



## 볼링 투구동작의 운동역학적 연구 Biomechanical Analysis of a Bowling Swing

이해명\* · 이성철 · 이해동(연세대학교)  
Lee, Hae-Myeong\* · Lee, Sung-Cheol · Lee, Hae-Dong

---

### ABSTRACT

H. M. LEE, S. C. LEE, H. D. LEE, Biomechanical Analysis of a Bowling Swing, Korean Journal of Sports Biomechanics, 2006, Vol. 16, No. 3, pp. 53-63, 2006. The general objective of this study was to investigate biomechanical characteristics of bowling swing using three-dimensional cinematography. This study focused specifically on movements of the upper body segments during a bowling swing.

Eight elite female bowling players participated in this study. Subjects performed bowling swing and their performance was sampled at 60 frame/sec using two high-speed video cameras with a synchronizer. After digitizing images from two cameras, the two-dimensional coordinates were used to produce three-dimensional coordinates of the 12 body segments (20 joint reference makers). The obtained three-dimensional coordinates were fed to a custom-written kinematic and kinetic analyses program (LabView 6.1, National Instrument, Austin, TX, USA). The analyses determined the linear and angular kinematic variables of the body segments with which joint force and torque of the lower and upper trunks and the shoulder were estimated based on the Newton-Euler equations.

It was found that during the bowling swing the peak linear velocities of the body segments were reached in sequence the trunk, the shoulder, the elbow, the wrist, and the bowl. This result indicates that linear momentum of the lower body and the trunk transmits to the arm segment during the bowling swing.

The joint torques of the torso and the arm occurred almost simultaneously, indicating that bowling swing seem to be a push-like motion, rather than a proximal-distal sequence motion in which many of throwing motions are categorized.

The ultimate objective of the bowling swing is to release a heavy-weight bowl with power and consistency. Therefore, the bowling swing observed in this study well agrees with that bowlers use the stepping to increase the linear velocity of the bowl, the simple pendulum system and the push-like segmental motion in the torso and the arm segment to enhance the power at the release of the bowl.

**KEYWORDS: BOWLING SWING, FOCUS, VELOCITY**

---

## I. 서론

### 1. 볼링 투구동작의 선행연구

볼링은 최고 7.25kg의 공을 이용하여 파울라인으로부터 약 18m 앞의 정삼각형 대열로 선 10개의 핀을 맞추는 경기로써 승패는 많은 핀을 쓰러뜨려 높은 점수 총계를 얻는 것에 의해 결정지어진다. 그러므로 볼링 투구의 궁극적인 목표는 정확하고 파워 있는 투구동작을 항상성 있게 수행하는 것이다.

볼링 스윙동작은 일반적인 던지기 동작 가운데 팔이 아래로 향하여 던지는 동작(*underarm throwing*)으로 분류되고 있다(Kreighbaum과 Bathels, 1990). 이러한 동작의 특성을 이해하기 위해서는 스윙하는 팔의 운동학적 변인들과 그 변인들을 발생시키는 분절 간의 상호작용과 관절력(*joint force*), 그리고 관절 회전력(*joint torque*)등에 관한 이해가 요구된다. Plagenhoef(1971), Putnam(1983) 등은 Burn(1972)의 스피드와 힘 총합의 원리(*summation of speed, summation of force*)를 사용하여 한 분절에서 발생하는 각가속도 요인이 인접분절에 영향을 미치는 것을 찾아내어 분절들이 상호작용하는 방식을 설명하였다. Feltner와 Dapena(1986)는 야구 피칭동작의 3차원 모델을 사용하여 던지기 동작의 해부학적 각운동을 설명하고 팔 분절에서 발생하는 각가속도의 요인과 관련된 상체와 팔 분절의 상호작용과 어깨와 팔꿈치 관절에서 발생하는 토크를 설명하였다. 또한, 여러 연구자들은 분절들의 동작에 영향을 주는 힘(*force*) 또는 토크(*torque*)의 값을 검증하기 위한 모의 실험(*simulation*)을 하여(Mena, Mansour, & Simon, 1981), 모의동작(*simulated motion*)을 실현하였다(Feltner & Dapena, 1986). 또 다른 연구자들은 체인(*chain*) 안의 분절의 운동학적 변인들과 같은 기능을 하는 운동역학적 체인 안의 관절 힘들을 나타내는 모델을 사용해 왔다(Chapman, Lonergan, & Caldwell, 1984; Mena et al., 1981; Putnam, 1980, 1983; Wahrenburg, Lindbeck & Ekholm, 1978; Winter & Robertson, 1978). 이와 같이, 분석적인 방법을 통하여 효율적으로 분절에서 생성된 관절 토크와 관련된 개

분절의 각가속도 요인들을 세분화하는데 사용되고 있으며, 관절 토크는 해당되는 분절의 근 활동에 대한 정보를 제공 할 수 있다고 하였다(Andrews, 1982).

### 2. 최근 볼링투구동작의 연구경향

최근 볼링 투구동작에 관한 연구는 스윙 기술을 진자운동(*pendulum motion*)의 원리로 접근하는 등 물리적인 법칙으로서 설명하려는 체계적이고 과학적인 연구가 시도되고 있다(Adrian & Cooper, 1989). 볼을 잡는 그립(*grip*)의 문제로부터 연속되는 일련의 동작 후 팔로우 스루(*follow through*)까지의 전체적인 동작 설명을 통해 볼링의 가장 이상적인 자세를 모델화시키려는 연구를 통해 볼링 기술의 발전을 가져왔다. 박성순, 이경일(1997)은 볼링투구형태의 운동역학적 분석에서 신체운동량의 증감을 분석하였는데 이를 신체중심의 수평속도의 차이로 설명하였다. 이훈표(2004)는 볼링 릴리즈 시 볼의 속도에 대한 상지분절의 기여도와 착지구간의 역학적 변인과의 관계에 대한 연구에서 볼의 속도에 대한 상지분절의 기여도를 연구하였는데 운동학적 요인과 함께 구간별 지면반력을 분석하였다. 하지만 볼링투구 동작 시 몸통과 팔분절의 상호 유기적인 움직임의 운동역학적인 연구는 미흡하다.

### 3. 연구의 필요성 및 목적

볼링에서 가장 중요하게 고려해야 할 것은 스윙동작과 스텝의 조화를 통한 투구 동작의 파워와 항상성이다. 투구 동작 중 팔의 스윙 동작이 일관성 있게 수행되고 스텝과의 타이밍이 유기적으로 이루어 질 때 이상적인 투구동작을 할 수 있다. 릴리즈 시 볼에 전달되는 파워는 투구 동작 중 발생하는 관절들 간의 유기적인 조화가 중요한 요인이라고 볼 수 있다. 그러므로 볼링 동작의 일반적이고 전체적인 동작의 설명과 더불어 몸통과 상지분절의 유기적인 움직임을 연구하는 것이 전체 동작패턴을 이해하여 이상적인 투구모형을 제시하는데 유용한 정보를 제공하리라 생각된다.

본 연구에서는 첫째, 볼링투구 동작의 3차원적 영상 분석을 통하여 분절의 운동학적 변인을 통해 관련 분절

들의 운동을 설명하고 둘째, 볼링 투구동작 시 몸통의 운동과 스윙하는 팔에서 어떤 유기적인 움직임이 일어나는가 몸통분절과 팔분절의 운동역학적 특성을 알아보고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구의 대상으로 현재 볼링 국가대표선수인 오른손을 사용하는 8명의 여자 선수가 피험자로 참여하였다<표 1>.

### 2. 영상데이터의 수집

영상촬영은 3차원 영상분석을 위해 2대의 6mm 디지털 비디오카메라(GR-DVL9500, JVC, Japan)로 촬영하였다. 카메라의 위치는 첫 번째 카메라의 경우 동작 수행면인 시상면과 수직인 곳에 두 번째 카메라는 동작을 수행하는 정측면에 설치하였다. 비디오카메라의 촬영속도는 분당 60f/s의 촬영속도로 촬영하였다. 분석될 영상자료는 피험자가 실행한 초구 투구동작 중 투구과정과 마지막 착지동작이 안정적인고 결과적으로 스트라이크를 기록한 동작을 선정하였다. 이렇게 촬영된 영상

자료는 Ariel Performance Analysis System(APAS)를 통하여 텍스트 파일(.txt)을 얻고 이 3차원 좌표 값은 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 6.1 graphical software를 이용하여 작성한 프로그램으로 운동학적, 운동역학적 자료를 계산하였다.

### 3. 동작구간의 설정

본 연구에서는 볼링 투구동작 시 팔의 스윙동작과 다리의 스텝을 연관 지어 다음과 같이 다섯 개 국면으로 나누어 분석에 사용 하였다<그림 1>. 제 1국면은 푸쉬어웨이(push away: PA)국면으로 어드레스(address: AD)로부터 어깨관절의 각도가 양의 최대값을 갖는 시점으로 첫 번째 스텝 구간이다. 제 2국면은 다운스윙(down swing: DS)까지로 두 번째 스텝이 이와 동시에 이루어진다. 제3국면은 백스윙(back swing)의 끝 시점까지로 세 번째 스텝이 이루어지며, 제 4국면은 포워드스윙(forward swing:FS)국면으로 백스윙의 정점에서부터 공이 손에서 떨어지는 릴리즈(release: RL) 순간까지로 정의하였다. 제 5국면은 릴리즈 순간부터 동작의 끝점까지 팔로우 스루(follow through: FT)국면으로 정의 하였다<그림 1>.

표 1. 연구대상자의 특성

피험자	연령(age)	체중(kg)	신장(m)	경력(year)	평균점수(점)
1	25	73	1.65	12	205
2	23	51	1.65	9	199
3	23	68	1.64	11	203
4	21	62	1.66	10	201
5	18	59	1.60	10	198
6	20	60	1.72	7	200
7	18	70	1.69	6	197
8	17	67	1.67	5	200
mean ± SD	20.63 ± 2.88	63.75 ± 7.1	1.66± 0.04	8.75 ± 2.49	200.38 ± 2.62

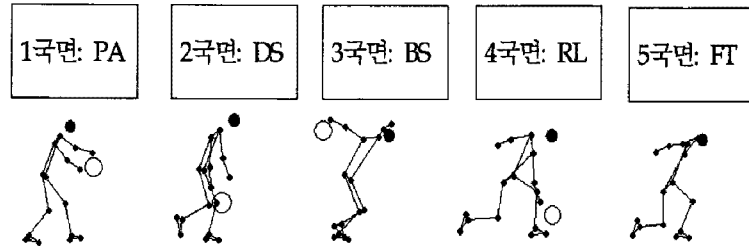


그림 1. 볼링 투구동작의 동작 구간

### Ⅲ. 연구결과 및 논의

#### 1. 투구동작 소요시간

투구동작 소요시간은 1국면부터 5국면까지인 푸쉬어웨이 국면, 다운스윙 국면, 백스윙 국면, 릴리즈 국면 및 팔로우 스루 국면의 시간을 전체 투구동작 소요시간에 대한 백분율(%)로 환산하였다. 1국면인 어드레스 후 푸쉬어웨이 끝나는 시점까지의 동작 소요시간이 전체 동작 소요시간의 평균 36%로 가장 긴 소요시간을 나타냈고, 다운스윙까지가 평균 11%로 짧은 동작 소요시간을 나타냈다. 숙련자를 대상으로 한 본 연구에서는 전체 투구동작 시간에 대한 각 구간의 상대적 비율이 피험자 간에 표준 편차 5% 이내로 유사한 패턴을 나타냈다.

#### 2. 공의 최대 수직 높이

단진자 운동의 원리를 이용하는 볼링 스윙동작에서 높은 수직위치에 있는 공의 위치에너지는 다운스윙 시 운동에너지로 전환되어 공의 파워를 높일 수 있는 요인으로 작용한다. <표 2>는 전체 투구 동작 시 공의 최대 수직높이를 피험자의 신장에 대한 백분율로 환산한 것이다.

투구동작 시 공의 최대수직높이는 백스윙 정점에서 평균 1.42m였고 신장에 대한 백분율로 나타냈을 때 평균 신장의 86%를 나타냈다. 피험자 4의 공의 최대수직높이가 1.65m로 신장에 대한 백분율로 계산 하였을 때 99%에 달해 최고를 나타냈다. 이해명(1997)은 숙련자와 비숙련자의 공의 최대수직변위의 차이를 비교하였는데

표 2. 공의 최대수직높이와 신장에 대한 백분율

피험자	신장(m)	공의 최대수직높이(m)	신장에 대한 백분율(%)
1	1.65	1.23	74.6
2	1.65	1.31	79.4
3	1.64	1.51	92.1
4	1.66	1.65	99.4
5	1.60	1.29	80.6
6	1.72	1.34	77.9
7	1.69	1.53	90.5
8	1.63	1.46	89.6
mean±SD	1.66±0.04	1.42±0.14	85.5±8.6

그 결과 숙련자가 비숙련자에 비해 3% 더 크게 나타났고 숙련자의 경우 신장에 대한 백스윙 정점의 높이가 평균 65%였다. 이는 본 연구 결과와 약 10%의 차이를 보이는데 이는 높은 백스윙을 이용하는 최근 숙련자들의 일반적인 볼링 투구동작 유형의 변화로 인한 것으로 생각된다.

#### 3. 신체중심의 운동

본 연구 결과에서 신체중심의 상하방향으로의 변위를 보면 어드레스 시에 신체 중심의 높이가 평균 0.94m를 나타냈고 푸쉬어웨이 시에는 0.92m, 다운스윙 시에는 0.86m로 낮아진 후 백스윙 시 0.90m로 다시 높아졌다. 그리고 릴리즈 시에 0.71m로 가장 낮은 신체 중심높이의 변화를 보였다. <그림 2>에서 신체중심의 이동변위는 피험자 간에 비슷한 패턴을 보였는데 푸쉬어웨이에서 다운스윙이 되면서 낮아진 변위는 백스윙에서 평균 0.90m로 가장 높은 변위를 보였다. 그 후 릴

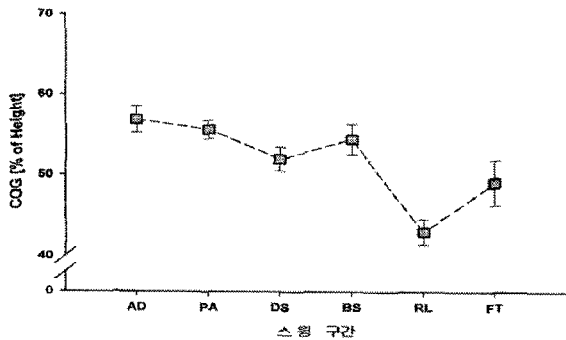


그림 2. 국면별 신체중심의 변화

리츠로 가면서 낮아진 후 릴리즈 직후에 가장 낮은 변위를 보였다. 신장에 대한 상대적 신체중심점(COG)의 높이는 어드레스부터 백스윙 정점 까지 큰 변화를 보이지 않았고 백스윙 후 릴리즈에 이르는 구간에서 급격한 변화를 보였다. 릴리스 시 낮은 신체중심은 안정된 투구 동작을 위한 기본적 요인이다. 본 연구에서 나타난 결과는 선행 연구 결과 (이기청, 1990; 신성휴, 손명성, 구희성, 김은경, 1999)에서 나타난 바와 같이 릴리스 시 가장 낮은 신체중심점 높이를 나타냄으로써 그 기본적 인 요소를 확인하였다.

본 연구에서 신체중심의 좌우방향으로의 변위는 유의하지 않은 것으로 관찰되었다. 이기청(1990)은 좌우 이동경로는 레인의 오른쪽에서 출발하여 왼쪽, 즉 대각으로 진행하는 것으로 나타났다고 피험자 모두 0.21-0.84m 범위 내에서 인체중심의 이동변위를 갖기 때문에 투구 동작의 일관성과 스포트 겨냥에서의 유리함을 가질 수 있다고 하였다. 이훈표(2004)는 볼링 릴리즈 시 공의 속도에 대한 상지분절의 기여도와 착지구간의 역학적 변인과의 관계의 연구에서 신체중심의 좌우 이동은 숙련자의 경우 백스윙 정점에서 릴리즈, 팔로우 스루까지 계속 우측으로 중심이동을 하였고 이는 숙련자들이 릴리즈 시 착지발이 좌측에서 우측으로 들어오는 인사이드 스텝을 하고 있기 때문이라고 하였다. 이와 상반된 선행 연구결과로서, 신성휴, 손명성, 구희성, 김은경(1999)은 프로 볼링선수의 투구동작을 운동학적으로 분석하였는데 인체 중심의 좌우로의 이동은 거의 없고 상하로의 변화는 첫 스텝에서부터 낮아지기 시작해 릴리즈 동작에서는 최대로 낮추어 일관성을 유지한다고 하였다. 본 연구와 선행연구에서 나타난 신체중

심의 좌우 이동경로는 투구동작의 차이보다 어드레스 위치나 사용하는 스포트에 따라 피험자 간에 좌우 방향의 진행경로의 차이가 나타날 수 있으므로 특정한 결과를 일반화시키는 데는 무리가 있다.

신체중심의 수평이동변화를 보면 숙련자 집단이 백스윙의 정점에서 릴리즈 구간까지 평균 0.27m로 신체중심의 투구 진행방향 변위를 길게 하여 큰 투구동작을 얻으려 했고, 이에 의해 얻어진 진행방향의 힘은 릴리즈 시 슬라이딩 동작을 유발시킴으로써 공의 진행방향으로의 속도를 부가하려 한다고 하였다. 신체 중심의 수직 이동변화는 두 집단 모두 백스윙의 정점에서 릴리즈에 이르는 동안 하방으로 감소하다가 릴리즈 후 상방으로 증가하는 형태를 보였다. 이는 릴리즈 시 안정된 자세를 취하기 위해 하방으로 무게중심을 낮추는 동작이라 하였다. 릴리즈 후의 상방으로의 신체중심 이동은 릴리즈 시 공에 탄력을 주어 공의 속도와 자전력의 증가를 모색하는 것이라 하였다.

#### 4. 선형속도

##### 1) COG, 공, 손목, 팔꿈치, 어깨의 선형속도

x방향은 분절의 좌우 방향으로 COG, 공, 손목, 팔꿈치, 어깨에서 모두 선형속도의 변화가 미미한 것으로 나타났다. 이는 팔분절이 진자운동과 같이 2차원 상에서 이루어지고 있음을 입증한다고 볼 수 있다. y방향은 분절의 진행방향으로의 선형속도는 COG의 경우 백스윙 정점을 지나면서 최대속도를 냈고 릴리즈 시에 급격한 속도의 감소를 보였다. 이와 반대로 공, 손목, 팔꿈치의 경우는 백스윙 정점에서 릴리즈 시점으로 가는 구간에 급격한 증가를 보였다. COG의 선형속도는 다운스윙이 시작 되면서 증가하기 시작하여 릴리즈 시에는 감소를 보이고 팔분절과 공의 선형속도는 이와 반대로 백스윙으로부터 릴리즈 시까지 증가를 보임으로 스텝으로 인한 COG의 직선운동량이 공으로 전이 된 것이라 볼 수 있다. z방향은 분절의 상하방향으로의 선형속도로 COG의 경우 백스윙 정점에서 릴리즈 시까지 증가를 보였다<그림 3>.

이 결과를 종합해 볼 때 COG가 다운스윙에서 백스윙 시점으로 가면서 진행방향으로의 선형속도의 증가

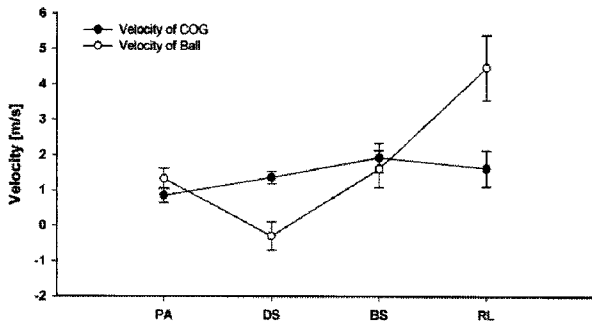


그림 3. 공과 신체중심점의 평균선형속도

를 먼저 보이고 반대로 공과 팔분절은 백스윙 시점에서부터 릴리즈 시점으로 갈수록 선형속도의 증가를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 스텝으로 인한 COG의 진행방향으로의 직선운동량이 팔분절의 운동으로 전이되고 있다고 볼 수 있다.

공과 신체중심점의 평균 선형속도는 백스윙 정점에서 공과 신체중심점의 선형속도의 차이가 미미하다. 그 후 릴리즈 시점에서는 신체중심점의 선형속도가 감소하고 공의 선형속도는 급격히 증가함을 보인다<그림 3>. 이 결과로 볼 때 신체중심점의 스텝으로 인한 진행방향으로의 직선운동량을 릴리즈 되는 시점에 공의 직선운동량으로 전이 된다고 할 수 있다.

2) 발목, 무릎, 엉덩이의 선형속도

x방향은 분절의 좌우 방향으로 발목, 무릎, 엉덩이 모두 각 구간에서 큰 차이를 보이지 않았다. y방향은 분절의 진행방향으로의 선형속도로 발목은 릴리즈 직전 약0.33초 전부터 슬라이딩이 시작되기 때문에 5.32m/s의 최대 속도를 보였다. 무릎이 백스윙 직후 선형속도의 감소를 나타냈고 엉덩이도 릴리즈 시점으로 갈수록 속도의 감소를 보였다. 발목의 y방향으로의 속도는 백스윙 정점에서 릴리즈 구간에 속도가 급격히 감소하였고, 또한 릴리즈 시 발목, 무릎, 엉덩이의 y 방향으로의 속도가 각각 평균  $1.82 \pm 0.78$ ,  $1.83 \pm 0.62$ ,  $1.98 \pm 0.45$  m/s로 근소한 차이를 보였다. 이는 스텝으로 인한 하체분절의 선형속도를 릴리즈 시 하체분절의 속도를 감소시킴으로 상체분절과 공으로 선운동량을 전이 시키는 역할을 하였다.

z방향은 분절의 상하 방향으로 무릎의 경우 백스윙

후 감소를 보였다. 이는 공의 릴리즈 시 COG를 낮추어 안정적이 릴리즈를 도모하기 위함이라 할 수 있다.

앞서 나타난 COG의 선형속도의 패턴과 같이 하지 분절도 릴리즈 시점으로 갈수록 감소를 보였다. 하지 분절의 감소를 보인 시점에 이어 공과 상지 분절의 속도의 증가를 나타냈다. 이와 같은 결과도 공과 팔분절로의 선운동량 전이를 위함이라 할 수 있다.

5. 합성속도

공, 손목, 팔꿈치의 합성속도의 경우 다운스윙을 시작하면서 속도의 증가를 보인 후 백스윙 정점에서 공, 손목, 팔꿈치 어깨의 합성속도가 차이가 근소하게 나타났다. 릴리즈 시점에서는 공, 손목, 팔꿈치, 어깨의 순으로 최대 합성속도를 보였다. 모든 피험자가 릴리즈 시 손목 합성속도의 급격한 감소 패턴을 보였고 어깨의 합성속도도 감소하였다. 이훈표(2004)는 공 속도의 변화 패턴에서 백스윙 정점부터 릴리즈까지의 구간에서는 비숙련자에 비해 숙련자가 급격히 증가하였다고 보고했다. 이것은 상완, 전완의 속도 그리고 백스윙의 높이 등에 의해 공의 속도가 결정된다고 보고하였다. 공의 합성속도에서 피험자별 평균 0.11m/s의 차이만을 보였다. 순수한 진자운동에서는 진자가 지면과 수직을 이룰 때 가장 속도가 빠르게 나타지만 볼링 투구동작의 특성 상 몸의 진행방향으로의 움직임과 어깨의 회전이 있음

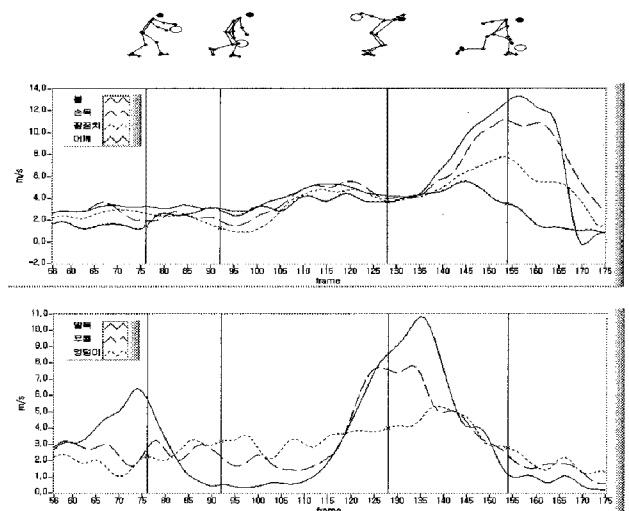


그림 4. 공, 상지와 하지의 합성속도

을 고려할 때 스텝과 릴리즈 시 리프팅 동작으로 인해 릴리즈 직후 공의 속도가 최고가 나타났다. Finch(1985)는 공의 무게와 속도를 달리하여 릴리즈 때의 공의 합성속도를 구했는데 공의 무게 15파운드에서 빠른 속도 그룹에서는  $8.99 \pm 0.52 \text{m/s}$ 로 나타났다. 류지선, 이연중, 금명숙(1998)의 연구에서는 릴리즈 순간의 평균속도가  $8.60 \pm 0.82 \text{m/s}$ 라고 보고하였다. 본 연구 결과에서는 공의 최대합성속도가  $12.74 \pm 0.99 \text{m/s}$ 를 나타내 류지선, 이연중, 금명숙(1998)의 연구결과보다 빠른 공의 속도를 보였다.

상지와 하지의 합성속도 패턴을 보면 백스윙에서 릴리즈로 가는 시점에서 발의 속도가 최대를 나타내고 릴리즈 시점에서는 급격한 감소를 보이는 반면 공과 상지의 속도는 백스윙에서 감소를 보였다가 릴리즈로 가면서 속도가 급증하고 릴리즈 직후에 최대속도를 보이는 패턴이 모든 피험자들에서 나타났다<그림 4>.

6. 몸통분절의 토크

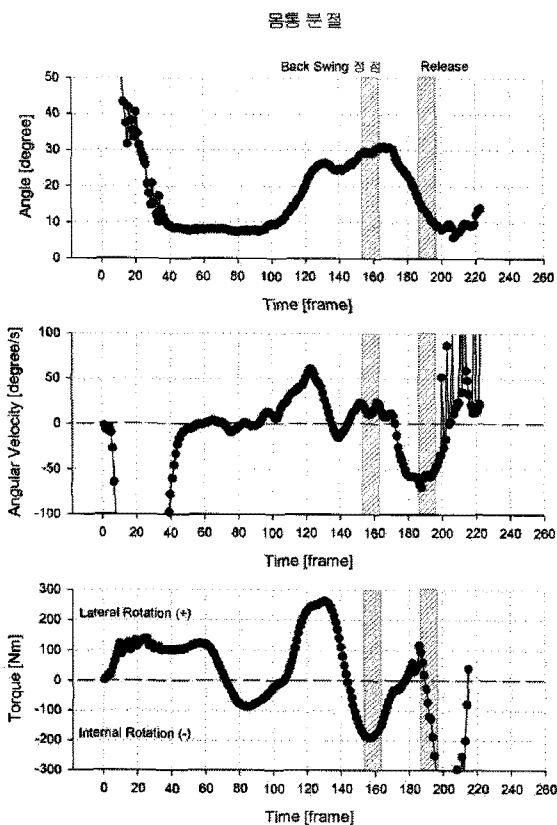


그림 5. 몸통분절의 각도, 각속도, 토크의 평균값

볼링 투구동작 시 몸통에서 발생하는 관절토크는 골반의 질량중심점에 구성해 놓은 지역축에 대한 흉곽의 움직임에 의한 것이다. 몸통에서 일어나는 토크는 다음과 같이 설명할 수 있다. 흉곽의 골반에 대한 회전 중 x축을 중심으로 한 회전은 몸통의 측면으로 나온 축을 중심으로 한 회전이므로 몸통의 굴곡과 신전방향과 유사하다. 따라서 굴곡방향의 회전은 (+)로 신전방향의 회전은 (-)로 나타낸다. y축을 중심으로 한 회전이므로 몸통의 좌우 기울임의 방향과 유사하다. 따라서 몸통의 오른쪽 기울임(right side bending)은 (+)로 왼쪽 기울임(left side bending)은 (-)로 한다. z축을 중심으로 한 회전은 수직축을 지역축으로 구성하여 그 축을 중심으로 한 회전을 나타낸 것이므로 몸통의 우측회전(right rotation)과 좌측회전(left rotation)의 방향과 유사하다. 외측 회전일 경우 (+)로 내측 회전일 경우 (-)로 한다. 몸통의 관절토크는 x축을 중심으로 다운스윙 시 평균  $209.10 \text{Nm}$ 의 굴곡방향의 회전이 일어났다 백스윙 정점에서는 평균  $456.01 \text{Nm}$ 의 신전방향의 회전이 나타났다. 그리고 릴리즈 직 후의 굴곡방향의 회전 후 다시 신전방향의 회전이 나타났다. 이는 공을 오른 손으로 투구로 인하여 무게 중심이 오른쪽에 있기 때문이다. y축을 중심으로 한 회전은 릴리즈 시 까지 변화가 미미하였다 릴리즈 후에 오른쪽 방향으로  $462.85 \text{Nm}$ 의 회전이 나타났다. 이는 릴리즈 후 몸통의 균형을 잡으려는 것이다<그림 5>.

7. 팔분절의 토크

팔분절과 어깨분절의 움직임을 발생시킨 어깨관절의 경우 오른쪽 어깨에 구성해 놓은 지역축에 대한 오른팔의 회전이다. 오른쪽 어깨에 발생한 오른팔의 회전 중 x축을 중심으로 한 회전은 몸통의 앞쪽으로 나온 축을 중심으로 한 회전이므로 어깨에 대한 오른팔의 굴곡과 신전방향과 유사하다. 따라서 굴곡방향으로의 회전은 (+)로 신전방향으로의 회전은 (-)로 나타낸다.

x 축을 중심으로 한 회전은 어깨관절이 신전되면서 다운스윙 시 굴곡 방향으로  $10.87 \text{Nm}$ 를 나타냈고 백스윙 정점에서는 신전방향의 회전을 보이다가 릴리즈 시 다시 굴곡방향  $-2.17 \text{Nm}$ 의 회전을 나타냈다. 이는 다운

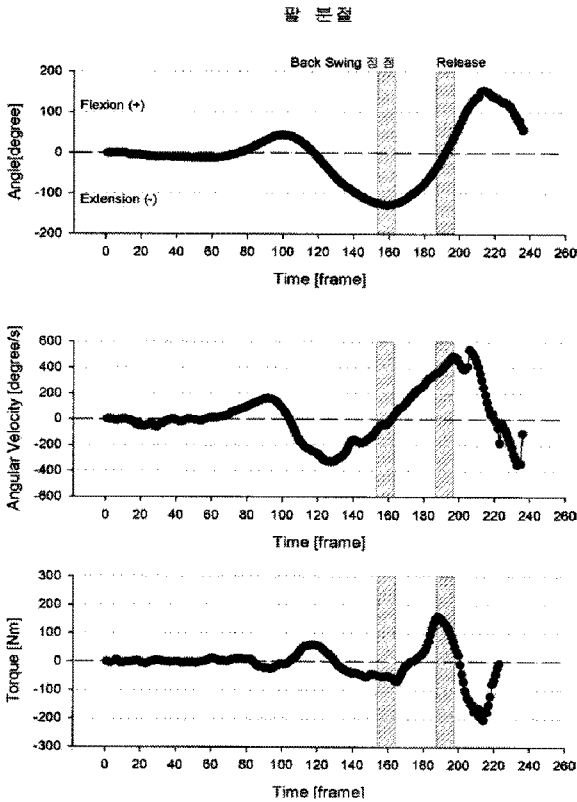


그림 6. 팔분절의 각도, 각속도, 토크의 평균값

스윙 시 공이 지면을 향할 때 반대방향으로 토크가 작용하였다고 볼 수 있고 릴리즈 직전의 굴곡 방향으로의 토크는 공의 진행 방향으로의 회전으로 공의 속도를 상승시키기 위한 움직임으로 정의할 수 있다.

y축을 중심으로 한 회전은 진행방향을 향해 설정된 축을 중심으로 한 회전이므로 어깨에 대한 오른팔의 내전, 외전방향과 유사하다. 따라서 내전방향으로의 회전은 (+), 외전 방향으로의 회전은 (-)로 나타낸다<그림 6>.

8. 몸통분절과 팔분절의 운동역학적 특성

볼링 투구동작에서 몸통분절의 z축 방향과 팔 분절의 y축 방향의 움직임을 알아보기 위해 피험자 간의 평균 토크 값을 구하여 패턴을 분석하였다. 피험자가 모두 숙련자이므로 유사한 패턴을 보였다.

몸통분절은 릴리즈 정점에 이르기까지 외측회전을 하였고 릴리즈 시점까지는 다시 내측 회전을 하였다. 이때 각속도는 백스윙 정점에 이르기 전에 상승하다 릴

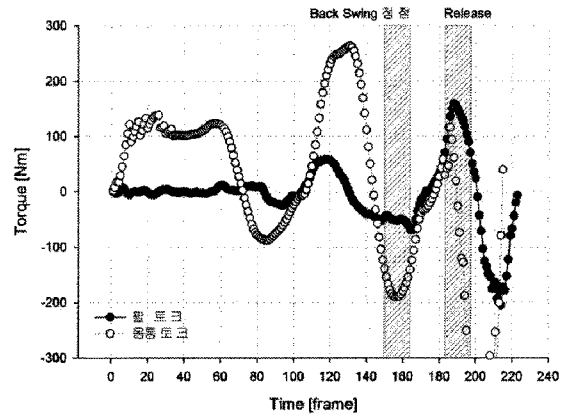


그림 7. 몸통분절과 팔분절의 평균토크

리즈 시점까지 평균 -50degree/s 감소하였다. 이 시점의 평균 토크 값을 보면 다운 스윙 시 최대값을 나타낸 후 백스윙 정점에서는 최저값을 나타내었다. 그 후 릴리즈 시까지 증가하였다.

팔분절은 백스윙 정점에서 각도의 음의 최대값을 각속도는 0degree/s를 나타냈으며 릴리즈 직후에 최대값을 나타냈다. 다운스윙 시에 증가를 보인 토크 값은 백스윙 정점에서 최저값을 나타냈으며 릴리즈 직전에 평균 최대값을 나타냈다.

몸통분절과 팔분절의 토크 값을 구간별로 비교해 보면 다운 스윙구간에서 두 분절 모두 최대값을 나타낸 후 백스윙 정점에서 최저값을 보였다. 백스윙 정점에서 그 후 릴리즈 시까지 두 분절 모두 유사한 증가 패턴을 보였다. 몸통분절은 내측방향으로 팔분절은 굴곡방향으로 힘이 발현된 것으로 힘이 발현되는 시점의 시간차이가 없이 동시에 일어남을 알 수 있다. 이 결과를 볼 때 볼링 투구동작은 릴리스 시 분절의 운동이 순차적으로 일어나는 것이 아니라 릴리스 시점에서 몸통분절과 팔분절의 힘이 공의 진행방향으로 같은 시점에 일어난 것으로 확인 되었다. 따라서 볼링 투구동작은 몸통을 근위분절로 팔분절을 원위 분절로 정의했을 때 근위에서 원위 분절로 운동이 전이되는 동작이 아닌 미는듯 한 동작이 일어난다. 이는 무거운 공을 정확한 지점에 투구해야 하는 볼링 투구동작의 특성을 반영하는 운동 동작이다<그림 7>.

여러 유형의 던지기 동작에 관한 선행연구를 보면 볼링투구동작과 반대로 여러 학자들의 야구 피칭동작



과 미식축구의 패스 동작에서는 모두 발의 착지와 발이 릴리즈 되는 시점에서 어깨의 내측 회전이 일어났다고 하였다. 발의 착지가 일어 난 후 상지 분절의 운동 증가를 보이므로 근위에서 원위로의 전형적인 분절운동을 보였고(Feltner & Dapena, 1986; Rash & Sapiro, 1995; Fleisig, Escamilla & Andrews, 1996; Barrentine, Matsuo, Escamilla, Fleisig & Andrew, 1998), 수구의 페널티 드로우 연구에서도 상완의 내측 회전이 릴리즈 시 공의 스피드에 영향을 준다고 하였다(Feltner & Taylor, 1997; Feltner & Nelson, 1996). 그러나 핸드볼 던지기 동작의 분절운동에 관한 연구에서는 상지분절에서 근위에서 원위로의 운동의 전이가 이루어지지 않는다고 하였는데 이는 골키퍼를 속이기 위하여 특이한 동작유형을 보이기 때문이고 또한 상해를 예방하기 위함이라 하였다(Fradet, Botcazou, Durocher, Cretual & Delamarche, 2004; Tillaar & Ettema, 2003).

#### IV. 결 론

본 연구에서는 볼링 투구동작의 3차원적 영상분석을 통하여 Cardan 각과 Euler's 함수를 이용하여 분절의 선형속도, 합성속도, 각운동, 각속도, 각가속도 등의 운동학적 변인과 몸통분절과 팔분절의 운동역학적 변인인 토크를 통하여 다음의 두 가지를 알아보았다. 첫째, 볼링 투구동작에서의 근위인 몸통분절과 원위인 스윙하는 팔분절의 운동을 운동학적, 운동역학적으로 분석하고 둘째, 볼링 투구동작 시 몸통과 스윙하는 팔분절에서의 움직임을 알아보았다.

대상자는 오른팔을 사용하는 총 8명의 볼링 국가대표 여자 선수로 선정하였다. 스윙의 영상 자료를 수집하기 위하여 2대의 고속 디지털 비디오카메라, 2개의 동조 타이머를 사용하여 60frame/s로 영상을 수집했고 3차원 영상으로 합성하여 좌표화하였다. 수집된 좌표를 LabVIEW 6.1 프로그램으로 운동학적(kinematic)자료를 산출하였다. 운동역학적 자료는 뉴턴의 함수를 이용하여 어깨와 몸통의 관절력과 관절토크를 산출하는 함수를 정리하였다. 이렇게 정리된 함수를 LabVIEW 6.1 프로그램으로 구성하여 운동역학적(kinetic)자료를 산출하

였다.

이에 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 볼링 투구동작 시 공과 팔분절, 다리 분절의 직선 운동을 볼 때 다리분절의 운동이 릴리즈 시점에 감소하는 반면 공과 팔분절의 운동은 증가함을 볼 수 있었다. 스텝으로 인한 다리 분절의 운동이 백스윙 후 증가하였다가 릴리즈 시점에서 최소값을 보였고 공과 팔분절의 경우 백스윙에서 릴리즈 시점으로 갈수록 증가를 보였다. 이로 다리분절의 스텝으로 인한 선운동량이 릴리즈 시 공과 팔분절로 전이됨을 알 수 있었다.
- 2) 몸통 분절과 팔분절의 움직임을 야기한 몸통의 토크, 어깨분절의 토크를 알아본 결과, 다운스윙 구간에서 두 분절 모두 최대값을 나타낸 후 백스윙 정점에서 최저값을 보였다. 백스윙 정점에서 그 후 릴리즈 시까지 두 분절 모두 유사한 증가 패턴을 보였고 몸통분절은 내측방향으로 팔분절은 굴곡방향으로 힘이 발현된 것으로 힘이 발현되는 시점의 시간차이가 없이 동시에 일어남을 알 수 있었다. 이 결과를 볼 때 볼링 투구동작은 릴리즈 시 몸통분절의 회전운동과 팔분절 굴곡운동이 순차적으로 일어나는 것이 아니라 릴리즈 시점에서 동시에 일어난 것으로 확인 되었다. 따라서 볼링 투구동작은 몸통을 근위분절로 팔분절을 원위 분절로 정의했을 때 몸통의 z축에 대한 회전운동이 팔의 y 축에 대한 회전이 되는 동작이 아닌 시점을 같이 하여 회전운동이 일어난다. 이는 무거운 공을 정확한 지점에 투구해야 하는 볼링 투구동작의 특성을 반영하는 운동 동작이라 할 수 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로 추론할 수 있는 볼링 투구동작의 운동역학적 모델은 골프와 같이 모든 분절이 장축을 중심으로 회전하는 동작과 달리 장축을 중심으로 발현되는 몸통관절의 관절토크와 어깨의 시상면에 대한 축을 중심으로 한 팔분절의 토크가 릴리즈 시점에 동시에 발현되어 결과적으로 공에 전달됨으로써 공의 파워와 정확성을 극대화 시키는 모델이라 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 류지선, 이연중, 금명숙(1998). 볼링 5스텝 투구 동작의 운동학적 분석. 제36회 한국체육학회 학술발표회 논문집. pp. 620-625.
- 박성순, 이경일. (1997). 볼링 투구 형태의 운동역학적 분석. 스포츠의학연구소논문집. 16. pp. 77-89.
- 신성휴, 손명성, 구희성, 김은경(1999). 프로 볼링선수 투구동작의 운동학적 분석. 한국체육학회지. 38(1). pp. 407-417.
- 이기청. (1990). 볼링 투구 동작의 모형에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 이해명. (1997). 볼링 스윙 동작의 운동학적 분석, 연세대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 이훈표. (2004). 볼링 릴리즈시 볼의 속도에 대한 상지 분절의 기여도와 착지구간의 역학적 변인과의 관계, 한국체육대학교 박사학위논문.
- Adrian, M. J., Cooper, M.(1989). Biomechanics of Human Movement. IA: Brown & Benchmark.
- Andrews, J. G. (1982). On the relationship between resultant joint torques and muscular activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14. pp. 361-367.
- Barrentine, S. W., Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S. and Andrew, J. R. (1998). Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *Journal of applied Biomechanics*. 14. pp. 24-39.
- Bunn, J. W. (1972). *Scientific principle of coaching*, New Jersey, Prentice-Hall.
- Champman, A. E., Lonergan, R., and Caldwell, G. E. (1984). Kinetic sources of lower-limb angular displacement in the recovery phase of sprinting *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16, pp. 382-388.
- Feltner, M. E. & Dapena, J. (1986). Dynamics of the shoulder and elbow joint of the throwing arm during a baseball pitch. *International journal of Sports Biomechanics*. 2. pp. 235-259.
- Feltner, M. E.(1989). Three-dimensional interactions in two segment kinetic chain. Part II: Application to the throwing arm in baseball pitching. *Int. Journal of Sport Biomechanics*. 5. pp. 420-450.
- Feltner, M. E. & Nelson, S. T.(1996). Three-dimensional kinematics of the throwing arm during the penalty throw in water polo. *Journal of applied biomechanics*. 12(3). pp. 359-382.
- Feltner, M. E. & Taylor, G (1997). Three-dimensional Kinetics of the shoulder, elbow and wrist during a penalty throw in water polo. *Journal of applied biomechanics*. 13. pp. 347-372.
- Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Escamila, R. F. and Andrews, J. R. (1996). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports medicine*. 21. pp. 421-437.
- Fleisig, G. S., Escamila, R. F. and Andrews, J. R. (1996). kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *Journal of applied biomechanics*. 12. pp. 207-224.
- Fradet, L., Botcazou. M., Durocher. C., Cretual. A. Multon. F. Prioux. J. & Delamarche. P. (2004). Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence?. *Journal of sports science*. 22. pp. 439-447.
- Kreighbaum, E & Barthels, K. M. (1990). *Bio-mechanics(A qualitative approach for studying human movement)*. NY: Macmillan Publishing Company.
- Mena, D., Mansour, J. M. & Simon, S. R. (1981). Analysis and synthesis of human swing leg motion during gait and its clinical

- application. *Journal of biomechanics*, 14, pp. 823-832.
- Plagenhoef, S. (1971). *Patterns of human motion a cinematographic analysis*. New Jersey : prentice-Hall.
- Putnam, C. A.(1980). *Segment interaction in selected two-segment motion*. Doctoral dissertation, University of Iowa.
- Putnam, C. A.(1983). *Interaction between segments during a kicking motion*. *Biomechanics VIII-B*, Human Kinetics Publishers, Inc., Champaign, IL. pp. 688-694.
- Rash, G. S. and Shapiro, R. (1995). *A three-dimensional dynamic analysis of the quarterback's throwing motion in American football*. *Journal of applied biomechanics*. 11. pp. 443-459.
- Strickland, R. H. (1989). *Bowling Steps to success*. IL: Lesure Press.
- Tillaart R. & Ettema G. (2003). *Instruction empha-*
- sizing velocity, accuracy, or both in performance and kinematics of overarm throwing by experienced team handball players. *Motor Skills*, 97(3 pt1), pp. 731-742.
- Wahrenburg, H, Lindbeck, L, and Ekholm, J. (1978). *Knee muscular moment, tendon tension force and E. M. G. during a vigorous movement in man*. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 10, pp, 99-106.
- Winter, D. A., & Robertson, D. G. E.(1978). *Joint torque and energy patterns in normal gait*. *Biological Cybernetics*, 29, pp. 137-142.

투 고 일 : 2006. 7.30

심 사 일 : 2006. 8. 1

심사완료일 : 2006. 8.15