

## 남자 해머던지기 시 각 회전 별 역학적 특성과 투사 요인 분석

김태삼<sup>1</sup> · 류지선<sup>2</sup> · 이미숙<sup>3</sup> · 윤석훈<sup>3</sup> · 박재명<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 한국체육대학교 체육과학연구소 · <sup>2</sup> 한국체육대학교 스포츠건강복지학부 스포츠건강관리 ·

<sup>3</sup> 한국체육대학교 사회체육학부 사회체육학과 · <sup>4</sup> 한국체육대학교 대학원 체육학과

### Analysis of Projectile Factors and Biomechanical Characteristics of Men's Hammer Throwing during Turning Phases

Tae-Sam Kim<sup>1</sup> · Ji-Seon Ryu<sup>2</sup> · Mi-Sook Lee<sup>3</sup> · Suk-Hoon Yoon<sup>3</sup> · Jae-Myoung Park<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Sports Science Institute, Korea National Sport University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Sport & Health Management Major, School of Sport Health & Welfare, Korea National Sport University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Department of Community Sport, School of Community of Sport, Korea National Sport University, Seoul, Korea

<sup>4</sup>Department of Physical Education, Graduate School of Korea National Sport University, Seoul, Korea

Received 29 April 2011; Received in revised form 12 May 2011; Accepted 24 June 2011

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the projectile factors and biomechanical characteristics of men's hammer throwing during turning phases. Four national leveled athletes including Korea national record holder participated in this study. After full warm-up, each participant performed 6 trials of hammer throwing with their best. The best recorded trial was selected from each participant and they were analyzed for this study. Three-Dimensional motion analysis using a system of 5 video cameras at a sampling frequency 60Hz was performed for this study. As the number of turns increased, athletes revealed following characteristics. 1) The single and double support time decreased. 2) The rotation foot was closed to axis foot and it revealed greater medio-lateral displacement than that of horizontal one. 3) At the transition point from double support to single support, ball was in front of rotation foot so that not much angular velocity obtained. For the projectile factors, projectile angle did not show differences while projectile height and velocity revealed differences among the participants. It may indicated that each athlete has different fitness and skill level to resist centrifugal force which become larger as the number of turn increased.

*Keywords* : Hammer, Biomechanical, Centrifugal Force, Projectile Factor, Rotation

## I. 서론

해머던지기(Hammer throw)는 지름 2.135 m의 원(circle) 안에서 7.26 kg(여자 4 kg)의 해머를 두 손으로 잡고 원심력을 이용

하여 가능한 한 멀리 던지는 기록 경기이다. 일반적으로 해머 던지기는 3~4회전의 턴 동작이 이루어지기 때문에 포환과 원반 던지기 종목보다 회전 운동에 따른 원심력(centrifugal force)을 지탱할 수 있는 강한 체력과 힘이 요구되는 종목으로 신체조건이 우수하고, 민첩성과 순발력, 그리고 유연성 등의 종합적인 체격과 체력을 필요로 하는 종목이다(Hong & An, 1991; Zatsiorsky, 2000).

현재 남자 세계기록은 러시아의 유라이 세디크흐(Yuriy Sedykh)가 1986년 슈투트가르트(Stuttgart)에 개최된 유럽 육상선수권대회에서 86.74 m로 현 세계기록을 보유하고 있고, 아시아 기록은 일

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-413-G0007).

Corresponding Author : Jae-Myoung Park

Department of Physical Education, Graduate School of Korea National Sport University, 88-15 Oryun-dong, Sonpa-gu, Seoul, Korea

Tel : +82-2-410-6692 / Fax : +82-2-418-1877

E-mail : korea-jm85@hanmail.net

본의 코지 무로푸시(Koji Murofushi)가 2003년 프라하(Praha)에서 84.86 m로 아시아 기록을 보유하고 있다. 이와 달리 국내 최고 기록은 Lee Yoon Chul 선수가 2008년 제20회 전국실업단체항육상경기대회에서 71.79 m의 새로운 기록을 세웠지만, 세계 기록과 아시아 기록과는 많은 차이를 보이고 있다. 이처럼 국내 기록과 아시아 및 세계 기록과의 차이를 보이는 것은 체격 및 체력, 그리고 기술적인 면의 다양한 요인에서 찾아볼 수 있다.

이와 관련해 국내 기록을 보유한 Lee(2008) 선수는 체격조건이 1.88 m의 신장과 113 kg의 체중으로, 러시아의 세계 기록 보유자 유라이 세디크흐(신장: 1.85 m, 체중: 100 kg)와 아시아 기록 보유자 일본의 코지무로푸시(신장: 1.90 m, 체중: 97 kg)와는 체격 면에서는 큰 차이를 보이지 않고 있어, 체력적인 면과 기술적인 면이 기록차이의 주된 요인으로 볼 수 있다.

해머던지기의 경기력과 관련된 체력 및 기술적 요인을 살펴 보면, 체력적인 면에서 해머던지기는 지면과의 접촉부를 통한 축을 중심으로 회전하기 때문에 회전이 증가 할수록 원심력의 크기가 317 kg으로 증가되어 체력적인 면에서 강한 팔과 다리의 힘, 허리의 근력, 회전력, 그리고 신체의 조정능력이 중요하게 작용한다. 뿐만 아니라 회전에 따른 원심력(centrifugal force)과 구심력(centripetal force)에 대항할 수 있는 무거운 체중과 강한 근력이 경기력에 지대한 영향을 미친다고 볼 수 있다.

기술적인 면에 있어서 해머던지기는 준비자세, 예비 회전(preliminary winds), 회전동작(turn), 그리고 던지기 동작(delivery phase, release phase)으로 구분되는데, 투사 거리를 위해서는 릴리즈 순간의 투사 속도와 투사 각도, 그리고 투사 높이가 가장 주요한 요인으로 작용한다(Dapena, 1986; Dapena & McDonald, 1989). 기록에 직접적인 영향을 주는 릴리즈 순간의 투사 속도를 보면, Otto(1992)는 86.47 m의 기록에서 릴리즈 속도가 30.7 m/s를 보였고, Mizera와 Horvath(2002)의 연구에서 86.74 m는 29.28 m/s, Dapena et al.(2003)의 연구에서 84.3 m는 28.84 m/s의 투사 속도를 보이면서 릴리즈 순간의 투사 속도가 기록에 가장 큰 영향을 주는 것으로 보고하고 있다.

투사 각도에 있어서 Otto(1992)는 86.74 m에서 39.9도, 80.80 m를 분석한 Murofushi, Saito와 Yuasa(1982)는 38도, 여자선수들을 분석한 Judge(1999)의 연구에서는 적정 이상각도가 42도로 보고하였고, Bartonietz, Barclay와 Gathercole(1997)에 의하면 기록이 40.40 m에서 49.94 m의 기록에서는 평균 36도로 낮은 투사각을 보였지만, 기록이 50.04 m에서 67.58 m까지는 평균 40도의 투사각을 보임에 따라 기록과 투사각도와의 관계가 밀접한 관련이 있는 것으로 보고하고 있다. 또한 기록에 영향을 주는 요인으로 릴리즈 순간 해머의 높이는 어깨 높이와 유사한 위치에서 릴리즈가 이루어져야 하는 것으로 보고(Otto, 1992; Bartonietz et al., 1997)하였는데, 이상적인 릴리즈 높이를 위해서는 회전이 증가할수록 궤적각(orbit angle)이 커져야 하는 것

로 보고(Konz, 2006) 하고 있지만, 이들 요인 중에서 가장 중요한 요인은 투사 속도로 투사 거리에 가장 큰 영향을 준다.

해머의 선속도를 크게 하기 위해서는 예비 회전 후, 회전(turn) 동작에서 많은 요인들이 작용하지만 신체중심의 수평이동에 따른 빠른 회전속도를 얻는 것이 주요 관건으로 보고(Dapena, 1986; Dapena & McDonald, 1989; Gutierrez-Davila, 2002; Otto, 1992; Konz, 2006)하고 있는데, 이는 선수와 해머와의 역동적인 균형을 가질 수 있는 조화가 이루어질 때 회전동작에서의 가속도를 충분히 얻을 수 있다. 즉, 빠른 회전속도를 얻기 위해서는 회전 시 해머와 신체중심과의 회전반경을 크게 하여 각운동량(angular momentum)을 증가(Dapena & McDonald, 1989; Dapena & Feltner, 1989)시키는 것이며, Nam, Choi, Nam, Kim 과 An(2003)에 의하면 회전동작에 있어서 2-3 rev/sec로 회전할 때, 회전반경이 약 3.68 cm 커지면 비행거리는 약 3 m 증가하고, 회전반경이 7.35 cm 증가하면 약 5.5 m 증가하는 것으로 보고한 것처럼, 해머던지기는 회전반경이 회전속도에 크게 좌우되는 것으로 보고하고 있다.

특히 회전 시 해머가 최고점에 있는 한 발 지지에서는 해머의 감속이 이루어지고, 최저점에 있는 두 발 지지에서는 가속이 이루어지기 때문에 한 발 지지 시간은 짧게, 두 발 지지 시간은 길게 해야 하는 것으로 보고(Bondarchuk, 1987; Dapena, Gutierrez-Davila, Soto & Rojas, 2003; Otto, 1992; Zatsiorsky, 2000)하였고, Konz(2006), Dapena et al.(2003), Bartonietz et al.(1997), Hay(1993), Zatsiorsky(2000)에 의하면, 회전이 증가할수록 축 발과 회전 발의 거리가 좁아져야 빠른 수평이동과 함께 회전속도를 얻을 수 있는 것으로 보고하고 있다. 뿐만 아니라 Dapena(1986), Bondarchuk(1987), Otto(1992), Mizera와 Horvath(2002), Konz (2006), Jaede(1991) 등의 연구자들에 의하면, 두 번째 턴으로 접어들수록 상체는 수직 자세를 유지하는 것이 이상적인 자세로 보고하고 있는데, 회전 시 후경자세는 해머의 궤적이 그리는 반경이 작아지며, 전경자세는 원심력에 대응하는 구심력을 얻기 위해 근육의 수축작용이 크게 발생하여 해머가 가속되는 것을 제한하기 때문에 회전속도를 크게 하기 위해서는 상체를 수직으로 유지하는 것이 보다 효율적인 동작으로 보고하고 있다.

특히 Otto(1992)와 Jaede(1991)에 의하면 회전이 증가할수록 원심력에 대응하는 구심력을 얻기 위해서 해머의 최저점인 두 발 지지에서는 고관절과 무릎관절을 굴곡시켜야 하며, 이러한 자세는 회전 시 해머에 의해 신체가 이끌려 회전하는 것이 아니라 해머를 리드 해 갈 수 있기 때문에 빠른 회전속도를 얻을 수 있는 것으로 보고하고 있다. 이처럼 빠른 회전속도를 얻기 위해서는 해머가 최고점에 있을 때, 축 발을 중심으로 회전 발을 빠르게 이동하여 한 발 지지시간을 짧게 하고, 해머가 최저점에 있는 두발 지지에서는 원심력에 대응하는 구심력을 크게 하여 해머를 리드해 갈 수 있는 자세를 만드는 것이 릴리즈 순

간의 선속도를 크게 하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 역학적 자세를 통해 해머던지기의 경기력에 많은 자료를 제공해왔지만, 현재 국내 남자 선수들에게 직접적인 피드백을 제공할 수 있는 자료와 체계적인 연구가 미비한 실정에 있다.

특히 낮은 선수층에도 불구하고, 한국 신기록이 매 경기마다 작성되고 있지만, 국내 기록이 세계 기록과 아시아 기록과는 많은 차이를 보이고 있어, 세계기록과의 격차를 줄이고 나아가 국내의 침체되어 있는 육상의 발전을 위해서는 보다 체계적이고 과학적인 연구들이 이루어져야 한다. 따라서 이 연구의 목적은 회전별 역학적 특성과 투사요인을 분석함으로써, 국내 선수들의 경기력 향상을 위한 방안을 제시하는데 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상자

본 연구는 남자 해머 국가대표 및 상비군 선수들을 대상으로 각 4회전과 3회전에 대한 운동학적 요인과 운동역학적 요인을 분석하였으며, 선수들의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Characteristics of subjects

	Height (m)	Weight (kg)	OR (m)	ER (m)	Career (yrs)	Turn
A	188	117	70.84	64.9	13	4
B	182	98	61.68	55.8	12	4
C	177	90	61.46	54.5	10	4
D	185	112	60.62	52.5	9	3
<i>M</i>	183.0	104.3	63.7	56.9	11.0	
<i>SD</i>	4.69	12.45	4.82	5.49	1.83	

### 2. 실험 장비

본 연구에 사용된 실험장비와 분석 장비는 <Table 2>와 같은 촬영 장비와 영상분석 장비를 사용하였다.

Table 2. Experimental equipments

Items	Experiment equipments	Manufacture
Photograph instrument	Sony PD-150 camera Control Object(2*5*4)	Sony Ins. VISOL Ins.
Analysis instrument	Kwon3D Version 3.1 Matlab R2009a	VISOL Ins. Matworks ins.

### 3. 실험 절차

해머던지기 4 turn 동작과 릴리즈 동작을 분석하기 위해

Sony PD-150 비디오 카메라 5대를 이용하여 영상을 촬영하였고, 영상분석에 필요한 공간 좌표를 얻기 위해 <Figure 1>과 같이 높이 2 m, 길이 5 m, 폭 4 m의 통제점 틀을 사용하였다. 카메라 영상은 30 frames/sec로 촬영하였고, 셔터스피드는 500 Hz/s로 설정하였다. 본 연구에서 분석된 자료는 실제 경기 상황에 맞게 총 6회 실시 후 피험자 별 가장 좋은 기록을 선정하여 분석하였다.

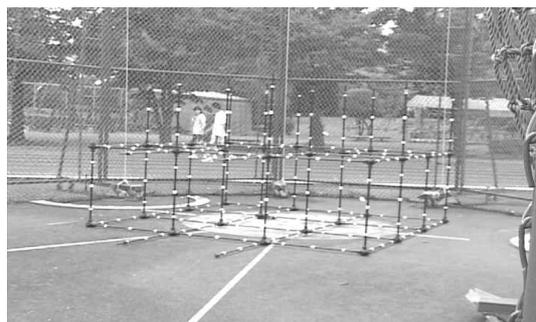


Figure 1. Setting of control object

### 4. 자료처리 및 분석 변인

인체는 22개의 관절점과 2개의 가상 관절점(핸들, 볼)으로 총 24개의 관절점에 15개의 분절이 연결된 강체구조(linked rigid body system)로 정의하였고, 3차원 공간좌표 계산은 DLT 방법 (Abdel-Aziz. & Kararah, 1971)을 이용하였으며, 각 분절과 전신의 신체중심을 구하기 위한 신체분절지수(body segment parameter)는 Plagenhoef, Evans와 Abdelnour(1983)의 자료를 이용하였다.

각 회전 동안 분석된 운동학적 요인은 거리요인, 속도요인, 그리고 각도요인이며, 각도요인 중 릴리즈각(release angle), 궤적각(orbit angle: incline of elliptical path of the hammer)을 분석하였다. 궤적각(orbit angle)은 각 회전마다 해머의 Z축과 Y축의 위치좌표 값을 이용하여 계산하였으며, 다음 식과 같다(Konz, 2006).

$$\theta_{IA} = \tan^{-1} \left\{ \frac{H_{HP} - H_{LP}}{Y_{HP} - Y_{LP}} \right\}$$

$\theta_{IA}$  = 해머 궤적 경로의 기울기

$H_{HP}$  = 각 회전 별 볼의 최고점

$H_{LP}$  = 각 회전 별 볼의 최저점

$Y_{HP}$  = 각 회전 별 볼이 최고점 순간 Y축에서의 위치점

$Y_{LP}$  = 각 회전 별 볼이 최저점 순간 Y축에서의 위치점

그리고 해머에 작용하는 원심력(centrifugal force acting on the hammer)의 계산 공식은 다음 식과 같다.

$$F_{CF} = \frac{m_H \cdot v_H^2}{r_H}, \quad r_H = \text{해머 경로의 반경}, \quad m_H = \text{해머의 질량}, \quad v_H = \text{해머의 속도}$$

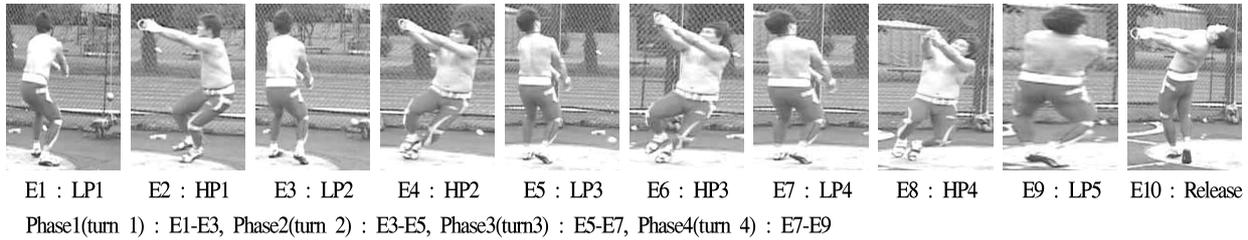


Figure 2. Definition of event

위에 제시된 운동학적 요인과 운동역학적 요인을 산출하기 위해 사용된 분석 프로그램은 Kwon3D version 3.1과 Matlab R2009a 프로그램을 이용하여 산출하였다.

### 5. 분석 국면

본 연구에서의 분석 국면은 예비 스윙 후 회전이 시작되는 최저점에서 릴리즈까지로 설정하였으며, <Figure 2>와 같이 10 개의 Event와 4개의 Phase로 설정하여 각각 분석하였다. <Figure 2>에서 LP는 수직축을 기준으로 해머가 가장 낮은 지점이며, HP는 수직축을 기준으로 해머가 가장 높은 지점을 의미한다.

## III. 결 과

### 1. 회전별 지지 시간

<Table 3>은 각 회전별 한 발 지지(single support) 시간과 두 발 지지(double support) 시간을 나타낸 것이며, 전체 시간은 1회전의 회전 발이 이지하는 순간부터 릴리즈까지로 설정하여 산출하였다. <Table 3>에 의하면, 1회전에서는 평균  $0.63 \pm 0.05$  sec 중 한 발 지지시간이 평균  $0.33 \pm 0.05$  sec를 보였다. 2회전에 있어서는 평균  $0.68 \pm 0.07$  sec로 두 발 지지시간이 평균  $0.39 \pm 0.06$  sec, 한 발 지지시간이 평균  $0.28 \pm 0.02$  sec로 1회전보다 단축된 시간을 보였다. 3회전과 4회전에 있어서는 평균  $0.57 \pm 0.04$  sec와  $0.50 \pm 0.03$  sec로 회전이 증가할수록 짧은 시간을 보였고, 두 발 지지시간과 한 발 지지시간 또한 다소 짧은 시간을 보였다. 피험자 별 특성을 보면, 피험자 A의 경우 선행연구와 달리 3회전과 4회전에 있어서는 두 발 지지시간보다 한 발 지지시간이 다소 긴 시간을 보인 반면에, 피험자 B, C, D의 경우는 한 발 지지시간보다 두 발 지지시간이 다소 긴 특성을 보였다.

### 2. 회전 별 볼의 위치

<Table 4>는 회전 별 Z축에 대한 최저점과 최고점의 위치와

회전 별 변위차 그리고 릴리즈 순간 해머의 위치점을 나타낸 것이다. 그리고 <Figure 3>은 해머에 대한 위치 변화를 3차원 궤적으로 나타낸 것이다.

회전별 최저점과 최고점에 대한 해머의 위치 변화를 살펴보면, 회전이 증가할수록 최저점은 점진적으로 낮아지는 특성을 보였으며, 최고점에 있어서는 최저점과 반대로 점진적으로 해머의 높이가 증가되는 특성을 보였다. 특히 3회전 동작을 수행하는 피험자 D의 경우는 마지막 3회전에서 2.41 m로 가장 높은 위치를 보인 반면에 피험자 C는 2.15 m로 가장 낮은 위치를 보였다. 릴리즈 순간에 있어서는 평균  $1.69 \pm 0.08$  m를 보이면서 피험자 A와 D가 1.76 m로 가장 높은 위치를 보였고, 피험자 B가 1.61 m로 가장 낮은 위치에서 릴리즈 동작을 수행하는 것으로 나타났다.

회전별 해머의 변위를 살펴보면, 최저점에 있어서는 회전 수에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만, 전반적으로 피험자 A가 다른 피험자들에 비해 다소 큰 변위를 보였다. 최고점에 대한 변위 차이를 살펴보면, 회전 수에 따라 수직 변위 값이 작은 특성을 보이고 있지만, 회전이 증가함에 수직 높이가 점진적으로 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 <Figure 3>에서 볼 수 있듯이, 모든 피험자가 회전이 증가할수록 점진적으로 수직 높이가 증가되는 특성을 보이고 있다.

### 3. 회전 발과 축 발과의 변위 차

<Table 5>는 회전 발과 축 발 중심 간의 좌우, 수평 거리 차이를 나타낸 것이며, <Figure 4>는 회전 발과 축 발의 움직임 변화를 궤적으로 나타낸 것이며, <Figure 5>는 두 발 지지에서 한 발 지지로 이동되기 전 양 발과 해머의 위치를 나타낸 것이다.

좌·우(X축)의 거리차를 살펴보면, 최저점에 있어서 E1의 경우 거리차이가 평균  $0.52 \pm 0.10$  m를 보였지만, 회전이 증가할수록 거리가 다소 좁아지는 특성을 보였다.

최고점에 있어서 1회전의 E2는 평균  $0.09 \pm 0.07$  m를 보였지만, E4, E6, E8 최고점에서는 회전이 증가할수록 큰 차이 없이 좁아지는 특성을 보였다. 기록이 가장 좋은 피험자 A의 경우 회전이 증가할수록 다른 피험자와 달리 최저점과 최고점에서

Table 3. Change of support time

(unit: sec)

	Turn 1			Turn 2			Turn 3			Turn 4			Release DS	Total time
	LP1-takeoff	SS	Sum	DS	SS	Sum	DS	SS	Sum	DS	SS	Sum		
A	0.25	0.40	0.65	0.37	0.30	0.67	0.23	0.28	0.51	0.22	0.25	0.47	0.28	2.59
B	0.35	0.28	0.63	0.40	0.30	0.70	0.28	0.28	0.57	0.27	0.25	0.52	0.32	2.74
C	0.35	0.33	0.68	0.47	0.28	0.75	0.33	0.27	0.60	0.28	0.23	0.52	0.28	2.84
D	0.25	0.32	0.57	0.33	0.25	0.58	0.30	0.28	0.58	.	.	.	0.30	2.04
<i>M</i>	0.30	0.33	0.63	0.39	0.28	0.68	0.29	0.28	0.57	0.26	0.24	0.50	0.30	
<i>SD</i>	0.06	0.05	0.05	0.06	0.02	0.07	0.04	0.01	0.04	0.03	0.01	0.03	0.02	

SS : single support, DS : double support, Sum : DS+SS

Table 4. Vertical position and displacement

(unit: m)

		LP1	HP1	LP2	HP2	LP3	HP3	LP4	HP4	LP5	Rel
		(E1)	(E2)	(E3)	(E4)	(E5)	(E6)	(E7)	(E8)	(E9)	(E10)
Position	A	0.28	1.87	0.25	2.10	0.19	2.24	0.17	2.28	0.12	1.76
	B	0.18	1.70	0.20	1.94	0.20	2.12	0.16	2.20	0.14	1.61
	C	0.20	1.53	0.20	1.81	0.13	2.02	0.11	2.15	0.11	1.63
	D	0.13	1.97	0.13	2.27	0.11	2.41	0.12	.	.	1.76
	<i>M</i>	0.20	1.77	0.20	2.03	0.16	2.20	0.14	2.21	0.12	1.69
	<i>SD</i>	0.06	0.19	0.05	0.20	0.04	0.17	0.03	0.07	0.02	0.08

		LP Phase				HP Phase		
		LP1-LP2	LP2-LP3	LP3-LP4	LP4-LP5	HP1-HP2	HP2-HP3	HP3-HP4
		(Turn 1)	(Turn 2)	(Turn 3)	(Turn 4)	(Turn 1)	(Turn 2)	(Turn 3)
Displacement	A	-0.03	-0.06	-0.02	-0.05	0.23	0.14	0.04
	B	0.02	0.00	-0.04	-0.02	0.24	0.18	0.08
	C	0.00	-0.07	-0.02	0.00	0.28	0.21	0.13
	D	0.00	-0.02	0.01	.	0.30	0.14	.
	<i>M</i>	0.00	-0.04	-0.02	-0.02	0.26	0.17	0.08
	<i>SD</i>	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	

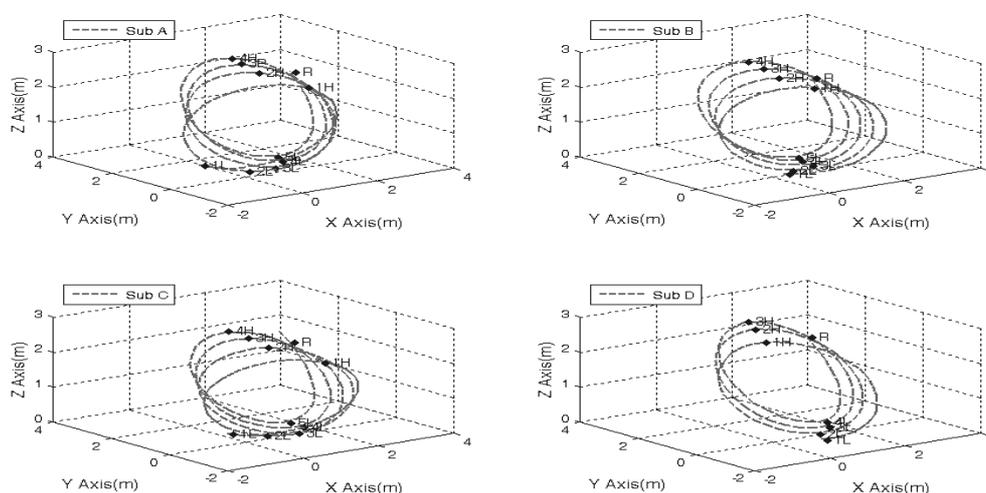
 LP : height of the hammer at the low point of turn "x",  
 HP : height of the hammer at the high point of turn "x"


Figure 3. 3D trajectory of hammer head

Table 5. Distance difference between feet

(unit: m)

		LP1 (E1)	HP1 (E2)	LP2 (E3)	HP2 (E4)	LP3 (E5)	HP3 (E6)	LP4 (E7)	HP4 (E8)	LP5 (E9)	Rel (E10)
X	A	0.37	0.08	0.38	0.08	0.33	0.04	0.32	0.08	0.22	0.34
	B	0.57	0.10	0.40	0.20	0.53	0.20	0.44	0.10	0.37	0.43
	C	0.56	0.18	0.33	0.10	0.40	0.08	0.42	0.15	0.28	0.43
	D	0.58	0.00	0.43	0.11	0.40	0.08	0.34	.	.	0.44
	<i>M</i>	0.52	0.09	0.39	0.12	0.42	0.10	0.38	0.11	0.29	0.41
	<i>SD</i>	0.10	0.07	0.04	0.05	0.08	0.07	0.06	0.04	0.08	0.05
Y	A	0.53	0.09	0.29	0.02	0.17	0.14	0.22	0.15	0.22	0.28
	B	0.07	0.01	0.27	0.27	0.02	0.23	0.06	0.18	0.07	0.06
	C	0.26	0.11	0.26	0.15	0.06	0.10	0.06	0.14	0.11	0.08
	D	0.04	0.10	0.20	0.24	0.20	0.12	0.14	.	.	0.10
	<i>M</i>	0.21	0.02	0.26	0.17	0.10	0.15	0.09	0.16	0.13	0.13
	<i>SD</i>	0.25	0.10	0.04	0.11	0.10	0.06	0.12	0.02	0.08	0.10

LP : height of the hammer at the low point of turn "x"  
 HP : height of the hammer at the high point of turn "x"

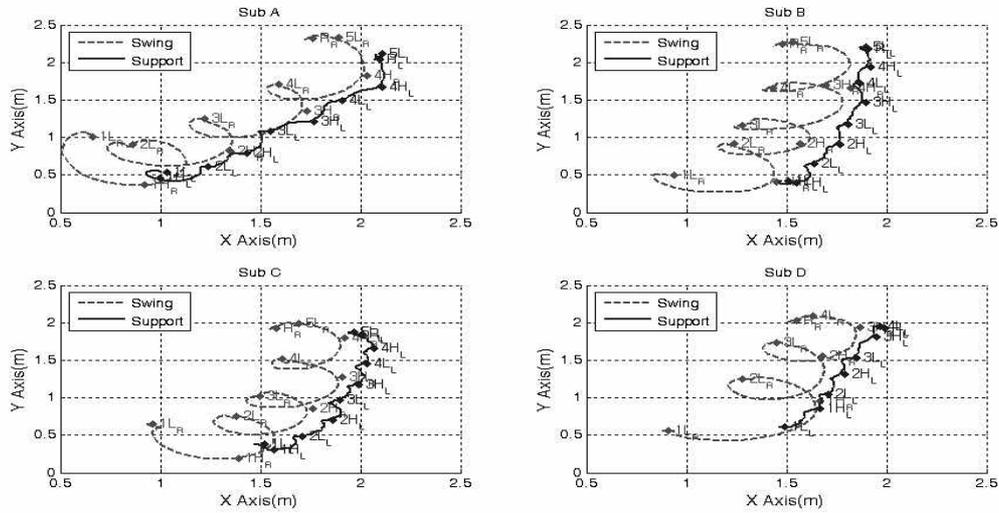


Figure 4. Trajectory of swing and support foot

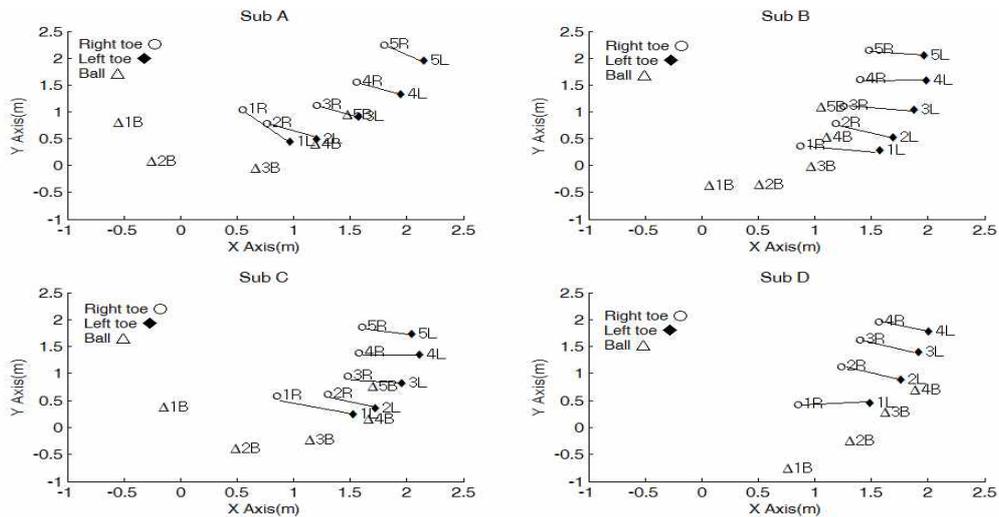


Figure 5. Position between ball and toe at the double support

큰 차이를 보이지 않고, 점진적으로 좁아지는 특성을 보이면서 회전운동에 유리한 동작을 보이는 것과 달리 피험자 B는 최고점에 있어서 회전 발이 축 발과 다소 떨어진 상태에서 회전동작이 이루어지는 특성을 보였다.

전·후(Y축) 거리차를 살펴보면, 최저점에 있어서 E1의 경우 피험자 간에 많은 차이로 평균 0.21±0.25 m로 보였지만, 2회전의 E3에서는 평균 0.26±0.04 m로 다소 길어진 후, 3회전과 4회전에서는 다소 짧아지는 특성을 보였다. 최고점에 있어서 1회전의 E2도 피험자 간에 많은 차이를 보이면서 평균 0.02±0.10 m를 보였지만, 회전이 증가할수록 0.15 m 내외의 차이에서 회전동작이 이루어지는 것으로 나타났다. 두 발 지지에서 한 발 지지로 이동하기 전 축 발과 회전 발, 그리고 볼의 위치를 나타낸 <Figure 5>에 의하면, 피험자 A의 경우는 4회전 최저점과 릴리즈 전 최저점에서 볼이 축 발앞에 놓여진 특성을 보였고, 피험자 B와 C의 경우는 전반적으로 축 발보다 회전 발 앞쪽에 위치한 특성을 보였다. 그리고 피험자 D의 경우는 2회전과 3회전의 최저점과 릴리즈 전 최저점에서 축 발 앞에 위치한 상태에서 한 발 지지로 전환되는 특성을 보였다.

#### 4. 회전 별 볼의 속도

<Table 6>은 회전에 따른 최저점과 최고점의 속도, 최저점과 최고점에서의 속도 차이를 나타낸 것이며, <Figure 6>은 X, Y, Z축에 대한 속도변화를 3차원 궤적으로 나타낸 것이다.

표에 의하면, 1회전이 시작된 최저점 E1(LP1)의 평균 속도는 평균 11.94±1.17 m/s에서 시작되어 3회전이 시작되는 최저점 E5(LP3)까지 점진적으로 속도가 증가되는 특성을 보였지만, E6에서 E9까지 최저점과 최고점에서의 속도변화가 큰 특성을 보였다.

이러한 특성은 속도차이에서 볼 수 있듯이, 2회전 최고점과 3회전이 시작되는 최저점(E4-E5)까지 점진적인 속도를 보이다가 3회전 최저점과 최고점(E5-E6)에서는 평균 0.91±1.37 m/s의 감속도를 보였고, 3회전 최고점과 4회전이 시작되는 최저점(E6-E7)에서는 평균 2.84±1.00 m/s 증가된 속도를 보였다.

마지막 4회전이 시작되는 최저점과 최고점(E7-E8)에서는 평균 1.08±0.60 m/s의 감속도, 그리고 4회전 최고점에서 릴리즈 전 최저점(E8-E9)에서는 평균 1.95±0.19 m/s 증가된 속도를 보이면서 최저점에서 증가된 속도가 최고점에서 평균 1 m/s 전후의 감속도를 보였다. 특히 최저점과 최고점에서 작은 감속도를 보이는 피험자 B, C와 달리 A와 D의 경우 E4-E5, E5-E6, E6-E7에서 감속도와 가속도의 편차가 큰 특성을 보였다.

#### 5. 회전별 궤적각과 릴리즈 각

<Table 7>은 회전별 궤적각(Orbit angle; incline of elliptical path of the hammer)과 릴리즈 각을 나타낸 것이며, 궤적각은 해머의 궤적 경로에 대한 기울기를 나타낸 것으로, 회전별 최고점에 대한 Z축의 위치좌표와 최저점에서 Y축의 위치좌표 값을 이용하여 계산하였다.

Table 6. Resultant velocity

(unit: m)											
	LP1 (E1)	HP1 (E2)	LP2 (E3)	HP2 (E4)	LP3 (E5)	HP3 (E6)	LP4 (E7)	HP4 (E8)	LP5 (E9)	Rel (E10)	
Velocity	A	13.43	12.97	16.38	16.67	19.84	18.30	21.50	19.73	25.53	
	B	11.18	12.38	15.13	15.96	17.92	18.01	19.78	19.08	24.04	
	C	10.84	12.01	13.61	14.91	16.82	17.17	19.49	18.71	20.83	23.80
	D	12.30	12.77	16.94	15.89	19.72	17.18	21.23	.	.	23.45
	<i>M</i>	11.94	12.53	15.52	15.86	18.58	17.67	20.50	19.17	21.12	24.21
	<i>SD</i>	1.17	0.43	1.48	0.72	1.46	0.58	1.01	0.52	0.52	0.92
Differenct		LP1-HP1	HP1-LP2	LP2-HP2	HP2-LP3	LP3-HP3	HP3-LP4	LP4-HP4	HP4-LP5		
	A	0.46	3.41	0.29	3.17	-1.54	3.20	-1.77	1.99		
	B	1.20	2.75	0.83	1.96	0.09	1.77	-0.70	1.74		
	C	1.17	1.60	1.30	1.91	0.35	2.32	-0.78	2.12		
	D	0.47	4.17	1.05	3.83	-2.54	4.05	.	.		
	<i>M</i>	0.60	2.98	0.34	2.72	-0.91	2.84	-1.08	1.95		
<i>SD</i>	0.78	1.09	1.02	0.94	1.37	1.00	0.60	0.19			

LP : height of the hammer at the low point of turn "x",  
 HP : height of the hammer at the high point of turn "x"  
 Dif : difference of HP and LP or LP and HP

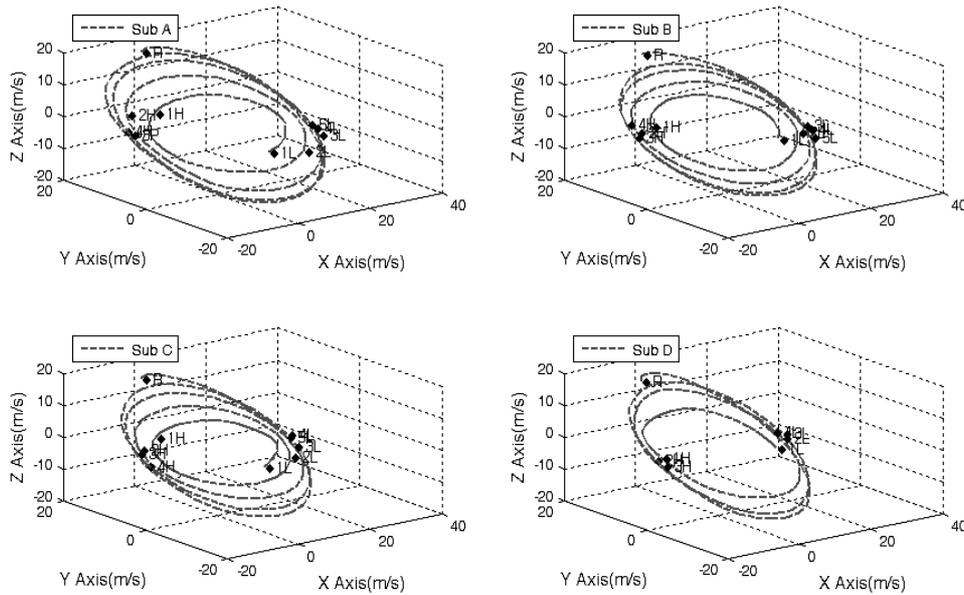


Figure 6. 3D trajectory of ball velocity

표에 의하면, 1회전에서는 평균  $48.9 \pm 8.89^\circ$ , 2회전에서는 평균  $51.5 \pm 2.83^\circ$ 로 4회전 중 가장 큰 궤적각을 보였지만, 3회전과 4회전에 있어서는 다소 궤적각이 작아지는 특성을 보였다.

피험자별 특성을 보면, 피험자 B와 D의 경우는 회전이 증가할수록 궤적각이 작아지는 반면에 피험자 C의 경우는 2회전에서 가장 큰 각을 보였지만, 3회전과 4회전에서는 궤적각이 작아지는 특성을 보였다.

기록이 가장 좋은 피험자 A는 1회전에서 가장 작은 각을 보였고, 2회전과 3회전은 각각  $48.0^\circ$ 와  $48.9^\circ$ 로 유사한 각을 보였지만, 4회전에서는  $46.9^\circ$ 로 궤적각이 다소 작은 특성을 보였다.

해머던지기에서 거리에 직접적인 영향을 주는 릴리즈각을 살펴보면, 평균  $40.2 \pm 1.59^\circ$ 로 피험자 간에 많은 차이를 보이지 않았지만, 피험자 D가  $42.6^\circ$ 로 가장 큰 릴리즈 각을 보였고, 피험자 B, C, D는 유사한 릴리즈 각을 보였다.

Table 7. Incline of elliptical path and release angle (unit: deg)

	Turn 1	Turn 2	Turn 3	Turn 4	Release
	HP1-LP2	HP2-LP3	HP3-LP4	HP4-LP5	
A	34.4	48.0	48.9	46.9	39.4
B	56.1	53.9	49.1	45.3	39.8
C	48.8	54.6	50.3	46.9	39.1
D	56.3	49.4	45.9	.	42.6
<i>M</i>	48.9	51.5	48.5	46.4	40.2
<i>SD</i>	8.89	2.83	1.63	0.94	1.59

### 6. 회전별 해머의 원심력

<Table 8>은 회전별 최저점과 최고점에 대한 원심력의 크기를 나타낸 것이며, <Figure 7>은 해머의 속도에 따른 원심력의 크기를 궤적으로 나타낸 것이다. 표에 의하면, 예비 스윙 후 1회전이 시작되는 최저점의 E1에는 원심력의 크기가 체중의 평균  $0.58 \pm 0.05$  BW를 보였지만, 2회전의 최저점에서는 체중의 평균 1 BW 넘는 것으로 나타났고, 회전이 증가할수록 원심력의 크기가 증가되는 특성을 보였고, 릴리즈 순간에 있어서는 체중의 평균  $2.31 \pm 0.21$  BW로 나타났다.

피험자별 특성을 보면, 피험자 A의 경우 원심력이 점진적으로 증가되면서 최고점보다 최저점에서 크게 증가되는 특성을 보였는데, E6부터는 최저점보다 최고점에서 원심력의 크기가 다소 작아지는 특성을 보였다. 피험자 D도 최저점에서 원심력의 크기가 최고점보다 크게 증가되는 특성을 보였지만, 2회전 최고점의 E4부터 최저점보다 최고점에서 원심력이 다소 작아지는 특성을 보였다.

이와 달리, 피험자 B는 1회전이 시작되는 최저점인 E1부터 릴리즈까지 최저점과 최고점 모두 원심력의 크기가 점진적으로 증가되는 특성을 보였다. 피험자 C는 피험자 B와 유사한 유형을 보였지만, 4회전의 최고점인 E8에서만 4회전이 시작되는 E7의 최저점보다 원심력이 작아지는 특성을 보였다. 이러한 특성은 <Figure 7>에서 볼 수 있듯이, 해머의 속도가 증가할수록, 그에 대한 원심력의 크기가 점진적으로 증가되는 것을 볼 수 있으며, 피험자 A의 경우회전별 최저점과 최고점에서 큰 차이를 보이지 않고 있는 반면에 피험자 B, C, D는 회전별 최저점과 최고점에서 다소 많은 차이를 보이고 있다.

Table 8. Centrifugal force

(unit: N/Body Weight)

		LP1 (E1)	HP1 (E2)	LP2 (E3)	HP2 (E4)	LP3 (E5)	HP3 (E6)	LP4 (E7)	HP4 (E8)	LP5 (E9)	Rel (E10)
A	N	750.2	711.8	1156.7	1307.5	1624.8	1624.0	1830.5	1805.7	1865	2628.7
	BW	0.65	0.62	1.01	1.14	1.42	1.41	1.59	1.57	1.62	2.29
B	N	544.0	665.0	959.5	1256	1295.9	1352.4	1599.9	1527.2	1756.7	2198.2
	BW	0.55	0.68	0.94	1.12	1.36	1.48	1.66	1.68	1.85	2.37
C	N	504.0	626.3	772.1	958.3	1153.8	1285.5	1533.4	1503	1743.0	2240.0
	BW	0.57	0.71	0.87	1.09	1.31	1.46	1.74	1.70	1.97	2.54
D	N	611.1	680.3	1087.6	1054.3	1477.0	1209.4	1713.3	.	.	2231.8
	BW	0.56	0.62	0.99	0.96	1.34	1.10	1.56	.	.	2.03
M SD	N	602.3 108.0	670.9 35.5	994.0 169.0	1144.0 165.1	1387.9 206.0	1367.8 180.5	1669.3 130.6	1612.0 168.2	1788.2 66.8	2324.7 203.5
	BW	0.58 0.05	0.66 0.05	0.95 0.06	1.07 0.08	1.36 0.05	1.36 0.18	1.64 0.08	1.63 0.07	1.75 0.19	2.31 0.21

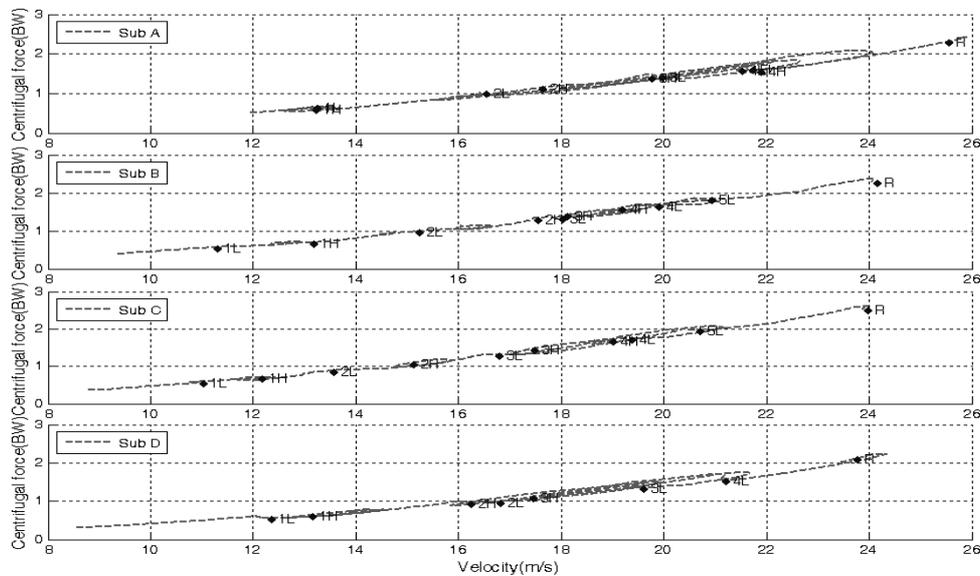


Figure 7. Trajectory between the centrifugal force and velocity of ball

#### IV. 논의

해머던지기는 지면과의 접촉부를 통하는 축을 중심으로 회전하기 때문에 회전속도가 증가하면 체력적인 측면에서 원심력(centrifugal force)과 구심력(centripetal force)에 대한 강한 팔과 다리의 힘 그리고 허리의 근력, 신체의 조정능력 등이 중요하게 작용하는 종목이다(Konz, 2006).

특히 기술적인 면에 있어서 투사 거리를 크게 하기 위해서는 릴리즈 순간의 투사 속도, 투사높이 그리고 투사 각도가 가장 주

요한 요인으로 작용하는데, 이를 위해서는 회전(turn) 동작에서 신체중심의 수평이동에 따른 빠른 회전속도를 얻는 것이 주요 관건이다(Dapena, 1986).

턴 동안 빠른 회전속도를 얻기 위해 Dapena et al.(2003), Gutierrez-Davila(2002), Bondarchuk(1987), Dapena(1986)는 해머가 최고점에 있는 한 발 지지에서는 해머의 감속이 이루어지고, 해머가 최저점에 있는 두 발 지지에서는 가속이 이루어지기 때문에 한 발 지지 시간은 짧고, 두 발 지지시간은 길게 해야 하는 것으로 보고하였는데, 본 연구에서 3회전과 4회전에서 각각

두 발 지지시간이 평균 0.29 sec와 0.26 sec, 한 발 지지시간이 평균 0.28 sec와 0.24 sec로 회전이 증가할수록 한 발 지지시간과 두 발 지지시간이 짧아지는 경향을 보였다. 그러나 Otto(1992)에 의하면, 3회전 동작으로 86.47 m의 기록을 세운 Yuriy Syedikh 선수의 2회전과 3회전의 지지시간을 분석한 결과, 2회전의 두 발 지지시간에서는 0.26 sec, 한 발 지지시간은 0.21 sec, 그리고 3회전에서 두 발 지지시간은 0.22 sec, 한 발 지지는 0.21 sec를 보이면서 한 발 지지시간보다 두 발 지지시간이 길게 나타났고, 회전이 증가할수록 지지시간이 짧아지는 것과 비교할 때, 선행 연구보다 지지시간이 긴 특성을 보임에 따라 빠른 수평이동에 의해 회전속도를 얻지 못하는 것으로 볼 수 있다.

뿐만 아니라 Konz(2006), Dapena et al.(2003), Bartonietz et al.(1997), Hay(1993), Zatsiorsky(2000)는 빠른 수평이동을 위해 회전 시 회전다리는 회전 축을 이루는 다리 가까이 회전을 해야 하며, 회전이 증가할수록 축 발과 회전 발의 거리가 좁아져야 하는 것으로 보고하였는데, <Figure 4>에 의하면, 기록이 가장 좋은 피험자 A의 경우 회전이 증가할수록 최고점에서 축 발과 회전 발의 넓이가 좁고, 점진적으로 좁아지는 특성을 보이면서 회전운동에 유리한 동작을 보이는 것과 달리 피험자 B, C, D는 최저점과 최고점에서 회전 발과 축 발이 다소 넓게 위치하고 있어 원활한 회전속도를 얻지 못하는 것으로 볼 수 있다. 특히 피험자 A의 경우 회전 발의 위치가 축 발을 중심으로 좁은 형태를 유지하면서 씨클(circle)의 공간 활용을 위해 수평거리가 짧고, 좌우의 길이를 길게 하여 빠른 회전속도를 얻는 것으로 나타났지만, 피험자 B, C, D는 축 발을 중심으로 회전 발이 넓고, 수평 길이를 길게 함으로서 한 발 지지시간과 두 발 지지시간이 길어짐에 따라 빠른 회전속도를 얻지 못하는 것으로 볼 수 있다.

해머던지기에서 가장 중요한 요인은 릴리즈 순간의 투사속도(Bartonietz et al., 1997; Dapena & McDonald, 1989; Hunter & Killgore, 2003; Maronski, 1991; Otto, 1992)로 회전 수가 증가함에 따라 해머의 속도도 비례적으로 증가하는데, Otto(1992)의 연구에 의하면, 86.47 m의 기록에서는 릴리즈 순간의 속도가 30.7 m/s를 보였고, Mizera와 Horvath(2002)의 연구에서는 86.74 m에 29.28 m/s를, 그리고 Dapena et al.(2003)의 연구에서 84.3 m는 28.84 m/s의 릴리즈 속도를 보인 것과 비교할 때, 이 연구에서 피험자 A는 64.9 m에 25.53 m/s, 피험자 B, C, D는 52.5-55.8 m에서 24.04-23.45 m/s의 속도를 보여 선행연구와 많은 차이를 보였다.

특히 Otto(1992)의 연구에서는 1회전의 두 발 지지에서 최대 속도가 20.0 m/s, 2회전은 24.9 m/s, 그리고 3회전은 26.9 m/s, 한 발 지지에서의 최대 속도는 각각 16.7 m/s, 22.6 m/s, 24.1 m/s로 최저점과 최고점에서의 감속 차이가 있지만, 예비스윙 후 1회전의 초속도가 크고, 2회전에서는 속도가 가장 큰 가속도를 보인 후 회전이 증가할수록 가속도의 크기가 커지는 특성을 보였는데, 본 연구에서는 예비 스윙 후 1회전 두 발 지지에서의 초

속도가 상대적으로 작은 결과를 보임에 따라 회전수가 증가하더라도 큰 회전속도를 얻지 못하는 것으로 생각된다.

이러한 원인은 체격적인 문제보다 체격적으로 강한 팔과 다리의 힘 그리고 허리의 근력이 상대적으로 낮기 때문에 해머의 원심력에 대응할 수 있는 구심력을 키울 수 있는 근력 트레이닝의 필요성이 요구된다고 볼 수 있다. 이와 관련해 Dapena et al.(2003), Gutierrez-Davila(2002)에 의하면 원심력의 크기는 각 회전(turn) 동작에서 신체중심의 수평이동에 따른 빠른 회전속도를 얻음으로서 증가하는데, 이 연구에서 분석된 각 회전별 원심력의 크기를 보면, 각 회전이 증가할수록 비례적으로 원심력의 크기가 점진적으로 증가하는 특성을 보였고, 릴리즈 순간에 있어서는 평균  $2.31 \pm 0.21$  BW를 보였다. 그러나 릴리즈 순간 원심력의 크기를 분석한 Okamoto, Sakurai와 Ikegami(2007)에 의하면, 기록이 좋을수록 원심력의 크기도 비례적으로 증가하는 특성을 보였는데, 체중이 90 kg, 투사속도가 28.4 m/s, 기록이 76.37 m였을 때, 원심력이 체중의 3.60 BW, 그리고 체중이 112 kg, 투사속도가 28.9 m/s, 기록이 76.67 m였을 때는 2.74 BW를 보인 것과 비교할 때, 이 연구에서 나타난 원심력의 크기가 상대적으로 작은 결과를 보였다. 이는 투사속도에서 제시하였듯이 선행연구보다 작은 속도를 보임에 따라 그에 따른 원심력의 크기가 작은 결과라 할 수 있다.

그밖에 Dapena(1984), Dapena와 Feltner(1989), Barclay(2000), Gutierrez-Davila(2002), Konz(2006)에 의하면, 회전별 속도를 증가시키기 위해서 두 발 지지의 최저점과, 한 발 지지의 최고점은 회전이 증가할수록 최저점은 낮아지고, 최고점은 높아지기 때문에 궤적각(orbit angle)이 점진적으로 커져야 하는 것으로 보고하였는데, 이 연구에서 1회전에서는 평균  $48.9 \pm 8.89^\circ$ , 2회전에서는 평균  $51.5 \pm 2.83^\circ$ , 3회전과 4회전에 있어서는 각각 평균  $48.5 \pm 1.63^\circ$ 와  $46.4 \pm 0.94^\circ$ 를 보이면서 회전에 따라 많은 편차를 보였다.

이처럼 궤적에서 많은 차이를 보이는 것은 <Table 6>에서 볼 수 있듯이, 회전이 증가할수록 최저점과 최고점의 높이가 점진적으로 낮아지거나 높아지는 특성을 보였고, <Figure 3>에 제시된 볼의 궤적변화에서 볼의 일정한 수평 이동을 보이지 않고 있기 때문에 궤적각의 변화가 크고, 결과적으로 볼의 빠른 회전속도를 얻지 못하는 것으로 볼 수 있다.

뿐만 아니라 회전이 증가함에 따라 볼의 속도를 증가시키기 위한 방법으로 Dapena(1984), Dapena와 Feltner(1989), Otto(1992), Bartonietz et al.(1997), Konz(2006)에 의하면, 두 발 지지에서 한 발 지지로 이동하기 전 볼의 위치는 축 발 앞 쪽에 놓여져 있을 때, 두 발 지지 동안 속도를 크게 증가시킬 수 있는 것으로 보고하였는데, 축 발과 회전 발, 그리고 볼의 위치를 나타낸 <Figure 5>에 의하면, 피험자 A의 경우는 4회전 최저점과 릴리즈 전 최저점에서 볼이 축 발 앞에 놓여진 특성을 보였고, 피험자 B와 C의 경우는 전반적으로 축 발보다 회전 발 앞쪽에 놓여진 특성을 보였다. 그리고 피험자 D의 경우는 2회전과 3회전의 최저점과 릴리즈 전

최저점에서 축 발 앞에 놓여진 상태에서 한 발 지지로 전환되는 특성을 보임에 따라 피험자 A와 D가 다소 회전 시 속도를 증가시킬 수 있는 자세를 보였다. 기록에 직접적인 영향을 주는 릴리즈 순간 해머의 높이는 어깨 높이와 유사한 위치에서 릴리즈가 이루어져야 하는 것으로 보고(Otto, 1992; Bartonietz et al., 1997) 하였는데, 이 연구에서는 평균  $1.69 \pm 0.08$  m의 높이를 보임에 따라, Otto(1992)의 1.66 m, Murofushi et al.(1982)의 1.7 m를 보인 선행연구와 유사한 릴리즈 높이를 보였다.

해머 투사각을 보면, 선행연구들과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났는데, 이 연구에서는 평균  $40.2 \pm 1.59^\circ$ 로, 86.74 m의 기록을 분석한 Otto(1992)의 연구에서는  $39.9^\circ$ , 80.80 m을 분석한 Murofushi et al.(1982)의 연구에서는  $38^\circ$ 를 보인 것과 비교할 때, 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 특히 Bartonietz et al.(1997)의 연구에서 기록이 40.40 m에서 49.94 m의 기록에서는 평균  $36^\circ$ 로 낮은 투사각을 보였지만, 기록이 50.04 m에서 67.58 m에서는 평균  $40^\circ$ 를 보인 것과 비교할 때 선행연구와 유사한 투사각을 보였다.

이들 연구를 통해 종합해 보면, 국내 선수들이 세계기록과 아시아 기록보다 낮은 결과를 보이는 것은 예비스윙(wind) 동작에서 얻은 초속도가 세계선수들보다 상대적으로 작고, 원심력에 대항할 수 있는 근력이 작다는 것을 볼 수 있다. 이는 회전 발과 축 발의 이동궤적과 두 발 지지에서 한 발 지지로 이동하기 전 축 발과 회전 발, 그리고 볼의 위치를 나타낸 그림에서 볼 수 있듯이, 볼을 끌어당기지 못하고, 볼에 이끌려 회전하는 모습으로 볼 수 있어, 두 발 지지 동안 회전속도를 얻지 못하는 결과로 보여 진다.

국내 선수들의 경기력 향상을 위해 차후의 연구에서 부가적으로 분석될 변인으로는 볼의 회전속도를 얻기 위해 회전 수에 따른 각운동량(angular momentum), 릴리즈 순간의 선속도와 관련된 몸통각(Dapena, 1986; Jaede, 1991), 그리고 회전이 증가할수록 원심력이 커지기 때문에 반대방향으로 똑같은 구심력을 발휘하기 위해 회전축 다리의 무릎을 최대한 굴곡 시켜야 하는 무릎각(Jaede, 1991; Otto, 1992)의 크기, 또한 두 발 지지와 한 발 지지에서 볼을 끌어당기는 자세를 확인할 수 있는 해머 줄과 어깨와의 각도(Konz, 2006; Otto, 1992)를 통해 볼을 leaded 또는 dragged 된 자세로 회전하는지를 확인할 필요가 있다.

## V. 결론

이 연구는 국내 남자 해머던지기 선수들을 대상으로 예비회전(preliminary winds) 후, 각 회전(turn)에 대한 역학적 분석을 통해 선수들의 회전동작에 대한 문제점을 찾는 데 있다. 이를

위해 국가대표 및 대표급 선수 4명을 대상으로 실험하였으며, 모든 선수들은 시합 상황에 맞게 6번의 시기 중에서 개인별 최고 측정기록을 선정하여 분석하였다.

영상분석을 위해 비디오카메라 5대를 이용하여 촬영하였으며, Kwon3D 3.1 프로그램을 이용하여 각 관절 점의 위치좌표를 얻었다. 산출된 위치좌표는 Matlab R2009a를 사용하여 운동학적, 운동역학적 변인을 계산하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

회전이 증가할수록 한 발 지지와 두 발 지지시간이 짧아지고, 회전 발이 축 발에 가까워지는 특성을 보였지만, 수평 이동보다 좌우 이동이 큰 특성을 보였다. 특히 회전이 증가함에 따라 두 발 지지에서 한 발 지지로 전환되는 시점의 최저점에서 볼이 축 발보다 회전 발 앞에 놓여져 있어, 두 발 지지에서의 회전 속도를 크게 얻지 못하는 특성을 보였다.

릴리즈 순간의 투사요인에 있어서 투사각도는 피험자 별 큰 차이는 보이지 않았지만, 궤적각에 의한 릴리즈 높이는 피험자 간에 차이를 보였다. 특히 기록에 가장 많은 영향을 주는 투사 속도는 피험자 간에 많은 차이를 보였는데, 회전이 증가함에 따라 원심력에 대항할 수 있는 체력적인 면과 기술적인 면에서의 차이를 보였다.

## 참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Kararah, M.(1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: proceedings of the ASP/UI Symposium on Close Range Photogrammetry. Falls Church, VA: *American Society of Photogrammetry*, 1-18.
- Barclay, L.(2000). A brief analysis of the women's hammer throw in Seville. *Modern Athletic and Coach*, 38, 37-39.
- Bartonietz, K., Barclay, L., & Gathercole, D.(1997). Characteristics of top performances in the women's hammer throw: Basics and technique of the world's best athletes. *IAAF*, 12(2-3), 101-109.
- Bondarchuk, A.(1987). *Technique in the Hammer Throw*. Official Report to the European Athletic Coaches Association Congress 1987.
- Choi, D. W., & Lee, W. B.(1986). The effect of length of hammer cord on the hammer throwing record. *Athletic & Sports Instructor Training Center, Chungnam National University*, 4(1), 136-139.
- Dapena, J.(1986). A kinematic study of center of mass motion in

- the hammer. *Journal of Biomechanics*, 19, 147-158.
- Dapena, J.(1984). The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuation. *Journal of Biomechanics*, 17, 553-559.
- Dapena, J., & Feltner, M. E.(1989). Influence of the direction of the cable force and of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing. *Journal of Biomechanics*, 22, 565-575.
- Dapena, J., Gutierrez-davila, M., Soto, V. M., & Rojas, F. J. (2003). Predication of distance in hammer throwing. *Journal of Sports Science*, 21, 21-28.
- Dapena, J., & McDonald, C.(1989). A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 206-220.
- Dapena, J. & Teves, M.(1982). Influence of the diameter of the hammer head on the distance of a hammer throw. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 53, 78-85.
- Gutierrez-Davila, M.(2002). A biomechanical analysis of the individual technique of the hammer throw finalists in the Seville Athletics World Championship 1999. *New Studies in Athletics*, 17(2), 15-26.
- Hay, J.(1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Hong, S. M., & An, Y. H.(1991). *A Basic Principles of Athletics Performance*. Myoungjindang Publishers.
- Hunter, I., & Killgore, G.(2003). Release velocity and angle in men's and women's hammer throw. *Track Coach*, Winter 2003, 5180-5182.
- Jaede, E.(1991). The main elements of modern hammer throwing technique. *Modern Athlete and Coach*, 27, 16-19.
- Judge, L.(1999). Are there any differences? Teaching the women's hammer. *Track Coach*, 148, 4713-4719.
- Konz, S. M.(2006). *Technique and Performance Level Comparisons of Male and Female Hammer Throwers*. Unpublished Dissertation, Brigham Young University.
- Lee, J. H.(1984). *The Influence of the Diameter of Head on the Record*. Unpublished manuscript, Chungnam National University, Graduate School of Education.
- Maroński, R.(1991). Optimal distance from the implement to the axis of rotation in hammer and discus throws. *Journal of Biomechanics*, 24(11), 999-1005.
- Mizera, F., & Horváth, G.(2002). Influence of environmental factors on shot put and hammer throw range. *Journal of Biomechanics*, 35(6), 785-796.
- Murofushi, S., Saito, M., & Yuasa, M.(1982). Biomechanical analysis of hammer throw: The speed, height and angle of release and phase analysis. *Research Journal of Physical Education Chukyo University*, 23, 38-43.
- Nam, S. M., Choi, C. K., Nam, C. U., Kim, I. K., & An, J. H.(2003). *Athletics Academy*. DaeKyung Publisher.
- Okamoto, A., Sakurai, S., & Ikegami, Y.(2007). How the body weight affect the pulling force in hammer throwing. *Journal of Biomechanics*, 40(2), 621.
- Otto, R.(1992). NSA photosequence 22 hammer throw, Commentary. In: *New Studies in Athletic*, 3, 51-65.
- Plagenhoef, S., Evans, G. F., & Abdelnour, T.(1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 169-178.
- Simonyi, G.(1980). Notes on the technique of hammer throwing. *Track & Fields Quarterly, Review*, 80(1), 29-30.
- Zatsiorsky, V. M.(2000). *Biomechanics in Sport*. Blackwell Science Ltd.