



## 테니스 플랫 서브 동작의 운동학적 분석 The Kinematic Analysis of the Tennis Flat Serve Motion

오정환 · 최수남\* · 남택길(충남대학교)

Oh, Cheong-Hwan · Choi, Su-Nam\* · Nam, Taek-Gil(Chungnam National University)

---

### ABSTRACT

C. H. OH, S. N. CHOI, T. G. NAM, The Kinematic Analysis of the Tennis Flat Serve Motion, Korean Journal of Sports Biomechanics, Vol. 16, No. 2, pp. 97-108, 2006. By the comparison and the analysis of the different factors during the tennis flat serve motion such as the required time per section, the movement displacement of the racket, the velocity of the upper limbs joints, the physical center of gravity, and the angle and the angular velocity of the upper limbs joints between an ace player and a mediocre player, these following results were drawn.

First, the experiment result of the total time required per section in a tennis flat serve motion showed that an ace player was faster than a mediocre player by 0.4 seconds. This result suggested that it was required to increase the speed of the racket head by a swift swing to perform an effective flat serve motion.

Second, the experiment result of the movement displacement of the racket in the tennis flat serve motion showed that an ace player greatly moved toward the left side on an x-axis. But both an ace and a mediocre player were shown to be at the similar points on a y-axis at the moment of the impact of the racket. An ace player was also shown to be located at a higher position on a z-axis by 0.23m.

Third, the velocity of the center of gravity of an ace player was faster in every phase than that of a mediocre player in a tennis flat serve motion.

Fourth, the velocity of the upper limb joints of an ace player was faster in every phase than that of a mediocre player in a tennis flat serve motion.

Fifth, the experiment result of the speed of the racket head in tennis flat serve motion showed that a mediocre player was faster than an ace player in the first phase, but the latter was faster than the former in the second, third, and the fourth phases.

Sixth, at the moment of impact of a tennis flat serve, an ace player had greater flexion of the angle of the wrist joints by an 11.8 degree than a mediocre player. An ace player also had greater extension of the angle of the elbow joint and the shoulder joint respectively by a 5.2 degree and a 1.4 degree with a mediocre player.

Seventh, an ace player had greater angular velocity of the upper limb joints and the hip joints than a mediocre player at the moment of the impact of tennis flat serve.

**Eighth, an ace player was shown to have a greater change of the forward and the backward inclination( or the anterior and posterior inclination) of the upper body**

**KEYWORDS : TENNIS, FLAT, SLICE, SPIN, SERVE**

## I. 서론

테니스는 엘리트 스포츠뿐만 아니라 생활스포츠로 많은 사람들이 즐기는 스포츠 중의 하나이다(최종현, 1990). 테니스 서브는 크게 플랫 서브, 스피너 서브, 슬라이스 서브로 구분되어 진다. 그 중에서 플랫 서브는 가장 파워 있는 서브로서 선수들에게 제1서브로 많이 사용되고 있으며, 스피너 서브와 슬라이스 서브는 바운드 이후 볼의 속도와 경도가 급격히 변하기 때문에 제2서브로 많이 사용되고 있다(박태건, 2004).

최근 테니스 경기에서 나타나는 두드러진 현상은 강력한 서브를 구사하는 공격형 선수가 두각을 나타내고 있다. 서브에 이은 네트 플레이로 경기를 주도하는 현상이 두드러지고 있다. 이러한 것은 테니스 코트가 클레이 코트에서 하드 코트화 되면서 볼의 바운드되는 속도가 빠른데도 그 요인이 있으나 선수들의 서브기술의 향상에 보다 근본적인 원인이 있다(권태홍, 1998). 안정되고 강한 서브를 구사하기 위해서는 토스의 높이와 임팩트의 높이, 그리고 각이 항상 일정해야 한다. 또한 볼에 대한 라켓의 이동방향과 볼을 임팩트한 순간 라켓의 위치와 투사각이 일치하여야 하며, 라켓이 최대 속도를 내기 위해서는 각 신체 분절들의 협응 동작이 중요하다. 효과적인 서브를 구사하기 위해서는 지면반력에 의해 형성된 힘을 하지, 엉덩이, 몸통, 상완, 전완, 손의 순서로 전달해야 한다(Groppel, 1986). 테니스 서브와 관련된 연구는 국내에서는 최종현(1990)이 테니스 선수의 서브유형을 분석한 결과 남자선수의 경우 단식과 복식 경기에서 10번 중 4번은 플랫 서브를 구사하는 것으로 나타났다. 황인승, 이성철, 김주선(1992)은 3차원 영상분석을 통해 비숙련자와 숙련자의 테니스 동작을 분석하였다. 최응재(1993)는 플랫 서브의 운동학적 분석을 통해 구간별 동작 수행시간, 라켓헤드의 속도, 손과 라켓헤드 속도와 관계를 규명했다. 김성동(2000)은

남자 우수선수를 대상으로 플랫 서브의 특성을 분석하였다. 또한 신제민(2003)은 테니스 플랫 서브를 3차원으로 각운동의 특성을 분석하였다.

테니스 서브에 대한 국외 선행연구를 살펴보면 Elliott(1983)은 서브동작에 대한 2차원 영상분석을 시도하였다. 2차원 분석에 따른 여러 가지 문제점을 보완하는데 기초 자료로 제공하였으며, Groppel(1986), Elliott, Marsh & Blansby(1986), Babamonde(1989)등은 3차원 영상분석을 이용하여 테니스 서브동작을 분석하여 서브 동작 시 라켓 속도를 크게 하는 역학적 요인은 백스윙에서 라켓의 각 변위, 팔꿈치 신전, 손목의 굴곡, 임팩트 높이 등 이라고 보고하였다. 그 밖에 Haward(1987)는 테니스 라켓에 대한 임팩트 모델을 제시하였으며, Sprigings, Marshall & Jennings(1994), Elliott, Marshall & Noffal(1996)등은 상완의 내측 회전, 손목 굴곡, 상완의 수평굴곡과 외전등 상지 관절에 대한 기여도를 산출하였다.

지금까지의 테니스 서브 동작에 대한 분석은 2차원적 분석, 단순집단의 연구가 대부분으로 동작에 대한 자세하고 정확한 동작분석이 이루어지지 않고 있는 실정이며, 이에 테니스 경기의 승패에 밀접한 관련이 있는 플랫 서브 동작에 대한 보다 자세한 연구를 통하여 우수선수의 서브기술의 발전과 비우수선수의 기술향상을 통한 실력증진이 필요한 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 테니스의 여러 가지 서브 종류 중 하나인 플랫 서브 동작을 우수선수와 비우수선수를 대상으로 3차원 영상 분석을 통해 플랫 서브 동작의 원리와 현상을 이해하고, 선수 지도 시 정확한 동작을 유도하여 서브기술 향상과 첫 서브 성공률을 높여 경기력향상에 기여하는데 있다.

### III. 연구 방법

#### 1. 연구대상

본 연구를 수행함에 있어 연구 대상자의 우수선수는 전국대회 개인전 4장 이상의 성적을 거둔 선수로서 15년 이상의 선수경력을 가진 실업팀 선수 5명으로 선정하였다, 비우수선수는 대학부에 재학 중인 선수로서 개인전 성적이 없는 10년 이상의 경력을 가진 대학부 선수 5명으로 하였다. 연구대상자들의 신체적 특성은 <표 1> 과 같다.

표 1. 연구 대상자의 신체적 특성

연구 대상자	성별	나이 (yr)	신장 (cm)	체중 (kg)	경력 (yr)
우수 선수	남	29	188	77	17
	남	27	183	70	15
	남	26	187	83	15
	남	27	170	64	16
	남	28	172	70	17
M		27.4	180	72.8	16
SD		1.1	8.5	7.3	1
비우수 선수	남	23	170	58	13
	남	22	176	65	13
	남	20	173	65	12
	남	22	172	62	13
	남	21	178	69	12
M		21.6	173.8	63.8	12.6
SD		1.1	3.2	4.1	0.5

#### 2. 실험장비

본 연구에서 사용된 운동학적 분석을 위한 실험장비는 <표 2> 와 같다.

표 2. 실험장비

기기명	제품명	제작사
Camera	Photron Fastcam	USA
Control point	V-TEK	V-TEK
Anaysis program	Kwon3ver 3.1	VISOL
Computer	RACK-360	LG
Monitor	SAMIRON77E	SAMSUNG
VTR	Super VHS ET	JVC

#### 3. 실험 절차 및 방법

본 연구에서 분석한 테니스 플랫 서브 동작의 실험은 정규 규격을 갖춘 테니스 코트에서 실시하였다, 통제점을 표시한 통제 틀은 피험자의 플랫 서브 동작을 완전히 포함할 수 있을 정도의 범위로 지면에 수직이 되도록 설치하였다.

3차원 공간좌표를 설정하기 위해 통제 틀의 통제점이 모두 카메라 필드 안에 포함되도록 고속카메라 2대를 피험자로부터 10 m 떨어진 거리에 테니스 코트 지면으로부터 1.5 m 높이가 되도록 수평으로 설치하였다, 카메라1의 위치는 피험자의 왼발을 축으로 목표 지점을 바라 볼 때, 좌측으로 약 30°, 카메라2의 위치는 우측으로 약 60°각도에서 촬영하였다. 촬영속도는 250 frame/sec로 하였다. 피험자들은 인체분절의 해부학적 경계점을 표시하기 위하여 각 관절에 반사테이프를 부착시키고, 상의는 탈의하고, 하의는 흰색 타이즈만 착용하였다, 각 피험자들은 실험에 들어가기 전 20 ~ 30 분간 충분한 준비운동을 실시한 후 실험에 응하게 하였다.

먼저 1분간 통제점 틀을 촬영하고, 통제점 틀을 제거한 후 피험자는 통제점 틀이 세워져 있던 공간에 들어가 플랫 서브 동작을 실시하였다, 동작의 선별은 피험자마다 5회 이상 실시하여 그중 가장 서비스 라인에 가장 빠르고 정확하게 들어온 동작 하나를 선택하여 분석하였다. 실험도구의 배치는 <그림 1> 과 같다.

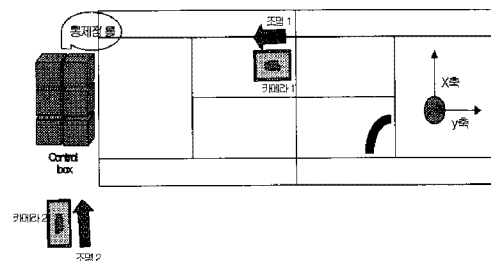


그림 1. 실험도구의 배치도

#### 4. 동작의 국면 및 구간설정

본 연구에서는 테니스 플랫 서브 동작의 3차원 영상 분석을 위해 4개의 시점(Event : E)과 3개의 구간(Phase

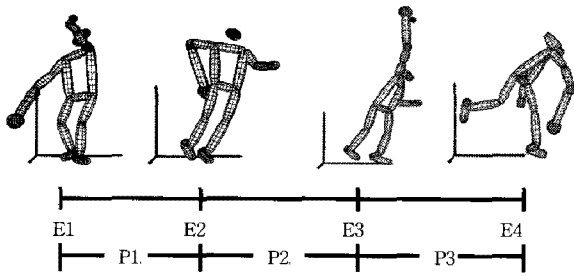


그림 2 국면 및 구간설정

: P)으로 설정하여 실험하였다. 구체적인 내용은 <그림 2> 와 같다.

1) 시점(event) 설정

- (1) Event 1: 왼손에서 공이 이륙하는 순간
- (2) Event 2: 백스윙 시 라켓 헤드의 수직(z)값이 가장 작은 순간
- (3) Event 3: 테니스 라켓과 공이 임팩트 하는 순간
- (4) Event 4: 팔로우 드루시 라켓 헤드의 수직(z)값이 가장 작은 순간

2) 구간(phase)설정

- (1) 1구간(back swing phase) : 왼손에서 공이 이륙하는 순간부터 백스윙시 라켓 헤드의 z값이 최소가 되기 직전의 시점까지
- (2) 2구간(loop phase) : 백스윙 시 라켓의 z값이 가장 작은 시점부터 라켓과 공이 임팩트하기 직전의 순간까지
- (3) 3구간(follow through phase) : 임팩트되는 순간부터 팔로우 드루시 라켓 헤드의 z값이 가장 작은 순간까지

5. 자료분석 방법

본 연구의 통제점과 인체 관절 중심점의 좌표화에 대하여 살펴보면, 통제점 좌표화는 동조용 타이머 오른쪽 맨 하단에 있는 LED를 기준점으로 하여 통제점 막대(1m), 총 46개의 막대의 양끝과 중간지점을 정해진 순서에 따라 좌표화 하였다.

총 90개의 통제점을 좌표화 한 후, 오차를 줄이기 위해 동일과정을 5회 반복하여 컴퓨터에 저장하였다. 좌표 처리 과정에서 실험참가자가 운동하는 방향을 y축, 지면에 대하여 수직방향을 z축으로 하고, y축에서 z축으로의 벡터의 외적(cross product)을 x축으로 하였다. 인체 관절 중심점의 좌표화, 동조, DLT(Direct Linear Transformation)방법에 의한 3차원 좌표계산과 자료의 스무딩은 Kown 3D ver. 3.1(2005) 프로그램을 사용하였다. 인체 관절 중심점의 좌표화는 Plagenhoef(1983)의 자료를 이용하여 직접 관절점을 좌표화 하였다. 운동학적 변인의 평균(M)과 표준편차(SD)를 산출하기 위하여 Excel ver 4.0, SPSS windows. 10.0 프로그램을 활용하였다.

IV. 연구 결과

1. 테니스 플랫 서브 동작의 구간별 소요시간

테니스 플랫 서브 동작의 우수선수와 비우수선수의 구간별 평균 소요시간은 <표 2> 와 같다.

<표 2> 은 테니스 플랫 서브동작에 대한 각 구간별 소요시간을 나타낸 것으로서 왼손에서 공이 이륙되는 시점부터 백스윙 시 라켓 헤드의 수직(z)값이 최소가 되기 직전의 시점까지를 1구간(백스윙 구간)으로, 백스윙 시 라켓의 수직(z)값이 가장 작은 시점부터 라켓과 공이 임팩트 되기 직전의 시점까지를 2구간(로프 구간)으로, 임팩트 되는 시점부터 팔로우 드루시 라켓 헤드의 수직(z)값이 최소가 되기 직전의 시점까지를 3구간(팔로우 드루 구간)으로 구분하여 나타내었다.

각 구간에서 우수선수는 1.28±0.35 sec, 0.21±0.02

표 2. 서브 동작의 구간별 소요시간 (unit : sec)

Item	1구간		2구간		3구간		총소요시간	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	1.28	1.69	0.21	0.22	0.33	0.35	1.87	2.27
SD	0.35	0.37	0.02	0.03	0.03	0.05	0.35	0.35

N1 : 우수선수 집단  
N2 : 비우수선수 집단

sec,  $0.33 \pm 0.03$  sec의 시간이 소요되었다, 비우수선수는 각각  $1.69 \pm 0.37$  sec,  $0.22 \pm 0.03$  sec,  $0.35 \pm 0.05$  sec의 시간이 소요되었다. 전 구간에서 우수선수가 플랫 서브 동작에 소요된 시간이 더 빠른 것으로 나타났다. 구간별 소요시간의 변화를 살펴보면 1구간에서 우수선수가 0.41 sec 빠르게 나타나 각 구간에서 가장 큰 차이를 보였다, 황인승 등(1992)이 제시한 1구간의 서브 시간(1.28sec)과 같은 수치를 보였다. 2구간에서도 우수선수가 0.01 sec가 빠르게 나타났다.

플랫 서브 동작의 전체 소요시간을 살펴보면 우수선수는  $1.87 \pm 0.35$  sec의 시간이 소요되었다, 비우수선수는  $2.27 \pm 0.35$  sec를 나타내 우수선수가 0.4 sec가 더 빠른 것으로 나타났다. 본 연구의 우수선수 결과는 곽창수 등(1993)에서 보고한 우수선수의 서브 시 전체 소요 시간 1.57 sec~1.87 sec와 유사한 결과를 보였고, 신순호(1990)가 제시한 전체 소요시간보다는 우수선수가 0.38 sec 빠르고, 비우수선수는 유사한 수치를 보였다. 이와 같은 결과는 우수선수는 임팩트를 하기위한 빠른 라켓 헤드의 스윙동작으로 팔꿈치 관절의 굴곡과 신전으로 이어지는 예비동작이 비우수선수보다 더 빠르기 때문에 이루어진 결과로 판단된다. 비우수선수는 서브 동작 시 불필요한 예비 동작을 줄이고, 손목 관절을 이용한 원활한 코킹이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과로 테니스 플랫 서브의 정확성과 볼의 속도를 향상시키기 위해서는 우선, 근위분절에서 원위분절로 전이 되는 동안 원활한 협응력에 의한 스윙 동작을 취해야 할 것이다. 또한 임팩트 순간에 손목의 구부림을 이용한 스윙을 통해 강한 속도를 내야 할 것이다. 이는 플랫서브의 정확성과 볼의 속도를 향상시킬 수 있는 것으로 사료된다.

2. 국면별 라켓의 이동변위

테니스 플랫 서브 동작 시 국면별 라켓의 이동변위는 왼손에서 공이 이륙되는 순간부터 임팩트 이후 라켓 헤드의 수직 값이 가장 작은 순간까지의 라켓의 좌우(x), 수평(y), 수직(z)변위를 나타낸 것으로 그 결과는 <표 3>, <표 4>, <표 5> 와 같다.

표 3. 좌우(x)축에 대한 라켓의 이동변위 (unit : m)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	0.94	0.85	0.25	0.47	0.68	0.76	0.6	0.81
SD	0.4	0.44	0.27	0.2	0.17	0.39	0.4	0.12

<표 3> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 국면별 좌우(x)축에 대한 라켓의 이동 변위를 E1 에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각  $0.94 \pm 0.4m$ ,  $0.25 \pm 0.27$  m,  $0.68 \pm 0.17$  m,  $0.6 \pm 0.4$  m로 나타났다, 비우수선수는 각각  $0.85 \pm 0.44$  m,  $0.47 \pm 0.2$  m,  $0.76 \pm 0.39$  m,  $0.81 \pm 0.12$  m로 나타났다. 좌우(x)축에 대한 라켓의 이동변위를 살펴보면 손에서 볼이 이륙되는 E1은 우수선수가 좌측으로 0.09 m 더 이동한 상태에서 볼이 이륙되었다, E1에서 E2로 이동되는 동안에 라켓 헤드가 가장 아래로 내려간 시점이 우수선수는 좌측으로 0.69 m, 비우수선수는 좌측으로 0.38 m 이동된 결과를 보였다. 이는 왼손에서 볼이 이륙하여 라켓 헤드가 가장 내려가기 직전인 1구간에서 우수선수가 좌측으로 0.31 m 더 크게 이동한 것으로 볼 수 있다. 이것은 라켓 헤드의 빠른 임팩트를 하기 위한 팔꿈치 관절의 더 큰 굴곡으로 인한 차이로 사료된다. 전 국면 중 2국면에서 우수선수와 비우수선수 간의 좌우(x)축에 대한 라켓의 이동 변위가 가장 큰 차이를 보였다. 임팩트가 되는 E3과 팔로우 드루의 E4에서는 각각 우수선수가 좌측으로 0.08 m, 0.21 m 더 크게 이동된 결과를 나타내 플랫 서브 동작 시 라켓 헤드의 좌우(x)축의 변화는 우수선수가 더 크게 나타났다.

<표 4> 는 테니스 플랫 서브 동작에 대한 수평(y)축에 대한 라켓의 이동 변위를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸

표 4. 수평(y)축에 대한 라켓의 이동변위 (unit : m)

Item	1국면		2국면		3국면		4국면	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	0.15	0.11	0.25	0.47	1.38	1.4	1.57	1.58
SD	0.1	0.12	0.27	0.2	0.13	0.27	0.13	0.38

표 5. 수직(z)축에 대한 라켓의 이동변위 (unit : m)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	0.46	0.87	0.88	0.79	2.81	2.58	0.44	0.3
SD	0.23	0.55	0.06	0.06	0.05	0.05	0.11	0.16

1.38±0.13 m, 1.57±0.13 m 나타났고, 비우수선수는 각각 0.11±0.12 m, 0.47±0.2 m, 1.4±0.27 m 나타났고.

본 연구에서 분석한 플랫 서브동작에 대한 라켓의 수평방향의 변위는 우수선수가 비우수선수보다 E2에서 0.22 m 적게 전방으로 이동하는 것으로 나타났지만 E3, E4에서는 두 집단 모두 유의한 수치를 보였다. 전 국면의 이동변화를 살펴보면 우수선수는 전방으로 1.42 m 라켓이 이동하였다, 비우수선수는 1.47 m 이동하여 비우수선수가 0.05 m 더 크게 전방으로 이동된 결과를 나타내 전 국면에서 두 집단 간의 큰 차이는 나타나지 않은 것으로 보인다.

〈표 5〉는 테니스 플랫 서브 동작에 대한 수직(z)축에 대한 라켓의 이동 변위를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 0.46±0.23 m, 0.88±0.06 m, 2.81±0.05 m, 0.44±0.11 m 나타났고, 비우수선수는 각각 0.87±0.55 m, 0.79±0.06 m, 2.58±0.05 m, 0.3±0.16 m 나타났고. 수직(z)축에 대한 라켓 헤드의 이동 변위를 살펴보면 왼손에서 볼이 이륙되는 시점의 E1에서는 비우수선수가 0.41 m 크게 나타났고, 이러한 결과는 비우수선수는 자연스러운 백스윙 동작이 아닌 높은 위치에서 라켓의 스윙이 이루어지는 짧은 서브 동작으로 이루어졌기 때문으로 판단된다. E2에서는 우수선수가 0.09 m 더 상승된 변화를 나타냈다.

1구간에서 우수선수는 수직으로 라켓 헤드의 이동변위가 0.42 m 상승하여 라켓이 점점 상승되는 변화를 보였다. 비우수선수는 오히려 0.08 m 하강된 결과는 보였다. 임팩트가 이루어지는 E3에서 라켓의 위치는 우수선수는 2.81±0.05 m, 비우수선수는 2.58±0.05 m의 라켓 헤드의 위치를 나타내 우수선수가 0.23 m 더 높은 위치에서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다.

임팩트 시 라켓의 높이는 1서브의 성공률을 높일 수 있는 중요한 요인으로 제시(김치섭, 1992; Elliott, B.,

Marsh, T., & Blanksby, B. 1986)한 것처럼 신체 분절이 최대한 상승된 상태에서 임팩트가 이루어지는 것이 제1서브의 성공률을 높일 수 있는 유리한 동작으로 판단되며, 이는 경기의 승패에 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 속도 요인

#### 1) 손목 관절 속도

테니스 플랫 서브 동작 시 손목 관절의 합성속도 분석내용은 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 오른쪽 손목 관절의 속도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 1구간에서 우수선수는 1.6±0.1 m/sec, 비우수선수는 1.3±0.4 m/sec를 나타내 우수선수가 0.3 m/sec 더 빠른 것으로 나타났다.

라켓 헤드가 가장 아래로 내려간 시점인 E2에서 우수선수가 8.2±0.6 m/sec, 비우수선수는 6.8±0.8 m/sec를 나타내 우수선수가 1.4 m/sec 빠른 것으로 나타났다. 우수선수는 볼이 토스되어 라켓헤드가 가장 아래로 내려간 1구간에서 손목 관절의 항상 속도가 가장 큰 (6.6m/sec)것으로 나타나 유오희(1999)가 보고한 결과와 유사한 수치를 보였다. 임팩트가 이루어지는 3구간에서는 우수선수 11.4 m/sec, 비우수선수 10.1 m/sec를 보여 우수선수가 1.3 m/sec가 더 빠른 것으로 나타났다. 이는 전 시점에서 가장 빠른 손목관절의 속도이며, 선행연구(조필환, 2002)에서 제시한 숙련자 9.8 m/sec, 비숙련자 6.3 m/sec보다는 더 높은 수치를 나타냈다.

본 연구에서 우수선수는 서브 동작 시 상지관절 즉, 어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 원활한 협응동작에 의한 효과적인 스윙으로 인하여 손목관절의 속도가 크게 나타난 것으로 판단된다. 상지관절(어깨, 팔꿈치, 손목)

표 6. 손목 관절 속도 (unit : m/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	1.6	1.3	8.2	6.8	11.4	10.1	7.3	7.3
SD	0.1	0.4	0.6	0.8	0.1	1.3	2.1	2.1

중에서는 임팩트 시 가장 큰 속도를 보였다. 이러한 결과는 선행연구(유오희, 1999; Plagenhope, 1971; Burn, 1972)에 제시한 근위에서 원위 관절로 운동량의 변화가 이루어지고 이는 어깨에서 손목으로 운동량을 전달시킨 결과로서 손목 관절의 속도가 가장 크게 나타난 것으로 사료된다.

2) 팔꿈치 관절 속도

테니스 플랫 서브 동작 시 팔꿈치 관절의 합성속도 분석내용은 <표 7> 과 같다.

<표 7> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 오른쪽 팔꿈치 관절의 속도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 1.4±0.8 m/sec, 11.1±1.7 m/sec, 6.2±0.5 m/sec, 5.2±0.3 m/sec의 속도를 나타냈다.

비우수선수는 각각 0.9±0.4 m/sec, 9.6±0.7 m/sec, 5.6±1.3 m/sec, 4.6±0.9 m/sec의 속도를 보였다. 전 시점에서 우수선수가 팔꿈치 관절의 속도가 크게 나타났다. 유오희(1999)는 서브 동작은 대부분 관성 모멘트의 원리를 적용하게 되며, 서브의 스윙 동작을 설명하면서 질량이 회전축 중심으로 분포되어야 빠른 회전을 할 수 있다고 보고하였다. 팔꿈치 관절의 굴곡과 신전의 원활한 움직임으로 인한 빠른 스윙 동작이 이루어져야 서브의 속도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

팔꿈치 관절의 속도변화를 살펴보면 E1에서 우수선수가 0.5 m/sec 빠르게 나타났고, 라켓 헤드가 가장 아래로 내려간 E2에서는 우수선수 11.1±1.7 m/sec, 비우수선수는 9.6±0.7 m/sec를 보여 전 시점에서 팔꿈치 관절의 속도가 가장 크게 나타났다.

우수선수의 최대속도는 진영완, 이성철, 유병인(1998)의 스핀 서브 시 팔꿈치 관절의 최대 속도 7.2±0.8 m/sec보다 3.9 m/sec 크게 나타났다.

박태건(2004)의 연구에서 임팩트 시 라켓 헤드의 속

도를 향상시키기 위해서는 스윙 동작 시 팔꿈치 관절의 속도를 향상시켜야 한다고 기술하였다. 위 연구에서 라켓이 가장 아래로 내려간 시점의 팔꿈치 관절 속도변화는 우수선수 9.9±1.7 m/sec, 비우수선수 7.2±1.7 m/sec으로 보고하였다. 박태건(2004)의 연구와 비교해 볼 때, 본 연구에서는 우수선수 11.1±1.7 m/sec, 비우수선수 9.6±0.7 m/sec 나타나 팔꿈치 관절의 속도가 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과를 분석해 볼 때, 임팩트를 실시하기 전의 팔꿈치 관절의 속도를 향상시키는 것이 중요하다고 판단된다.

3) 라켓 헤드 속도

테니스 플랫 서브 동작 시 라켓 헤드의 합성속도 분석내용은 <표 8> 과 같다.

<표 8> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 라켓 헤드의 속도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 볼이 토스되는 E1에서는 비우수선수가 0.9 m/sec 빠른 것으로 나타나 동작을 시작할 때, 라켓 헤드의 속도를 증가시켜 동작을 시작한 것으로 판단된다. 라켓 헤드가 가장 아래로 내려간 E2에서는 오히려 우수선수가 3.5 m/sec 더 빠른 것으로 나타나 볼이 토스되어 라켓 헤드가 가장 아래로 내려가기 직전(1구간)에서 우수선수는 라켓 헤드의 속도를 빠르게 증가시킨 것으로 사료된다. 임팩트 국면에서는 우수선수가 47.3±2.2 m/sec를 비우수선수는 44.3±1.8 m/sec 보여 전 시점에서 가장 빠른 라켓 헤드의 속도를 보였다. 조필환(2002)이 제시한 임팩트 시 라켓 헤드의 속도 30.02 m/sec 보다 빠르게 나타났고, 김성동(2000)의 연구보다도 라켓 헤드의 속도가 빠른 것으로 나타났다. 임팩트 시 라켓 헤드의 속도는 서브의 속도를 향상시킬 수 있으며, 서브에 이은 득점을 높일 수 있다고 제시한 것처럼(Brody, 1987; Elliott, 1983), 강력한 서브를 구사하기 위해서는 임팩트 시 라

표 7. 팔꿈치 관절 속도 (unit : m/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	M	1.4	0.9	11.1	9.6	6.2	5.6	5.2
SD	0.8	0.4	1.7	0.7	0.5	1.3	0.3	0.9

표 8. 라켓 헤드 속도 (unit : m/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	M	4.7	5.6	18.8	15.3	47.3	44.3	13.8
SD	1.5	3.1	2.4	2.5	2.2	1.8	5.6	5.9

켓 헤드의 속도가 향상되어야 할 것이다.

본 연구에서 우수선수는 백스윙에서 임팩트까지 비 우수선수보다 상지관절의 협응적인 움직임으로 안정감 있는 서브동작이 이루어지는 것으로 판단된다. 이는 라켓 헤드의 속도 또한 증가시키는 동작을 취한 것으로 보여진다. 임팩트 후 라켓이 가장 아래로 내려간 시점인 4국면에서 우수선수가 0.7 m/sec가 빠른 것으로 나타나 마지막 순간까지 비우수선수보다 라켓 헤드의 속도를 빠르게 유지한 것으로 사료된다.

#### 4. 상지 관절의 각도 요인

본 연구에서 분석한 상지 관절의 각도 변화는 손목 관절, 팔꿈치 관절, 어깨 관절의 각도를 분석하였다.

##### 1) 손목 관절 각도

테니스 플랫 서브 동작 시 손목 관절의 각도는 손가락 끝과 전완 분절이 이루는 각을 분석한 것으로 그 분석내용은 <표 9> 와 같다.

<표 9> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 손목 관절의 각도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 171.6±23.4°, 172.3±30.5°, 168.1±2.5m°, 193±19.8°를 나타냈다. 비우수선수는 각각 171.2±12.7°, 171.5±6.2°, 179.9±1.2°, 213.1±13.8°를 보였다. 손목 관절의 각도 변화를 살펴보면 E1과 E2에서 우수선수와 비 우수선수간의 차이가 적은 것으로 나타났다. 임팩트가 이루어지는 E3에서는 우수선수가 11.8°로 각이 더 적은 것으로 나타났다. 이는 임팩트 시에 우수선수는 손목을 구부리는 코킹 동작을 취한 것으로 사료되며, 비우수선수의 손목 각도는 거의 수평을 이루어 코킹 동작이 전혀 이루어지지 않은 부자연스러운 서브 동작을 취한 것으로 보인다. 임팩트 시점(E3)과 선행연구(조필환, 2002)

를 비교해보면, 본 연구결과가 선행 연구보다 우수선수에서는 각이 작고, 비우수선수에서는 각이 크게 나타났다. 그 외에도 박태건(2004)의 연구에서 숙련자는 151.3±3.6°, 비숙련자는 147.1±11.4°, 황인승 등(1992) 165.4°, 최웅재(1993) 167.6°보다는 손목 관절의 각도가 크게 나왔다.

따라서 서브의 안정성을 높이기 위해서는 임팩트 시 높이를 향상시키고, 손목 관절의 자연스러운 코킹 동작을 취한 서브를 수행하여야 할 것으로 사료된다.

##### 2) 팔꿈치 관절 각도

테니스 플랫 서브 동작 시 팔꿈치 관절 각도의 분석 내용은 <표 10> 과 같다.

<표 10> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 팔꿈치 관절의 각도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 155.6±14.6°, 74.5±7.9°, 171.7±5.8°, 124.9±8.6°로 나타났다. 비우수선수는 각각 160.5±28.5°, 73.6±5.7°, 166.6±9.3°, 145.4±16.3°를 나타냈다. 시점별 팔꿈치 관절의 각도변화를 살펴보면 E1에서 우수선수가 약 5.1°가 더 굴곡된 상태에서 볼이 토스되었다, E2에서 우수선수는 74.5°, 비우수선수 73.6°를 나타내 집단 간 차이는 적고, 박태건(2004)의 숙련자 64.9°, 비숙련자 81.7°보다 비우수선수는 각이 적게 나타났고, 김성동(2000)의 59°~89.1°, 신제민(2003)의 58.3~88.6°와 유사한 결과를 보였다. 조필환(2002)은 임팩트가 이루어지는 E3은 신체 분절이 일직선에 가까워야 효율적이라고 할 수 있다. 팔꿈치 관절의 각도의 영향을 받는다고 제시하였다. 우수선수가 5.2°가 더 신전된 결과를 보여 우수선수들은 관성모멘트를 크게 하여 선속도를 향상시키는 효율적인 동작을 취한 것으로 보인다. 본 연구에서 분석한 임팩트 시 팔꿈치 관절의 각도는 선행연구(황인승, 이성철, 김주선, 1992; 진영완 등, 1994; 김성동,

표 9. 손목 관절 각도 (unit : degree)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	M	171.6	171.2	172.3	171.5	168.1	179.9	193
SD	23.4	12.7	30.5	6.2	2.5	1.2	19.8	13.8

표 10. 팔꿈치 관절 각도 (unit : degree)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	M	155.6	160.5	74.5	73.6	171.7	166.5	124.9
SD	14.6	28.5	7.9	5.7	5.8	9.3	8.6	16.3



2000)보다는 더 신전된 결과를 보였다. 또한 Elliott (1983)의 연구와는 유사한 결과를 보여줌으로써 최대값이 나타나는 시점을 임팩트에 보다 더 가깝게 해야 서브의 정확성과 스피드의 향상을 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 관성 모멘트를 크게 함으로써 선속도를 향상시킬 수 있다고 판단된다. 임팩트 후에 우수선수는 팔꿈치 각이 작아지는데 이는 팔꿈치 관절을 굴곡시켜 각속도를 향상시키는 팔로우 드루 동작으로 볼 속도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 비우수선수는 임팩트 후에 상지의 각속도를 향상시켜야 할 것으로 사료된다.

3) 어깨 관절 각도

테니스 플랫 서브 동작 시 어깨 관절 각도의 분석내용은 <표 11> 과 같다.

<표 11> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 어깨 관절의 각도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 40.6±5.1°, 96.2±6.9°, 135.9±4.7°, 91.1±13.9°를 나타냈다. 비우수선수는 각각 61.9±5.6°, 101.7±13.1°, 134.5±5.6°, 75.2±12.9°를 나타냈다. 시점별 오른쪽 어깨 관절의 각도변화를 살펴보면 E1에서 비우수선수가 21.3°가 더 신전된 각을 보였고, 볼이 토스되고 라켓 헤드 가장 아래로 내려간 시점인 1구간에서 어깨 관절의 각도는 우수선수가 15.8°로 어깨 관절의 각도변화가 비우수선수 보다 크게 나타났다. 임팩트 국면에서 우수선수는 135.9±4.7°를 비우수선수는 134.5±5.6°를 나타내 두 집단간의 차이는 적게 나타났다. 박태권(2004)의 연구와 유사한 수치를 보였고, 조필환(2002)이 보고한 결과보다는 적은 수치를 보였다. 우수선수는 E1에서 E3까지 어깨 관절 각도의 상승변화가 큰 상태에서 임팩트가 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 비우수선수는 상승 변화가 적은 상태에서 비효율적인 동작을 수행한 것으로 볼 수 있다. 임팩트 시 어깨 관절의 각도는 공의

표 11. 어깨 관절 각도 (unit : degree)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	40.6	61.9	96.2	101.7	135.9	134.5	91.1	75.2
SD	5.1	5.6	6.9	13.1	4.7	5.6	13.9	12.9

스피드와 낙하지점의 정확성을 가져올 것으로 판단되며, 우수선수와 비우수선수 모두 어깨 관절의 각도를 크게 해야 할 것으로 사료된다.

4) 상체 전·후경 각도

테니스 플랫 서브 동작 시 수직축을 중심으로 시점별 상체 전·후경 각의 변화를 분석한 것으로 구체적인 결과는 <표 12> 와 같다.

표 12. 상체 전·후경각도 (unit : degree)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	245	148	-11.5	-17.8	-31.8	-39.2	-54.2	-40.1
SD	5.2	3.8	8.5	7.2	5.2	4.1	19.6	4.8

+후경각, -전경각

<표 12> 는 테니스 플랫 서브 동작에 대한 수직축에 대한 상체의 전·후경 각을 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 245±5.2°, -11.5±8.5°, -31.8±5.2°, -54.2±19.6°, 비우수선수는 148±3.8°, -17.8±7.2°, -39.2±4.1°, -40.1±4.8°를 보였다.

우수선수의 수직축에 대한 상체의 전·후경 각은 56.65°의 각거리의 변화를 보였다. 비우수선수는 41.58°의 각거리의 변화를 가져와 우수선수 집단은 임팩트 전에 허리를 뒤로 젖혔다가 그 반작용을 이용한 효과적인 서브를 실시한 것으로 판단된다. 비우수선수는 허리의 굴곡과 신전으로 이어지는 각거리의 변화를 좀 더 개선해야 효과적인 서브를 구사 할 것으로 판단된다.

5. 각속도 요인

본 연구에서 분석한 각속도의 변화는 손목 관절, 팔꿈치 관절, 어깨 관절, 고 관절을 분석하였다.

1) 손목 관절 각속도

테니스 플랫 서브 동작 시 손목 관절에 대한 각속도는 각변위에 대한 소요 시간을 나눈 값으로 구체적인 결과는 <표 13> 와 같다.

표 13. 손목 관절 각속도 (unit : deg/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	38.1	35.9	162.8	159.2	176.5	171.3	78.6	83.1
SD	17.2	12	31.1	39.7	8.6	25	14.3	34

〈표 13〉은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 각속도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 38.1±17.2deg/sec, 162.8±31.1deg/sec, 176.5±8.6 deg/sec, 78.6±14.3 deg/sec의 변화를 보였다. 비우수선수는 각각 35.9±12 deg/sec, 159.2±39.7 deg/sec, 171.3±25 deg/sec, 83.1±34 deg/sec의 변화를 보였다. 시점별 손목 관절 각속도의 변화를 살펴보면 E1에서 우수선수가 2.2 deg/sec가 빠르게 나타났다. E2에서도 우수선수가 3.6 deg/sec가 빠르게 나타났다. 임팩트 시에는 우수선수가 5.2 deg/sec가 빠른 반면 E4에서는 비우수선수가 4.5 deg/sec 빠르게 나타났다. 1구간에서 비우수선수의 각속도 값이 크지 않은 것은 피험자 대부분이 스윙을 할 때 어깨 및 팔꿈치 관절을 충분히 회전하지 못한 것으로 인해 나타난 결과로 판단된다. 또한 상지 관절의 원활한 협응 동작이 이루어지지 않고 손목 관절에만 의존한 스윙을 하고 있는 것으로 사료된다.

상기할 점은 우수선수와 비우수선수 모두 E3(임팩트)에서 각속도 값이 가장 큰 것으로 나타났다는 점이다.

2) 팔꿈치 관절 각속도

테니스 플랫 서브 동작 시 팔꿈치 관절에 대한 각속도의 결과는 〈표 14〉와 같다.

〈표 14〉은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 팔꿈치 관절의 각속도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우

표 14. 팔꿈치 관절 각속도 (unit : deg/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	32.1	22.16	92.3	95.3	118.5	114.1	70.9	76.3
SD	11.6	4.3	21	30	12	35	25.4	28.7

수선수는 각각 32.1±11.6 deg/sec, 92.3±21 deg/sec, 118.5±12 deg/sec, 70.9±25.4 deg/sec의 속도를 보였다. 비우수선수는 각각 22.16±4.3 deg/sec, 95.3±30 deg/sec, 114.1±35 deg/sec, 76.3±28.7 deg/sec를 보였다. 팔꿈치 관절의 각속도 변화 패턴을 보면 두 집단 모두 볼이 토스되어 로프까지는 상승된 변화를 가져오고, 임팩트 직전에 크게 증가하고 있다. 그러나 비우수선수는 E1에서 E2까지의 각속도는 우수선수보다 크지만 가장 중요한 임팩트 지점인 E3에서 우수선수보다 각속도가 작게 상승되어 비효율적인 동작을 갖는 것으로 사료된다.

3) 어깨 관절 각속도

테니스 플랫 서브 동작 시 어깨 관절에 대한 각속도의 결과는 〈표 15〉와 같다.

〈표 15〉는 테니스 플랫 서브 동작에 대한 어깨 관절의 각속도를 E1에서 E2에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각 31±16 deg/sec, 120.1±20 deg/sec, 78.4±11.4 deg/sec, 57.3±10.8 deg/sec, 비우수선수는 각각 18.3±3.5 deg/sec, 113±16.3 deg/sec, 70.2±13.4 deg/sec, 56.9±10.5 deg/sec의 변화를 보였다. 시점별 어깨 관절의 각속도 변화를 살펴보면 E1에서 우수선수가 12.7 deg/sec가 빠른 것으로 나타났고, E2에서 우수선수가 7.1 deg/sec 빠르게 나타났다. 임팩트 국면인 E3에서 역시 우수선수가 8.2 deg/sec가 빠른 것으로 나타났다. 마지막 E4도 우수선수가 빠른 것으로 나타나 전 국면에서 우수선수가 상완의 각속도가 빠르게 나타났다. 우수선수와 비우수선수의 상지 관절 각속도 크기는 손목, 팔꿈치, 어깨 관절 순으로 나타났고, 비우수선수들은 임팩트 직전에 각속도를 증가시켜야 할 것으로 사료된다.

표 15. 어깨 관절 각속도 (unit : deg/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	31	18.3	120.1	113	78.4	70.2	57.3	56.9
SD	16	3.5	20	16.3	11.4	13.4	10.8	10.5

## 4) 고관절 각속도

테니스 플랫 서브 동작 시 몸통에 대한 각속도의 결과는 <표 16> 과 같다.

표 16. 고관절 각속도 (unit : deg/sec)

Item	E1		E2		E3		E4	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
M	6.9	5.6	24.4	25.7	13.7	12.1	12.6	8.3
SD	3	2	3.8	3.2	4.7	4.6	3.2	3.7

<표 16> 은 테니스 플랫 서브 동작에 대한 몸통의 각속도를 E1에서 E4에 걸쳐 나타낸 것으로 우수선수는 각각  $6.9 \pm 3$  deg/sec,  $24.4 \pm 3.8$  deg/sec,  $13.7 \pm 4.7$  deg/sec,  $12.6 \pm 3.2$  deg/sec를 보였다. 비우수선수는 각각  $5.6 \pm 2$  deg/sec,  $25.7 \pm 3.2$  deg/sec,  $12.1 \pm 4.6$  deg/sec,  $8.3 \pm 3.7$  deg/sec의 속도를 보였다.

몸통 각속도의 변화를 보면 E1에서 우수선수가  $1.3$  deg/sec가 빠른 것으로, E2에서 두 집단 간의 차이가 적은 것으로, 임팩트 국면에서는 우수선수가  $1.6$  deg/sec가 빠른 것으로 나타났다. 팔로우 드루 국면에서도 우수선수가  $4.3$  deg/sec의 각속도가 빠른 것으로 나타났다.

## V. 결 론

테니스 우수선수와 비우수선수의 테니스 플랫 서브 동작 시 구간별 소요시간, 라켓의 이동변위, 상지 관절의 속도, 신체 무게 중심 속도, 상지 관절의 각도, 상지 관절의 각속도 등을 비교·분석하여 요약 정리하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 구간별 총소요시간을 보면 우수선수가 비우수선수보다  $0.4$  sec가 빠르게 나타났다. 효율적인 플랫 서브 동작을 수행하기 위해서는 상지관절의 원활한 스윙으로 인한 라켓헤드의 속도를 높여야 할 것으로 사료된다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 라켓의 이동변위는 좌·우(x)축에서는 좌측으로 우수선수가 크게 이동하는 것으로 나타났고, 수평(y)축에서는 임팩트 시 우수

선수와 비우수선수가 비슷한 것으로 나타났다. 임팩트 시 라켓의 수직(z)축의 위치는 우수선수가  $0.23$  m 더 높게 나타났다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 신체 중심의 속도는 전 시점에서 우수선수가 비우수선수보다 빠르게 나타났다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 상지의 손목, 팔꿈치, 어깨 관절의 속도는 전 시점에서 우수선수가 비우수선수보다 빠른 것으로 나타났다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 라켓 헤드의 속도는 E1에서 비우수선수가 빠르게 나타났고, E2, E3, E4에서 우수선수가 빠른 것으로 나타났다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 임팩트 시 손목 관절의 각도는 우수선수가  $11.8^\circ$ 가 더 굴곡된 것으로 나타났다. 팔꿈치 관절의 각도는 우수선수가  $5.2^\circ$ 가 더 신전된 것으로 나타났다. 어깨 관절의 각도는 우수선수가  $1.4^\circ$ 가 더 신전된 것으로 나타났다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 임팩트 시 상지 관절의 각속도와 고 관절의 각속도는 우수선수가 크게 나타났다.

테니스 플랫 서브 동작에 따른 상체의 전·후경 각의 변화는 우수선수가 더 큰 것으로 나타났다.

이상의 결과와 논의를 종합해 볼 때, 플랫 서브 동작을 효율적으로 수행하기 위해서는 구간별 소요시간을 줄이고, 임팩트 시 라켓의 높이와 상지관절의 속도, 라켓 헤드의 속도, 상지 관절의 각속도를 향상시켜야 하며, 임팩트 시 적절한 손목의 각도를 유지해야 효과적이고 힘 있는 서브를 구사 할 수 있는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 권태홍(1998). Tennis service 동작의 역학적 분석. 미간행 석사학위논문, 경희대학교 대학원.
- 김성동(2000). 테니스 플랫 서비스의 운동학적 분석. 미간행 석사학위논문. 건국대학교 석사학위논문.
- 김치섭(1992). 테니스 경기의 승패 요인에 관한 연구. 미간행 석사학위논문. 건국대학교 석사학위논문.

- 곽창수(1993). 테니스 경기력 향상을 위한 운동 역학적 접근. *스포츠과학*, 40, 92-106.
- 박태건(2004). 테니스 플랫 서브의 운동학적 연구. 미간행 석사학위논문, 부산대학교 대학원.
- 신재민(2003). 테니스 플랫서브의 3차원 각운동 분석. *한국체육학회지*, 42(6), 973-983.
- 유오희(1999). 최대근력과 근과위가 테니스 서브스피드에 미치는 영향. 미간행 석사학위논문, 용인대학교 대학원.
- 유인경(1999). 우수 테니스 선수들의 경기내용에 관한 연구. 미간행 석사 학위논문, 경희대학교 대학원.
- 조필환(2002). 테니스 플랫 서브동작에 대한 숙련자와 미숙련자간의 운동학적 비교 분석. *한국체육교육학회지* 6(2), 230~237.
- 진영완, 이성철, 유병인(1998). 테니스 스핀 서브동작시 관절운동의 분석. *한국체육학회지*, 37(3), 393-447.
- 진영완, 최웅재(1994). 테니스 플랫 서브 동작의 운동학적 분석. *한국체육학회지*, 33(1), 435~447.
- 최웅재(1993). 테니스 플랫 서브 동작의 운동학적 분석. 미간행 석사학위 논문, 연세대학교 대학원.
- 최종현(1990) 테니스 선수의 서브 유형과 넷플레이 분석. 미간행 석사 학위논문, 명지대학교 대학원.
- 황인승, 이성철, 김주선(1992). 3D 영상분석에 의한 테니스 플랫 서브의 운동학적 분석. *한국체육학회지*, 31(2), 201-209.
- Bahamonde, R. E.(1989). Kintic analysis of the serving arm during the performance of the tennis serve, *12th International Congress of Biomechanics*, Ucla, 99-100.
- Brody, H. A.(1987). *Tennis science for tennis*. University of pennsylvania press.
- Bunn, J. W.(1972). *Scientiffic Principles of Coaching* Englewood. New Jersey : prentice-Hall.
- Elliott, B., Marsh, T., & Blanksby, B.(1986). A three-dimensional cinematographic analysis of the tennis serve. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 260~271.
- Elliott, B. D.(1983). Spin and power serve in tennis. *Journal of Human Movement Studies*, 9, 97-104.
- Elliott, B. C., Marshall, R. N., & Noffal, G. J.(1996). Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 433-422.
- Groppel, J, L.(1986). The biomechanics of tennis: An overview. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 141-155,
- German Tennis Association(2001). *Tennis Course* 1, 2 : 103 ~ 107, 152~180.
- Haward, B. A.(1987). Models of tennis racket impacts. *International Jouranal of sports Biomechanics*, 3, 293-296.
- Hawrd, H. Y.(1981). Models of tennis racket impacts. *International Journal of sports Biomechanics*, 3, 293~296.
- Plagenhoef, S. D.(1971). *Pattens of human motion*. Englewood Cliffs. NJ : prentice-Hall.
- Plagenhoef, S. C., Evans, F. G. & Abdelnour, T.(1983). *Anatomical Data for Analyzing Human Motion*. Research Quarterly for Exerise and Sports, 54(2), 169-178.
- Sprigings, E, Marshall, R, Elliott, B., Jennings, L.(1994). A 3-D kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head speed *Journal of Biomechanics*, 27(3), 245-254.

투 고 일 : 04월 30일

심 사 일 : 05월 15일

심사완료일 : 05월 30일