

## 한국 여자 창던지기 선수들의 기록과 릴리즈 요인과의 관계

김태삼<sup>1</sup>·류지선<sup>2</sup>·이순호<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup> 국민체육진흥공단 체육과학연구원 스포츠과학산업연구실

### The Relationship between the Distance and Release Parameters in Korean Female Javelin Throwers

Tae-Sam Kim<sup>1</sup>·Ji-Seon Ryu<sup>2</sup>·Soon-Ho Lee<sup>3</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 Sports Science & Engineering, Korea Institute of Sports Science, Korea Sports Promotion Foundation, Seoul, Korea

Received 30 April 2012; Received in revised form 22 May 2012; Accepted 1 June 2012

#### ABSTRACT

This study was to investigate the relationship between the distance and projection factors, angle factors of javelin in women's javelin throwing. The data were collected in the 2011 National Sports Festivals for 11 players. Three-Dimensional motion analysis using a system of 4 video cameras at a sampling frequency of 60 fields/s was performed for this study. The factors of release conditions calculated using Matlab 2009a program. The statistical analysis on the records(n=42) included mean and standard deviation of the mean(SD), Pearson's product moment correlation coefficient(SPSS Version 16.0 for Windows). There was a statistically significant positive relationship between the records and release velocity( $r=0.866, p<0.01$ ), height( $r=0.433, p<0.01$ ) and height rate( $r=0.340, p<0.05$ ). The attitude angle, release angle, and attack angle showed not a statistically significant relationship between the records. The medial-lateral tilt angle of javelin showed not a statistically significant relationship between the records, but the yaw angle of javelin( $r=0.549, p<0.01$ ) showed a statistically significant positive relationship between the records.

**Keywords** : Javelin, Attitude, Release, Attack, Yaw

## I. 서 론

여자 창던지기는 2.2-2.4 m의 길이와 600 g의 무게를 가지고 씨름이 아닌 너비 4 m와 거리 35 m의 구역에서 도움닫기를 이용하여 얼마나 멀리 던지느냐 하는 기록경기로서, 1-3회의 회전을

통하여 운동에너지를 발생시키는 다른 투척 종목과 다르게 도움닫기를 이용한 종목이기 때문에 투사거리가 긴 특성을 가지고 있다(Lee, Ryu & Kim, 2009; Park, 2012; Zatsiorsky, 2000).

창던지기의 투사 거리에 영향을 주는 변인으로는 풍속, 공기 밀도, 창 특성, 창의 진동, 체력, 체격, 지지발에서 파울 라인까지의 거리, 투사속도, 투사각도, 투사높이의 투사체 요인 등 다양한 변인들이 작용하지만, 어떠한 요인도 단독으로 투사 거리에 영향을 미칠 수 없고 복합적으로 작용한다(Maier, Wank, Bartonietz & Blickhan, 2000; Rich, Whiting, McCoy & Gregor, 1986). 이 같은 다양한 요인들 중에서 체격적인 면, 체력적인 면

Corresponding Author : Tae-Sam Kim  
Sports Science Institute, Korea National Sport University, 88-15  
Oryun-dong, Songpa-gu, Seoul, Korea  
Tel : 82-2-410-6712 / Fax : +82-2-418-1877  
E-mail : tskim@knsu.ac.kr  
이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-413-G00007).

그리고 기술적인 면이 중요하게 작용하는데, 체격적인 면은 신장과 팔의 길이, 체력적인 면은 도움단기와 릴리즈 구간에서의 조정력, 순발력, 근력이 중요하게 작용한다(Heo, 2001, Park, 2012; Young, 2007). 또한 도움단기 속도와 릴리즈 구간에서 투사속도, 투사각도, 투사높이 그리고 던지기 자세와 같은 기술적 측면은 최대 비행거리를 얻는데 중요하게 작용하며, 속도와 자세각과 관련된 여러 변인들의 상호작용에 의해서 비행 거리가 결정되는 것으로 선행연구에서는 제시하고 있다(Bartonietz, 2000; Hubbard & Always, 1989; Lee, et al., 2009; Morriss, Bartlett & Fowler, 1997; Park, 2012; Whiting, Gregor & Halushka, 1991; Viitasalo, Mononen & Norvapalo, 2003).

특히 Best, Bartlett 과 Morriss(1993), Bartlett 와 Best(1988), Mero 와 Komi (1994), Viitasalo et al.(2003), Young(2007) 등 많은 연구자들에 의하면 투사거리는 투사속도가 가장 중요한 요인으로 작용하는데, 투사속도를 크게 하기 위해 상지분절의 가속도는 인체분절의 기여도에 따라 어깨, 팔꿈치, 손목 순으로 관절 중심속도를 증가시켜야 하는 것으로 보고하고 있다(Ikegami, Miura, Matsui & Hashimoto, 1981; Lee, 2002; Moon, Park & Song, 2004). 특히 창의 속도를 증가시키기 위한 던지기 자세와 관련된 특성에 있어서 지지발 착지 동작의 제어력(breaking force)을 크게 하여 허리에서 토크(torque)를 발생시키는 기술이 중요하며(Lee, 2003), 이러한 기술적 자세는 릴리즈 순간 지면을 지지하고 있는 다리를 축으로 던지는 팔의 직선운동과 허리의 빠른 회전속도를 통하여 토크를 크게 함으로서 얻어진 운동량을 팔에 전달시키는 것이라 할 수 있는데(Morriss & Bartlett, 1996; Zatsiorsky, 2000), 국내 선수들의 경우 지지발 착지 시 리듬과 타이밍 그리고 일관성이 낮은 자세를 보여, 허리에서 발생된 토크를 이용하여 운동량(momentum)을 창에 전이 시키지 못하는 것으로 보고하고 있다(Lee, 2003).

투사높이도 투사거리에 영향을 주는 기술적 요인으로서 자신의 신장보다 약 0.15-0.30 m 높은 곳에서 이루어져야 하는 것처럼(Miller & Munro, 1983; Bartlett & Best, 1986), 투사거리는 여러 요인의 복합적인 작용에 이루어진다 할 수 있다. 특히 투사거리에 영향을 주는 기술적 요인 중 창과 관련된 특성을 보면, 릴리즈 속도의 최적 활용을 위해서는 창의 릴리즈각(release angle), 자세각(attitude angle), 공격각(attack angle), 요 각(yaw or sideslip, side attack angle)과 같은 변인들이 중요한 요인으로 작용(Best et al., 1993; Bartlett et al., 1996; Maier et al., 2000; Miller & Munro, 1983)하는 것으로 보고되고 있는데, 효율적인 릴리즈는 릴리즈각(release angle)과 자세각(attitude angle)이 같은 0°의 공격각에서 기록이 좋은 것으로 보고하고 있다(Bartlett et al., 1996; Best et al., 1993; Mero et al., 1994; Morriss & Bartlett, 1996; Lee et al, 2010; Rich et al., 1986; Whiting et al., 1991).

특히 Maier et al.(2000)에 의하면 1~3° 공격각에서 최대 거

리를 얻는데 유리한 것으로 나타났는데, 엘리트 선수들을 분석한 Mero et al.(1994)는 남자 선수들의 경우 자세각과 릴리즈각이 32°와 31°로 1° 공격각을 보였고, 여자 선수들에 있어서는 자세각과 공격각이 각각 40°와 34°로 6°의 공격각으로 투사되는 것으로 보고하였다. 반면에 2007오사카 세계육상선수권대회 결승에 참가한 선수들을 분석한 자료(IAAF, 2007)에 의하면, 자세각이 평균 38.3°, 릴리즈각은 평균 34.6°로, 평균 3.7°의 공격각으로 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다.

뿐만 아니라 2009베를린 세계육상선수권대회 결승에 참가한 선수들을 분석한 자료(IAAF, 2009)에 의하면, 자세각이 평균 36.9°, 릴리즈각이 평균 32.5°, 4.5°의 공격각을 보인 것과 달리 메달리스트를 분석한 자료에 의하면 자세각이 평균 37.5°, 릴리즈각이 평균 35.3°로 2.2°의 작은 공격각을 가지고 릴리즈가 이루어지는 것으로 나타나면서 기록이 우수할수록 공격각이 작은 특성을 보였다. 국내 여자 우수선수와 준우수 우수선수들의 차이를 분석한 Lee et al.(2009)의 연구에서도 우수 선수가 8.1°, 준우수 선수는 9.3°로 우수 선수들의 공격각이 다소 작은 특성을 가지고 릴리즈가 이루어지는 것으로 나타났지만, 세계 엘리트 선수들보다 공격각이 큰 특성을 보였다.

특히 Y축과 창의 방향 사이의 편각을 나타내는 요 각(yaw or sideslip, side attack angle)은 창의 비행과 관련된 공기 역학(aerodynamics)과 관련이 있는 것으로, 0°가 아닌 요 각은 창에 진동(vibration)이 발생하여 비행 시 Robbins-Magnus 효과를 발생하여 창의 비행거리에 영향(Best, Bartlett & Sawyer, 1995)을 주는데, Maier et al.(2000)에 의하면 릴리즈 순간 5~10°는 창의 회전에 따른 각운동량이 증가하여 기록 향상에 영향을 주는 것으로 제시하고 있다.

이와 관련해 2009베를린 세계육상선수권대회 결승에 참가한 여자선수들을 분석한 자료(IAAF, 2009)에 의하면, 평균 9.6°를 보인 반면에 메달리스트의 경우 평균 12.1°에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였고, 1995스웨덴 세계육상선수권대회에서 12명의 선수들을 분석한 Morriss et al.(1995)에 의하면 1°에서 최대 14°을 보였고, 메달리스트의 경우 4°에서 7° 사이에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다.

특히 Bartlett et al.(1996)는 초보선수(9.64°)들 보다 우수(3.27°)한 선수일수록 요 각이 작은 결과를 보임에 따라 선행연구에 있어서도 다소의 차이를 나타내고 있지만, 릴리즈 요인과 관련된 자세각, 공격각, 릴리즈각, 그리고 요 각의 특성이 경기력에 미치는 결과에 대해서는 공통적인 내용을 제시하고 있다.

이와 달리 릴리즈 요인과 관련된 창 각의 특성을 분석한 국내 연구에 있어서는 실험상황과 특정 선수만을 대상으로 한 정성적 분석이 주를 이루어왔고, 실제 경기상황에서 모든 선수들을 대상으로 기록과의 관계(Maier et al., 2000)를 정량적 분석한 연구는 다소 미흡한 실정에 있다. 특히 창 각과 관련된 자세각과 공격각을 분석한 최근에는 다수의 연구(Lee & Jang, 2011;

Lee et al, 2009; Park, 2012)가 이루어져 왔지만, 요 각을 이용한 기록과의 관계를 분석한 연구는 미비한 실정에 있다.

따라서 이 연구는 지난 2011년 전국체전 여자 창던지기 참가한 11명의 선수들을 대상으로 예선, 결선의 기록과 릴리즈 요인과 관련된 창 각의 요인, 그리고 투사요인과의 관계를 분석함으로써, 세계 엘리트 선수들과 국내 선수들의 특성을 비교함으로써 국내 선수들의 경기력 향상을 위한 자료로 제공하는 데 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상자

본 연구의 대상은 2011년 제92회 전국체전에 참가한 여자 창던지기 11명의 선수들을 대상으로 예선(3차 시기)과 결선(3차 시기)에 참가한 선수들이며, 이들의 신체적 특성과 시기별 기록은 <Table 1, 2> 같다.

Table 1. Subject characteristics(M±SD)

	Height (m)	Body mass (kg)	Career (yrs.)	Record (m)
M	1.68	72.3	11.27	52.70
SD	0.05	8.32	4.05	5.01

### 2. 실험 장비

본 연구에 사용된 실험장비와 분석 장비는 <Table 3>와 같이 촬영 장비와 영상분석 장비를 사용하였다.

### 3. 실험 절차

본 연구에서 촬영된 영상 자료는 2011년 제92회 전국체전

여자 창던지기 예선과 결선을 촬영한 것으로, 영상촬영을 하기 위해 Sony HXR-MC2000 비디오 카메라 4대를 이용하여 촬영하였다.

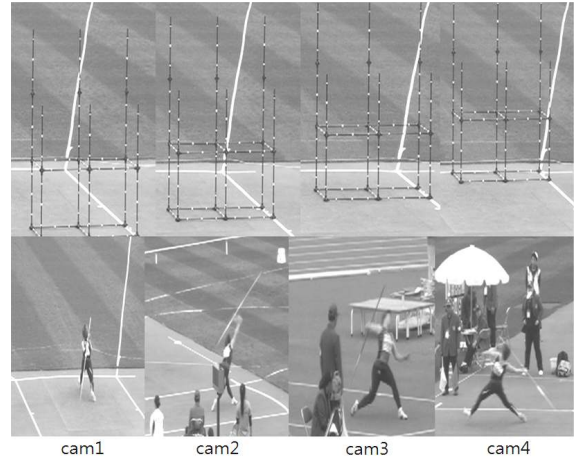


Figure 1. Setting of control object and camera

영상분석에 필요한 공간 좌표를 얻기 위해 <Figure 1>과 같이 높이 3 m, 길이 7 m, 폭 2 m의 통제점 틀을 설치하였고, 비디오 카메라 영상은 60 fields/s로 촬영하였으며, 셔터스피드는 250 Hz/s로 설정하였다.

### 4. 자료처리 및 분석 변인

창의 머리점(top), 그립(grip), 끝점(end)의 세 점을 이용하여 릴리즈 순간의 투사속도와 투사높이를 산출하였으며, 창 각과 관련된 자세각, 릴리즈각, 그리고 공격각, 좌우 기울기각, 요 각은 <Figure 2>와 <Table 4>과 같은 변인을 산출하였으며, 특히 창 각도와 관련된 변인은 Matlab2009a 프로그램을 이용해서 산출하였다. 기록(n=42)과 각 운동학적 요인에 대한 관계를 규명하기 위해 SPSS 16.0 통계 프로그램의 Pearson의 상관분석을 통해 검증 하였으며, 유의수준은 0.5로 설정하였다.

Table 2. Official records of each trails

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	(unit: m)
Pre	1st	57.27	53.82	53.02	47.39	44.93	x	45.56	42.64	44.77	43.15	39.43	
	2nd	57.89	55.97	x	51.62	50.25	47.34	42.61	45.49	43.22	40.37	40.07	
	3rd	56.93	56.01	x	x	x	46.03	46.62	46.23	x	42.20	39.90	
Final	4th	57.34	55.13	x	48.76	x	46.25	47.10	45.04	.	.	.	
	5th	58.52	55.60	x	49.32	x	x	x	42.80	.	.	.	
	6th	58.27	57.47	x	x	x	48.80	46.99	45.71	.	.	.	

### Ⅲ 결 과

Table 3. Experimental equipments

Equipment	Product	Manufacturer
Photograph instrument	Sony HXR-MC2000 Control Object(1 m×2 m×2 m)	Sony Ins. VISOL Ins.
Analysis instrument	Kwon3D Version 3.1 Matlab R2009a	VISOL Ins. Matworks ins.

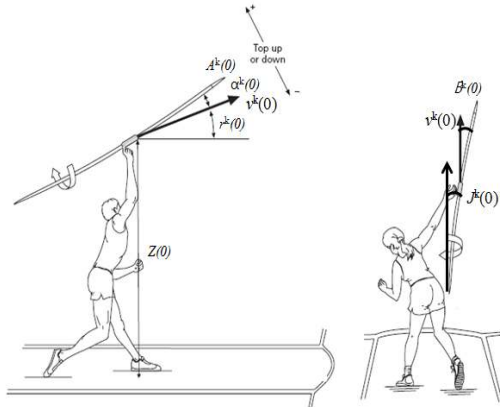


Figure 2. Angle definition(Zatsiorsky, 2000)

#### 1. 기록과 투사높이와의 관계

<Table 5>는 전체(n=57) 피험자의 예선(n=33)과 결선(n=24)에서 실패 시기(n=15)를 제외한 성공 기록(n=42)과 투사 높이의 상관관계를 나타낸 것이다. 릴리즈 순간의 투사높이를 보면, 전체 평균 1.56±0.06 m( $r = .433, p < .01$ )로 이는 신장비 평균 92.7±4.06 %( $r = .340, p < .05$ )에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 피험자 R4는 평균 1.64±0.02 m로 가장 높은 투사점을 보였지만, 93.9±0.86 %로 신장에 비해 상대적으로 낮은 위치를 보였고, 기록이 가장 좋은 피험자 R1의 경우는 평균 1.60±0.06 m를 보였지만, 평균 98.4±3.87 %로 신장 대비 가장 높은 위치에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 특히 기록이 가장 좋은 5차 시기에 있어서는 1.67 m로 신장에 비해 상대적으로 높은 102.5 %의 높이에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 반면 기록이 낮은 피험자 R11의 경우 평균 1.40±0.01 m로, 85.6±0.35 %의 낮은 신장비에서 릴리즈가 이루어져 릴리즈 순간의 투사점이 높을수록 기록이 특성을 보였다.

Table 4. Angle definition

Parameter	Unit	Factor	Definition
$Z(0)$	m	Height of release	Height between ground and the javelin's grip at the instant of release
$V^k(0)$	m/s	Release velocity	Velocity of the javelin's grip
$A^k(0)$	deg.	Attitude angle	Angle of up and down tilt of javelin(X axis)
$r^k(0)$	deg.	Release angle	Angle of velocity vector at the instant of release
$\alpha^k(0)$	deg.	Attack angle	Angle between $A^k(0)$ and $r^k(0)$
$\beta^k(0)$	deg.	Yaw angle	Angle between $V^k(0)$ and $J^k(0)$
$J^k(0)$	deg.	Medial-lateral angle	Angle of medial and lateral tilt of javelin(Y axis)

Table 5. Height of javelin at the instant of release

		(unit: m & %)											
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	M±SD
Pre	1st	m	1.55	1.52	1.58	1.63	1.59		1.54	1.53	1.57	1.52	1.41
		%	95.1	87.9	94.0	93.1	91.4		92.2	91.1	92.9	95.0	86.0
	2nd	m	1.67	1.56		1.66	1.57	1.63	1.59	1.49	1.49	1.59	1.4
		%	102.5	90.2		94.9	90.2	94.8	95.2	88.7	88.2	99.4	85.4
	3rd	m	1.55	1.52				1.53	1.58	1.57		1.52	1.4
		%	95.1	87.9				89.0	94.6	93.5		95.0	85.4
Final	4th	m	1.64	1.58		1.65		1.53	1.61	1.55			
		%	100.6	91.3		94.3		89.0	96.4	92.3			
	5th	m	1.67	1.59		1.63				1.61			
		%	102.5	91.9		93.1				95.8			
	6th	m	1.54	1.54				1.6	1.51	1.53			
		%	94.5	89.0				93.0	90.4	91.1			
M	m	1.60	1.55		1.64	1.58	1.57	1.57	1.55	1.53	1.54	1.40	1.56
	SD	0.06	0.03		0.02	0.01	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.01	0.06
SD	%	98.4	89.7		93.9	90.8	91.4	93.8	92.1	90.5	96.5	85.6	92.7
		3.87	1.73		0.86	0.81	2.94	2.42	2.43	3.35	2.53	0.35	4.06

$m(r = .433^{**}), \% (r = .340^{*})$

height(m) :  $p < .01^{**}$ , height rate(%) :  $p < .05^{*}$

## 2. 기록과 투사속도와의 관계

<Table 6>은 각 피험자 별 투사속도와 기록과의 상관관계를 나타낸 것이다.

릴리즈 순간의 투사속도를 보면, 전체 평균 20.4±1.62 m/s의 속도에서 릴리즈가 이루어지는 것으로 나타났고, 기록이 좋을수록 투사속도가 큰 정적관계( $r=.866, p<.01$ )를 보였다. 기록이 좋은 피험자 R1은 평균 23.02±0.88 m/s로 가장 큰 투사속도를 보였고, 58.52 m로 대회 기록을 세운 5차 시기에 있어서는 23.68 m/s로 가장 큰 속도를 보였다. 피험자 R2의 경우는 평균 22.28±0.61 m/s를 보였고, 57.47 m인 6차 시기에서는 23.09 m/s로 R1과 큰 차이를 보이지 않는 특성을 보였다. 반면에 기록이 가장 낮은 피험자 R11의 경우 가장 낮은 평균 18.34±0.29 m/s로

피험자 R1보다 약 5 m/s 낮은 속도에서 릴리즈가 이루어지면서 기록이 좋을수록 릴리즈 순간의 투사속도가 큰 특성을 보였다.

## 3. 기록과 창 각과의 관계

<Table 7>은 릴리즈 순간 창의 자세각, 릴리즈각, 그리고 공격각, 그리고 요 각의 크기와 기록과 창 각도요인과의 상관관계를 나타낸 것이다.

릴리즈 순간 창의 자세각(X axis)을 살펴보면, 전체 평균 40.1±4.03 °로 피험자 R10이 평균 49.5±1.33 °로 가장 큰 자세각에서 릴리즈 동작을 보였고, 기록이 가장 좋은 피험자 R1의 경우 평균 39.5±1.25 °에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였지만 기록과 유의하지 않은 관계를 보였다.

Table 6. Velocity of javelin at the instant of release

(unit: m/s)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	M±SD
Pre	1st	23.37	21.74	21.31	19.72	20.25	.	18.80	18.88	19.71	19.33	18.51
	2nd	23.47	22.30	.	20.42	20.09	18.70	19.85	19.30	19.42	19.26	18.01
	3rd	21.38	22.94	.	.	.	20.00	19.82	19.50	.	19.01	18.50
Final	4th	22.68	21.97	.	19.72	.	19.30	20.20	19.30	.	.	.
	5th	23.68	21.66	.	19.93	.	.	.	18.59	.	.	.
	6th	23.54	23.09	.	.	.	19.05	20.05	19.38	.	.	.
M	23.02	22.28	21.31	19.95	20.17	19.26	19.74	19.16	19.57	19.20	18.34	20.4
SD	0.88	0.61		0.33	0.11	0.55	0.55	0.35	0.21	0.17	0.29	1.62

$r=.866^{**}$

$p<.01^{**}$

Table 7. Attitude, release and attack angle of javelin(M±SD)

(unit: deg)

	Attitude		Release	Attack	Yaw
	(X axis)	(Y axis)			
R1	39.5±1.25	13.6±1.88	37.4±4.28	2.1±4.64	6.2±5.14
R2	42.0±2.28	15.3±1.79	36.1±3.72	5.8±3.65	6.5±2.48
R3	34.1	15.9	34.4	0.3	3.8
R4	41.9±3.45	19.6±3.77	33.5±4.35	8.4±1.37	8.5±1.71
R5	41.2±0.53	22.8±1.80	44.7±1.64	-3.4±1.12	9.4±5.77
R6	39.5±1.39	12.5±3.36	33.9±4.76	5.6±3.71	-2.0±1.23
R7	39.8±2.69	18.0±3.06	38.2±1.20	1.6±2.81	1.6±2.02
R8	35.6±2.76	21.4±4.02	34.3±2.70	1.3±2.95	3.8±3.86
R9	41.1±2.72	17.9±5.58	33.9±4.98	7.1±2.26	2.7±1.87
R10	49.5±1.33	3.5±4.68	33.4±3.92	16.1±2.06	-4.9±4.44
R11	37.0±1.84	13.2±0.22	31.9±1.67	5.1±0.17	-3.8±2.28
M±SD	40.1±4.03	15.9±5.47	35.6±4.19	4.5±5.21	3.2±5.20
r	.153	-.037	.226	-.051	.549 <sup>**</sup>

$p<.01^{**}$

릴리즈순간의 투사각을 살펴보면 보면, 전체 평균  $35.6 \pm 4.19^\circ$ 로 기록과 유의하지 않은 관계를 보였지만, 기록이 좋은 피험자 R1의 경우 평균  $37.4 \pm 4.28^\circ$ , 피험자 R2의 경우는 평균  $36.1 \pm 3.72^\circ$ 에서 차이가 투사되는 것으로 나타났다. 특히 대부분의 피험자가  $35^\circ$  내외에서 투사되는 특성을 보였지만, 피험자 R5의 경우 평균  $44.7 \pm 1.64^\circ$ 로 다른 피험자들보다 큰 투사각으로 던지는 특성을 보였고, 피험자 R4, R6, R8, R9, R10, R11은  $35^\circ$ 보다 작은 투사각으로 던지는 특성을 보였다.

자세각과 릴리즈각과의 차이를 나타낸 공격각을 살펴보면, 전체 평균  $4.5 \pm 5.21^\circ$ 로 나타났고, 기록이 좋은 피험자 R1의 경우 평균  $2.1 \pm 4.64^\circ$ 를 보였고, 피험자 R3은  $-0.3^\circ$ 의 공격각을 보인 반면에 기록이 낮은 R7과 R8은 평균  $1.6 \pm 2.81^\circ$ 와  $1.3 \pm 2.95^\circ$ 로 공격각이 작은 특성을 보였다.

자세각과 릴리즈각에서 기록과 유의하지 않은 관계를 보인 것처럼 기록과 공격각과의 관계에서도 상관관계가 유의하지 않은 결과를 보였다.

릴리즈 순간 창의 좌우 기울기각(Y axis)을 살펴보면, 전체 평균  $15.9 \pm 5.47^\circ$ 로 기록이 좋은 피험자 R1과 R2의 경우 평균  $13.6 \pm 1.88^\circ$ 와  $15.3 \pm 1.79^\circ$ 를 보인 것과 달리 기록이 낮은 피험자 R10의 경우 평균  $3.5 \pm 4.68^\circ$ 로 기울기각이 작은 자세에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보이면서 피험자 간에 많은 편차를 보였다. 이와 관련된 요 각에 대한 특성을 보면 전체 평균  $3.2 \pm 5.20^\circ$ 로 기록이 다소 낮은 피험자 R7이 평균  $1.6 \pm 2.02^\circ$ 로 가장 작은 각을 보인 반면에 기록이 좋은 피험자 R1, R2, R3의 경우 각각 평균  $6.2 \pm 5.14^\circ$ ,  $6.5 \pm 2.48^\circ$ ,  $3.8^\circ$ 에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 특히 피험자 R6, R10, R11의 경우 다른 피험자들과 달리  $-2.0 \pm 1.23^\circ$ ,  $-4.9 \pm 4.44^\circ$ ,  $-3.8 \pm 2.28^\circ$ 를 보임에 따라 창의 우측방향을 벗어나는 특성을 보이면서 기록이 좋을수록 요 각이 다소 큰 자세각에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다( $p < .01$ ).

## IV. 논 의

창던지기 투사 거리는 체격적, 체력적, 그리고 기술적인 다양한 변인들의 복합적 작용에 의해 결정(Maier et al., 2000; Rich et al., 1986)되는데, 이 연구에서는 릴리즈 요인을 투사체 요인과 창 각과 관련된 요인을 대상으로 기록과의 관계를 통해 기록에 미치는 영향을 분석하였다.

기록과 관련된 투사요인 중 투사높이를 보면, 릴리즈 순간 창의 높이는 일반적으로 자신의 신장보다 약 15-30cm 정도 높은 곳에서 릴리즈 동작이 이루어져야 하고(Bartlett & Best, 1988; Miller & Munro, 1983), 최근 2011 세계대구육상대회 여자 메달리스트를 분석(Kim et al., 2011)한 연구에 의하면 71.99 m,

71.58 m, 68.38 m의 기록에서 평균 1.88 m의 높이를 보인 것과 달리 이 연구에 나타난 결과에서는 전체 평균  $1.56 \pm 0.06$  m로  $92.7 \pm 4.06\%$ 의 낮은 신장비에서 릴리즈가 이루어지는 것으로 나타나면서 세계엘리트 선수들보다 낮은 위치에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 특히 2011 대구육상대회에 참가한 Kim, K.A의 경우 54.96 m의 기록에 1.62 m를 보였는데, 이 연구(R1)에서는 평균  $1.60 \pm 0.06$  m를 보였고, 대회 기록을 세운 5차 시기에 있어서는 다소 높은 1.67 m( $102.5\%$ )의 투사점을 보인 반면 기록이 낮은 피험자 R11의 경우 가장 낮은 평균  $1.40 \pm 0.01$  m( $85.6 \pm 0.35\%$ )에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 기록과 투사높이(Figure 3,  $r = .433$ ,  $p < .01$ ), 신장비(Figure 4,  $r = .0115$ ,  $p < .05$ )와의 상관관계에서도 기록이 좋을수록 릴리즈순간의 투사점이 높은 정적관계를 보임에 따라 투사높이가 높을수록 기록이 좋은 것으로 나타났다. 따라서 Lee et al.(2009), Kim et al.(2011), Park(2010), Young(2007), Viitasalo et al.(2003)이 보고한 것처럼, 릴리즈 순간 상지와 하지의 자세각에 따라 릴리즈 높이가 다르게 나타날 수 있지만, 투사점을 높이기 위해서는 상대적으로 상지와 하지 관절을 신전된 자세를 유지해야 하는 것으로 사료된다.

투사거리에 가장 큰 영향을 미치는 투사속도에 대한 특성(Best, Bartlett & Morriss, 1993; Bartlett & Best, 1988; Mero & Komi, 1994; Viitasalo et al., 2003; Young, 2007)을 살펴보면, 투사속도와 기록과의 관계에 있어서 Rich et al.(1985)은  $r = 0.56$ , Komi와 Mero(1985)는  $r = 0.72$ , Mero et al.(1994)은  $r = 0.74$ , 그리고 Viitasalo et al.(1993)의 연구에서는  $r = 0.88$ 로 투사속도는 기록과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고하였는데, 이 연구에 의하면, 기록이 좋을수록 투사속도가 큰 정적관계( $r = .866$ ,  $p < .01$ , Figure 5)를 보임에 따라 기록에 투사속도가 크게 기여하는 결과를 보였다.

그러나 Viitasalo et al.(2003)에 의하면 58 m에서 60 m사이의 기록에서는 25.6 m/s, Best et al.(1993)의 연구에서는 24.6 m/s, 2011 대구육상대회 여자 메달리스트를 분석(Kim et al., 2011)한 연구에 의하면 평균 25 m/s의 속도를 보인 것과 달리 이 연구에서는 전체 평균  $20.4 \pm 1.62$  m/s의 속도를 보여 세계선수들과 많은 속도차이를 보이고 있다.

Viitasalo et al.(2003)에 의하면, 여자 선수들의 경우 1 m/s의 차이는 2.25 m에서 3.68 m의 기록 차이를 보이는 것으로 보고하였는데, 이 연구에서 피험자 R1은 평균  $23.02 \pm 0.88$  m/s를 보였고, 5차 시기에 대회 기록인 58.52 m에서는 23.68 m/s를 보임에 따라, 국내 선수들은 세계 엘리트 선수들과 큰 속도차이에 의해 기록이 낮은 것으로 볼 수 있다. 따라서 Lee(2003)가 지적한 것처럼 국내 선수들이 투사속도를 크게 하기 위해서는 허리의 빠른 회전속도를 통하여 토크를 크게 함으로서 얻어진 운동량을 팔에 전달시키는 기술(Lee, 2003; Morriss & Bartlett, 1996; Zatsiorsky, 2000)을 이용해야 하는 것으로 나타났다.

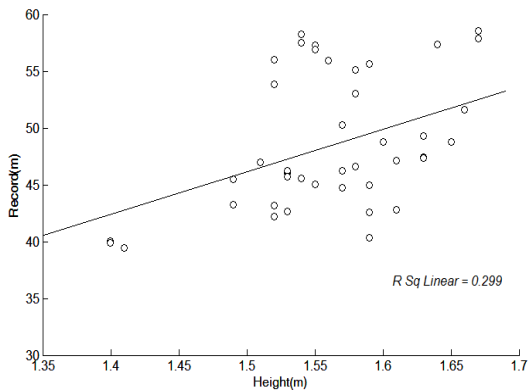


Figure 3. Correlation between record and height

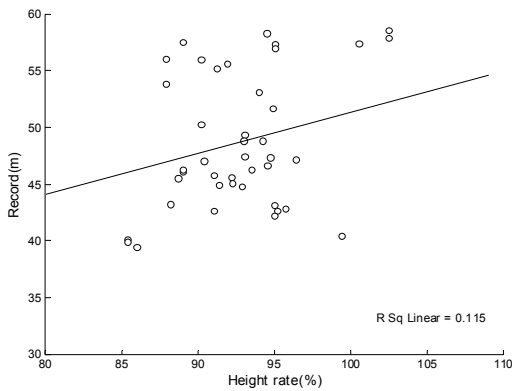


Figure 4. Correlation between record and height rate

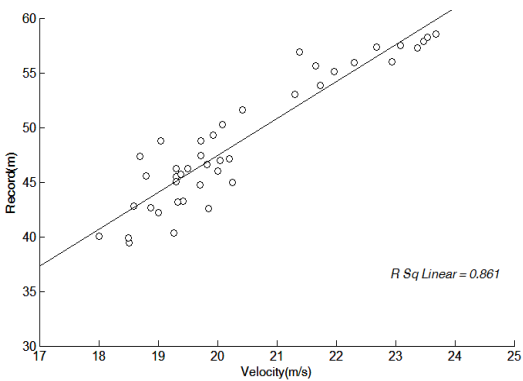


Figure 5. Correlation between record and velocity

릴리즈 요인 중 창 각과 관련하여 좋은 기록을 내기 위한 효율적인 릴리즈는 릴리즈각과 자세각사이의 공격각이 작은 것이 유리한 것(Lee et al., 2009; Mero et al., 1994; Morriss & Barlett, 1996; Park, 2012; Young, 2007; Viitasalo et al., 2003)으로 보고되고 있으며, 시뮬레이션을 통해 기록과 최적의 창 각의 특성을 분석한 Maier et al.(2000)에 의하면 공격각은 릴리즈각보다 1~3° 크고, 요 각의 경우는 5~10°일 때 최대의 거리를 얻을 수 있는 것으로 보고하고 있다.

이 연구에서 릴리즈순간 창의 수직기울기(X축)와 관련된 자세각과 릴리즈각, 그리고 공격각에 대한 특성을 살펴보면, 자세각은 평균  $40.1 \pm 4.03^\circ$ , 릴리즈각은 평균  $35.6 \pm 4.19^\circ$ , 그에 따른 공격각은 평균  $4.5 \pm 5.21^\circ$ 를 보였다. 2007오사카세계육상선수권대회 결승을 분석한 연구(IAAF, 2007)에 의하면, 자세각, 릴리즈각, 공격각이 각각  $38.3^\circ$ ,  $34.6^\circ$ ,  $3.7^\circ$ , 2009베를린세계육상선수권대회 결승을 분석한 연구(IAAF, 2009)에서는 자세각, 릴리즈각, 공격각이 각각  $36.9^\circ$ ,  $32.5^\circ$ ,  $4.5^\circ$ 를 보였으며, 2009베를린세계육상선수권대회 메달리스트들의 경우 자세각이  $37.5^\circ$ , 릴리즈각이  $35.3^\circ$ , 그리고  $2.2^\circ$ 의 공격각에서 릴리즈가 이루어지면서 기록이 우수할수록 공격각이 작은 특성을 보이면서 이 연구에서 나타난 결과보다 자세각과 릴리즈각이 작은 특성을 보였다. 이와 달리 지난 2011대구세계육상선수권대회 메달리스트를 분석한 Kim et al.(2011)은 자세각이  $43^\circ$ , 릴리즈각이  $39.0^\circ$ , 그리고 공격각이  $4.0^\circ$ 를 보여 2007오사카 세계육상선수권대회와 2009베를린세계육상선수권대회 메달리스트들의 자세각과 릴리즈각 보다 큰 각을 보였고, 이 연구에서 나타난 결과보다 자세각과 릴리즈각이 큰 특성을 보였다.

이는 공격각과 기록과의 유의한 관계가 낮은 것으로 보고한 Viitasalo et al.(2003)처럼, 이 연구에서도 자세각, 릴리즈각, 그리고 공격각이 기록과 유의하지 않는 관계를 보였는데, 피험자별 특성에 있어서 기록이 좋은 피험자 R1의 경우  $37.4 \pm 4.28^\circ$ , 피험자 R2는  $36.1 \pm 3.72^\circ$ 에서 창이 투사되는 것으로 나타났지만, 피험자 R3, R4, R6, R8, R9, R10, R11은  $35^\circ$ 보다 작은 투사각을 보여 세계엘리트선수들과 유사한 투사각을 보임에 따라 투사속도가 기록에 가장 중요하게 작용하는 요인으로 나타났다(Maier et al., 2000; Mero & Komi, 1994; Viitasalo et al., 2003; Young, 2007).

그러나 국내 선수들의 여자 우수선수와 준우수선수들의 공격각에 대한 차이를 분석한 Lee(2009)의 연구에서도 우수 선수가  $8.1^\circ$ , 준우수 선수는  $9.3^\circ$ 로 세계 엘리트 선수들보다 공격각이 큰 특성을 보였고, 이 연구에서도 기록이 낮은 피험자 R10의 경우 자세각이 평균  $49.5 \pm 1.33^\circ$ 로 창이 세워진 자세를 보인 반면에 릴리즈각은 평균  $33.4 \pm 3.92^\circ$ , 그에 따른 공격각이  $16.1 \pm 2.06^\circ$ 로 크게 나타나 창의 굽힘 현상으로 인해 투사거리가 작은 결과를 보였고, 피험자 R5의 경우는 자세각( $41.2 \pm 0.53^\circ$ )보다 오히려 릴리즈각( $44.7 \pm 1.64^\circ$ )이 큰 특성을 보였는데, 이는 창을 들어 올리면서 던지는 자세를 보여 창이 위로 뜨게 하여 기록이 낮은 것으로 볼 수 있다. 이처럼 국내 선수들이 창의 올바른 비행 경로를 만들기 위해서는 자세각을 보다 작게 유지하는 것이 유리한 동작으로 보여진다.

특히 2011대구세계육상선수권대회에서 54.96 m의 기록을 나타낸 국내 선수(Kim, K.A)의 경우 자세각, 릴리즈각, 공격각이 각각  $44.7^\circ$ ,  $43.2^\circ$ ,  $1.5^\circ$ 를 보여 세계엘리트선수들보다 큰 각

도에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였지만, 54.96 m보다 모든 6차 시기 기록이 좋았던 전국체전을 분석한 이 연구의 자세각과 릴리즈각은 평균  $39.5 \pm 1.25^\circ$  와  $37.4 \pm 4.28^\circ$  로 2011대구세계육상선수권대회보다 작은 자세각과 릴리즈각을 보임에 따라 Kim, K.A(R1) 선수의 경우 자세각과 릴리즈각을 작게 하는 것이 기록 향상을 위해 유리한 자세로 나타났다.

Y축과 창 방향 사이의 편각을 나타내는 요 각의 특성을 보면, 요 각은 창 비행과 관련된 공기 역학(aerodynamics)과 관련이 있는 것으로, 0°가 아닌 요 각은 창에 진동(vibration)이 발생하여 비행 시 Robbins-Magnus 효과를 발생하여 창 비행 거리에 영향을 준다(Best et al., 1995). Maier et al.(2000)에 의하면 창은 비행하면서 장 축에 대해 회전을 하게 되는데, 릴리즈 순간 약 10°의 요 각은 창 회전에 따른 각운동량을 발생시켜 최대 거리를 얻는데 유리한 조건이며, 투사속도와 관계에서는 5~10°일 때 선형적인 관계를 보임에 따라 그에 따른 투사거리도 비례적으로 증가되지만, 오히려 큰 요 각은 릴리즈 후 창 굽힘 현상을 유발하여 비행거리가 줄어드는 것으로 보고하고 있다. 엘리트선수들의 요 각을 분석한 선행연구에 의하면, 2009베를린 세계육상선수권대회 결승에 참가한 여자선수들을 분석한 연구(IAAF, 2009)에 의하면, 평균 9.6°를 보인 반면에 메달리스트의 경우 평균 12.1°에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였고, 1995스웨덴 세계육상선수권대회 결승을 분석한 Morriss et al.(1995)에 의하면 1°에서 최대 14°을 보였고, 메달리스트의 경우 4°에서 7° 사이에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다. 특히 Bartlett et al.(1996)는 초보선수(9.64°)들보다 우수(3.27°) 선수일수록 요 각이 작은 결과를 보임에 따라 선행연구에 있어서도 다소의 차이를 나타내고 있다. 이 연구에서는 경기장의 풍속(wind speed)과 창 재질, 진동 등과 같은 여러 요인 등을 고려되어야 하지만, 창 속도벡터와 좌우 기울기각을 이용하여 창 요 각을 분석한 결과, 전체 평균  $3.2 \pm 5.20^\circ$  로 선행연구보다 다소 작은 값을 보였다.

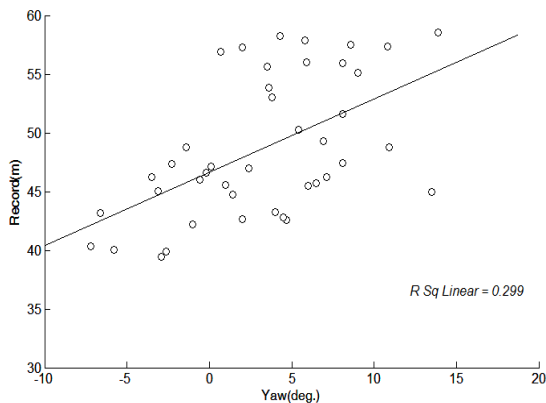


Figure 6. Correlation between record and yaw angle

그러나 기록이 낮은 피험자 R7은 평균  $1.6 \pm 2.02^\circ$  로 가장 작은 각을 보인 반면에 기록이 좋은 피험자 R1, R2의 경우 각각 평균  $6.2 \pm 5.14^\circ$ ,  $6.5 \pm 2.48^\circ$  로 선행연구에서 제시한 5~10°의 범위에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였고, 피험자 R6, R10, R11의 경우는 다른 피험자들과 달리  $-2.0 \pm 1.23^\circ$ ,  $-4.9 \pm 4.44^\circ$ ,  $-3.8 \pm 2.28^\circ$  로 장축 진행 방향과 반대인 왼쪽으로 창이 비행하는 특성을 보이면서 기록이 좋을수록 요 각이 다소 큰 자세각에서 릴리즈가 이루어지는 특성을 보였다( $r=0.549$ ,  $p<0.01$ , Figure 6). 빠른 투사속도와 작은 창 공격각, 그리고 창 적절한 요 각의 조건이 만들어질 때, 비행 거리가 증가(Maier et al., 2000)되는데, 이 연구에 있어서 기록이 가장 좋은 피험자 R1의 경우 릴리즈 속도가  $23.02 \pm 0.88$  m/s, 공격각은  $2.1 \pm 4.64^\circ$ , 그리고 요 각은  $6.2 \pm 5.14^\circ$  를 보였고, 피험자 R2에 있어서도 릴리즈속도가  $22.28 \pm 0.61$  m/s, 공격각이  $5.8 \pm 3.65^\circ$ , 그리고 요 각이  $6.5 \pm 2.48^\circ$  를 보인 것과 달리 기록이 낮은 R10의 경우 낮은 릴리즈 속도와  $16.1 \pm 1.52^\circ$  의 공격각, 그리고  $-4.9 \pm 4.44^\circ$  의 요 각을 보임에 따라 공격각과 요 각에 있어서 시기 별 많은 편차를 보임에 따라 기록 향상을 위해서는 투사속도와 더불어 창 자세각을 유지해야 하는 것으로 나타났다. 창 최대 거리를 얻는데 중요하게 작용하는 도움단기 속도, 릴리즈 구간에서 투사속도, 투사각도, 투사높이 그리고 던지기 자세와 같은 기술적 특성의 여러 변인들 간 상호작용에 의해서 비행 거리가 결정되는 것으로 선행연구에서 제시하였듯이 이 연구에서 릴리즈 요인과 관련된 요인과 기록과의 관계를 종합해 보면, 선행연구들과 같이 투사높이와 투사속도가 기록과 유의한 관계를 보였고, 투사속도가 기록에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 나타났다. 특히 창 각과 관련된 요인을 분석한 결과에 의하면, 국내 선수들의 경우 자세각과 릴리즈각이 큰 특성을 보였는데, 세계엘리트 선수들의 경우 자세각과 릴리즈각이 작다는 것은 수평속도 성분이 크게 작용하는 것으로 볼 수 있고, 국내 선수들의 경우는 수직속도가 크게 작용하는 결과로 볼 수 있다. 따라서 수평속도를 크게 하기 위해서는 다양한 요인이 작용하지만, 이 연구에서 제시된 결과를 토대로 일관성이 있는 창 자세각을 유지해야 하는 것으로 사료된다. 또한 창 각과 관련된 요 각은 기록과 유의한 관계를 보임에 따라 창 회전이 크지 않고, 굽힘 현상을 줄이기 위해서는 적절한 좌우 기울기각의 자세각을 유지해야 하는 것으로 나타났다. 특히 모든 피험자들의 경우 시기 별 많은 편차를 보임에 따라 앞서 제시하였듯이, 자세의 일관성과 릴리즈순간 신체의 움직임에 대한 일관성을 유지하는 것이 기록향상을 위해 중요한 과제로 사료된다.

## V. 결 론

이 연구는 여자 창던지기 시 기록과 투사요인 및 창 각과의



관계를 규명함으로써 창 의 자세각이 경기력에 미치는 영향을 분석하고자 하는데 있다. 이를 위해 2011년 제 92회 전국체전에 참가한 여자 창던지기 11명(신장:  $1.68 \pm 0.05$  m; 체중:  $72.3 \pm 8.32$  kg; 경력:  $11.27 \pm 4.05$  yrs; 최고기록:  $52.70 \pm 5.01$  m; 공식기록:  $48.7 \pm 5.97$  m)의 선수들을 대상으로, 예선(3차 시기, 11명)과 결선(3차 시기, 8명) 시기에 대한 자료(n=57) 중 성공 시기(n=42)를 대상으로 분석하였다. 창 의 머리(top), 꼬리(end), 그리고 그립(grip)에 대한 3차원 좌표를 얻기 위해 60 fields/s로 촬영되는 Sony HXR-MC2000 비디오 카메라 4대를 이용하여 촬영하였다. 창에 대한 3차원 좌표 값은 Kwon3D 3.1(2005, VISOL Ins)을 프로그램을 이용하여 얻었으며, 창 의 운동학적 산출 요인은 창 의 투사높이와 투사속도, 그리고 자세각, 릴리즈각, 공격각, 좌우 기울기각, 요 각이며, Matlab2009a를 이용하여 창 의 각도요인을 산출하였다. 기록(n=42)과 각 운동학적 요인에 대한 관계를 규명하기 위해 SPSS 16.0 통계 프로그램의 Pearson의 상관분석을 통해 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

투사요인 중 투사높이( $r = .433, p < .01$ )와 신장비( $r = .340, p < .05$ )는 기록과 유의한 관계를 보이면서 투사점이 높을수록 기록이 좋은 것으로 나타났고, 투사속도에 있어서도 기록과 높은 관계( $r = .866, p < .01$ )를 보이면서 투사속도가 클수록 기록이 좋은 것으로 나타났다. 기록과 창 의 각 요인과 관계에 있어서 창 의 자세각, 투사각, 자세각과 투사각의 차이인 공격각에 있어서는 피험자 간에 많은 차이를 보임에 따라 유의하지 않은 관계를 보였다. 그러나 창 의 좌우 기울기각과 투사속도 벡터의 차이인 요 각에 있어서는 기록이 좋을수록 각이 큰 특성( $r = .549, p < .01$ )을 보였다.

## 참고문헌

- Bartlett, R. M., & Best, R. J.(1988). The biomechanics of javelin throwing: a review. *Journal of Sports Science*, 6, 1-38.
- Bartlett, R. M., Muller, E., Lindinger, S., Brunner, F., & Morriss, C. (1996). Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 72-87.
- Bartonietz, K.(2000). *Javelin throwing: An approach to performance development*. Biomechanics in Sport, edited by Zatsiorsky, V, 404-434, London, Blackwell Science Ltd.
- Best, R. J., Bartlett, R. M., & Morriss, C. J.(1993). A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of Sports Science*, 11, 315-328.
- Best, R. J., Bartlett, R. M., & Sawyer, R. A.(1995). Optimal javelin release. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 371-394.
- Hubbard, M., & Always, L. W.(1989). Rapid and accurate estimation of release conditions in the javelin throw. *Journal of Biomechanics*, 22, 583-595.
- I.A.A.F.(2007). *Scientific research project biomechanical analyses at the Osaka 2007*. Final Report(Throwing Events).
- I.A.A.F.(2009). *Scientific research project biomechanical analyses at the Berlin 2009*. Final Report(Throwing Events).
- Ikegami, Y., Miura, M., Matsui, H., & Hashimoto, I.(1981). Biomechanical analysis of the javelin throw. *Biomechanics VII*, 271-276.
- Kim, D. S., Chae, W. S., Lim, Y. T., Yoon, C. J., & Lee, H. S.(2011). Three-dimensional comparison of selected kinematic between female medalists and korean female javelin thrower at IAAF World Championship, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(5), 661-667.
- Lee, J. H.(2002). Kinematical analysis of woman javelin throwing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 12(2), 345-359.
- Lee, S. H.(2003). Training and principle of javelin throwing. *Sports Science*, 3(84), 39-45.
- Lee, Y. J., & Jang, J. Y.(2011). Kinematical analysis of javelin throw in male elite players. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Woman*, 25(4), 43-55.
- Lee, Y. S., Ryu, J. S., & Kim, T. S.(2009). Analysis of kinematic parameters between skilled and less skilled female javelin thrower. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(4), 707-717.
- Maier, K. D., Wank, V., Bartonietz, K., & Blickhan, R.(2000). Neural network based models of javelin flight: Prediction of flight distances and optimal release parameters. *Sports Engineering*, 3, 57-63.
- Mero, A., & Komi, P. V.(1994). Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 166-177.
- Mero, A., Komi, P. V., Kotjus, T., Navarro, E., & Gregor, R. G.(1994). Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 166-179.
- Miller, D. I., & Munro, C. F.(1983). Javelin position and velocity patterns during final foot plant preceding release. *Journal of Human Movement Studies*, 9, 1-20.
- Moon, Y. J., Park, J. B., & Song, J. H.(2004). The study of a making program for technical appovement through analysis of kinematic factors in Javelin throw. *The*

- Korean Journal of Physical Education*, 43(3), 813-823.
- Morriss, C., & Bartlett, R.(1996). Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw. *Sports Medicine*, June 21, 438-446.
- Morriss, C., Bartlett, R., & Fowler, N.(1997). Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 12(2-3), 31-41.
- Park, J. M.(2012). Mechanical analysis of landing and release phase for the male javelin thrower. Unpublished doctoral dissertation, Korea National Sport University.
- Park, J. M., & Yoon, S. H.(2010). Kinematical analysis of projection factors to record difference during women's javelin throwing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 457-467.
- Rich, R. G., Gregor, R. J., Whiting, W. C., & McCoy, R. W.(1986). Kinematic analysis of elite javelin throwers. *Proceedings of the Second International Symposium of Biomechanics in Sports*, 55-60.
- Viistasalo, J., Mononen, H., & Norvapalo, K.(2003). Release parameters at the foul line and the official results in javelin throwing. *Sports Biomechanics*, 2(1), 15-34.
- Whitting, W. C., Gregor, R. J., & Halushka, M.(1991). Body segment and release parameter contributions to new rules javelin throwing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 111-124.
- Young, M.(2007). Preparing for the specific neuromuscular and biomechanical demands of the javelin throw. *Track & Fields*.
- Zatsiorsky, V. M.(2000). *Biomechanics in Sport*. Blackwell Science Ltd.