한국운동역학회지, 2007, 제17권 3호, pp. 69-80
Korean Journal of Sport Biomechanics
2007, Vol. 17, No. 3, pp. 69-80

수영 출발동작의 지면반력 차이 비교 II

A Comparison of Ground Reaction Force of High School Swimmers in Accordance with Starting Motions

김규완*(인천대학교)
Kim, Kew-Wan*(Incheon University)

ABSTRACT

K. W. KIM, A Comparison of Ground Reaction Force of High School Swimmers in Accordance with Starting Motions. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 17, No. 3, pp. 69-80, 2007. The purpose of this study was to investigate the difference of ground reaction forces of swimming athletes during their starting motion and to find out the most effective starting motions which were used in swimming athletes. The subjects were 9 male and 8 female high school swimming athletes who were athletic career over 7 years and used three starting motions in competition. The ground reaction forces were measured from each athletes performing three starting motion each of the open grap starting motion, closed grap starting motion and track starting motion. For the measurement, the force platform of AMTI company was utilized, and the analysis on measured ground reaction forces were used of Biosoft(Ver. 1.0). The items measured were stance time, Fz max deceleration force and Fz max deceleration force time, Fz mid stance force and Fz mid stance force time, Fz max acceleration force and Fz max acceleration force time, Torque maximum and Torque maximum time, Torque average, Excursion along Y axis of center of pressure of foot, Excursion along X axis of center of pressure of foot, Length of center of pressure of foot, Average velocity of center of pressure of foot. The data measured by the closed grap starting motion, open grap starting motion and track starting motion were analyzed by one-way repeated ANOVA.

The results were as follows ;

1. The Fz max deceleration force time, Fz mid stance force, Fz max acceleration force, Torque maximum and Torque maximum time, Excursion along Y axis of center of pressure of foot, Average velocity of center of pressure of foot were significantly fast and large in the closed grap starting motion then open grap starting motion and track starting motion.
2. The Excursion along Y axis of center of pressure of foot was significantly long in the closed grap starting motion then open grap starting motion and track starting motion.

KEYWORDS : GRF, STARTING MOTION, OPEN GRAP STARTING MOTION, CLOSED GRAP STARTING MOTION AND TRACK STARTING MOTION.

이 논문은 2006년도 인천대학교 자체연구비지원에 의하여 연구되었슴.
* kewwan09@incheon.ac.kr

Ⅰ. 서 론

수영경기는 육상경기, 체조경기와 함께 기본 운동종목으로 주어진 거리를 가능한 한 빨리 도달하는 것이 목적인 기록경기 종목이다. 수영경기는 자유형 등 수영의 형태와 경기거리가 세분화되어 올림픽 등의 국제대회에서 단일 종목이지만 많은 메달이 걸려 있는 종목으로, 우리나라는 지금까지 국제대회에서 좋은 성적을 얻지 못하였다. 지금까지 이의 이유는 크게 서구 선수들에 비해 열세인 우리나라 선수들의 체격과 체력 때문인 것으로 생각하였으며, 따라서 그동안 국제대회에서 우수한 성적을 크게 기대하지 않은 것이 사실이다. 그러나 같은 동양권의 일본 수영선수들이 국제대회에서 우수한 성적을 내고 있는 사실과 최근 세계수영선수권대회에서 박태환 선수가 자유형 400m에서 우승한 것은 우리나라도 우수 선수의 발굴과 과학적인 육성을 통해 국제대회에서 우수한 경기성적을 올릴 수 있음을 시사한다.

수영경기의 기록은 출발시간, 수영시간, 방향전환 시간의 3 요소로 구성되어 있다(Hay와 Reid, 1982). 따라서 수영경기에서 기록을 단축하기 위해서는 출발, 수영, 방향전환 구간에서의 동작을 최대한 빠르게 수행하여야 한다. 이들 요인들 중 경기기록에 가장 큰 영향을 미치는 시간은 수영시간이며, 그 다음이 방향전환 및 출발시간의 순이다. 그러므로 수영경기에서 기록을 단축하기 위해서는 수영시간의 단축이 가장 중요하게 고려되어야 한다.

그렇지만 우수 선수들의 경우 비슷한 수영능력을 가졌다고 전제하면 출발시간 및 방향전환 시간도 경기기록에 큰 영향을 미치는 요인으로 간주할 수 있다. 이러한 사실은 Maglischo(1993)의 출발동작이 경기의 승패에 미치는 영향을 밝힌 연구에서 출발은 25m 경기에서는 25%, 50m 경기에서는 10%, 100m 경기에서는 5% 정도 경기에 영향을 미치며, 권영후 등(1995)의 역영동작 변인들의 상관관계를 분석한 연구와 허유미(1996)의 연구에서도 확인할 수 있다.

즉 수영경기의 기록에 영향을 미치는 출발시간, 수영시간, 방향전환 시간의 3 요소 중 출발시간이 가장 작은 영향을 미치는 요소이기는 하나 비슷한 수영능력을 가진 우수 선수들 간의 경기에서는 출발기술과 동작에 의해 결정되는 출발시간의 차이가 경기의 승패에 결정적인 영향을 미칠 수 있다. 특히 수영구간이 짧은 단거리 수영경기에서는 출발시간에 의한 영향이 더욱 크게 나타난다. 이러한 출발시간은 다시 출발신호 시부터 양 발이 블록에서 떨어지는 순간까지의 블록시간, 양 발이 블록에서 떨어져서 물과 처음 접촉 시까지의 비행시간, 물과의 첫 접촉 시부터 킥 혹은 스트로크하기까지의 글라이드 시간으로 구분한다(Hay, 1985).

수영경기에서 출발시간의 차이에 의한 경기결과의 차이는 출발동작의 변화를 가져왔다. 현재 수영경기에서 출발동작으로 많이 사용되고 있는 방법은 그랩 출발동작과 트랙 출발동작 및 변형된 트랙 출발동작의 3가지이다. 이중 그랩 출발동작은 출발대를 양손으로 잡고 양 발을 모아 몸을 움츠린 자세에서 전방으로 나아가기 때문에 출발이 빠른 것으로 보고되었다(Jorgenson, 1971; Bowers와 Cavanaugh, 1975; Cavanaugh, Palmgren와 Kerr, 1975; Thorsen, 1974). 특히 Allen(1997)은 그랩 출발동작이 출발대를 밀면서 출발하여 운동량이 증가되기 때문에 보다 효과적인 출발동작이라고 보고하고 있다.

그러나 Fitzgerald(1973)는 트랙 출발동작의 사용 시와 그랩 출발동작의 사용시 선수의 다리 위치에 관한 운동학적 분석을 실시하여 트랙 출발동작은 한 발은 앞쪽, 다른 한 발은 뒤쪽에 두고 양 손으로 출발대를 잡고 있기 때문에 출발 동작시의 신체의 무게중심이 그랩 출발동작에 비해 상대적으로 뒤쪽에 있어 출발자세의 유지를 위해 다리와 양손에서 발휘되는 힘이 더 크며, 또한 두 발에 의해 형성되는 기저면의 크기가 그랩 출발동작에 비해 작아서 불안정하기 때문에 단거리 경기에서 더 유리한 출발동작이라고 밝혔다.

한편 김연정, 조병준과 이민형(1998)은 남자 고등학생 수영 선수들을 대상으로 그랩 출발동작과 트랙 출발동작의 사용에 따른 출발동작 시의 운동학적 변인들을 비교·분석하였으나 어느 출발동작이 경기기록 단축에 유리한지를 밝히지 못하였다. 류재청(2001)도 국가대표급 남자 수영선수들을 대상으로 폴드 유형과 플랫 유형간의 운동학적 요인을 비교, 분석하여 폴드 유형이 플랫 유형에 비해 출발대 지지시간이 짧기는 하였으나 무게중심의 수직변위가 높고 속도가 오히려 늦은 것으로 나타났다고 보고하였다. 그러나 김석범

(2003)은 남자 고등학생 수영 선수들을 대상으로 그랩 출발동작과 트랙 출발동작 시의 지면반력을 측정, 비교한 결과 트랙 출발동작 시의 지면반력 요인이 크게 나타났다고 보고하였다.

이러한 선행연구의 결과들은 수영의 두 출발동작, 그랩 출발동작과 트랙 출발동작 간에 어느 동작이 더 우수하다고 단정하지 못하고 있음을 시사하는 것이다. 즉 실제 경기에서도 선수들이 사용하는 출발동작이 각기 다르며, 자유형 50m에서 우리나라의 남·여 선수 모두 출발속도가 세계 수준급 선수에 비해 느린 것으로 나타나고 있는데, 구체적으로 우리나라 선수들의 기록은 권영후 등(1996)이 보고한 애틀란타 올림픽의 16강 입상 선수들의 110% 수준, 세계기록의 115% 수준인 것으로 나타나고 있어(정철수 외, 2003) 수영의 경기력 향상을 위해서 상이한 출발동작 중에서 보다 효율적인 출발 방법을 찾고자하는 연구가 매우 필요한 것으로 생각되었다.

이에 따라 이 연구에서는 수영 경기력 향상을 위해 출발동작 시 선수들에 의해 발휘되는 지면반력을 측정, 분석하여 어떤 출발동작이 경기기록 향상에 효율적인가를 밝히고자 하였다. 구체적으로 선수들이 경기 시 사용하는 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 상이한 출발동작에 따라 나타나는 지면반력 요인을 남·여별로 측정, 분석하여 어떤 출발동작이 보다 효율적인 출발동작인가를 밝히고자 하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 피험자

이 연구의 대상은 실제 시합에서 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작을 모두 사용하며, 7년 이상의 선수경력을 가진 인천 소재 I 고등학교 남자 수영선수 9명과 여자 수영선수 8명이었다. 이들의 신장은 남자는 평균 176.50cm, 여자는 평균 168.44cm였으며, 체중은 남자는 평균 65.38kg, 여자는 평균 58.11kg이었다. 연구대상의 구체적인 특성은 <표 1>과 같다.

2. 실험장비

이 연구에서 수영경기시 출발대에서 발휘되는 피험자들의 지면반력 요인을 측정하기 위해 사용한 장비는 AMTI 사의 지면반력기를 사용하였으며, 측정된 지면반력의 분석은 컴퓨터에 내장된 Biosoft(Ver. 1.0) 프로그램을 사용하여 분석하였다. 분석 프로그램 등 이 연구에서 사용한 구체적인 실험장비는 <표 2>와 같다.

3. 실험절차

이 연구에서는 수영경기시 사용하는 출발동작의 차이에 따라 선수의 두 발에 의해서 발현되는 지면반력은 어떠한 차이를 보이는가를 밝히고자 하였다. 이에

표 1. 연구대상의 특성

구 분	인 원	신 장(cm)	체 중(kg)	나 이(세)	경 력(년)
남	9	176.50 ± 4.60	65.38 ± 4.66	18.00 ± 0.76	7.13 ± 0.83
여	8	168.44 ± 2.36	58.11 ± 5.72	17.22 ± 0.42	7.00 ± 0.67

평균 ± 표준편차

표 2. 실험 장비

기 구 명	규 격	제 조 국
지면반력기	AMTI ORG-6-5	미 국
분석 프로그램	Biosoft Ver. 1.0	미 국
스타트대	88.00(L)×50.00(W)×54.00(H)cm	한 국

따라 출발대에서 남, 여 선수가 3종류의 출발동작을 사용케 하여 출발할 때의 지면반력을 측정하였는데 구체적인 실험절차는 다음과 같다.

먼저 출발대 위에서의 출발동작시의 지면반력을 측정하기 위해 지면반력기(50.80cm×46.50cm×8.40cm)를 설치하였는데, 이때 지면반력기의 Y축은 수영 방향과 일치되게 하여 하였다. 그리고 피험자들이 지면반력기를 자연스럽게 인식하고, 출발대 위에 지면반력기가 고정되게 합판으로 출발대와 지면반력기가 모두 포함되게 둘러싸고 여백은 나무토막으로 채웠다. 실제 실험에 들어가기 전에 모든 피험자들에게 실험 목적, 방법 등에 대해 상세히 설명하고 충실히 실험에 임해 줄 것을 당부하였으며, 실험 전 20여분 동안 충분한 준비운동을 통해 피험자들이 주어진 출발동작을 정확히 유지하면서 지면반력기 위에서 출발할 수 있는 적응 훈련을 하였다.

실제 실험에서 피험자들은 3개의 출발동작별로 출발대에서 출발하도록 하여 지면반력을 측정하였다. 이때 피험자들에게 주어진 3개의 출발동작은 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작 동작 이었다. 클로즈 그랩 출발동작은 양 발을 붙여 출발대 앞쪽에 위치한 상태에서 출발하는 동작이며, 오픈 그랩 출발동작은 양 발을 어깨넓이 정도로 벌린 채 출발대 앞쪽에 위치한 상태에서 출발하는 동작이고, 트랙 출발동작은 양 발이 어깨넓이 정도로 벌린 채 한 발은 출발대 앞쪽에 위치하고 나머지 한 발은 뒤 쪽에 위치한 상태에서 출발하는 동작이다. 실제 측정에서 피험자는 출발대 위에 설치된 지면반력기 위에서 대기한 후 연구자의 '출발' 신호에 의해 출발하여 입수하였다. 각 피험자별 실험순서는 라틴스퀘어 방식에 의해 사전에 결정된 순서대로 하여 학습에 의한 효과가 배제되게 하였다.

정확한 자료의 획득을 위해 출발동작을 3회씩 반복하였으며 각 수행 사이에 10분간의 휴식을 취하였다. 측정된 자료의 분석은 연구자가 가장 정확히 측정이 되었다고 판단되는 시기의 자료만을 대상으로 이루어졌다. 이때 지면반력기의 자료 샘플링 간격은 100Hz로 하였으며, 분석항목은 발이 지면반력기와 접촉한 시간인 접지시간, 발의 접지 동안 접지발에 의해 발현되는 최대 제동력과 이의 발현시각, 중앙접지기시의 힘과 이의 발현시각, 최대 추진력 및 이의 발현시각, 최대 수직 토크와 이의 발현시각, 평균 토크, 접지 시 신체 압력중심의 전·후 및 좌·우 이동거리, 접지 시 신체 압력중심의 전체 이동거리 및 평균 이동속도로 하였다.

4. 자료처리방법

이 연구에서 측정된 지면반력 요인의 분석은 SPSS(ver. 10.0)를 이용하였는데, 먼저 남, 여별로 측정된 지면반력 요인들의 평균과 표준편차를 구하고, 이를 근거로 상이한 출발동작에 따른 지면반력 요인들의 차이는 반복측정에 의한 일원변량분석 방법(one-way ANOVA with repeated measurement)을 사용하였으며, 이때 유의한 결과가 있는 경우에는 Turkey의 방법에 의한 사후 검증을 실시하였다. 이 모든 경우에서 유의수준은 α = .05로 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 남자 수영선수들의 출발동작과 지면반력 요인

남자 수영선수들이 상이한 출발동작을 사용하였을 때 나타난 출발동작시의 지면반력 요인들의 차이를 측정하여 비교, 분석한 결과는 <표 3>과 같다. <표 3>에 의하면 수영 출발동작 시에 출발대에 발이 접촉한 시간인 접지시간은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 2.28±0.60sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 2.73±0.15sec, 트랙 출발동작 시는 3.51±2.00sec로 나타났다. 이 접지시간은 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 길게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

출발동작 시에 신체가 앞으로 미끌어지지 않도록 두 발에 의해 발휘되는 최대 제동력은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 681.91±53.86N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 688.77±49.77N, 트랙 출발동작 시는 693.53±52.76N으로 나타났다. 최대 제동력의 크기는

표 3. 남자 수영선수들의 출발동작별 지면반력 요인의 평균과 표준편차, 일원변량분석 결과

지면반력 요인	출발동작	사례수	평균(표준편차)	df	F	p
접지시간 (sec)	클로즈	9	2.28(0.60)	2	2.707	.097
	오픈	9	2.73(0.15)			
	트랙	9	3.51(2.00)			
최대 제동력 (N)	클로즈	9	681.91(53.86)	2	0.864	.440
	오픈	9	688.77(49.77)			
	트랙	9	693.53(52.76)			
최대 제동력 발현시각(sec)	클로즈	9	0.32(0.17)	2	9.019	.002
	오픈	9	0.65(0.19)			
	트랙	9	0.62(0.22)			
중앙지지기시 힘(N)	클로즈	9	560.97(57.68)	2	7.192	.006
	오픈	9	617.36(39.52)			
	트랙	9	610.42(42.12)			
중앙지지기 힘 발현시각(sec)	클로즈	9	1.23(0.39)	2	1.710	.212
	오픈	9	1.42(0.17)			
	트랙	9	1.37(0.18)			
최대 추진력 (N)	클로즈	9	1109.01(163.55)	2	7.642	.005
	오픈	9	1092.23(157.21)			
	트랙	9	985.09(176.54)			
최대 추진력 발현시각(sec)	클로즈	9	2.28(0.68)	2	1.299	.300
	오픈	9	2.53(0.17)			
	트랙	9	2.58(0.18)			
최대 수직 토크 (cm-N)	클로즈	9	727.66(367.91)	2	12.900	.000
	오픈	9	780.27(543.09)			
	트랙	9	1210.80(260.52)			
최대 수직 토크 발현시각(sec)	클로즈	9	2.11(0.59)	2	5.083	.020
	오픈	9	2.16(0.45)			
	트랙	9	2.62(0.21)			
평균 수직 토크 (cm-N)	클로즈	9	126.90(47.85)	2	1.917	.179
	오픈	9	127.25(40.89)			
	트랙	9	193.40(129.47)			
Y 축에서의 이동거리(cm)	클로즈	9	15.84(2.16)	2	67.037	.000
	오픈	9	16.85(0.85)			
	트랙	9	4.12(3.99)			
X 축에서의 이동거리(cm)	클로즈	9	0.83(0.76)	2	0.788	.472
	오픈	9	0.78(0.70)			
	트랙	9	1.16(0.92)			
신체 압력중심의 이동거리(cm)	클로즈	9	5.81(1.52)	2	5.759	.013
	오픈	9	6.93(0.39)			
	트랙	9	7.23(0.43)			
신체 압력중심의 이동속도(cm/sec)	클로즈	9	64.84(13.47)	2	1.190	.330
	오픈	9	61.52(6.77)			
	트랙	9	68.14(7.29)			

클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

이러한 최대 제동력이 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 0.32±0.17sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 0.65±0.19sec, 트랙 출발동작 시는 0.62±0.22sec로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 최대 제동력의 발현 시각은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데(p<.01), 상이한 출발 유형별로 나타난 최대 제동력의 발현 시각의 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는가를 사후 검증한 결과에 의하면 클로즈 그랩 출발동작 < 오픈 그랩 출발동작 = 트랙 출발동작인 것으로 나타났다.

중앙지지기 시의 지면반력의 크기는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 560.97±57.68N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 617.39±39.52N, 트랙 출발동작 시는 610.42±42.12N으로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발동작별로 나타난 중앙지지기 시의 지면반력의 크기는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데(p<.01), 상이한 출발동작별로 나타난 중앙지지기 시의 지면반력의 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 클로즈 그랩 출발동작 < 오픈 그랩 출발동작 = 트랙 출발동작인 것으로 나타났다.

이러한 중앙지지기 시의 지면반력이 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 1.23±0.39sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 1.42±0.17sec, 트랙 출발동작 시는 1.37±0.18sec로 나타났다. 이 중앙지지기 시의 지면반력의 발현 시각은 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작의 순으로 짧은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

출발 동작 시에 신체를 전방으로 밀어주는 힘인 최대 추진력은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 1109.01±163.55N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 1092.23±157.21N, 트랙 출발동작 시는 985.09±176.54N으로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발동작별로 나타난 최대 추진력의 크기는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데(p<.01), 상이한 출발동작별로 나타난 최대 추진력의 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 클로즈 그랩 출발동작 = 오픈 그랩 출발동작 > 트랙 출발동작인 것으로 나타났다.

이러한 최대 추진력이 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 2.28±0.68sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 2.53±0.17sec, 트랙 출발동작 시는 2.58±0.18sec로 나타났다. 이 최대 추진력의 발현시각은 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 짧은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

수영의 출발 동작 시 두 발에 의해 발휘되는 수직 방향의 토크의 경우 최대 토크는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 727.66±367.91cm-N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 780.27±543.09cm-N, 트랙 출발동작 시는 1210.80±260.52cm-N으로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 수직 방향의 최대 토크의 크기는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데(p<.001), 상이한 출발 유형별로 나타난 수직 방향의 최대 토크의 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 트랙 출발동작 > 오픈 그랩 출발동작 = 클로즈 그랩 출발동작인 것으로 나타났다.

이러한 최대 수직 토크가 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 2.11±0.59sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 2.16±0.45sec, 트랙 출발동작 시는 2.62±0.21sec로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 수직 방향의 최대 토크의 발현 시각은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데(p<.05), 상이한 출발 유형별로 나타난 수직 방향의 최대 토크의 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 오픈 그랩 출발동작 = 클로즈 그랩 출발동작 > 트랙 출발동작인 것으로 나타났다.

한편 접지기간 동안 발휘된 수작 방향의 평균 토크는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 126.90±47.85cm-N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 127.25±40.89cm-N, 트랙 출발동작 시는 193.40±129.47cm-N으로 나타났다. 수영경기에서 사용

되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 수직 방향의 최대 토크의 크기는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

수영의 출발 동작 시 두 발에 의한 신체의 압력 중심의 이동 중 전진 방향으로의 이동인 Y 축에서의 전체 이동거리는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 15.84±2.16cm로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 16.85±0.85cm, 트랙 출발동작 시는 4.12±3.99cm로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 신체의 압력 중심의 이동 중 Y 축에서의 전체 이동거리는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데($p<.001$), 이러한 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 트랙 출발동작 < 클로즈 그랩 출발동작 = 오픈 그랩 출발동작인 것으로 나타났다.

한편 신체의 압력 중심의 이동 중 신체의 좌·우 방향으로의 이동인 X 축에서의 전체 이동거리는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 0.83±0.76cm로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 0.78±0.70cm, 트랙 출발동작 시는 1.16±0.92cm로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 신체의 압력 중심의 이동 중 X 축에서의 전체 이동거리는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

수영의 출발 동작 시 두 발에 의한 신체의 압력 중심의 전체 이동거리는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 5.81±1.52cm로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 6.93±0.39cm, 트랙 출발동작 시는 7.23±0.43cm로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 신체의 압력 중심의 전체 이동거리는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데($p<.05$), 이러한 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 트랙 출발동작 > 오픈 그랩 출발동작 > 클로즈 그랩 출발동작인 것으로 나타났다.

그리고 수영의 출발 동작 시 두 발에 의한 신체의 압력 중심의 평균 이동속도는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 64.84±13.47cm/sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 61.52±6.77cm/sec, 트랙 출발동작 시는 68.14±7.29cm/sec로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 신체의 압력 중심의 평균 이동속도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

2. 여자 수영선수들의 출발동작과 지면반력 요인

여자 수영선수들이 상이한 출발동작을 사용하였을 때 나타난 출발동작시의 지면반력 요인들의 차이를 측정하여 비교, 분석한 결과는 <표 4>와 같다. <표 4>에 의하면 수영 출발동작 시에 출발대에 발이 접촉한 시간인 접지시간은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 2.71±0.24sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 2.72±0.14sec, 트랙 출발동작 시는 2.82±0.46sec로 나타났다. 이 접지시간은 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 길게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

출발 동작 시에 신체가 앞으로 미끌어지지 않도록 두 발에 의해 발휘되는 최대 제동력은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 621.75±63.57N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 625.12±62.62N, 트랙 출발동작 시는 619.27±59.71N으로 나타났다. 최대 제동력의 크기는 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

이러한 최대 제동력이 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 0.54±0.19sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 0.64±0.25sec, 트랙 출발동작 시는 0.56±0.30sec로 나타났다. 최대 제동력의 발현 시각은 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작의 순으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

중앙지지기 시의 지면반력의 크기는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 560.85±49.53N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 565.73±50.55N, 트랙 출발동작 시는 573.09±55.60N으로 나타났다. 중앙지지기 시의 지면반력의 크기는 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

이러한 중앙지지기 시의 지면반력이 발현된 시각은

표 4. 여자 수영선수들의 출발동작별 지면반력 요인의 평균과 표준편차, 일원변량분석 결과

지면반력 요인	출발동작	사례수	평균(표준편차)	df	F	p
접지시간 (sec)	클로즈	8	2.71(0.24)	2	0.322	.097
	오픈	8	2.72(0.14)			
	트랙	8	2.82(0.46)			
최대 제동력 (N)	클로즈	8	621.75(63.57)	2	0.234	.794
	오픈	8	625.12(62.62)			
	트랙	8	619.27(59.71)			
최대 제동력 발현시각(sec)	클로즈	8	0.54(0.19)	2	0.308	.740
	오픈	8	0.64(0.25)			
	트랙	8	0.56(0.30)			
중앙지지기시 힘(N)	클로즈	8	560.85(49.53)	2	1.113	.356
	오픈	8	565.73(50.55)			
	트랙	8	573.09(55.60)			
중앙지지기 힘 발현시각(sec)	클로즈	8	1.43(0.19)	2	0.089	.916
	오픈	8	1.43(0.25)			
	트랙	8	1.48(0.31)			
최대 추진력 (N)	클로즈	8	879.27(105.52)	2	2.892	.089
	오픈	8	951.57(284.32)			
	트랙	8	792.68(77.55)			
최대 추진력 발현시각(sec)	클로즈	8	2.51(0.21)	2	1.048	.337
	오픈	8	2.54(0.14)			
	트랙	8	2.68(0.33)			
최대 수직 토크 (cm-N)	클로즈	8	749.65(156.46)	2	3.300	.067
	오픈	8	838.92(124.70)			
	트랙	8	945.05(170.49)			
최대 수직 토크 발현시각(sec)	클로즈	8	2.39(0.44)	2	0.387	.686
	오픈	8	2.50(0.38)			
	트랙	8	2.58(0.39)			
평균 수직 토크 (cm-N)	클로즈	8	174.13(41.97)	2	2.349	.132
	오픈	8	155.84(22.85)			
	트랙	8	120.48(65.80)			
Y 축에서의 이동거리(cm)	클로즈	8	16.75(1.17)	2	152.124	.000
	오픈	8	16.49(1.07)			
	트랙	8	3.91(2.86)			
X 축에서의 이동거리(cm)	클로즈	8	0.93(1.02)	2	0.595	.565
	오픈	8	0.69(0.70)			
	트랙	8	1.20(0.93)			
신체 압력중심의 이동거리(cm)	클로즈	8	6.88(0.60)	2	2.646	.106
	오픈	8	6.90(0.36)			
	트랙	8	7.49(0.87)			
신체 압력중심의 이동속도(cm/sec)	클로즈	8	63.59(6.51)	2	1.001	.392
	오픈	8	67.57(4.28)			
	트랙	8	848.00(2210.22)			

클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 1.43±0.19sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 1.43±0.25sec, 트랙 출발동작 시는 1.48±0.31sec로 나타났다. 이 중앙지지기 시의 지면반력의 발현 시각은 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작의 순으로 짧은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

출발 동작 시에 신체를 전방으로 밀어주는 힘인 최대 추진력은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 879.27±105.525N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 951.57±284.32N, 트랙 출발동작 시는 792.68±77.55N으로 나타났다. 최대 추진력의 크기는 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

이러한 최대 추진력이 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 2.51±0.21sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 2.54±0.14sec, 트랙 출발동작 시는 2.68±0.33sec로 나타났다. 이 최대 추진력의 발현시각은 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 짧은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

수영의 출발 동작 시 두 발에 의해 발휘되는 수직 방향의 토크의 경우 최대 토크는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 749.65±156.46cm-N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 838.92±124.70cm-N, 트랙 출발동작 시는 945.05±170.49cm-N으로 나타났다. 수직 방향의 최대 토크의 크기는 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

이러한 수직 방향의 최대 토크가 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 2.39±0.44sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 2.50±0.38sec, 트랙 출발동작 시는 2.58±0.39sec로 나타났다. 수직 방향의 최대 토크가 발현된 시각은 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

한편 착지기간 동안 발휘된 수작 방향의 평균 토크는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 174.13±41.97cm-N으로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 155.84±22.85cm-N, 트랙 출발동작 시는 120.48±65.80cm-N으로 나타났다. 수직 방향의 평균 토크의 크기는 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

수영의 출발 동작 시 두 발에 의한 신체의 압력 중심의 이동 중 전진 방향으로의 이동인 Y 축에서의 전체 이동거리는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 16.75±1.17cm로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 16.49±1.07cm, 트랙 출발동작 시는 3.91±2.86cm로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 신체의 압력 중심의 이동 중 Y 축에서의 전체 이동거리는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데($p<.001$), 이러한 차이가 구체적으로 어디에서 나타나는 가를 사후 검증한 결과에 의하면 트랙 출발동작 < 클로즈 그랩 출발동작 = 오픈 그랩 출발동작인 것으로 나타났다.

한편 신체의 압력 중심의 이동 중 신체의 좌·우 방향으로의 이동인 X 축에서의 전체 이동거리는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 0.93±1.02cm로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 0.69±0.70cm, 트랙 출발동작 시는 1.20±0.93cm로 나타났다. 신체 압력중심의 X축에서의 전체 이동거리는 트랙 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작, 오픈 그랩 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

수영의 출발 동작 시 두 발에 의한 신체의 압력 중심의 전체 이동거리는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 6.88±0.60cm로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 6.90±0.70cm, 트랙 출발동작 시는 7.49±0.87cm로 나타났다. 신체의 압력 중심의 전체 이동거리는 트랙 출발동작, 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작의 순으로 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

그리고 수영의 출발 동작 시 두 발에 의한 신체의 압력 중심의 평균 이동속도는 클로즈 그랩 출발동작 시가 평균 63.59±6.51cm/sec로 나타났으며, 오픈 그랩 출발동작 시는 67.57±4.28cm/sec, 트랙 출발동작 시는 848.00±2210.22cm/sec로 나타났다. 수영경기에서 사용되는 서로 상이한 출발 유형별로 나타난 신체의 압력 중심의 평균 이동속도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

Ⅳ. 논 의

이 연구에서는 수영경기 시 선수들이 사용하는 상이한 출발동작 별로 나타나는 지면반력 요인을 측정·분석하여 어떠한 출발동작이 보다 효율적인가를 밝히고자 하였다. 수영경기의 기록에 영향을 미치는 요소는 출발시간, 수영시간, 방향전환 시간의 3 요소이며(Hay와 Ried, 1982), 이중 출발시간이 가장 작은 영향을 미치는 요소이기는 하나 비슷한 수영능력을 가진 우수선수들 간의 경기에서는 출발시간의 차이가 경기의 승패를 결정할 수 있다. 특히 수영구간이 짧은 단거리 경기에서는 출발시간의 영향이 경기의 승패에 더 큰 영향을 미칠 수 있으므로 출발시간에 영향을 미치는 출발동작의 역학적 분석 자료는 매우 의미가 있다.

출발시간은 출발신호 시부터 양 발이 블록에서 떨어지는 순간까지의 블록시간, 양 발이 블록에서 떨어져서 물과의 처음 접촉 시까지의 비행시간, 물과의 첫 접촉 시부터 킥 혹은 스트로크하기까지의 글라이드 시간으로 구분된다(Hay, 1985). 이 연구에서 측정한 지면반력 요인들 중 출발동작 시에 양 발이 압력판과 접촉한 접지시간은 Hay(1985)의 출발시간 중 블록시간과 동일한 것으로 볼 수 있으며, 남·여 선수 모두에게서 트랙 출발동작의 사용 시가 가장 길고 클로즈 그랩 출발동작의 사용 시가 2.28초로 가장 짧은 것으로 나타났다.

이 연구에서 측정한 양 발의 접지시간은 Guimaraes와 Hay(1985)가 남자 고등학생 수영선수들을 대상으로 얻은 0.84의 블록시간에 비해 길게 나타났으며, 류재청(2001)의 국가대표급 남자 수영선수들을 대상으로 측정한 출발준비에서 입수까지의 소요시간인 1.014초 - 1.045초 보다 길었다. 특히 황용출(2006)이 보고한 혼합 출발동작(클로즈 그랩 출발동작) 시의 반응시간인 0.77초에 비해서도 길게 나타났다.

이 연구의 접지시간과 선행연구의 블록시간의 차이는 연구에서 사용된 측정방법의 차이에서 기인하는 것으로 사료되었다. 즉 이 연구에서는 압력판의 자료수집이 연구자가 측정 키를 누르는 순간부터 5초 동안 이루어지도록 사전에 설정되어 있었는데, 실제 측정시에 연구자가 측정 키를 먼저 누른 직 후 '출발' 신호를 하였기 때문에 연구자의 출발 신호와 선수들의 출발동작 사이에는 지연이 있었다. 이에 따라 본 연구에서 얻은 접지시간이 선행연구에서 영상분석을 통해 얻은 접지시간과의 차이는 부분적으로 측정방법의 차이에서 기인하는 것으로 사료되었다.

그러나 이 연구에서 클로즈 그랩 출발동작의 사용 시가 접지시간이 가장 짧게 나타난 것과 황용출(2006)의 혼합 출발동작(클로즈 그랩 출발동작) 시의 반응시간이 다른 두 출발동작에 비해 유의하게 짧게 나타났다는 결과 및 류재청(2001)의 국가대표급 남자 수영선수들의 플랫유형(그랩 출발동작)의 소요시간이 유의한 차이는 아니지만 1.014초로 폴드유형(트랙 출발동작)의 1.045초 보다 짧게 나타난 것과는 동일한 경향인 것으로 나타났다.

한편 최대 제동력 발현시각, 중앙 지지기 시 힘 발현시각, 최대 추진력 발현시각, 최대 수직 토크의 발현시각 등 힘 발현 시각 요소들이 모두 클로즈 그랩 출발동작을 사용했을 때가 트랙 출발동작을 사용했을 때보다 유의한 차이는 아니지만 빠른 것으로 나타나고 있어 힘 발현 시각의 측면에서는 클로즈 그랩 출발동작이 다른 두 출발동작에 비해 보다 효율적인 것으로 생각된다. 특히 상이한 출발동작 시에 발현된 힘의 크기는 최대 추진력이 클로즈 및 오픈 그랩 출발동작의 사용 시가 트랙 출발동작의 사용 시에 비해 유의하게 크게 나타났으며, 최대 제동력, 중앙 지지기 시의 힘, 최대 수직 토크의 요인은 클로즈 및 오픈 그랩 출발동작의 사용 시가 트랙 출발동작의 사용 시 보다 남·여 선수 모두에게서 유의한 차이는 아니지만 작게 나타고 있음은 클로즈 및 오픈 그랩 출발동작이 힘을 효율적으로 사용함을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

상이한 출발동작 시에 나타난 전·후 방향에서의 압력중심의 이동거리는 클로즈 및 오픈 출발동작의 사용 시가 트랙 출발동작의 사용 시에 비해 유의하게 크게 나타났는데, 이는 류재청(2001)의 국가대표급 남자 수영선수들이 출발대 위에서의 준비자세에서 발앞꿈치의 이지까지 신체중심의 진행방향의 변위가 플랫유형(그랩 출발동작)이 유의한 차이는 아니지만 평균 51.28cm로 폴드유형의 평균 31.56cm 보다 크게 나타난 것과 동일한 경향을 보인 것이다. 그리고 좌·우 방향에서의 압

력중심의 이동거리는 클로즈 및 오픈 출발동작의 사용 시가 트랙 출발동작을 사용 시에 비해 작게 나타났다.

이러한 출발동작 시에 나타난 신체의 압력중심의 이동거리의 차이는 상이한 출발동작의 사용에 따른 기저면의 크기와 형태 차이에 의한 것으로 사료되었다. 그렇지만 전체 압력 중심의 이동거리가 남·여 선수 모두 클로스 그랩 출발동작 때가 가장 짧은 것으로 나타나 클로스 그랩 출발동작 시에 신체의 이동이 보다 효율적임을 알 수 있었다. 그러나 신체의 압력 중심의 이동 속도는 상이한 출발동작별로 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 보아 전체적으로 신체의 압력 중심의 이동요인으로는 어떤 출발동작이 효율적인가를 명확히 밝힐 수 없었다.

한편 이 연구에서는 최대 제동력, 중앙 지지기 시의 힘, 최대 추진력, 평균 수직 토크 요인들은 남·여 선수들 간에 서로 다른 경향성을 보였으며, 최대 제동력의 발현시각, 중앙 지지기 시 힘 발현시각에서 오픈 그랩 스타 시가 가장 늦은 것으로 나타났는데 이의 원인에 대해서는 이 연구에서는 명확히 규명할 수 없었다. Juergens(1994)가 트랙 출발동작은 그랩 출발동작보다 수평방향의 추진력, 평균 수평방향으로의 힘, 체공시 수평속도와 입수전 블록으로 부터의 수평거리가 우세하고, 그랩 출발동작은 수직방향으로의 추진력과 수직방향의 속도, 입수전 까지의 블록으로부터의 위치, 블록으로부터의 출발시간, 속도 등이 트랙 출발동작보다 우세하다고 밝힌 바와 같이 이 연구에서도 최대 추진력과 최대 제동력 발현시각 등의 요인에서 클로즈 그랩 출발동작이 트랙 출발동작과 유의한 차이를 보이기는 하나 대부분의 요인에서 유의한 차이가 나타나지 않아 어떤 출발동작이 보다 효과적인지를 명확히 밝힐 수 없었다.

V. 결 론

이 연구에서는 수영 출발동작 시 발휘되는 지면반력을 분석하여 어떤 출발동작이 효율적인가를 밝히고자 선수들이 경기 시 사용하는 오픈 그랩 출발동작, 클로즈 그랩 출발동작, 트랙 출발동작 별 지면반력 요인들을 남·여별로 측정, 분석하였다. 이 연구를 위해 7년 이상의 선수경력을 가진 남자 고등학교 수영선수 9명과 여자 고등학교 수영선수 8명을 피험자로 선정하였으며, 이들을 대상으로 상이한 수영 출발동작에 따라 나타나는 지면반력 요인인 접지시간, 최대 제동력과 이의 발현시각, 중앙 지지기의 힘과 발현시각, 최대 추진력과 발현시각, 최대 수직 토크와 발현시각, 평균 수직 토크, 신체 압력 중심의 전·후, 좌·우 축에서의 이동거리와 이동속도를 측정하였다. 수집된 자료는 출발동작 별 지면반력의 차이를 규명하기 위해 반복측정에 의한 일원변량분석 방법을 이용하여 검증하였으며, 이때 유의한 결과가 있는 경우에는 Turkey의 방법에 의한 사후 검증을 실시하였다. 이 모든 경우에서 유의수준은 α = .05로 하였으며, 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 남자 선수들의 경우 최대 제동력 발현시각, 중앙 지지기의 힘, 최대 추진력, 최대 수직 토크와 이의 발현시각, 신체 압력 중심의 전·후 축에서의 이동거리와 이동속도 요인이 클로즈 그랩 출발동작 시가 다른 출발 방법에 비해 현저히 빠르고 크게 나타났다.

2. 여자 선수들의 경우 신체 압력 중심의 전·후 축에서의 이동거리 요인이 클로즈 그랩 출발동작 시가 다른 출발 방법에 비해 현저히 크게 나타났다.

3. 전체적으로 이 연구에서 측정한 지면반력 요인만으로는 어떤 출발동작이 효율적인가는 명확하게 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

김연정, 조병준, 이민형(1998). 수영에서 그랩과 트랙 출발동작의 역학적 비교 분석. **제36회 한국체육학회 학술발표회 발표논문집**. 613-619.

김석범(2003). **수영 출발동작 유형별 지면반력 비교**. 미간행 석사학위논문. 인천대학교 대학원.

류재청(2001). 경영 그랩 출발법의 플랫과 풀드 유형의 운동학적 비교분석. **한국사회체육학회지**. 16. 341-354.

정철수, 이병두, 육현철, 이웅기, 김현준, 은선덕, 이영석, 김용운(2003). 50m, 100m, 200m 수영 자유형 종목의 경기분석. **한국체육학회지**. 42(4). 729-737.

황용출(2006). **수영 출발동작의 운동학적 분석**. 미간행 석사학위논문. 인천대학교 대학원.

허유미(1998). **자유형 출발동작 유형에 따른 운동학적 변인의 비교분석.** 미간행 석사학위논문. 이화여자대학교 대학원.

Allen, D.M.(1997) *A kinetic and kinematic comparison of the start and ttack start in swimming.* Unpublished Master's thesis, University of Wisconsin-La Crosse.

Bowers. J. A., & Cavanagh, P. R.(1975). *A biomechanical comparison of the grab and conentional sprint starts in competitve swimming.* In Clarys, J. P. and Lewillie L.(Eds.), Swimming Ⅱ. Baltimore: University Park Press, 43-45, 225-232..

Cavanagh, P. R., Palmgren, J. V., and Kerr, B. A.(1975). *A device to measure forces at the during the grab start.* In Clarys, J.P. and Lewillie, L.(Eds), Swimming Ⅱ. Baltimore: University Park Press.

Fitzgerald, J.(1973). The track start in swimming. *Swimming Technique*, 10(3). 89-94.

Guimaraes, A.C.S., and Hay, J.G.(1985). A Mechanical Analysis of the Grab Starting Technique in Swimming. *International of Sport biomechanics*, 25-35.

Hay, J. B. and Reid, J. G.(1982). *The anatomical and mechanical basis of human motion.* Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall.

Hay, J. B.(1985). *The biomechanics of sports techniques.* Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall.

Jorgenson, L. W.(1971). *A cinematographical and descriptive comparison of three selscted freestyle racing starts in competitive swimming.* Doctoral dissertation, Louisiana state university.

Jorgenson, L. W.(1994). **자유형 출발동작 유형에 따른 운동학적 변인의 비교분석.** 미간행 석사학위논문. 이화여자대학교 대학원(허유미, 1998)에서 재인용.

Maglischo, E.W.(1993). *Swimming Even Faster, Mountain View,* CA: Mayfield publishing Company. 544-566.

Thorsen, E. A.(1974). A Kinematic analysis of World-class Crawl stroke swimmers. *Biomechanics*, 4. 87-94.

투 고 일 : 7월 27일
심 사 일 : 8월 6일
심사완료일 : 9월 5일