2011 대구세계육상선수권대회 남자 포환던지기 결선평의의 운동학적 분석

오정환¹ · 신의수¹ · 최수남¹ · 정익수¹ · 배재희¹ · 이정태² · 박승범³

¹충남대학교 사범대학 체육교육과 · ²한국표준과학연구원 기반표준본부 · ³부산경제진흥원 신발산업진흥센터

Kinematic Analysis of Elite Athletes in Men's Shot-Put at World Championships, Daegu 2011

Cheong-Hwan Oh¹ · Eui-su Shin¹ · Su-Nam Choi¹ · Ik-Su Jeong¹ · Jae-Hee Bae¹ ·
Jeong-Tea Lee² · Seung-Bum Park³

¹Department of Physical Education, College of Education, Chungnam National University, Daejeon, Korea

²Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Korea

³Footwear Industrial Promotion Center, Busan Economic Promotion Agency, Busan, Korea

Received 31 September 2011; Received in revised form 30 October 2011; Accepted 23 December 2011

ABSTRACT

This study had two purposes. The first was to analyze the period of the final record set by the male shot-putters in the IAAF World Championships, Daegu 2011 from the point of view of kinematics. The other was to identify an efficient movement for shot putting based on the analysis. The research used the eight finalists of in the championship as subjects. We analyzed the seven most important kinematic factors in shot putting based on the type of technique: the execution time of the delivery phase, release velocity, release angle, release, center of mass (COM) velocity, and shot trajectories. The analytical results showed the following average figures for the record 12 meters: execution time of the delivery phase: (0.19 s), release height: (2.06 m), release angle: (34.68°), release velocity: (13.25 m/s), angular velocity of shoulder: (922.38°/s), and angular velocity of pelvis: (479.50°/s). Further, the results showed that the highest COM velocity was 2.25 m/s and the shot trajectories were close to a straight line in the release phase.

Keywords : Shot put, Throwing Skill, Excellent players, Trajectory

I. 서 론

육상경기에서 포환던지기는 직경 2.135m의 제한된 원안에서 남자는 7.26kg, 여자는 4kg의 포환을 수평방향으로 투사하여 최대의 투척거리를 얻는 기록경기이며, 투원반과 투창과는 달리 팔꿈치가 포환의 위치보다 전방으로 나와서는 안 된다는 의

미에서 볼 때 던지기(Throwing)보다는 밀어내기(Putting)로 정의할 수 있다(Gown, 1986).

포환에 강한 힘을 가해 던지기 위해서는 체격적으로 체중이 무거워야 하며, 투사높이(release height)가 높을수록 기록에 영향을 미치기 때문에 신장, 상지장, 하지장의 길이가 긴 것이 유리하며(Hay, 1993; Pyka & Otrando, 1991; Kim, 1993; Alexander, Lindner & Whalen, 1996), 체력적인 면에서 포환던지기는 다양한 중요 체력 요인 중 근력, 순발력, 유연성 그리고 투척에 관여하는 신체분절(body segment)의 협응(coordination) 동작에 의해 많은 영향을 받는다(Winter, 1990; Zatsiorsky, 2000).

포환던지기는 세 가지의 기술유형을 사용하는데 대부분의

Corresponding Author : Eui-Su Shin
Department of Physical Education, College of Education, Chungnam
National University, Daejeon, Korea
Tel : +82-42-821-7579
E-mail : sin76@cnu.ac.kr

본 논문은 2011 대구세계육상선수권대회 운동역학 프로젝트로서 문화체육관광부와 대한육상경기연맹으로부터 지원을 받아 수행한 것임.

선수가 오소토크식(Orthodox) 기술을 제외한 오브라이언(O'Brien) 기술과 턴(Rotational) 기술을 사용하고 있다(Ryu, Park & Kim, 2011). 오브라이언식 기술은 글라이드 기술이라고도 하며, 글라이드 기술은 서클 안에서 투척 방향의 반대쪽으로 선회 스텝을 사용하여 던지는 기술이며, 턴 기술은 한 바퀴 반을 돌아 글라이드와 같이 미는 동작으로 투사한다. 2007 오사카 세계육상선수권대회의 1위와 2위 선수는 턴 기술을 사용하여 각각 22.04 m와 21.61 m의 기록을 보였고, 3위 선수는 글라이드 기술을 사용하여 21.27 m의 기록을 냈다. 또한 2009 베를린 세계육상선수권대회 남자 포환던지기 결선 8강의 던지기 기술 유형을 살펴보면 2위, 3위, 7위 선수는 글라이드 기술을 구사하였고, 나머지 다섯 명의 선수는 턴 기술을 사용하였다. 글라이드 기술은 다섯 가지 단계로 구성되어 있는데 첫 번째 단계는 시작 위치에서의 시작 자세이며, 두 번째 단계는 글라이딩, 세 번째는 파워포지션(power position), 네 번째는 던지기(delivery), 다섯 번째는 복귀(recovery)이다(KAAF, 2011). 턴 기술의 단계는 글라이드 단계와 비교해 두 번째 단계가 다른데 글라이드 기술이 글라이딩인데 반해 턴 기술의 두 번째 단계는 회전(Rotation)과 체공(non-support)이다. 즉 두 번째 단계에서 동작의 차이가 두 가지 기술의 차이를 말해 주고 있다. 2007 오사카 세계육상선수권대회 메달리스트의 기술 동작을 분석한 Byun, Fujii, Murakami, Endo, Takesako의 연구에 의하면 턴 기술은 신장이 짧은 선수가 유리하고, 글라이드 기술은 신장이 긴 선수가 유리하다고 보고하였다.

포환던지기에서 선수의 체격적인 조건을 배제한 투척거리에 관계되는 중요한 운동학적 요인은 투사속도(The velocity of release), 투사각도(The angle of release), 투사높이(The height of release)로 나눌 수 있다(Kang, 2003). 또한 Ariel, Penny, Probe, Buijs, Simonsen, Finch, & Judge(2004), Luthanen(1998), Tsirakos, Barlett, & Kollias(1995)에 의하면 세계대회에서 순위에 들어가기 위해서는 남녀모두 21 m이상의 투척거리가 필요하며 이를 위해 13.5 m/s의 투사속도가 필요할 것이며, 19 m의 기록은 13 m/s의 속도가 필요한 것으로 보고하고 있다. 투사각은 투사속도에 비해 투척거리에 미치는 영향은 작지만 엘리트 선수의 경우 12.5-14.5 m/s의 투사속도에서 19-23 m의 투척거리를 위한 투사각은 37°로 보고되었다(Ryu et al. 2011; Ariel et al., 2004; Tsirakos et al., 1995; Bartonietz & Felder, 1993). 투사속력과 투사거리가 다른 투사조건들과의 종속성을 연구한 결과를 보면 포환의 투사속력은 단위 투사각 증가 당(1 rad.) 1.7 m/s로 감소하고 단위 투사높이 증가 당(1 m) 0.8 m/s로 감소하며 수행 투사거리는 단위 투사높이 증가 당(1 m) 1.3 m 증가한다고 하였다.

2007 오사카 세계육상선수권대회의 우승을 차지한 Reese Hoffa(USA)선수와 준우승을 차지한 Adam Nelson(USA)는 턴

기술(Rotational technique)을 사용하였고, 3위를 차지한 Andrei Mikhnevich(BLR)는 글라이드 기술을 구사하였다.

또한 2009 베를린세계육상선수권대회의 우승을 차지한 Christian Cantwell(USA)는 턴 기술을 사용하였고, 준우승을 차지한 Tomasz Majewski(POL)와 3위를 차지한 Ralf Bartels(GER)는 글라이드 기술을 구사하였다.

현재 우리나라의 남자 포환던지기 기록은 2010년 황인성 선수가 세운 18.86 m로 남자 세계 기록인 23.12 m(Randy Bames, USA, 1990년), 아시아 남자 기록인 21.13 m(Sultan Abdulmajeed Alhabashi, KZA)와 비교해 많은 차이가 있다(Ryu et al., 2011). 이러한 차이를 극복하기 위해서는 세계적 우수선수들의 경기 수행 동작을 분석해 한국선수들과 어떠한 차이점이 있는지를 과학적으로 알아보아야 할 필요성이 있다.

그러므로 이 연구에서는 2011년 대구세계육상대회에서 실시된 남자포환던지기 경기의 우수선수인 결선 8강 선수들의 최종 기록 시기의 포환던지기 동작에 대한 운동학적 변인들을 분석하여 경기력향상을 위한 과학적 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 2011 대구세계육상선수권대회의 남자 포환던지기 결선 진출자 중 우수선수인 1위에서 8위까지로 <Table 1>과 같다.

Table 1. Characteristics of the subjects

Rank	Athlete	Age (yr.)	Result WCh (m)	SB (m)	Style
1	David STORL(GER)	21	21.78	21.05	glide
2	Dylan AMSTRONG(CAN)	30	21.64	22.12	rotational
3	Andrei MIKHNEVIKI(BLR)	35	21.40	22.1	glide
4	Christian CANTWELL(USA)	31	21.36	21.87	rotational
5	Reese HOFFA(USA)	34	20.99	21.87	rotational
6	Marco FORTES(POR)	29	20.83	20.89	rotational
7	Ryan WHITING(USA)	24	20.75	21.76	rotational
8	Adam NELSON(USA)	36	20.29	22.09	rotational

*WCh = World Championships, SB=Season's best

2. 실험 장비

본 연구를 수행하기 위해 영상촬영을 위한 비디오 카메라(JVC, Japan) 3대, 공간좌표 설정을 위한 Control Object(Visol, Korea) 2×3×3 m, 영상분석을 위해 Soft ware인 Kwon3D XP(Visol, Korea)를 사용하였다.

3. 실험절차

2011 대구세계육상선수권대회 남자 포환던지기 결선의 영상 촬영을 위해 카메라 3대는 필드에서 포환던지기 경기 시 서클을 가릴 수 있다고 판단되는 장애물을 최대한 피해 선수의 좌측과 우측, 그리고 뒷쪽에 <Figure 1>과 같이 설정하였고, 공간좌표 설정을 위한 통제점 틀은 폭 2 m, 길이 3 m, 높이 3 m로 설정하여 선수의 포환던지기 동작을 모두 포함할 수 있게 <Figure 2>와 같이 설치하였으며 촬영속도 30 frame/s, 셔터스피드 1/500 s로 촬영하였다.

Figure 1. Positioning of cameras.

Figure 2. Setting of control object.

4. 자료 분석

촬영된 경기영상 중 8강안에 포함된 선수들이 최고기록을 세운 장면을 영상 분석하였으며, 인체를 19개의 관절점과 1개의

가상 관절점(포환)으로 연결된 14개의 분절의 강체구조(linked rigid system)로 정의하였다. 글라이드 기술과 던 기술의 운동학적 요인은 투사속도(release velocity), 투사각도(release angle), 투사높이(release height), 포환의 궤적(trajec-tory of the shot), 어깨 각속도(angular velocity of shoulder), 힙 각속도(angular velocity of pelvis), 신체중심변위(COM position), 신체중심속도(COM velocity)등을 분석 하였다.

5. 분석 국면

본 연구의 분석 국면은 준비 자세에서 릴리즈 순간까지 설정하였고, Event와 Phase는 글라이드 기술은 <Figure 3>, 던 기술은 <Figure 4>와 같다.

E1-E3는 글라이드 구간, E3-E5는 릴리즈 구간으로, 전환구간은 E3-E4, 릴리즈 구간은 E4-E5로 정하여 분석 하였다.

RFTD : Rear foot touchdown, FFTD : Front foot touchdown(Young, 2009)

Figure 3. Definition of event of the glide.

Figure 4. Definition of event of the rotational.

Ⅲ. 결 과

1. 딜리버리 구간의 소요시간

<Table 2>는 투척 시 딜리버리 구간의 동작 소요시간과 평균, 표준편차 값을 나타낸 것이다.

글라이드 유형 선수의 딜리버리 구간의 소요시간은 3위 선수가 0.23 s로 1위 선수의 0.28 s 보다 0.05 s 빠른 것으로 나타났다, 턴 유형 선수의 소요시간은 2위, 7위, 8위 선수가 0.15 s로 같은 소요시간을 보였고, 4위와 5위가 0.17 s, 6위가 0.18 s로 나타났다.

8강 선수들의 딜리버리 구간의 평균 소요시간은 0.19±0.04 s이며, 기술유형별로 살펴보면 글라이드 기술유형의 선수가 0.26±0.04 s, 턴 기술유형의 선수가 0.16±0.01 s로 턴 기술유형의 선수들이 평균 0.1 s 정도 빠른 것으로 나타났다.

Table 2. Executive time of delivery phase and Result

Rank	Athlete	Duration time of delivery phase(s)	Result (m)
1	David STORL(GER)	0.28	21.78
2	Dylan ARMSTRONG(CAN)	0.15	21.64
3	Andrei MIKHNEVIKI(BLR)	0.23	21.40
4	Christian CANTWELL(USA)	0.17	21.36
5	Reese HOFFA(USA)	0.17	20.99
6	Marco FORTES(POR)	0.18	20.83
7	Ryan WHITING(USA)	0.15	20.75
8	Adam NELSON(USA)	0.15	20.29
M±SD		0.19±0.04	21.13±0.50
Glide style M±SD		0.26±0.04	
Rotational style M±SD		0.16±0.01	

2. 투사높이와 투사각도, 투사속도

<Table 3>은 릴리즈 시 투사높이와 투사각도, 투사속도이다. 8강 선수들의 평균 투사높이는 2.10±0.10 m, 평균 투사각도는 34.68±2.91°, 평균 투사속도는 13.25±0.38 m/s로 나타났다. 글라이드 유형 선수의 평균 투사높이는 2.24±0.05 m, 평균 투사각도는 36.45±1.06°, 평균 투사속도는 13.67±0.26 m/s이며, 턴 유형 선수의 평균 투사높이는 2.05±0.08 m, 평균 투사각도는

Table 3. Release height, Release angle and Release velocity

Rank	Athlete	Release height(m)	Release angle(deg)	Release velocity(m/s)
1	David STORL(GER)	2.27	37.20	13.96
2	Dylan ARMSTRONG(CAN)	2.11	37.47	13.03
3	Andrei MIKHNEVIKI(BLR)	2.20	35.70	13.37
4	Christian CANTWELL(USA)	2.06	35.96	12.94
5	Reese HOFFA(USA)	2.02	31.16	13.51
6	Marco FORTES(POR)	2.09	31.87	13.26
7	Ryan WHITING(USA)	1.91	37.31	12.75
8	Adam NELSON(USA)	2.10	30.79	13.14
M±SD		2.10±0.10	34.68±2.91	13.25±0.38
Glide style M±SD		2.24±0.05	36.45±1.06	13.67±0.26
Rotational style M±SD		2.05±0.08	34.09±3.15	13.11±0.26

34.09±3.15°, 평균 투사속도는 13.11±0.26 m/s로 나타났다.

기술 유형별 투사높이는 글라이드 유형 선수가 0.19 m, 투사각도는 2.36° 높았고, 투사속도는 0.56 m/s 빠른 것으로 나타났다.

3. 어깨와 힙의 각속도

<Table 4>는 파워포지션에서 딜리버리 포지션까지의 어깨와 힙의 각속도이며, 8강 선수들의 어깨 각속도의 평균은 922.38±61.07 °/s이며, 힙 각속도의 평균은 479.50±101.81 °/s를 나타냈다.

기술 유형별 평균 어깨 각속도는 글라이드 기술유형이 830.00 °/s, 턴 기술유형은 953.17 °/s이며, 평균 힙 각속도는 글라이드 기술유형이 355.50 °/s, 턴 기술유형은 520.83 °/s으로 나타났다.

4. 신체중심속도

8강 선수들의 신체중심속도는 <Table 5>와 같으며, <Figure 4-1>, <Figure 4-2>, <Figure 4-3>은 1위, 2위, 3위선수의 신체중심속도를 그래프로 나타낸 것이다.

기술의 유형별 신체중심속도는 <Figure 4-1>과 <Figure 4-2>에서 글라이드 기술유형의 1위 선수와 3위 선수는 E1에서 E2까

Table 4. Angular velocity of shoulder and pelvis

(unit : °/s)

Rank	Athlete	Angular velocity shoulder*	Angular velocity pelvis*
1	David STORL(GER)	830	399
2	Dylan ARMSTRONG (CAN)	965	640
3	Andrei MIKHNEVIKI (BLR)	830	312
4	Christian CANTWELL (USA)	952	545
5	Reese HOFFA (USA)	997	484
6	Marco FORTES (POR)	930	522
7	Ryan WHITING (USA)	949	413
8	Adam NELSON (USA)	926	521
M±SD		922.38±61.07	479.50±101.81

*Average between power position (touch down brace leg) and delivery position (release shot)

Table 5. COM velocity

(unit : m/s)

event	axis	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	M±SD
E1	X	-0.07	0.23	0.00	0.36	0.10	0.28	0.05	0.16	0.14±0.15
	Y	-0.05	-0.25	-0.07	0.24	-0.07	-0.05	0.19	-0.28	-0.04±0.18
	Z	0.26	-0.10	0.03	-0.16	0.02	0.13	-0.12	-0.09	-0.01±0.14
	R	0.27	0.35	0.07	0.46	0.12	0.31	0.23	0.34	0.27±0.13
E2	X	-0.25	0.57	-0.18	0.32	0.70	0.43	1.32	1.14	0.51±0.56
	Y	2.45	1.07	1.94	0.57	0.82	0.67	0.09	-0.40	0.90±0.93
	Z	1.05	0.51	1.27	0.28	0.10	0.43	-0.06	0.00	0.45±0.49
	R	2.68	1.31	2.33	0.71	1.06	0.91	1.33	1.21	1.44±0.69
E3	X	0.11	-0.51	0.26	-0.57	-0.82	-0.63	-0.30	-0.03	-0.31±0.39
	Y	2.71	1.21	2.32	1.56	1.62	1.40	1.77	1.45	1.75±0.51
	Z	0.26	0.16	-0.03	-0.12	0.03	-0.37	-0.17	0.28	0.01±0.22
	R	2.72	1.33	2.33	1.67	1.82	1.58	1.80	1.48	1.84±0.47
E4	X	0.39	-0.17	0.23	-0.18	-0.48	-0.05	-0.29	0.34	-0.03±0.31
	Y	2.91	2.15	2.53	2.12	1.93	2.43	1.79	1.86	2.21±0.38
	Z	0.35	0.54	0.01	0.34	0.25	0.41	-0.09	0.07	0.23±0.22
	R	2.96	2.22	2.54	2.16	2.01	2.46	1.81	1.89	2.25±0.38
E5	X	-0.40	-0.20	-0.27	-1.40	0.40	-0.77	-0.53	-0.08	-0.41±0.53
	Y	0.84	1.29	0.86	0.18	1.24	-0.38	0.09	0.05	0.52±0.61
	Z	1.23	1.24	1.51	1.32	1.36	1.02	1.30	1.22	1.28±0.14
	R	1.54	1.80	1.76	1.93	1.88	1.33	1.40	1.22	1.61±0.27

Figure 4-1. COM velocity of 1st.

Figure 4-2. COM velocity of 2nd.

Figure 4-3. COM velocity of 3rd.

지 빠른 속도증가 후 E3에서 속도의 증가가 거의 없었으며 E4에서 다시 약간의 가속을 나타냈다. <Figure 4-3>은 턴 기술 유형의 2위 선수이며 E1에서 E2까지 빠른 가속 후 E2에서 E3까지 큰 변화가 없었으나 E3에서 E4까지 다시 한번 빠른 가속을 보였다. 이와 같이 클라이드 기술 유형의 선수는 E1에서 E2까지의 구간에서 가장 높은 가속을 보였으며 턴 기술 유형의 선수는 E1에서 E2까지, E3에서 E4까지의 두 구간에서 빠른 가속을 보였다는 것을 알 수 있다.

또한 8강 선수 모두가 E4에서 가장 빠른 신체중심속도를 보였고, E4에서 합성속도의 평균은 2.25 ± 0.38 m/s로 나타났다.

즉 이번 대회 8강 선수들이 21.13 m를 투척하기 위한 신체중심의 평균 2.25 m/s의 신체중심 속도를 보였다.

5. 투사 궤적

<Figure 5>는 X-Y축 수평면에서 볼의 이동 궤적을 나타낸 것이며(Young, 2009), 대상자들 중 1, 2, 3위 선수들의 투사 궤적은 <Figure 6>과 같다.

Figure 5. Shot trajectories type in X-Y plane.

<Figure 5>의 “n-a-b-c-I”는 우수선수의 이동 궤적을 나타낸 것이며, “n-a-d-f-I”는 비우수선수의 이동 궤적을 나타낸 것이다(Young, 2009). <Figure 5>와 <Figure 6>을 비교해 보면 1위 선수의 궤적이 Young(2009)의 연구에 나타난 우수선수의 궤적과 유사하다는 것을 알 수 있으며 2위, 3위 선수들 역시 전환국면 이후 우수선수와 같은 결과로 나타났다.

IV. 논 의

결선 8강에 진입한 우수선수들의 릴리버리 구간의 평균 소요시간은 기술유형별로 살펴보면 턴 기술 유형의 선수들이 클라이드 기술 유형의 선수들에 비해 빠른 것으로 나타났다.

세계대회에서 메달획득을 위해 21 m 이상의 투척거리를 확보해야하며, 이를 위해 13.5 m/s 이상의 투사속도를 필요로 한다(Ariel et al., 2004; Luthanen, 1998; Tsirakos et al., 1995). 투사높이는 엘리트 선수의 경우 2.0 m ~ 2.2 m의 투사높이를 보였고(Alexander et al., 1996; McCoy, Koprowski & Orgen,

Figure 6. Trajectory of the shot

1989; Tsirakos et al., 1995), 투사각은 엘리트 선수와 비우수 선수들 모두 40° 내의 각도에서 릴리즈가 이루어지는 것으로 보고되었다(Ariel et al., 2004; Tsirakos et al., 1995; Bartonietz & Felder, 1993; McCoy, 1992). 1위를 차지한 David STORL(GER) 선수의 투사높이는 2.27 m, 투사각도는 37.20° , 투사속도는 13.96 m/s를 나타내 가장 높은 투사높이와 가장 빠른 투사속도를 보였으며, 이번 대회 1위에서 8위의 평균 투사속도는 13.25 ± 0.38 m/s, 투사높이는 2.10 ± 0.01 m, 투사각은 $34.68 \pm 2.91^\circ$ 로 앞의 선행 연구들을 지지해 주는 결과를 보였다.

8강 선수들의 어깨 각속도의 평균은 $922.38 \pm 61.07^\circ/\text{s}$ 이며, 힙 각속도의 평균은 $479.50 \pm 101.81^\circ/\text{s}$ 을 나타냈다. 이때 글라이드 기술유형이 $830.00^\circ/\text{s}$, 턴 기술유형은 $953.17^\circ/\text{s}$ 이며, 평균 힙 각속도는 글라이드 기술유형이 $355.50^\circ/\text{s}$, 턴 기술유형은 $520.83^\circ/\text{s}$ 으로 나타났다. 이러한 결과는 2009 베를린 세계육상 선수권대회의 최종보고서 결과(IAAF, 2009)와 같은 내용으로 글라이드 기술유형의 선수가 턴 기술유형의 선수에 비해 어깨 각속도와 힙 각속도 평균적으로 느린 것을 알 수 있다.

투사궤적은 글라이드 또는 로테이셔널 구간에서 기술유형에 따른 동작의 차이에 따라 다른 궤적을 보였지만 릴리즈의 최고점에 달해서 우수선수들은 직선에 가까운 궤적의 형태를 보였다. 포환은 APSS(Athlete-plus-shot-system)의 수직 중심축에 놓여 있지 않기 때문에 어깨가 회전함에 따라 직선에서 벗어나며

릴리즈 시 직선에 근접하는 S-형태의 궤적을 보인다(Zatsiorsky, 2000; Young, 2009; Lindsay, 1994; Knudson, 1989). 이러한 관점에서 1위를 차지한 데이비드 스톨 선수의 투사궤적은 <Figure 5>에서와 같이 전형적인 엘리트 선수의 이동궤적이며, 3위 선수 역시 유사한 패턴을 나타내고 있다. 2위 선수는 턴 기술유형의 선수이기 때문에 글라이드 구간에서의 이동궤적은 다르지만 릴리즈 구간 이후에서 비슷한 양상을 나타내고 있다. 즉 릴리즈의 최고점에 달해서 우수선수들은 직선에 가까운 궤적의 형태를 보였다.

V.결론

본 연구는 2011 대구세계육상선수권대회 남자 포환던지기 8강 선수를 대상으로 선수들이 최고기록을 세운 시기의 포환던지기 동작에 대한 운동학적 요인의 분석 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

그 결과 평균적으로 21 m의 기록을 위한 릴리즈 구간의 소요시간은 0.19 s이며, 이때 투사높이는 2.06 m, 투사각도는 34.68° , 투사속도는 13.25 m/s였으며, 어깨의 각속도는 $922.38^\circ/\text{s}$, 힙의 각속도는 $479.50^\circ/\text{s}$ 였다. 또한 신체중심속도는 최고 2.25 m/s를 보였고, 투사궤적은 릴리즈 구간에서 직선에 가까운 궤적을 보였다.

또한 글라이드 기술유형의 선수와 턴 기술유형의 선수를 비교한 결과 릴리즈 구간의 소요시간은 턴 기술유형의 선수가 빨랐고, 투사높이와 투사각, 투사속도는 글라이드 기술유형의 선수가 높은 수치를 나타냈으며, 어깨와 힙의 각속도는 턴 유형의 선수가 빠르게 나타났다. 투사 궤적은 글라이드 구간에서 기술동작의 차이에 의해 다르게 나타났지만 릴리즈 구간에서 글라이드 기술유형과 턴 기술유형의 선수가 비슷한 양상의 궤적을 나타냈다.

참고문헌

- Alexander, M. J., Lindner, K. J., & Whalen, M.(1996). Structural and biomechanical factors differentiating between male and female shot put athletes. *Journal of Human Movement Studies*, 30, 103-146.
- Ariel, G., Penny, A., Probe, J., Buijs, R., Simonsen, E, Finch, A., & Judge, L.(2004). *Biomechanical analysis of the shot-put event at the 2004 Athens Olympic Games*.
- Bartonietz, K., & Felder, H.(1993). *Shot Put Women Final*:

- Express Report*(Unpublished technical report from the 1993 IAAF World Championships). Rheinland-Pfalz, Germany: Olympiastützpunkt.
- Biomechanical Analysis of Ramona Pagel at the 1992 United States Olympic Trials*(Unpublished technical report). Williamsburg, VA: The College of William and Mary.
- Byun, K. O., Fujii, H., Murakami, M., Endo, K., Takesako, H., Gomi, K., & Tauchi, K.(2008). A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 2, 53-62.
- Gown, O, K.(1985). *The Analysis of Gliding Motion in the Shot Put*. Graduate School of Physical Education of Chonbuk National University.
- Hay, J. G.(1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*(4thed). Englewood Cliffs, NJ; Prentice Hall.
- IAAF(2009). *Scientific Research Project Biomechanical Analysis at the Berlin 2009*. Final Report Throwing Events, 3-4.
- KAAF(2011). Shot put : http://www.kaaf.or.kr/ver1/03_info/training_10.asp
- Kang, J. H.(2003). *The Effect of a posture of the shotput on a record improvement*. Graduate School of Education of Mokpo National University.
- Kim, K. W., Jung, Y. W & No, K. S.(2004). A Comparison of Ground Reaction Force Factors between O'Brien and Torque Styles of Shotput. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 21, 611-619.
- Kim. T. E.(1993). *An Experimental Research on the Step of Glide in the Shot-put of the Records*. Unpublished manuscript, Korea National University of Education, Korea.
- Knudson, L. E.(1989). A biomechanical analysis of power vs. speed techniques in shot putting, *Athletics Science Journal*, 1(4), 1-20.
- Lindsay, M. R.(1994). A comparison of rotational and O'brien shot put techniques. *The Thrower*, 63, 12-17.
- Luthanen, P.(1998). *A Preliminary Study of Rotational Shot Put Technique*. XVIth Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports, Kostanz, Germany, ISBS.
- Luthanen, P., Blomqvist, M, & Vantinen, T.(1997). A comparison of two elite shot putters using the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics*, 12(4), 25-33.
- McCoy, R. W., Koprowski, K., & Ogren, V.(1989). *Kinematic Analysis of the Woman's Shotput*(Unpublished technical report). Williamsburg, VA: The College of William and Mary.
- MoCoy, R, W.(1992). *Biomechanical Analysis of Ramona Pagel at the 1992 Mt. SAC Relays*(Unpublished technical report). Williamsburg, VA: The College of William and Mary.
- Pyka, I., & Orlando, B.(1991). Rotational shot put. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 13(1), 6-9,83-88.
- Ryu, J. S., Park, J. M & Kim, T. S.(2011). The Kinematic Difference According to Success and Failure of Shot-Putting-Focusing on Member of the National Team, Hwang, In-sung, Player-. *Journal of Sport Biomechanics*, 21(2). 161-171.
- Tsirakos, D. K., Barlett, R. M., & Kollias, I. A.(1995). A comparative study of the release and temporal characteristics of shot put. *Journal of Human Movement Studies*, 28, 227-242.
- Winter, D. A.(1990). *Biomechanics and motor control of human movement (2nd ed.)*. New York: Wiley Inter-science.
- Young, M.(2009). *Development and Application of an Optimization Model for Elite Level Shot Putting*. Unpublished doctoral dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.