골프가 물리를 만나면

DOI: 10.3938/PhiT.23.008

김 선 응

The Physics of Golf

Sun Ung KIM

Golf is the most interesting sport that makes use of various fields of physics, such as fluid mechanics (ball flight law, ball dimple), structural mechanics (ball, club shaft and club head), material science (ball, club shaft and club head) and kinetics (swing and impact). First, the author discusses three items: the golf ball's trajectory described by the flight law of the ball, methods to increase the golf ball's carry distance, which is determined by the ball's speed, launch angle and spin, and comparisons of the driver's carry distances for KPGA and PGA tour players. The author then points out the serious problems with commercially-available golf shafts and golf balls. Also, methods for selecting good shafts and balls are suggested. Thirdly, the author advises that scientists need to understand that potential barriers exist between sportsmen and scientists because of cultural differences. The last article points out that we physicists have to feel deeply responsible for the wrong policy of teaching the sportsman basic

physics and to understand the importance of providing new physics textbooks based on the viewpoint of the sportsman. The author is also calling on physicists and scientists to address the current dilemma of golf ball dimples and internal structures.

10,000시간!

“일만 시간의 법칙”이 있다. 이것은 미국의 신경학자 다니엘 조셉 레비틴(Daniel Joseph Levitin)이 말한 것으로 어떤 일을 즐기치게 그것도 즐기면서 목적을 뚜렷하게 하면서 1만 시간을 하면 그 분야에서 성공한다는 뜻이다. 1만 시간은 대략 하루 세 시간, 일주일에 스무 시간씩 10년간 연습한 것과 같다. 피겨여왕 김연아가 그랬고 이 시대의 아이콘으로 불리는 스티브 잡스도 그랬다고 한다. 그 옛날에는 도를 닦으러 산속에 들어갔다가 10년 만에 스승으로부터 “이제는 내게서 더 배울 것이 없다.”라는 말을 듣고 하산해서는 정의를 위해 몸을 불사르는 무협인의 이야기도 있다. 그들이 타고난 재능과 천재성만으로 정상에 오른 것은 물론 아니다. 1만 시간을 투자한 사람은 많을 것이다. 그런데도 성공하는 사람과 실패하는 사람이 있다. 성공하는 사람의 특징은 전략적 목적을 뚜렷하게 하고 지독하게 그것도 즐기면서 끝까지 매달리는 것이다. 옛 성인은 말했다. “학문도 즐기는 자를 따를 자가 없다.”라고 말이다. 필자가 정년퇴임 7년 전인 2003년 골프에 호기심을 갖고 심취하여 시작한 지가 벌써 11년이 됐다. 운동을 좋아하고 호기심이 많은 필자에게 골프가 물리학에 가깝고 접근하기 쉽고 재미가 있어서였다. 물론 과학이란 것은 지식 자체가 아니라 왜 옳고, 어디까지가 옳고, 무엇이 그르며, 얼마만큼 믿어야 할지를 탐색해 가는 하나의 과정일 뿐이다.

어디까지가 옳고, 무엇이 그른가?

과학은 물론 항상 옳은 것은 아니지만 그래도 객관성이 있

저자약력

김선응 교수는 고려대학교 물리학(반도체) 박사(1983)로서 국방과학 연구소 선임연구원(1974-79), 국민대 물리학과 교수(1979-82)를 거쳐, 1983년부터 고려대학교 과학기술대학 디스플레이·반도체 물리학과 교수로 재직하고 2010년 2월에 정년퇴임을 했다. 동대학 세종 도서관장(1997-99), 과학기술대학 학장, 의용과학 대학원 원장, (주)Medison X-ray 사외이사(2001-2011)를 역임하였다. 국방과학 연구소 소장(1979), 국방과학 대상(국방부) (1983), 우수학술논문상(한국물리학회)(1989)을 수상하였고, 저서로는 “골프, 원리를 알면 10타가 준다. I, II”, “(2007, 2009년 출간), 골프 500 문제집(2011), 골프볼 비거리 30야드 더 보내기(2014. 5월 예정) 등이 있고, 2007년 “중앙일보 골프과학 칼럼”을 12회 연재했다. 골프볼 궤적 프로그램인 KH-Golf-Trajectory를 개발하였다. (ksu45112@chol.com)

고 이론과 실험을 통해 검증에 또 검증하면서 다른 어느 것보다도 비교적 확신을 할 수 있는 분야다. 필자는 11여 년 동안 100여 권의 골프 책자와 500여 편의 논문을 읽으면서, 또한 국내 유명 골프클럽 피팅 전문점 세 군데를 다녀보고, 많은 골프 관련 포럼도 다녀보고 어디까지가 옳고, 무엇이 그르며, 얼마만큼 믿어야 할지를 곰곰이 생각하고 그것들이 물리학적으로 합리성이 있는지를 곰곰이 생각하고 또 생각했다. 참으로 모순되는 점은 피팅샵 세 군데와 골프포럼 발표자들이 모두 인문계 출신이라는 것이다. 그러니 비과학적인 책과 논문, 황당한 피팅 이론, 난무하는 골프 대가들의 이론들은 필자를 가장 괴롭히는 한 장면들이었다. 도무지 이해 안 되는 그 이론들은 대체 무엇인가? 30~40년 동안의 경험만을 주장하는 분들의 공통점들이 있었지만, 과연 그들의 과학적 이론은 무엇인가? 정말 과학적이지 않다.

필자가 이에 호기심을 넘어 골프볼이 날아가는 그 원리를 찾기 시작한 것이 2008년 초다. 그로부터 3~4년간을 수많은 논문과 책자에 매달렸다. 일부 골프인들의 도움으로 국가 골프 과제를 수행하면서 여러 조건에서 2,000여 개의 골프볼을 타격해 보면서 그 비행 원리를 찾아 헤맸다. 정년퇴임 후 “구슬이 서 말이라도 꿰어야 보배”란 말이 있듯이 흩어져있던 생각을 정리하고 골프인들의 도움으로 골프역학 논문 5개, 골프트랙 3개 등록, 골프프로그램 등록과 골프 관련 역학책 4권을 출간하기도 했다.

세계 최고 수준의 골프볼 궤적 프로그램

3~4년간 몰입한 끝에 필자는 골프볼 궤적 프로그램(KH-Golf-Trajectory)을 개발하기에 이르렀다. 일간신문과 골프 잡지사의 어떤 기자는 필자에게 말했다. 아주 잘 맞네요. 조작한 것 같네요? 물론 조작할 수도 없다. 필자도 흥분했고 그 기자도 흥분했다. 12개 클럽에 대한 PGA와 LPGA 4년간 자료, USGA 골프볼 시험 규격 등과도 비교했고, 자체 실험결과와 그 골프볼이 날아가고 굴러간 거리의 정확도를 비교했을 때 그 차이는 표 2와 같이 평균 1.6%로 놀랍게도 98.4% 이상의 정확도를 보였다. 골프볼이 날아갈 때 온도, 바람의 세기와 방향, 고도 및 볼의 종류 등을 고려한다면 평균 98.4%는 거의 정확하게 잘 맞는 것으로 볼 수 있다.

필자는 표 1과 같이 온도, 고도, 바람의 방향 및 골프볼을 타격할 때 클럽헤드의 방향이 inside-out, outside-in, 클럽면(club face)의 방향을 표현했다. 또한, 볼을 타격하는 장소인 그라운드와 앞뒤경사 및 좌우경사 등 정상 타격(Normal Shot), Technical Shot과 Trouble Shot과 페어웨이가 내리막이거나 오르막 언덕에서 어떻게 비거리를 조정해서 볼을 보내야 하는

표 1. 골프볼 궤적 프로그램 KH-Golf-Trajectory의 입력 및 출력 표시항목.

기본 입력(4개)	온도, 고도, 바람의 세기 및 방향	
선택 입력(16)	•헤드속도, 로프트각, 백스핀, 사이드스핀 성분, 어택각	선택
	•볼 속도, 런치각, 백스핀, 사이드스핀 성분	
	•페어웨이의 내리막 및 오르막 경사	
	•클럽헤드의 방향(inside-out, outside-in)과 클럽면의 각	
	•티잉그라운드의 앞뒤 경사(ball above or below feet)	
출력 표시(27)	•좌우경사(uphill lies or downhill lies)	
	•기본 입력 및 선택 입력 모든 자료(20)	
	•비거리, 전체거리, 볼 높이, 볼 비행시간, 볼의 착지각(5)	
	•3차원 그래프(zoom-in, zoom-out, close-up, 360도 회전)	
14개 클럽 적용	•사용클럽 표시 및 스매시계수(볼 속도/헤드속도)	
	•w1, w3, w5, w7, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, Pw, Aw, Sw	
표시항목 조정	•표시 항목은 필요에 따라 개수를 조정할 수 있다.	

표 2. KH-Golf-Trajectory로 계산한 거리와 기존 자료와 20 °C에서 비교하여 정확도를 퍼센트로 표현했다. (TrackMan: 런치 모니터로 PGA와 LPGA에서 사용하는 정확한 기구)

구분	해당 클럽	적용거리 (A)	KH-Golf-Trajectory로 계산한 거리(B) A-B의 절댓값 %	조건: 습도는 50%로 고정
PGA 4년 평균	12개 클럽	비거리	2.6	기후/고도변화 많음
LPGA 4년 평균	11개 클럽	비거리	1.7	기후/고도변화 많음
TrackMan 제안	드라이버	비거리	1.1	70~130 mph 헤드속도
USGA(1984) 규정	드라이버	전체거리	1.1	시험조건 제시
USGA(2004) 규정	드라이버	전체거리	0.6	시험조건 제시
자체시험	11개 클럽	비거리	2.3	2,000개 볼 시험
평균			1.6	

비거리(carry distance): 골프볼이 날아간 거리.

전체거리(total distance): 골프볼이 떨어진 후 굴러간 거리까지 포함. 골프볼의 비거리는 온도, 바람, 고도 및 볼 종류에 따라 많이 다르다.

지를 모두 표현할 수 있도록 KH-Golf-Trajectory 소프트웨어를 개발했다. 지금까지 이런 골프 소프트웨어는 없었다. 그림 1과 2에는 KH-Golf-Trajectory로 몇 가지 경우를 예시로 표현했다.

그러나 국내 골프문화에서는 이러한 프로그램에 대해 시큰둥

그림 1. 골프볼을 똑바로 친 경우(붉은색)와 좌·우로 약간의 슬라이스(노란색)와 후크(청색)가 발생한 경우를 가정해 KH-Golf-Trajectory로 3차원 표현을 했다.

그림 2. 타이거 우즈와 미켈슨이 경기 중 타이거 우즈가 타격한 볼이 하마터면 심한 후크가 발생하여 OB(붉은색)가 날뻐한 장면을 KH-Golf-Trajectory로 표현했다.

하면서 정확한 게 뭐 필요 있나요 한다. 그렇다. 그러나 필자는 이에 좌절하지 않는다. 필요할 때가 있을 것이다. 과학자는 내 연구 결과를 남이 알아주지 않더라도 섭섭해하지 않는다. 진리만을 좇을 뿐이다. 피팅 전문가 중의 한 사람인 미국의 제프 시트(Jeff Sheets)는 그의 퍼펙트 피트(The Perfect Fit)라는 책자 머리말에서 수차례에 걸쳐 골프클럽 피팅의 요체는 “골프볼의 비행원리(flight laws)”를 이해하는 것이라 했다. 골프의 대가라는 톰 윌슨(Tom Wishon)도, 데이브 터틀맨(Dave Tutelman)도 그랬고, 피팅의 대가들이라는 사람마다 그렇게 말했다. 우리의 골프클럽 피팅의 대가라는 분들은 이 원리를 얼마나 이해하고 있을까? 필자는 앞에서 언급한 바와 같이 국내 최고라는 피팅 전문점 세 군데를 모두 입학하여 수료한 바 있다. 그곳에는 물리학적인 역학은 없고 경험만 있을 뿐이다.

비거리 30야드 더 보내기

그림 3은 드라이버와 아이언의 비거리에 영향을 주는 로프트각을 보여주고 그림 4는 아이언이 볼을 타격할 때의 관계되는 여러 각의 명칭을 보여준다.

그림 3. 골프 클럽 드라이버 헤드와 아이언의 로프트각.

그림 4. 아이언 클럽 각각의 명칭.

1. 직접적인 요소 3가지와 환경적인 요소 3가지

◇ 볼 속도, 런치각 및 백스핀

◇ 온도, 바람 및 고도, 습도는 영향이 매우 적다.

골프볼의 거리를 표현하는 방법에는 2가지가 있다. 골프볼이 클럽헤드를 떠나 지면에 떨어진 곳까지의 거리를 비거리(carry distance)라고 하고, 볼이 지면에 떨어진 후에 굴러간 거리(roll distance 혹은 run distance)까지를 포함한 거리를 전체거리라고 한다. 이때 전체거리 또는 사거리로 표현하는데 이는 distance, total distance, drive distance 등으로 표현하지만, total distance가 정확한 표현이다. 그런데 볼이 지면에 떨어진 후 볼이 굴러가는 조건은 페어웨이(fairway)의 지면 상태에 따라 매우 달라진다. 물론 기본적인 조건은 있지만 변화무쌍하여 여기서는 비거리만을 논하겠다. 볼이 지면에 떨어져서 굴러가는 거리를 결정하는 것은 지면 상태와 볼 스핀에 따라 다르지만, 일반적으로는 볼이 지면에 떨어질 때 지면과의 착지각에 의존한다. 착지각(descending angle)이 작을수록 볼은 멀리 굴러간다. 볼이 지면에 떨어질 때의 속도는 볼의 초기 속도와는 관계없이 26~28 m/s 정도이다.

골프볼의 비거리를 결정짓는 직접적인 요소 3가지는 볼을 타격하는 순간 볼의 속도, 볼의 백스핀 및 볼이 지면과 이루는

그림 5. 헤드 속도에 따른 드라이버 로프트각은 일차적으로 골프볼의 런치각을 결정하고 볼의 스핀도 결정한다. 볼의 스핀은 헤드속도와 $\sin\theta$ (로프트 각)에 일차적으로 비례한다.

발사각 즉 런치각(launch angle)이다. 물론 이 3가지 요소 중 볼 속도의 영향이 가장 크고 그다음은 볼의 런치각과 볼의 백스핀이다. 볼의 속도는 클수록 좋지만, 런치각과 백스핀은 볼 속도에 따른 최적의 런치각과 스핀이 존재한다. 그밖에 볼의 비거리를 결정짓는 환경적인 요소는 온도, 바람의 세기와 방향 및 고도이다. 습도는 비거리에 크게 영향을 주지 않는다. 이때 습도와 비(rain)는 구분되어야 한다. 따라서 본 내용에서는 상대습도를 50%로 설정 계산했다.

2. 드라이버 헤드의 로프트각은 헤드속도 증가에 따라 작아진다.

그림 5에서는 헤드 속도에 따른 드라이버 로프트각이 헤드 속도가 커질수록 작아짐을 표현했다. 헤드속도가 증가하면 볼을 위로 띄우는 것이 속도가 작은 경우보다 쉬우므로 로프트각을 작게 하여 볼을 최적의 높이로 띄워야 하기 때문이다. 물론 여기서는 샤프트의 앞으로의 휨(forward bending)도 고려했다. 헤드의 로프트각과 헤드속도는 볼의 백스핀도 결정한다. 한편 볼의 백스핀은 볼이 헤드의 스위트스팟(sweet spot)과 충돌할 때 최적이지만 볼이 스위트스팟 위쪽과 충돌하면 기어 효과(gear effect)에 의해 스핀 수는 작아지고, 스위트스팟 아래쪽과 충돌하면 스핀 수는 증가한다.

3. 비거리를 30야드 더 보내기:

드라이버는 +, 아이언은 - 어택각으로

그림 6 및 그림 7에서는 드라이버의 헤드의 어택각을 +5도 정도로 하고, 그림 8에서는 아이언의 헤드의 어택각을 -5도로 하여 볼을 타격할 경우 비거리가 크다는 것을 보여준다. 물론 아이언은 -5도가 최적은 아니고 일반적인 것으로 아이언 번호

그림 6. 드라이버 헤드 속도 증가에 따른 최적의 로프트각과 헤드의 어택각 ± 5 도에 따른 비거리의 차이를 보여준다. 어택각이 +5도일 때 -5도일 때보다 비거리가 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 특히 헤드 속도가 100 mph일 때 어택각 ± 5 도에 따른 비거리 차이가 30야드로 제일 크지만, 전체적으로 ± 5 도에 따른 그 차이는 평균 약 26야드이다.

그림 7. 드라이버 헤드 속도가 100 mph에 로프트각이 11도인 경우 어택각이 ± 5 도인 골프볼 궤적을 보여준다. 이때 비거리의 차이는 248(+5도)과 218(-5도)로 30야드의 차이를 보이고 있다. 이때 볼 높이도 많은 차이를 보이고 있는데 결국 볼 높이의 차이가 비거리의 차이를 만든다.

그림 8. 8개 아이언의 ± 5 도 어택각에 따른 비거리를 그래프로 표현했다. 아이언은 -5도 어택각으로 볼을 타격할 때 비거리가 더 크다.

가 커질수록 - (negative) 어택각은 그림 12와 같이 점점 작아진다. 즉 절댓값은 커진다.

◇ 드라이버 어택각을 +5도 이상으로 치는 법 (오른손잡이 기준)

드라이버에서 현재 볼 놓는 위치를 왼쪽으로 약 5 cm 옮기

그림 9. 드라이버에서 평행(0도), 내리막(-도) 및 오르막(+도) 어택각을 보여준다.

그림 10. 아이언에서 평행(0도), 내리막(-도) 및 오르막(+도) 어택각을 보여준다.

고 타격 방법은 그대로 하자. 몸이 못 쫓아가면 볼 놓는 위치를 약 3 cm 왼쪽으로 옮기고 볼 높이를 기존 높이에서 약 1 cm를 더 높이고 치자. 이 경우 볼은 10에서 30야드 더 날아간다. 수백 번 실험한 결과이다. 타이거 우즈도 이런 방법으로 볼을 16야드 더 날렸다.

◇ 아이언의 속도와 어택각에 따른 비거리

8개 아이언의 ± 5 도 어택각에 따른 비거리를 그림 8과 같이 그래프로 표현했다. 아이언은 -5 도 어택각으로 볼을 타격할 때 비거리가 더욱 크다.

◇ 어택각(attack angle)이란?

어택각이란 클럽헤드가 볼을 타격하려고 접근하는 순간의 클럽면과 지면과의 수직 각으로, 플러스(+) 어택각은 볼을 올려치는 것이고, 반면에 마이너스(-) 어택각은 볼을 내려치는 것이다. 특히 볼을 올려치거나 내려친다고 해서 볼의 스핀 값이 거의 변하지는 않는다. 그림 9 및 그림 10은 드라이버와 아이언의 3가지 형태의 어택각을 보여준다.

4. PGA와 LPGA 투어 선수들의 4년 평균 어택각은?

그림 11은 PGA와 LPGA 투어 선수들의 각 클럽에 대한 4년간의 평균적인 어택각을 보여준다. 물론 이 값이 최선이 될 수는 없다. LPGA 선수들의 드라이버 어택각은 $+3$ 도지만 PGA 선수들은 -1.3 도이다. LPGA 선수들은 비 거리에 대한 절

그림 11. 4년 평균 PGA와 LPGA 투어 선수들 각 클럽의 어택각 비교로 PGA 선수들은 7번 우드 대신 hybrid 클럽을 사용했고 LPGA 선수들은 3번 아이언을 거의 사용하지 않았다.

그림 12. 필자가 제안한 골프 선수들의 클럽별 이상적인 어택각을 보여준다.

실험이 어택각을 크게 했다고 볼 수 있다. PGA 선수들도 평균적으로 $+5$ 도의 어택각을 사용한다면 비거리는 훨씬 증가할 것이다. 그림 12는 필자가 권고하는 어택각을 보여준다.

특히 RE/MAX 월드 롱 드라이브 챔피언십(World Long Drive Championships)에 출전한 선수들은 거의 350야드 이상으로 볼을 날려 보내는데, 그들은 경우에 따라서 어택각을 플러스 6~9도로 상당히 올려치고 있다. 그들은 왜 볼을 올려칠까? 많은 경험으로부터 그들은 알게 된 것일 것이다. 이 경기에서 현재까지 전체거리(total distance)의 최고 기록 보유자는 미국의 Mike Dobbyn이 2007년에 세운 551야드(504 m)이다.

◇ 필자가 권하는 PGA와 LPGA, 일반선수들에 권하는 어택각

그림 12는 필자가 제안한 골프 선수들의 클럽별 이상적인 어택각을 보여준다.

표 3. 그림 13을 기준으로 KH-Golf-Trajectory 계산한 볼 비거리와 방향을 보여준다. 이때 대기 온도는 20 °C에서 헤드의 로프트각은 11도, 어택각은 +5도로 가정했다. 헤드의 중앙 부위인 스위트스팟으로 볼을 타격할 때 볼은 똑바로 가장 멀리 날아간다.

충돌 위치	헤드 속도(mph)	반발 계수	볼 속도(mph)	백스핀(rpm)	사이드스핀(rpm)	합성 스핀(rpm)	비거리(야드)	볼 방향
① 중앙	100.0	0.83	149.9	3,053	0	3,053	248	목표
② 토우	102.7	0.81	152.3	3,053	-670	3,125	250	후크성
③ 힐	97.3	0.81	144.3	3,053	+670	3,125	235	슬라이스 성
④ 위	98.2	0.82	146.4	2,343	0	2,343	244	목표
⑤ 아래	101.8	0.82	151.7	4,128	0	4,128	237	목표

그림 13. 드라이버 헤드 면의 부위별 헤드속도와 반발계수를 보여준다. (TrackMan 자료)

그림 14. 드라이버 속도가 증가하고 +5도의 어택각으로 볼을 타격할 때 최적의 백스핀 값에서 ± 500 rpm 변할 때 여러 속도에서 최소 및 최대 스핀 값에 따른 비거리의 차이를 보여준다. 단 반발계수의 차이를 고려하지 않고 계산한 값이다.

5. 드라이버 헤드 가로 및 세로축의 반발계수와 속도

◇ 누가 뭐라 해도 볼이 스위트스팟에 맞도록 하자.

일부 광고에서는 볼이 헤드 면의 스위트스팟 위에 충돌하면 기어 효과에 의해 스핀 값이 적어져 비거리가 증가한다고 한다. 언뜻 그럴 듯하다. 하지만 스핀 값이 줄어드는 대신 헤드 속도와 반발계수가 작아 비거리는 오히려 감소한다. (표 3 참조) 드라이버 헤드를 스윙하는 과정에서 헤드 면의 위치에 따라 헤드속도와 반발계수는 그림 13처럼 약간씩 다르다. 표 3에서는 그림 13에 기준으로 한 볼의 비거리와 방향을 보여준

표 4. 백스핀 값 ± 500 rpm에 따른 비거리 차이. 최적의 스핀이란 볼이 헤드의 스위트스팟과 충돌하는 경우이다. -500 rpm인 경우는 볼이 스위트스팟 위로 약 0.4인치, +500 rpm인 경우는 스위트스팟 아래로 약 0.4인치에 충돌하는 경우이다. 언뜻 보면 볼이 스위트스팟 위로 약 0.4인치에 충돌하는 것이 백스핀이 적어져 비거리가 더 클 것 같지만 실제로는 스위트스팟 위로 약 0.4인치는 스위트스팟 위치(0.83)보다 반발계수 및 속도가 더 작아져 비거리는 작아진다. (표 3 참조) 아래 표는 반발계수의 차이를 고려하지 않고 계산한 값이다. (rpm: revolution per minute)

헤드 속도 (mph)	로프트각 (도) ± 0.5 도	스핀 값 (rpm)	± 500 (rpm)	비거리 (야드)	비거리 차이 (야드)
60	19	2,624	-500	117	0
		3,124	0	117	
		3,624	+500	117	
70	17	2,773	-500	152	3
		3,273	0	151	
		3,773	+500	149	
80	15	2,711	-500	186	4
		3,311	0	184	
		3,811	+500	182	
90	13	2,738	-500	218	6
		3,238	0	215	
		3,738	+500	212	
100	11	2,553	-500	250	7
		3,053	0	248	
		3,553	+500	243	
110	10	2,554	-500	279	9
		3,054	0	277	
		3,554	+500	270	
120	9.0	2,502	-500	305	11
		3,002	0	304	
		3,502	+500	294	
130	8.5	2,573	-500	331	14
		3,073	0	328	
		3,573	+500	317	

다. 헤드의 중앙 부위인 스위트스팟으로 볼을 타격할 때 볼은 똑바로 가장 멀리 날아간다.

6. 드라이버 속도에 따른 백스핀이 ± 500 rpm 변할 때 비거리차이

골프볼의 백스핀 값을 결정하는 것은 클럽헤드의 속도, 헤드

의 로프트각이 주로 지배적이고 특히 아이언 헤드에 있는 구르브(groove)의 형태가 볼의 스핀 값을 결정짓는다. 드라이버 헤드에는 구르브가 없다. 다만 볼의 지름도 영향을 미치지만, 볼의 지름은 약 43 mm로 거의 고정돼있다. 그림 14와 표 4에서는 드라이버 헤드속도와 로프트각에 따른 최적의 스핀 값에서 스핀 값이 ± 500 rpm로 변할 때 비거리의 차이를 보여준다.

◇ 볼의 스핀과 덤플은 공기저항을 작게 하고 볼을 위로 띄우는 역할을 한다.

볼이 백스핀을 하면서 날아갈 때 덤플과 스핀에 의해 공기 저항은 작아지고 볼을 위로 뜨게 하여 볼의 체공시간을 늘려 비거리를 증가시킨다.

KPGA와 PGA 선수들의 드라이버 능력은?

◇ 우리 선수들의 축적된 자료는 없다.

◇ 118명의 7,000여 개 자료 구축

필자는 2011년 동해오픈에서 KPGA 118명의 1, 2라운드와 61명의 1, 2, 3, 4라운드의 경기 자료와 2011년 1년 동안 185명의 PGA 투어 선수들을 대상으로 드라이버의 평균 자료를 헤드 속도, 볼 속도, 스매시계수, 런치각, 스핀 값, 볼 높이, 비거리 등 7,000여 개의 자료를 비교 분석하여 우리 선수들의 현주소를 되돌아보았다. (그림 15 및 그림 16과 표 5는 자료 중 일부) 지금까지 이렇게 정리된 자료는 없었다. 우리도 이런 것을 자료화(data base)하여 선수나 선수 지망생들에게 제공하는 시스템을 잘 갖춰야 할 것이다. 그래서 그들을 시간과 경제적인 면에서 더욱 과학적으로 관리해준다면 어떨까? 그렇게 하면 그들은 얼마나 행복할까?

아마추어들도 좋은 샤프트와 볼을 사용하고 싶다.

◇ 제멋대로 진동하는 샤프트

골프클럽에서 샤프트는 엔진이라고 한다. 그런데 그 샤프트의 강도를 표현하는 진동수 측정방법이나 샤프트의 뒤틀림을 측정하는 토크(torque)를 측정하는 방법이 동일하게 정해져 있지 않다. 물론 어느 정도 범위는 있지만, 샤프트 제조회사마다 조금씩 다르다. 참으로 당황스러운 일이다. 측정 방법에 따라 샤프트의 진동수는 다르다. 더군다나 그림 16같이 샤프트에 헤드를 달고 세로축 혹은 가로축으로 진동시키면 진동방향이 일정하지 않고 제멋대로인 경우가 매우 많다. 이러하니 일반 아마추어들이 드라이버로 골프볼을 정확하게 헤드의 스위트스팟으로 타격하는 일은 매우 어렵다. 그러나 프로선수들이 사용

그림 15. 2011년 동해오픈(KPGA)의 선수 61명의 4일간 드라이버 비거리 분포도를 보여준다. 선수의 비거리는 260~270야드가 약 36.1%로 가장 많다. 그림 16과 비교하자.

그림 16. 2011년 1년간 PGA 투어에서 185명의 드라이버 비거리 분포도를 보여준다. 270~280야드의 비거리를 가지는 선수가 32.8%로 가장 많다. 그림 15와 비교하자.

표 5. 2011 동해오픈(KPGA)과 2011 PGA투어와의 드라이버자료 비교로 동해오픈에서는 앞바람이 평균 8.5 mph, 평균온도는 15 °C였다. 스매시계수(볼 속도/헤드속도)

항목	2011년		
	동해오픈(KPGA) 118명 평균	동해오픈(KPGA) 상위 5명 평균	PGA투어 185명 평균
헤드 속도(mph)	108.8	112.6	112.7
볼 속도(mph)	160.8	166.6	166.7
스매시계수	1.478	1.479	1.478
런치각(도)	10.4	9.8	10.8
스핀(rpm)	2,650	2,630	2,694
볼 높이(야드)	27.9	28.4	31.4
비거리(야드)	255.9	262.4	270.9
	앞바람으로 비거리 6~80야드 감소		
한 라운드에 2회 측정	118명 2일간 61명 4일간 자료	상위 5명 4일간 자료	2011년 1년간 자료

하는 샤프트는 일정한 방향으로 진동한다. 그림 17의 A는 그 래도 좋은 편이다. 프로선수들이 사용하는 샤프트의 토크 값도 매우 작아 뒤틀림이 적다.

그림 17. 샤프트를 360도 회전시키면서 샤프트 팁 쪽에 무게를 장착하여 그 강도(g/인치)를 측정한 값이다. 샤프트 A는 대략 90-270도 방향에서 강도가 크고, 반면에 샤프트 B는 360도 모든 방향에서 강도가 거의 오차 범위인 1~2% 이내로 일정하여 모든 방향에 대해서 진동은 직선이 된다. 샤프트 B는 매우 좋은 샤프트이다. (Tutelman 자료)

◇ 무게 중심(重心)이 중심(中心)에 있지 않다.

골프볼도 무게의 중심이 편향된 위치에 있는 경우도 많다. 그림 18 및 그림 19는 필자가 시판 중인 볼의 일부를 자르고, x-선으로 촬영한 것이다. 편심이 심한 볼로 경기한다면 어찌 될까? 똑바로 타격한 볼은 옆으로 휘어져 날아갈 것이고 그런 에서는 홀을 살짝 비켜 지나가는 바람에 우승을 놓칠 수도 있다. 아마추어들은 모두 겸손(?)해서 “내 탓이오” 하고 잘못이라고 인정한다. 그래서 프로선수들은 경기에 임하기 전 편심이 적은 볼을 찾느라 여러 가지 노력을 한다.

◇ 좋은 볼 고르기 Tip

약 20도 정도 경사진 면에서 볼을 여러 번 굴려 마지막 단에서 볼이 옆으로 굴러가면 볼 중심의 치우침이 많은 볼이다. 또는 평평한 면에서 볼을 여러 번 떨어트려 볼이 튀어 오르면서 자꾸 옆으로 이동해 가면 역시 볼 중심의 치우침이 심한 때도 있다. 퍼팅할 때는 볼의 로고가 길게 있는 방향을 홀의 방향으로 향하도록 하자.

스포츠와 과학이 만나는 데는 넘어야 할 산이 분명 존재한다.

◇ 과학이 스포츠를 만나니 고통이 몰려오다. 일시적일 것이다.

물리학자들의 고통은 무엇일까? 지난 세월 반도체연구에 30여 년을 매진하면서 연구과제를 심사할 때 약간의 힘든 적은

그림 18. 절단한 골프볼 단면으로 편심이 심한 모양을 보여준다.

그림 19. 4피스 골프볼의 x-선 사진.

있었지만, 골프 이론에 입문해서 골프 과제를 심사하면서 느끼는 고통은 반도체에 비하면 비교할 수가 없을 정도로 크다.

- 힘(force)과 파워(power)는 같지 않아요? 역학 과제다. 이것은 애교다.
- 표준 편차가 더 크다. 평균값보다 말이다. 검토해 보니 실수가 아니다. 이런 자료를 제시하면서 그 무엇을 개발했다는 모 대학교수의 말씀에 정말로 할 말을 잃었다.
- 분당 볼 스핀을 소수점 두 자리까지 측정했다고 자랑하는 논문도 있다. 골프볼 스핀 측정에 사용한 해당 런치모니터의 스핀 오차가 ± 500 rpm보다 더 큰데 말이다.
- 그래도 화룡점정(畫龍點睛)은 볼 비거리를 획기적으로 향상할 수 있는 샤프트개발이다.

이 과제에 연간 10억 원씩 3년간 30억 원을 지원하는 정부 기관도 있고, 과제를 수행하는 관련 업체도 있다. 2차 평가에

서 필자는 말했다. “이 과제는 Newton이나 Einstein이 와도 안 되는 것이다.”라고 피력했지만, 유유히(?) 통과했다. “우째 이런 일이?” 한국에서 볼의 비거리를 획기적으로 늘릴 수 있는 세계적인 샤프트의 탄생이 기대된다. 세계에서 아마도 유일무이할 것이다. 다만 각 골퍼의 스윙 형태에 따른 최적의 샤프트를 선택해 주는 것으로 충분하다. 물론 이런 과제는 매우 극소수일 것이다. 때론 이런 비정상인 과제들이 정상인 것처럼 우리 과학자들 주위를 거침없이 흘러간다.

◇ 골프볼은 헤드의 진행 방향으로 날아간다고 한다.

- 천만의 말씀

골프 프로들의 99% 이상이 이렇게 믿고 있고 그렇게 가르친다. 필자도 그렇게 배웠다. 경험만을 생각 없이 믿고 혹은 선배들의 말을 무조건 믿고 따른다. 필자는 이것에 대해 많은 의심을 하고 문헌 및 실험자료를 찾아 헤맸다. 골프볼은 타격된 후 클럽헤드의 진행 방향으로 날아갈까? 천만의 말씀이다. 타격된 골프볼은 클럽헤드의 진행방향보다는 클럽면에 수직인 방향에 훨씬 가깝게 날아간다. 물론 클럽마다 약간의 차이는 있으나 타격된 골프볼은 그림 20과 같이 헤드의 면에 수직인 방향에 약 15% 가깝게 헤드의 진행방향에는 85% 정도 멀리 날아간다. 이와 같은 이론은 이미 물리학자인 Theodore P. Jorgensen이 그의 저서 “The Physics of Golf(1999)”에서 이미 밝힌 바 있다. 그 후 여러 실험에서도 그의 이론은 잘 맞는다는 것이 입증되었다. 그런데도 우리는 지금도 잘못된 이론을 계속 주장하고 있으니 말이다.

◇ 스크린골프는 볼 궤적 프로그램이 있나?

일본의 수입업자들은 왜 그대로 돌아갔나?

모 유명 스크린 골프 업체에 필자가 개발한 KH-Golf-Trajectory의 특성 및 정확도 등을 메일로 보냈다. 그러나 황당한 답변이 돌아왔다. 필자가 개발한 KH-Golf-Trajectory는 PGA와 LPGA의 정상급선수들이나, Trackman 등의 런치모니터에는 잘 맞지만, 한국형 일반 골프에는 잘 맞지 않는다고 말이다. 미국의 과학과 우리나라 과학이 다른 모양이다. 이게 도무지 무슨 소리인지 정말로 난해한(?) 답변이다. 재미만 있으면 되는지? 한 3년 전에 일본에서 골프 관련자 3명이 한국 스크린 골프를 수입하려다가 검토 후 그냥 갔다. 그 이유는 실제와 잘 맞지 않는다는 것이다. 우리는 아직도 재미만을 추구한다. 노래방처럼 말이다. 가수가 노래방에서 노래를 부르면 점수가 잘 나온다고 한다. 스크린 골프는 많은 경우의 수의 DB를 사용하는 곳이 많다. 연구로 정확도를 향상시키기보다는 재미 및 선전예열을 올린다. 재미와 정확도를 같이한다면 그 수명은 오래가지 않을까?

그림 20. 볼이 날아가는 방향으로 클럽면에 수직인 쪽에 볼은 더 가깝게 날아간다.

물리학자들의 책임은 없는가?

- Smart 물리로 저들을 즐겁게 하자!

◇ 체육인에게 맞는 Smart 물리 교과서를 개발하자.

- 겸손하게 접근하자

현재 국내 모든 대학에는 체육 관련 학과가 있다. 그것은 체육학과, 체육교육과, 사회체육과, 경호학과, 유도학과, 골프학과 등 여러 이름으로 있다. 아마도 물리학과와 수보다 훨씬 많을 것이다. 이들 학과 중에 일반물리학을 배우는 학과는 과연 몇 개일까? 한국물리학회에서는 이것을 파악하고는 있는지? 문제는 왜 이들이 물리학을 배우지 않고 있을까? 우리 한국물리학회에서는 이들의 눈높이에 맞는 일반물리 교과서를 개발한 적이 있는가? 이들에게 이공계 학생을 위한 일반물리학을 그대로 가르치려 했는가? 20~30년 전에 물리학을 못 배운 그들이 현재 체육학과와 중진 교수들이다.

◇ 물리학자들은 자신의 율타리에만 간혀있지는 않는지?

물리학회 창립된 지 60여 년이 됐다. 아직도 우리는 노벨 물리학 수상자를 배출하지 못했다. 이러한 것들이 스포츠인들에게 우습게 보일 수도 있다. 스포츠인들의 간담을 서늘케 할 한방이 우리에게 아직 없다. 과학이 없이도 올림픽에서 금메달을 잘만 땀다. 물리학회의 책임이 크다. 중·고등학교에서 학생들이 물리학을 좋아하도록, 체육 관련 학과 학생들이 물리학을 좋아하도록 눈높이에 맞는 일반물리학을 개발하자. 신세대들은 animation을 좋아한다. 얼마나 많은 좋은 자료가 있고 또 우리는 그럴 능력이 있는가? 언제까지 번역만 할 것인가? 저들이 내 좋은 상품을 사지 않는다고 푸념만을 할 것이 아니라 우리의 상품을 저들이 좋아하게 만들자. 그리고 선전하자. 이 시대의 아이콘인 스티브 잡스는 이렇게 말했다고 한다. 성공하기 위해서는 첫째 선전을 잘해라(물리를 사랑하게 하자).

둘째 디자인(Smart 물리)을 잘해라. 그리고 셋째 성능(저들에게 꼭 필요한 것)을 높이라고 말이다.

물리학의 난제(難題)를 던지며!

◇ 덤플과 구조-유체역학과 구조역학에 도전해 보자

골프에서 가장 큰 난제는 골프볼에 관한 2가지이다. 클럽 샤프트나 헤드는 어느 정도 그 이론들이 정립되어 있다. 그러나 골프볼은 아직도 풀어야 할 문제가 여러 가지가 있다. 그 하나는 골프볼 표면의 덤플(dimple) 모양이고 또 다른 하나는 골프볼의 구조이다. 덤플은 골프볼 표면에 적절한 모양을 한 것으로 덤플이 없는 것과는 비교가 안 될 정도로 덤플 볼의 비거리가 2~3배 크다. 덤플은 골프볼의 공기저항을 작게 하고 볼을 위로 띄우는 좋은 특성이 있어 볼을 멀리 날려보낸다. 야구 공에는 실밥(108개), 축구공에서 여러 조각의 합이, 물고기의 비늘, 날아다니는 새의 깃털 등이 이 덤플에 해당한다. 골프볼 덤플에 관한 연구는 2008년 11월 23일 미국 물리학회와 유체역학 분과에서 “회전하는 골프볼 주위의 공기 흐름에 관한 수학적 시뮬레이션”이라는 주제로 발표가 있었다. 이 연구에서 애리조나 주립대학팀과 메릴랜드 대학팀의 총 5명이 주축이 되어 슈퍼컴퓨터를 이용해 최적의 골프볼 덤플은 어떤 형태이며 공기와 어떻게 상호작용하는지를 계산하였다. 그러나 아직도 무엇이 가장 좋은 덤플의 형태인지 정론이 없는 듯하다.

덤플을 개선하기 위해 골프볼 업체들은 지금도 수억 달러를 연구비에 투자한다. 덤플을 아무리 잘 만들어도 그렇지 못한 볼과는 비거리가 불과 10~15야드 정도의 차이가 있을 거라는 것이 과학자들의 중론이다. 그래도 볼을 10~15야드를 더 보내기 위해 엄청난 노력을 한다. 기록경기에서는 0.01초 0.001초를 줄이기 위해 노력하듯이 말이다.

다른 하나는 골프볼의 구조이다. 연습장용 골프볼은 하나의 재질로 표면에 덤플을 만들어 넣지만, 일반적인 골프볼은 그림 18과 19와 같이 여러 겹으로 만들어져 있다. 왜 그들은 골프볼을 이렇게 만들까? 덤플 이외에 골프볼은 내부구조의 재질과 형태에 따라 비 거리에 영향을 주는 반발계수, 비거리와 스핀에 영향을 주는 관성 모멘트, 볼 제어(control), 온도 특성,

타구감 및 내구성 등이 매우 달라진다. 골프볼 업체들은 반발계수 및 관성모멘트는 크게, 각각 클럽에 따른 볼 제어는 쉽게, 겨울에도 여름특성이 있도록 온도특성을 좋게, 내구성이 좋고 타구감은 부드럽고 그 소리도 경쾌하게 만들기 위해 2, 3, 4, 5, 6 피스(piece)의 골프볼을 지금도 연구 개발 중이다. 일반적으로 볼의 피스 개수 큰 볼은 피스 개수가 적은 볼의 장점을 포함하고 단점을 보완한다.

필자는 2014년 1월에 대전의 모 연구소에서 수일에 걸쳐 5개 업체의 2, 3, 4 피스의 골프볼 75개를 온도(0~50℃) 및 속도(70~140 mph)에 따른 반발계수 측정실험을 약 1,400여 번 타격하면서 그 특성을 조사했다. 그런데 그들의 특성은 어떨까? 진정 꾸준히 연구하는 업체와 그렇지 못한 업체의 골프볼 반발계수 특성이 분석자료에 고스란히 그대로 드러났다. 우리는 황당한 광고에 너무 현혹되지 말자.

행복에 젖어!- 골프가 과학을 만나며

경험은 물론 매우 중요하다. 하지만 경험에만 지나치게 의지하지 말고 우리 골프문화도 이제는 스포츠 과학에 근거한 경험과 과학이 융합되어 골퍼들이 시간과 비용을 절감하면서 스파타식 훈련에서 공부도 하면서 즐길 수 있는 골퍼로 태어나는 계기가 되었으면 한다. 필자는 요즘 매우 기분이 좋다. 모 대학원에서 골프 프로들을 가르치며 그들이 좋아하는 눈빛을 보는 것만으로 필자는 정말 행복하다. 속된 말로 골프 프로들이 너무나 좋아한다. 일부 골프학과 교수도 칭찬한다. 전골프 국가 대표도 있다. 그들은 말한다. 이 강의를 자기들만 듣기에는 너무 아깝다고 말이다. 그들은 갑급해했다. 필자는 지난 30년 세월의 모든 역량을 모은 교수법과 3D animation 등으로 1, 2학기에 약 1,000장의 PowerPoint 자료로 골프역학을 그들에게 가르치고 있다. 그들은 20~30년 이상의 경험은 있지만, 그 과학적인 원리를 잘 몰랐다. 새로운 어떤 것을 깨닫는 기쁨을 아는 자는 희망이 있다. 재능과 경험 및 노력으로는 어느 정도 수준에 도달하지만, 과학적 원리를 알면 그 수준에서 더더욱 발전할 수 있지 않을까?