

## 물에뛰여들기종목 종횡축회전결합동작(5253B)의 운동학적해석

주 광 명

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 현대체육기술발전추세에 맞게 우리 나라의 체육기술을 발전시켜 그 수준을 하루 빨리 세계적수준으로 끌어올려야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 335페이지)

선행연구[2]에서는 선수의 신체적특성량들을 측정하여 부위별 질량과 질량관성모멘트를 얻기 위한 방법을, 선행연구[3]에서는 인체의 회전을 분석하기 위하여 골격관절에서의 근육힘결정을 위한 모형을 작성하고 동력학적거꾸문제를 풀기 위한 한가지 수값모의방법을, 선행연구[4]에서는 공간에서의 충분한 회전을 보장하기 위한 방법을, 선행연구[1]에서는 횡축회전 동작에 대한 운동학적해석을 통하여 동작수행의 기본파라미터를 얻는 방법을 제기하였다.

론문에서는 5253B동작에 대한 운동학적해석을 통하여 종횡축회전결합동작의 기술지표들을 얻는 방법을 설명한다.

5253B동작은 우리 나라를 비롯하여 세계 많은 나라 선수들이 수행하는 기본동작의 하나로서 먼저 종축주위 1.5 회전을 수행하고 다음 횡축주위 2.5 회전을 새우형동작(B형동작)으로 수행해야 하는 동작이다. 이 동작은 크게 종축회전, 상-하체의 접기, 새우형자세에서의 회전, 상-하체퍼기, 입수로 구성된다. 그러므로 운동학적으로 볼 때 기본기술지표로서는 종축회전속도(종축회전하는 동안 종축주위질량관성모멘트가 변하지 않는다고 보고 종축주위운동량모멘트를 택할수도 있다.)와 횡축주위운동량모멘트, 상-하체접는 속도, 새우형동작을 수행할 때의 골반각의 크기, 상-하체퍼는 속도를 선택할수 있다.

운동학적모형화를 통하여 이 기본지표들간의 호상관계를 밝히기로 하자.

신체는 머리, 옷상체, 아래상체, 대퇴, 정강이, 발, 상박, 전박, 손의 9개 부분으로 나누었다.

종축 1.5회전을 수행하는 시간은  $t_{\text{종}} = 1.5 \times 2\pi / \omega_{\text{종}}$  이고 종축회전자세로 횡축회전을 동시에 하므로  $t_{\text{종}}$  동안에 질량중심을 지나는 횡축주위로의 회전각은 다음과 같다.

$$\psi_0 = L / I_{\text{횡}} \times t_{\text{종}} \quad (1)$$

여기서  $L$ 은 횡축주위운동량모멘트로서 리탈시각의 값은 동작수행전기간 보존된다.  $I_{\text{횡}}$ 은 횡축주위질량관성모멘트이다.

종축회전이 끝난 다음 상-하체접기동작으로 들어가는데

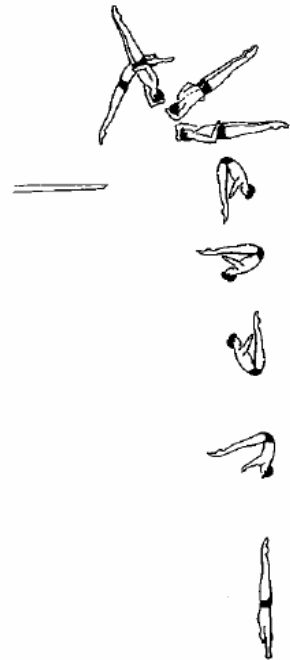


그림. 5253B동작

이 과정에 횡축주위질량관성모멘트가 변하게 된다.

분석을 통하여 접는 과정에 신체관절각들의 크기를 측정하고 이로부터 몸전체의 질량중심을 계산한다.

다음 질량중심을 지나는 횡축주위에서의 몸전체의 질량관성모멘트를  $I_{\text{중}} = \sum_i (I_{ci} + m_i d_i^2)$ 에 의하여 계산한다. 여기서  $i$ 는 신체부분의 번호,  $I_{ci}$ 는  $i$ 번째 신체부분의 자체질량중심을 지나는 횡축주위질량관성모멘트,  $m_i$ 는  $i$ 번째 신체부분의 질량,  $d_i$ 는 몸전체의 질량중심으로부터  $i$ 번째 신체부분의 질량중심까지의 거리이다.

$I_{\text{중}}$ 을 동작수행과정을 따라 계산하였으므로 그 과정의 골반관절각  $\varphi$ 와의 관계를 보면  $\varphi$ 의 변화범위안에서 두 량사이에는 선형관계가 근사하게 성립된다는것을 알수 있다. 즉  $I(\varphi) = a\varphi + b$ 의 형태로 나타낼수 있다. 여기서  $a, b$ 는 선수의 신체적특성에 따라 결정되는 상수로서 일의적으로 결정되며 선수마다 그 값이 다르다. 접기과정에 변화되는 몸전체의 질량관성모멘트를 고려하면서 횡축주위로 돌아간 각을 계산하면  $\psi_1 = \int_0^{t_1} \frac{L}{I[\varphi(t)]} dt$ 이다.

접기과정에 대하여 보기로 하자.

여러 선수들의 동작에 대한 촬영자료분석으로부터 접기동작의 대부분과정에서 골반각 변화와 시간사이에 근사하게 선형관계가 성립된다는것을 알수 있으며 이것은 접기속도가 일정하다고 볼수 있는 가능성을 준다. 순간적으로 작용하는 폭발적인 근육힘에 의하여 가속과정이 나타나기는 하지만 그 과정은 매우 짧은 시간동안에 진행되기때문에 가속과정의 골반각변화는 전체 접기과정의 골반각변화에 비하여 무시할수 있을 정도로 작다.

이로부터 접기과정을 근사하게 등속과정으로 볼수 있으며 이때 걸리는 시간은

$$t_1 = (\pi - \varphi_0) / \omega_{\text{접}}.$$

여기서  $\varphi_0$ 은 접기동작이 끝났을 때의 골반관절각 즉 회전과정의 골반관절각이다.

$$\text{그러면 } \psi_1 = \int_0^{t_1} \frac{L}{a(\pi - \omega_{\text{접}}t) + b} dt = -\frac{L}{a\omega_{\text{접}}} \ln \left| \frac{a\varphi_0 + b}{a\pi + b} \right| \text{가 성립된다.}$$

상-하체접기후 새우형자세에서의 회전은 횡축2회전이 끝날 때까지 진행되어야 하며 새우형자세로 돌아가는 전체각은  $\psi_2 = \frac{L}{I(\varphi_0)} t_2$ 이다.

마지막으로 퍼기과정에 대하여 보자.

퍼는 과정은 마지막 0.5 회전동안에 수행되어야 하며 접기과정에서와 같은 가정으로부터

$$\psi_3 = \int_0^{t_3} \frac{L}{I[\varphi(t)]} dt = \int_0^{t_3} \frac{L}{a(\varphi_0 + \omega_{\text{퍼}}t) + b} dt = \frac{L}{a\omega_{\text{퍼}}} \ln \left| \frac{a\pi + b}{a\varphi_0 + b} \right| \text{이다. 여기서 } t_3 = \frac{\pi - \varphi_0}{\omega_{\text{퍼}}}.$$

종축회전, 접기, 새우형동작을 통하여 횡축주위로 돌아가는 각이  $2 \times 2\pi$ 임을 고려하면

$$\psi_0 + \psi_1 + \psi_2 = 2 \times 2\pi \quad (2)$$

이고 퍼기과정에 0.5 회전을 한다는데로부터

$$\psi_3 = \pi. \quad (3)$$

전체 동작수행시간을  $t = t_{\text{중}} + t_1 + t_2 + t_3$ 으로 볼수 있으며 따라서

$$t_2 = t - t_{\text{종}} - t_1 - t_3 = t - (1.5 \times 2\pi) / \omega_{\text{종}} - (\pi - \varphi_0) / \omega_{\text{접}} - (\pi - \varphi_0) / \omega_{\text{꺾}}. \quad (4)$$

이 식을 식 (2), (3)에 넣고 정돈하면 다음의 운동학적관계식들을 얻을수 있다.

$$\frac{L}{I_{\text{횡}}} \frac{3\pi}{\omega_{\text{종}}} + \frac{L}{I(\varphi_0)} t_2 - \frac{L}{a\omega_{\text{접}}} \ln \left| \frac{a\varphi_0 + b}{a\pi + b} \right| = 2 \times 2\pi, \quad \frac{L}{a\omega_{\text{꺾}}} \ln \left| \frac{a\pi + b}{a\varphi_0 + b} \right| = \pi \quad (5)$$

이와 같이 물에뛰어들기동작의 종횡축회전결합동작에 대한 운동학적모형을 얻을수 있다.

우에서 본바와 같이 미지수( $L$ ,  $\omega_{\text{종}}$ ,  $\omega_{\text{접}}$ ,  $\varphi_0$ ,  $\omega_{\text{꺾}}$ )가 방정식의 수보다 많으며 풀이는 유일하게 결정되지 않는다. 이것은 한가지 동작에 대하여 수행방도는 여러가지라는 문제로 설명된다.

물에뛰어들기동작의 수행과정에는 선수가 육체적으로 수행하기 편리한 동작이나 자세가 있으며 수행하기 어렵거나 수행할수 없는 동작, 자세가 있다. 대표적으로 회전력형성과정에는 가장 합리적인 상-하체사이각이 있으며 새우형자세에서는 선수가 실제로 조성할수 있는 최소골반각이 있다. 그러므로 방정식에 미지수가 많은 경우에도 이러한 량들에 대하여 가정을 하여 풀이를 얻을수 있다.

우에서 얻은 운동학적모형을 통하여 어느 한 높은급 녀자선수의 기본기술지표를 얻자. 앞에서 본것과 같이 5개의 기본기술지표에 의하여 선수의 동작이 구성된다.

그중에서 새우형자세에서 상-하체사이 골반관절각은 최소로  $59^\circ$ 로 보장할수 있다.

또한 상-하체를 접는 동작과 펴는 동작은 공간에서 선수의 107B동작에서 익숙된 상태라는 점으로부터 각각  $8.2$ ,  $5.5\text{rad/s}$ 로 정할수 있다.[3] 다시말하여 107B동작에 익숙된 선수가 접는 속도와 펴는 속도에서 큰 변화가 없이 5253B동작을 수행할수 있게 운동량모멘트와 종축회전속도를 결정할수 있다.

식 (5)로부터 3개의 파라미터에 따르는 횡축주위운동량모멘트는  $44.5\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  이고 종축주위회전속도는  $12.7\text{rad/s}$  라는것을 알수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 주광명 등; 조선력학학회지, 9, 1, 37, 주체104(2015).
- [2] В. М. Запирский и др.; Биомеханика двигательного аппарата человека, Наука, 19~22, 1981.
- [3] W. Blajer et al.; Journal of Biomechanics, 1619, 34, 2011.
- [4] M. R Yeadon et al.; Journal of Biomechanics, 37, 471, 2004.

주체104(2015)년 12월 5일 원고접수

## On the Kinematical Analysis of Twist Diving(5253B)

Ju Kwang Myong

We analyzed the twist diving(5253B) kinematically and discussed a method to take main parameters according to physical characteristics.

Using this method, we can analyze arm-stand diving 6243D as well as 5253B and more reasonable training method can be obtained considering the relations between the different diving.

Key words: twist diving, kinematical analysis