

① 힘과 운동의 과학

인체에 작용하는 힘 · 운동 파악해 경기력 배가

글 | 권영후 _ 미국 텍사스주립 텍사스여자대학교 운동과학과 교수 ykwon@twu.edu

최 근 아마추어 및 프로 스포츠에서 큰 반향을 일으킨 획기적인 사건들이 몇 가지 있었다. 첫번째는 이안 소프라는 걸출한 스타를 앞세운 호주의 선전이 돋보였던 2000년 시드니 하계 올림픽 수영 종목에서의 '상어 인간' 들의 출현이다. 이 대회에서는 총 33명의 수영 금메달리스트 중 27명이 호주 국적의 스피도사가 상어 피부를 본떠 개발한 패스트스킨이라는 전신수영복을 착용해 눈길을 끌었다. 또한 이 대회에서 나온 14개의 세계 기록 중 11개가 패스트스킨 착용 선수들에 의해 작성되어 가히 상어 인간들의 전방위 침공이라 아니할 수 없다.

역학적인 경기력 결정요인을 과학으로 분석

두번째는 시드니 올림픽보다 2년 앞서 열린 1998년 나가노 동계 올림픽에서 일어난 사건이다. 우리 팬들에게는 쇼트트랙에서 김동성과 전이경, 그리고 여자 3,000m 계주팀이 금메달을 딴 대회로 기억되는 이 나가노 동계올림픽에서 처음으로 롱트랙 스케이팅에서 클랩 스케이트가 본격적으로 사용되어 큰 센세이션을 불러일으켰다. 네덜란드 스포츠과학자들이 개발한 클랩 스케이트는 전통적인 스케이트와는 달리 스케이트날이 경첩에 의해 부츠 앞부분에 연결되어 있어 부츠의 뒷부분은 스케이트 날로부터 떨어질 수 있는 구조를 가지고 있다. 1994년 릴레함메르 대회에서 1분51초29였던 남자 1천500m 세계기록이 나가노 올림픽에서 1분47초87로 약 4초 가까이 단축되었고, 남자 1만m 경우는 13분30초55에서 13분15초33으로 무려 15초가 단축되는 등 클랩 스케이트로 인해 롱트랙 기록이 혁신적으로 단축되었다. 특히 클랩 스케이트를 미처 받아들이지 못했거나, 받아들였다 하더라도 제대로 적응하지 못한 세계 정상급 선수들이 신예 선수들에 밀려 도태되는 현상이 나타

나기도 했다.

마지막으로 언급하고 싶은 사건은 최근 PGA 챔피언십에서 우승하며 자신의 시즌 5승이자 PGA 통산 59승을 달성한 '골프 황제' 타이거우즈가 일으킨 사건이다. 1997부터 2002년까지의 제1 전성기 이후에 잠시 슬럼프를 맞았던 그는 2004년 새 코치를 영입하면서 과감하게 스윙 스타일을 바꿨다. 그가 PGA 대회 40승을 선사한 부치 하먼식 스윙을 버리고, 헝크 하니의 소위 '온 플레인 스윙' 으로 스타일을 바꾼 후 이제 다시 제2의 전성기를 누리고 있는 것은 골프에 있어 일대 획기적인 사건이 아닐 수 없다. 스윙 스타일 교정 후 PGA 대회 20승 달성을 코앞에 두고 있는 그의 우승 행진이 슬럼프 없이 얼마나 지속될지가 골프 팬들에게는 큰 관심거리가 아닐 수 없다. 그가 저지른 이 사건으로 인해 최근 온플레인 스윙에 대한 관심이 한층 고조되고 있는데, 특히 헝크 하니의 거점인 텍사스에서는 온플레인 스윙이 아닌 다른 것은 찾아보기 어려울 정도다.

앞에서 언급한 세 사건들은 해당 스포츠에서 큰 반향을 일으켰다는 점 외에도 몇 가지 공통점이 있다. 첫째, 세 경우 모두 각 스포츠에서 가장 핵심이 되는 경기력 결정 요인에 주목하였다는 점을 들 수 있다. 전신수영복의 경우는 새로운 수영복 디자인으로 몸에 작용하는 물의 저항을 줄였고, 클랩 스케이트의 경우는 새로운 스케이트 디자인으로 추진을 방해하는 요소를 제거하였다. 골프에서는 공을 실수 없이 일관성 있게 쳐내는 스윙 기술이 무엇보다도 중요한데, 타이거 우즈는 치명적인 실수를 최대한 줄이고 일관성을 높이기 위해 자신의 스윙 스타일을 과감하게 바꿨다.

둘째, 저항, 추진력, 동작 기술 등과 같은 핵심 경기력 결정 요인들은 모두 역학적 현상으로, 스포츠과학의 한 분야인 운동역학에서 중점적으로 다루지는 문제들이라는 공통점을 가진다. '여러 가지

역학적 원리를 유기체, 유기체의 운동, 유기체에 작용하는 힘의 연구에 적용하는 분야를 생체역학이라 하는데, 일반 생체역학의 연구 대상이 인체뿐만 아니라 여타 유기체를 포함하는 매우 광범위한 것이기 때문에 특별히 그 적용 대상을 인체, 특히 스포츠·운동 관련 부분으로 국한시킨 것이 바로 운동역학이다. 운동역학에서는 스포츠나 운동과 관련하여 인체 내외에서 발생하는 모든 역학적 현상을 다룬다. 예를 들면, 골프 스윙처럼 동작 기술이 중요한 분야에서는 선수의 동작이나 운동 기술이, 상해 메커니즘의 이해나 상해 방지가 중요한 분야에서는 뼈, 근육, 인대, 관절 등과 같은 인체내 조직·기관들이 주관심사가 된다. 인체는 또 운동 과정에서 필연적으로 주변 환경이나 운동 장비와 접촉하고 힘을 주고받기 때문에, 전신수영복이나 클랩 스케이트의 경우처럼 스포츠 환경으로부터 받는 힘이나 장비의 운동 역시 연구 대상에 포함된다. 분석·연구 과정에 다양한 공학적 방법을 동원해야 하는 특성 때문에 운동역학은 여타 스포츠과학 분야에 비해 노동집약적이고 그 접근 과정도 상대적으로 복잡하지만, 상대적으로 응용폭이 넓다.

상어피부 본뜬 전신수영복으로 ‘형체항력’ 감소

물 속을 헤엄치는 선수의 몸에는 물로부터 표면항력과 형체항력이라는 두 종류의 저항이 작용하는데, 수영 경기력을 높이기 위해서는 우선적으로 이 저항을 줄여야 한다. 물과 몸 표면 사이의 마찰에 의해 발생하는 표면항력을 줄이기 위해서는 몸 표면을 매끄럽게

해야 하고, 몸 전후의 압력차 때문에 생기는 형체항력을 줄이기 위해서는 몸을 유선형으로 유지하여 물이 몸으로부터 분리되지 않고 몸 주위를 잘 흘러 지나가게 해야 한다. 그래서 1990년대 중반 이전의 운동역학 연구에서는 몸에 가해지는 물의 저항을 측정하고, 몸의 자세 교정을 통해 저항을 줄이는 것이 주요 관심사였다.

한편 호주 국적의 수영 장비 회사인 스피도는 1990년대 초반부터 수영복 디자인의 변경을 통해 물의 저항을 줄이는 프로젝트를 추진해왔는데, 1996년 애틀랜타 올림픽에서 선보인 아쿠아블레이드에서는 수영복 표면을 테플론으로 처리하는 등 주로 표면항력에 주목하였다. 반면 시드니 올림픽에서 큰 반향을 일으킨 패스트스킨은 형체항력에 주목하여 상어의 피부에서 발견되는 V자형의 돌기를 수영복 표면에 적용한 것이다. 스피도는 패스트스킨 개발을 위해 런던 자연사박물관의 어류 큐레이터 올리버 크리먼 박사를 영입하였고, 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 상어의 V자형 피부돌기가 몸 표면 근처를 지나는 경계층이 서로 섞이도록 난류를 발생시켜 물이 몸 표면에서 분리되지 않고 몸 주위를 잘 흘러 지나가게 하는 역할을 한다는 사실을 발견하였다. 스피도 연구팀은 일련의 실험을 통해 ‘상어 인간’에게 가장 적절한 피부돌기의 크기와 모양을 찾아냈고, 이를 흉내낸 직물 짜임새를 개발하여 패스트스킨에 사용하였다. 스피도에 의하면 패스트스킨이 일반 수영복에 비해 물의 저항을 약 7~8% 감소시키는 것으로 나타났다.

스피도는 또 2004년 아테네 올림픽에서 상어 피부돌기의 크기



시뮬레이션을 통해 계산된 미끄럼 동작 중의 저항 분포: 남자 선수(가), 여자 선수(나) (사진 출처: Barry Bixler 및 Speedo)

나, 모양, 거칠기가 몸 부위에 따라 다른 점에 착안하여 개발한 FS II를 선보였다. 경기 종목과 성별 등을 고려하여 몸 부위에 따라 거친 짜임새의 패스트스킨과 매끄러운 짜임새의 플렉스스킨을 전략적으로 배치한 FS II는 패스트스킨에 비해 물의 저항을 약 4% 정도 더 감소시키는 것으로 알려졌다. 결국 스피도는 애틀랜타 올림픽 이후 4년마다 새로운 개념의 수영복을 선보인 셈인데, 내년으로 다가온 2008년 베이징 올림픽에서는 어떤 상어 인간이 등장할지 기대된다.

스케이팅날에 경첩 달아 추진력·추진시간 증가

클랩 스케이팅이 보급되기 전의 전통적인 스피드 스케이팅에서는 발의 앞부분으로 얼음을 누르면 자칫 스케이팅 날이 얼음 속으로 파고 들어가 추진력을 잃거나, 심하면 중심을 잃고 넘어질 수도 있기 때문에 발뒤꿈치로 얼음을 밀어 추진하는 것이 정식으로 간주되어 왔다. 점프나 달리기처럼 발로 지면을 밀어 몸을 추진하는 동작에서는 발목을 적극적으로 사용하는 것이 매우 자연스럽고 바람직하지만, 스피드 스케이팅에서는 절대로 해서는 안 될 금기 사항이었던 것이다. 추진기 후반의 발목 사용을 막기 위해서는 정강이 근육을 사용하여 발목 운동을 억제하거나 무릎이 완전히 펴지기 전에 추진발을 얼음에서 떼야 하는데, 전자의 경우는 불필요하게 정강이 근육을 동원해야 하기 때문에 에너지가 낭비되고 근육의 피로가 발생하며, 후자의 경우는 추진력을 충분히 발휘하지 못하는 문제가 발생한다. 네덜란드 스포츠과학자들은 동작분석과 근전도분석을 통해 이러한 현상을 확인하였고, 그 해결책으로 클랩 스케이팅 디자인을 내놓았다.

클랩 스케이팅은 전통적인 스케이팅과 달리 부츠 앞부분에 경첩 구조를 가지고 있기 때문에 추진기 후반에 발목을 사용하면 부츠의 뒷부분이 날에서 떨어지면서 스케이팅 앞날이 얼음 속으로 파고 들어가는 것을 막아준다. 따라서 무릎을 완전히 펴면서 발목을 사용하는 추진이 가능해져 매 추진 사이클 동안 발휘되는 추진력이 증가하고 추진 시간도 길어진다. 스케이팅날과 부츠를 연결하는 스프링으로 인해 추진 후 스케이팅 날이 자동적으로 부츠 뒷부분과 다시 접촉하게 되는데, 이 때 나는 '찰칵' 소리 때문에 클랩 스케이팅이라 불리게 되었다. 엄밀한 의미에서 클랩 스케이팅은 역학적 원리보다는 운동역학적 원리, 즉, 인체의 동작 원리(다리를 이용하는 추진 동작)에 충실한 경우라고 할 수 있다.

전신수영복이 막대한 스폰서십을 통해 단기간에 신제품을 전면



자국 학자들에 의한 클랩 스케이팅의 발명을 기념하는 네덜란드 우표 (사진 출처: Vrije Universiteit Amsterdam)

보급한 산업주도형 장비 개발의 전형이라면 클랩 스케이팅은 스포츠과학자 주도형의 예라 할 수 있는데, 새로운 디자인의 장비를 사용하는 데서 오는 위험 부담 때문에 선수들이 전격적으로 받아들이기까지 10년 이상의 긴 시간이 소요되었다. 또 초기에는 효과가 큰 만큼 선수들의 거부 반응도 심해 독일의 군다 니만 같은 선수는 클랩 스케이팅을 불법화하여야 한다고 강력하게 주장하기도 했다.

타이거우즈, 스윙스타일 교정 제2의 전성기 구가

박세리 선수의 LPGA 진출 이후 참여 인구가 폭발적으로 늘고 있는 골프의 경기력은 타격된 공의 방향의 정확성과 비거리의 일관성에 의해 좌우된다. 공 방향과 비거리는 타격 순간의 클럽 헤드의 속도와 운동 방향, 클럽 면의 경사각 및 수평각 등의 함수인데, 경사각은 궤적의 높낮이를, 수평각과 클럽 운동 방향은 비행 방향과 구질(슬라이스 또는 훅)을, 클럽 헤드 속도와 클럽으로부터 공으로 전달되는 운동량은 비거리를 결정한다. 타격은 하향스윙과 후동작을 포함하는 전방스윙의 한 순간이므로 방향의 정확성과 비거리의 일관성은 결국 전방스윙을 정확하게 재현해내는 능력에 의해 결정

된다고 할 수 있다. 프로 골퍼들에게는 비거리의 일관성을 유지하는 것뿐만 아니라 비거리를 최대한 늘리는 것 또한 매우 중요한 문제다.

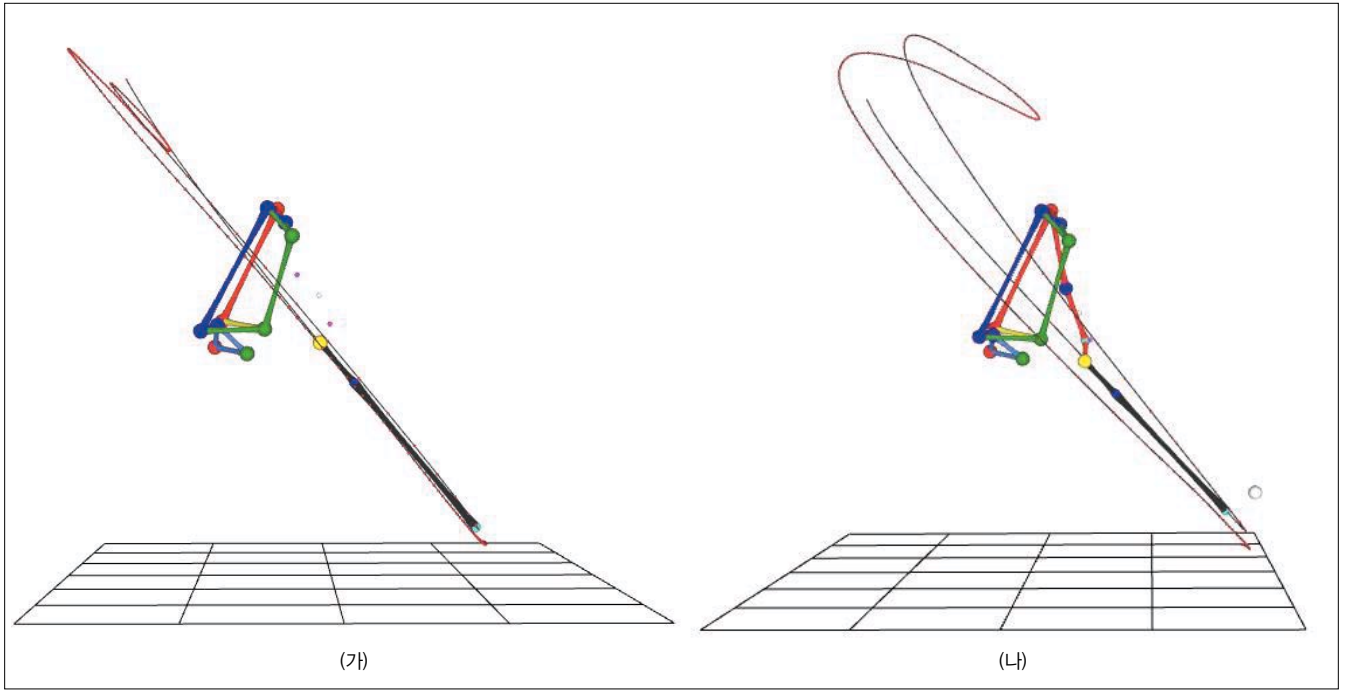
클럽 헤드의 궤적이 이루는 '스윙면'의 관점에서 숙련된 골퍼의 스윙 스타일을 크게 평면형과 나선형의 두 가지로 분류할 수 있다.

전방스윙 동안 클럽 헤드의 궤적이 거의 단일 평면을 형성하는 평면형 스타일과 달리, 나선형 스타일에서는 단일 평면이 형성되지 않고, 타격 후의 후동작 궤적이 타격 전의 하향스윙 궤적보다 낮은 경향을 보인다. 또 같은 평면형 스타일이라 하더라도 골퍼에 따라 스윙면의 기울기가 서로 다를 수 있다. 평면형 스윙에서는 동작이

프로골퍼



2007년 7월 27일 프랑스 에비앙에서 열린 미국여자프로골프(LPGA) 투어 에비앙 마스터스 2라운드에서 캐리 웹이 샷을 하고 있다.(AP Photo / Claude Paris)



스윙 평면: 평면형 스윙(가) 및 나선형 스윙(나)

단일 평면 운동으로 단순화되기 때문에 문제의 규명이나 교정이 비교적 쉬운 반면, 나선형 스윙에서는 회전 운동과 병진 운동이 같이 섞여 있어 문제의 원인을 찾고 교정하는 것이 쉽지 않을 가능성이 크다.

타격된 공의 방향과 비거리 오차는 궁극적으로 타격 조건이 이상적인 조건으로부터 벗어나는 정도에 의해 결정되는데, 여기서 타격 조건 오차는 스윙면의 오차뿐만 아니라 각도, 궤적모양 등 스윙면 특성의 함수로 가정해볼 수 있다. 다시 말하면, 스윙 스타일에 따라 스윙 평면의 미세한 변화에 대해 타격 조건이 이상적인 조건으로부터 벗어나는 정도가 다를 수 있다는 뜻인데, 타이거우즈가 PGA 대회 40승을 이룬 시점에서 굳이 스윙 스타일 교정이라는 큰 도박을 감행한 이유가 바로 여기에 있다. 그러나 온플레인 스윙이 실제로 타격 조건 변화폭을 줄여주는지, 또 온플레인 스윙의 어떤 특성이 주로 기여하는지 아직 구체적으로 연구 또는 입증된 바 없다. 대부분 일련의 정지 동작을 사용하여 스윙 동작을 비교, 설명하는 수준에 그치고 있는데, 두 스타일의 차이에 대한 보다 정확한 이해를 위해서는 교정 전후의 실제 클럽 헤드 궤적의 각도나 모양과 같은 스윙면 특성이 서로 비교되어야 한다. 스윙 스타일이 다른 골퍼들의 타격 동작을 반복 분석해서 스윙 평면과 타격 조건의 변화

폭을 계량하고 상호 비교하는 방법으로 이 문제에 대한 답을 찾을 수 있을 것이다.

지금까지 몇 가지 단편적인 예를 통해 운동역학이 어떤 분야인지, 또 주로 어떤 문제가 다루어지는지를 간략하게 소개해보았다. 결론적으로 말하면, 운동역학에서는 스포츠·운동과 관련하여 인체 내외에서 관찰되는 모든 인체·장비의 운동이나 인체·장비에 작용하는 힘이 관심사가 될 수 있다. 그러나 실제 응용 범위는 측정해낼 수 있는 역학적 현상의 종류와 정도, 가용한 장비와 분석 방법 등에 의해 결정될 것이다. 연구 과정에서 여러 가지 복잡한 공학적 분석 방법이 동원되어야 하기 때문에 여타 스포츠과학 분야에 비해 노동집약적이고, 상대적으로 과정이 복잡하다.

여하튼 스포츠·운동 상황에서 표현되는 인체의 운동은 기본적으로 역학적인 현상이기 때문에 역학적인 관점에서 인체 운동이나 동작 원리를 분석하고 이해하는 것은 매우 근본적인 차원의 이해에 해당한다. 습관적으로 행하는 스포츠 동작이 역학적 분석과 이해의 대상으로 승화될 때 운동하는 재미가 한결 더해진다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 천문학과 졸업 후 체육학과에서 석사학위를, 펜실베이니아주립대학교에서 박사학위를 받았다.