



사전동작이 좌우 반응 추진운동의 수행력에 미치는 영향

Effects of Preparatory Movements on Performance of Sideward Responsive Propulsion Movement

김용운* · 윤태진 · 서정석(서울대학교)

Kim, Yong-Woon* · Yoon, Te-Jin · Seo, Jung-Suk(Seoul National University)

ABSTRACT

Y. W. KIM, T. J. YOON, J. S. SEO, Effects of Preparatory Movements on Performance of Sideward Responsive Propulsion Movement. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 3, pp.9-19. The purpose of this study was to analyze the effects of three different types of preparatory movement(squat, countermovement and hopping) in sideward responsive propulsion movement. 7 healthy subjects performed left and right side movement task by external output signal. 3D kinematics were analyzed. The results were followed.

First, performance time in the countermovement and hopping conditions was shorter(10-20%) than that in the squat condition. The hopping condition that is more related to pre-stretch showed excellent performance. Second, time difference between after turned on the external signal and until take off was the primary factor in performance results among movement conditions. The preparatory phase before the propulsive phase in the squat condition produced more time than that in other conditions. The hopping condition showed the most short time in both the preparatory and the propulsive phase, therefore it was advantage for performance result. Third, significant difference was not found in take-off velocity among movement conditions although there was difference of the time required in the propulsive phase. The maximum acceleration in the propulsive phase was larger in order of the hopping, countermovement, and squat condition. The countermovement and hopping conditions showed high take-off velocity although the propulsive phase in those conditions was shorter than that in squat condition. The pre-stretch by preparatory countermovement was considered as the positive factor of producing power in concentric contraction. Fourth, the hopping condition produced large angular velocity of joints. In hopping condition, large amount of moment for rotation movement was revealed in relatively short time and it was considered to cause powerful joint movements.

In conclusion, the hopping movement using countermovement is advantage of responsive propulsion movement. It is resulted from short duration until take off and large amount of joint moment and joint power in concentric contraction by pre-stretch.

KEYWORDS: PROPULSION, COUNTERMOVEMENT, HOPPING, PREPARATORY MOVEMENT, PRE-STRETCH

I. 서론

배구나 농구, 축구, 테니스, 배드민턴 등 각종 스포츠 활동에서 점프나 순간적인 이동 등 다양한 동작 형태로 이루어지는 신체 추진(propulsion)은 운동 과제나 기술의 수행에 직·간접적으로 영향을 미친다. 특히 엘리트 수준의 경기일수록 순간적인 신체 추진의 수행은 미세한 차이라도 경기력에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 중요한 요인으로 작용하는데, 그 관건은 수행 동작의 특성에 따라 달라질 수 있으나 크게 '큰 힘을 발현하여 최종적인 추진 속도를 증가시키느냐' 와 '동작을 얼마나 신속히 완성하느냐?' 의 두 가지 측면에서 찾을 수 있을 것이다.

추진운동의 중요성만큼이나 이에 대한 연구도 다양한 주제로 이루어 졌는데, 특히 수직점프 동작을 대상으로 수행을 결정짓는 요인을 규명하고자 하는 다수의 연구가 있었다. 이와 관련하여 수직 점프와 같은 추진 운동에서 사전동작(preparatory movement)이 수행력에 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 최대 수직점프에서 반동을 이용한 반동점프와 그렇지 않은 스퀴트점프(squat jump)사이 18~20% 정도의 도약 높이차가 나타났다고 보고한 Bosco, Viitasalo, Komi, & Luhtanen (1982)의 연구를 비롯한 많은 연구에서 사전 반동을 이용하였을 때 수행력이 보다 우수한 것으로 나타났다(서정석, 2000; Anderson & Pandey, 1993; Bobbert, Karin, Gerritsen, Litjens & Van Soest, 1996; Komi & Bosco, 1978). 사전동작은 주(main) 동작 이전에 이루어지는 예비 혹은 준비 동작으로, 목표로 하는 운동 방향의 반대 방향으로 움직이는 반동(countermovement)은 그 대표적인 예이다(Bobbert et al, 1996).

이러한 결과에 대하여, 대부분의 연구자는 반동이라는 사전동작에서 근육이 강압적으로 사전-스트레치(pre-stretch)되었다가 구심성 수축을 하게 되는데, 이러한 Stretch-Shortening Cycle(SSC)이 단순히 구심성 수축만 하는 것에 비해 최종 국면에서 보다 큰 힘을 발현함으로써 최종 수행력의 증가에 기여하였기 때문이라고 보았다(Bobbert et al, 1996; Enoca, 2002). 또한 다양한 논쟁이 존재하나 이러한 사전 스트레치의 효과에 대

하여 근육과 건의 탄성 특성에 의한 탄성에너지의 저장과 재사용(Komi & Bosco, 1978), ii)근육의 활성화를 위한 시간적 여유(Bobbert et al, 1996), iii)근육의 길이 변화에 따른 신전반사(stretch reflex)(Komi & Gollhofer, 1997), iv)수축 요소의 기계적 특성 변화에 따른 강화작용(Enoca, 2002) 등 의 요인이 제시되고 있다.

또한, Komi & Gollhofer(1997)는 사전 스트레치의 효과를 극대화시킬 수 있는 조건으로 사전-근활동의 시간적 조절, 짧은 시간 안에 빠르게 이루어지는 사전-스트레치, 원심성 국면에서 구심성 국면으로의 빠른 전환 등을 제시함으로써 사전동작의 형태나 특성에 따라 그 영향은 상이할 수 있음을 암시하였다. 실제 일반적인 반동점프와 일정한 높이에서 낙하하여 반동을 이용한 반동 드롭점프가 착지와 동시에 가능한 빠르게 점프하는 바운스 드롭점프에 비해 보다 높이 점프하였으나, 수직 가속도, 최대 지면 반력, 하지 관절의 모멘트 및 파워 등은 바운스 드롭점프에서 보다 큰 값이 나타났다고 보고한 Bobbert, Huijing, & Van Ingen Schenau (1987a)의 연구를 비롯한 여러 연구에서 사전동작의 유형에 따라 수행력은 다소 차이가 나타났다(Bobbert, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1987b; Bosco et al, 1982; Neubert, Schwirtz, & Bührle, 1998). 결국, 수직 점프와 같은 추진운동에서 근력 발현 기전의 변화를 초래하는 사전동작은 수행력에 큰 영향을 미치며, 그 유형에 따라 효과도 차이가 있음을 알 수 있다.

그러나 이상의 연구들에서 주로 다루어진 수직 점프는 추진을 위한 시간적 제약이 없는 상태에서 도약 속도를 최대한 증가시키는 것이 수행의 관건인 반면, 실제 스포츠 현장에서는 상대나 볼의 움직임에 대응하여 특정한 방향으로, 가능한 짧은 시간에 폭발적인 움직임을 수행해야 하는 경우도 빈번하게 발생한다. 즉 테니스의 발리, 배드민턴의 풋워크, 야구나 축구의 수비 동작 등에서는 추진 속도를 크게 함과 함께 외부 정보에 대응하여 특정한 방향으로 동작을 신속히 완료해야 하는데, 수직점프를 대상으로 한 사전동작의 역할에 대한 기존의 연구결과를 이러한 동작에 적용하는 것은 무리가 있을 것이다.

이에 본 연구자는 이상에서 언급된 특성의 추진운동의 형태를 "반응 추진운동"으로 정의하고, 사전동작의

유형이 이러한 반응적 추진운동의 수행에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 반응적 추진운동을 실험 상황에서 과제로 구성하고 무반동의 스쿼트유형, 반동유형, 호핑유형의 세 가지 형태의 사전동작에 따른 수행의 차이를 분석하였다.

본 연구의 결과는 실제 스포츠 현장에서 요구되는 다양한 운동 과제나 기술의 수행시 사전동작의 효과에 대한 과학적 이해를 도울 뿐 아니라 구체적인 활용 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구방법

1. 반응 추진운동 과제

본 연구에서 실시한 반응 추진운동 과제는 제자리의 준비 자세로부터 세 가지의 각 사전동작 방법을 이용해 외부에서 제시되는 신호의 방향에 따라 최대한 빠르게 이동하여 신체 정중선을 기준으로 3m에 위치한 스위치 센서를 터치하는 동작이다. 세 가지 사전동작의 유형은 다음과 같다.

- ① 스쿼트유형 : 가볍게 웅크린 스쿼트 자세에서 사전동작(반동)이 없이 추진하는 동작
- ② 반동유형: 스쿼트 자세에서 반동을 이용한 추진 동작
- ③ 호핑유형: 제자리에서 가볍게 점프하였다가 착지

하는 호핑 동작 후 반동을 이용하는 추진외부 신호는 피험자의 전방에 위치한 과제지시기(자체 제작)를 통하여 중앙/좌/우의 세 방향으로 무작위로 제시되는데, '중앙'으로 제시된 신호는 제자리에 정지하라는 의미로 피험자들의 방향 예측 효과를 방지하기 위한 부수적인 신호이다. 또한 피험자로 하여금 외부 신호가 제시되는 시간적 예측을 가능케 하기 위해 신호 제시 3초전부터 "3-2-1-방향 지시"의 방식으로 신호가 제시되는데, 이는 피험자가 최적의 타이밍에서 과제를 수행하도록 함으로써 동작 타이밍에 의한 효과를 배제하기 위함이며, 실제 경기 현장에서 상대의 움직임을 관찰하는 것을 비롯하여 다양한 방법을 통해 수행자가 움직임의 타이밍을 조절한다는 것을 고려한 것이다.

세 가지 사전동작의 조건에서 초기 자세는 동일하게 통제하였는데, 즉 두 발의 간격과 관절의 각도는 피험자 각자가 편안하게 동작을 수행할 수 있다고 선택한 자세를 동일하게 적용함으로써 초기 자세로 인한 영향을 배제하였다. 또한 모든 조건에서 전방에 위치한 과제지시기의 신호에 따라 지시 방향의 발을 이지하여 목표 방향으로 내 던는 오픈 스텝(open step) 동작으로 제한하였다.

2. 실험 방법 및 절차

모든 피험자는 2주간의 과제 적응 프로그램

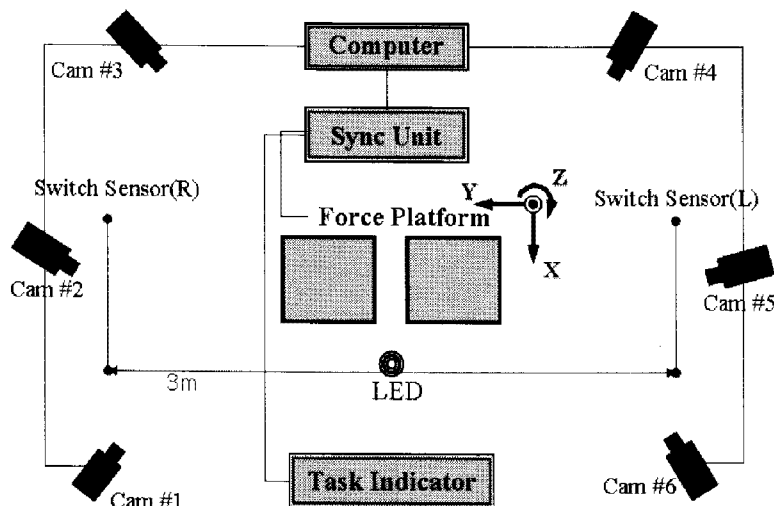


그림 1. 실험 배치도

(2sessions/week, 30min/session) 후 본 실험에 참여하였는데, 동작 유형에 따른 수행력의 차이를 규명하고자 하는 본 연구에서, 최적화된 동작 타이밍을 찾지 못함으로 인하여 결과 왜곡을 방지하기 위해서이다.

본 연구의 실험 크게 두 단계로 진행되었다. 우선 최종적인 수행결과를 분석하기 위한 실험1에서는 15명의 성인 남자 대학생이 참여하여 각 유형에 대하여 5회씩 과제를 수행하였으며 신호가 제시된 시점에서 피험자가 스위치를 터치할 때까지의 수행 시간만을 과제지시기를 통해 수집하였다. 반면, 실험2에서는 이 가운데 7명을 대상(21.57±1.7 yrs, 177.6±2.3cm, 72.0±3.2kg)으로 사전동작의 각 유형에 대하여 2번의 시행을 성공하도록 하여 이에 대한 구체적인 역학적 분석을 하였다.

실험 2에서 7명의 각 피험자들은 무작위로 할당된 사전동작 유형의 순서에 따라 3 세션(session)에 걸쳐 과제를 수행하였다. 과제 수행 후 동작이 원활히 이루어졌다고 피험자와 연구자가 간주한 시행만을 인정하도록 하였으며, 좌우방향의 동작을 대칭적으로 가정하고 각 조건에서 우측 방향으로의 성공적 시행이 2회 이루어지면 한 세션이 종료하였다.

한편, 실험 1에서는 수행 시간을 얻기 위해 과제지시기만을 동원하였으나, 실험 2에서 운동학적 자료의 수집을 위해 125Hz의 카메라 2대와 60Hz의 카메라 3대가 사용되었다. 이 때 트리거(trigger)를 이용하여 LED 발광신호를 동작 중에 삽입하여 영상 동조를 위한 동일 시점으로 참고하였다. 각 피험자는 인체 분절의 좌표화를 위해 총 23개의 마커를 각 분절점에 부착한 후 제자리에 선 자세에서 정적 트라이얼(static trial)을 시행·

촬영한 후 실제 과제를 수행하도록 하였다.

3. 자료 처리와 분석

본 연구에서 영상의 좌표화, 3차원 좌표값의 계산과 평활화 그리고 기타 각종 분석을 위해 Kwon3d 3.1(권영후, 2001)과 Matlab 6.5, MS Excel 2002를 사용하였다. 각 카메라의 데이터는 3차 스플라인 함수를 이용하여 125Hz로 보간(interpolation)시킨 후 동일 시점으로 동조하였으며, DLT기법으로 분절점의 3차원 좌표를 계산하였다. 이 때 3차원 좌표에 포함된 노이즈에 의한 오차를 제거하기 위하여 저역통과 필터(lowpass filter)를 사용하여 평활화(smoothing)하였으며, 차단주파수(cut-off frequency)는 6.0Hz로 설정하였다. 각 피험자들의 관절중심점(joint center)은 based trial에서의 각 관절중심점에 대한 3차원의 상대적 벡터(relative vector) 정보를 활용하여 추정하였는데, 엉덩관절은 Tylkowski-Andriacchi 방식을, 무릎과 발목관절은 midpoint방식을 각각 적용하였다.

분석은 상체와 우측 방향의 추진 운동에 주된 역할을 하는 좌측 분절에 대하여 실시하였으며, 전체 동작은 다음의 두 국면으로 나누어 분석하였다.

① 예비국면(preparatory phase) : 신호가 제시되는 시점에서 신체중심의 높이가 최저에 이른 시점까지, ② 추진국면(propulsive phase) : 신체중심의 높이가 최저에 이른 시점에서 지면에서 이지하는 시점까지, ③동작국면(movement phase) : 신호가 제시되는 시점에서 이지하는 시점까지(예비+추진)

표 5. 최종 수행시간 및 국면별 시간 변인

		스쿼트(a)	반동(b)	호핑(c)	Sig	Post Hoc
최종수행시간	sec	1.03 ± 0.08	0.93 ± 0.06	0.89 ± 0.07	.000*	a>b>c
	%스쿼트	100	90.2	87.0		
전체동작국면	sec	0.75 ± 0.08	0.65 ± 0.04	0.55 ± 0.08	.000*	a>b>c
	%스쿼트	100	86.7	73.3		
예비국면	sec	0.54 ± 0.09	0.41 ± 0.06	0.37 ± 0.10	.000*	a>b,c
추진국면	sec	0.22 ± 0.03	0.24 ± 0.07	0.19 ± 0.05	.033*	b>c

* P<.05

이러한 국면에 대하여 과제 수행 시간, 국면별 소요 시간 등의 수행력 관련 시간 변인과 선속도와 가속도, 관절의 각변위와 각속도 등의 운동학적 변인을 산출하였으며, 운동학적 변인의 패턴을 분석하기 위해 스플라인 보간법을 이용하여 외부 신호가 제시되는 시점에서 이지시점까지를 기준(100%)으로 시간-표준화(time-normalization)하였다.

한편, 산출된 변인에 대하여 사전동작의 유형에 따른 차이를 검증하기 위해 일원분산분석과 Scheffe 방법의 사후 검증을 실시하였다. 이를 위해 SPSS 10.0 통계 패키지를 이용하여, 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 수행결과 및 시간 변인

사전동작의 유형에 따른 수행력과 국면별 소요시간은 <표 1>과 같다. 본 연구에서 수행력은 외부 신호가 제시된 시점에서 피험자가 일정한 거리에 설치된 버튼을 터치하는 시점까지의 최종적인 수행 시간을 의미하는데, 실험 1에서 15명의 피험자(×5시행)를 대상으로 한 결과이다.

실험 결과, 호핑유형의 수행 시간이 0.89sec로서 가장 우수하였으며, 그 다음으로 반동유형(0.93sec)과 스쿼트유형(1.03sec)의 순으로 나타났는데, 이러한 결과는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다($p<.001$). 또한 각 유형을 상대적으로 비교하면 스쿼트유형의 수행시간에 대해

호핑유형은 87.04%, 반동유형은 90.16%에 해당된다.

한편, 각 국면별 소요시간을 살펴보면, 우선, 외부 신호가 제시되어 지면에서 이지하는 시점까지의 전체 동작국면은 호핑유형이 가장 짧고 반동유형과 스쿼트유형의 순서로 나타났으며($p<.001$), 이는 수행시간의 결과와 유사함을 알 수 있다. 또한 예비국면에서는 반동유형과 호핑유형에 비해 스쿼트유형의 소요시간이 긴 것으로 나타났으며($p<.001$), 실제 구심성 수축에 의해 추진이 되는 추진국면은 반동유형에 비해 호핑유형이 유의하게 짧은 소요시간을 나타냈다($p<.05$)

2. 운동학적 변인

1) 신체중심 변인

이지 시점에서의 신체 중심의 합성속도는 추진국면 동안 발현된 추진의 결과라 할 수 있는데, 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p=.360$), 반동유형과 호핑유형의 속도가 유사한 반면 스쿼트유형의 이지속도가 다소 낮은 경향을 보였다(표 2).

한편, 신체 중심의 가속도는 추진국면 동안 발현되는 추진력의 크기와 관련된 변인이라 할 수 있는데, 호핑유형의 최대 가속도가 반동유형과 스쿼트유형보다 유의하게 큰 것으로 나타났다($p<.001$).

2) 하지 관절의 운동학적 변인

관절의 각속도는 관절에 작용한 모멘트에 의한 각운동을 나타내는 값으로, 사전동작의 유형에 따른 추진국면에서의 발목, 무릎, 엉덩관절의 최대각속도 역시 <표

표 6. 운동학적 변인

	스쿼트(a)	반동(b)	호핑(c)	Sig.	Post Hoc
이지 시점의 선속도 (m/s)	2.39 ± 0.22	2.52 ± 0.20	2.51 ± 0.36	.360	
추진국면의 최대가속도 (m/s ²)	8.27±1.09	10.35±2.51	13.30±2.94	.000*	a,b<c
추진국면의 최대각속도 (°/s)	발목	313.68±84.03	344.59±102.99	.029*	a<c
	무릎	258.55±74.08	311.48±79.52	.033*	a<c
	엉덩	250.94±51.41	261.31±57.68	.687	

* P<.05

2>에 제시되고 있다. 우선 발목관절에서는 호핑유형에서 스쿼트 유형보다 유의하게 큰 최대각속도가 나타났으며($p<.05$), 무릎관절에서도 이와 같은 결과가 나타났 다($p<.05$). 반면 엉덩관절에서는 사전동작의 유형에 따 른 차이가 없었다($p=.687$)

IV. 논 의

1. 수행 결과 및 국면별 소요시간

테니스의 발리나 서비스 리턴, 배드민턴의 풋워크를 비롯하여 야구의 수비, 축구의 골키퍼 동작 등은 본질 적으로 상대나 볼의 움직임에 적절히 대응하여 제한된 시간내에 신속히 이루어져야 하는 특성이 있다. 본 연 구는 이러한 동작을 반응 추진운동으로 규정하고 사전 동작의 형태가 반응 추진운동의 수행력에 미치는 영향 을 규명하고자 하였다.

폭발적인 움직임과 관련하여 핵심적으로 언급되는 동작 요소가 반동을 비롯한 사전동작으로, 흔히 사전동 작을 통해 근육이 구심성 수축을 하기 전에 사전-스트 레치 되는 SSC 기전이 수행력을 증가시킨다는 것이 다.(Komi & Bosco, 1978). 본 연구의 사전동작의 유형 으로 스쿼트 유형은 정적인 상태, 즉 실제 사전동작이 없는 경우로 주동근이 주로 구심적으로만 수축하는 유 형인 반면, 반동 유형과 호핑 유형은 근육의 사전-스트 레치를 유발하는 사전동작이 포함된 유형으로 다만 반 동 유형과 호핑 유형은 사전-스트레치를 얻는 방법과 이에 따른 부하(pre-stretch load)에서 상이한 동작 유형 이다.

연구결과, 호핑 유형이 가장 짧은 수행시간으로 우 수한 수행력을 보인 반면 스쿼트 유형의 수행력이 가장 저조하였는데(호핑 유형<반동 유형<스쿼트 유형), 수행 시간을 상대적으로 비교하면, 스쿼트 유형에 대하여 호 핑 유형이 83~87%, 반동 유형이 90% 에 각각 해당되 는 값이다. 이는 점핑 동작을 통해 반동이 포함된 사전 동작을 이용하였을 때가 그렇지 않을 때보다 수행력의 향상이 있었음을 기존의 연구[Bosco et al(1982) 도약높 이 18~20% 증가, Anderson & Pandy(1993) 5% 증가,

Bobbert et al(1996) 3.6cm 증가, Komi & Bosco(1978) 11.9%, Hortobagyi, Lambert, & Kroll(1991) 11.3% 증 가]와 유사한 결과로서, 본 연구의 반응 추진운동에서 도 반동으로 인해 사전-스트레치가 발생하는 반동 유형 과 호핑 유형이 그렇지 않은 스쿼트 유형에 비해 수행 력에 긍정적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

한편, 스트레치의 부하가 큰 호핑 유형이 반동 유형 보다 수행력이 우수한 것으로 나타났는데, 이는 드롭 점프에서 보다 큰 파워가 나타났다고 보고한 Bobbert et al(1986b)의 연구와 유사한 결과를 보였다. 결국, 최 대 수직 높이를 요구하는 동작에서 사전동작을 이용했 을 경우 보다 우수한 수행력을 나타냈던 선행 연구의 결과와 유사하게 반응 추진운동에서도 사전동작을 이 용하였을 때 수행력이 증가하였으며, 또한 사전동작의 형태에 따라 수행력의 차이가 나타났다.

이러한 결과의 원인을 동작의 국면별 소요 시간을 통해 살펴보면(그림 2), 우선 외부 신호가 제시된 시점에 서 지면에서 이지까지의 전체 동작국면의 시간은 호핑 유형이 가장 짧고 반동유형, 스쿼트 유형의 순서로 소 소요시간이 나타났다. 이러한 결과는 앞서 살펴본 동작 유형에 따른 수행 시간의 결과와 동일한 순서인데, 이 를 통해 반응 추진운동에서 지면을 이지하며 실제 추진 을 완료하는 시점까지의 소요 시간이 수행력에 중요한 요인일 것으로 추측할 수 있다.

구체적으로 외부 신호가 제시된 후 추진을 시작하는 시점까지의 예비 국면에서 스쿼트 유형이 반동 유형과

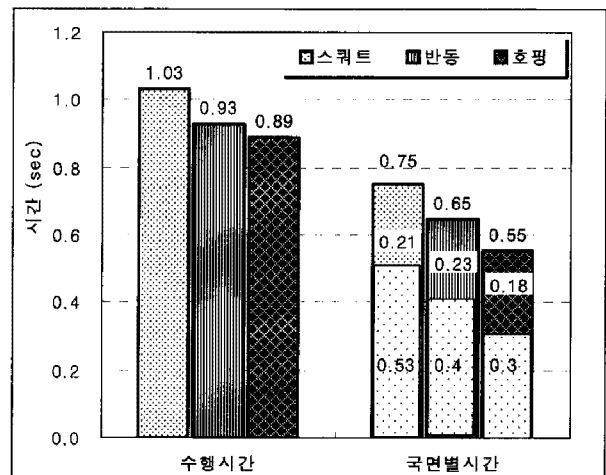


그림 2. 수행시간과 국면별 소요시간

호핑 유형에 비해 유의하게 긴 시간이 나타나 수행력(시간)에 불리하게 작용하였다. 이는 스쿼트 유형이 정지된 상태에서의 움직임이기 때문에 관성의 요인에서 반동 유형과 호핑 유형에 비해 상대적으로 불리하기 때문으로 생각된다. 반면 추진 국면은 호핑 유형이 반동 유형과 스쿼트 유형 다른 두 유형에 비해 짧은 시간이 소요되었다. 추진 국면의 시간과 관련하여 Bobbert et al(1986a)의 연구에서는 반동점프가 0.29sec, 호핑 유형과 유사한 바운스드롭점프에서 0.13sec로 나타났으며, Bobbert et al(1996)의 연구에서 추진 국면의 시간이 반동점프에서 0.33sec인데 반해 스쿼트점프에서 0.42sec로 나타났다. 본 연구의 결과는 선행연구의 결과와 전체적으로 유사한데, 다만 다소의 차이가 나타난 것은 위의 연구들이 시간적 제약이 없이 최대 높이로 점프하는 과제를 수행하였기 때문으로 생각된다.

일반적으로 최대 수행을 위한 동작에서는 보다 많은 시간을 추진에 사용하는 것이 유리하나, 수행 시간의 단축이 중요한 반응 추진운동에서는 이를 긍정적 요인으로 설명할 수는 없을 것이다. 오히려 짧은 시간에 보다 큰 힘을 발휘하였다면, 시간적 제약성을 가지는 반응 추진운동에서는 보다 유리한 조건이라고 할 수 있기 때문이다. 결론적으로 호핑 유형에서 짧은 추진 시간에도 불구하고 이지 순간 높은 속도가 나타났기 때문에 반응 추진운동에서 호핑 유형은 매우 유리한 조건이라 할 수 있을 것이다.

추진국면과 관련한 이상의 논의에 대해 선행 연구에서도 유사한 주장이 있었는데, Bosco et al(1982)은 양(+)의 일, 즉 추진에 소요한 시간에서 무반동점프(no-rebound jump)에 비해 반동점프가 짧은 시간이 소요된 것으로 나타났는데 반동점프가 상대적으로 짧은 시간에 근활동이 이루어짐으로써 에너지 효율이 증가하였다고 하였다.

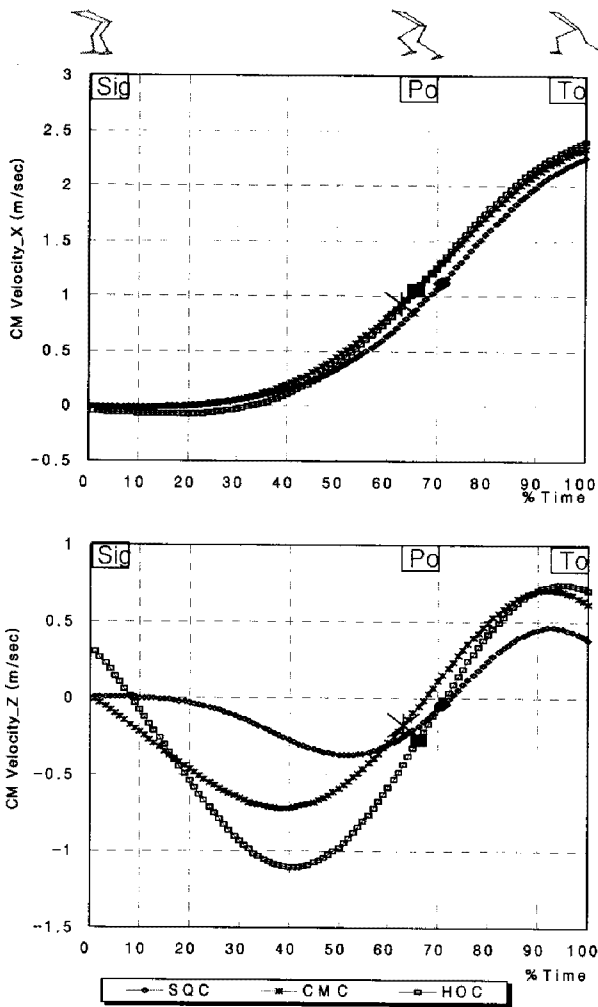
2. 운동학적 변인

추진 국면 동안 발현된 역학적 활동의 결과는 지면에서 이지하는 순간의 중심 속도로 나타난다. 본 연구에서 이지 시점의 중심 속도는 사전동작에 유형에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이는 반동점프가 바

운스 드롭점프보다 큰 이지속도를 보인 Bobbert et al(1986a)의 연구나, 반동점프가 스쿼트점프보다 큰 것으로 나타난 Bobbert et al(1996)의 연구, 웨이트 리프팅에서 반동을 이용하였을 때 바벨의 최대 속도가 평균적으로 9.42% 정도 증가한 것으로 보고한 서정석(2000)의 연구와는 다소 상이한 결과이다. 이는 무엇보다 충분한 추진 시간을 갖는 수직점프와 짧은 시간동안 동작의 완성이 요구되는 반응 추진운동의 특성차에 기인한 것으로 사료된다.

이지 순간의 중심 속도와 관련하여 두 가지 추론이 가능하다. 우선 호핑 유형에서 추진에 소요된 시간이 다른 두 유형에 비해 상대적으로 짧게 나타났음에도 불구하고, 통계적으로는 유의하지 않았지만 이지하는 순간 중심 속도가 가장 높은 값을 나타냈다는 것은 추진 국면 동안 동작의 효율성 측면에서 가장 우수하였다고 할 수 있으며, 정해진 동작의 완성에 소요되는 시간이 중요한 반응 추진운동에서는 더욱 긍정적인 요인일 것으로 사료된다. 두 번째로 이지하는 순간의 중심 속도가 각 동작 유형에서 유사한 값을 보인 점을 고려할 때, 수행력과 관련하여 동작유형에 따른 수행 시간의 차이가 실제 이지 이후 이동하는 시간에 기인하기 보다는 신체를 추진하는데 소요되는 시간 변인에 의해 주로 결정되었다고 할 수 있다.

한편, 신체중심 속도의 변화 패턴을 살펴보면(그림 3), 세 유형의 동작에 있어 수평성분보다는 수직성분의 운동학적 차이가 두드러지게 나타나고 있다. 우선, 수평성분의 경우 반동과 호핑 유형이 스쿼트 유형에 비해 다소 큰 값을 보였으며, 이는 가속도의 수평 성분에서 보다 두드러지게 관찰되고 있다(그림 4). 이러한 점은 스쿼트 유형보다 반동 및 호핑 유형이 수평방향으로의 추진에 유리하게 작용하였음을 의미한다. 특히 호핑 유형의 경우 비록 그 값이 미미하지만 신호가 제시된 후 초기 국면에서 음의 속도 값을 보이고 있는데, 이는 아래 방향으로의 움직임은 가운데 추진의 반대 방향으로 이동하는 수평성분의 사전반동이 이루어졌다고 해석될 수 있으며, 이러한 사전동작은 수평속도를 다른 유형에 비해 보다 크게 증가시키는데 기여하였을 것으로 생각된다.

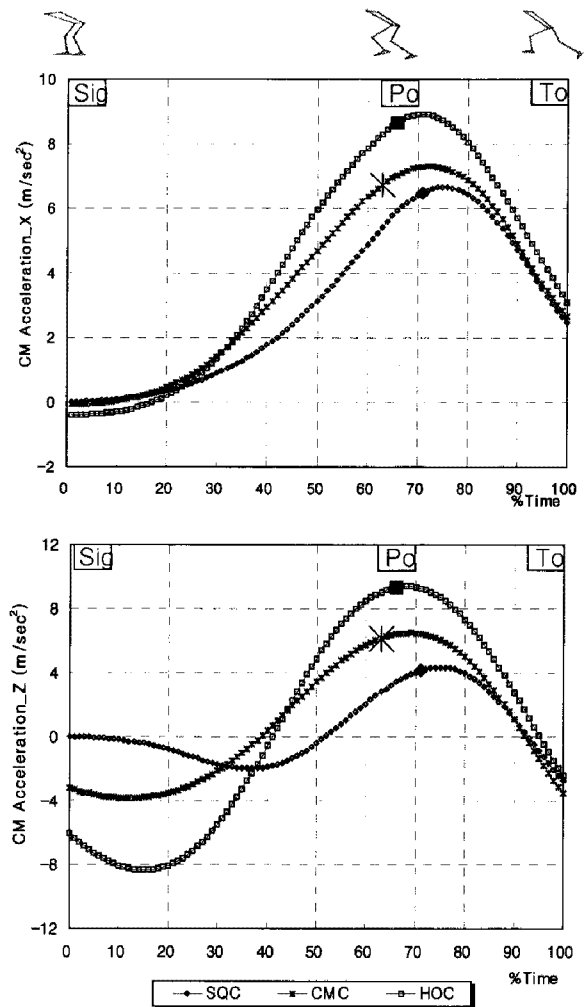


* SQC:스쿼트, CMC:반동, HOC: 호핑 Sig:신호, Po:추진, To:이지

그림 3. 신체중심의 수평(X) 및 수직(Z) 속도

속도의 수직성분을 살펴보면 반동유형과 호핑 유형은 초기 음의 값으로 지속적인 감소를 보이다가 증가하는 패턴을 보였으며, 스쿼트 유형 역시 초반 속도가 0m/sec에서 정체되다가 다소의 감소 후 증가하는 양상을 보였다. 즉 실험과정에서의 통제에도 불구하고 스쿼트 유형에서 아랫방향으로의 움직임이 다소 있었음을 알 수 있다. 하지만 이러한 움직임은 준비되거나 의도하지 않은 동작이라는 점에서 반동 및 호핑 유형에서와는 다른 측면이 있으며 그 역할도 차이가 있을 것으로 생각된다. 또한 역설적으로는 반대 방향으로의 반동이 신체 추진 운동에서 본질적인 기전임을 의미한다 할 수 있을 것이다.

주목할 것은 위 방향으로의 전환을 위한 힘이 작용되는 시점(속도의 최저점, 즉 양의 가속도가 발생하는



* SQC:스쿼트, CMC:반동, HOC: 호핑 Sig:신호, Po:추진, To:이지

그림 4. 신체중심의 수평(X) 및 수직(Z) 가속도

시점)이 스쿼트 유형에 비해 반동 및 호핑 유형에서 빠르게 나타나고 있다는 점이다. 다시 말해 사전에 반동을 의도하는 반동 및 호핑 유형에서는 위 방향으로의 힘의 전환이 보다 빠르게 이루어지고, 이로 인해 보다 많은 시간동안 추진량을 발생할 수 있었을 것이다. 이는 가속도의 수직성분 그래프에서도 나타나고 있는데 충격량을 결정하는 가속도(힘)의 크기뿐만 아니라 시간(t)면에서 호핑 유형과 반동유형이 스쿼트 유형에 비해 유리하였음을 보여주고 있으며, 이러한 기전은 본 연구의 반응 추진운동의 수행력에 중요한 역할을 하였을 것으로 사료된다.

그리고, 속도의 수직 성분을 보면 반동 유형과 호핑 유형에서 외부 신호가 제시된 후에도 속도의 감소가 나타나고 있는데 이는 외부 신호가 제시된 후에도

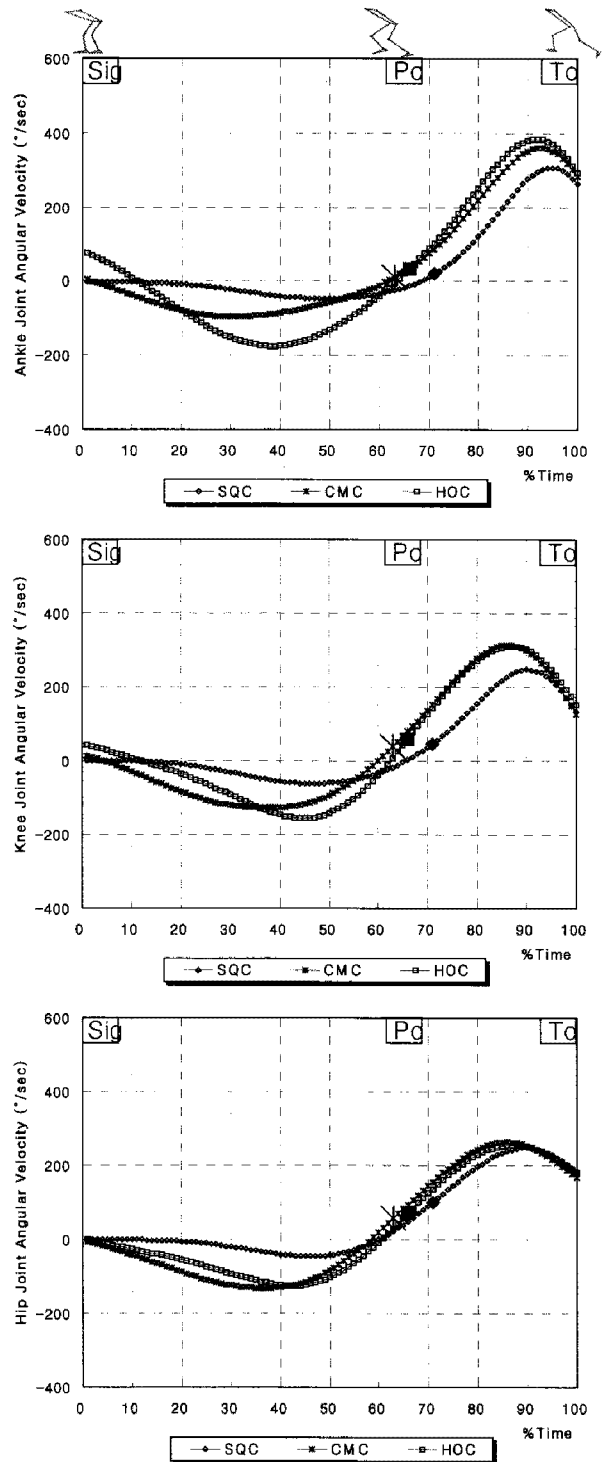
아래 방향으로의 움직임이 계속되고 있기 때문으로, 이는 본 연구의 피험자들이 최적화된 반응 타이밍에서 동작하지 않았음을 의미하는 것으로, 역설적으로 최적의 반응 타이밍을 찾아 동작한다면 수행력은 보다 향상될 수 있을 것으로 생각된다.

한편 지면반력에 의한 추진력의 크기와 관련된 변인으로 추진 국면에서의 신체 중심의 최대 가속도는 호핑 유형이 가장 큰 값을 보였으며 스쿼트 유형이 가장 작은 값을 나타냈다. 이는 호핑 유형에서 짧은 추진 시간에도 불구하고 이지하는 순간에 나타난 높은 중심 속도를 설명하는 결과로서 가속도의 변화 패턴을 통해서도 알 수 있다(그림4). 반동 유형과 호핑 유형의 그래프에서 첫 번째 변곡점(최저) 이후 가속도가 지속적으로 증가하고 있는데 이 시점에서부터 추진 시점 까지가 근육의 사전-스트레치에 의한 에너지의 저장이 발생하는 구간이라 할 수 있다. 주목할 점은 이 구간에서 호핑 유형의 가속도 증가가 반동 유형에 비해 두드러지게 나타나고 있는데 이는 사전-스트레치의 효과와 관련한 두 동작 유형간의 차이가 반영되었기 때문인 것으로 사료된다. 이에 비추어 호핑 유형이 힘의 발현과 관련하여 효과적인 동작이라 할 수 있으며 이런 기저에는 근육의 구심성 수축 국면에 궁극적으로 작용하는 사전-스트레치의 효과가 있었을 것으로 판단된다.

이상의 결과는 관절 운동의 분석에서도 상통하고 있는데, 추진 국면에서의 최대 각속도를 분석한 결과에 따르면 발목관절과 무릎관절에서 호핑 유형이

가장 큰 값을 나타냈고 그 다음으로 반동 유형과 스쿼트 유형의 순서로 나타났다. 관절의 각속도간 관절 주변에 작용한 모멘트의 작용에 의해 나타나는 관절 운동의 결과를 나타낸다는 점에서 호핑 유형이 다른 두 유형에 비해 보다 큰 신전모멘트가 생성했음을 추론할 수 있다. 특히 앞서 제시된 추진 국면의 소요시간을 고려할 때 호핑 유형은 짧은 시간에 순간적으로 폭발적인 운동을 효과적으로 구현한 반면 반동 유형과 스쿼트 유형은 상대적으로 파워풀 하지 못하였다.

한편, 각 관절의 각속도의 변화 패턴에서 주목할 점이 있는데 반동 유형과 호핑 유형의 곡선에서 음(-)의 범위에서 발생하는 첫 번째 변곡점을 전후한 부분



* SQC:스쿼트, CMC:반동, HOC: 호핑 Sig:신호, Po:추진, To:이지

그림 5. 하지관절의 각속도

이다. 이 지점은 근육의 사전-스트레치가 시작되는 지점으로서 추진 시점까지의 구간이 근육의 원심성 수축 국면이 된다. 이것과 관련하여 발목관절과 무릎관절에서 호핑 유형은 반동 유형에 비해 사전-스트레치

구간이 상대적으로 짧은 반면 각속도의 변화는 더욱 크게 나타나고 있다(그림 5).

근건체(muscle-tendon unit)의 길이와 수축 속도가 관절의 각도와 각속도에 의해 결정됨을 고려할 때 호핑 유형은 반동 유형에 비해 사전-스트레치가 짧은 시간동안 빠르게 일어나고 있음을 추측할 수 있을 것이다. 일정한 범위 내에서 사전-스트레치의 속도가 클수록 구심성 국면에서 긍정적인 역할을 한다는 선행 연구(Sugi, 1972; Edman, Elzinga, & Noble, 1978; Komi & Gollhofer, 1997)에 비추어 호핑 유형이 반동 유형에 비해 근육의 SSC 기전을 보다 효과적으로 활용하는 동작이라 판단된다. 또한 추진 시점을 기준으로 굴곡운동이 신전 운동으로 전환하게 되는데 발목관절, 무릎관절, 고관절의 순서로 신전운동과 추진 시점간의 시간차가 점차 커지고 있음이 관찰되었다. 이러한 결과는 최대 수행을 위한 최적의 조절 기전에 의한 자연스러운 현상으로 생각되는데, 이와 관련하여 Pandy & Zajac(1991)의 연구에서도 최대 스쿼트점프에 대한 시뮬레이션 결과 고관절, 무릎관절, 발목관절의 순서, 즉 근위에서 원위로 차츰 근육 활동이 발생하는 것이 최대 수행에 긍정적인 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

결국, 반응 추진 운동에서 사전동작으로 호핑을 이용하였을 때 수행력이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이는 추진을 위한 예비국면과 추진국면 모두에서 소요시간을 단축할 수 있었기 때문이다. 또한 호핑 유형에서는 짧은 추진국면동안에도 불구하고 다른 유형에 비해 통계적으로 유의하지 않으나 다소 큰 이지속도를 보였는데, 이는 반동에 의한 사전-스트레치가 반동 유형에 비해 호핑 유형에서 보다 효과적으로 작용하였기 때문일 것으로 사료된다. 하지 관절의 최대 각속도에서도 모든 관절에서 호핑 유형이 크게 나타나, 호핑 유형에서 관절의 회전 운동을 위한 모멘트가 짧은 시간동안 크게 발생하여 효과적으로 관절 운동을 유발하였다.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 상대나 볼의 움직임에 대응하여 제

한된 시간내에 신속한 동작이 이루어져야 하는 반응 추진운동에서 스쿼트 유형, 반동 유형, 호핑 유형 등 세 가지 사전동작의 유형이 수행력에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 이에 본 연구의 결과를 토대로 도출한 결론은 다음과 같다.

첫째, 반동을 이용하는 반동 유형과 호핑 유형이 정지된 상태에서 이동하는 스쿼트 유형에 비해 짧은 수행 시간(10-20% 정도 단축)을 나타냈으며, 특히 사전-스트레치의 부하가 큰 호핑 유형이 가장 우수한 수행력을 보였다.

둘째, 동작 유형간의 수행 시간차는 실제 이동하는 시간보다는 외부 신호의 제시 후 이지하는 순간까지의 시간차가 주요한 요인인 것으로 사료된다. 호핑유형은 예비국면과 추진국면 모두에서 가장 짧은 소요시간이 나타나 수행 시간에 유리한 유형이라 판단된다.

셋째, 추진국면의 소요시간의 차이에도 불구하고 이지 속도는 동작 유형사이에 유의한 차이가 나타나지 않았는데, 이는 추진국면에서의 각 유형의 힘발현 기전이 서로 상이함을 의미하는 것으로 추진국면에서의 최대 각속도에서 호핑 유형, 반동 유형, 스쿼트 유형의 순서로 나타난 점에서도 보여지고 있다.

넷째, 하지 관절의 운동과 관련해관절의 각속도는 모든 관절에서 호핑 유형이 크게 나타났다. 이는 호핑 유형에서 관절의 회전 운동을 위한 모멘트가 짧은 시간동안 크게 발생하여 효과적으로 관절 운동을 유발하였음을 의미한다.

결국 제한된 시간내에 폭발적인 움직임이 이루어져야 하는 반응 추진운동에서 반동을 이용하는 호핑 유형이 가장 유리한 동작 형태로 나타났다. 본 연구의 결과는 신속한 움직임을 요구하는 동작이나 운동 기술에 공통적인 적용될 수 있을 것이며, 향후 운동역학적 분석과 근전도 분석을 통해 그 원인에 대한 보다 구체적인 연구와 함께 반동의 크기와 형태를 보다 세분화하여 실제 각종 스포츠 현장에서 적용될 수 있는 최적의 동작 형태를 찾는 노력이 필요할 것으로 본다.

참 고 문 헌

- 서정석 (2000). **Stretch-Shortening Cycle**이 웨이트 리프팅 동작에 미치는 영향. 서울대학교 박사 학위논문
- Anderson, F. C., & Pandy, M. G. (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*, 26, 1413-1427.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J.(1987a). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 332-338.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J.(1987b). Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 339-346.
- Bobbert, M. F., Karin G. M., Gerritsen, M., Litjens, C. A., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1402-1412.
- Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V., & Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 557-565.
- Edman, K. A., Elzinga, G., & Noble, M. I. (1978) Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibres. *Journal of Physiology*, 281, 139-155.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanical Basis of Human movement*(3rd ed.). Champaign, IL : Human Kinetics.
- Hortobagyi, T., Lambert, N. J., & Kroll, W. P. (1991). Voluntary and reflex response to fatigue with stretch-shortening exercise. *Canadian Journal of Sports Science*, 16(2), 142-150.
- Kwon, Y. H.(2003). *KWON3D Motion Analysis Package Version 3.0 User's Reference Manual*. Seoul, Korea : Visol corp.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10, 261-265.
- Komi, P. V., & Gollhofer, A.(1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 451-460.
- Neubert, A., Schwirtz, A., & Bührle, M. (1998). Muscular activity in the stretch-shortening cycle (SSC): not only maximization but optimization is necessary. In H. J. Riehle & M. M. Vieten, (Eds.), *Proceedings II of the XVI International Symposium on Biomechanics in Sports*, 56-59.
- Pandy, M. G., & Zajac, F. E.(1991) Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of Biomechanics*, 24(1), 1-10.
- Sugi, H. (1972). Tension changes during and after stretch in frog muscle fibres. *Journal of Physiology*, 225, 237-253.

투 고 일 : 07월 30일
 심 사 일 : 08월 15일
 심사완료일 : 09월 01일