

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1^{1/2} 회전 동작의 운동역학적 분석

전경규¹

¹인천대학교 예술체육대학 스포츠과학연구소

A Kinetics Analysis of Forward 1^{1/2} Somersault on the Platform Diving

Kyoung-Kyu Jeon¹

¹Sports Science Institute, College of Arts and Physical Education, Incheon National University, Incheon, Korea
Received 29 July 2013; Received in revised form 5 September 2013; Accepted 13 September 2013

ABSTRACT

This study was to perform the kinetic analysis of forward 1^{1/2} somersault on the platform diving. Six men's diving players of the Korea national reserve athletes participated in this study. The variables were analyzed response time, velocity, center of mass (COM), angle, center of pressure (COP) and ground reaction force (GRF) of motion. For measure and analysis of this study, used to synchronized to 4 camcorder and 1 force plate, used to the Kwon3D XP (Ver. 4.0, Visol, Korea) and Kwon GRF (Ver. 2.0, Visol, Korea) for analyzed of variables. The results were as follows; Time factor were observed in maximum knee flexion depending on the extent of use at phase 1 of take-off to execute the somersault. This enabled the subject to secure the highest possible body position in space at the moment of jumping to execute the somersault and prepare for the entry into the water with more ease. Regarding the displacement of COM, all subjects showed rightward movement in the lateral displacement during technical execution. Changes in forward and downward movements were observed in the horizontal and vertical displacements, respectively. In terms of angular shift, the shoulder joint angle tended to decrease on average, and the elbow joints showed gradually increasing angles. This finding can be explained by the shift of the coordinate points of body segments around the rotational axis in order to execute the half-bending movement that can be implemented by pulling the lower limb segments toward the trunk using the upper limb segments. The hip joint angles gradually decreased; this accelerated the rotational movement by narrowing the distance to the trunk. Movement-specific shifts in the COP occurred in the front of and vertical directions. Regarding the changes in GRF, which is influenced by the strong compressive load exerted by the supporting feet, efficient aerial movements were executed through a vertical jump, with no energy lost to the lateral GRF.

Keywords : Platform Diving, Somersault, Pike, Kinetic Analysis.

I. 서 론

다이빙은 크게 플랫폼(platform)과 스프링보드(spring-board)로 구분되며, 도약(take-off)과 회전구간을 포함한 공중동작(flight) 그리고 입수(entry) 등의 일련의 연속적인 동작에서 기술적인 요소를 구사하고 동작을 표현하여 경쟁하는 종목이다(Lee, 2006). 이러한 다이빙 경기의 기술동

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-35C-2011-2-00286).
Corresponding Author: Kyoung-Kyu Jeon
Sport Science Institute, College of Arts and Physical Education, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea. Tel : +82-32-835-4666 / Fax : +82-32-835-0788
E-mail: jeonkay@gmail.com

작은 회전방향을 의미하며, 이는 각각 앞으로 서서 앞으로 들어가는 포워드(forward)와 뒤로 서서 뒤로 들어가는 백(back), 앞으로 서서 뒤로 들어가는 리버스(reverse), 뒤로 서서 앞으로 들어가는 인워드(inward), 비틀림 동작이 표현되는 트위스트(twist) 그리고 물구나무 자세로 시작하는 암스탠드(armstand)의 6개 그룹으로 나뉘어져 있다(Korea Institute of Sport Science [KISS], 2011). 플랫폼 다이빙은 고정되어 있는 보드 위에서 반작용력 없이 자신의 신체적 능력으로 모든 동작을 수행해야 하며, 짧은 순간에 연기가 이루어지기 때문에 순간적인 판단력과 균형력, 순발력, 공중감각 등이 필요한 경기이다(Kang, 2010; Kang & Nam, 2010).

다이빙 경기의 기본적인 기술은 시작 자세(starting position)와 진입 및 도약 동작, 공중 동작 그리고 입수 동작으로 구분할 수 있다. 시작자세는 성공적인 다이빙 동작을 수행하기 위해 높이와 거리 그리고 회전 등이 결정되는 중요한 요소이기 때문에 불안정한 자세는 높이와 회전을 감소시켜 경기력을 저하시킬 수 있다. 그리고 다이빙의 진입 및 도약구간은 도약에 필요한 균형과 조절, 신체의 역학적 움직임과 그에 따른 지각능력 등의 수행을 용이하게 할 수 있도록 한다(KISS, 2011). 공중 동작은 펴기(straight)의 A형, 반 구부리기(pike)의 B형, 완전 구부리기(tuck)의 C형, 자유형(free)의 D형의 4가지 동작으로 구분할 수 있으며(Korea Swimming Federation [KSF], 2013), 이러한 형태는 다이빙에 있어 자세와 회전을 결정하는 중요한 패턴이 된다. 입수 동작은 다이빙의 모든 동작을 완성하는 단계로 몸 펴기(come-out), 손과 팔을 뻗는 자세, 시선, 입수각도 등에서 신체정렬과 안정성의 측면을 고려하여 꾸준히 연습하여야 한다.

플랫폼 다이빙에서 방법과 형태에 따른 동작을 수행하기 위해서 공중돌기나 비틀기 등을 실행하는데 충분한 회전 모멘트와 회전에 필요한 시간과 높이를 확보하고 안전한 기술을 완수해야 하며(Miller, Jones, Pizzimenti, Hennig, & Nelson, 1990), 플랫폼에서 도약 시 첫 번째 회전을 위해 상체각을 변화시켜 각속도를 증가시킬 수 있다고 보고하였다(Miller, Jones, Pizzimenti, Hennig, & Nelson, 1989). 시작자세에서의 높이와 거리, 회전 등의 요소와 도약 높이에 따른 회전의 증가에 따라 각운동량이 증가하며(Jung & Kang, 1996), 지면에서부터 공중으로 충분히 도약하기 위해 지면과 선수의 고관절과 무릎관절이 적절히 굴곡되는 형태를 취할 때, 중심면을 공중으로 원활하게 상승시킬 수 있다고 보고하였다(Sanders & Wilson, 1998). 또한, 시작자세와 진입 및 도약동작의 중요성에 대한 연구에서 Lee (2006)는 뒤로 서서 앞으로 뛰는 동작에 대한 운동학적 분석을 통해 짧은 수평거리와 높은 수직거리를 확보하는 것이 기술적인 표현의 완성도가 향상될 수

있으며, McCormick, Subbaiah, & Arnold (1982)은 다이빙 선수가 도약 시 얻은 높이는 동작수행에 결정적인 역할을 한다고 보고하였다.

스포츠 기술에 대한 역학적 연구에서 Sanders와 Gibson (2000)은 다이빙 선수들을 대상으로 수직축과 좌우축 그리고 전후축의 회전을 분석한 결과, 회전은 이륙과 공중에서 시작되어 동작을 수행하는 형태를 보인다고 하였으며, 트위스트 동작을 제외한 복합회전의 각운동량에 대한 연구에서 다이빙 공중동작에서 회전수의 증가에 따라 수직속도가 감소하였으며, 도약 시 지면에 최대한의 반작용력을 가하게 되지만, 이는 종목의 난이도와는 관계없이 거의 일정한 형태를 보이며 도약 시 신체의 기울기를 변화시켜 각속도를 증가시킨다고 보고하였다(Miller et al., 1989, 1990). 다이빙에 관한 국내의 선행연구들은 공중동작을 중심의 기술유형으로 살펴보면, 포워드 다이빙(Kim & Moon, 2003; Lee, 1995)과 백워드 다이빙(Kim, 2003; Lee, 2008), 리버스 다이빙(Kang, 2010; Lee, 2006; Jeon, 2004; Hue & Nam, 2012), 인워드 다이빙 그리고 암스탠스 다이빙(Lee, So, & Lim, 2006) 등의 연구가 진행되었다. 이와 같이 다이빙 동작은 시작자세에서부터 도약 시의 회전과 밀접한 관계가 있으며 경기력 향상을 위해서 스포츠 과학적 연구접근이 요구된다. 지도자의 경험적 지식도 중요하지만, 체력과 신체적 요인뿐만 아니라 기술과 동작을 위한 분석이 체계적으로 이루어져야 한다. 이러한 연구들을 참고하여 지도자나 선수들이 참고할 만한 자료와 경기력 향상에 도움을 줄 수 있도록 시작자세와 도약 그리고 공중회전 동작 등의 기술수행에 도움을 줄 수 있는 운동역학적인 연구가 필요하다. 그러나 다이빙과 관련된 국내의 선행연구들은 운동학적인 요인들을 중심으로 연구가 이루어져 있고 지면반력을 활용한 역학적인 복합연구는 단지 몇 편만 보고되고 있는 실정이다.

따라서 이 연구는 국가대표 남자후보선수 6명을 대상으로 플랫폼 다이빙의 기본동작인 앞으로 서서 앞으로 1 $\frac{1}{2}$ 회전동작에 대한 선행연구의 미흡한 부분을 보완하고 동작의 과학적인 원리 규명과 최적의 경기력 발휘를 위한 효율성에 접근할 수 있도록 역학적 접근을 통해 보다 향상된 난이도 기술동작 수행에 기여하기 위한 유용한 자료로 활용하는데 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

이 연구는 남자 다이빙 국가대표 상비군 훈련 평가전 중 감독과 선수로부터 기술향상 등을 목적으로 연구동의를 받은 6명을 대상으로 하였으며, 실험 전 대상자들에게 연구

Table 1. General characteristic and score of the subjects

Subject	Age (yrs.)	Height (m)	Weight (kg)	Career (yrs.)	Score (point)					Total [†] (point)
					1	2	3	4	5	
S 1	18	1.75	61	8	7.5	8	8	8	8	24
S 2	15	1.60	46	6	7.5	7	7	7	7	21
S 3	17	1.62	53	4	7	7	7	7	6.5	21
S 4	19	1.73	68	6	7.5	7.5	8	8	7.5	23
S 5	17	1.75	77	7	6	6	5.5	5.5	5	17
S 6	17	1.75	65	7	5	5	5	5	5	15
M±SD	17.17±1.33	1.70±0.07	61.67±11.02	6.33±1.37	6.75±1.04	6.75±1.25	6.75±1.25	6.75±1.25	6.50±1.26	20.17±3.49

Values are Mean±SD, †: Except the lowest and highest scores.

의 목적과 절차에 대해 설명한 후 실시하였다. 이에 따른 연구 대상자의 일반적 특성 및 판정점수는 <Table 1>과 같다.

2. 실험 장비 및 절차

이 연구인 플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전 동작을 촬영하기 위하여 다이빙 보드와 동작이 이루어지는 면을 완전히 촬영할 수 있도록 중심으로 좌우측면에 각각 2대씩 총 4대의 비디오 캠코더(DSR-PD170, Sony, Japan)를 설치하였으며, 촬영속도와 셔터속도는 각각 60 frames/sec와 1/500 sec로 하였다. 실험 전 3차원의 공간좌표 설정을 위해 준비 자세에서부터 1½ 회전동작 후 입수를 준비하는 시점까지의 동작을 포함할 수 있도록 통제점들(Visol, Korea)을 1×2×3 m의 ‘ㄱ’자 형태로 <Figure 1>과 같이 1분간 촬영 후 제거하였다. 또한, 도약 시 발생하는 역학적 변인획득을 위해 지면반력기(OR-6-7, AMTI, USA) 1대를 다이빙 보드 의 끝에 위치시켰다. 이때, 선수의 경기력에 방해가 되지 않도록 실험장소인 G시 실내수영장 다이빙 풀의 플랫폼 다이빙 보드에 설치된 동일한 재질의 고무패드를 지면반력기 위에 고정하여 설치하였다. 각각의 채널에서 발생할 수 있는 신호를 증폭하기 위해 mini amplifier (Visol, Korea)를 게인 4,000으로 설정하였다. 증폭된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변화시키기 위해 A/D synch box (Visol, Korea)를 1,000 Hz의 샘플링 주파수로 설정하였다. 측정변인의 자료획득을 위해 전역좌표는 피험자가 운동하는 방향을 Y축, 좌우방향을 X축, 지면에 대한 수직방향을 Z축으로 설정하였다.

일반적으로 국제수영연맹(Federation Internationale de Natation [FINA])에서 주관하는 플랫폼 다이빙 경기는 10 m에서 실시하지만, 국내의 경우 전국체육대회를 제외한 다른 대회는 5, 7.5, 10 m의 높이를 선택하여 경기에 참가한



Figure 1. Arrangement of the control object

다(KSF, 2013). 따라서 이 연구는 선행연구에서 사용되지 않은 지면반력기 위에서 동작이 이루어지기 때문에 선수와 장비의 안전을 고려하여 5 m에서 실시하였다. 이후, 선수들의 경기력과 연구 장비의 흔들림 및 미끌어짐 등을 확인하기 위하여 준비운동과 충분한 연습을 하도록 권고하였다. 피험자들은 개인당 총 5회의 다이빙을 실시하였으며, 기술수행의 정확한 판정을 위해 각 다이빙 당 10점 만점을 기준으로 하여 심판 자격을 가진 3명의 판정을 점수화하였다.

3. 이벤트 및 국면 설정

이 연구에서 플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전동작에 대한 이벤트와 국면을 <Figure 2>와 같이 설정하였다.

E1은 도약하기 위해 무릎 관절이 최대로 굴곡한 시점

E2는 지면반력기에서 발이 이지하기 직전 시점

E3은 신체의 무게중심이 가장 높은 시점

E4는 상체가 회전하여 지면과 수직인 시점

E5는 1½ 회전 동작 완료 후 입수를 위해 준비를 시작한 시점으로 구분하였다.

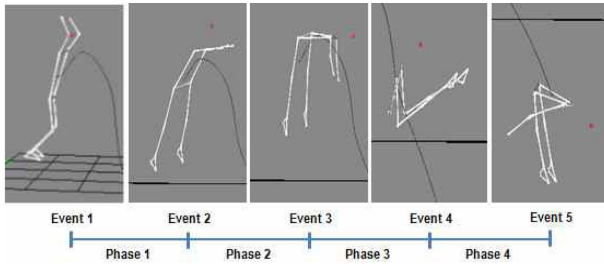


Figure 2. Settings of the event and phase

국면은 이벤트를 기준으로 P1은 E1에서부터 E2까지, P2는 E2에서부터 E3까지, P3은 E3에서부터 E4까지, 그리고 P4는 E4에서부터 E5까지로 구분하였다.

4. 자료 처리

이 연구의 자료처리는 동작의 기술요인에 대해 동작분석 (Kwon3D XP, Ver. 4.0, Visol, Korea)과 지면반력분석 (KwonGRF, Ver. 2.0, Visol, Korea) 프로그램을 사용하였다. 자료는 캘리브레이션에서 활용한 41개의 통제점들을 이용하여 실제 공간좌표를 획득한 후 인체의 3차원 좌표를 산출하였다. 인체의 모델을 강체시스템으로 정의하고, 전체 무게중심 및 각 분절의 무게중심 위치를 계산하기 위하여 인체분절 모수치(body segment parameters)를 구하였다 (Chandler, Clauser, McConville, Reynolds, & Young, 1975).

디지털이징 오차와 노이즈를 제거하기 위해 Butterworth 저역필터(low pass filter)를 활용하여 원자료를 필터링 하였다. 이때 차단주파수는 6 Hz로 설정하고 각각의 디지털 캠코더로부터 얻은 2차원 좌표는 3차 스플라인 함수에 의한 보간법을 이용하여 동조하였다. 3차원 좌표계산은 Abdel-Aziz와 Karara (1971)의 DLT (Direct Linear Transformation)방식을 이용하여 분석하였다.

자료의 산출은 소요시간과 신체중심 변화에 대한 운동학적 요인과 입력중심 및 지면반력 변화에 대한 운동역학적 요인으로 나누어 분석하였다. 또한 지면반력 요인은 다이빙 도약 시 무릎의 최대 굴곡과 공중동작 기술수행을 위해 발이 지면반력기에서 이지하기 직전 지면에 가해지는 전후(F_y), 좌우(F_x), 수직(F_z) 최대 지면반력값을 분석하였으며, 각 선수들의 체중 값으로 나누어 표준화하였다.

5. 통계 처리

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 $1\frac{1}{2}$ 회전동작의 운동학적 및 역학적 변인에 대한 분석은 SPSS 통계 프로그램 (Ver. 20.0, IBM, USA)을 이용하여 모든 변인에 대해 평균 및 표준편차를 구하였다.

Table 2. Response time (unit: sec)

Subject	P1	P2	P3	P4	Total
S1	0.12	0.12	0.53	0.22	0.99
S2	0.12	0.15	0.52	0.25	1.04
S3	0.12	0.13	0.45	0.23	0.93
S4	0.08	0.14	0.53	0.23	0.98
S5	0.08	0.18	0.55	0.18	0.99
S6	0.12	0.15	0.45	0.20	0.92
Total	.11±.02	.20±.14	.51±.04	.22±.02	.98±.04

Values are M±SD

III. 결 과

1. 시간 변화

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 $1\frac{1}{2}$ 회전동작의 국면별 전체 소요 시간은 <Table 2>와 같다. 이를 Phase별로 살펴보면 P1에서 평균 0.11 ± 0.02 sec, P2에서 평균 0.20 ± 0.14 sec, P3에서 평균 0.51 ± 0.04 sec, P4에서 평균 0.22 ± 0.02 sec으로 나타났고, Total은 평균 0.98 ± 0.04 sec로 나타났다.

2. 속도 변화

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 $1\frac{1}{2}$ 회전동작의 신체중심의 좌우, 전후, 수직적 속도변화에 대해 분석한 결과는 <Table 3>과 같다. 피험자들의 각 이벤트별 평균값을 살펴보면, E1의 좌우측에서 0.12 ± 0.36 m/s, 전후측은 0.45 ± 0.47 m/s, 수직측은 0.38 ± 1.07 m/s로 나타났으며, E2의 좌우측은 0.08 ± 0.14 m/s, 전후측은 1.16 ± 0.23 m/s, 수직측은 1.56 ± 0.31 m/s로 나타났다. E3의 좌우측은 0.03 ± 0.12 m/s, 전후측은 0.79 ± 0.25 m/s, 수직측은 0.03 ± 0.07 m/s로 나타났으며, E4의 좌우측은 1.31 ± 0.33 m/s, 전후측은 1.31 ± 0.33 m/s, 수직측은 -4.57 ± 0.38 m/s로 나타났다. E5에서 좌우측은 -0.20 ± 0.36 m/s, 전후측은 1.16 ± 0.20 m/s, 수직측은 -6.85 ± 0.56 m/s의 속도를 나타내었다.

3. 신체중심 변화

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 $1\frac{1}{2}$ 회전동작에 대한 신체중심의 변화에 대해 분석한 결과는 <Table 4>와 같다. 신체중심 변화의 좌우측(X)에서 양의 값(+)은 우측, 음의 값(-)은 좌측을 의미하고, 전후측(Y)에서 양의 값(+)은 진행방향, 음의 값(-)은 진행 반대방향을 의미한다. 그리고 수직측(Z)의 양의 값(+)은 위쪽, 음의 값(-)은 아래쪽을 의미한다.

Table 3. Changes of the velocity

(unit: m/s)

	E1			E2			E3			E4			E5		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
S1	0.24	-0.38	0.18	0.31	1.55	1.60	0.01	1.27	0.11	0.40	1.90	-4.66	-0.83	1.52	-7.67
S2	-0.32	0.69	-0.23	0.11	1.10	1.67	0.21	0.70	0.05	0.01	0.96	-4.72	0.02	1.00	-9.6
S3	-0.19	0.16	-0.22	0.09	0.89	1.58	0.11	0.59	0.08	0.11	1.04	-4.04	0.19	1.08	-6.14
S4	0.33	0.91	1.45	0.11	1.27	1.49	-0.12	0.82	0.02	0.42	1.37	-4.82	-0.35	1.09	-7.18
S5	-0.01	0.72	1.92	-0.03	1.03	1.99	-0.06	0.71	-0.03	-0.08	1.23	-5.02	-0.04	1.04	-6.83
S6	0.66	0.58	-0.80	-0.09	1.09	1.03	0.01	0.65	-0.07	0.05	1.34	-4.18	-0.17	1.24	-6.30
Total	.12 ±.36	.45 ±.47	.38 ±1.07	.08 ±.14	1.16 ±.23	1.56 ±.31	.03 ±.12	.79 ±.25	.03 ±.07	.20 ±.19	1.31±.3 3	-4.57 ±.38	-0.20 ±.36	1.16 ±.20	-6.85 ±.56

Values are M±SD

Table 4. Changes of the center of mass position

(unit: m)

	E1			E2			E3			E4			E5		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
S1	0.49	1.34	1.18	0.51	1.46	1.34	0.52	1.65	1.46	0.59	2.30	0.31	0.64	2.87	-0.81
S2	0.36	1.12	1.09	0.36	1.24	1.22	0.37	1.39	1.37	0.42	1.82	0.15	0.45	2.26	-1.20
S3	0.43	1.27	1.12	0.42	1.34	1.25	0.43	1.47	1.38	0.45	1.77	0.48	0.49	2.15	-0.55
S4	0.44	1.15	1.166	0.45	1.24	1.30	0.46	1.39	1.40	0.42	1.84	0.23	0.45	2.29	-1.04
S5	0.44	1.15	1.21	0.44	1.17	1.27	0.40	1.39	1.50	0.38	1.87	0.15	0.37	2.17	-0.82
S6	0.41	1.18	1.21	0.42	1.28	1.27	0.43	1.49	1.34	0.44	1.86	0.41	0.45	2.27	-0.54
Total	0.43 ±0.04	1.20 ±0.09	1.16 ±0.05	0.43 ±0.05	1.29 ±0.10	1.28 ±0.04	0.43 ±0.05	1.46 ±0.10	1.41 ±0.06	0.45 ±0.07	1.90 ±0.20	0.29 ±0.14	0.48 ±0.09	2.33 ±0.03	-0.83 ±0.03

Values are M±SD

피해자들의 각 이벤트별 평균값을 살펴보면, E1의 좌우측에서 0.43 ± 0.04 m, 전후측은 1.20 ± 0.09 m, 수직측은 1.16 ± 0.05 m로 나타났다. E2의 좌우측은 0.43 ± 0.05 m, 전후측은 1.29 ± 0.10 m, 수직측은 1.28 ± 0.04 m로 나타났다. E3의 좌우측은 0.43 ± 0.05 m, 전후측은 1.46 ± 0.10 m, 수직측은 1.41 ± 0.06 m로 나타나 앞으로 서서 앞으로 1½ 다이빙 시의 최대수직점프높이를 나타내었다.

E4의 좌우측은 0.45 ± 0.07 m, 전후측은 1.90 ± 0.20 m, 수직측은 0.29 ± 0.41 m로 나타났으며, E5의 좌우측은 0.48 ± 0.09 m, 전후측은 2.33 ± 0.03 m, 수직측은 -0.83 ± 0.03 m로 나타났다.

4. 주요관절의 각도 변화

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전동작에 대한 어깨 및 팔꿈치, 엉덩이관절의 각도 변화에 대해 분석한 결과는 <Table 5>와 같다. 어깨관절의 각도 변화에 대해 6명의 선수들의 각 이벤트별 평균값을 살펴보면, E1의 우측에서 $149.75 \pm 8.99^\circ$ 를 나타냈었으며, 좌측에서는 $144.94 \pm 8.93^\circ$ 를 나타내었다. E2에서는 우측 $130.05 \pm 7.20^\circ$,

좌측 $130.08 \pm 7.36^\circ$, E3은 우측 $87.54 \pm 13.30^\circ$, 좌측 $90.42 \pm 14.34^\circ$, E4는 우측 $79.78 \pm 10.68^\circ$, 좌측 $64.14 \pm 12.76^\circ$, E5에서는 우측 $52.57 \pm 11.99^\circ$, 좌측 $45.75 \pm 14.53^\circ$ 를 각각 나타내었다. 팔꿈치관절의 각도 변화는 E1에서 우측에서 $98.46 \pm 23.22^\circ$ 를 나타내었으며, 좌측에서는 $93.90 \pm 13.13^\circ$ 를 나타내었다. E2에서는 우측 $162.01 \pm 12.31^\circ$, 좌측 $161.01 \pm 13.19^\circ$, E3은 우측 $144.04 \pm 22.92^\circ$, 좌측 $149.30 \pm 26.21^\circ$, E4는 우측 $167.99 \pm 10.01^\circ$, 좌측 $166.12 \pm 12.09^\circ$, E5에서는 우측 $156.48 \pm 12.17^\circ$ 로 나타났고, 좌측에서는 $157.68 \pm 12.69^\circ$ 를 각각 나타내었다. 그리고 6명 피해자들의 엉덩이관절의 각도 변화는 E1의 우측에서 $163.82 \pm 6.43^\circ$ 를 나타내었으며, 좌측에서는 $164.02 \pm 5.44^\circ$ 를 나타내었다. E2는 우측 $161.10 \pm 3.71^\circ$, 좌측 $156.40 \pm 5.65^\circ$, E3은 우측 $99.94 \pm 4.45^\circ$, 좌측 $92.94 \pm 1.25^\circ$, E4는 우측 $66.46 \pm 11.71^\circ$, 좌측 $65.13 \pm 13.28^\circ$, E5는 우측 $77.35 \pm 19.22^\circ$, 좌측에서는 $73.40 \pm 18.90^\circ$ 를 각각 나타내었다.

5. 압력중심 변화

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전동작에 대

Table 5. Changes of main angle joint

(unit: deg)

Subject	Angle joint	E1		E2		E3		E4		E5	
		R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
S1	Shoulder	152.42	140.88	132.75	121.97	88.28	95.24	62.14	46.08	32.94	39.77
	Elbow	84.62	87.14	174.45	169.01	165.32	171.01	172.74	171.06	155.88	150.73
	Hip	166.30	164.96	161.44	154.87	105.01	94.25	69.29	73.22	67.21	52.94
S2	Shoulder	154.68	159.18	126.17	129.39	84.42	67.53	73.15	64.25	48.67	46.24
	Elbow	100.29	110.49	172.58	169.78	154.97	171.60	170.70	169.15	155.94	160.03
	Hip	161.82	158.93	164.35	158.84	98.96	92.96	62.13	59.64	54.73	56.56
S3	Shoulder	152.19	140.93	137.05	127.01	87.76	88.11	86.87	79.15	52.90	67.34
	Elbow	86.83	103.24	166.44	168.47	163.71	164.33	148.21	142.04	142.90	137.06
	Hip	160.80	170.39	155.13	159.27	103.50	92.68	60.71	58.27	98.46	93.92
S4	Shoulder	151.47	136.84	133.94	139.23	108.22	109.62	91.06	77.71	68.69	45.58
	Elbow	140.04	144.13	164.96	168.88	108.46	103.68	170.10	174.12	168.58	174.45
	Hip	171.77	166.86	160.88	149.01	102.50	94.42	83.15	83.19	89.09	82.22
S5	Shoulder	131.74	138.96	133.15	138.79	66.57	98.29	85.92	62.09	52.49	52.38
	Elbow	104.92	95.71	145.88	137.21	147.50	148.46	176.51	173.38	172.04	159.73
	Hip	168.53	166.98	165.48	164.60	93.76	91.10	49.46	45.61	59.57	60.76
S6	Shoulder	156.01	152.83	117.27	124.12	90.02	83.72	79.56	55.54	60.03	23.17
	Elbow	74.05	72.68	147.76	154.32	124.29	136.75	169.66	166.94	143.56	164.12
	Hip	153.72	156.02	159.31	151.79	96.07	92.24	74.13	70.83	95.31	94.00
Total	Shoulder	149.75 ±8.99	144.94 ±8.93	130.05 ±7.20	130.08 ±7.36	87.54 ±13.30	90.42 ±14.34	79.78 ±10.68	64.14 ±12.76	52.57 ±11.99	45.75 ±14.53
	Elbow	98.46 ±23.22	93.90 ±13.13	162.01 ±12.31	161.01 ±13.19	144.04 ±22.92	149.30 ±26.21	167.99 ±10.01	166.12 ±12.09	156.48 ±12.17	157.68 ±12.69
	Hip	163.82 ±6.43	164.02 ±5.44	161.10 ±3.71	156.40 ±5.65	99.94 ±4.45	92.94 ±1.25	66.48 ±11.71	65.13 ±13.28	77.35 ±19.22	73.40 ±18.90

Values are M±SD

한 압력중심의 변화에 대해 분석한 결과는 <Table 6>과 같다. 압력중심 변화의 좌우축(X)에서 양의 값(+)은 우측, 음의 값(-)은 좌측을 의미하고, 전후축(Y)에서 양의 값은 진행방향, 음의 값(-)은 진행 반대방향을 의미한다. 압력중심 변화는 도약을 위해 무릎이 최대굴곡하여 지면반력기에서 발이 이지하기 직전까지이며, 이 구간에 대한 피험자들의 평균값은 X축에서 0.00±0.04 m, Y축에서 0.02±0.05 m로 나타났다.

6. 지면반력 변화

플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전동작 수행을 위해 피험자들의 도약 시 지면에 가해지는 좌우, 전후, 수직의 최대지면반력 변화에 대해 분석하였다. 또한 얻어진 최대지면반력 자료를 각 피험자들의 체중으로 나누어

Table 6. Changes of the center of pressure position(unit: m)

	COP (X)	COP (Y)
S 1	0.00	0.02
S 2	-0.05	0.03
S 3	-0.00	0.02
S 4	0.07	0.02
S 5	-0.02	0.01
S 6	0.04	0.02
M±SD	0.00±0.04	0.02±0.05

Values are M±SD

표준화한 결과는 <Table 7>과 같으며, 지면반력의 움직임은 질량중심 변화의 축 방향과 같다. 지면반력에 대한 피험자들의 평균값은 좌우축에서 -0.00±0.05 BW, 전후축은 0.50±0.14 BW, 수직축은 2.58±0.21 BW으로 나타났다.

Table 7. Average force at the takeoff(unit: BW)

	F _x	F _y	F _z
S 1	0.07	0.77	2.64
S 2	0.03	0.41	2.73
S 3	0.02	0.42	2.20
S 4	-0.06	0.46	2.56
S 5	-0.05	0.41	2.80
S 6	-0.02	0.53	2.53
M±SD	-0.00±0.05	0.50±0.14	2.58±0.21

Values are M±SD

IV. 논 의

다이빙과 체조 등의 경기에서 공중돌기 기술동작의 안정된 수행을 위해 도약구간에서 충분한 체공시간을 확보하는 것이 선행되어야 한다. 신체가 공중에 떠 있는 체공시간은 신체가 지면에서 릴리즈 되는 순간의 신체중심 속도와 높이 등에 의해 결정된다(Park, 2008). 다이빙에서의 모든 요소가 중요하지만, 플랫폼 다이빙은 상하 진동운동을 하는 탄성체를 이용한 스프링보드 다이빙과는 달리, 발로 보드를 밀어내는 힘과 방향에 의하여 수직속도가 결정되며, 이는 다이빙의 중요한 요소인 체공시간을 결정하게 된다. 플랫폼 다이빙 시 체공시간이 길수록 경기력에 영향을 주게 되어, 공중돌기의 회전수와 안정적인 동작을 효율적으로 행할 수 있게 된다고 하였다(Koschorreck, & Mombaur, 2009, 2012).

이 연구에서는 플랫폼에서 도약을 준비하여 1½ 회전이후 입수를 위해 오픈을 시작한 시점까지를 분석구간으로 설정하였다. 이때 대상자들의 기술동작 수행에 소요되는 시간은 평균 0.98±0.04 sec로 나타났으며, E5까지의 소요시간이 가장 길게 나타난 대상자(S2)는 1.04 sec였으며, 가장 짧은 소요시간을 나타낸 대상자(S6)는 0.92 sec로 나타났다. 도약을 위해 무릎을 최대굴곡하고 발이 다이빙 보드에서 이지하는 제1국면에서 평균적으로 0.11±0.02 sec의 소요시간을 나타내었는데 가장 짧은 소요시간을 보인 대상자(S5)는 0.08 sec로 나타났다. 이러한 상이한 시간적 특성은 첫 번째 회전이 이루어지는 신체중심의 최대정점과 도약 시 수직속도, 무릎관절의 사용정도 등이 이후 연결되는 공중돌기 동작의 난이도에 따라 달라질 수 있기 때문에 대상자들의 점프 습관으로 일반화시키기에는 문제가 있다고 사료된다. 이후 공중 회전동작이 이루어지는 제2국면에서부터 제4국면에서의 소요시간은 대상자 모두 각 국면의 평균과 유사하게 나타났다. 이 연구의 전체 분석시간에 대한 결과는 플랫폼 다이빙 Reverse 1½ 회전동작의 운동학적 분석(Jeon, 2004)에서 나타난 0.92±0.02 sec와 유사하게 나타났다.

공중돌기 동작의 안정된 연기를 위해서는 도약을 통한 충분한 체공시간을 확보하는 것이 필요하며, 이는 도약 시 신체중심의 수직속도와 높이에 의해 결정된다(Yoon & Min, 2009). 플랫폼 다이빙 시 가장 중요한 속도 변인은 수직속도의 변화이며, 이는 릴리즈의 수직속도에 의해 체공시간이 결정된다. 다이빙과 체조의 마루운동에서의 수직속도는 발구름 순간 도움닫기의 속도와 지면에 작용한 힘의 크기와 방향에 의해 결정된다(Park, 2008). 더욱이 플랫폼 다이빙의 앞으로 서서 앞으로 공중돌기 동작은 신체의 좌우 움직임의 최소화하여 투사시키기 위해 정적자세에서 빠른 동작자세로 전환이 요구된다. 좌우 움직임이 많은 자세는 일관되지 못한 회전과 동작으로 효율적인 동작을 저해하는 요인이 될 수 있을 것으로 판단된다. 순간적이고 폭발적인 수직속도는 신체중심의 변위에도 영향을 주게 되며, 이는 전반적인 경기력에 영향을 미칠 수 있을 것이다.

신체중심의 수직속도는 도움닫기를 하는 수평속도와 진행방향의 뒤쪽으로 발구름을 한 반작용력에 의하여 생긴 속도와와의 합성속도로서 발구름의 방향과 작용한 힘의 크기 그리고 속도에 의해 달라진다(Park, 2008). 이 연구의 수직속도 변화에서 공중돌기를 위해 도약하는 시점인 E2에서 평균 1.56±0.31 m/s로 나타났다. 이러한 결과는 Kang (2010)의 플랫폼 다이빙 종목 303B의 도약동작의 운동학적 분석의 1.99±0.06 m/s와 Kim (2003)의 1.70±0.50 m/s보다 빠른 수직속도를 나타내었다. 이러한 결과는 선행연구에서 나타난 경향과 일치하는 것이며, 이처럼 공중돌기를 위해 도약하는 시점의 수직속도가 빠르게 나타난 것은 도약 시 빠른 수직속도로 인해 높은 신체위치를 확보하고 여유 있는 동작 및 입수를 준비하는 것으로 사료된다. 공중돌기와 같은 회전운동에 대한 수평속도의 변화는 공중돌기를 위해 도약하는 시점인 E2에서 평균 1.16±0.23 m/s로 나타났다. 이후 신체의 중심이 가장 높은 시점인 E3에서 평균 0.79±0.25 m/s, 상체가 회전하여 지면과 수직인 시점인 E4에서 평균 1.31±0.33 m/s, 그리고 회전이후 입수를 위해 오픈을 시작한 E5에서 평균 1.16±0.20 m/s를 보였다. 이러한 결과는 Lee (2006)는 국가대표 다이빙 선수 3명을 대상으로 플랫폼 다이빙 뒤로 서서 앞으로 1½ 회전 동작의 운동학적 분석에서 나타난 수평속도에 유사한 경향을 나타내었다.

신체중심의 변화는 도약이후 회전이 이루어지는 중요한 요소이며, 이 연구에서 E1에서부터 E5까지의 시간동안 좌우 신체중심의 변위가 가장 많이 움직인 대상자는 S1이었다. 이러한 결과는 E1에서부터 도약을 위해 무릎을 최대굴곡하여 동작을 수행하기 때문에 이후 연속된 시점에서도 가장 많이 움직인 것으로 나타났다. 전후 변위에서도 S1의 신체중심이 가장 많이 움직인 것으로 나타났으며 무릎의 최대굴곡과 이지직전 발목의 저축굴곡의 영향으로 신

체의 무게중심점이 동작수행 시점동안 가장 많이 움직인 것으로 나타났다. 수직 변위에서는 각각의 시점마다 움직인 신체중심의 변위가 대상자에 따라 다르게 나타났는데, 이는 E1에서의 무릎 최대굴곡의 정도와 E2의 이지직전의 발목의 움직임에서도 영향을 받을 수 있다고 생각한다. 뿐만 아니라 E3에서 신체의 무게중심점이 가장 높은 시점에서의 상지와 하지 움직임에 따른 신체 무게중심의 변화, E4의 상체회전 시 신체중심의 궤적, E5의 입수를 위해 오픈을 시작하는 신체분절의 움직임에 영향을 받은 결과라고 생각된다. 이러한 결과는 플랫폼 다이빙 back pike 1½ 회전에 대해 보고한 Kim (2003)의 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 또한 2명의 국가대표 다이빙선수를 대상으로 실시한 플랫폼 다이빙 종목 205B 동작의 운동학적 분석(Lee, 2008)에서도 좋은 연기를 위해서 이지를 높게 하고 회전동작도 높은 위치에서 해야 입수 자세에서 유리하게 작용할 수 있다고 하였다. 동작 수행 시 수평거리보다 수직 거리를 높게 해서 보다 높은 위치에서 회전이 이루어지도록 해야 입수동작을 할 수 있기 때문에 완벽한 동작을 용이하게 하며, 대상자마다 가지고 있는 신장 및 체중 등의 신체적인 조건에 의해서도 달라질 수 있기 때문에 이는 당연한 결과라고 생각된다. 이러한 결과는 다이빙뿐만 아니라 공중회전 동작을 수행하는 많은 경기종목에서 나타날 수 있을 것이라 사료된다. 또한 신체중심의 좌우변화는 좌우지면반력의 성분에도 영향을 주게 되어 도약과 이지 시편측으로의 쏠림현상을 방지하는 효과적인 방법을 모색할 수 있을 것으로 판단된다.

몸통과 상완이 이루는 각도인 어깨관절과 상완과 전완이 이루는 팔꿈치관절의 각도 변화는 도약을 위해 무릎을 최대굴곡 하는 E1에서부터 1½ 회전이후 입수를 위해 오픈을 시작한 E5까지 어깨관절은 평균적으로 감소되는 경향을 보였으며, 팔꿈치관절은 점차 증가되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 국가대표 다이빙선수 3명을 대상으로 플랫폼 다이빙 뒤로 서서 앞으로 뛰기 1½ 회전동작의 운동학적 분석(Lee, 2006)의 결과와 동일하게 나타났다. 도약과 회전에서 상지관절의 움직임은 개인적인 습관이나 연기 등에 따라 자유롭게 변화할 수 있지만, 상지분절을 이용하여 하지분절을 몸통 쪽으로 끌어당겨야 만들어 낼 수 있는 반 구부리기(pike) 동작을 수행하기 위해서는 회전축을 중심으로 인체 분절이 위치하는 지점을 변화시키는 중요한 변인이라 할 수 있다. 또한 상지분절의 각도는 신체중심의 변화에도 영향을 미치는데 상지의 전체적인 각도가 보다 작게 나타난다는 의미는 상지분절을 이용하여 하지분절을 몸통의 회전축에 밀접하여 회전속도를 유지시킬 수 있다고 판단된다. 반면 상지분절의 전체적인 각도가 멀게 나타나는 결과는 충분하지 않은 도약이나 신체기울기 등의 원인으로 공중에서 반 구부리기 동작수행이 원활

히 이루어지지 못하였다고 판단된다. 몸통과 대퇴가 이루는 엉덩이관절의 각도 변화는 E1에서부터 E5까지 평균적으로 엉덩이관절은 점차 각도가 작아지는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 국가대표 후보선수 2명을 대상으로 실시한 플랫폼 다이빙 종목 303(B)의 도약동작의 운동학적 분석(Kang, 2010)의 결과에서처럼 높은 도약을 하기 위해서 신체를 최대한 구부렸다가 회전을 위해 상방향으로 신전시켜 이후 반 구부리기 자세의 특성상 몸통과 대퇴가 이루는 각이 작아야 신체 분절이 회전축의 중심에 가깝게 위치해 입수의 정확도를 높이기 위한 방법이라 판단된다. Hue & Nam(2012)은 초등학교 대표선수 6명을 대상으로 플랫폼 다이빙 Reverse dive(B) 동작의 운동학적 분석에서 하지분절의 각도는 E1과 E2는 도약에도 영향을 미치게 되는데 엉덩이관절의 각도가 적게 나타난 것은 도약높이를 높게 하여 충분한 입수 거리를 확보할 수 있었기에 플랫폼과 안전한 거리 확보를 위하여 상체의 중심을 앞으로 하였다고 하였다. 또한, 도약높이를 충분히 하지 못하였기 때문에 이후 연속되는 기술수행 시 입수의 정확도를 위해 상체중심을 뒤로하여 나타난 결과라고 보고하였으며, Lee (2006)는 도약하여 회전이 시작되는 구간에서 엉덩이관절의 각도가 크게 나타난 것은 신체를 수직에 가깝게 하여 높은 위치를 확보하려는 경향을 보인다고 하였다.

지면반력은 신체의 수평속도를 수직속도로 전환시켜 체공높이와 시간을 결정하는 중요한 요소이다. 이 연구의 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전동작은 지지하는 두 발의 지면반력의 변화에 따라 좌우될 수 있으며, 지면을 강하게 지지하여 얻은 작용력이 영향에 따라 나타난다. 다이빙 시 보드를 눌러 몸을 공중으로 상승시키는데 이때 보드를 누르는 힘의 크기와 방향에 따라 공중에서의 회전운동은 기술수행에 있어 큰 영향을 미치게 된다. 특히 수직방향은 신체를 상승시키는데 작용하는 힘이며, 수평방향은 신체에서 회전이 일어나도록 하는 힘으로 작용하기 때문에 수직 상승도 높게 하고 회전운동이 적절히 이루어지도록 하는 것이 중요한 역학적 이유이다(KISS, 2011). 즉, 다이빙 시 도약에 따른 공중돌기의 성패는 지면반력의 영향에 따라 달라질 수 있다고 사료되며, 이는 신체를 얼마나 회전축에 가깝게 하고 회전속도를 빠르게 하는데 있다고 할 수 있을 것이다.

Miller 등 (1989, 1990)은 뒤로 서서 뒤로 들어가는 백 동작과 앞으로 서서 뒤로 들어가는 리버스 동작을 5개의 이벤트로 구분하여 도약 시 지면반력기를 이용하여 분석하였다. 그 결과, 무릎을 최대굴곡 시켜 도약을 준비할 때 (E4) 엉덩이와 무릎, 발목을 빠르게 신전시켜 수직적으로 도약하게 되는데 이때 수직지면반력이 급격히 증가하여 평균 3.0-4.0 BW를 나타내었다고 하였으며, Hamill, Ricard, & Golden(1986)은 약 2.0-2.5 BW를 나타내었음을 보고하

였다. 이러한 결과에 대해 Jung & Shin (2005)은 도약의 수직속도를 형성하는 요인이 되며 하지와 상체, 상지운동 등의 복합적인 작용에 의해 발생한다고 하였다. 이러한 결과는 본 연구의 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전동작 시 수직지면반력의 변화에서도 평균 약 2.58±0.21 BW를 나타내어 선행연구의 연구결과 범위와 유사한 것으로 나타났다. 또한 피험자 개개인별로는 좌우의 지면반력 성분에서 다소 편측된 힘을 보였으나 좌우지면반력이 평균 -0.00±0.05 BW으로 나타나 기준점인 0에 가깝게 나타났다. 이는 도약을 준비하는 E1과 지면반력기에서 발이 이지하기 직전인 E2에 해당되는 P1에 해당되는 것으로, 이때 좌우로 손실되는 에너지량 없다는 것을 의미하는 결과이다. 다시 말해 도약 및 이지 시 손실된 에너지량이 없다는 것은 좌우의 움직임이 최소화되어 이후 효율적인 공중돌기의 회전 구간을 만들어낼 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

이 연구는 플랫폼 다이빙 앞으로 서서 앞으로 1½ 회전 동작 기술수행 시 운동학적 및 역학적 접근을 통해 동작의 과학적인 원리를 구성하고 최적의 경기력 발휘를 위한 효율성에 접근할 수 있도록 기여하고 기술향상에 유용한 자료로 활용하는데 목적이 있다. 이를 위해 국가대표 후보 선수 6명을 대상으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소요시간에 있어서 대상자 모두 큰 차이는 보이지 않았으나, 도약을 위한 무릎의 최대굴곡에서 공중돌기를 위해 발이 지면에서 이직한 제1구면에서 무릎의 사용정도에 따라 약간의 상이한 특성을 나타내었다.

2. 속도변화에 있어서 공중돌기를 위해 도약하는 시점의 수직속도가 빠르게 나타난 것은 도약 시 높은 신체위치를 확보하고 여유 있는 동작 및 입수를 준비할 수 있는 것으로 나타났다.

3. 신체중심의 변화에서 있어서 대상자 모두 동작의 기술수행이 이루어지는 좌우변위에서 우측의 움직임을 보였으며, 전후변위에서는 전방의 움직임 그리고 수직변위에서는 하방의 움직임 변화를 나타내었다.

4. 주요 관절각도의 변화에서 어깨관절은 평균적으로 감소되는 경향을 보였으며, 팔꿈치관절은 점차 증가되는 경향을 보였는데 이는 상지분절을 이용하여 하지분절을 몸통 쪽으로 끌어당겨야 만들어 낼 수 있는 반 구부리기 동작수행을 위해 회전축을 중심으로 인체 분절이 위치하는 지점을 변화시키는 것으로 나타났다. 엉덩이관절은 점차 각도가 작아지는 경향을 보여 체간과의 거리를 좁혀 빠른 회전을 하는 것으로 나타났다.

5. 압력중심의 변화에서 동작의 특성상 전방 및 수직 방

향의 중심변화가 나타내었다.

6. 지면반력의 변화에 있어서 지지하는 두 발이 지면을 강하게 지지하여 얻은 작용력에 의해 영향을 받게 되는데, 좌우지면반력의 에너지 손실 없이 수직적으로 도약하여 효율적인 공중돌기를 나타내었다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates in object-space coordinates in close range photogrammetry*. Proceedings of the ASP Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana: University of Illinois.
- Chandler, R. F., Clauser, C. E., McConville, J. T., Reynolds, H. M., & Young, J. W. (1975). *Investigation on inertial properties of the human body*. National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce.
- Hamill, J., Ricard, M. D., & Golden, D. M. (1986). Angular momentum in multiple rotation nontwisting platform dives. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 78-87.
- Hue, J., & Nam, S. W. (2012). A kinematic analysis of platform diving revers dive(B) movement. *Journal of Exercise and Sport Science*, 18, 69-80.
- Jeon, B. L. (2004). *A kinematics analysis of reverse duck 1½ somersault in platform dives*. Non-published Masters's degree, University of Suwon.
- Jung, C. J., & Kang, S. (1996). A analysis of angular momentum in forward 1½, 1½ rotation nontwisting platform dives. *The Korean Journal of Physical Education*, 37(2), 281-288.
- Jung, C. S., & Shin, I. S. (2005). *Introduction of sports biomechanics*. Seoul: Daehanmedia.
- Kang, M. K. (2010). *Kinematic analysis of 303(B) take-off in platform dives*. Non-published Masters's degree, Jeju National University.
- Kang, M. K., & Nam, S. W. (2010). Kinematic analysis of 303(B) take-off in platform dives. *Journal of Exercise and Sport Science*, 16, 41-50.
- Kim, H. S., & Moon, Y. J. (2003). The effect of springboard position variance on the forward dive pike(101B) flight height in diving. *The Korean Journal of Physical Education*, 42(6), 953-962.
- Kim, Y. J. (2003). *Kinematic element which influence back pike 1½ somersault in platform dives*. Non-published master's degree, Kongju National University.
- Korea Institute of Sport Science (2011). *Sports Leadership Training Guidebook-Diving*. Seoul: Korea Institute of Sport Science.
- Korea Swimming Federation (2013). *Rules of diving*. Seoul: Korea Swimming Federation.
- Koschorreck, J., & Mombaur, K. (2009). Optimisation of somersaults and twists in platform diving. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 12(S1), 157-159.
- Koschorreck, J., & Mombaur, K. (2012). Modeling and optimal control of human platform diving with somersaults and twists. *Optimization and Engineering*, 13, 29-56.
- Lee, J. H. (2006). A kinematics analysis of inward 1½ somersault in

- platform dives. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(1), 139-149.
- Lee, J. H. (2008). A kinematical analysis of 205B motion in platform diving. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(1), 53-62.
- Lee, J. H., So, J. M., & Lim, Y. T. (2006). A kinematics analysis of back armstand 2 somersault in platform dives a case study. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(4), 13-20.
- McCormick, J. H., Subbaiah, P., Arnold, H. J. (1982). A method for identification of some components of judging spring board diving. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53, 313-322.
- Miller, D. I., Jones, I. C., Pizzimenti, M. A., Hennig, E., & Nelson, R. C. (1989). Kinetic and Kinematic characteristics of 10-m platform performances of elite divers: I-Back takeoffs. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5, 60-88.
- Miller, D. I., Jones, I. C., Pizzimenti, M. A., Hennig, E., & Nelson, R. C. (1990). Kinetic and Kinematic characteristics of 10-m platform performances of elite divers: II-Reverse takeoffs. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 283-308.
- Park, S. S. (2008). Kinetics of somersault. *Sport Science*, 105, 57-62.
- Sanders, R. H., & Gibson, B. J. (2000). Technique and timing in the womens forward two and on half somersault pike and mens three and one half somersault pike 3m springboard dives. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(4), 434-448.
- Sanders, R. H., & Wilson, B. D. (1998). Factors contributing to maximum height of dives after takeoff from the 3m springboard. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3, 47-62.
- Yoon, C. S., & Min, A. Y. (2009). The kinematical analysis of yurchenko stretched at horse vaulting. *The Korean Society of Sports Science*, 20(1), 1123-1134.