



남자 고등학생 숙련자·비숙련자의 던지기 동작에 대한 운동역학적 비교 분석

Biomechanical Analysis of Throwing Movement between Skilled and Unskilled High School Students

고형직* · 주명덕(한국교육대학교)

Kough, Hyung-Jeek* · Ju, Myung-Duck(Korea National University of Education)

국문요약

본 연구는 남자고등학생 숙련자와 비숙련자의 던지기 동작을 역학적으로 비교 분석하기 위해 3차원 영상분석 및 지면반력분석을 수행하였다. 연구 결과 숙련자는 공 던지기 동작의 총 소요 시간이 비숙련자보다 짧게 나타났으며, 숙련자는 (1) 왼발 착지 시 신체중심의 수평속도 (2) 전 구간에서 전완 분절의 수평속도 (3) 착지 시 손 분절의 수평속도가 비숙련자보다 빠르게 나타난 반면 비숙련자는 (1) 착지이후에 신체중심의 수평속도 (2) 왼발이 지면에 닿는 시점에서 손 분절의 수평속도가 숙련자보다 빠르게 타나났다. 전후경각도에서 숙련자는 전 구간에서 후경자세를 취하는 것으로 나타났으나, 비숙련자는 릴리즈 전까지는 후경자세를 취하다 릴리즈 순간에서는 전경자세를 취한 상태에서 릴리즈를 하는 것으로 나타났다. 또한 숙련자는 공 던지기 동작에서 (1) 어깨각도 (2) 이지 후 오른발의 착지에서 팔꿈치 각도 (3) 최대수직지면반력 (4) 오른발의 착지 시 최대전후지면반력이 비숙련자보다 크게 나타났다. 이와 같은 결과에서 숙련자는 비숙련자보다 안정된 자세로 신체의 중심을 후방에 위치시키는 후경자세를 유지하고 신체의 중심이동을 부드럽게 전환하는 효과적인 던지기 동작이 이루어짐을 알 수 있다.

ABSTRACT

H. J. KOUGH, and M. D. JU, Biomechanical Analysis of Throwing Movement between Skilled and Unskilled High School Students. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 19, No. 1, pp. 87-98, 2009. This study was conducted to compare biomechanical differences in throwing movement between skilled and unskilled high school students using three-dimensional analysis system with a force platform. The findings indicated that skilled students showed shorter throwing time, faster horizontal speed of (1) the center of mass at heel contact of left foot, (2) the forearm throughout swing phase, (3) the hand after heel contact while unskilled students showed faster horizontal speed of, (1) the center of mass after heel contact and (2) the hand at heel contact of left foot. Skilled students showed greater (1) shoulder angle during throwing, (2) elbow angle after take off of foot, (3) peak vertical ground reaction force during throwing and (4) peak anterior-posterior ground reaction force at heel contact of right foot. While skilled students showed leaning backward of the trunk during throwing, unskilled students showed leaning forward during release phase with leaning backward before release.

KEYWORDS : THROWING MOVEMENT, COM, TRUNK ANGLE, A-P GRF, VERTICAL GRF

* kough@hanmail.net

I. 서론

던지기 동작은 스포츠 활동뿐만 아니라 일상생활에서도 아주 자주 사용되는 기초 운동 능력이다. 손과 팔의 동작으로 물체를 다른 공간상으로 내보내는 던지기 동작은 신체 분절 중, 손과 팔 분절 움직임의 최대를 이용한다.

해부학적 자세를 기준으로 상지의 경우 던지기 동작 분석은 크게 상면을 이용하여 동작이 이루어지는 오버암 드로우, 측면을 이용한 사이드 암 드로우, 하면을 이용한 언더 암 드로우 총 3가지 유형으로 유형화할 수 있다. 하지의 경우 Haywood(1993)의 던지기 동작의 발달단계에 따르면, 다리동작의 가장 낮은 단계의 1단계는 스텝을 밟지 않고 공을 던지는 유형, 2단계는 던지는 팔 쪽의 다리를 내딛으며 공을 던지는 유형, 3단계는 던지는 팔의 반대쪽 다리를 짧게 내딛으며 공을 던지는 유형, 4단계는 던지는 팔의 반대쪽 다리를 길게 내딛으며 공을 던지는 유형으로 나누었다.

던지기는 투사 목적에 따라 수평·수직 방향으로 물체를 멀리 던지는 것, 물체를 목표물에 정확히 던지는 것, 최소한의 힘을 사용하여 물체를 가장 효율적으로 던지는 것으로 구분할 수 있다(Atwater, 1979). 목표점을 향하여 정확하고 효율적으로 던지는 동작은 학습 정도와 성별에 따라 개인 간 운동기술의 차이가 나타나며 신체발달 정도에 따라 더욱 큰 차이를 보인다(최정규, 2008; Nelson, Thomas, Nelson & Abraham, 1986). 던지기 동작은 성인으로 신체가 발달해 감에 따라 운동발달능력이 증가하고 점진적인 습득이 이루어진다. 긴 신장과 팔, 강한 상체 등과 같은 체격적인 면과 그에 따른 강한 근력과 순발력 등과 같은 체력적인 측면의 요인도 던지기 능력에 영향을 미치는 다양한 변수 중 하나로 작용한다(이영선 2004). 또한 던지기 동작은 많은 연습과 개인이 노력에 의해 숙달되며 던지는 자세 및 기술을 향상시켜 운동능력을 증가시킬 수 있다(윤희중, 김영란, 류지선, 홍순모, 1991; 진성태, 1984; 현무성, 1985).

다양한 신체 활동 시 발생하는 운동동작은 크게 두 가지로 분류된다. 그 중 하나인 달리기, 걷기 등의 동작

은 연속적인 성질의 기술이고 인체의 연결체계는 폐쇄 운동 사슬(closed kinetic chain)로 분류된다. 한편 던지기, 때리기, 차기 활동 등은 불연속적인 성질의 기술이고 개방 운동 사슬(open kinetic chain)로 구분된다. 이러한 폐쇄·개방 운동 사슬은 멀리 위치한 마지막 분절의 자유도에 관한 것으로, 던지기 동작에서는 지면과 접촉하고 있는 하지 분절로부터 발생된 힘이 인체를 통해 물체를 던지는 말단 분절로 전달되는 것을 들 수 있다. 이러한 원위분절의 운동이 자유롭게 움직일 수 있는 체계를 개방 운동 사슬 체계라고 한다(Kreighbaum & Barthels, 1985).

연령이나 성별에 따른 개인차가 존재하나 일반적인 던지기 동작은 오버암 던지기 동작이 사용된다. 그러나 오버암 던지기 동작은 개방 운동사슬 체계적인 측면에서 해석 시 다른 유형의 던지기 동작에 비해 가장 복잡한 구조를 가지고 있다. 동작 순서는 디딤발 - 지지발 - 몸통 - 던지는 팔 - 던지는 손의 순으로 연속적인 동작을 통해 이루어지며 연속적인 동작은 신체분절의 가속과 가속시간을 연속적으로 발생시킴으로써 손에 최대 절대 속도를 발생시켜 다른 유형의 던지기과 비교 시 가장 큰 힘을 발휘한다(이동우 2007).

던지기 동작 시 기록에 영향을 주는 신체적 변인 이외의 외적 요인으로는 속도, 높이, 각도, 공기의 저항 등을 들 수 있다. 속도는 던지기 동작 시 발생하는 스피드와 힘이 물체에 작용하는 점진적인 속도와 가속도 그리고 팔의 움직임으로 인해 발생하는 가속도에 의해 결정된다. 높이는 지레역할을 하는 신장과 팔의 길이에 의해 결정되며 높은 위치에서 적절한 각도로 동작이 이루어져야 때 최대 기록을 제공할 수 있다(이종훈 2002).

던지기 동작 분석은 구기 종목, 육상 투척 종목에서 운동선수들의 기록증진 및 경기력 향상을 위한 목적으로 다양한 연구가 이루어지고 있다(박일봉, 김정태, 2007; 홍순모, 이영선, 2007). 그 중 수평기록에 영향을 미치는 투사높이의 경우에 대한 연구를 살펴보면 Gunther(1982)와 Schwartz(1983)는 릴리즈 동작이 어깨 높이에서 이루어져야 한다고 보고한 반면에, Gregor(1985)는 개개인의 트레이닝 방법과 팔의 자세에 따라 힘을 쓰는

방법이 다르기 때문에 투사 시 높이는 개인차를 고려해야 한다고 하였다.

Hay(1979)의 원반던지기 연구에서는 비숙련자들은 40~45도 각도에서 이루어지는 반면 우수선수들은 34~37도에서 원반을 투사하고 있다고 보고하였다. 이외에도 최대 비행거리에 영향을 미치는 요소로 Gregor(1984)는 상체각이 커질수록 투사 시 릴리즈 각도가 증가하고, 선수가 원반에서 돌면서 마지막 발을 착지 할 때까지의 발 디딤 타이밍을 연구한 결과 투사 시 지지하는 발이 지면에 때면서 점프를 할 때 수직방향의 추진력이 크게 상승한다고 보고하였다. 또한 종목별 던지기 동작의 가장 효율적이고, 실질적인 모형을 제시하기 위하여 영상분석, EMG, Force Platform을 통한 연구가 수행되어 왔다(윤희중 외, 1991; 진성태, 1984; 현무성, 1985).

이와 같이 현재까지 던지기 동작에 대한 선행연구들의 대부분은 야구, 육상 투척 종목과 같이 특정 운동 종목 선수들을 대상으로 한 운동학적인 규명은 많이 이루어져 왔으나, 교육현장에서 필요한 공 던지기 및 그에 따른 응용동작을 지도할 때 필요한 숙련자와 비숙련자를 비교 대상으로 한 연구가 많이 부족한 상태이다.

따라서 본 연구는 지면반력기와 영상분석 장비를 이용하여 남자 고등학교생 숙련자와 비숙련자의 야구공 멀리 던지기 동작에 대하여 3차원 영상분석을 통해 운동역학적 변인의 비교·분석을 실시하고, 그 원인을 규명하여 각종 운동경기 상황 및 교과 수업 시 던지기 동작의 효율적인 지도 방안을 모색하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에 참여한 연구대상자는 충남 B고등학교에 재학 중인 야구경력 5년 이상의 야구선수와 야구경력이 없는 일반학생 각각 4명을 선정하였다. 또한 실험을 실시하기 전에 피험자들에게 실험의 목적과 내용에 관해 설명하고 유의사항을 인지시킨 후 동의서를 작성하도록

하였다. 피험자의 일반적 특징은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구대상자의 일반적 특징 및 주요사항

연구대상자	나이 (year)	경력 (year)	신장 (cm)	체중 (kg)	
숙련자	A	18	6	178	64
	B	18	7	175	71
	C	18	5	187	77
	D	18	6	182	73
	M±SD	18±0	6±0.82	180.5±5.20	71.25±5.44
비숙련자	E	18	0	185	73
	F	18	0	178	73
	G	18	0	174	63
	H	18	0	175	65
	M±SD	18±0	0±0	178±4.97	68.5±5.26

2. 실험장비

운동역학적 변인을 조사하기 위하여 3차원 동작분석을 위한 영상장비로 Sony사의 GR-DVL9800 디지털 비디오카메라 2대, AMTI사의 지면반력 측정기 2대를 사용하였으며, 실험장비가 갖추어진 운동장에서 실험을 실시하였다. 실험장비 및 실험장 배치는 <그림 1>과 같으며, 실험장비의 특성은 <표 2>와 같다.

표 2. 실험장비의 특성

구분	명칭	모델명	제조사
영상 촬영 측정	비디오 카메라	GR-DVL9800	Sony Co.
	필름	DVM-60(16mm)	Sony Co.
	통계점 막대	Range Poles(240cm)	Visol Co.
	각도 측정기	DT-510	SOKKIA Co.
	동조용 타이머(LED)	Light Emitting Diodes	Visol Co.
지면 반력 측정	Force Platform	AMTI-4026 AMTI-4684	AMTI Co.
	A/D 변환기	VSAD-101-USB-V2	Visol Co.
영상 자료 분석	동작분석 소프트웨어	Kwon GRF 2.19 및 Kwon 3D 3.1	Visol Co.

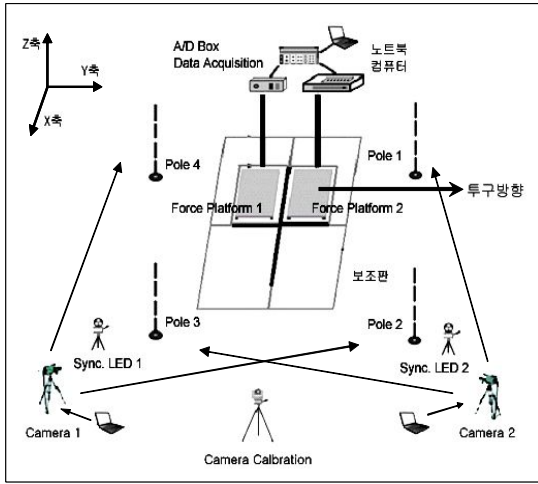


그림 1. 실험장비 및 실험장 배치도

3. 실험절차 및 방법

본 연구에서 알아보고자 하는 멀리 던지기 동작분석을 위해 먼저 공간 좌표의 설정을 통하여 통제점 틀을 피험자의 멀리 던지기 동작을 완전히 포함하는 범위에 설치하였다. 3차원 좌표 계산을 위해 인체 전·후 방향을 X축, 투구방향을 Y축, 지면에 대한 수직방향을 Z축으로 하여 던지기 동작 전 과정에 걸쳐 마커관찰이 가장 용이하도록 2곳에 비디오카메라를 설치하였다. 2대의 비디오카메라는 <그림 1>과 같이 통제점 틀을 포함한 전체 운동범위를 촬영할 수 있도록 설치하였으며, 실험 공간을 비디오카메라로 5프레임 이상 촬영한 후 통제점 틀을 제거 하였다. 실험에 들어가기 전에 연구자는 연구 대상자들에게 실험의 목적과 방법을 정확하고 세심하게 교육하여 성실히 실험에 임할 수 있도록 하였다.

모든 피험자는 투구를 위한 준비 시간을 충분히 가진 다음 실험 상황에 친숙해지도록 연습을 실시하였다. 연습 후 회복을 위해 충분한 휴식시간을 제공하고 피험자들에게 편안한 마음으로 던지기를 할 수 있도록 하였다. 자료 분석에서 보다 정확한 디지털이정을 위해 운동경기 시 착용하는 타이즈를 착용하도록 하였으며 각 피험자에 대한 3차원 관절점 좌표를 정확하기 획득하기 위하여 각 관절의 중심점에 반사마커(reflect marker)를

부착하였다.

멀리 던지기 동작 시 지면반력 측정을 위해 두 대의 지면반력기 중 한 대의 지면반력기에 양발을 자연스럽게 올려놓고 스탠스를 어깨 너비만큼 벌린 편안하게 선 자세에서 연구자의 '시작'이라는 구령에 맞추어 멀리 던지기 동작을 실시하였다.

정확한 자료 획득을 위해 피험자들은 던지기 동작을 5회에 걸쳐 수행하였으며, 수집된 데이터 중에서 보다 정확하고 우수하게 수행되었다고 판단되는 것을 채택하여 분석을 시행하였다.

4. 구간(event)과 국면(phase) 설정

숙련자와 비숙련자의 던지기 동작 비교를 위해 본 연구에서는 다음과 같이 구간(event) 및 국면(phase)을 설정하였다(그림 2).

1) 구간(event) 설정

- ① Event 1 (E1) : 왼발이 지면에 닿는 순간
- ② Event 2 (E2) : 오른발이 지면에서 떨어지는 순간
- ③ Event 3 (E3) : 공이 손에서 떨어지는 순간

2) 국면(phase) 설정

- ① P1 (E1~E2) : 왼발이 지면에 닿는 순간 이후부터 오른발이 지면에서 떨어지는 순간까지의 구간
- ② P2 (E2~E3) : 오른발이 지면에서 떨어지는 순간 이후부터 공이 손에서 떨어지는 순간까지의 구간

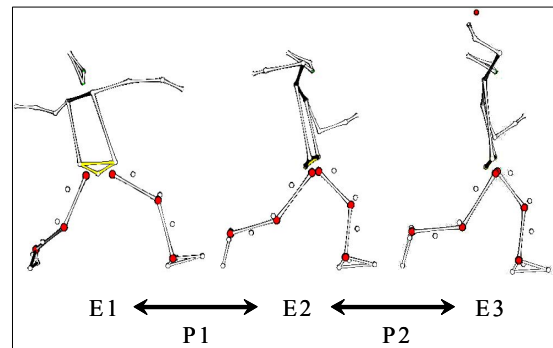


그림 2. 던지기 동작의 구간 및 국면

5. 자료처리

영상 분석을 위해 통제점 및 신체관절 중심점의 좌표화와 동조 등의 절차를 거쳐 Abdel-aziz와 Karara (1971)의 DLT방법(Direct Linear Transformation method)을 통해 3차원 좌표값을 계산하였으며, 자료에 대한 평활화(smoothing)는 Kwon 3D 3.1 프로그램을 사용하였다. 변인에 대한 숙련자와 비숙련자의 결과 분석을 위한 통계처리는 통계프로그램 SPSS version 12.0을 사용하여 paired T-test를 실시하였으며, 모든 측정값의 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 하였다.

1) 통제점 및 신체관절 중심점의 좌표화

기준점의 통제점과 신체관절 중심점의 좌표화는 Kwon 3D 3.1 프로그램을 이용한다. 4개의 기준점에 총 36개의 통제점을 5프레임 간 반복하여 좌표화 하고 신체관절 중심점은 21개의 좌표로 설정하였다.

2) 동조(Synchronization)

동조(Synchronization)는 두 대 이상의 비디오카메라의 셔터가 열리는 시간을 일치하게 하는 것이다. 각 비디오카메라로 촬영한 영상은 서로 일치하지 않아 동작 주기가 다르게 나타나기 때문에 촬영범위 내에 설치된 발광다이오드(LED)에 트리거(trigger)를 이용하여 신호를 줌으로써 각 비디오카메라로 촬영한 영상을 동조화 시켰다.

3) 3차원 좌표 계산

본 연구의 3차원 좌표값 계산을 위해 Abdel-aziz와 Karara(1971)의 DLT 방법(Direct Linear Transformation method)을 사용하였다. 3차원 좌표값을 계산할 때 여러 가지 원인에 의해 노이즈(Noise)가 발생하게 되며 이러한 노이즈를 제거하기 위하여 평활화(Smoothing) 과정이 필요하다. 본 연구에서는 저역 통과 필터방법(Low Pass filter, Walton, 1981)을 이용하여 6Hz로 평활화(Smoothing)를 실시한 후 3차원 좌표값을 계산하였다.

III. 결과 및 논의

1. 소요시간 분석

숙련자와 비숙련자의 공 던지기 소요시간 측정 결과는 <표 2>와 같다. 제1구간(P1)은 피험자의 왼발이 지면에 닿는 시점(E1)에서 오른발이 지면에서 떨어지는 시점(E2)까지이며, 제2구간(P2)은 오른발이 지면에서 떨어지는 시점(E2)에서 공이 손에서 떨어지는 시점(E3)을 의미한다.

표 2 공 던지기 소요시간 (단위:sec)

구 분	소요시간		
	P1	P2	전체
숙련자	0.13±0.02	0.08±0.00	0.21±0.01
비숙련자	0.20±0.02	0.08±0.01	0.28±0.02
p	0.0482*	0.9144	0.0562

* $p < .05$

공 던지기 소요시간 결과를 살펴보면 숙련자가 제1구간에서 0.13±0.02sec, 제2구간에서 0.08±0.00sec, 총 공 던지기 소요 시간은 0.21±0.01sec 이었으며, 비숙련자가 제1구간에서 0.20±0.02sec, 제2구간에서 0.08±0.01sec, 총 공 던지기 소요 시간은 0.28±0.02sec가 소요되는 것으로 나타났으며, 제1구간에서 숙련 그룹이 비숙련 그룹보다 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p < .05$). 이는 숙련자가 비숙련자에 비해 투구 동작을 빠른 시간 내에 끝내는 것을 의미한다. 제2구간에서의 숙련자와 비숙련자의 소요시간은 거의 차이가 나지 않지만 제1구간에서의 숙련자가 비숙련자보다 짧은 소요시간을 보여 총 소요 시간이 짧게 나타났는데 이는 숙련자가 비숙련자보다 팔의 스윙동작을 빠르게 했기 때문으로 판단된다.

2. 인체중심의 수평속도 분석

공 던지기 동작 수행 시 E1, E2, E3의 순간의 인체중심 수평속도를 산출하여 숙련자, 비숙련자를 각각 비교한 결과는 <표 3>과 같다. <표 3>에 나타난 바와 같이

숙련자의 경우 E1에서 1.59±0.19m/sec, E2에서 0.77±0.16m/sec, E3에서 1.23±0.18m/sec이었고, 비숙련자의 경우 E1에서 1.22±0.15m/sec, E2에서 0.94±0.14m/sec, E3에서 1.61±0.11m/sec로 나타났으나, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다(p<.05).

이러한 결과를 미루어 볼 때 <그림 3>에 나타난 숙련자 A는 왼발이 지면에 닿는 시점(E1)에서 높은 수평속도를 유지하다가 오른발이 떨어지는 시점(E2)에서는 수평속도가 감소하는 경향을 보였으며, 릴리즈 시점(E3)에서는 다시 수평속도가 증가하는 형태를 보였다.

즉, 숙련자 A의 인체중심 수평속도는 E1에서는 비숙련자 E보다 높았지만, E2와 E3에서는 비숙련자 E보다 낮은 수평속도를 보였다. 이는 왼발이 지면에 닿는 순간 이후부터 숙련자 A의 인체중심 수평속도가 던지는 팔의 수평속도로 전이되었기 때문으로 판단된다.

석결과 숙련자의 경우 E1에서 1.86±0.15m/sec, E2에서 5.62±0.69m/sec, E3에서 3.44±0.52m/sec로 나타났으며, 비숙련자의 경우 E1에서 1.14±0.59m/sec, E2에서 5.04±0.72m/sec, E3에서 3.53±0.52m/sec로 나타났으나, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다(p<.05). 즉, 상완 분절의 수평속도는 E1, E2에서 숙련자가 비숙련자보다 크게 나타났음을 알 수 있다.

전완 분절의 수평속도 분석결과 숙련자의 경우 E1에서 1.95±0.09m/sec, E2에서 7.03±1.39m/sec, E3에서 6.23±0.67m/sec로 나타났으며, 비숙련자의 경우 E1에서 1.18±0.60m/sec, E2에서 5.77±1.50m/sec, E3에서 6.22±1.29m/sec로 나타났으나, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다(p<.05). 즉, 전완 분절의 수평속도는 숙련자가 E1, E2, E3에서 비숙련자보다 크게 나타났다.

손 분절의 수평속도 분석결과 숙련자의 경우 E1에서 2.64±0.66m/sec, E2에서 6.04±2.06m/sec, E3에서 10.40±0.75m/sec로 나타났고, 비숙련자의 경우 E1에서 3.96±1.55m/sec, E2에서 3.91±2.12m/sec, E3에서 9.19±0.80m/sec로 나타났으나, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다(p<.05). 즉, 손 분절의 수평속도는 E1에서는 숙련자가 더 작게 나타났으며, E2와 E3에서는 숙련자가 비숙련자 보다 더 크게 나타났음을 알 수 있다. E1에서 숙련자의 손 분절 수평속도가 비숙련자보다 낮게 나타난 이유는 숙련자의 경우 E2, E3에서 손 분절의 수평속도를 더욱 크게 하기 위해 왼발을 지면에 디딘 순간, 손 분절을 전방으로 크게 이동시키지 않았기 때문으로 판단된다. 특히 E2에서는 숙련자와 비숙련자의 손 분절 수평속도가 큰 차이를 보였는데, 이는 숙련자의 경우 오른발이 떨어지면서 상지분절의 전방이동속도가 비숙련자보다 크게 나타난 결과로 보이며 공의 속도와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다.

<그림 4>와 <그림 5>의 상지분절 수평속도 결과 그래프에서 숙련자 A와 비숙련자 E 모두, E2 이후에 상완, 전완, 손 분절의 수평속도가 차례로 최대값을 나타내어 팔 분절의 연계적인 동작에 의한 던지기 동작이 이루어 졌다고 판단할 수 있다.

표 3. 인체중심의 수평속도 (단위 cm/s)

구 분	E1	E2	E3
숙련자	1.59±0.19	0.77±0.16	1.23±0.18
비숙련자	1.22±0.15	0.94±0.14	1.61±0.11
p	0.2423	0.1636	0.5188

*p<.05

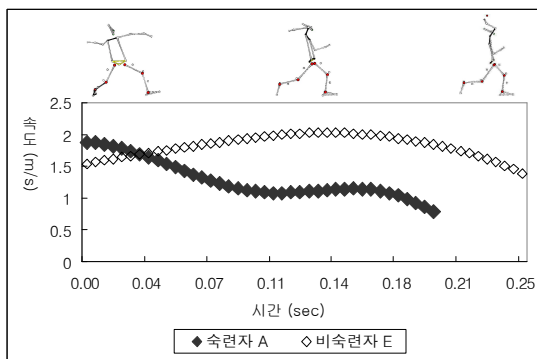


그림 3. 숙련자 A와 비숙련자 E의 인체중심 수평속도

3. 상지 분절의 수평 속도 분석

숙련자와 비숙련자의 상지분절 수평속도는 <표 4>와 같이 나타났다. 상지 분절 중 상완 분절의 수평속도 분

표 4. 상지분절의 수평 속도 (단위 m/s)

구분 대상	E1			E2			E3			
	상완	전완	손	상완	전완	손	상완	전완	손	
숙련자	A	1.83	2.07	3.21	6.30	8.47	7.55	3.89	6.91	11.59
	B	1.79	1.93	3.34	5.19	5.54	3.60	3.79	6.60	10.16
	C	2.10	1.81	1.76	4.70	5.73	4.47	2.57	5.13	9.54
	D	1.71	1.99	2.24	6.28	8.37	8.54	3.50	6.28	10.31
	M	1.86	1.95	2.64	5.62	7.03	6.04	3.44	6.23	10.40
	SD	0.15	0.09	0.66	0.69	1.39	2.06	0.52	0.67	0.75
비숙련자	E	0.80	0.67	6.51	5.61	7.59	6.05	3.18	5.50	9.39
	F	0.43	0.75	2.33	5.82	6.92	4.85	3.07	6.17	10.22
	G	1.99	2.18	3.53	4.03	4.23	0.40	3.48	4.91	7.99
	H	1.35	1.10	3.47	4.68	4.35	4.35	4.40	8.29	9.14
	M	1.14	1.18	3.96	5.04	5.77	3.91	3.53	6.22	9.19
	SD	0.59	0.60	1.55	0.72	1.50	2.12	0.52	1.28	0.80
p	0.0873	0.0700	0.2225	0.3526	0.3297	0.2588	0.8310	0.9885	0.1021	

*p<.05

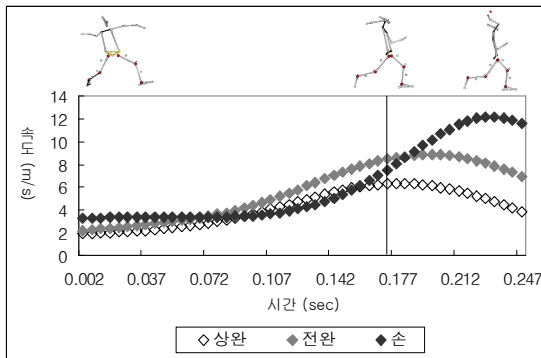


그림 4. 숙련자 A의 상지분절 수평속도

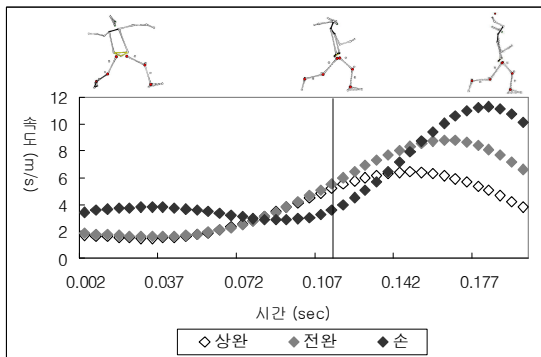


그림 5. 비숙련자 E의 상지분절 수평속도

4. 각도 변화 분석

1) 어깨 각도 변화

어깨 각도는 상체와 오른손이 이루는 상대적인 위치로써 공 던지기 동작 시 숙련자와 비숙련자의 구간별 어깨 각도 변화는 <표 5>와 같다. <그림 6>은 숙련자 A와 비숙련자 F의 어깨 각도 변화를 그림으로 나타낸 것이다.

<표 5>의 어깨 각도변화 분석결과 나타난 바와 같이 숙련자의 경우 E1에서 $106.47 \pm 14.21^\circ$, E2에서 $96.57 \pm 0.39^\circ$, E3에서 $99.29 \pm 1.84^\circ$ 이었으며, 비숙련자의 경우 E1에서 $79.30 \pm 27.80^\circ$, E2에서 $88.94 \pm 7.59^\circ$, E3에서 $99.72 \pm 6.63^\circ$ 로 나타났으나, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다($p < .05$). E1과 E2 구간에서 숙련자가 비숙련자에 비해 어깨 각도가 높게 나타났으며, E3 구간에서 비슷한 결과를 보였다. 이영석(1995)은 야구집단에서는 어깨 각도가 119.18° 이며, 핸드볼 집단은 어깨 각도가 123.76° 로 보고하였으며, 본 연구에서 숙련자 그룹의 경우 어깨 각도 변화가 이와 유사한 결과를 보였다.

표 5. 어깨 각도변화 (단위 deg/s)

구분	E1	E2	E3
숙련자	106.47 ± 14.21	96.57 ± 0.39	99.29 ± 1.84
비숙련자	79.30 ± 27.80	88.94 ± 7.59	99.72 ± 6.63
p	0.1824	0.1324	0.9188

*p<.05

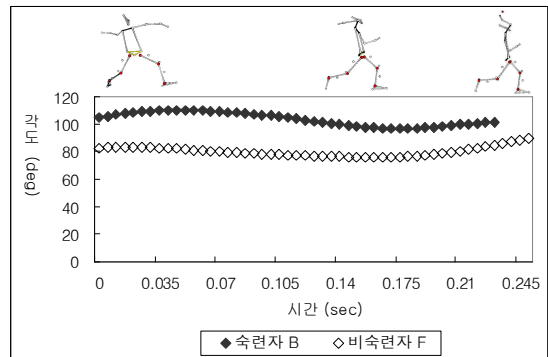


그림 6. 숙련자 B와 비숙련자 F의 어깨 각도 변화

2) 팔꿈치 각도변화

팔꿈치 각도는 상완과 전완이 이루는 각을 의미하며, 숙련자와 비숙련자의 던지기 구간별 팔꿈치 각도 변화를 살펴보면 <표 6>과 같다.

<표 6>의 팔꿈치 각도변화 분석결과를 살펴보면 숙련자의 경우 E1에서 102.57±15.91°, E2에서 73.30±9.86°, E3에서 136.25±13.68°로 나타났으며, 비숙련자의 경우 E1에서 117.24±26.97°, E2에서 87.75±16.84°, E3에서 124.10±16.66°로 나타났으나, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다(p<.05). 즉, E1, E2에서는 비숙련자가 숙련자보다 큰 팔꿈치 각을 나타냈지만, 릴리즈 시점에서는 숙련자의 팔꿈치 각이 비숙련자의 팔꿈치 각보다 크게 나타난 것을 의미한다.

효과적인 던지기 동작이 되기 위해서는 가능한 한 팔꿈치가 늦게까지 굴곡 되었다가 신전되어야 한다(진성태, 1984). 숙련자의 경우, 릴리즈 시점 직전까지 전완 분절의 사용을 자제하고 있다가 E2시점 이후에 전완 분절의 회전을 빠르게 하여 가장 늦게까지 굴곡 상태가 유지하는 형태를 보이며 이는 공을 멀리 보내기 위한 동작을 수행했기 때문으로 판단된다.

표 6. 팔꿈치 각도변화 (단위: deg/s)

구 분	E1	E2	E3
숙련자	102.57±15.91	73.30±9.86	136.25±13.68
비숙련자	117.24±26.97	87.75±16.84	124.10±16.66
p	0.4480	0.2467	0.3664

*p<.05

<그림 7>에서 시간에 따른 팔꿈치 각도 변화를 보면 숙련자 B의 경우, E1에서 E2까지 팔꿈치 각도가 서서히 감소하다가 E2지점 직후, 급격히 증가하는 변화를 보였으나, 비숙련자 F는 E1, E2에서 큰 팔꿈치 각을 보였으나, E2까지 감소하다가 E3에서는 숙련자 B에 비해 작은 팔꿈치 각도의 증가속도를 보인다. 이는 숙련자 B가 비숙련자 F보다 빠른 속도의 전완 분절회전을 했기 때문으로 판단된다.

3) 손목 각도변화

손목 각도는 전완과 손가락 끝이 이루는 각도로써 공 던지기 동작 시 숙련자와 비숙련자의 구간별 손목 각도 변화를 나타낸 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7>의 손목 각도변화 분석결과를 살펴보면 숙련자의 경우 E1에서 159.46±9.77°, E2에서 159.92±2.22°, E3에서 149.62±20.47°로 나타났으며, 비숙련자의 경우 E1에서 144.89±17.41°, E2에서 130.68±11.02°, E3에서 140.49±14.72°의 손목각도 형태를 보였으며, 제2구간 E2에서 숙련 그룹이 비숙련 그룹보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(p<.05).

표 7. 손목 각도변화 (단위: deg/s)

구 분	E1	E2	E3
숙련자	159.46±9.77	159.92±2.22	149.62±20.47
비숙련자	144.89±17.41	130.68±11.02	140.49±14.72
p	0.2530	0.0041*	0.5533

*p<.05

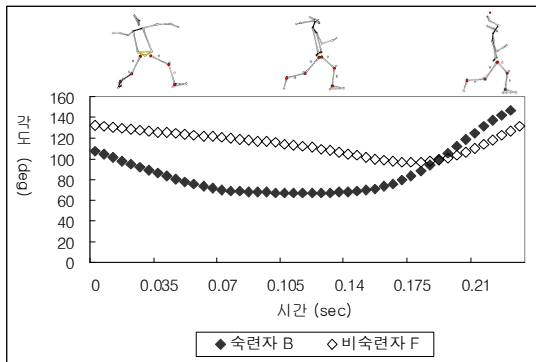


그림 7. 숙련자 B와 비숙련자 F의 팔꿈치 각도변화

<그림 8>은 공 던지기 동작 시 숙련자 D와 비숙련자 F의 손목 각도 변화를 나타낸 것이다. 던지기 동작 시 하체, 몸통, 상완, 전완에서 손목으로의 운동량을 얼마나 잘 전이를 시켰느냐에 따라 운동수행의 결과가 틀려진다. 그 중 마지막 릴리즈의 손목 각도가 가장 중요하다고 할 수 있다. 숙련자 D와 같이 공 던지기 동작 시 릴리즈 전까지는 최대의 손목각도를 끝까지 유지하다가 릴리즈 순간에는 손목의 각도를 줄이는 것이 효과적이다.

본 연구결과를 살펴보면 숙련자들은 릴리즈 시 순간적으로 손목을 꺾어 손목의 힘을 잘 활용하는 반면에

비숙련자들은 손목을 순간적으로 꺾지 못하여 손목의 힘을 제대로 발휘하지 못하는 것으로 판단된다.

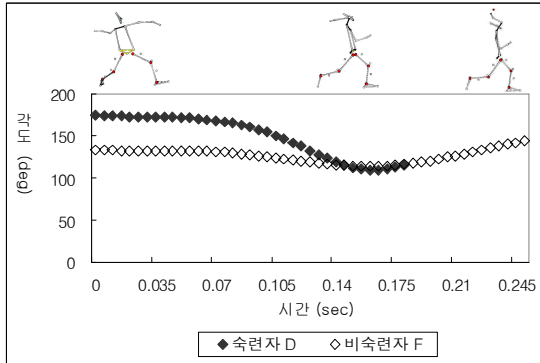


그림 8. 숙련자 D와 비숙련자 F의 손목 각도변화

5. 전경각도와 후경각도 변화 분석

전경각도와 후경각도는 Z축에서 몸의 중심이 이루는 각을 의미하며 공 던지기 시 숙련자와 비숙련자의 구간별 전경각도 및 후경각도 변화 결과는 <표 8>과 같이 나타났다.

구 분	E1	E2	E3
숙련자	-14.86±1.47	-6.21±3.77	-10.23±2.81
비숙련자	-13.42±2.77	-7.00±2.06	8.82±6.01
p	0.4570	0.7615	0.0025*

*p<0.05

<표 8>에서 숙련자의 경우 E1에서 -14.86±1.47°, E2에서 -6.21±3.77°, E3에서 -10.23±2.81°로 나타났으며, 비숙련자의 경우 E1에서 -13.42±2.77°, E2에서 -7.00±2.06°, E3에서 8.82±6.01°로 나타났으며, 제3구간 E3에서 숙련 그룹이 비숙련 그룹보다 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 다시 말해 숙련자는 E1, E2, E3 모두에서 (-)값을 보였으며 이는 후경자세를 유지한다는 것을 알 수 있으며, 비숙련자는 E1, E2에서는 (-)값을 나타냈으나, E3에서는 (+)값을 나타내 릴리즈 순간에 몸의 중심

이 전방으로 많이 쏠리는 전경자세 보인다고 할 수 있다. 이는 숙련자에 비해 비숙련자는 공 던지기 동작에서 릴리즈 시에 몸의 중심을 몸의 후방 쪽에 유지하지 못하였기 때문으로 판단된다.

6. 지면반력 분석

던지기 동작을 효과적으로 하기 위해서는 큰 힘을 작용시켜야 하는데 그 원동력이 바로 지면반력이라 할 수 있으며(Kugler, Kelso, & Turvey, 1982), 효율적인 동작을 하기 위해서는 지면을 통해 얻은 반작용력을 잘 전달할 수 있도록 신체 분절이 동원되어야 한다(이동우, 2007)고 보고하고 있다.

숙련자 그룹과 비숙련자 그룹의 던지기 동작에 대한 수직 방향의 최대수직지면반력(Fz)값과 전후 방향의 최대전후지면반력(Fy)값은 <표 9>와 같은 결과를 보였다. 지면반력 분석 결과 숙련자의 경우 최대수직지면반력은 851.60±64.75N, 최대전후지면반력은 -289.98±31.06N, 비숙련자의 경우 최대수직지면반력은 764.76±108.44N, 최대전후지면반력은 -209.14±140.77N으로 나타났으며, 숙련 그룹과 비숙련 그룹 간에 유의한 차이는 없었다(p<0.05). 최대수직지면반력 및 최대전후지면반력 모두 숙련자가 비숙련자 보다 큰 값을 보였으며, 숙련자와 비숙련자 모두 릴리즈 시점(E3) 직전에서 최대값을 나타냈다.

구 분	최대수직지면반력(Fz)	최대전후지면반력(Fy)
숙련자	851.60±64.75	-289.98±31.06
비숙련자	764.76±108.44	-209.14±140.77
p	0.2787	0.3689

*p<0.05

숙련자 B와 비숙련자 F의 수직지면반력은 <그림 9>와 같이 나타났다. 수직방향의 지면반력의 변화곡선 형태는 숙련자 B와 비숙련자 F가 비슷한 형태를 보였으나, 왼발이 지면에 닿는 시점(E1)에서 오른발이 떨어지

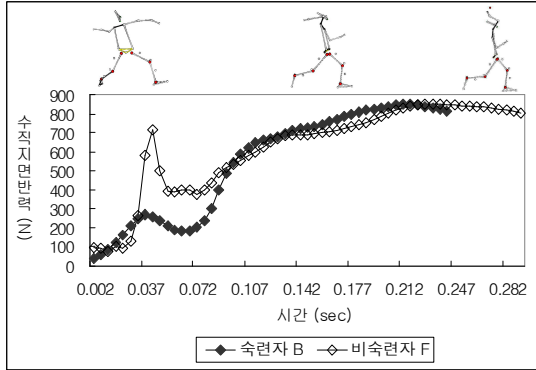


그림 9. 숙련자 B와 비숙련자 F의 수직지면반력

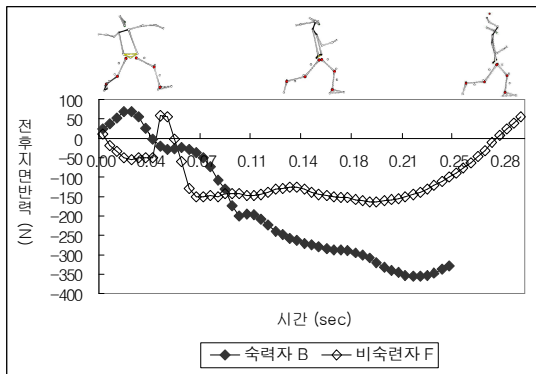


그림 10. 숙련자 B와 비숙련자 F의 전후지면반력

는 시점(E2) 중간에 비숙련자 F가 숙련자 B보다 더 큰 수직 지면반력을 보였는데 이는 비숙련자 F가 인체의 중심이동을 부드럽게 하지 못하고 왼발을 크게 내딛었기 때문으로 판단된다.

숙련자 B와 비숙련자 F의 전후지면반력은 <그림 10>과 같이 나타났다. 왼발을 디딘 후의 초반부 전후지면반력 값은 (+)값으로 왼쪽 다리가 회외 운동을 했기 때문으로 판단된다. 또한, E2, E3에서 비숙련자 F보다 숙련자 B의 전후지면반력 값이 크게 나타났는데, 이는 숙련자 B가 비숙련자 F보다 왼발의 브레이킹(breaking)작용을 크게 하여 신체의 후경자세를 유지하고, 감속된 모멘텀을 다시 얻기 위한 추진력을 얻을 수 있도록 수행된 운동의 결과로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 남자고등학생을 대상으로 야구 경력이 5년 이상인 숙련자와 경력이 없는 비숙련자 각각 4명을 대상으로 공 던지기 동작에 대하여 3차원 영상분석과 지면반력측정을 통하여 운동역학적 변인을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 던지기 동작의 총 소요 시간은 숙련자가 비숙련자에 비해 짧게 나타났으며, 특히 오른발이 지면에서 떨어지는 순간이후부터 릴리즈순간까지의 구간에서 숙련자의 소요시간이 비숙련자 보다 짧게 나타났다.
2. 인체중심의 수평속도는 왼발이 지면에 닿는 순간에는 숙련자가 비숙련자보다 빠르게 나타났지만, 오른발이 지면에서 떨어지는 순간과 릴리즈 순간에서는 비숙련자가 숙련자보다 크게 나타났다. 상지분절의 수평속도에서 전완 분절의 수평속도는 전 구간에서 숙련자가 비숙련자보다 크게 나타났으나, 손 분절의 수평속도는 왼발을 지면에 닿는 순간에는 비숙련자가, 오른발이 지면에서 떨어지는 순간과 릴리즈순간에는 숙련자가 비숙련자보다 크게 나타났다.
3. 어깨각도는 전 구간에서 숙련자가 비숙련자 보다 크게 나타났으며, 팔꿈치 각은 오른발이 지면에서 떨어지는 순간이후부터 숙련자의 각도가 크게 증가하여 릴리즈 순간에서는 비숙련자보다 각도가 크게 나타났다.
4. 전후경각도에서 숙련자는 전 구간에서 (-)값을 나타냈으나, 비숙련자는 왼발이 지면에 닿는 순간과 오른발이 지면에서 떨어지는 순간에는 (-)값을, 릴리즈 순간에는 (+)값을 나타내 릴리즈 순간에서 몸의 중심이 전방으로 쏠리는 전경자세를 보였다. 이는 비숙련자가 공의 릴리즈 시에 몸의 중심을 후방 쪽에 유지하지 못하였기 때문으로 판단된다.

5. 최대수직지면반력은 전 구간에서 숙련자가 크게 나타났으며, 최대전후지면반력은 오른발이 지면에서 떨어지는 순간과 릴리즈순간에서 숙련자가 비숙련자보다 크게 나타났다.

V. 제 언

이와 같은 결과에서 숙련자는 비숙련자보다 안정된 자세로 신체의 중심을 후방에 위치시키는 후경자세를 유지하고 신체의 중심이동을 부드럽게 전환하는 효과적인 던지기 동작이 이루어짐을 알 수 있었다. 또한 릴리즈 순간에 숙련자의 던지기 동작은 인체 중심속도, 전환 분절의 수평속도 및 각도가 비숙련자보다 크게 증가하는 현상을 보이는데 이러한 동작은 공 던지기 시 안정된 자세로 보다 많은 힘을 전이시킬 수 있을 것으로 보인다. 본 연구는 교육현장에서 필요한 공 던지기 및 그에 따른 응용동작 지도와 같은 교과 수업에서의 던지기 동작의 효율적인 지도 방안을 모색하고자 하였다.

본 연구에서는 고등학교 야구 선수를 대상으로 던지기 동작에 대한 숙련자 그룹과 비숙련자 그룹의 동작 특성을 파악하였다. 향후 연구에서는 본 연구에서 다루지 못한 훈련의 정도, 개인의 특성 등의 변인을 고려하여 깊이 있는 연구를 수행하고자 하며, 던지기는 다양한 스포츠 종목뿐만 아니라 일상생활에서도 빈번히 발생하는 동작이다. 향후 여러 형태의 던지기가 동작에 대한 운동학적 및 운동역학적 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 박일봉, 김정태(2007). 탄성저항 및 필라테스 운동이 야구투수의 근전도에 미치는 영향, *한국운동역학회지*, 17(4), 127-139.
- 윤희중, 김영란, 류지선, 홍순모(1991). 투창 주동작의 역학적 분석. 체육과학연구원.
- 이동우(2007). 초등학교 학생들의 발달단계에 따른 던지기 동작의 운동역학적 분석, *한국운동역학회지*, 17(1), 69-79.
- 이영석(1995). 야구와 핸드볼 공 던지기 동작의 비교 분석. 미간행 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
- 이영선(2004). 여자 창던지기 크로스 스텝과 딜리버리 국면의 운동학적 분석, *한국운동역학회지*, 14(3), 149~163.
- 이종훈(2002). 창던지기 동작의 kinematic적 특성분석, *한국운동역학회지*, 12(2), 345-359.
- 진성태(1984). 던지기 동작에서 각 신체 분절의 역할. 미간행 석사학위 논문. 서울대학교 대학원.
- 최정규(2008). 시각장애인의 실명시기에 따른 던지기 동작의 운동학적 특성. *한국운동역학회지*, 18(2), 125~139.
- 현무성(1985). E.M.G를 이용한 던지기 동작의 주동근 수축양상에 관한 연구. 미간행 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
- 홍순모, 이영선(2007). 여자 창던지기 운동학적 요인의 일관성 평가, *한국운동역학회지*, 17(4), 65-71.
- Atwater, A. E.(1979). Biomechanics of overarm throwing movements of throwing injures. *Exercise and Sport Science Review*, 7(33).
- Bartlett R. M., Best, R. J.(1988). The biomechanics of javelin throwing: a review, *Journal of Sports Science*, 6(1). 1-38.
- Fleisig G. S., Barrentine S. W., Escamillar, R. F., & Andrews J. R.(1996). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries, *Sports Medicine*, 21(6), 421-437.
- Gregor, R. J., McCloy, R. W., & Rich, R. G.(1984). *Kinematic analysis of elite shotputters*. Track & Technique.
- Gregor, R. J., Whiting, W. C. & McCoy, R. W.(1985). Kinematic analysis of Olympic discus throwers. *International Journal of Sport Biomechanics*, 133-138.
- Gunter, R.(1982). The Discus revisited. *Athletic Journal*, 62, 16-17.

- Hay, J.(1979). *The Biomechanical of Sports Techniques*, Prentice Hall.
- Haywood, K. M.(1993). *Life span motor development(second edition)*. Champaign, IL; Human Kinetics.
- Hutchinson, M., Wynn, S.(2004). Biomechanics and development of the elbow in the young throwing athlete, *Clinics in Sports Medicine*, 23(4). 531-544.
- Kreighbaum, E., & Barthela, K. M.(1985). *Biomechanics : A qualitative approach for studying human movement, minneapolis*. Burrell, 370-410.
- Kugler, P.N., Kelso, J.A.S., & Turvey, M.T.(1982). On the control and coordination of naturally developing systems. In J.A.S. Kelso, & J.E. Clark(Eds.), *The development of movement control and coordination*. John Wiley & Sons Ltd. 5-78.
- Morriss, C., Bartlett, R.(1996). Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw, *Sports Medicine*, 21(6), 438-446.
- Nelson, J, K, Thomas, J, R, Nelson, K. R. & Abraham, P. C.(1986). Gender differences in children's throwing performance : Biology and environment, *Research Quarterly for Exercise and sport*, 57, 280-287.
- Plagenhoef, S.(1971). *Pattern of Human Motion (acinematographic analysis)*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 89-98.
- Schwartz, G(1983). Major Obstacles Effective Discus Throwing. *Track and Field Quarterly Review*, 83(1), 25.
- Wilk, K. E., Meister, K. M., & Andrews J. R.(2002) Current concepts in the rehabilitation of the overhead throwing athlete, *American Journal of Sports Medicine*, 30, 136-151.
- Zumerchik, J.(1997). *Encyclopedia of sport Science : baseball*. New York : Simon & Schuster Macmillan, 39-43mechanics of Baseball Pitching.

투 고 일 : 01월 31일

심 사 일 : 02월 18일

심사완료일 : 03월 25일