



## 저크비용함수를 이용한 골프 숙련자와 초보자간의 퍼팅 동작 분석

### Analysis of golf putting for Elite & Novice golfers Using Jerk Cost Function

임영태 · 최진승 · 한영민 · 김형식 · 이정환 · 전재훈 · 탁계래\* (건국대학교)

Lim, Young-Tae · Choi, Jin-Sung · Han, Young-Min · Kim, Hyung-Sik · Yi,

Jeong-Han · Jun, Jae-Hun · Tack, Gye-Rae\* (Konkuk University)

#### ABSTRACT

Y. T. Lim, J. S. Choi, Y. M. Han, H. S. Kim, J. H. Yi, J. H. Jun. & G. R. Tack, Analysis of golf putting for Elite & Novice golfers Using Jerk Cost Function. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 16, No. 1, pp.1-10, 2006. The purpose of this study was to identify critical parameters of a putting performance using jerk cost function. Jerk is the time rate of change of acceleration and it has been suggested that a skilled performance is characterized by decreased jerk magnitude. Four elite golfers(handicap $\leq$ 2) and 4 novice golfers participated in this study for the comparison. The 3D kinematic data were collected for each subject performing 5 trials of putts for each of these distances (random order): 1m, 3m, 5m. The putting stroke was divided into 3 phases such as back swing, down swing and follow-through. In this study, it was assumed that there exist smoothness difference between elite and novice golfers during putting. The distance and jerk-cost function of Putting stroke for each phase were analyzed. Results showed that there was a significant difference in jerk cost function at putter toe (at medio-lateral direction) and at the center of mass between two groups by increasing putting distance. From these it could be concluded that jerk can be used as a kinematic parameter for distinguishing elite and novice golfers.

KEYWORDS: GOLF PUTTING, JERK, KINEMATICS

## I. 서론

현대의 골프 게임에서 퍼팅은 경기 속의 또 다른 경기라고 흔히 묘사 되는데 그 이유는 퍼팅이야말로 낮은 스코어(low score)를 유지할 수 있는 가장 중요한 열쇠 역할을 하는 기술이기 때문일 것이다. 실제 미국 PGA투어 선수들의 라운드 당 클럽 사용 빈도수에서도

퍼팅이 43%로 가장 높은 수치를 나타내었다(김해천, 2005). Gwyn과 Patch(1993)는 골프 경기 중 전체 샷의 약 40%가 퍼팅이었다고 보고한바 있고 박진(2000) 또한 퍼팅은 골프경기에서 약 40-45%정도를 차지하는 중요한 기술이라고 언급한 바가 있다. 이처럼 골프경기에서 퍼팅의 중요성은 대부분의 사람들이 인식하고 있지만 실제 연습에서는 정반대의 현상이 나타나고 있다. 즉 경기 중 전체 샷의 약 19% 미만을 차지하는 드라이

버 샷의 연습을 경기 중 전체 샷의 약 40% 이상을 차지하는 퍼팅 연습보다 14배 더 연습을 수행한다는 것이다 (Wiren, 1992). 사실, 기량에 관계없이 모든 골퍼들은 다양한 형태와 복잡한 상황에 직면한 스트로크로 인해 퍼팅 퍼포먼스의 일관성을 유지하는데 어려움을 토로하고 있다.

이 같은 점은 비록 일부이지만 임팩트에서 최대 클럽헤드 스피드를 필요로 하는 골프 드라이빙 샷과는 달리 퍼팅의 성공은 매우 다양한 기술을 이용하여 얻을 수 있기 때문일 것이다 (Cochran & Farrally, 1994). 골프의 다른 스트로크와 비교했을 때 스윙의 크기가 가장 작은 퍼팅은 지극히 개인적인 특성이 강한 기술이기도 하다. 따라서 개인적인 특성 등에 맞게 훈련되기 때문에 골프 수행력을 향상시키는데 도움을 주는 퍼팅 동작에 대한 정형화된 기준과 분석은 매우 어렵다 (김선진, 2000).

이 같은 퍼팅의 중요성에도 불구하고 대부분의 관련 교재들은 톱 랭킹의 선수들과 코치들에 의해 제공된 관찰 및 일화적 증거들에 기초되어 진 것들이다. 퍼팅과 관련된 과학적 연구는 대체적으로 부족하고 퍼팅 스트로크의 운동학적 변인 분석에 대한 올바른 정보 또한 아주 부족한 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 골프 숙련자 및 초보자, 두 그룹 간에 퍼팅 동작에 대한 일관성에 차이가 있을 것이라고 가정, 동작의 매끄러움, 즉 부드러움의 정도를 나타내는 최소저크이론(minimum-jerk theory)의 저크(jerk)를 숙련자와 초보자의 퍼팅 동작 특성을 비교할 수 있는 요인으로 판단하여 (Viviani, 1995), 이를 바탕으로 한 저크비용함수(JC, jerk-cost function)를 이용해 퍼팅 동작의 정량적 지표가 될 수 있는지 살펴보았다 (Hreljac, 2000).

저크(jerk)란 시간에 대한 가속도 변화율이다. 일반적으로 가속도의 변화는 작용하는 힘의 강도의 변화와 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 운동역학 및 운동제어 분야에서 숙련된 운동수행은 저크 강도의 감소라는 특성을 가지고 있다고 시사하고 있어 최소 저크 가설에 입각하여 숙련된 사람 경우 팔은 최대한 매끄럽게(smooth) 움직인다는 것이다. 즉, 전체 움직임에 대한 저크 제공의 적분 값이 최소화되는 것이다 (Zatsiorsky, 1998). 위와

같은 가정으로, 실험을 통해 퍼팅 스트로크의 숙련자와 초보자 사이의 정량적 차이를 정형화할 수 있는 요인을 찾고 운동학적으로 두 그룹을 비교하고자 하였다.

## II. 방 법

### 1. 실험대상

본 실험에 참여한 피험자는 숙련자와 초보자 각각 4명으로 숙련자그룹은 현재 골프학과에 재학 중인 20대의 프로선수(handicap $\leq$ 2)로 선발하였다. 초보자그룹은 체육학과에 재학 중인 20대의 대학생(골프 강의 수강생)으로 선발하였다.

### 2. 실험내용

실험 시작 전 피험자에게 실험에 대한 충분한 설명을 하였고, 피험자는 주어진 실험환경에서의 동작에 익숙해질 수 있도록 충분한 퍼팅연습 후 실험에 임하였다. 실험에 사용한 퍼팅 거리는 1m, 3m, 5m의 세 가지 거리로 하였고, 각 피험자가 각각의 거리마다 5회의 퍼팅을 실시하였다. 피험자의 실험순서는 반복효과와 이월효과를 제거하기 위해 퍼팅 거리와 피험자 순서를 무작위로 선정하여 실시하였다.

### 3. 실험방법

본 실험에는 동작분석을 위해 6대의 고속 카메라(high-speed Falcon camera)로 구성된 3차원 동작분석기(Motion Analysis Corp., USA)를 사용하였다. 3차원 동작분석 카메라의 주파수는 120Hz로 샘플링하였다. 3차원 동작분석을 위해 피험자의 신체 각 부위에 20개, 퍼터에 4개, 공의 위치에 1개의 마커를 부착하여 총 25개의 마커를 부착하였다. 마커는 반사테이프로 쌓여진 지름 25mm 원구형 마커를 사용하였다. 실험에 사용한 바닥은 크기가 0.9m $\times$  6m인 인조잔디로, 퍼팅 동작 이외에 다른 환경적 요소를 제거하기 위해 최대한 평평한 태를 유지하도록 하였다.

#### 4. 분석방법

3차원 동작분석시스템을 통해 수집된 데이터는 simple moving average method을 사용하여 잡음을 제거하였다. 퍼팅 스트로크는 일반적인 운동동작에 비하여 상대적으로 움직임이 적고 동작의 스피드가 작아서, 언급한 간단한 잡음 제거방법을 이용하여도 충분하였다. 최종적으로 얻어진 각 마커의 위치데이터로부터 퍼팅 스트로크를 백스윙, 다운스윙, 팔로우스루, 세 구간으로 나누었다. (박진, 2000).

1. 백스윙: 어드레스에서 백스윙 끝
2. 다운스윙: 백스윙 끝에서 임팩트
3. 팔로우스루: 임팩트에서 팔로우스루 끝

퍼팅 데이터로부터 마커의 이동변위와 저크비용함수의 변화를 확인하였다. 본 실험에서는 매끄러움의 정도를 나타내는 저크를 이용하여 퍼팅동작의 분석을 시도하였다. 저크는 위치벡터를 시간에 대해 3번 미분하여 얻을 수 있다. 퍼팅동작을 정량적으로 측정하기 위한 저크비용함수는

$$JC = \int_0^T \left( \frac{d^3 r}{dt^3} \right)^2 dt$$

로 정의할 수 있다. 여기서 T는 총 운동시간, r은 위치벡터를 나타낸다(Hreljac, 2000).

본 실험에서의 모든 데이터 분석은 MATLABM 6.5 (Mathworks Inc., USA)를 이용하여 계산, 퍼팅거리에 따른 마커의 이동거리와 저크비용함수의 변화량이 숙련자와 초보자의 차이를 나타내는지 알아보았다.

### III. 결과 및 논의

무게중심 및 퍼터 끝의 이동거리와 그 저크비용함수의 계산을 통해 아래 그림들과 같은 결과들(평균 및 표준편차)을 도출할 수 있었다. 참고로 그래프 상 AP는

전후방향(타깃인 홀 쪽 방향이 전), ML은 내외방향(퍼팅자 몸과 가까워지는 쪽의 방향이 내), V는 수직방향, 그리고 R은 합성 방향을 나타내고 있다.

#### 1. 무게중심 변인

<그림 1~4>는 퍼팅 스트로크 동안 숙련자 및 초보자의 퍼팅거리에 따른 무게중심 이동거리와 저크비용함수 그래프를 보여주고 있다. <그림 1>의 R 방향에서 나타난 바와 같이 퍼팅거리가 멀어짐에 따라 초보자는 전체 스윙 구간에서 무게중심의 이동거리가 일관되게 증가되는 반면 숙련자의 경우 퍼팅거리에 따른 무게중심의 이동거리 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다. 이는 숙련자의 경우 신체중심을 거의 이동하지 않은 체상지분절의 움직임으로 퍼팅 동작을 수행하였다고 판단된다. 저크 비용함수 그래프 또한 이와 비슷한 유형의 그래프를 나타내고 있어 초보자와 숙련자를 구별하는데 유용한 변인이 될 수 있다고 생각한다. 특히 저크 비용함수 그래프에서 함수 값이 초보자에 비해 숙련자의 경우가 상대적으로 낮고 반대로, 숙련자에 비해 초보자의 표준편차가 매우 높은 경향으로 보아 퍼팅거리에 따른 무게중심 거리 이동이 초보자의 경우가 훨씬 크고 그 부드러움 또한 크게 떨어지는 것으로 사료된다. 이 같은 현상은 V 방향의 경우 특히 두드러지게 나타나고 있다.

퍼팅 스트로크의 구간별 그래프에서도 이와 유사한 패턴이 확인되는데 백스윙<그림 2> 및 팔로우스루<그림 4>의 구간 그래프를 살펴보면 초보자는 이들 스윙 구간에서 무게중심의 이동거리가 일관되게 증가되는 반면 숙련자의 경우 퍼팅거리에 따른 무게중심의 이동거리 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다. 이들 구간의 저크 비용함수 그래프 또한 함수 값 및 표준편차가 초보자에 비해 숙련자의 경우가 상대적으로 아주 낮아 퍼팅거리에 따른 이들 구간의 무게중심 거리 이동이 초보자의 경우가 훨씬 크고 그 부드러움 또한 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 흥미로운 점은 다운스윙 <그림 3> 동안의 무게중심 이동거리 및 저크비용함수 그래프인데 3m 퍼팅거리가 1m 및 5m 퍼팅거리 보다 AP 및 R

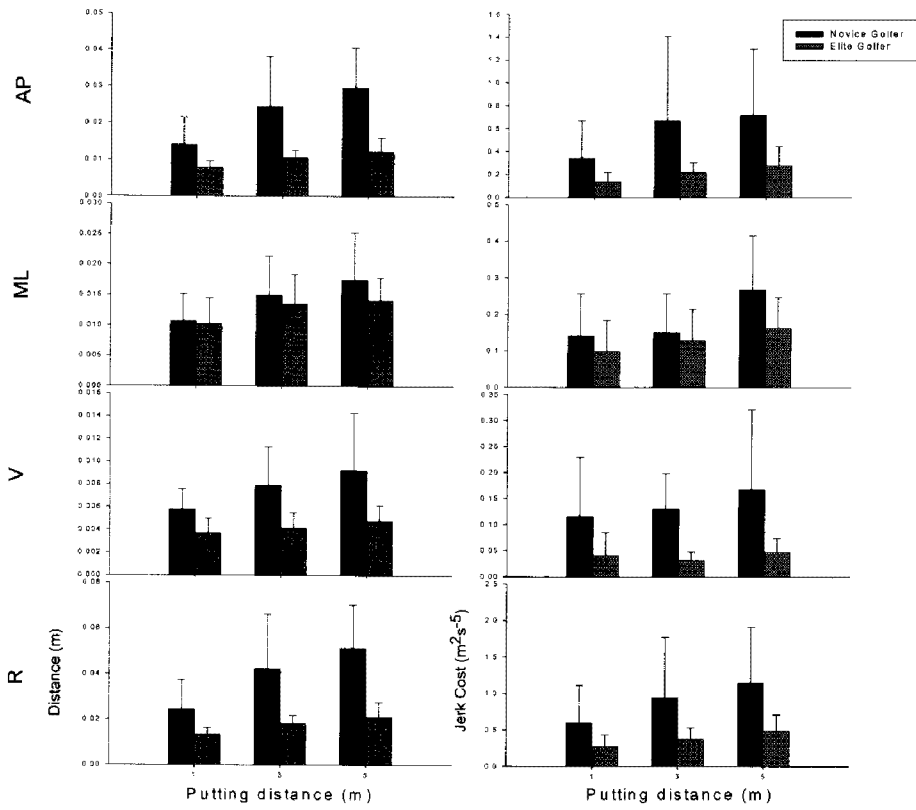


그림 1. 전체 퍼팅 스트로크 동안 숙련자와 초보자의 무게중심 이동거리와 저크비용함수

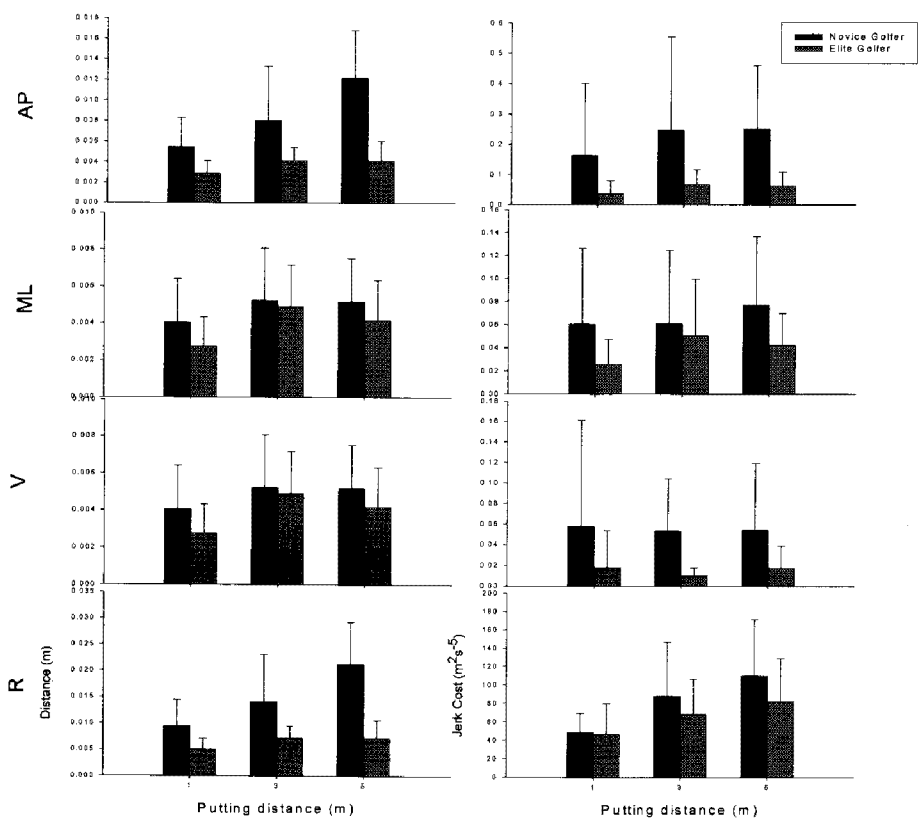


그림 2. 백스윙 동안 숙련자와 초보자의 무게중심 이동거리와 저크비용함수

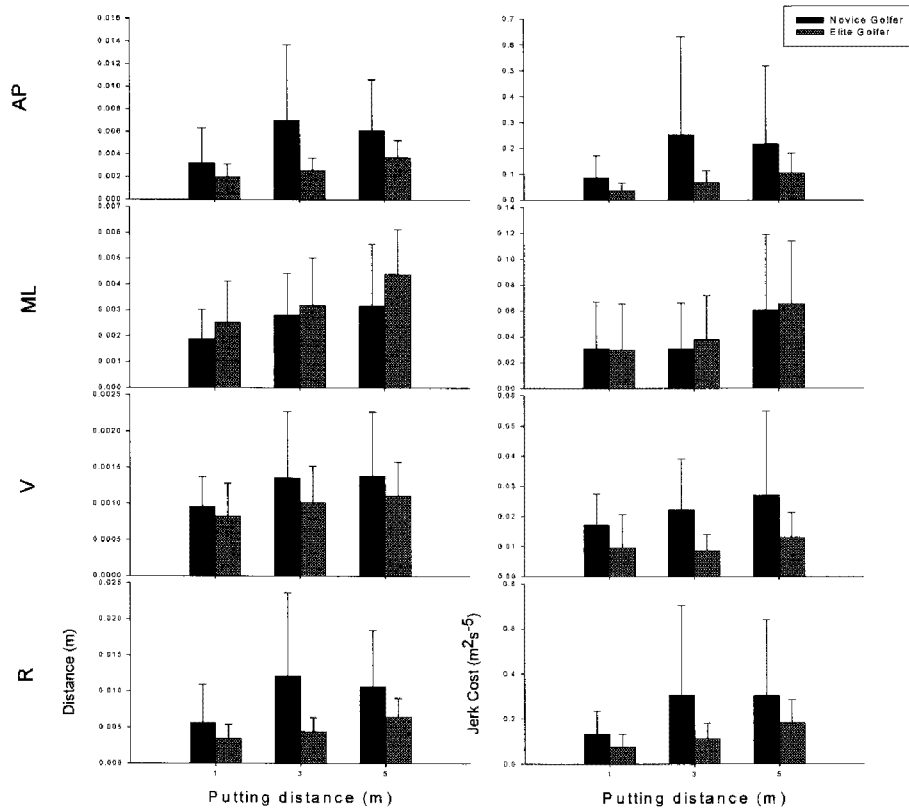


그림 3. 다운스윙 동안 숙련자와 초보자의 무게중심 이동거리와 저크비용함수

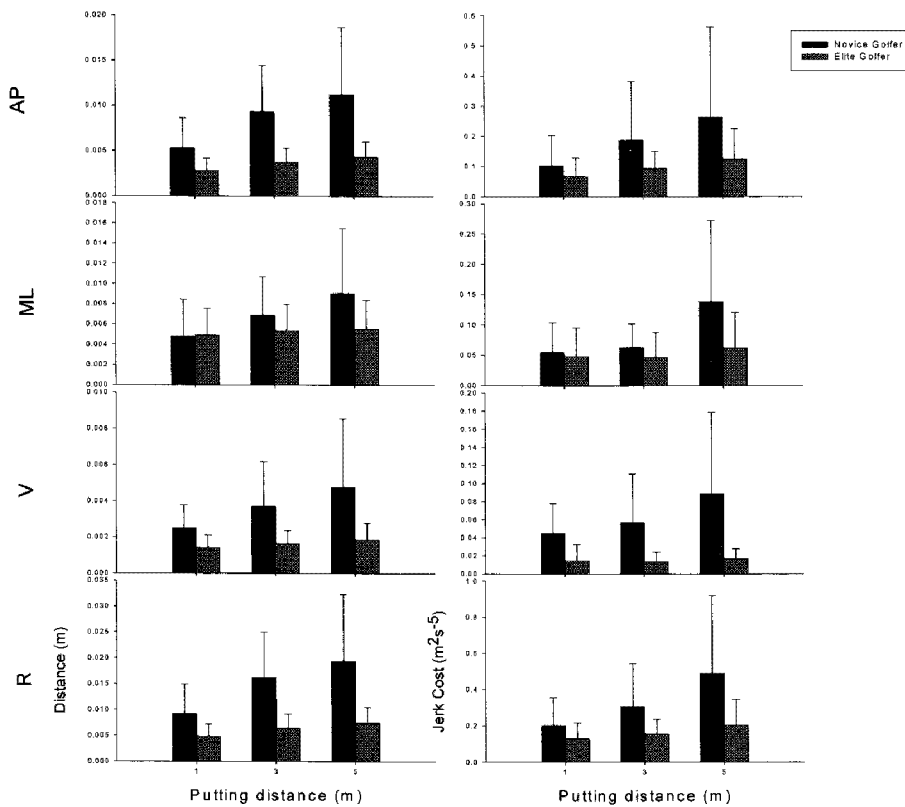


그림 4. 팔로우스루 동안 숙련자와 초보자의 무게중심 이동거리와 저크비용함수

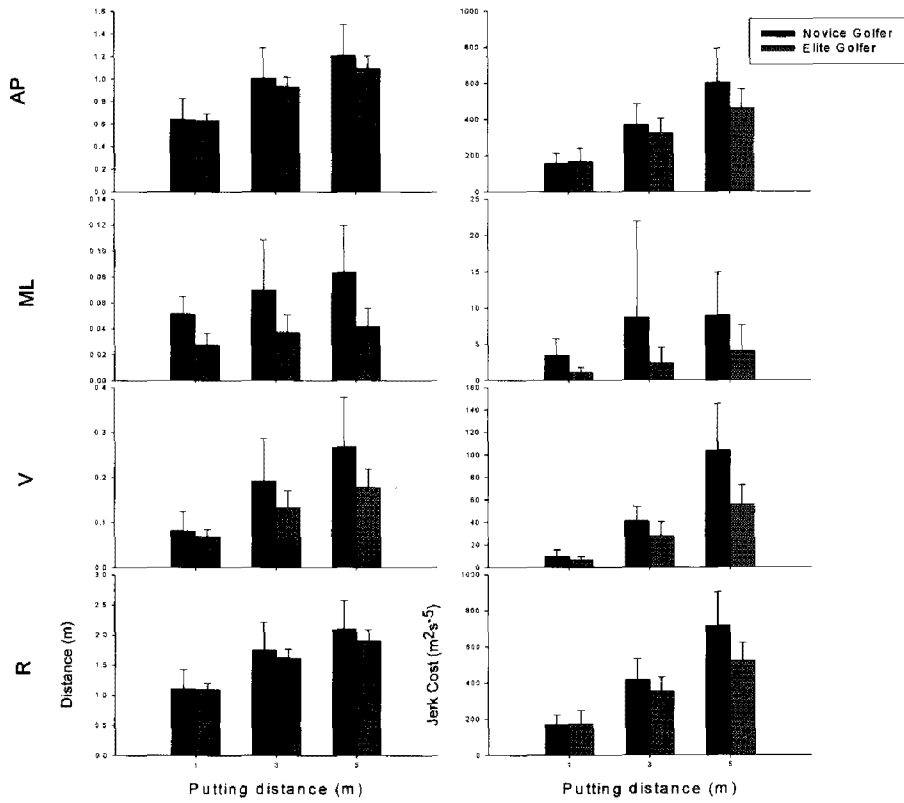


그림 5. 전체 퍼팅 스트로크 동안 숙련자와 초보자의 퍼터끝부분에서 이동거리와 저크비용합수

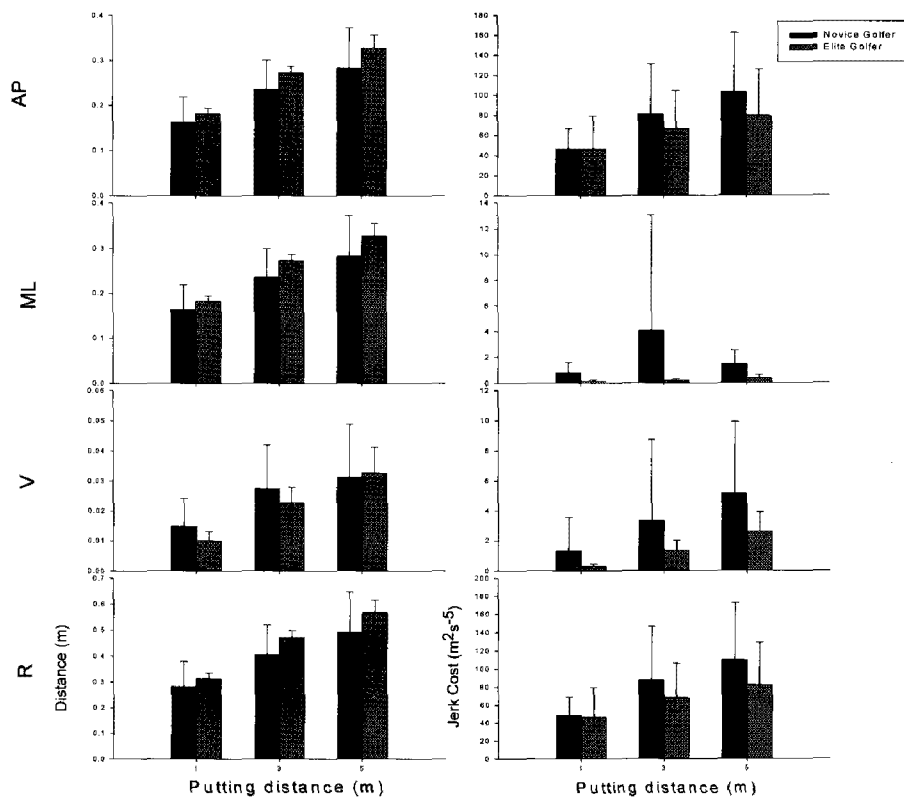


그림 6. 백스윙 동안 숙련자와 초보자의 퍼터끝부분에서 이동거리와 저크비용합수

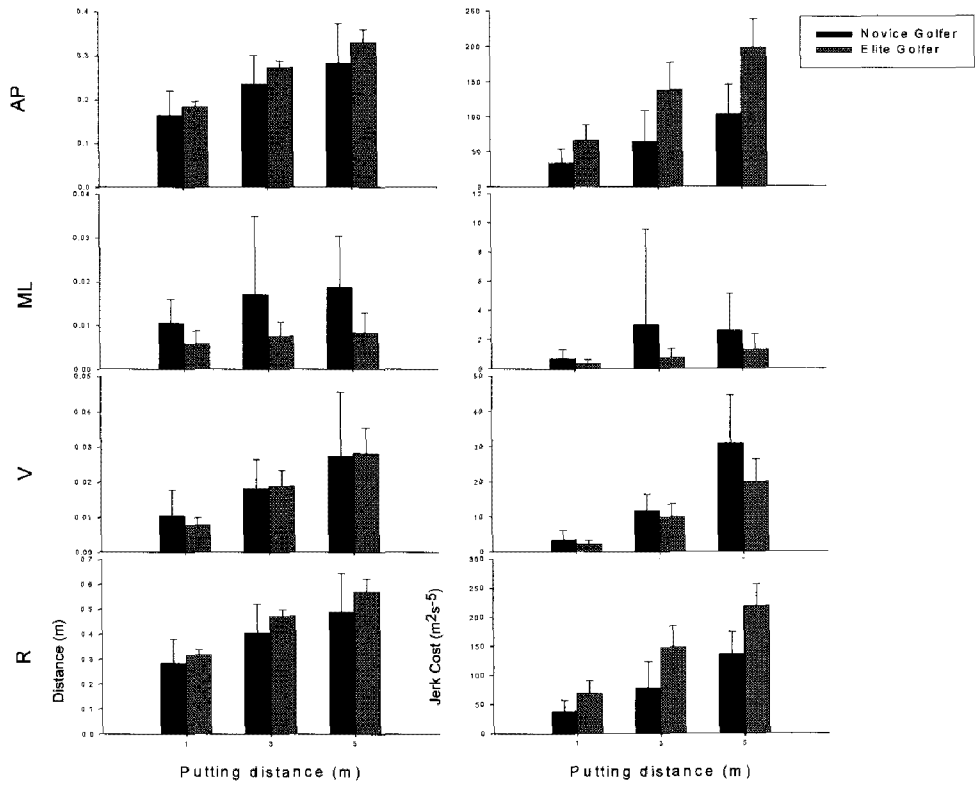


그림 7. 다운스윙 동안 숙련자와 초보자의 퍼터끝부분에서 이동거리와 저크비용함수

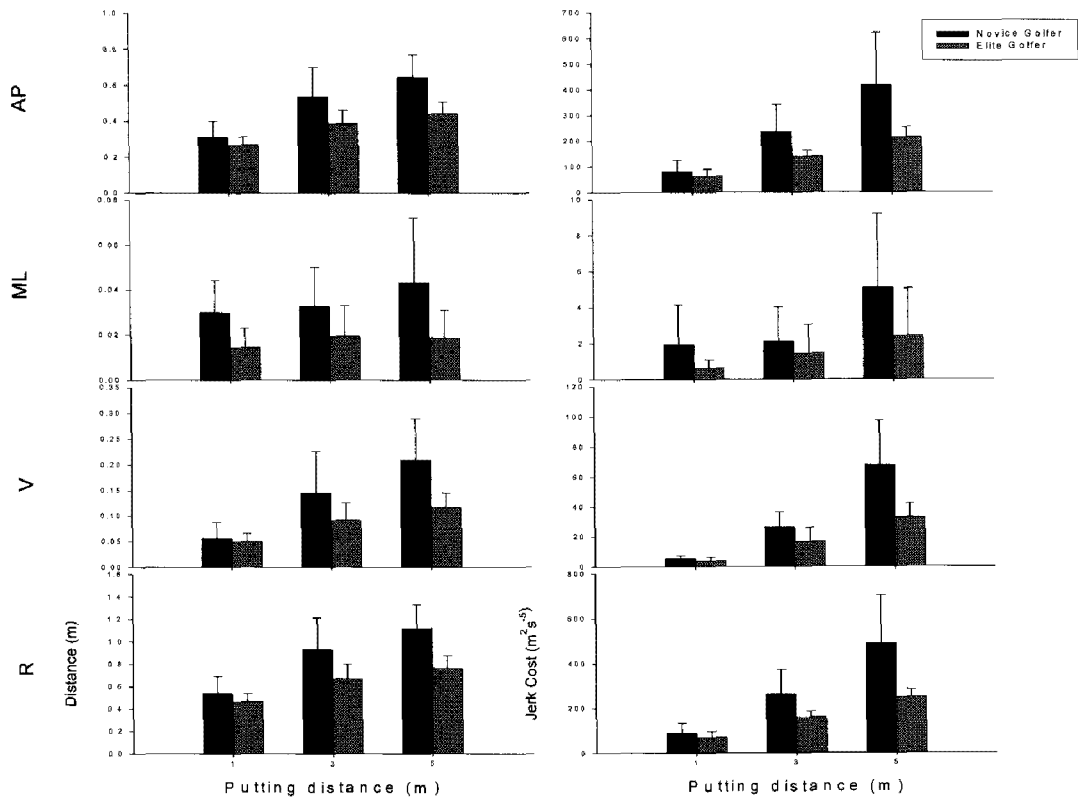
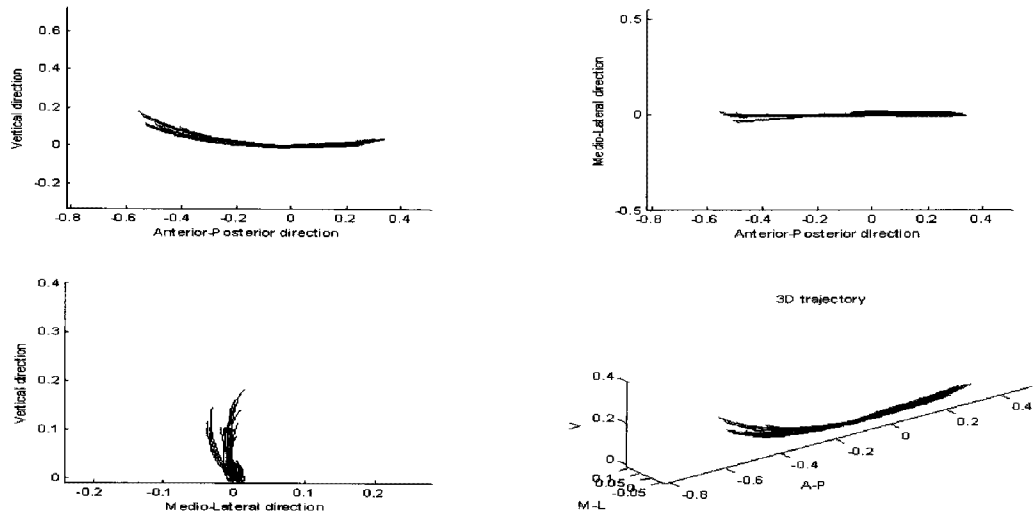
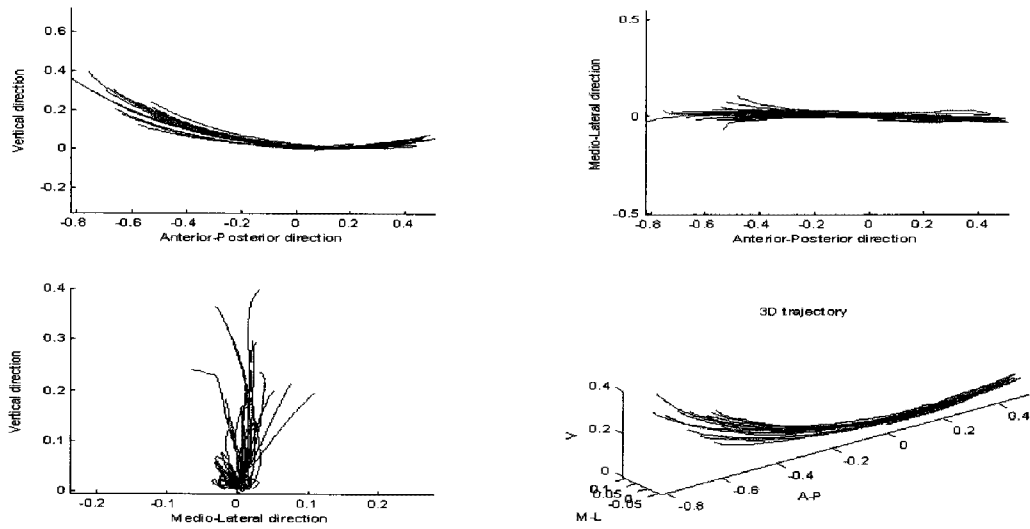


그림 8. 팔로우스루 동안 숙련자와 초보자의 퍼터끝부분에서 이동거리와 저크비용함수



(a) 퍼터의 궤적(숙련자 4명, 5m퍼팅 5회)



(b) 퍼터의 궤적(초보자 4명, 5m퍼팅 5회)

그림 9. 두 그룹의 퍼팅 스트로크 동안 퍼터 이동 궤적



방향에서 무게중심 이동거리 및 저크비용함수가 상대적으로 크게 나타났다. 특히 ML 방향에서는 숙련자가 초보자보다 무게중심 이동거리 및 저크비용함수가 크게 나타났는데 이는 다운스윙 동안 퍼터의 ML 방향 이동거리 및 저크비용함수의 최소화를 위한 보상 효과가 아닌가 사료된다.

## 2 퍼터 끝 변인

<그림 5~8>는 퍼팅 스트로크 동안 숙련자 및 초보자의 퍼팅거리에 따른 퍼터 끝 이동거리와 저크비용함수 그래프를 보여주고 있다. <그림 5>에서 나타난 바와 같이 퍼팅거리가 멀어짐에 따라 초보자 및 숙련자 모두 전체 스윙 구간에서 퍼터 끝의 이동거리가 일관되게 증가되는 반면 저크비용함수의 경우 숙련자가 초보자에 비해 상대적으로 낮아 초보자와 숙련자를 구별하는데 유용한 변인이 될 수 있다고 판단된다.

백스윙<그림 6> 구간에서는 V방향을 제외한 퍼터 끝의 이동거리가 숙련자가 초보자에 비해 큰데도 불구하고 저크비용함수 및 표준편차는 낮아 숙련자가 부드러움이 크게 높은 것으로 판단된다. 특히 ML 방향의 경우 저크비용함수 값 및 그 표준편차가 초보자에 비해 숙련자가 대단히 낮게 나타나 이 변인이 초보자와 숙련자를 구분할 수 있는 중요 변인일 가능성이 크다고 사료된다. V 방향의 이동거리를 살펴보면 숙련자가 초보자에 비해 짧게 나타났는데 이것은 숙련자의 경우 백스윙을 가능한 한 낮게 유지하려는 경향을 보이는 것이라고 생각된다.

다운스윙<그림 7> 구간에서는 ML 및 V 방향 퍼터 끝 이동거리는 초보자에 비해 숙련자가 작거나 비슷하게 나타났고 저크함수 또한 숙련자가 상대적으로 낮게 나타나 이들 방향에 대한 부드러움이 높은 것으로 판단된다. 하지만 AP 방향의 경우 퍼터 끝의 이동거리는 백스윙 구간과 유사한 형태이지만 저크함수 값의 경우에는 예상과 달리 숙련자가 초보자에 비해 훨씬 높게 나타나는 다소 상반된 결과를 보였다. 추측컨대 초보자에 비해 숙련자가 상대적으로 강하고 빠른 다운스윙을 시도한 것으로 판단된다.

팔로우스루<그림 8> 구간에서는 모든 방향에서 초

보자가 숙련자에 비해 퍼터 끝의 이동거리가 길게 나타났고 저크함수 값 또한 높게 나타났다. 따라서 숙련자의 경우 초보자에 비해 백스윙은 길게 팔로우스루는 짧게 하는 경향을 볼 수 있었다.

## IV. 결론

본 실험은 골프 퍼팅 스트로크 시 무게중심 및 퍼터 끝의 이동거리와 그 저크비용함수를 이용하여 숙련자와 초보자 사이의 운동학적 차이를 찾고자 했다. 퍼팅 스트로크 구간 별 퍼터 끝 이동거리에서는 초보자에 비해 숙련자는 백스윙의 이동거리가 긴 반면 팔로우스루는 상대적으로 짧은 것을 볼 수 있었는데 숙련자의 퍼팅 스트로크의 특징이라고 판단된다(박진, 2000; 김해천, 2005).

부드러움의 관점에서 본 동작분석 결과에 대한 실험 결과를 살펴보면, <그림 5~8>에서 보이듯 숙련자와 초보자가 모두 퍼팅거리가 증가함에 따라 퍼터 끝부분은 저크비용함수가 증가하였다. 하지만 무게중심<그림 1~4>에서의 저크비용함수는 숙련자의 경우에 그 변화량이 아주 작았다. <그림 9>는 숙련자와 초보자 각 4명, 5회의 5m 퍼팅을 수행한 퍼터 끝부분의 움직임 궤적을 그린 그림이다. 단순히 시각적으로 살펴보더라도 전체적 움직임의 폭과 일정함이 숙련자의 경우가 일정함을 알 수가 있다. 이는 골프지도서에서 경험적, 직관적으로 가르치고 있는 일반적인 퍼팅 훈련방법(김해천, 2005)과 퍼터의 스윙각도와 퍼터선에 관한 박진(2002)의 연구 내용에 부합되는 것으로, 특히 <그림 9>의 (a)와 (b)의 왼쪽 아래 그림인 내외방향에서 더 큰 차이를 보이는 것을 볼 수 있다.

본 실험 결과로 미루어보아 저크비용함수가 작아지는 것은 동작의 부드러움이 더 큰 것(Hreljac, 2000)으로 볼 수 있으므로 숙련자의 동작이 초보자보다 더 부드럽고 무게중심이 보다 안정적임을 생각해 볼 수 있다. 특히 퍼터 끝부분에서 숙련자의 경우 퍼팅거리에 관계없이 ML 방향의 저크비용함수 값 및 그 표준편차(백스윙 구간)가 거의 없는 반면 초보자는 상대적으로 높아 확연한 차이를 보여주고 있다. 즉, 퍼터 끝부분에

서의 ML 방향 저크비용함수(백스윙 구간)가 최소저크 이론에 부합하는 결과를 나타내었다. 이 퍼터 끝부분의 ML방향은 선행 연구(박진, 2002; 박진, 2001)에서 나타내고 있는 퍼팅 클럽의 좌우 움직임에 영향을 주는 면의 움직임이 숙련자는 평균 1도와 초보자는 평균 6도 이상으로 차이를 보인다는 점을 저크로 구분이 가능함을 보여준다. 또 여러 골프 퍼팅지도서(김해천, 2005)등에서 ML 방향으로의 퍼터 움직임을 초보자가 숙련자에 근접할 수 있는 방법으로 가르치고 있다는 것을 볼 때, 본 실험에서 이용한 저크가 실제 퍼팅 스트로크에서 숙련자와 초보자의 차이를 무게중심과 퍼터 끝부분에서의 저크비용함수의 변화량 차이로 보여줌으로서 정형화된 변인으로서의 가능성을 엿볼 수 있었다.

## 참 고 문 헌

김선진 (2000). 골프 퍼팅 과제에의 눈 움직임 변화 유형에 관한 연구, 한국스포츠심리학회지, 제11권, 제2호, 1-14.

김해천 (2005). 파세이브 숏게임, 넥서스 BOOKS, 38-41, 58-69

박진 (2000). 골프퍼팅 스트로크의 구간별 소요시간 분석, 한국운동역학회지, 제9권, 제2호, 187-193.

박진 (2001). 퍼팅 스트로크에서 퍼터의 움직임에 관한 운동학적 분석, 한국운동역학회지, 제11권, 제2호, 319-331.

박진 (2002). 숙련자와 초보자의 퍼팅 스트로크 특성비교

(I), 한국운동역학회지, 제12권, 제2호, 197-206.

Cochran, A. J. & Farrally, M. R. (1994). Science and Golf II: Proceedings of the world scientific congress of golf. London: E & FN SPON.

Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J., Coello, Y. (1997). Movement control in golf putting, Human Movement Science, Vol.16, 597.

Gwyn, R. G., & Patch, C. E. (1993). Comparing two putting styles for putting accuracy, Perceptual and motor skills, 76(2), 387-390.

Hreljac, A. (2000). Stride smoothness evaluation of runners and other athletes, Gait & Posture, Vol.11, 199-206.

Viviani, P., & Flash, T. (1995). Minimum-Jerk, Two-Thirds Power Law, and Isochrony: Converging Approaches to Movement Planning, Journal of Experimental Psychology, Vol.21, 32-53.

Wiren, P. (1992). Golf, building a solid game. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 189-201.

Zatsiorsky, V. M. (1998). Kinematics of human motion. Human Kinetics, 207.

투 고 일 : 1월 15일  
 심 사 일 : 2월 1일  
 심사완료일 : 2월 20일