이고 있는데 전완에서 다시 대조를 보이고 있다. 전완의 속도에서 S1, S2, S3, S4는 양의 수치(+)를 보이고 S5, S6, S7은 음의 수치(-)를 보이고 있어 S1, S2, S3은 전방으로 속도를 증가시키고 있어 근위분절에서 원위분절로의 속도전이가 점진적으로 이뤄지고 있는 반면 S4, S5, S6, S7은 몸통과 전완의 속도가 후방쪽으로 향하고 있어 불안정한 동작을 취하고 있다.

나. 분절의 각속도

각속도는 각운동량을 결정하는 중요한 요인이 된다. 본 연구에서는 몸통, 상완, 전완, 손분절의 각속도를 분석하였다. 자유투 투사시 상지분절들의 각속도가 <표 III-2>에 제시되어 있다.

<표 III-2>에서 자유투 동작시 상지분절들의 각속도를 보면 몸통에선 $-10.83\pm 6.72\text{deg/sec}$, 상완에서 $257.75\pm 48.39\text{deg/sec}$, 전완에서 $-382.25\pm 87.26\text{deg/sec}$, 손에서 $-1071.31\pm 132.31\text{deg/sec}$ 를 나타냈다. 위의 결과 손, 전완, 상완, 몸통 순으로 빠르게 나타냈는데 근위분절에서 원위분절로 진행하면서 각속도가 점진적으로 증가하고 있으며 각속도의 전이가 순서적으로 원활하게 이뤄지고 있다. 특히 네 분절 중 몸통에서의 각속도는 아주 작고 상완과 전완에서 급격하게 각속도의 증가가 이뤄지며 손에서 가장 큰 각속도를 보였는데 이는 투사순간에 몸통은 고정되어 있는 상태이고 상완과 전완의 빠른 이동과

함께 손목의 스냅현상으로 각속도가 급격하게 증가한 것으로 분석된다. Cooper(1982), Holt & Yates(1983)는 손의 각속도는 농구공에 작용하는 회전량과 투사각도를 결정짓는 요인으로 성공적인 슈팅을 위해서는 농구공에 작용하는 회전력이 커야 하며 이를 위해서는

표 III-2. 슈팅시 상지 분절의 각속도

단위 : deg/sec

대 상	몸 통	상 완	전 완	손
S1	-14.12	174.62	-383.38	-1007.86
S2	-7.8	199.15	-480.84	-1105.08
S3	-14.55	271.34	-237.42	-1114.24
S4	-18.06	275.08	-476.47	-1123.8
S5	-14.87	263.52	-458.63	-1270.12
S6	3.77	312.7	-323.08	-1081.13
S7	-10.17	307.9	-315.95	-800
M±SD	-10.83±6.72	257.75±48.39	-382.25±87.26	-1071.31±132.31

손의 각속도가 커야한다고 보고하였는데 본 연구에서도 네 분절중 손에서 각속도가 가장 빠르게 나타났다. 몸통의 각속도는 음의 수치(-)를 보였는데 음의 값은 본 연구의 각도 정의상 전방향으로의 이동을 의미한다. 특히 S6은 다른 대상자들과 달리 몸통 각속도가 양의 값을 보여 투사시 후방향으로 이동하므로써 비효율적인 동작을 수행하고 있다.

2. 상지분절의 각도

자유투 동작시 상지분절의 각도가 <표 III-3>에 제시되어 있다.

표 III-3. 슈팅시 상지분절의 각도

단위 : deg

대 상	몸 통	상 완	전 완	손
S1	102.2	-22.6	91.2	77.8
S2	96.2	-20.1	95.4	90.8
S3	104.3	-26.1	88.9	93.6
S4	103.9	-25.1	86.9	92.8
S5	103.4	-37.9	91.4	105.9
S6	96.9	-27.9	75	76.9
S7	95.9	-30.8	76.8	96.8
M±SD	100.40±3.86	-27.21±5.84	86.51±7.71	90.66±10.31

<표 III-3>에서 몸통각은 $100.40 \pm 3.86 \text{deg}$, 상완은 $-27.21 \pm 5.84 \text{deg}$, 전완은 $86.51 \pm 7.71 \text{deg}$, 손은 $90.66 \pm 10.31 \text{deg}$ 로 나타났다. 자유투 동작시 릴리즈 순간의 몸통각을 박성윤(2001)은 97.82deg , 오정환 외(2001)는 97.6deg 를 보고하였는데 본 연구의 결과에서는 박성윤(2001)의 연구보다 2.58deg , 오정환 외(2001)의 결과보다 2.8deg 정도 크게 나왔으며 김영태(1991)는 농구 자유투 투사시 상체가 약간 뒤쪽으로 젖혀야 안정적인 동작을 취할 수 있다고 보고하였는데 본 연구의 대상자 모두 상체를 뒤로 젖힌채로 투사하고 있어 안정적인 동작을 취하고 있다. 슈팅시 상완각은 박성윤(2001)은 -36deg 를 보고하였는데 본 연구에선 $-27.21 \pm 5.84 \text{deg}$ 로 나타나 박성윤(2001)의 결과보다 8.79deg 정도 작게 나타났다. 상완각이 크다는 것은 투사순간 상완이 몸통에서부터 각이 증가됨으로서 불안정한 자세를 취할 수 있다고 할 수 있는데 본 연구에선 선행 연구결과보다 작은 각도를 보이고 있다.

3. 각운동량

본 연구에서는 각운동량을 local term 각운동량과 remote term 각운동량으로 구분하여 분석하였다. local term은 인체 중심에 대한 분절의 회전에 의한 각운동량으로 자전성분이며 remote term은 인체 중심의 병진운동에 대한 각운동량으로 글로벌 좌표를 기준으로 볼 때의 공전성분이다.

가. local term 각운동량

1) X축 성분의 local term 각운동량

X축 성분의 local term 각운동량은 X축을 기준으로 해서 진행방향의 옆에서 봤을 때 전후방향으로의 회전성분을 의미한다. 이에 대한 결과가 <표 III-4>와 <그림 III-1>, <그림 III-2>, <그림 III-3>, <그림 III-4>에 제시되어있다.

표 III-4. X축 성분의 local term 각운동량

단위 : $\text{kg.cm}^2/\text{sec}$

대상	몸통	상완	전완	손	전체
S1	-25.66	10.38	-7.19	-1.58	-24.05
S2	-17.9	12.58	-8.28	-1.71	-15.31
S3	-39.04	9.2	-3.64	-1.75	-26.22
S4	-32.88	9.07	-7.92	-1.68	-28.41
S5	-21.97	7.81	-5.52	-5.87	-25.55
S6	7.79	6.37	-6.75	-1.29	6.12
S7	2.51	12.37	-4.94	-0.73	9.21
M±SD	-18.16 ± 16.14	9.68 ± 2.11	-6.32 ± 1.56	-2.08 ± 1.57	-14.88 ± 15.97

<표 III-4>에서 X축 성분의 local term 각운동량은 몸통에서 $-18.16 \pm 16.14 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 상완에서 $9.68 \pm 2.11 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 전완에서 $-6.32 \pm 1.56 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 손에서 $-2.08 \pm 1.57 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 전체 $-14.88 \pm 15.97 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$ 로 나타났다. 위 결과로 보아 각 분절별 각운동량의 크기는 몸통, 상완, 전완, 손분절의 순으로 크게 나타나 각운동량이 근위분절에서 원위분절로의 전이가 점진적으로 이뤄지고 있음을 알 수 있다. 전체 각운동량에 대한 기여도와 관련하여 몸통이 가장 크고 손이 가장 작게 나타났는데 이는 각운동량은 관성모멘트와 각속도에 비례하다고 할 수 있는데 몸통이 관성모멘트가 크고 손은 각속도는 빠르지만 관성모멘트가 작기때문으로 분석된다. 상완은 (+)방향으로 회전한 반면 몸통과 전완, 손분절은 (-)방향으로 회전하고 있다. 특히 경력이 짧은 S6과 S7은 다른 대상자들과 달리 몸통에서 (+)값을 보이고 있어 슈팅시 상체가 후방으로 회전하고 있고 상완과 전완에선 다른 대상자들과 비슷한 수치를 보이고 있으나 손에서 작은 수치를 보였고 전체 각운동량에서도 뚜렷한 작은 각운동량을 보이고 있는데 이는 전방회전이 작다는 것을 의미하며 투사순간에 뒷쪽으로 회전하는 경향이 있어 손으로의 각운동량 전이가 원활하게 이뤄지지 않고 있는 것으로 분석된다.

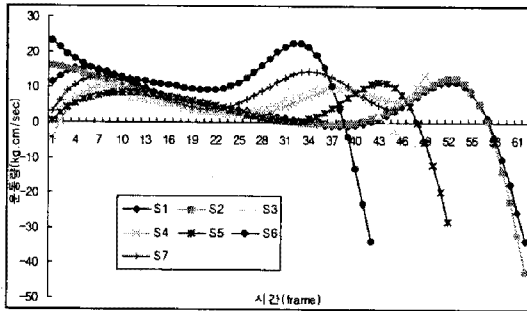


그림 III-2. X축성분의 local term 각운동량(상완)

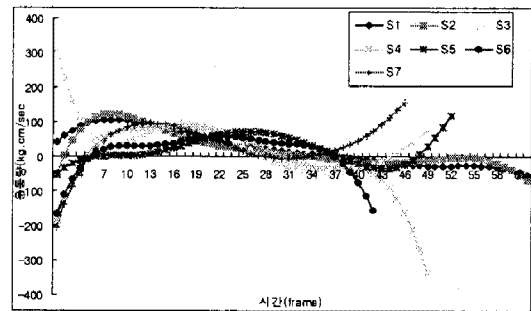


그림 III-1. X축성분의 local term 각운동량(몸통)

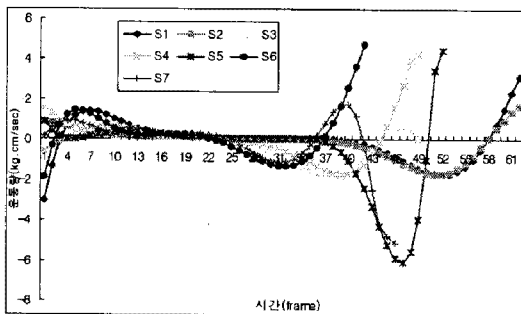


그림 III-4. X축성분의 local term 각운동량(손)

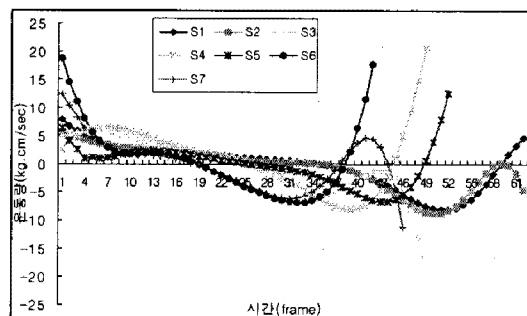


그림 III-3. X축성분의 local term 각운동량(전완)

2) Y축 성분의 local term 각운동량

Y축 성분의 local term 각운동량은 Y축을 기준으로 해서 진행방향의 정면에서 봤을 때 좌우방향으로의 회전성분을 의미한다. 이에 대한 결과가 <표 III-5>와 <그림 III-5>, <그림 III-6>, <그림 III-7>, <그림 III-8>에 제시되어있다.

표 III-5. Y축 성분의 local term 각운동량 단위 : kg.cm²/sec

대 상	몸 통	상 완	전 완	손	전체
S1	19.88	1.39	5.64	0.49	27.4
S2	27.49	2.48	6.53	0.28	36.78
S3	30.81	-0.97	2.68	-0.11	32.41
S4	19.55	1.22	1.92	-1.29	22.4
S5	-7.51	-1.86	2.71	1.84	-7.82
S6	-14.57	-8.84	0.21	-0.37	-23.57
S7	-15.7	-6.44	1.34	0.07	-20.73
M±SD	8.56±18.83	-1.86±3.95	3.0±2.11	0.27±0.69	9.55±26.02

<표 III-5>에서 Y축 성분의 local term 각운동량은 몸통에서 8.56±18.83kg.cm²/sec, 상완에서 -1.86±3.95kg.cm²/sec, 전완에서 3.0±2.11 kg.cm²/sec, 손에서 0.27±0.69kg.cm²/sec, 전체 9.55±26.02kg.cm²/sec로 나타났다.

전체 각 운동량중에서 몸통이 가장 크게 나타났고 그 다음 전완, 상완, 손분절의 순으로 나타났다. <그림 III-5>, <그림 III-6>, <그림 III-7>, <그림 III-8>에서 각운동량의 변화 패턴을 보면 몸통, 상완, 전완, 손분절 모두 투사 준비단계에서부터 투사순간까지 큰 변화없이 일정한 변화 형태를 보이고 있는데 투사순간에 몸통은 우측회전을 보이고 있고, 상완은 약간 좌측회전, 전완은 우측회전, 손은 좌우측회전이 거의 일어나지 않고 있다. 특히 S6과 S7은 다른 대상자들과 달리 좌

측회전을 보이고 있고 상완의 각운동량 변화에서는 투사직전에 크게 좌측회전을 하고 있다. 효율적인 동작을 위해서는 좌우로의 흔들림이 없이 균형을 유지하여 전방으로의 회전을 하면서 자유투가 수행되어야 하는데 S6과 S7은 몸통과 상완에서 좌우측 회전이 일어나고 있음을 알 수 있다.

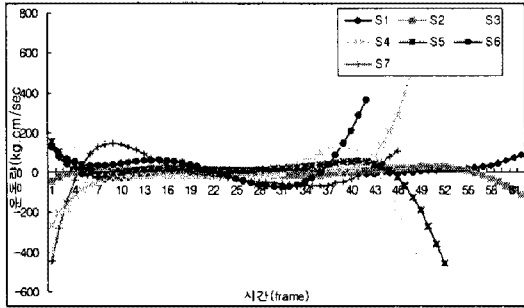


그림 III-5. Y축성분의 local term 각운동량(몸통)

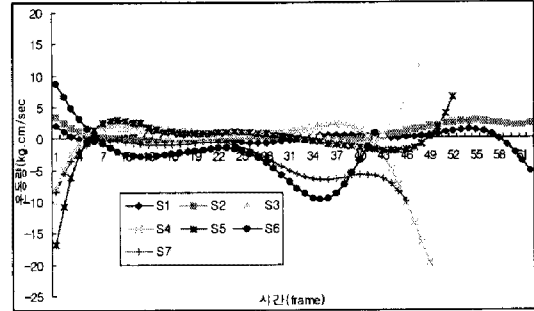


그림 III-6. Y축성분의 local term 각운동량(상완)

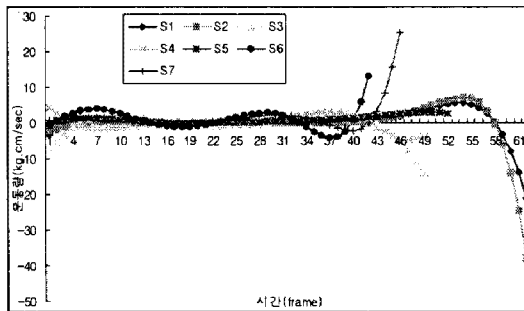


그림 III-7. Y축성분의 local term 각운동량(전완)

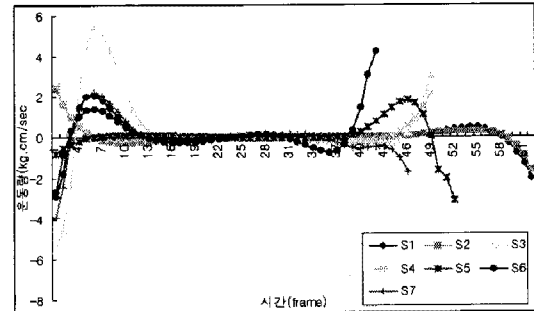


그림 III-8. Y축성분의 local term 각운동량(손)

3) Z축 성분의 local term 각운동량

Z축 성분의 local term 각운동량은 Z축을 기준으로 해서 위에서 봤을 때의 좌우방향으로의 회전성분을 의미한다. 이에 대한 결과가 <표 III-6>과 <그림 III-9>, <그림 III-10>, <그림 III-11>, <그림 III-12>에 제시되어있다.

표 III-6. Z축 성분의 local term 각운동량

단위 : kg.cm²/sec

대상	몸통	상완	전완	손	전체
S1	1.49	-3.08	-2.71	-0.36	-4.66
S2	-6.94	8.27	-3.05	-0.21	-1.93
S3	5.11	5.59	-1.21	-0.37	9.12
S4	4.2	-1.66	-1.44	-0.19	0.91
S5	3.47	3.35	-0.44	1.6	7.98
S6	-8.23	7.08	-1.95	-0.38	-3.48
S7	-6.99	5.12	-2.25	-0.17	-4.29
M±SD	-1.13±5.52	3.52±4.00	-1.86±0.83	-0.01±0.66	0.52±5.79

<표 III-6>에서 Z축 성분의 local term 각운동량은 몸통에서 $-1.13 \pm 5.52 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 상완에서 $3.52 \pm 4.00 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 전완에서 $-1.86 \pm 0.83 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 손에서 $-0.01 \pm 0.66 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$, 전체 $0.52 \pm 5.79 \text{ kg.cm}^2/\text{sec}$ 로 나타났다.

<표 III-6>과 <그림 III-9>, <그림 III-10>, <그림 III-11>, <그림 III-12>에서 각운동량의 변화 패턴을 보면 몸통, 상완, 전완, 손 모두 Z축에서 봤을 때 큰 회전은 없으나 몸통과 전완은 약간 왼쪽으로 회전하고 있고, 상완은 오른쪽으로 회전하고 있으며 손은 거의 변화가 없다. 이는 몸통에서 상완, 상완에서 전완, 전완에서 손으로 진행하면서 반대방향으로 각운동이 일어남으로써 분절간에 서로 상쇄되고 있기때문으로 분석된다. 전체 각 운동량에 대한 기여도는 상완이 가장 크게 나타났으며, 손이 가장 작게 나타났는데, 이는 투사 준비시 해부구조상으로 네 분절이 중심선에 위치하지 않고 손목관절은 왼쪽에 주관절은 우측에 위치하여 투사하는 순간에 상완은 손과 전완의 이동에 따라 우측으로 비틀면서 위로 이동하고 손은 좌우로의 회전이 없이 전방으로만 이동하기 때문으로 분석된다. 특히 S6과 S7은 몸통에서 다른 대상자보다 큰 음의 값(-)을 보였고 다시 상완에서 다소 큰 양의 값(+)을 보였는데 이는 몸통은 좌측으로 흔들리므로 상완은 반대인 우측으로 회전함으로써 각운동량이 상쇄되고 있음을 알 수 있다.

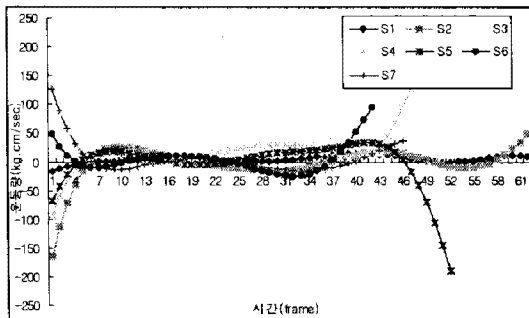


그림 III-9. Z축성분의 local term 각운동량(몸통)

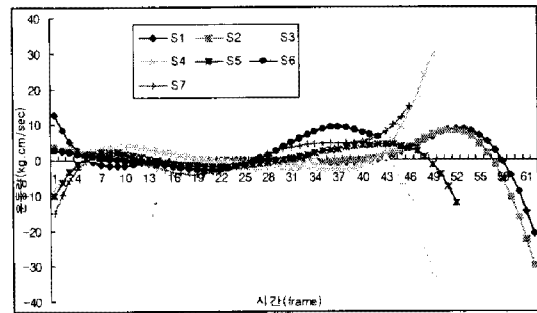


그림 III-10. Z축성분의 local term 각운동량(상완)

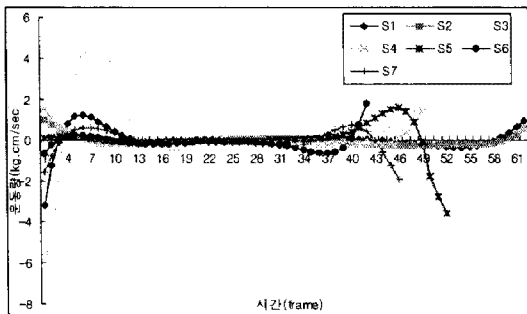


그림 III-12. Z축성분의 local term 각운동량(손)

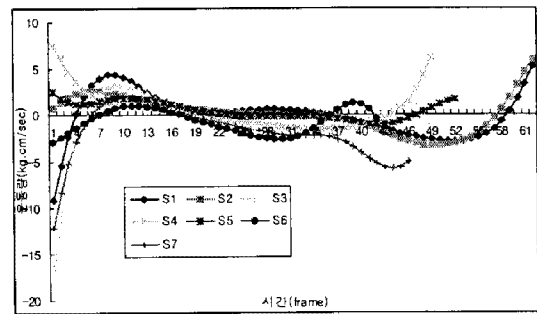


그림 III-11. Z축성분의 local term 각운동량(전완)

나. remote term 각운동량

1) X축 성분의 remote term 각운동량

X축 성분의 remote term 각운동량이 <표 III-7>과 <그림 III-13>, <그림 III-14>, <그림 III-15>, <그림 III-16>에 제시되어있다.

표 III-7. X축 성분의 remote term 각운동량

단위 : kg.cm²/sec

대 상	몸 통	상 완	전 완	손	전 체
S1	1477.71	353.37	213.39	-129.28	1915.19
S2	1676.34	401.57	214.93	-135.56	2157.28
S3	1729.12	329.85	231.56	-117.73	2172.8
S4	1731.9	409.3	216.99	-12091	2237.28
S5	1282.1	425.31	317.92	-90.11	1935.22
S6	2178.41	640.34	604.35	26.31	3449.43
S7	2082.21	543.82	398.56129.28	21.1	3045.69
M±SD	1736.82±290.79	443.36±102.19	313.95±135.02	-78.02±65.69	2416.12±592.23

<표 III-7>에서 X축 성분의 remote term 각운동량은 몸통에서 1736.82±290.79kg.cm²/sec, 상완에서 443.36±102.19kg.cm²/sec, 전완에서 313.95±135.02kg.cm²/sec, 손에서 -78.02±65.69kg.cm²/sec, 전체 2416.12±592.23kg.cm²/sec로 나타났다.

위 결과에서 전체 각운동량에 대한 기여도는 몸통이 가장 크게 나타났으며 다음으로 상완, 전완, 손 순으로 보여 근위 분절에서 원위 분절로의 운동량 전이가 원활하게 이루어지고 있다. 전체 각운동량에 대한 기여도와 관련하여 몸통이 가장 크고 손이 가장 작게 나타났는데 이는 각운동량은 관성모멘트와 각속도에 비례하다고 할 수 있는데 몸통이 관성모멘트가 크고 손은 각속도는 빠르지만 관성모멘트가 작기때문으로 분석된다. S6과 S7은 손에서 양의 값(+)을 보이고 있는데, <표 III-4>에서와 같이 X축 성분의 local term 운동량에서 다른 대상자들과 달리 작은 운동량을 보인 것과 관련이 있는 것으로 슈팅 시 적절한 손목의 스냅이 이루어지지 않고 있는 것으로 분석된다. <그림 III-13, 14, 15, 16>에서 각운동량의 변화 패턴을 보면 remote term 각운동량은 <표 III-4>와 <그림 III-1, 2, 3, 4>에서와 같이 local term 각운동량과 비슷한 변화 패턴을 보이고 있지만 수치상으로는 remote term 각운동량이 매우 크게 나타남을 알 수 있다.

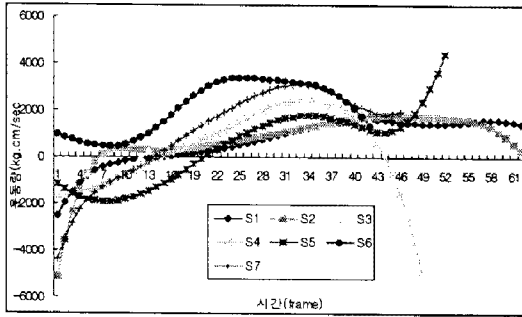


그림 III-13. X축성분의 remote term 각운동량(몸통)

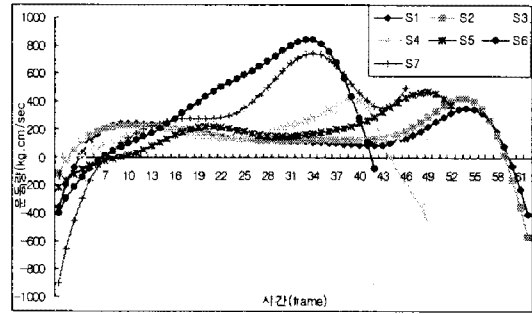


그림 III-14. X축성분의 remote term 각운동량(상완)

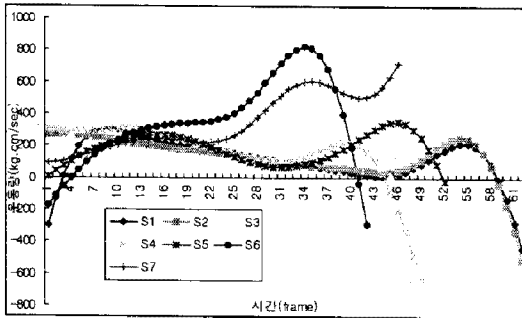


그림 III-15. X축성분의 remote term 각운동량(전완)

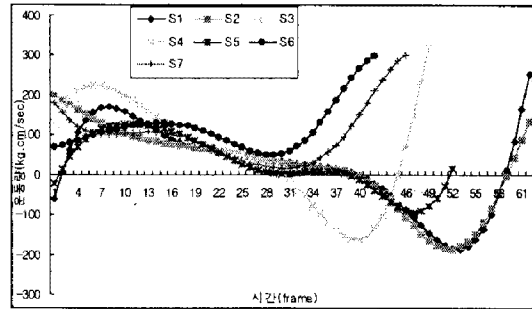


그림 III-16. X축성분의 remote term 각운동량(손)

2) Y축 성분의 remote term 각운동량

Y축 성분의 remote term 각운동량이 <표 III-8>과 <그림 III-17>, <그림 III-18>, <그림 III-19>, <그림 III-20>에 제시되어있다.

표 III-8. Y축 성분의 remote term 각운동량

단위 : kg.cm²/sec

대상	몸통	상완	전완	손	전체
S1	-709.84	-304.31	-228.22	3.62	-1278.75
S2	-516.82	-288.11	-216.48	-21.69	-1043.1
S3	117.49	-241	-196.12	-12.69	-331.9
S4	-697.92	-335.51	-137.47	-19.61	-1190.51
S5	-671.65	-272.07	-181.26	-40.75	-1165.73
S6	-1566.36	-452.02	-378.51	-78.12	-1934.01
S7	-963.12	-422.47	-311.24	-70.21	-1767.04
M±SD	-715.46±466.12	-330.78±72.85	-235.61±76.25	-34.14±28.15	-1244.43±521.56

<표 III-8>에서 Y축 성분의 remote term 각운동량은 몸통에서 $-715.46 \pm 466.12 \text{kg.cm}^2/\text{sec}$, 상완에서 $-330.78 \pm 72.85 \text{kg.cm}^2/\text{sec}$, 전완에서 $-235.61 \pm 76.25 \text{kg.cm}^2/\text{sec}$, 손에서 $-34.14 \pm 28.15 \text{kg.cm}^2/\text{sec}$, 전체 $-1244.43 \pm 521.56 \text{kg.cm}^2/\text{sec}$ 로 나타났다.

위 결과로 보아 전체 각운동량 중에서 몸통이 가장 크고 다음이 상완, 전완, 손분절의 순으로 나타났다. <그림 III-17>, <그림 III-18>, <그림 III-19>, <그림 III-20>에서 각운동량 변화의 패턴을 보면 몸통, 상완, 전완, 손분절 모두 슈팅 준비단계에서부터 슈팅 시까지 전반적으로 좌측회전을 하고있으며 특히 S6과 S7은 슈팅직전에 네 분절 모두에서 크게 음의 수치(-)를 보여 좌측회전을 하고 있다. 슈팅시 효율적인 동작을 위해서는 좌우로의 흔들림을 최소화하여 균형을 유지하여 슈팅이 이루어져야 하는데 대상자 모두 좌측회전을 하고 있고 S6과 S7은 중심이 크게 흔들려서 불안정한 자세를 취하고 있다. 네 분절 모두 음의 값(-)을 보이고 있어 좌측회전을 하고 있는 것으로 분석된다.

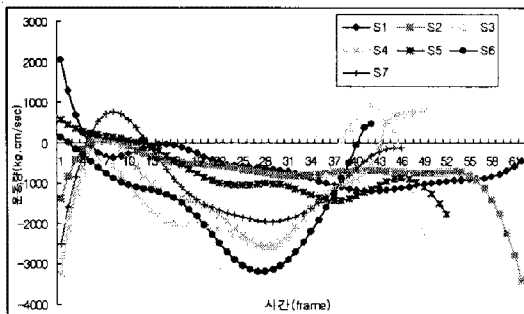


그림 III-17. Y축성분의 remote term 각운동량(몸통)

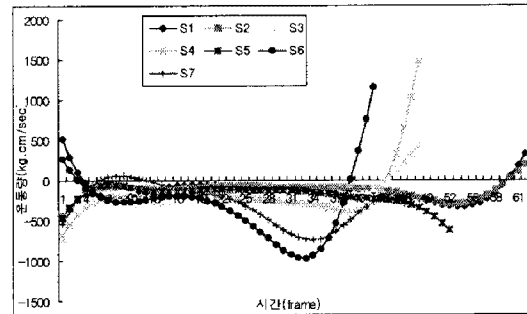


그림 III-18. Y축성분의 remote term 각운동량(상완)

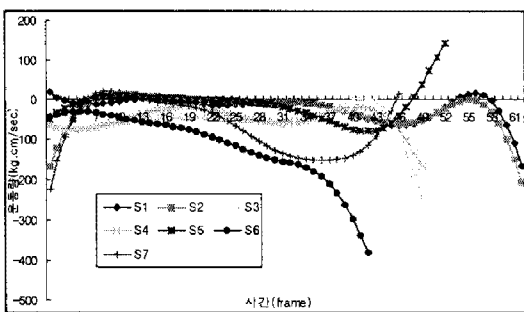


그림 III-20. Y축성분의 remote term 각운동량(손)

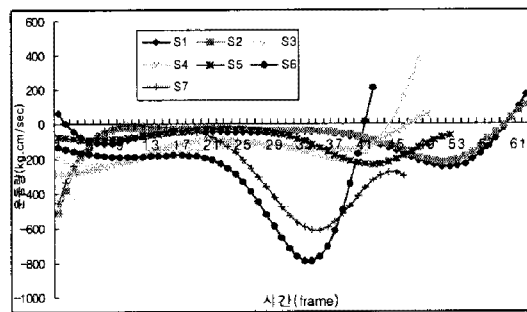


그림 III-19. Y축성분의 remote term 각운동량(전완)

3) Z축 성분의 remote term 각운동량

Z축 성분의 remote term 각운동량이 <표 III-9>와 <그림 III-21>, <그림 III-22>, <그림 III-23>, <그림 III-24>에 제시되어있다.

표 III-9. Z축 성분의 remote term 각운동량

단위 : kg.cm²/sec

대 상	몸 통	상 완	전 완	손	전체
S1	91.54	41.57	58.59	15.13	206.8
S2	-9.8	18.22	52.12	24.84	85.38
S3	-21.71	-7.21	11.24	30.8	13.12
S4	-12.1	5.06	-4.28	44.28	32.96
S5	96.27	-0.83	1.73	17.65	114.82
S6	101.65	30.1	73.12	25.8	230.67
S7	49.38	25.58	67.66	27.25	169.87
M±SD	42.17±51.65	16.07±16.43	37.16±30.59	26.53±8.83	121.95±84.13

<표 III-9>에서 Z축 성분의 remote term 각운동량은 몸통에서 42.17±51.65kg.cm²/sec, 상완에서 16.07±16.43kg.cm²/sec, 전완에서 37.16±30.59kg.cm²/sec, 손에서 26.53±8.83kg.cm²/sec, 전체 121.95±84.13kg.cm²/sec로 나타났다.

위 결과로 보아 전체 운동량 중 몸통과 전완의 운동량이 크고 상완과 손의 운동량은 작게 나타났는데 이는 몸통은 관성능률이 크고 전완은 각속도가 빠르기 때문이며 상완과 손의 운동량이 작게 나타난 것은 상완은 각속도가 늦고 손은 각속도는 빠르나 관성능률이 작기 때문으로 분석된다. 위에서 봤을 때의 회전상태는 네 분절 모두 양의 값(+)으로 나타나 우측회전을 하는 것으로 나타났다. 특히 상완은 우측회전이 작고 전완은 우측회전이 크게 나타났는데 이는 상완은 몸통이 고정되어 있어 회전이 작고 전완은 투사시 주관절의 신전이 급격하게 일어나면서 우측으로 비틀기 때문으로 분석된다. <그림 III-21>, <그림 III-22>, <그림 III-23>, <그림 III-24>에서 각운동량 변화 패턴을 보면 네 분절 모두 우측회전을 유지하고 있지만 S6과 S7은 네 분절 모두에서 슈팅직전에는 양의 수치(+)를 보여 우측회전을 보이다 슈팅 후엔 음의 수치(-)를 보여 좌측회전을 함으로서 중심이 흔들림을 알 수 있다.

각운동량의 일반적인 패턴은 local term 각운동량과 remote term 각운동량이 비슷한 변화 형태를 갖고 있으며 X, Y, Z축 모두에서 remote term 각운동량이 local term 각운동량보다 크게 나타났다.

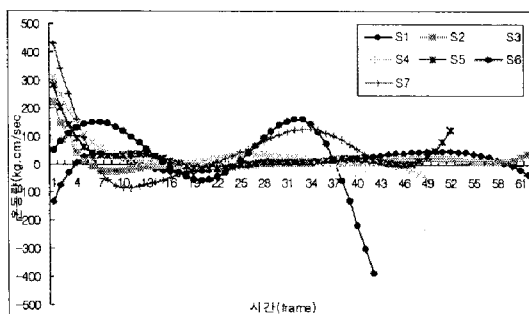


그림 III-22. Z축성분의 remote term 각운동량(상완)

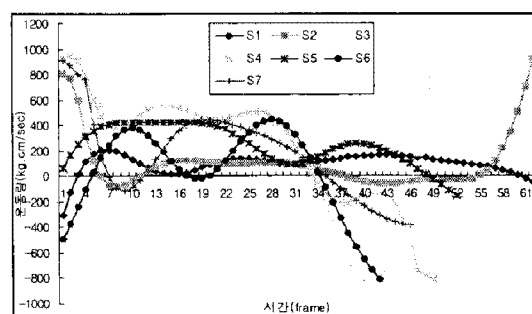


그림 III-21. Z축성분의 remote term 각운동량(몸통)

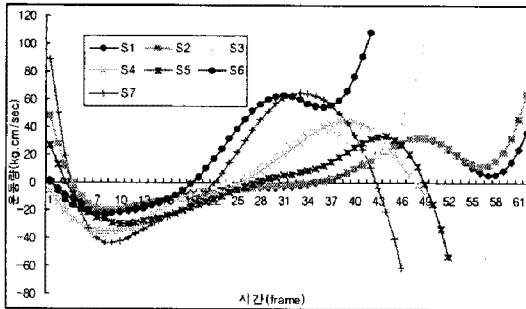


그림 III-24. Z축성분의 remote term
각운동량(손)

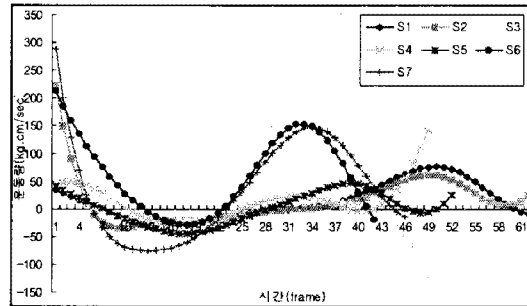


그림 III-23. Z축성분의 remote term
각운동량(전완)

IV. 결론

농구의 자유투시 상지 분절의 운동량 추이를 분석하여 안정되고 정확한 자유투 동작을 실시하는데 기초자료를 제공하고자 대학 농구 선수 7명을 대상으로 비디오 카메라로 촬영하여 DLT 방법을 이용하여 3차원좌표를 산출하였다. 분석 내용은 상지분절의 속도와 각속도, 각도, 각운동량 등이었다. 이를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 농구 자유투 동작시 상지분절의 속도와 각속도는 근위분절에서 원위 분절로 진행할수록 빠르게 증가하여 속도전이가 원활하게 이루어졌다.
2. local term과 remote term 각운동량은 X, Y, Z축에서 원위분절보다 근위분절에 가까울수록 각운동량이 크게 나타났다.
3. remote term 각운동량이 local term각운동량보다 X, Y, Z의 모든 축에서 크게 나타났다.
4. Y축성분과 Z축성분의 local term각운동량에서 몸통과 상완, 상완과 전완의 각운동이 반대방향으로 작용하여 각운동량이 대칭을 이루었다.
5. Y축성분의 remote term 각운동량에서 상지분절 모두 좌측회전을 하였고 Z축성분의 remote term 각운동량에서는 상지분절 모두 우측회전을 하였다.

참 고 문 헌

- 김영태(1991). 농구 점프슛 동작의 운동학적 분석. 연세대학교교육대학원 석사학위논문.
- 명운식(1997). 농구 자유투의 시차별 성공률 분석. 인하대학교교육대학원 석사학위논문.
- 박성운(2001). 농구 자유투 동작의 운동학적 분석. 전남대학교대학원 석사학위논문.
- 박제영(1997). 여자농구 선수들의 신장에 따른 점프 슛 동작의 운동학적 분석. 경기대학교대학원 박사학위논문.
- 백승국(2000). 농구 3점슛에 대한 성공과 실패 동작의 비교분석. 한국스포츠리서치, 제 11권 4호, pp.163~172.
- 오정환, 조필환(2001). 농구 자유투 동작시 신체분절의 각도에 대한 숙련자와 미숙련자간의 운동학적 비교분석. 한국체육교육학회지, 제5권 2호, pp.209~216
- 이동진(1999). 농구 3점슛 동작에 대한 운동학적 분석. 충남대학교 교육대학원 교육학석사학위논문.
- 이병원(1998). 농구 원핸드 점프 슛에서 슛거리와 신장이 동작의 역학적 변인에 미치는 영향. 한국운동역학회지, 제 8권 2호.
- 주명덕(1989). Computer Simulation을 통한 농구의 프리도로우 슛팅과 3점 피일드 슛팅시 최적 투사각도와 투사속도에 관한 연구. 한국체육학회지, 제 28권 1호, pp.157~164.
- 최지영(1992). 투사거리에 따른 농구 점프 슛 동작의 운동학적 분석. 연세대학교대학원 석사학위논문.
- Abdel-Aziz, Y.I., & Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry* (pp. 1-18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Barrentine, S.W., Matsuo, T., Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., & Andrews, J.R.(1998). Kinematics analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(1), pp.24-39.
- Brancazio, P.J.(1983). *The science of basketball shooting*. Sports Science: Physical Laws and optimum Performance, A division of Simon and Schuster, Inc., pp.306-314.
- Cooper, J.M., Adrian, M.J. & Glassow, R.B.(1982). Basketball shooting. *Kinesiology*, 5th. Mosby Company.
- Elliott, B., Takahashi, K., & Noffal, G.(1997). The influence of grip position on upper limb contributions to racket head velocity in a tennis forehand. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), pp.182-196.

- Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., Barrentine, S.W., Zheng, N., & Andrews, J.R.(1998). Kinematic Comparisons of throwing different types of baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(1), pp.1-23.
- Feltner, M., & Dapena, J.(1986). Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2(4), pp.235-259.
- Feltner, M., & Dapena, J.(1989). Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain: Part I. General model. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5(4), pp.403-419
- Fleisig, G.S.(1994). *The biomechanics of baseball pitching*. Unpublished doctoral dissertation, University of Alabama at Birmingham.
- Fleisig, G.S., Dillman, C.J., Escamilla, R.F., & Andrews, J.R.(1995). Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanics. *American Journal of Sports Medicine*, 23(2), pp.233-239.
- Hay, J.G.(1985). *The biomechanics of sports Techniques*, Prentice-Hall Inc., 3rd Ed.
- Hayes, D.(1989). Body contribution to free throw shooting in basketball. *Biomechanics in sports V*. pp.205-211.
- Holt, L.E., & Yates, G.(1983). The development of multiple linear regression equation to predict accuracy in basketball jump shooting. *Biomechanics in sports*. Research for center for sports, pp.103-109.
- Hudson, J.L.(1983). A biomechanics analysis by skill level of free throw shooting in basketball. *Biomechanics in N sports*. Research center for sports, pp.95-102.
- Kwon, Y.-H. (1994). *KWON3D Motion Analysis Package 2.1 User's Reference Manual*. Anyang, Korea: V-TEK Corporation.
- Maeda, M., Shamoto, E., Moriwaki, T., & Nomura, H.(1999). Measurement of applied force and deflection in the javelin throw. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(4), pp.429-442.
- Satern, N.N., Messier, S.T., & McNulty, K.(1989). The effect of ball size basket height the mechanics of basketball free throw. *Journal of human movement studies*, 16(3), pp.123-137.
- Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement* (2nd Ed.), New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.